มหาวิทยาลัยมหิดล
คณะสิ่งแวดล้อม
และทรัพยากรศาสตร์

ENVI MAHIDOL

ENSD

การประชุมวิชาการระดับชาติ การพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 1

EN SUSTAINABLE DEVELOPMENT NATIONAL CONFERENCE # 1

5 มิถุนายน 2568

REAL WORLD IMPACT

E-PROCEEDINGS

หัวข้อและเนื้อหา

- การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และนโยบาย (Natural Resource and Environmental Management and Policy)
- การจัดการมลพิษ (Pollution Management)
- การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยพิบัติ (Climate Change and Disaster)
- นิเวศวิทยาเมืองและอุตสาหกรรม (Urban, Industrial Ecology)
- เกษตรกรรมที่ยั่งยืนและความมั่นคงทางอาหาร (Sustainable agriculture and food security)
- สังคมศาสตร์และสาธารณสุข (Social science and public health)
- วิทยาศาสตร์ธรรมชาติและนิเวศวิทยา (Natural Science and Ecology)
- พลังงาน (Energy)
- สารสนเทศสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Environmental Information & Geo-Informatics Technology)
- การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน (Sustainability Organization Development)

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
https://en.mahidol.ac.th/ensd

คณะกรรมการวิชาการ

การประชุมวิชาการระดับชาติ การพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 1

(EN Sustainable Development National Conference # 1; ENSD Conference)

1.	รศ. ดร.กรวรรณ ศรีงาม	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2.	รศ. ดร.กิติกร จามรดุสิต	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
3.	รศ. ดร.จรัณธร บุญญานุภาพ	ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
4.	รศ. ดร.ชุลีมาศ บุญไทย อิวาย	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
5.	รศ. ดร.ต่อลาภ คำโย	สาขาวิชาเกษตรป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ
6.	รศ. ดร.นพพล อรุณรัตน์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
7.	รศ. ดร.นิสา เหล็กสูงเนิน	ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิจัยและความเป็นสากล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
8.	รศ. ดร.ภศิชา ไชยแก้ว	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9.	รศ. ดร.วรชาติ วิศวพิพัฒน์	ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
10.	รศ. ดร.วรรณวิภา แก้วประดิษฐ์ พลพินิจ	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
11.	รศ. ดร.ภัทรานิษฐ์ ศรีจันทราพันธุ์	ภาควิชาศึกษาศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
12.	รศ. ดร.พลชาติ โชติการ	คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
13.	รศ. ดร.พันธนา ตอเงิน	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14.	รศ. ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
15.	ผศ. ดร.ประดับดวง เกียรติศักดิ์ศิริ	คณะสาธารณสุขศาสตร์ ม.ธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง
16.	ผศ. ดร.ภูมิศร์ ทับทิมแดง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยมหิดล
17.	ผศ. ดร.ศุภศิลป์ ทวีศักดิ์	ภาควิชา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
18.	ดร. ไตรรัตน์ เมืองทองอ่อน	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
19.	ดร. วีรยุทธ สิริรัตน์เรืองสุข	สำนักวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

คณะทำงาน

การประชุมวิชาการระดับชาติ การพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 1

(EN Sustainable Development National Conference # 1; ENSD Conference)

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

1.	คณบดี	ที่ปรึกษา
2.	รองศาสตราจารย์ ดร. นพพล อรุณรัตน์	ประธานคณะทำงาน
3.	รองศาสตราจารย์ ดร. ธรรมรัตน์ พุทธไทย	คณะทำงาน
4.	รองศาสตราจารย์ ดร. สุกัญญา เสรีนนท์ชัย	คณะทำงาน
5.	รองศาสตราจารย์ ดร. กฤตณะ พฤกษากร	คณะทำงาน
6.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กอบแก้ว มโนมัยพิบูลย์	คณะทำงาน
7.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันวิสาข์ ปั้นศักดิ์	คณะทำงาน
8.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพียงใจ พีระเกียรติขจร	คณะทำงาน
9.	อาจารย์ ดร. วิชญา รงค์สยามานนท์	คณะทำงาน
10.	อาจารย์ ดร.จักรพล พันธุวงศ์ภักดี	คณะทำงาน
11.	อาจารย์ ดร. ธัญภัทร ศาสตระบุรุษ	คณะทำงาน
12.	อาจารย์ ดร. วีรฉัตร์ ฉัตรปัญญาเจริญ	คณะทำงาน
13.	หัวหน้างานทุกงาน	คณะทำงาน
14.	นางสวัสดิรักษ์ ใสงาม	คณะทำงาน
15.	นายยุทธพล ผ่องพลีศาล	คณะทำงาน
16.	นางสาวจิราพัชร จำปาสิงห์	คณะทำงาน
17.	นางสาวอิสรีย์ อภิญญา	คณะทำงาน
18.	นางสาวณัฐกานต์ รัชกุล	คณะทำงาน
19.	นางศิรินพัชร จามรดุสิต	คณะทำงานและเลขานุการ
20.	นางสาววิลินธร ชูโต	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ
21.	นางสาวสุรีกานต์ โตไทยะ	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ
22.	นายปฐมพต ฉินสวัสดิ์พันธุ์	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ

กำหนดการ

วันพฤหัสบดีที่ 5 มิถุนายน 2568 เวลา 8.30 – 16.00 น. อาคารสิ่งแวดล้อมพัฒนดล คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

Time	Event
08.30 - 08.45 น.	ลงทะเบียนผู้เข้าร่วมงาน (ห้องประชุม 4224)
08.45 - 09.00 น.	**พิธีเปิดงาน** (บริเวณลานชั้น G) • **กล่าวรายงานการจัดงานวันสิ่งแวดล้อมโลก (World Environment Day): Open House โดย รองศาสตราจารย์ ดร.กิติกร จามรดุสิต** คณบดีคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ • **กล่าวเปิดงานและต้อนรับผู้เข้าร่วมงาน (World Environment Day): Open House โดย อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหิดล หรือ ผู้แทน**
09.00 – 09.25 น.	(ห้องประชุม 4224) **พิธีลงนามบันทึกข้อตกลงความร่วมมือทางวิชาการ** **“การขับเคลื่อนเศรษฐนิเวศ เพื่อการพัฒนาสังคมอย่างยั่งยืน”** ระหว่าง คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ กับ สำนักบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ สถาบันวิจัยพหุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
09.25 – 09.40 น.	(ห้องประชุม 4224) **งานเปิดตัว “คู่มือครูสาหรับหลักสูตรความเป็นกลางทางคาร์บอน”** ภายใต้โครงการ Carbon Neutrality campus (CNC)

Time	Event
09.40 – 10.45 น.	**เวทีเสวนาพิเศษ** (ห้องประชุม 4224) **หัวข้อ: พรบ. climate change ทุกภาคส่วนควรเตรียมตัวอย่างไร** **วิทยากร : - ดร.กิตติศักดิ์ พฤกษ์กานนท์** ผู้อำนวยการกองยุทธศาสตร์และความร่วมมือระหว่างประเทศ กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม **- รองศาสตราจารย์ ดร.กิติกร จามรดุสิต** คณบดีคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล **- คุณพรรรัตน์ เพชรภักดี** ผู้อำนวยการใหญ่สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย **ผู้ดำเนินรายการ : รองศาสตราจารย์ ดร.นพพล อรุณรัตน์** รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ
10.45 - 11.00 น.	POSTER SESSION
	ENSD 2025-11 การศึกษาปริมาณและสัณฐานของไมโครพลาสติกในทรายชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี วิชญาพร ผลมาตย์, ปุนรดา สุขศรี, อลิสา เทียมสกุล, และ ทิฆัมพร กรรเจียก
	ENSD 2025-24 การคาดการณ์พื้นที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจในอนาคต ภายใต้ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณัฐพล เย็นสกุลสุข และ ปริเวท วรรณโกวิท
	ENSD 2025-29 การศึกษาการยับยั้ง *Cercospora lactucae-sativae* ด้วย *Bacillus amyloliquefaciens และ Trichoderma* sp. สำหรับต้นกรีนคอส (*Lactuca sativa var. longifolia*) ในวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมต่างกัน กชพรรณ รู้รัก และ ปัณณพร พรมแจ่ม

Time	Event
	ENSD 2025-31 Biodegradable Chitosan Coating Gel from *Agaricus bisporus*: A Natural Alternative to Chemical Preservatives Kunlanatta Wisukhowong
	ENSD 2025-33 การสกัดเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวสังข์หยดและไคโตซานเกล็ดปลาเพื่อประยุกต์ใช้ในการเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพดูดซับสีย้อม สาวิกา เบ็ญละโต๊ะ, ธัญพิชชา คำใหญ่, ปริณดา ห้องแก้ว, และ สุภาวดี สุกดำ
	ENSD 2025-37 กายวิภาคศาสตร์เนื้อเยื่อชั้นผิวใบและหม้อของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์ (*Nepenthes suratensis*): พืชเฉพาะถิ่น (endemic species) และพืชใกล้สูญพันธุ์ (endanger species) ของจังหวัดสุราษฎร์ธานีและประเทศไทย วรัชยา รองรัตน์, อภิชญา สังหอ, และ กฤติณ ทิพย์มณเฑียร
	ENSD 2025-38 การศึกษาผลกระทบของค่าความเค็มในน้ำต่อการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน ดวงฤดี แสงไกร, บุญญรัตน์ ดิษฐสอน, และ พชรพล อินทุเวศ
	ENSD 2025-40 ความหลากหลายของหอยฝาเดียวต่อการบ่งชี้คุณภาพแหล่งน้ำ และบ่งชี้แนวโน้มการติดเชื้อของพยาธิใบไม้ที่มีหอยฝาเดียวเป็นโฮสต์ตัวกลางในแหล่งน้ำชุมชนบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม ภคพร สิทธิบุตร, ญาณกร วิฑูรย์เสถียร, เทิดศักดิ์ สกุลสุข, ศศิวิมล สนิทบุญ, และ จิราภรณ์ แสงประทุม

Time	Event
	ENSD 2025-48 Antioxidant Compounds from Spent Coffee Grounds (SCGs) Packapong Thuthaisong, Apivich Likitlersuang, Sarana Vanichchinchai, Anyapat Tamarree, Yuwajuk Pinnakbud, Konchanok Sriyuttakrai, and et al.
	ENSD 2025-49 องค์ความรู้จากการดำเนินโครงการบริการวิชาการเพื่อพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ด้วยโมเดลเศรษฐกิจ BCG MODEL ศศิวิมล กาหลง
	ENSD 2025-51 Network Pharmacology-Based Investigation of a Traditional Thai Longevity Formula for Anti-Aging Potential Hathaipat Sornnork, Naputsorn Geram, Alongklod Tanomtong, Nattapong Wongchum, Weera Thongnetr, Somchai Pinlaor, and et al.
	ENSD 2025-65 ศึกษาประสิทธิภาพของยีสต์ธรรมชาติจากหัวเชื้อหมักพืชสมุนไพรต่อคุณภาพแป้งพิซซา วิชญมาส ด่านกุล, ธนพิชฌน์ จันทร์เด่นดวง, และ สราวีย์ เมธาพิทักษ์นนท์
	ENSD 2025-68 เทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ เพื่อรองรับระบบเทคโนโลยีแบบแม่นยำในโรงเรือน วิมลรัตน์ ดำขำ, สิทธิพงศ์ ศรีสว่างวงศ์, เปรมจิตต์ ถิ่นคำ, พินิจ จิรัคคกุล, และ พนมไพร สำเร็จรัมย์
	ENSD 2025-71 การกักเก็บคาร์บอนในดินของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ที่มีการต่อระบบแบบผสมผสาน (Hybrid Constructed Wetlands) ดิรดา บุญนารอด, ตุลวิทย์ สถาปนจารุ, อดิศร ทรงคุณ, พรชัย นุ่มวงศ์, และ ศุภวิชญ์ รุ่งเหมือนฟ้า

Time	Event
	ENSD 2025-73 Network Pharmacology-Based Prediction of the Mechanisms of a Traditional Thai Herbal Formula for Diabetes Treatment Naputsorn Geram, Hathaipat Sornnork, Alongklod Tanomtong, Nattapong Wongchum, Weera Thongnetr, Somchai Pinlaor, and et al.
	ENSD 2025-75 การศึกษาการรับรู้ภาวะสุขภาพและพฤติกรรมเสี่ยงด้านสุขภาพจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรที่ปลูกสับปะรดในตำบลทับใต้ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พิสมัย คติชอบ และ สยาม อรุณศรีมรกต
	ENSD 2025-80 การศึกษาประสิทธิภาพของไบโอชาร์ต่อการบำบัดน้ำเสีย บริเวณแหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม พรปวีร์ เอี่ยมเอกสุวรรณ, พัทธดนย์ จิรกิจรัตน์, ณัฏฐ์วรัชญ์ ทองยินดี, น้อยหน่า ศรีทัศน์, เทิดศักดิ์ สกุลสุข, และ จิราภรณ์ แสงประทุม
	ENSD 2025-82 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะด้วยหลัก 3Rs ในชุมชนแออัด แขวงบางโคล่ เขตบางคอแหลม กรุงเทพมหานคร ธัญลักษณ์ ชุณหพงศ์พิเชฐ, ธนาศรี สีหะบุตร, อาทิตย์ โพธิ์ศรี, และ ธวัช เพชรไทย
	ENSD 2025-90 ศึกษาประสิทธิภาพสารสกัดยูจีนอลจากสารสกัดใบโหระพาสกัดแบบหยาบที่เคลือบอยู่บนไหมขัดฟันผลิตมาจากเส้นใยเปลือกทุเรียน รัชชานนท์ บัวเกิด, ศุภณัฐ ทักษกวิน, อภิญญา แซ่โฮ, อดุลย์สมาน สุขแก้ว, อัมพร เพชรโชติ, และ สุธี จุ้งลก

Time	Event
	ENSD 2025-93 ความชุกชุมของแมลงน้ำอันดับ Ephemeroptera, Plecoptera และ Trichoptera บริเวณด้านบนและด้านล่างของฝายคลองคอกช้าง น้ำตกโตนหญ้าปล้อง จังหวัดสงขลา ณมน ชูตระกูลวงศ์, ชิฌาภัฐ สมทรง, ภัณฑิลา คงตีบ, สุรวุธ แสงมณี, และ นาวี หนุนอนันต์
	ENSD 2025-94 ผลของปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินต่อการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชและเชื้อราปฏิปักษ์ในทุเรียน บัญจรัตน์ พันธ์ชำนาญ, ชัยณรงค์ รัตนกรีฑากุล, และ พิสุทธิ์ เขียวมณี
	ENSD 2025-101 การพัฒนาโฟมยางที่ใช้ฟีโรโมนสังเคราะห์เพื่อควบคุมด้วงแรดมะพร้าว *Oryctes rhinoceros* L. วรัญญู สุขโต, วันวิสา ทองฉิม, ภิชาพร ธรรมศิริ, สาธิต บัวดำ, นิธินาถ แซ่ตั้ง, และ นริศ ท้าวจันทร์
	ENSD 2025-102 อุปกรณ์บำบัดน้ำเสียโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงซิงค์ออกไซด์ ปุณยนุช สุระชัย, ตุลยดา แย้มยิ่ง, นิรัชพร วรรณะ, ดวงแข ศรีคุณ, และ ดาราภรณ์ เตรียมโพธิ์
	ENSD 2025-106 การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศในสวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่และอ่างเก็บน้ำแก้มลิงคลองเรียน จังหวัดสงขลา ณัฏฐธิดา รัตนดิลก ณ ภูเก็ต, วิษณุ เสียงหวาน, มันตา นิรันดร์สุข, สุรวุธ แสงมณี และ นาวี หนุนอนันต์
11.00 - 12.00 น.	**นำเสนอผลงานประชุมวิชาการการพัฒนาอย่างยั่งยืนระดับชาติ ครั้งที่ 1** (EN Sustainable Development National Conference # 1: ENSD Conference) (ห้องประชุม 4215/4218/4228)

Time	Event		
11.00 - 12.00 น.	**Session 1** **ห้องประชุม 4215** **Chair: รศ. ดร. กฤตณะ พฤกษากร** **Co-chair: ดร. ภาณุวัฒน์ ประเสริฐพงษ์**	**Session 2** **ห้องประชุม 4218** **Chair: ผศ. ดร. ปรียาพร เกิดฤทธิ์** **Co-chair: ผศ.ดร. วันวิสาข์ ปั้นศักดิ์**	**Session 3** **ห้องประชุม 4228** **Chair: ดร. แพรวา วงษ์บุรี** **Co-chair: ดร.จักรพล พันธุวงศ์ภักดี**
11.00 – 11.10	**กลุ่ม 4 นิเวศวิทยาเมืองและอุตสาหกรรม**	**กลุ่ม 5 เกษตรกรรมที่ยั่งยืนและความมั่นคงทางอาหาร**	**กลุ่ม 10 การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน**
	ENSD 2025-03 การขยายบทบาทฉลากเขียวสู่ความยั่งยืนระดับโลก: การพัฒนา MRA และการสนับสนุน SDGs ถนอมลาภ รัชวัตร์, ฉัตรตรี ภูรัต, และ วิจารย์ สิมาฉายา	ENSD 2025-25 ผลของการเสริมเอนไซม์ช่วยย่อยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งในวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลอง ศศิกานต์ นันแก้ว, ณัฐปภัสร์ ธนพิมพาวงศ์, และ ดรุณี ศรีชนะ	ENSD 2025-01 ขยายผลนวัตกรรมและยกระดับกระบวนการเลือกตั้งออนไลน์อย่างโปร่งใสด้วยระบบ MU Vote มนิตา รัตนเสถียร และ อวยชัย แสงฟ้า
11.10 – 11.20	ENSD 2025-16 การปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในห้องเรียนอนุบาลด้วยหลักการห้องอากาศสะอาดความดันบวก กมลชัย ยงประพัฒน์, เจนจิรา เอกดำรงค์, และ มณีรัตน์ องค์วรรณดี	ENSD 2025-26 ผลของการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกทางการค้าในอาหารที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ หยก ฤทธิ์อนันต์ชัย, ณัฐปภัสร์ ธนพิมพาวงศ์, และ ดรุณี ศรีชนะ	ENSD 2025-05 การเปรียบเทียบการลดน้ำสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปาภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์มาตรวัดน้ำประปา กมลพรรณ จงคงคาวุฒิ และ ฐิตารีย์ วรรณาภรณ์สกุล

Time	Event		
11.20 – 11.30	ENSD 2025-45 กระบวนทัศน์ของเศรษฐกิจเมืองสู่นวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนและการรักษาสมดุลระบบนิเวศ ชนาธิป สารีผล และ ประจวบ ทองศรี	ENSD 2025-27 การศึกษาประสิทธิภาพดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหารต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวัน ฐิตานันท์ ห้วงทรัพย์, ภควัต แอบฉิมพลี, อาภากร ขัดสาย, นพพล อรุณรัตน์, สุกัญญา เสรีนนท์ชัย, ชนานันท์ พิริยเลิศศักดิ์, และ คณะฯ	ENSD 2025-12 การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ กรณีศึกษา: สถานประกอบการซ่อมแซมทองรูปพรรณและเครื่องประดับแห่งหนึ่ง ฟาติมะฮ์ เยี่ยมนิคม
11.30 – 11.40	**กลุ่ม 7 วิทยาศาสตร์ธรรมชาติและนิเวศวิทยา** ENSD 2025-34 ความผันแปรของไอโซโทปเสถียรน้ำ พื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก ปานตะวัน มะศรีพันธ์, ยุทธพงษ์ คีรีมังคละ, พัชเรศร์ ชคัตตรัยกุล, เสาวคนธ์ โนสูงเนิน, นฤมล บัวทอง, เกียรติพงษ์ คำดี, และ คณะฯ	ENSD 2025-60 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด พัชรพรรณ จิตไพศาลโสภณ และ พิมพ์มณี รัตนวิชา	ENSD 2025-18 การพัฒนาระบบบริหารจัดการห้องประชุม กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล อิสสรียา จิตวรานนท์ และ ธิระพงศ์ เหมทานนท์
11.40 – 11.50	ENSD 2025-85 นิเวศวิทยาและโครงสร้างของสังคมพืชที่เปลี่ยนแปลงต่อปัจจัยแวดล้อมจำเพาะบนสังคมพืชเขาหินปูนผุกร่อน ในอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ธานี แสงอ่อน, ธรรมรัตน์ พุทธไทย, สุระ พัฒนเกียรติ, และ นพพล อรุณรัตน์	ENSD 2025-66 โฟมชีวภาพต้นแบบจากเส้นใยเห็ดผสมผสานกับกากกาแฟ กากชา และเปลือกไข่ ธนะพัฒน์ จันทร์เด่นดวง, ปภาวิชญ์ กลิ่นสุวรรณ, ทิพย์ไหมทอง จันทร์เด่นดวง, นัฐวุฒิ บุญยืน, หนึ่งนิตย์ วัฒนวิเชียร, และ ภัทรญา กลิ่นทอง	ENSD 2025-19 การพัฒนาต้นแบบระบบการจัดการที่จอดรถงานพิธีพระราชทานปริญญาบัตร มหาวิทยาลัยมหิดล ปีการศึกษา 2566 ธิระพงศ์ เหมทานนท์ และ อิสสรียา จิตวรานนท์

Time	Event		
11.50 – 12.00	ENSD 2025-89 ความหลากหลายของมดในกับดักผลไม้และกับดักปลาในน้ำตกโตนหญ้าปล้อง จังหวัดสงขลา มนตรี สุวัฒนกุล, วโรดม แก้วงาม, กนกพร นวลดุก, ปรัชญาพร ธรรมวาโร, และ นาวี หนุนอนันต์	ENSD 2025-74 การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารพิษตกค้างโดยใช้ $CaCO_3$ จากเปลือกหอยแครงเสริมสารสกัดซิตริกจากมะนาว ณัฐฌา แซ่หลี, ซีรีน สาเต๊าะ, ฐิติชญา อินมณเทียร, สุธี จุ้งลก, อดุลย์สมาน สุขแก้ว, สิรินาถ ทองทวี, และคณะฯ	ENSD 2025-41 การออกแบบผลิตภัณฑ์หัตถกรรมร่วมสมัย: การต่อยอดงานจักสานกระติบข้าวเหนียวและสิ่งทอจากใยคล้าวัสดุเหลือทิ้งเพื่อความยั่งยืน เกศินี ศรีสอเมือง และ ธนสิทธิ์ จันทะรี
12.00 – 12.10	ENSD 2025-97 การประเมินปริมาณคาร์บอนสะสมด้วยอากาศยานไร้คนขับในแปลงป่าสักที่ดูแล โดยศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี ชินพัฒน์ สะตะ, สุธินี อ่อนอ่วม, ศตายุ ปานจินดา, แรกขวัญ ผลธัญญา, และ พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา	ENSD 2025-91 สภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรตีนของพืชตระกูลถั่วด้วยการปรับค่าpH และวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือ วงศกร วงชารี, ชโยดม คงสมศักดิ์, พลอยแหวน สิงหาสาร, ศศิกาญณ์ ภูงามเขียว, และ คคนางค์ รัตนานิคม	
12.00 - 13.00 น.	**พักรับประทานอาหารกลางวันตามอัธยาศัย บูธอาหารชั้น G**		
13.00 - 16.00 น.	**- นำเสนอผลงานประชุมวิชาการการพัฒนาอย่างยั่งยืนระดับชาติ ครั้งที่ 1** (EN Sustainable Development National Conference # 1: ENSD Conference) (ห้องประชุม 4215/4218/4228)		

Time	Event		
13.00 - 16.00 น.	**Session 1** **ห้องประชุม 4215** **Chair: รศ. ดร. รัตนวัฒน์ ไชยรัตน์** **Co-chair: ผศ. ดร. เพียงใจ พีระเกียรติขจร**	**Session 2** **ห้องประชุม 4218** **Chair: รศ. ดร.นพพล อรุณรัตน์** **Co-chair: ดร. ธัญภัทร ศาสตระบุรุษ**	**Session 3** **ห้องประชุม 4228** **Chair: ศาสตราจารย์ ดร. ดวงรัตน์ อินทร** **Co-chair: รศ. ดร. สุกัญญา เสรีนนท์ชัย**
	กลุ่ม 1 การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และนโยบาย	**กลุ่ม 2 การจัดการมลพิษ**	**กลุ่ม 10 การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน**
13.00 – 13.10	ENSD 2025-02 การศึกษากรรมวิธีการสร้างสรรค์วัสดุป้ายโฆษณาประเภทไวนิลเหลือใช้เพื่อแนวทางการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่สะท้อนต่อวัฒนธรรมสมัยนิยม สุนิสา น้ำดอกไม้ และ ขจรศักต์ นาคปาน	ENSD 2025-08 การจัดการขยะเศษอาหารนำไปสู่โรงเรียนปลอดขยะ วรากร พุ่มมณี, นพดล ปิ่นดอกไม้, ธีรภัทร ปั้นพิพัฒน์, สุรีพร แน่นดี, อภิชัย เชาว์โชติ, และ สุวรรณี อัศวกุลชัย	ENSD 2025-43 การปรับพฤติกรรมและส่งเสริมการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างยั่งยืนภายในภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ชนม์ปุญญ์ แย้มมา, โสภา ชินเวชกิจวานิชย์, และ ภัทรศิริ ฟักแก้ว
13.10 – 13.20	ENSD 2025-04 การวิเคราะห์ทางเลือกในการเลือกเครื่องกลเติมอากาศในแหล่งน้ำผิวดินภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ฐิตารีย์ วรรณาภรณ์สกุล และ กมลพรรณ จงคงคาวุฒิ	ENSD 2025-14 Recovery of Natural Bioactive Extract with Antioxidants and Anti-Tyrosinase from Coffee Silver Skin (CSS) Packapong Thuthaisong, Apivich Likitlersuang, Sarana Vanichchinchai, Napapat Pattanapirom, Kunath Saisoothi, NutwaraTusjunt, and et al.	ENSD 2025-44 พลวัตของการเรียนรู้ตลอดชีวิตและทุนมนุษย์กับการขับเคลื่อนองค์กรสู่ความยั่งยืน อารยา แสงขาว และ ประจวบ ทองศรี

Time	Event		
13.20 – 13.30	ENSD 2025-46 แนวทางการบูรณาการการศึกษาตลอดชีวิตกับนโยบายการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อความมั่นคงทางระบบนิเวศ จารุวัฒน์ ส่งเสริม และ ประจวบ ทองศรี	ENSD 2025-17 การกำจัดสีจากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงพยาบาลด้วยกระบวนการฉายรังสียูวีร่วมกับสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตรีเนตร เจริญสุวรรณ, ศักดิ์นฤน ถนอมไทย, พิจิตร เจียมวรางกูร, และ ขวัญเนตร มนูญพงศ์	ENSD 2025-59 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เพื่อลดเวลาในการดำเนินงานของบุคลากรสายสนับสนุนสู่ความยั่งยืนในอนาคต ชิตณัช ธชีพันธ์, อภิรมย์ ฉายเพิ่มศักดิ์, และ ฆนัท พูลสวัสดิ์
13.30 – 13.40	ENSD 2025-50 ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของมาตรการทางภาษีต่อการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาเพื่อกระตุ้นเศรษฐกิจสีเขียวในประเทศไทย สุวิมล บัวพรหม	ENSD 2025-56 ระบบจัดการอาหารผ่านระบบ IoT ลักษณ์นารา จันทรารมย์, ดุสิต งามรุ่งโรจน์, สาลินี อาจารีย์, และ วริษฐ์ ธรรมศิริโรจน์	ENSD 2025-62 อิทธิพลของประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง นรินทร์ ขำแจ่ม และ พิมพ์มณี รัตนวิชา
13.40 – 13.50	ENSD 2025-54 การประเมินการรับรู้ของประชาชนต่อผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งเพื่อสนับสนุนการจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาหาดเจ้าสำราญ จังหวัดเพชรบุรี บุณยาพร สุจริต และ ปรียาภรณ์ หมื่นราช	ENSD 2025-81 การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำแข็งของร้านจำหน่ายอาหารภายในพื้นที่คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตพญาไท สุวิชญา พานุพันธ์, อาชีดีน ตะโละดิง, ณัฐเศรษฐ ชำนาญมาก, ธีรภัทร เอรวัล, และ ธีรพงษ์ เลิศอัศวกร	ENSD 2025-69 ชุดสาธิตการทำงานระบบหัวกรอของยูนิตทันตกรรม สำหรับประกอบการอบรมและบรรยาย ณัฐวิชช์ วงษ์ฮ้อเจริญ, กมล ยอดญาติไทย, นพพล อิ่มศิลป์, ปฐมพงศ์ แสงพันธ์, ปรีชา แก้วชูเงิน, สิทธิพร หาพร, สุลักษณ์, และ คณะฯ

Time	Event		
13.50 - 14.00	ENSD 2025-55 การประเมินวัฏจักรชีวิตของจานฟางข้าวและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กรณีศึกษา: ตำบลหนองน้ำใส อำเภอภาขี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา นาฟีซะห์ มะหะหมัด, สุกัญญา เสรีนนท์ชัย, จิรทยา เริ่มมนตรี และ มณฑิรา ยุติธรรม,	ENSD 2025-92 โฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนในอากาศด้วยสาหร่ายคลอเลร่า กนกกานต์ มีแก้ว และ นพรัตน์ วันแก้ว	ENSD 2025-70 การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบน้ำหัวกรอของยูนิตทันตกรรม ณัฐวิชช์ วงษ์ฮ้อเจริญ, ปฐมพงศ์ แสงพันธ์, นิติรุจน์ กุลวิไชยศักดิ์, และ อรพธู กุลวิไชยศักดิ์
14.00 – 14.10	ENSD 2025-57 ประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้า โดยใช้สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ สรธร สุขสัมฤทธิ์ และ ปวริศร์ พงษ์ศิริวัฒน์	ENSD 2025-99 การย่อยสลายพลาสติกชีวภาพภายใต้สภาวะการหมักขยะอินทรีย์และสภาวะจริงในบ่อฝังกลบขยะ ทิพย์อาภรณ์ บุบผาชาติ, พีระพงศ์ โภคพัทน์, สิริกร ศาสตระรุจิ, ณัฏฐาพัชร์ สังขนันท์, บรรพต เจี้ยงเจริญ, เบญจวรรณ ทองชื่นตระกูล, และคณะฯ	ENSD 2025-72 แนวทางการออกแบบเพื่อความยั่งยืนในงานขอนแก่นมาราธอนนานาชาติ: การประยุกต์จากกรณีศึกษาระดับนานาชาติสู่บริบทของจังหวัดขอนแก่น มนต์ธิดา เลิศนิมานรดี
14.10 – 14.20	ENSD 2025-67 น้ำหมักจุลินทรีย์เพื่อการจัดการขยะกระดาษที่ไม่สามารถรีไซเคิล: ทางเลือกสีเขียวเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ธนศิษฎ์ จันทร์เด่นดวง, ธีรวัชร ฉวีนิล, ทิพย์อาภรณ์ บุบผาชาติ, พีระพงศ์ โภคพัทน์, ชมณัฏฐ์ชา บุญมี, และ จุฑารัตน์ ใจงาม	ENSD 2025-100 การเพิ่มประสิทธิภาพการลดก๊าซเรือนกระจก จากการนำน้ำทิ้งและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมชุมชนมาใช้ประโยชน์ วิจักขณ์ เจริญสุข และ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์	ENSD 2025-78 การออกแบบและพัฒนาระบบสำรองด้วยกูเกิลไซต์สำหรับใช้จัดการประชุมวิชาการในสภาวะโครงสร้างพื้นฐานด้านไอทีมีปัญหา กรณีศึกษา: งานประชุมวิชาการสาธารณสุข ระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 ธวัชชัย ก้านศรีรัตน์, ฤทธิรงค์ พันธ์ดี, และ พรชนก นุชนารถ

Time	Event		
14.20 – 14.30	ENSD 2025-76 การศึกษาผลกระทบของโครงข่ายพื้นฐานต่อป่าไม้ในภาคเหนือของประเทศไทย อริญชย์ อินอ่ำ	**กลุ่ม 8 พลังงานทางเลือก** ENSD 2025-21 การพัฒนาขั้วไฟฟ้าทังสเตนออกไซด์เพื่อผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการไฟฟ้าเคมีเชิงแสง กัลยา ทองมาก, ธีระ บุตรบุรี, จักรพล พันธุวงศ์ภักดี, ศุภศิลป์ ทวีศักดิ์, และ เพียงใจ พีระเกียรติขจร	ENSD 2025-83 แนวทางการเสริมสร้างเด็กและเยาวชนต้นแบบความเป็นพลเมืองโดยใช้หลักการสุจริตโมเดล (SUJARIT Model) ภายใต้การใช้แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนเป็นกระแสหลัก สุภชัย อุดคำ
14.30 – 14.40	ENSD 2025-77 การประยุกต์ใช้ดัชนีคุณภาพน้ำของมาเลเซียในการประเมินคุณภาพน้ำผิวดินในคลองพื้นที่กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ณัฐนันท์ พลอยพรม, อาทิตย์ โพธิ์ศรี, และ ธนาศรี สีหะบุตร	ENSD 2025-47 การจัดการแบตเตอรี่หมดอายุการใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้าประเทศไทย ภูเมธ บุญญานพนนท์ และ จักรพงศ์ พงศ์ธไนศวรรย์	ENSD 2025-86 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น นฤมล กำลังเกื้อ, อรวรรณ หนูแก้ว, และ วีณา คันฉ้อง
14.40 – 14.50	Break		
14.50 - 15.00	ENSD 2025-79 ปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการจัดการขยะ และแนวทางสู่แผนปฏิบัติการการจัดการขยะมูลฝอย: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลบ้านดอน อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี อรณัฐ โสมภีร์, สุกัญญา เสรีนนท์ชัย, นพพล อรุณรัตน์, และ ศรัณยา สุจริตกุล	**กลุ่ม 3 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยพิบัติ** ENSD 2025-07 การศึกษาศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนประเภทสวนสาธารณะพื้นที่ขยายเมืองใหม่ : กรณีศึกษา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม จีรกานต์ กวินธร, จิรทยา เริ่มมนตรี, อรันย์ ศรีรัตนา ทาบูกานอน และ มณฑิรา ยุติธรรม	ENSD 2025-104 การออกแบบผลิตภัณฑ์ด้วยการอัปไซคลิ่งผ้า Non-woven เหลือใช้ทางการแพทย์: ความร่วมมือระหว่างโรงพยาบาลกรุงเทพขอนแก่นและคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มนต์ธิดา เลิศนิมานรดี, เกศินี ศรีสองเมือง, และ ขวัญหทัย ธาดา

Time	Event		
15.00 – 15.10	ENSD 2025-98 เกมและสถานการณ์จำลองเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้เกี่ยวกับมูลค่าบริการของระบบนิเวศ และความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่ถ้ำเขาช้างหาย จังหวัดตรัง ณกุลกานต์ สิงห์เหาะ, พิณอัญญา เตชะธนะชัย, ชินพัฒน์ สะตะ, ภูมิพัฒน์ ศรีเสวก, พิชญดา เตียวเจริญ, และ พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา	ENSD 2025-09 การศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดิน ในพื้นที่ปลูกยางพารา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ภาคตะวันออก และภาคใต้ อนุวัตร ปู่สันจร, จิรทยา เริ่มมนตรี, พิสุทธิ นาคหมื่นไวย, และ มณฑิรา ยุติธรรม	**กลุ่ม 6 สังคมศาสตร์และสาธารณสุข** ENSD 2025-06 การประเมินผลประสิทธิภาพหน้ากากอนามัยใช้ครั้งเดียวสำหรับเด็กเล็ก ณัฐนพินทุ์ มณีสิริกาญจนา, ณัฐวรรณ มีไทย, กมลชัย ยงประพัฒน์, เจนจิรา เอกดำรงค์, และ มณีรัตน์ องค์วรรณดี
15.10 – 15.20	ENSD 2025-105 การประเมินระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์: กรณีศึกษาชั้นน้ำบาดาลพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย ชุตินันท์ ลิมปกาญจน์เวช และ ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์	ENSD 2025-88 การประเมินสถานการณ์ CMIP6 ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิสูงสุดรายวันของประเทศไทย ขวัญฤทัย เรณูหอม, ศิรพงศ์ สุขทวี, โสภา ชินเวชกิจวานิชย์, กมลวัฒน์ นาคะสรรค์, และ สุวิสา มหาสันทนะ	ENSD 2025-61 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ เจนชินา กิตติวศิน และ พิมพ์มณี รัตนวิชา

Time	Event		
15.20 – 15.30	**กลุ่ม 9 สารสนเทศสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ** ENSD 2025-10 การประเมินการเปลี่ยนแปลงเชิงปริภูมิเวลาของสังคมพืชในป่าผสมผลัดใบมหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี ปฐมพต ฉินสวัสดิ์พันธุ์, ธรรมรัตน์ พุทธไทย, สุระ พัฒนเกียรติ, และ พิสุทธิ นาคหมื่นไวย	ENSD 2025-107 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและเกษตรกรรม: มุมมองจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ณัฐวุฒิ พิมพา และ ณพล อนุตตรังกูร	ENSD 2025-87 ไฟฉายไล่ยุงจากสมุนไพรเทพทาโร ชัยรัตน์ สิงหพันธ์, ศิวกร แซ่ไหล, ปภาวิน ภักดีรักษ์พงศ์, อดุลย์สมาน สุขแก้ว, สุธี จุ้งลก, และ อัมพร เพชรโชติ
15.30 – 15.40	ENSD 2025-39 ภูมิศาสตร์กับการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของป่าชุมชนบ้านหนองบัว อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น ปุริมฤทธิ์ โปร่งใจ, พชรพล สายอินทร์, พลากร กอบัว, กวิสรา แทนชิน, และ กัญญ์วรา ชะทา		ENSD 2025-96 นวัตกรรมน้ำผักสกัดเย็นตามแนวคิดโภชนาการอีพีเจเนติกสำหรับกลุ่มวัยเรียนที่ไม่ชอบทานผัก ณอัญญา ธนินภัสสร
15.40 – 15.50			ENSD 2025-103 ความแตกต่างระหว่างเจเนอเรชันในด้านบุคลิกภาพ การมีส่วนร่วมกับดนตรี และแนวทางในการแสวงหาความสุข: การศึกษาแบบสหวิทยาการโดยใช้โมเดล DISC และ Hamburger สิริมา พลเทพ และ ปรัชญพงศ์ ยาศรี

สารบัญ

การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม และนโยบาย

Oral Presentation

การศึกษากรรมวิธีการสร้างสรรค์วัสดุป้ายโฆษณาประเภทไวนิลเหลือใช้เพื่อแนวทางการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่สะท้อนต่อวัฒนธรรมสมัยนิยม

สุนิสา น้ำดอกไม้* และขจรศักต์ นาคปาน

คณะมัณฑนศิลป์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร
* Corresponding author: namdokmai_s@silpakorn.edu

บทคัดย่อ

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน วิวัฒนาการการเอาตัวรอดของมนุษย์มีหลากหลายรูปแบบ นับตั้งแต่การสร้างความเปลี่ยนแปลงด้วยเครื่องมือการเอาชีวิตรอดที่อยู่ใกล้ตัวอย่างหิน ไม้ สู่เครื่องมือที่ได้จากอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ของผู้ประกอบการและผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจเข้ามามีบทบาท ก่อนที่ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจะผ่านการตัดสินใจซื้อจากผู้บริโภคย่อมมีการสื่อสารจากผู้ผลิตผ่านวัสดุสื่อโฆษณาอย่างป้ายไวนิลเพื่อประชาสัมพันธ์ถึงคุณภาพและสรรพคุณของสินค้าที่ต้องการโน้มน้าวจิตใจผู้ซื้อ เกิดกระแสนิยมการบริโภคคล้อยตามอันเกิดจากความต้องการของมนุษย์ที่ไม่มีที่สิ้นสุด และแน่นอนว่าวัสดุประเภทนี้ยังมีการผลิตเพื่อโฆษณาอย่างแพร่หลายเนื่องจากราคาถูก มีความทนทานต่อสภาพอากาศ และมีแนวโน้มการผลิตที่มากขึ้นเรื่อย ๆในอนาคต บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาแนวทางการสร้างสรรค์เพื่อแปรเปลี่ยนคุณลักษณะของวัสดุโฆษณาเหลือใช้และขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากกระบวนการออกแบบที่เหมาะสม 2) ศึกษาบริบทของสังคมในวัฒนธรรมสมัยนิยมที่มีการโฆษณาชักจูง เพื่อให้มนุษย์ตระหนักคิดต่อการบริโภคนิยมมหาศาล ให้เกิดคุณค่าในงานออกแบบ สู่การตีความและแปรความหมายใหม่อันเป็นผลจากกระบวนการสร้างสรรค์ โดยคุณภาพชีวิตของมนุษย์ได้แปรเปลี่ยนตามคุณลักษณะของสินค้าอุปโภคบริโภคต่างๆ นั่นหมายถึงวัสดุเหลือใช้จากการโฆษณาสินค้าก็มีจำนวนมหาศาลปีต่อปี ฉะนั้นการกำจัดขยะเหล่านี้ด้วยการสร้างความเปลี่ยนแปลงต่อรูปลักษณ์ของวัสดุรวมถึงมูลค่า ผ่านการศึกษากรรมวิธีที่ส่งผลต่อรูปลักษณ์อันแตกต่างและยืดอายุการใช้งาน การนำขยะจากอุตสาหกรรมการโฆษณามาแปรสภาพเป็นวัสดุทดแทน เป็นอีกหนึ่งแนวทางการฟื้นฟูไปสู่เศรษฐกิจหมุนเวียน นำไปสู่แนวความคิดจากป้ายโฆษณาที่เคยทำหน้าที่โฆษณาในระยะเวลาที่มนุษย์ต้องการกลับทอดทิ้งสิ่งเหล่านี้ไปเมื่อหมดประโยชน์ การเกิดขึ้นของวัสดุใหม่นี้เป็นที่ตอกย้ำของการกลับมาทำหน้าที่โฆษณาอีกครั้ง แต่อยู่ในรูปแบบที่ทรงคุณค่ากว่า

คำสำคัญ: กรรมวิธี / วัฒนธรรมสมัยนิยม / การโฆษณา / ป้ายโฆษณาไวนิล / ต้นแบบผลิตภัณฑ์

Study of the creative process of recycled vinyl advertising materials for the purpose of creating product prototypes that reflect popular culture

Sunisa Namdokmai*and Khajornsak Nakpan

Faculty of Decorative Arts, Silpakorn University, Phra Nakhon District, Bangkok
* Corresponding author: namdokmai_s@silpakorn.edu

Abstract

From the past to the present, the evolution of human survival has been diverse, starting from creating changes with survival tools that are close to us, such as rocks and wood, to tools from large-scale industries of entrepreneurs and economic benefits. Before all products are decided to be purchased by consumers, there must be communication from the manufacturer through advertising materials such as vinyl signs to publicize the quality and properties of the products that want to persuade buyers. There is a trend of consumption that follows the endless human needs. And of course, this type of material is still widely produced for advertising because it is cheap, durable against weather conditions, and has a tendency to increase production in the future. This research article aims to 1) study the creative approach to transform the characteristics of waste advertising materials and form products from appropriate design processes. 2) study the context of society in popular culture that has persuasive advertising to make people aware of the enormous consumerism, creating value in design work, leading to new interpretations and meanings as a result of the creative process. The quality of human life has changed according to the characteristics of various consumer goods. That means that waste materials from product advertising are enormous every year. Therefore, the elimination of this waste by creating changes to the appearance of materials, including their value, through studying the processes that affect different appearances and extend their service life. Transforming waste from the advertising industry into alternative materials is another way to restore a circular economy. This leads to the idea of billboards that used to serve as advertisements during times when humans needed them, but then abandoned them when they were no longer useful. The emergence of this new material is a reminder of the return to serve as advertising, but in a more valuable.

Keywords: Process / Popular culture / Advertising / Vinyl billboard / Product prototype

1. บทนำ

ในอดีตมนุษยชาติได้มีการพัฒนารูปแบบการใช้ชีวิตด้วยวิถีและกลยุทธ์ต่างๆเพื่อตอบสนองต่อความต้องการมนุษย์ในหลายๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านอุตสาหกรรม ด้านเทคโนโลยี ด้านการตลาดแต่ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพชีวิตมนุษย์โลกล้วนบ่งชี้ให้ชัดเจนที่สุดในกลางศตวรรษที่ 1980 เป็นต้นมา การเกิดวัฒนธรรมคล้อยตามที่เรียกว่าวัฒนธรรมสมัยนิยม [8] นักมานุษยวิทยาพยายามทำความเข้าใจเกี่ยวกับวัฒนธรรมจูงใจอันน่าอัศจรรย์นี้และเกิดการสังเคราะห์ให้บริบทของสิ่งนี้มีความชัดเจนมากขึ้นโดยประสบการณ์ของเหล่ามนุษย์ในยุคปัจจุบันเป็นการเสพสื่อที่ได้รับความนิยม อันเกิดจากการปรากฏแก่สายตาผู้บริโภคในเรื่องความเปล่งประกาย นำไปสู่ความหลงใหล ก่อเกิดปัจจัยใน ด้านความคิด ความรู้สึกทางใจ ต่อผลผลิตด้านการค้าในระบบอุตสาหกรรม เช่น การ์ตูน เพลง ละคร เครื่องแต่งกาย ของเล่น รวมไปถึงโฆษณาและสื่อต่าง ๆที่ประโลมโลกเพื่อเบี่ยงเบนความทุกข์ให้แก่สังคม ประกอบกับระบบการค้าที่ขับเคลื่อนความรุ่งเรืองทางธุรกิจของตนด้วยการใช้การโฆษณา สื่อสารอันเป็นกลยุทธ์ชักจูง และเข้ามามีผลต่อจิตใจของสังคม กล่าวถึงความสัมพันธ์เชิงอำนาจระหว่างท้องถิ่นและสังคมมนุษย์ที่ขับเคลื่อนด้วยทุนนิยมนั้น หนึ่งสิ่งที่พัฒนาร่วมกันในศาสตร์การกระตุ้นการรับรู้ต่อจิตใจและประจักษ์ในทุกยุคสมัยคือการสื่อสารด้วยการโฆษณา แน่นอนว่าสิ่งที่สังคมได้ตอบสนองต่อความนิยมเหล่านั้น เกิดจากการรับสารที่เป็นสิ่งเอื้ออำนวยต่อความรุ่งเรืองของเหล่านักธุรกิจที่ต้องการสร้างแรงจูงใจแก่ผู้บริโภค ทั้งในยุคปัจจุบันยังคงมีสินค้าที่เกิดการแข่งขันเพื่อสร้างความหมายให้กับชีวิต ผ่านโสตประสาททั้ง5 ของมนุษย์ คือ การมองเห็น การฟัง การสัมผัส การลิ้มรส และการดมกลิ่น มุ่งหวังการเข้าถึงผู้บริโภคกลุ่มใหญ่อันมีศักยภาพมากกว่าการเจาะจงเฉพาะบุคคลใดบุคคลหนึ่ง สิ่งเหล่านี้ล้วนนำไปสู่การมีอิทธิพลเหนือผู้รับสาร ครอบงำการตัดสินใจและส่งผลให้เศรษฐกิจในยุคสมัยที่เต็มไปด้วยการโฆษณานั้นก่อเกิดการบริโภคนิยมที่ล้นเหลือเกินความจำเป็น ถึงแม้จะมีการตลาดอย่างธุรกิจพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์แต่ในสังคมที่สัญจรด้วยคมนาคม มีปัจจัยหนึ่งในบริบทของการแพร่ข่าวสารจากผู้ส่งถึงผู้รับที่เป็นรูปธรรมเห็นและจับต้องได้อีกประเภทหนึ่ง หนีไม่พ้นวัสดุสื่อประเภทพลาสติกที่สร้างจากโพลิไวนิลคลอไลด์ (PVC) ทั้งยังส่งผลในด้านลบต่อการทำลายขยะเหล่านี้ด้วยการเผา และนำไปฝังเพื่อประหยัดต่องบประมาณ การกระทำที่คุ้นเคยเหล่านี้ทำให้ขยะจากสื่อสิ่งพิมพ์เพื่อการโฆษณาชวนเชื่อประโลมโลกเหล่านี้ ได้อุบัติขึ้นในรูปแบบของพลาสติกที่ส่งผลต่อโลก เชื่อมโยงกับประสบการณ์ในชีวิตประจำวัน เล็งเห็นความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุโฆษณากับบริบทแวดล้อม โดยถูกสร้างขึ้นตั้งแต่ ค.ศ. 1835 โดย Jared Bell สำหรับประชาสัมพันธ์คณะละครสัตว์ Barnum And Bailey ในนิวยอร์ก [2] ไวนิลเป็นวัสดุสำคัญที่มีบทบาทกับมนุษย์มาอย่างยาวนาน จึงเกิดแนวคิดการนำมาใช้เป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์หมุนเวียน ดังนั้นการปรับเปลี่ยนคุณลักษณะของวัสดุสำคัญจากแนวทางการสร้างสรรค์นั้นล้วนแสดงสักยภาพเรื่องการแทนค่าวัสดุทางเลือกใหม่และมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) [9] เป็นหนึ่งในโครงการยุทธศาสตร์ชาติครอบคลุมช่วงระยะเวลาที่ต้องบรรลุภายใน 15 ปี ได้เป็นทิศทางการพัฒนาอันเกี่ยวเนื่องกับความเป็นอยู่ของสังคมเป็นการสร้างสมดุลและเป้าหมายของการนำกลับมาใช้ใหม่ ในการศึกษากรรมวิธีการสร้างสรรค์วัสดุป้ายโฆษณาประเภทไวนิลเหลือใช้เพื่อออกแบบแนวทางการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่สะท้อนต่อวัฒนธรรมสมัยนิยม กำหนดให้มุ่งเน้นเรื่องผลลัพธ์ที่กระตุ้นต่อการตระหนักรู้ของการบริโภค การสร้างมูลค่า (Upcycling) ให้กับวัสดุเหลือใช้ โดยนำมาคัดแยกองค์ประกอบด้วยการดึงเส้นใยด้านใน นำมาย้อมสีและใช้การปักเพิ่มผิวสัมผัส (Texture) ให้กับผลิตภัณฑ์ โดยสร้างสรรค์ไปควบคู่กับพลาสติกด้านนอกที่มีความทนทานในตัววัสดุเอง ทั้งนี้การเลือกใช้วัสดุสื่อโฆษณาเป็นตัวแปรสำคัญในการสร้างผลิตภัณฑ์เพื่อโฆษณาในความหมายใหม่นี้ มีแนวทางการศึกษาที่มุ่งเน้นการใช้วัสดุโฆษณาที่มีคุณลักษณะแตกต่างกันแต่สามารถอยู่ร่วมในสังคมเดียวกันได้ รวมถึงแนวความคิดและกระบวนการทดลองจากวัสดุป้ายโฆษณา ให้เกิดคุณค่าในงานออกแบบด้วยกลยุทธ์ในหน้าที่การโฆษณา

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษากรรมวิธีการสร้างสรรค์เพื่อแปรเปลี่ยนคุณลักษณะของวัสดุโฆษณาไวนิลเหลือใช้ อันเล็งเห็นถึงความเป็นไปได้ในการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์จากกรรมวิธีที่เหมาะสม
2. ศึกษาบริบทของสังคมในวัฒนธรรมสมัยนิยมที่มีการโฆษณาชักจูง เพื่อให้มนุษย์ตระหนักคิด ต่อการบริโภคนิยมมหาศาล ให้เกิดคุณค่าในงานออกแบบ อันเป็นผลจากกระบวนการสร้างสรรค์

3. นิยามศัพท์

กรรมวิธี (process) หมายถึง วิธีการที่ใช้ในการดำเนินการต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนที่ชัดเจนและจัดองค์ประกอบของการทำงาน กรรมวิธีอาจหมายถึงหลาย ๆ เหตุการณ์ เช่น "กรรมวิธีการผลิต" ขั้นตอนต่าง ๆ ตามลำดับหรือการผลิตสินค้าและตรวจสอบคุณภาพเพื่อนำเสนอสินค้า

วัฒนธรรมสมัยนิยม (pop Culture) หมายถึง "วัฒนธรรมป็อป" หลายๆด้านที่มีความสำคัญในสังคมและรวมถึงเหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงในวัฒนธรรมรูปแบบใหม่ และมีทั่วโลกด้วยสื่อที่แพร่กระจายผ่านอุปกรณ์อิเลกทรอนิกส์ เช่นโทรทัศน์, วิทยุ, โทรศัพท์ รวมถึงหนังสือพิมพ์ แต่ในเทคโนโลยีปัจจุบันจักนิยมศึกษาจากสื่อออนไลน์ เช่น แพลตฟอร์ม Facebook, Instagram, Twitter, Netflix, YouTube, TikTok อันเป็นศูนย์กลางการกระจายวัฒนธรรมในวงกว้างผ่านเทคโนโลยี ถือเป็นจุดศูนย์กลางวัฒนธรรมตามสมัยที่ก่อเกิดการคล้อยตามกันที่เรียกว่าวัฒนธรรมสมัยนิยม

การโฆษณา (advertising) หมายถึง คือข้อความชักจูงที่มาควบคู่กันกับพื้นฐานของสินค้า, การบริการ, หรือแนวคิดต่าง ๆ สำหรับผู้บริโภค โดยกลุ่มเป้าหมายจะผ่านการตัดสินใจซื้อสินค้านั้นๆ ผู้โฆษณาจักต้องแสวงหาช่องทางสื่อสารกับผู้บริโภคหลายรูปแบบ เช่น โทรทัศน์, วิทยุ, หนังสือพิมพ์, นิตยสาร, สื่อออนไลน์ รวมไปถึงสื่อกลางแจ้งอย่าง ป้ายบิลบอร์ด, รถเมล์ เป็นต้น

ป้ายโฆษณาไวนิล (vinyl advertising signs) หมายถึง วัสดุใช้ในสื่อโฆษณา ราคาไม่สูงและง่ายต่อการติดตั้ง โดยทั่วไปใช้ในการโฆษณาผลิตภัณฑ์ บริการ หรือกิจกรรมต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ป้ายโฆษณาไวนิลยังทนต่อสภาพอากาศได้ดี

ต้นแบบผลิตภัณฑ์ (Product prototype) หมายถึง จุดริเริ่มในการผลิตที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ครั้งใหม่ในอนาคต เนื่องจากมีรูปแบบที่มองเห็นถึงความเป็นไปได้ ช่วยให้การออกแบบควบคุมในระบบอุตสาหกรรมได้ง่ายในระยะยาว

4. ขอบเขตของการศึกษา

ผู้วิจัยมุ่งเน้นและศึกษาข้อเท็จจริง รวมถึงความเป็นมาเกี่ยวกับวัฒนธรรมสมัยนิยมในช่วงศตวรรษที่ 19 อันกล่าวถึงกลุ่มคนหมู่มากที่ลุ่มหลงในวัตถุนิยมและการใช้สื่อโฆษณามหาศาลในการประชาสัมพันธ์ข่าวสารเพื่อผลประโยชน์ด้านเศรษฐกิจ ส่งผลให้เกิดขยะจากสื่อโฆษณามากมายและจำเป็นต้องได้รับการแก้ไข โดยใช้วิธีการศึกษาจากแหล่งข้อมูลต่างๆเช่น รูปแบบของงานวิจัยเชิงสร้างสรรค์ เสาะหากระบวนการสร้างสรรค์เพื่อนำมาปรับใช้ให้เหมาะสมกับรูปแบบของงานวิจัยและสร้างแนวทางนำไปสู่การโฆษณาในความหมายใหม่ซึ่งก่อให้เกิดมุมมองความรู้สึกนึกคิดด้านสิ่งแวดล้อมผู้วิจัยจึงกำหนดขอบเขตของการศึกษาดังนี้

4.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การออกแบบงานสร้างสรรค์จากวัสดุโฆษณาเหลือใช้ที่มุ่งเน้นต่อการตระหนักรู้เกี่ยวกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม การกระตุ้นความรู้สึกของผู้คนได้นั้นต้องอาศัยความเข้าใจและความเชื่อมโยงที่มีความเป็นไปได้และได้รับการตรวจสอบข้อมูลอย่างถี่ถ้วน ผู้วิจัยได้ศึกษาเพื่อทำความเข้าใจบริบทของโลก ความเป็นมาของวัฒนธรรมสมัยนิยมที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการบริโภคอันฟุ่มเฟือยเหล่านี้ และความสัมพันธ์ระหว่างวัฒนธรรมสมัยนิยมกับการผลิตสื่อโฆษณาชวนเชื่อที่สอดคล้องกันในเชิงการกระตุ้นเศรษฐกิจด้านการค้าที่ไม่คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผู้วิจัยจึงเสาะหาแนวทางการแก้ไขด้วยการแสดงถึงศักยภาพของวัสดุที่มีการโฆษณาในยุควัฒนธรรมสมัยนิยมที่มีบทบาท รวมถึงศึกษาบริบทต่างๆทางสังคมเทียบเคียงกับแนวคิดทางปรัชญาและสุนทรียศาสตร์

4.2 ขอบเขตด้านรูปแบบและกรรมวิธีการสร้างสรรค์

การสร้างการรับรู้เพื่อตระหนักถึงสาเหตุของความไม่สมดุลในสภาพแวะล้อมให้แก่คนหมู่มากนั้นเป็นเรื่องที่ท้าทาย ดังนั้นจะต้องอาศัยกระบวนการสร้างสรรค์ที่ครอบคลุม และสามารถเห็นถึงมุมมองความปรารถนาของผู้วิจัยได้อย่างชัดแจ้ง ปัจจุบันความก้าวหน้าของเทคโนโลยีได้เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุโฆษณาเหลือใช้ไปอย่างต่อเนื่อง การออกแบบที่มีศิลปะสมัยใหม่เข้ามามีบทบาทจึงจำเป็นต่อกระบวนการสร้างสรรค์ที่สามารถดำเนินการไปควบคู่กัน

จากพัฒนาการด้านศิลปะดังกล่าว จึงเห็นความเป็นไปได้ โดยผู้วิจัยได้พิจารณาจากพื้นผิวของวัสดุที่สามารถนำไปใช้ขึ้นรูปต้นแบบได้หลากหลาย รูปแบบการสร้างสรรค์ผลงานออกแบบนั้นต้องได้จากการศึกษาและสกัดนำเอาแนวทางการสร้างสรรค์ที่เหมาะสมกับคุณสมบัติของวัสดุในงานวิจัยชิ้นนี้ มาใช้สร้างผลิตภัณฑ์ที่สามารถสื่อความหมายได้อย่างสุนทรีและการแปรความหมายไปในทิศทางที่ดี ดังต่อไปนี้

4.3 คุณสมบัติและคุณลักษณะของวัสดุโฆษณาเหลือใช้ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆด้วยกันดังนี้

- พลาสติก ที่มีชั้นพลาสติกพีวีซี (PVC Membrane) และ ชั้นเคลือบ ป้องกันยูวี (UV Coating)
- เส้นใยโพลิเอสเตอร์ (Polyester Scrim) การแปรรูปวัสดุให้ต่างไปจากรูปลักษณ์ความคุ้นชินเดิมนั้น ต้องมีกระบวนการสร้างสรรค์ที่เหมาะสมต่อคุณลักษณะและพื้นผิวของวัสดุ เพื่อเกิดมุมมองทางความงามที่มีผลกับความรู้สึก

5. วิธีการศึกษา

5.1 รวบรวมข้อมูล

การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุป้ายโฆษณาไวนิลนั้นจักต้องอาศัยการทดลอง เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลอันประจักษ์และมองเห็นถึงความเป็นไปได้ในอนาคต นำไปสู่การรวบรวมข้อมูลลักษณะทางกายภาพของวัสดุป้ายโฆษณาดังนี้

ป้ายโฆษณานั้นมีอยู่ 2 ประเภท ด้วยกัน คือ

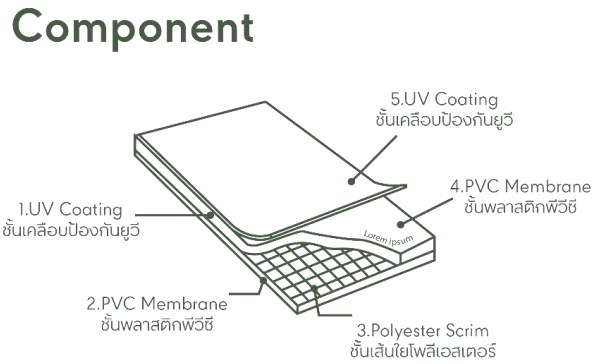
- ป้ายโฆษณาทึบแสง เป็นป้ายที่มีการเคลือบสารเคมีที่ด้านหลัง เมื่อพิมพ์อิงค์เจ็ทเวลาส่องไฟจะมองไม่ทะลุ
- ป้ายโฆษณาโปร่งแสง เป็นป้ายที่มีการเคลือบสารเคมีที่ด้านหลังบางกว่าแบบทึบแสง ซึ่งแสงสามารถส่องทะลุได้ สามารถใช้ได้ทั้งงานกลางแจ้งและในอาคาร ส่วนใหญ่จะนิยมใช้ป้ายไวนิลโปร่งแสงประกอบกับกล่องไฟป้ายกล่องไฟ (Lightbox) และประเภทของป้ายโฆษณาที่เป็นปัญหาต่อทรัพยากรคือป้ายทึบแสงที่เหมาะกับการตีพิมพ์และติดประกาศ ทั้งชั่วคราวหรือใช้ในพิธีต่างๆ มองว่าป้ายประเภทนี้จะต้องเปลี่ยนรูปแบบการนำเสนอทุกๆปี และไม่สามารถลบและตีพิมพ์ใหม่ได้ จึงจำเป็นต้องทิ้ง ส่งผลให้ขยะประเภทเคลือบสารเคมีอย่างโฆษณาถูกทิ้งปีต่อปีและมีจำนวนมหาศาล

5.2 รูปแบบและกรรมวิธีการสร้างสรรค์

คุณสมบัติและคุณลักษณะของวัสดุโฆษณาเหลือใช้ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆด้วยกันดังนี้

- พลาสติก ที่มีชั้นพลาสติกพีวีซี (PVC Membrane) และ ชั้นเคลือบ ป้องกันยูวี (UV Coating)
- เส้นใยโพลิเอสเตอร์ (Polyester Scrim)

เมื่อกล่าวถึงคุณลักษณะทางกายภาพของวัสดุ ตั้งแต่การผลิตและการใช้งานไปจนถึงการกำจัด พีวีซีก่อให้เกิดภัยคุกคามร้ายแรงต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยทำให้ชุมชนรายย่อย คนงานในอุตสาหกรรมและผู้บริโภคต้องสัมผัสกับสารเคมีอันตราย [10] การประเมินค่าความเสี่ยงนี้มีความสำคัญอย่างมากในการเสาะหากรรมวิธีโดยคำนึงถึงความปลอดภัยและเหมาะสมต่อการขึ้นรูปต้นแบบผลิตภัณฑ์มากที่สุด



(ก) องค์ประกอบของวัสดุจากป้ายโฆษณาไวนิล

รูปที่ 1 แสดง (ก) องค์ประกอบของวัสดุจากป้ายโฆษณาไวนิล

จักเห็นได้ว่าข้อมูลตัวอย่างของวัสดุนั้นสามารถเล็งเห็นถึงประสิทธิภาพในการนำไปแปรรูปลักษณะผ่ายกรรมวิธีที่เหมาะสม ผู้วิจัยจึงนำวัสดุมาแบ่งแยกประเภทจากการศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับวัสดุดังกล่าวได้ผลดังนี้

(ก) พลาสติก

(ข) เส้นใย

รูปที่ 2 แสดง (ก) พลาสติกด้านนอกถูกเคลือบด้วยสารโพลิไวนิลคลอไรด์หรือสารชะลอการเผาไหม้ (ข) เส้นใยโพลิเอสเตอร์ด้านในแบบสาน

การทดลองพลาสติกจากป้ายโฆษณาไวนิลด้วยกรรมวิธีต่างๆ

(ก) พลาสติกที่ทดลองด้วยกรรมวิธีต่างๆ

รูปที่ 3 แสดง (ก) พลาสติกจากป้ายโฆษณาไวนิลที่ถูกทดลองด้วยวิธีต่างๆ

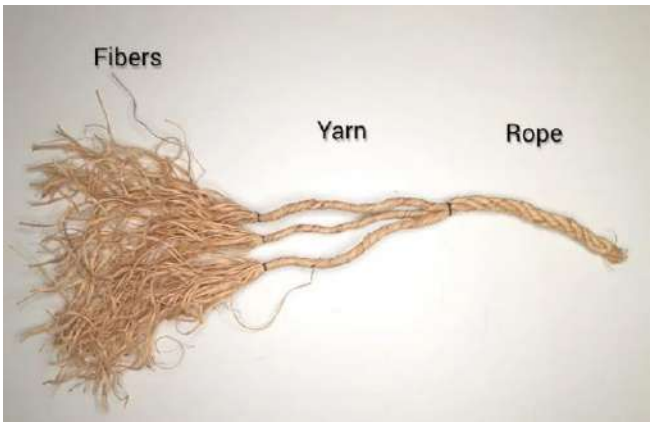
โดยสรุปกระบวนการทดลองในส่วนของพลาสติกดังนี้

กระบวนการชำแหละสารตั้งต้นอย่างป้ายไวนิล แบ่งออกเป็นพลาสติกที่มีความทนทานและยืดหยุ่น สามารถนำไปทดลองโดยแบ่งการทดลองควบคู่วัสดุอื่น ๆ ได้ผลดังนี้

1. วัสดุป้ายไวนิลที่ผ่านการปะติดปะต่อ มีโครงสร้างที่มั่นคงแต่อาจจะไม่เหมาะสมกับการผลิตที่ต้องการสินค้าในปริมาณที่มากนักเพราะต้องอาศัยความประณีตในการปะติดปะต่อด้วยกาวและจัดสมดุล
2. วัสดุป้ายไวนิลที่ผ่านการเย็บ ลักษณะของการเย็บในงานวัสดุจากป้ายไวนิลนั้นเหมาะสำหรับใช้ในวัสดุที่มีลักษณะเป็นเศษเหลือเพื่อเย็บให้เข้ากัน เป็นอีกหนึ่งวิธีที่แสดงให้เห็นว่าการหยิบยกเศษเหลือทิ้งขนาดเล็กมาประยุกต์ใช้ในงานออกแบบนั้นมีความเป็นไปได้
3. วัสดุป้ายไวนิลที่ใช้ควบคู่กับลูกปัด กระบวนการทดลองทางวัสดุที่นำเอาวัสดุหลักและวัสดุรองมาประยุกต์และออกแบบควบคู่กันแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติที่ยืดหยุ่น เข้ากับวัสดุอื่นได้หลากหลาย การใช้ลูกปัดควบคู่ก็เป็นอีกหนึ่งแนวทางการสร้างสรรค์ไปควบคู่กันและยังเห็นถึงความเป็นไปได้ต่อการประยุกต์ใช้ในอนาคต

4. วัสดุป้ายไวนิลที่ผ่านการเย็บรูปแบบเส้นและนำมาสาน เป็นกระบวนการทดลองที่มีความเป็นไปได้สูงสุดเพราะการนำป้ายไวนิลมาตัดและเย็บเส้นแบน จากนั้นนำไปสาน กระบวนการนี้เป็นหนึ่งในกระบวนการที่นักวิจัยเล็งเห็นว่าสามารถนำไปผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย ทั้งยังเข้าถึงง่ายต่อผู้บริโภคทั้งยุคเก่าและยุคปัจจุบัน
5. วัสดุป้ายไวนิลที่ผ่านการใช้ควบคู่กับห่วงสแตนเลส โครงสร้างที่มาจากป้ายไวนิลและสแตนเลสนั้น มีลักษณะที่คล้อยตามกัน มีความยืดหยุ่น และพลิ้วไหวต่อการนำไปใช้งาน นอกจากนี้การใช้สแตนเลสที่มีสีเงินนั้น บ่งบอกถึงบุคลิกที่กลุ่มวัยรุ่นส่วนใหญ่ชื่นชอบ
6. วัสดุป้ายไวนิลที่ใช้ถักกับไหมพรม การถักอาจใช้เวลานาน ฉะนั้นการถักไหมพรมควบคู่กับวัสดุป้ายไวนิลอาจต้องใช้เวลาและเป็นงานฝีมือที่ไม่เหมาะกับการจำกัดเวลาในการผลิต แต่กระบวนการนี้ก็มีความยืดหยุ่นและสามารถออกแบบได้หลากหลายเช่นกัน

การทดลองส่วนของเส้นใยพอลิเอสเทอร์จากป้ายโฆษณาไวนิลด้วยวิธีการควบเกลียวและย้อมสี



รูปที่ 4 แสดงกรรมวิธีการทำเชือกสมัยโบราณ Brinkman Crafts (2022).

ลักษณะเส้นใยที่แสดงนั้นใช้กรรมวิธีการควบเกลียวที่เกิดจากภูมิปัญญาในการทำเชือกสมัยโบราณ โดยพบหลักฐานการทำเชือกที่เก่าแก่ที่สุดตั้งแต่ปี ค.ศ.1350 และต่อมามีการคิดค้นสิ่งประดิษฐ์เพื่อให้ง่ายต่อการทำเชือกในศตวรรษที่ 17 เพื่อใช้ในระบบการผลิตที่ใหญ่ขึ้น โดยใช้กำลังคนอย่างน้อย 3 คนต่อ 1 เครื่อง และใช้พื้นที่ขนาดใหญ่ การประดิษฐ์เครื่องทำเชือกในสมัยก่อนมิใช่แค่สำหรับอุตสาหกรรมขนาดย่อมเท่านั้น แต่ประชากรทั่วไปก็สามารถทำเชือกใช้เองได้ในบ้านของตนผ่านเครื่องควบเชือกขนาดเล็ก [5]

(ก) การเกลียวเส้นและนำมาย้อมสี (ข) การเกลียวเส้นและย้อมสีในป้ายที่ลักษณะแกรมหนา

รูปที่ 5 แสดง (ก) เส้นโพลิเอสเตอร์ที่ถูกเกลียวด้วยวิธีทำเชือกโบราณจากนั้นนำไปย้อมด้วยสีสังเคราะห์และ (ข) เส้นโพลิเอสเตอร์จากป้ายไวนิลมีขนาด 500 แกรม ที่ถูกเกลียวด้วยวิธีทำเชือกโบราณจากนั้นนำไปย้อมด้วยสีสังเคราะห์ (Sunisa, 2021)

การศึกษากรรมวิธีการสร้างสรรค์วัสดุป้ายโฆษณาประเภทไวนิลเหลือใช้เพื่อออกแบบแนวทางการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่สะท้อนต่อวัฒนธรรมสมัยนิยมแสดงกรรมวิธีด้านการออกแบบที่ได้รับจากข้อมูลอันเป็นองค์ความรู้ด้านบริบทของสังคมในอดีตและยุคปัจจุบัน แสดงออกถึงการเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆ ด้วยการทดลองที่ประจักษ์เหล่านี้เล็งเห็นความสร้างสรรค์ด้านสุนทรียภาพของชีวิตมนุษย์ผู้เกี่ยวเนื่องกับวัฒนธรรมคล้อยตามอันส่งผลต่อทรัพยากร กล่าวได้ว่าวัสดุที่ทดลองเหล่านี้เกิดขึ้นจำนวนมากจากน้ำมือมนุษย์ กลายเป็นวัสดุทดแทนหนังและสิ่งทอด้วยการแสดงออกผ่านสื่อในรูปแบบของผลิตภัณฑ์บริโภคนิยมต่าง ๆ อันเป็นปัจเจกและความต้องการของมนุษย์ เนื่องจากสิ่งเหล่านี้ถูกชักจูงด้วยการโฆษณาครั้งอดีตจวบจนปัจจุบัน สิ่งบริโภคทั้งหลายล้วนต้องการการสื่อสาร รวมไปถึงกลยุทธ์วิธีการเพื่อให้ได้มาซึ่งผลประโยชน์

วัฒนธรรมสมัยนิยมดังกล่าวปรากฏหลักฐานตั้งแต่ทศวรรษที่ 1920 เป็นยุคที่วัฒนธรรมป็อปเข้ามามีบทบาทในชีวิตของมนุษย์ เช่น แฟลปเปอร์ รถยนต์ ดนตรีแจ๊ส ภาพยนตร์ และไนต์คลับ และผู้คนในยุค 1920 ก็ได้สะท้อนให้เห็นถึงยุคใหม่แห่งความเจริญรุ่งเรืองและเสรีภาพ [3] รวมถึงงานศิลปะ Pop Art กระแสศิลปะในช่วงปลายทศวรรษ 1950 และ 1960 ที่ได้รับแรงบันดาลใจจากวัฒนธรรมเชิงพาณิชย์และสมัยนิยม ถูกกำหนดให้เป็นการตอบสนองต่อค่านิยมที่ขับเคลื่อนด้วยสินค้าโภคภัณฑ์ในยุคหลังสงคราม [4]

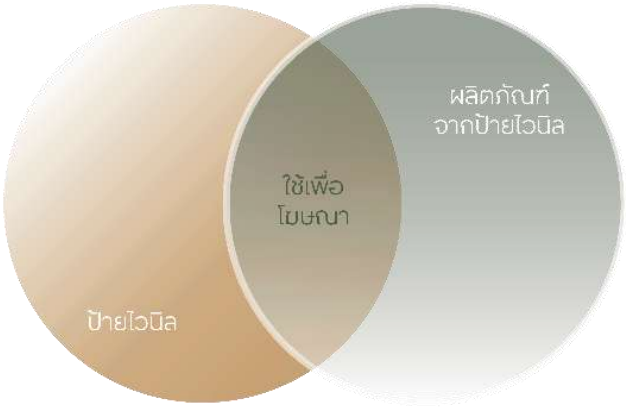
นอกเหนือจากการศึกษาเชิงลึกกับวัสดุป้ายโฆษณาไวนิลแล้ว ยังมีส่วนของการวิจัยเชิงศึกษาบริบทของสังคมตั้งแต่ยุคสมัยศตวรรษที่ 19 ถึงศตวรรษที่ 21 เนื่องจากช่วงเวลานี้ได้เกิดการปฏิวัติอุตสาหกรรม มีการขยายตัวของการผลิตสินค้าเพื่อมวลชนจำนวนมาก สินค้าถูกทำให้เหมือนกันเพื่อตอบสนองคนที่ต้องการบริโภค เมืองมีการขยายตัวออกไปเรื่อย ๆ มนุษย์ต้องการความสะดวกสบายมากขึ้น สินค้าในอุตสาหกรรมจึงมีความจำเป็น วัฒนธรรมแบบนี้จึงถูกมองว่าเป็น วัฒนธรรมบริโภคภายใต้ระบบตลาดและทุนนิยม โดยเฉพาะในสังคมอเมริกัน มีการผลิตสินค้าออกสู่ท้องตลาดโดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นมวลชนที่มีฐานะและรายได้ใกล้เคียงกัน กระแสการบริโภคสินค้าในสังคมอเมริกันถูกนำไปเชื่อมโยงกับสภาพแวดล้อมทางการเมืองของอเมริกันที่ประชาชนมีสิทธิและเสรีภาพ [1] การศึกษากรรมวิธีการสร้างสรรค์วัสดุป้ายโฆษณาประเภทไวนิลเหลือใช้เพื่อออกแบบแนวทางการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่สะท้อนต่อวัฒนธรรมสมัยนิยมนั้นเกิดขึ้นเพื่อเสาะหาปัญหาจากสินค้าและบริการอันก่อผลเสียต่อ

สภาพแวดล้อมและการเปลี่ยนแปรไปของบริบทโลกทั้งยุคก่อน จนถึงยุคปัจจุบัน สร้างผลิตภัณฑ์อันเป็นที่ต้องการของมนุษย์ โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบต่อธรรมชาติ ความต้องการนั้นอยู่กับมนุษย์มาช้านานและเล็งเห็นถึงความไม่มีที่สิ้นสุดต่อความต้องการ ฉะนั้นสินค้าเหล่านี้จะถูกขายให้กับผู้บริโภคมิได้ ถ้าไม่มีการสื่อสารที่ชวนเชื่อ ชวนหลงใหล นำไปสู่ภาวะตรึกตรองในการตัดสินใจซื้อสินค้าและสิ่งบริโภค

การสื่อสารที่จำเป็นและมุ่งหวังให้ผู้รับสื่อเข้าใจสถานการณ์ของผู้ผลิตนั้นมีหลายปัจจัย ทั้งด้านการออกแบบ ความคิดสร้างสรรค์ ปัจเจกบุคคล ราคาถูก คุณภาพดี แต่สิ่งหนึ่งที่ผู้คนหันมาบริโภคก็คือสินค้าที่มีความ ECO ตระหนักถึงสิ่งแวดล้อมไปควบคู่กับการได้สินค้าและบริการนั้นมาครอบครอง

จากข้อมูลดังกล่าวเปิดเผยให้เห็นว่า ป้ายโฆษณานั้นอยู่กับมนุษย์มาช้านาน โดยถูกสร้างขึ้นตั้งแต่ยุคศตวรรษที่ 13 ในช่วงปี ค.ศ. 1835 โดย Jared Bell สำหรับประชาสัมพันธ์คณะละครสัตว์ Barnum And Bailey ในนิวยอร์ก จากจุดเริ่มต้นสู่ปัจจุบันที่มนุษย์โลกมีการพัฒนาในระบบต่างๆ ทั้งอุตสาหกรรมและการพัฒนาด้านเศรษฐกิจที่รุ่งเรืองมากขึ้น

แนวคิดและทฤษฎี



รูปที่ 6 แสดงผังแนวความคิดในการโฆษณาอันทรงคุณค่า

การศึกษากรรมวิธีการสร้างสรรค์วัสดุป้ายโฆษณาประเภทไวนิลเหลือใช้เพื่อออกแบบแนวทางการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่สะท้อนต่อวัฒนธรรมสมัยนิยม จักชี้ให้เห็นถึงปัญหาด้านการโฆษณานำไปสู่การบริโภคที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างมนุษย์กับธรรมชาติและยังเป็นศูนย์กลางที่สำคัญยิ่งของประสบการณ์อันถือเป็นความจริงของมนุษย์บนโลก [7] การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากการศึกษาของทฤษฎีผ่านกระบวนการทดลองวัสดุต้นแบบ แสดงออกถึงวิธีการโน้มน้าวที่เป็นหน้าที่ของวัสดุตั้งต้น นั่นก็คือการโฆษณา ซึ่งผลผลิตด้านการสร้างสรรค์นี้มุ่งเน้นในเรื่องความแตกต่างจากวัสดุป้ายโฆษณาที่ปรับเปลี่ยนรูปลักษณ์เป็นเส้นใยเกิดประสิทธิผลในรูปแบบที่คาดไม่ถึง โดยสร้างสรรค์ไปควบคู่กับพลาสติกด้านนอกที่มีความทนทานในตัววัสดุเอง ทั้งนี้ยังมีแนวความคิดจากป้ายโฆษณาที่เคยทำหน้าที่โฆษณาในระยะเวลาที่มนุษย์ต้องการ กลับทอดทิ้งสิ่งเหล่านี้ไปเมื่อหมดประโยชน์ การเกิดขึ้นของวัสดุใหม่นี้เป็นการตอกย้ำการโฆษณาที่กลับมาทำหน้าที่โฆษณาอีกครั้ง แต่อยู่ในรูปแบบที่ทรงคุณค่ามากกว่าเดิม

6. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษากรรมวิธีการสร้างสรรค์วัสดุป้ายโฆษณาประเภทไวนิลเหลือใช้เพื่อออกแบบแนวทางการสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่สะท้อนต่อวัฒนธรรมสมัยนิยม โดยแยกขอบเขตการวิจัยเป็น 2 ส่วนได้แก่ ด้านรูปแบบและกรรมวิธีการสร้างสรรค์และด้านเนื้อหาเพื่อศึกษาทำความเข้าใจบริบทของโลก ความเป็นมาของวัฒนธรรมสมัยนิยมที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการบริโภคที่ฟุ่มเฟือย

อันเกิดจากการโฆษณาโดยผ่านวัสดุโฆษณาที่มีอย่างแพร่หลายและการโฆษณาสินค้าเป็นที่ต้องการมากขึ้น จำนวนป้ายโฆษณาก็เพิ่มจำนวนมหาศาลเช่นกันนำไปสู่การวิจัยด้านรูปแบบและกรรมวิธีการสร้างสรรค์ที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปและผลิตต้นแบบในอนาคต การหากรรมวิธีการแปรรูปวัสดุจักแบ่งออกเป็น 2 องค์ประกอบด้วยกันคือ พลาสติกที่มีชั้นพลาสติกพีวีซี (PVC Membrane) มีชั้นเคลือบป้องกันยูวี (UV Coating) และเส้นใยโพลิเอสเตอร์ (Polyester Scrim) โดยการคัดแยกเส้นใยออกจากแผ่นพลาสติกที่ได้จากป้ายโฆษณา เพื่อนำไปต่อยอดผลิตภัณฑ์ ซึ่งตัวเลือกของผลิตภัณฑ์ในยุคปัจจุบันที่ต้องการความหลากหลาย งานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้รับการกลั่นกรองในเรื่องวัสดุที่มีความคล้ายคลึงหรือเหมือนกัน และส่วนมากเป็นไปในทิศทางเดียวกัน การแก้ปัญหาของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอาจมีความคล้ายในเรื่องของผลลัพธ์ของผลิตภัณฑ์ที่เจาะจงหรือถูกควบคุมโดยคุณสมบัติของวัสดุเอง ฉะนั้นการมีตัวเลือกที่หลากหลายในหนึ่งวัสดุ จะส่งผลต่อพฤติกรรมผู้บริโภคในอนาคต รวมไปถึงความเปลี่ยนแปลงต่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยมุ่งเน้นด้านการออกแบบเชิงสร้างสรรค์ที่ก่อให้เกิดความหลากหลายและความเป็นไปได้ในวัสดุบริโภคนิยมอันมหาศาล เพิ่มตัวเลือกใหม่ทางการค้าในยุคปัจจุบันอย่างมีคุณภาพ แนวความคิดที่ดีของการออกแบบนั้นไม่เพียงแต่สรรค์สร้างสิ่งสวยงามเพื่อตอบสนองผู้บริโภคหากแต่ต้องการผลิตภัณฑ์ชิ้นใหม่ที่ไม่เหมือนใคร และสร้างจากสิ่งเก่า ดังนั้นกระบวนการทดลองพลาสติกและเส้นใยผ่านการสร้างสรรค์รูปแบบจากป้ายโฆษณาไวนิลเหลือใช้ มุ่งเน้นถึงความตระหนักของผู้บริโภคที่อาจมีความคิดเชิงลบกับสินค้าไลฟ์ไตล์ที่มาจากขยะ คุณภาพและความหลากหลายของงานออกแบบที่มาจากขยะนั้นมีผลเป็นอย่างมาก บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อมและสังคมในปัจจุบัน ทั้งนี้ สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) เป็นหนึ่งในโครงการยุทธศาสตร์ชาติครอบคลุมช่วงระยะเวลาที่ต้องบรรลุภายใน 15 ปี ได้เป็นทิศทางการพัฒนาอันเกี่ยวเนื่องกับความเป็นอยู่ของสังคมเป็นการสร้างสมดุลและเป้าหมายของการนำกลับมาใช้ใหม่ [9]

รูปที่ 7 แสดง วัสดุโพลิเอสเตอร์แผ่นสมบูรณ์ และตัวอย่างการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่ผู้วิจัยเคยออกแบบด้วยการปักจากโพลิเอสเตอร์ในวัสดุป้ายโฆษณาไวนิลเพื่อทดสอบศักยภาพและประสิทธิผลของวัสดุ

รูปที่ 8 แสดง วัสดุพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์ ผ่านการขึ้นรูปตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผู้วิจัยเคยออกแบบด้วยการสานจากพลาสติกด้านนอกของวัสดุป้ายโฆษณาไวนิล เพื่อทดสอบศักยภาพและประสิทธิผลของวัสดุ

7. สรุปผลการศึกษา

วิธีการดำเนินการวิจัยเตรียมความรู้และเสาะหากรรมวิธีเพื่อการนำไปสู่ประสิทธิผลที่เหมาะสมที่สุดและใช้ในการวิจัยด้านวัสดุเพื่อนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ในอนาคต วัสดุตั้งต้นที่ได้สามารถแสดงออกเป็นสองส่วน ได้แก่ 1.พลาสติก ที่มีชั้นพลาสติกพีวีซี (PVC Membrane) และ ชั้นเคลือบป้องกันยูวี (UV Coating) 2.เส้นใยพอลิเอสเทอร์ (Polyester Scrim)

การทดลองวัสดุPVC (Polyvinyl Chloride) จะแบ่งออกเป็นการทดลองพลาสติกและการทดลองเส้นใยพอลิเอสเทอร์ เพื่อศึกษากระบวนการที่แตกต่าง ทั้งนี้ ใน 2 คุณลักษณะ เป็นการทดลองรูปแบบที่แปลกออกไป เพื่อลดสิ่งเหลือใช้ไปควบคู่กันและมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงจำเป็นต้องใช้ทั้งพลาสติกและเส้นใยในการขึ้นรูป โดยผลการทดลองพลาสติกที่ได้ สามารถนำไปต่อยอดได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการปะติดปะต่อ การเย็บติด การร้อย ทั้งนี้เส้นใยที่ได้จากแผ่นป้ายโฆษณายังมีความคงทน นำไปย้อมด้วยสีสังเคราะห์และนำมาปัก (Punch Needle)

จากป้ายโฆษณาไวนิล ซึ่งมีความสำคัญทั้งด้านกระบวนการสร้างสรรค์และด้านเนื้อหา เมื่อนำมาบูรณาการกันจะทำให้เห็นถึงการเชื่อมโยงระหว่างวัสดุศาสตร์และปรัชญา เกิดเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างและคาดไม่ถึงว่าคุณลักษณะของเส้นใยจักได้มาจากแผ่นป้ายโฆษณา โดยคุณสมบัติที่ได้นั้นสามารถใช้ประกอบการออกแบบ การใช้เป็นวัสดุทดแทน ทั้งยังเป็นวัสดุทางเลือกให้กับผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงกันอย่างเช่น หนัง เส้นใยสังเคราะห์ เป็นต้น เป้าหมายสำคัญของผลงานชิ้นนี้คือยืดระยะเวลาการใช้งานจากวัสดุที่ล้นเหลือและหาได้ง่าย สู่การแปลงสภาพที่แตกต่าง การสร้างสรรค์กรรมวิธีและหารูปแบบที่หลากหลาย

ด้วยสาระสำคัญของวัฒนธรรมสมัยนิยม (Pop Culture) ที่ถูกเรียบเรียงขึ้นตั้งแต่ทศวรรษที่ 1920 อธิบายถึงความแปรเปลี่ยนของโลกด้วยศาสตร์ต่าง ๆ โดยไม่ยึดติดกับความเป็นอยู่ในยุคสมัยเก่าอย่างเดียว มนุษย์ต่างเสาะหาความสะดวกสบายในการใช้ชีวิต ทั้งนี้เพื่อให้ความหมายของการดำรงอยู่ของมนุษย์และโลกนั้นมีความทะเยอทะยาน และการดิ้นรนสู่ความเจริญ ยังรวมถึงการพัฒนาตนในด้านต่าง ๆ มุ่งหมายให้มนุษย์เป็นที่ยอมรับ นำไปสู่บริโภคนิยมที่มาควบคู่กับการโฆษณา แสวงหารายได้ของผู้ผลิตภายใต้การรับรู้ถึงความต้องการอันไม่มีที่สิ้นสุดของมนุษย์

ดังนั้นการหยิบยกวัสดุเพื่อการโฆษณาอย่างป้ายโฆษณาไวนิลมาเสริมสร้างวิธีการทางการออกแบบและประยุกต์ เพื่อให้มนุษย์พิจารณาความเป็นอยู่ทั้งในอดีตและปัจจุบัน มีการบริโภคที่ฟุ่มเฟือยและส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมมากเพียงใด ประกอบกับโครงสร้างสังคมที่เปลี่ยนไปในแง่ความคิดการบริโภค ปัจจุบันมนุษย์หันมาให้ความสำคัญกับการบริโภคสินค้าเพื่อความยั่งยืน

(sustainable products) มากขึ้น โดยรายงานระบุว่า 95% ของผู้ตอบแบบสำรวจกล่าวว่าได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในชีวิตประจำวัน จึงทำให้เกิดการตระหนักรู้และเป็นเหตุให้มนุษย์มากกว่าครึ่ง (58%) เลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืนเพิ่มมากขึ้น และยังเต็มใจที่จะจ่ายเงินเพิ่มขึ้นถึง 11.7% ของราคาสินค้าโดยเฉลี่ย [6]

การนำขยะทางการโฆษณาเหล่านี้มาสร้างสรรค์งานออกแบบ แน่นอนว่าคุณค่าของผลิตภัณฑ์อาจจะลดลงหรือไม่มีผู้ใดกล้าซื้อ หากแต่คุณค่าเกิดจากการเห็นค่าสิ่งเก่าผ่านกระบวนการคิดค้นแนวทางการผลิตที่อยู่ในรูปแบบใหม่ รวมถึงความตระหนักต่อผลกระทบที่ตามมาในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

[1] ดร.นฤพนธ์ ด้วงวิเศษ. (2024). Popular Culture. คำศัพท์ทางมานุษยวิทยา (Anthropology Concepts). https://anthropology-concepts.sac.or.th/glossary/110

[2] ตุลยา สวนสันต์. (June 22, 2021). *'ป้ายบิลบอร์ด' จากสิ่งโปรโมตคณะละครสัตว์ ไปเป็นการ์ดอวยพรวันเกิดศิลปิน*. urban Creature. https://urbancreature.co/billboard-advertising-history/

[3] Adam K. Raymond. (Oct. 23, 2016). The 70 Greatest Conspiracy Theories in Pop-Culture History. https://www.vulture.com/2016/10/pop-culture-conspiracy-theories-c-v-r.html

[4] Brian Duignan. (2025). Britannica. (Editors of Encyclopaedia Britannica). Pop art. https://www.britannica.com/art/Pop-art

[5] Brinkman Crafts (2022). *Medieval rope making with bast using a reel and a stick*.[Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=jp8XgSqCN30&list=PLio5ea0cxFthsSrxEpl9JaVytB_5UGkt3&index=7

[6] Online Manager. (Sep 5, 2024). เทรนด์ ECO แรงจริง. https://mgronline.com/greeninnovation/detail/9670000082459

[7] Relph, E. (1976). Place and Placelessness. London: Pion.

[8] Ruth Eastman. (1926). Judge. (Printed No.6). https://oercommons.org/courseware/lesson/87987/student/?section=0

[9] Sustainable Development Goals. (2015). sdgmove. https://www.sdgmove.com/intro-to-sdgs/

[10] Toxic Free Future. (May 2024). Ban PVC and vinyl chloride. https://toxicfreefuture.org/key-project/ban-pvc-and-vinyl-chloride/

การวิเคราะห์ทางเลือกในการเลือกเครื่องกลเติมอากาศในแหล่งน้ำผิวดิน ภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา

ฐิตารีย์ วรรณาภรณ์สกุล* และ กมลพรรณ จงคงคาวุฒิ

งานสาธารณูปโภคและระบบอาคาร กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

*Corresponding author: E-mail: thitaree.wan@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ทางเลือกในการเลือกเครื่องกลเติมอากาศในแหล่งน้ำผิวดินภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ปัจจุบันกองกายภาพและสิ่งแวดล้อม สนับสนุนการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว (Green University) โดยมุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยีในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ เพื่อเพิ่มออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ให้กับสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำและเพื่อให้คุณภาพน้ำผิวดินดีขึ้น ดังนั้นเพื่อส่งเสริมการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียวอย่างยั่งยืน บทความวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการเลือกเครื่องกลเติมอากาศในแหล่งน้ำผิวดิน ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยมหิดล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเติมออกซิเจนละลายน้ำในน้ำผิวดิน ออกซิเจนในน้ำ Dissolved oxygen (DO) คือ ปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำ วัดเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) หมายถึง จำนวนมิลลิกรัมของออกซิเจนที่ละลายในน้ำหนึ่งลิตร โดยการวัดออกซิเจนละลายน้ำบริเวณจุดติดตั้งเครื่องเติมอากาศแต่ละประเภท เพื่อเปรียบเทียบทางเลือกระหว่าง เครื่องเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำชนิด 4 ใบพัด, กังหันตีน้ำชนิด 10 ใบพัด, แบบทุ่นลอย Jet Aerator, กังหันชัยพัฒนา, กังหันตีน้ำ 4 ใบพัดแบบโซลาร์เซลล์ และน้ำพุ โดยการวิเคราะห์ครอบคลุมพื้นที่ส่วนกลางของมหาวิทยาลัยมหิดล จากการวิเคราะห์พบว่าเครื่องเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำชนิด 10 ใบพัดมีประสิทธิภาพสูงสุดในการเติมอากาศในแหล่งน้ำ และกังหันตีน้ำ 4 ใบพัดแบบโซลาร์เซลล์ มีความคุ้มค่าสูงสุดต่อการลงทุนในการติดตั้งเครื่องกลเติมอากาศ ในพื้นที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา อีกทั้งยังเป็นการการอนุรักษ์พลังงานอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน ตามนโยบายของมหาวิทยาลัยอีกด้วย

คำสำคัญ: เครื่องกลเติมอากาศ/ ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

Analysis of Alternatives for Selecting Aerators in Surface Water Sources within the Area of Mahidol University, Salaya Campus

Thitaree Wannapornsakul* and Kamolphan Jongkongkawutthi

Physical systems and Environment, Mahidol University, Thailand.

*Corresponding author: thitaree.wan@mahidol.ac.th

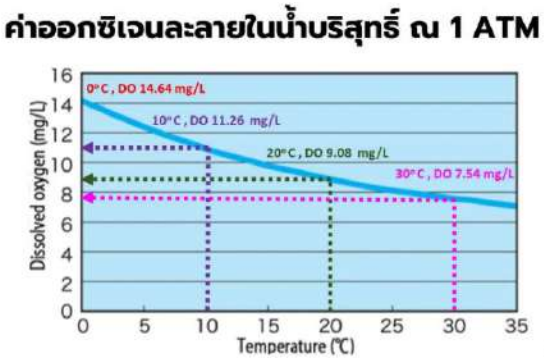
Abstract

Analysis of alternatives for selecting aerators in surface water sources within the area of Mahidol University, Salaya Campus. Currently, Physical and Environmental Division, Mahidol University, Salaya Campus supports being a Green University by focusing on using technology in water resource management to increase dissolved oxygen (DO) for aquatic organisms and to improve surface water quality. Therefore, in order to create efficiency and effectiveness in being a sustainable green university, this research article aims to find guidelines for selecting aerators to be used in surface water sources within the area of Mahidol University, Salaya Campus, to increase the efficiency of adding dissolved oxygen to surface water. Dissolved oxygen (DO) is the amount of oxygen in water, measured in milligrams per liter (mg/L), meaning the number of milligrams of oxygen dissolved in one liter of water. By measuring the dissolved oxygen of each type of aerator, to compare the options between a 4-blade water turbine aerator, a 10-blade water turbine, a floating Jet Aerator, a Chaipattana turbine, a 4-blade solar-powered turbine, and a fountain. The analysis covers the central area of Mahidol University, which consists of 4-blade turbine aerators totaling 10 units, 10-blade turbines totaling 5 units, 3 Jet Aerators totaling 3 units, 1 Chaipattana turbine, 16 solar-powered 4-blade turbines, 42 fountains, and 2 large fountains, totaling 83 units. The analysis found that the 10-blade turbine aerators are the most efficient in aerating water sources, and the 4-blade solar-powered turbines are the most cost-effective in installing aerators in the area of Mahidol University, Salaya Campus. It is also a continuous and sustainable energy conservation in accordance with the university's policy.

Keywords: aerators in surface water sources/ dissolved oxygen (DO)

1. บทนำ

มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ตั้งอยู่เลขที่ 999 ถนนพุทธมณฑล สาย 4 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม มีพื้นที่ 1,242 ไร่ 20 ตารางวา หรือประมาณ 2 ตารางกิโลเมตร ประกอบด้วย หน่วยงาน 45 หน่วยงาน พื้นที่น้ำผิวดิน 221,080 ตารางเมตร หรือ 138 ไร่ 70 ตารางวา คิดเป็น 11.12% ของพื้นที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา และมีการติดตั้งเครื่องกลเติมอากาศเพื่อเติมออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) ในน้ำผิวดิน เพื่อเพิ่มการไหลเวียนของน้ำทำให้น้ำไม่เน่าเสีย ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ มีความจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตหลายรูปแบบ เช่น ปลา สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง พืช และแบคทีเรีย สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการหายใจ คล้ายกับสิ่งมีชีวิตบนบก ปลาได้รับออกซิเจนสำหรับการหายใจทางเหงือก ในขณะที่พืชและแพลงก์ตอนพืชต้องการออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพื่อการหายใจ เมื่อไม่มีแสงสำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำที่ต้องการจะแตกต่างกันไปในแต่ละชนิดของสัตว์น้ำ เช่น ปลาน้ำตื้นต้องการระดับที่สูงขึ้น 4-8 mg/L โดยความสามารถออกซิเจนละลายในน้ำบริสุทธิ์ ณ 1 ATM ที่ 30 องศาเซลเซียสมีค่า 7.54 mg/L ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ค่าออกซิเจนละลายในน้ำบริสุทธิ์ ณ 1 ATM (mg/L) ที่อุณหภูมิต่างๆ [1]

จุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรียและเชื้อราก็ต้องการออกซิเจนที่ละลายในน้ำเช่นกัน สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ใช้ DO เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ด้านล่างของแหล่งน้ำ การสลายตัวของจุลินทรีย์มีส่วนสำคัญในการรีไซเคิลสารอาหาร อย่างไรก็ตาม หากมีสารอินทรีย์ที่เน่าเปื่อยมากเกินไป จากสาหร่ายที่กำลังจะตายและสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในน้ำที่มีการหมุนเวียนไม่บ่อยหรือไม่มีเลย ออกซิเจนในน้ำจะถูกใช้อย่างรวดเร็ว โดยค่า DO ตามแหล่งน้ำจะแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1) น้ำในธรรมชาติทั่วไปปกติจะมีค่า DO ประมาณ 5 - 7 mg/L

2) มาตรฐานน้ำที่มีคุณภาพดี จะมีค่า DO ประมาณ 5 – 8 mg/L

3) น้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำกว่า 3 mg/L

ปัจจัยที่ส่งผลต่อออกซิเจนในน้ำ (Dissolved Oxygen)

แหล่งน้ำสองแห่งที่อิ่มตัวด้วยอากาศ 100% ไม่จำเป็นต้องมีความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำเท่ากัน ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจริง (เป็นมิลลิกรัม/ลิตร) จะแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิ ความดัน และความเค็ม

1. ออกซิเจนในน้ำจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นซึ่งหมายความว่าน้ำผิวดินมีปริมาณออกซิเจนในน้ำน้อยกว่าบริเวณน้ำลึกกว่าและเย็นกว่า ตัวอย่างเช่นที่ระดับน้ำทะเล (1 atm หรือ 760 mmHg) และอุณหภูมิ 4°C จะมีออกซิเจนละลายน้ำ 10.92 mg/L แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิเป็นอุณหภูมิห้อง 25°C จะมี DO อยู่ที่ 8.68 mg/L เท่านั้น

2. ออกซิเจนในน้ำลดลงแบบทวีคูณเมื่อระดับความเค็มในน้ำเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้ ที่ความดันและอุณหภูมิเท่ากัน น้ำเค็มจึงมีออกซิเจนละลายน้ำน้อยกว่าน้ำจืดประมาณ 20% ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสามารถในการละลายน้ำของแก๊สออกซิเจน (mg/L) ที่อุณหภูมิและความเค็มต่าง ๆ ณ ความดัน 1 บรรยากาศ [2]

อุณหภูมิ (°C)	ความเค็ม (ppt)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
25	8.24	8.01	7.79	7.57	7.36	7.15	6.95	6.75
26	8.09	7.87	7.65	7.44	7.23	7.03	6.83	6.64
27	7.95	7.73	7.51	7.31	7.10	6.91	6.72	6.53
28	7.81	7.59	7.38	7.18	6.98	6.79	6.61	6.42
29	7.67	7.46	7.26	7.06	6.87	6.68	6.50	6.32
30	7.54	7.34	7.14	6.94	6.76	6.57	6.39	6.22
31	7.41	7.21	7.02	6.83	6.64	6.47	6.29	6.12
32	7.29	7.09	6.90	6.72	6.54	6.36	6.19	6.03
33	7.17	6.98	6.79	6.61	6.43	6.26	6.10	5.94
34	7.05	6.86	6.68	6.51	6.34	6.17	6.01	5.85
35	6.93	6.75	6.58	6.40	6.24	6.07	5.91	5.76

3. ออกซิเจนในน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันบรรยากาศเพิ่มขึ้น น้ำที่ระดับความสูงน้อยกว่าระดับน้ำทะเล (ความดันบรรยากาศมาก) สามารถเก็บออกซิเจนในน้ำได้มากกว่าน้ำที่ระดับความสูงที่สูงกว่าระดับน้ำทะเล กล่าวโดยสรุปแอ่งน้ำที่อยู่บนภูเขาสูงมีโอกาสที่จะมีออกซิเจนในน้ำน้อยกว่าแอ่งน้ำในระดับพื้นราบ

2. วัตถุประสงค์

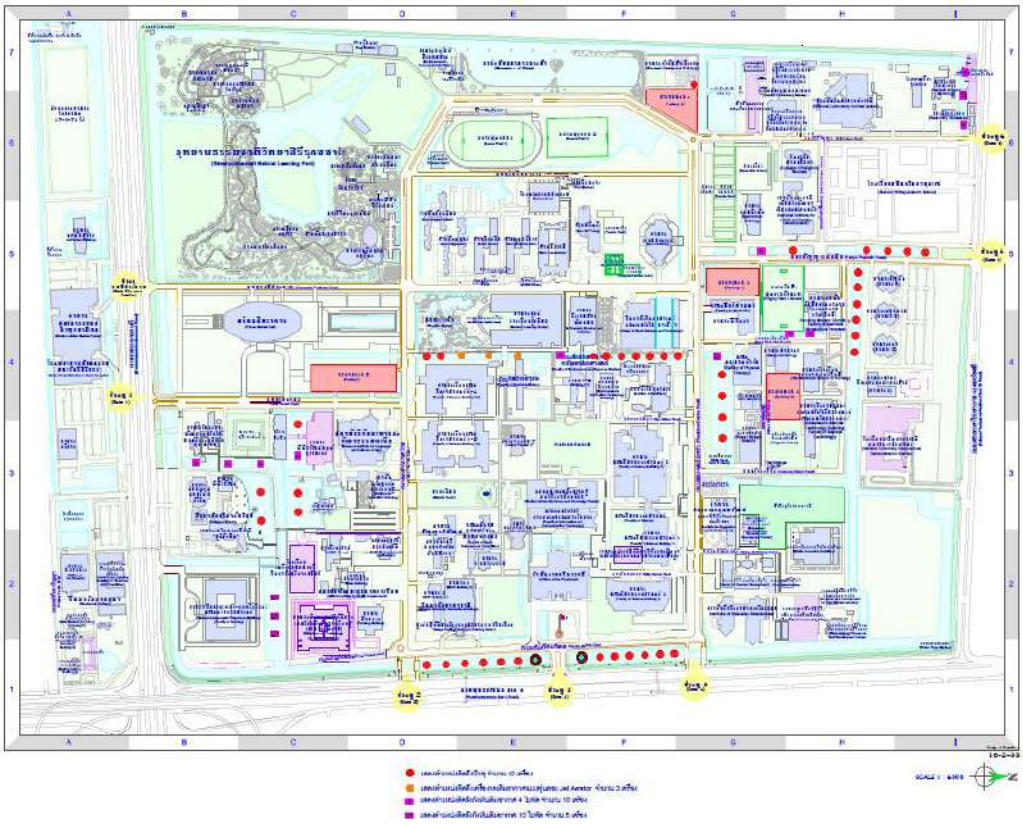
1.เพื่อหาแนวทางการบริหารจัดทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน

2.เพื่อเป็นแนวทางการเลือกเครื่องกลเติมอากาศเติมอากาศในแหล่งน้ำผิวดิน ภายในมหาวิทยาลัยมหิดล

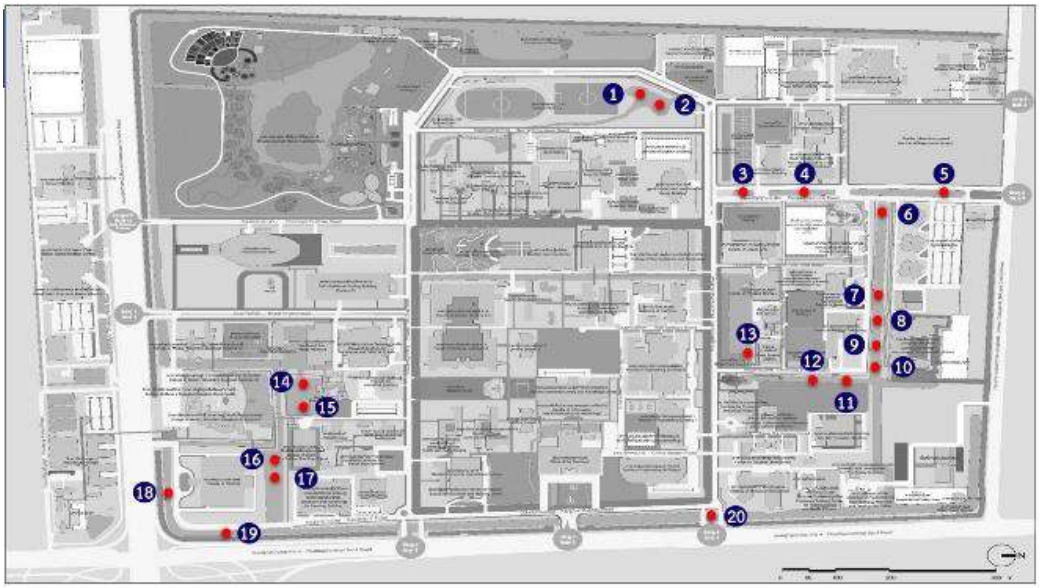
3.เพื่อเพิ่มทางเลือกในการเครื่องกลเติมอากาศที่ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องและยั่งยืนและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3. ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตพื้นที่การศึกษา โดยการวิเคราะห์ครอบคลุมพื้นที่ส่วนกลางของมหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำชนิด 4 ใบพัด จำนวน 10 เครื่อง, กังหันตีน้ำชนิด 10 ใบพัด จำนวน 5 เครื่อง, แบบทุ่นลอย Jet Aerator จำนวน 3 เครื่อง, กังหันชัยพัฒนา 1 เครื่อง, กังหันตีน้ำ 4 ใบพัดแบบโซลาร์เซลล์จำนวน 16 เครื่อง, และน้ำพุจำนวน 42 เครื่อง รวมเป็นจำนวน 81 เครื่อง ดังตำแหน่งการติดตั้งเครื่องกลเติมอากาศดังรูปที่ 2, รูปที่ 3 และชนิดของเครื่องกลเติมอากาศดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 แสดงจุดติดตั้งเครื่องกลเติมอากาศ ลำดับที่ 1 – 5 ของตารางที่ 2



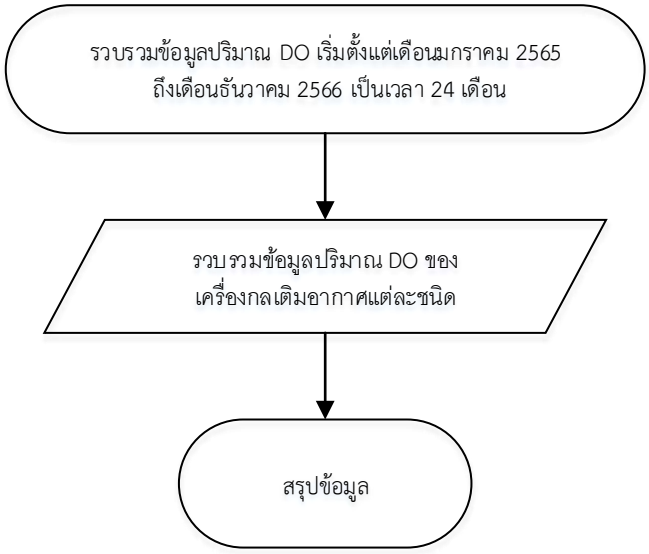
รูปที่ 3 แสดงจุดติดตั้งเครื่องเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำ 4 ใบพัด แบบโซลาร์เซลล์ (ลำดับที่ 6) ของตารางที่ 2

รูปที่ 4 ชนิดของเครื่องกลเติมอากาศภายในมหาวิทยาลัย

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจุดที่ติดตั้งเครื่องกลเติมอากาศแต่ละประเภท เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนธันวาคม 2566 เป็นเวลา 24 เดือน ของเครื่องกลเติมอากาศแต่ละชนิด โดยได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจากเครื่องกลเติมอากาศ ตามขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจากเครื่องกลเติมอากาศดังรูปที่ 5 โดยปัจจุบันมีรายละเอียดข้อมูลทางเทคนิคความสามารถในการเติมอากาศของเครื่องกลเติมอากาศแต่ละประเภท รายละเอียด ดังตารางที่ 2

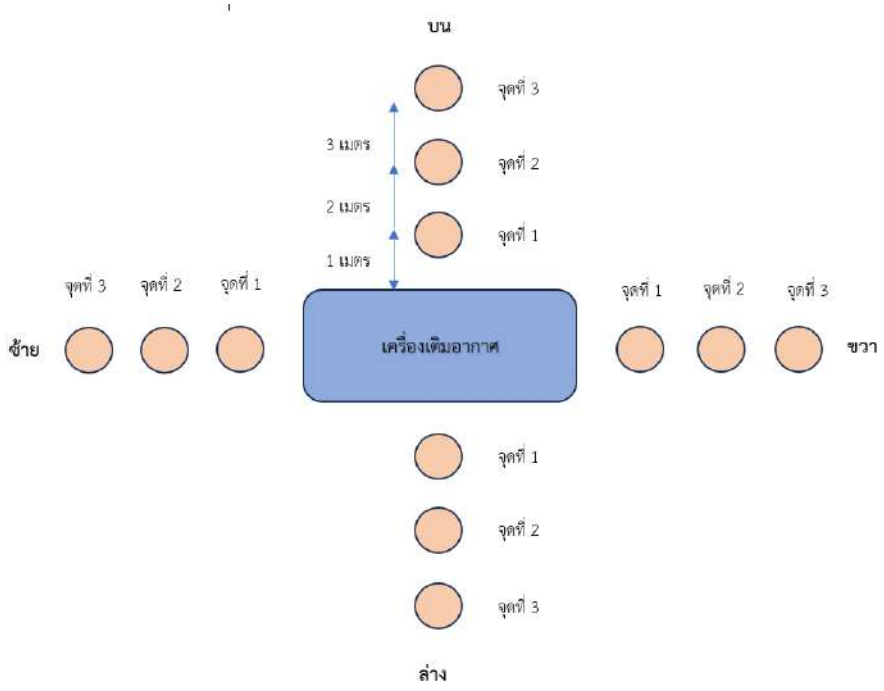


รูปที่ 5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจากเครื่องกลเติมอากาศ

ตารางที่ 2 รายละเอียดข้อมูลทางเทคนิคความสามารถในการเติมอากาศของเครื่องกลเติมอากาศแต่ละประเภท

ลำดับ	ชนิด	Motor			Oxygen Transfer Rate (KgO_2/hr)
		Hp	kW	Phase	
1	เครื่องเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำ 4 ใบพัด	2	1.5	1/220V	3.0
2	เครื่องเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำ 10 ใบพัด	3	2.2	3/380	3.5-4.5
3	เครื่องเติมอากาศแบบทุ่นลอย Jet Aerator	2	1.5	3/380	1.5-2.5
4	กังหันชัยพัฒนา	2	1.5	3/380	2.4
5	น้ำพุ	0.5	0.4	1/220V	ไม่ระบุ
6	เครื่องเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำ 4 ใบพัด แบบโซลาร์เซลล์	1	0.75	3/380	ไม่ระบุ

จากตารางที่ 2 ข้อมูลทางเทคนิคจะเห็นว่าเครื่องกลเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำ 10 สามารถเติมอากาศได้สูงถึง 4.5 KgO_2/hr โดยทำการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของแต่ละเครื่องกลเติมอากาศตำแหน่งต่าง ๆ ดังรูปที่ 6 ภายในมหาวิทยาลัย



รูปที่ 6 ตำแหน่งการวัดออกซิเจนละลายน้ำในจุดต่างๆ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการรวบรวมข้อมูลปริมาณออกซิเจนละลายน้ำแต่ละชนิด โดยมีรายละเอียดผลการทดลองดังตารางที่ 3- 5

ตารางที่ 3 ค่าออกซิเจนละลายน้ำในจุดต่าง ๆ ของเครื่องเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำ 4 ใบพัด และ 10 ใบพัด

ตำแหน่ง	เครื่องเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำ 4 ใบพัด			เครื่องเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำ 10 ใบพัด		
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3
บน	6.18	5.87	4.40	6.85	6.29	5.50
ล่าง	6.02	5.84	4.21	6.78	6.21	5.42
ซ้าย	6.05	5.86	4.32	6.72	6.31	5.41
ขวา	6.04	5.87	4.30	6.73	6.20	5.30
เฉลี่ย	**6.07**	**5.86**	**4.31**	**6.77**	**6.25**	**5.41**
ค่าออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย			**5.41**	**ค่าออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย**		**6.14**

ตารางที่ 4 ค่าออกซิเจนละลายน้ำในจุดต่าง ๆ ของเครื่องเติมอากาศแบบทุ่นลอย Jet Aerator และแบบกังหันตีน้ำ 4 ใบพัด แบบโซลาร์เซลล์

ตำแหน่ง	เครื่องเติมอากาศแบบทุ่นลอย Jet Aerator			เครื่องเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำ 4 ใบพัด แบบโซลาร์เซลล์		
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3
บน	6.21	5.98	5.73	5.57	4.45	3.71
ล่าง	6.85	6.32	6.31	5.98	4.85	4.10
ซ้าย	5.79	5.65	5.56	5.58	4.43	3.65
ขวา	5.78	5.66	5.57	5.56	4.42	3.7
เฉลี่ย	**6.16**	**5.9**	**5.79**	**5.67**	**4.54**	**3.79**
ค่าออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย			**5.95**	**ค่าออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย**		**4.67**

ตารางที่ 5 ค่าออกซิเจนละลายน้ำในจุดต่าง ๆ ของเครื่องเติมอากาศแบบน้ำพุ และแบบกังหันชัยพัฒนา

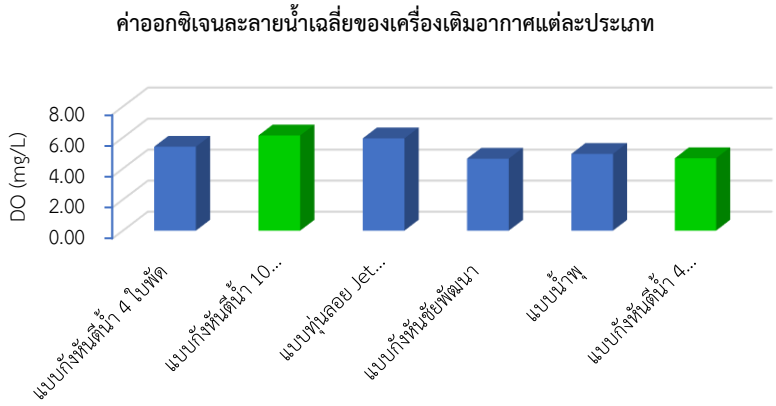
ตำแหน่ง	เครื่องเติมอากาศแบบน้ำพุ			เครื่องเติมอากาศแบบกังหันชัยพัฒนา		
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3
บน	5.11	4.89	4.85	4.81	4.66	4.33
ล่าง	5.10	4.92	4.80	5.10	4.81	4.63
ซ้าย	5.09	4.91	4.81	4.80	4.56	4.32
ขวา	5.12	4.98	4.85	4.79	4.55	4.33
เฉลี่ย	**5.11**	**4.93**	**4.83**	**4.88**	**4.65**	**4.4**
ค่าออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย			**4.95**	**ค่าออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ย**		**4.64**

6. สรุปผลการศึกษา

ทีมงานได้รวบรวมข้อมูลการวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำของน้ำผิวดินในจุดต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DO บริเวณที่ติดตั้งเครื่องกลเติมอากาศประเภทต่าง ๆ เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม 2565 ถึงเดือนธันวาคม 2566 เป็นเวลา 24 เดือน สามารถสรุปค่าเฉลี่ย ค่า DO ได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยของเครื่องเติมอากาศแต่ละประเภท

ลำดับ	ชนิดของเครื่องเติมอากาศ	ค่า DO (mg/L)
1	แบบกังหันตีน้ำ 4 ใบพัด	5.41
2	**แบบกังหันตีน้ำ 10 ใบพัด**	**6.14**
3	แบบทุ่นลอย Jet Aerator	5.95
4	แบบกังหันชัยพัฒนา	4.64
5	แบบน้ำพุ	4.95
6	**แบบกังหันตีน้ำ 4 ใบพัด แบบโซลาร์เซลล์**	**4.67**



รูปที่ 7 ค่าออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยของเครื่องเติมอากาศแต่ละประเภท (mg/L)

จากตารางที่ 6 และรูปที่ 7 สามารถสรุปทางเลือกเครื่องเติมอากาศที่สามารถเติมค่าออกซิเจนละลายน้ำได้มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ เครื่องเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำ 10 ใบพัด มีค่า DO เฉลี่ยเท่ากับ 6.14 มิลลิกรัมต่อลิตร และโดยปกติจะเปิดเป็น 3 ช่วงเวลา ดังนี้ 01.00 – 5.00น., 07.00 – 10.00น. และ 15.00 – 20.00น. รวมคิดเป็น 12 ชั่วโมงต่อวัน โดยคิดเป็นค่าไฟฟ้าเป็นจำนวนเงิน 83.76 บาทต่อวัน หรือ 30,574.06 บาทต่อปีต่อเครื่อง โดยใช้การคำนวณจากสูตรที่ (1) ข้อที่ 6.1.1 และจะเห็นได้ว่าเครื่องเติมอากาศกังหันตีน้ำ 4 ใบพัด แบบโซลาร์เซลล์ มีความคุ้มค่าต่อการลงทุนสูงสุด เนื่องจากเสียค่าใช้จ่ายตอนซื้อเครื่องติดตั้งแต่ไม่เสียค่าไฟฟ้าในการทำงาน จึงสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จำนวน 10,348.8 kg/วัน/เครื่อง ได้โดยสามารถคำนวณระยะเวลาการคืนทุนจากการติดตั้งกังหันตีน้ำ 4 ใบพัดแบบโซลาร์เซลล์ จากสูตรที่ (2) โดยข้อมูลที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถเลือกเครื่องกลเติมอากาศได้ 2 แนวทาง แนวทางที่ 1 คือเครื่องเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำ 10 ใบพัด สามารถเติม DO ได้สูงที่สุด และแนวทางที่ 2 คือ เติมอากาศแบบกังหันตีน้ำ 4 ใบพัด แบบโซลาร์เซลล์เนื่องจากไม่เสียค่าไฟฟ้าและยังสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้อีกด้วย

6.1 คำนวณหาระยะเวลาคืนทุน

สมการและสูตร

สูตรพลังงานไฟฟ้า $W = PI$ [3] (1)

W = พลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือ Unit

P = กำลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์

T = เวลา (time) หน่วยเป็นชั่วโมง

$W = PI$

พลังงานไฟฟ้า (Unit) = 2.2 (Kw) X 12 (hr)

พลังงานไฟฟ้า (Unit) = 26.4 Kwhr

สูตรคิดค่าไฟฟ้า = ปริมาณหน่วยไฟฟ้า (Kwhr) x ราคาค่าไฟต่อยูนิต (บาท/ยูนิต) [3]

คิดเป็นจำนวนเงิน = 26.4 Kwhr x 3.1729 บาท/Unit = 83.76 บาทต่อวัน หรือ 30,574.06 บาทต่อปีต่อเครื่อง

รูปที่ 8 หนังสือแจ้งค่าไฟฟ้า มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา

$$\text{ระยะเวลาการคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนต่อเครื่อง (บาท)}}{\text{ค่าไฟฟ้ากังหันเติมอากาศ} \left(\frac{\text{บาท}}{\text{ปี}}\right)} \quad (2)$$

$$\text{ระยะเวลาการคืนทุน} = \frac{121{,}875.00\ (\text{บาท})}{30{,}574.04\ \left(\frac{\text{บาท}}{\text{ปี}}\right)} = 3.96\ \text{ปี}$$

โดยใช้เวลาประมาณ 3 ปี 11 เดือนจะสามารถคืนทุนกังหันตีน้ำ 4 ใบพัดแบบโซลาร์เซลล์ ซึ่งคุ้มค่าต่อการลงทุน

6.2 คำนวณค่าการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Emission Saved)

นำข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องเติมอากาศแบบกังหันตีน้ำ 4 ใบพัด แบบโซลาร์เซลล์ มาคำนวณหาค่าการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Emission Saved) ตามสมการที่ (3) รวมได้ 10,348.80 กิโลกรัมต่อวันต่อเครื่อง ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 124,185.60 กิโลกรัมต่อเดือนต่อเครื่อง ดังนี้

$$CO_2\,(kg) = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ (kWh)} \times CO_2 \text{ Factor (g/kWh) [4]} \quad (3)$$

$$CO_2\,(kg) = 26.4 \text{ kWh} \times 392 \text{ g/kWh} = 10{,}348.8 \text{ kg/วัน/เครื่อง}$$

เอกสารอ้างอิง

[1] ค่าออกซิเจนละลายในน้ำบริสุทธิ์ ณ 1 ATM เข้าถึงได้จาก: https://medium.com/@orapim.mo/%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%8B%E0%B8%B4%E0%B9%80%E0%B8%88%E0%B8%99%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3-dissolved-oxygen-do-37e400feb6d3

[2] ออกซิเจนในน้ำคืออะไร.และปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณของออกซิเจนละลายในน้ำ เข้าถึงได้จาก: https://www.neonics.co.th/dissolved-oxygen/oxygen-in-water.html

[3] สูตรการคำนวณพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้า เข้าถึงได้จาก: https://erdi.cmu.ac.th/?p=564

[4] Solaredge. (2022). Technical Note-Monitoring Platform Environmental Benefits Calculation. สืบค้น 12 เมษายน 2567 จาก https://www.solaredge.com/sites/default/files/monitoring_platform_environmental_benefits_calculation.pdf

แนวทางการบูรณาการการศึกษาตลอดชีวิตกับนโยบายการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อความมั่นคงทางระบบนิเวศ

จารุวัฒน์ ส่งเสริม* และ ประจวบ ทองศรี

สาขาการศึกษาตลอดชีวิต คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร
* Corresponding author: jaruwat.songserm@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้มุ่งนำเสนอแนวทางการบูรณาการการศึกษาตลอดชีวิตกับนโยบายการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อเสริมสร้างความมั่นคงทางระบบนิเวศในประเทศไทย ในสภาวะวิกฤตสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปในปัจจุบัน ซึ่งระบบการศึกษาของไทยยังขาดการบูรณาการกับชีวิตจริงและประเด็นสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิต ส่งผลให้ขาดทักษะและเจตคติที่จำเป็นในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม สำหรับบทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์แนวทางการบูรณาการการศึกษาตลอดชีวิตกับนโยบายการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อเสริมสร้างความมั่นคงทางระบบนิเวศ พร้อมนำเสนอกรอบแนวคิดและกลยุทธ์ที่เหมาะสม โดยใช้การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบกรณีศึกษาประเทศฟินแลนด์และประเทศสวีเดน ซึ่งประสบความสำเร็จในการบูรณาการการศึกษากับการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบ

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการบูรณาการเชิงโครงสร้างและเชิงปฏิบัติ ซึ่งสามารถดำเนินการได้ ดังนี้ (1) บูรณาการนโยบายและแผนการดำเนินงานระหว่างกระทรวงต่าง ๆ และจัดทำยุทธศาสตร์ร่วมระหว่างหน่วยงานภาครัฐ (2) จัดตั้งศูนย์การเรียนรู้ตลอดชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมในระดับพื้นที่โดยใช้โรงเรียนและชุมชนเป็นฐาน เชื่อมโยงกับองค์กรท้องถิ่นและภาคประชาสังคม (3) สนับสนุนงบประมาณระยะยาวและสร้างระบบติดตามผลที่มีส่วนร่วมจากภาคประชาชน (4) พัฒนาหลักสูตรและกิจกรรมที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง เน้นการเรียนรู้เชิงรุก และการเรียนรู้จากโครงการจริง และ (5) เสริมสร้างการมีส่วนร่วมของภาคประชาชนและเยาวชน และเปิดโอกาสให้ทุกกลุ่มได้มีบทบาทในการออกแบบและขับเคลื่อนนโยบาย พร้อมสร้างความตระหนักรู้และทักษะด้านสิ่งแวดล้อมในทุกช่วงวัย เพื่อสร้างรากฐานสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนและความมั่นคงทางระบบนิเวศในระยะยาว

คำสำคัญ: การศึกษาตลอดชีวิต / นโยบายสิ่งแวดล้อม / ความมั่นคงทางระบบนิเวศ / การบูรณาการ / การมีส่วนร่วม

Approaches to Integrating Lifelong Education with Natural Resource and Environmental Management Policies for Ecosystem Security

Jaruwat Songserm* and Prachuab Tongsri

Department of Lifelong Education, Faculty of Education, Srinakharinwirot University, Bangkok
* Corresponding author: jaruwat.songserm@g.swu.ac.th

Abstract

This academic article aims to propose an integrated approach to lifelong learning and environmental and natural resource policy in order to strengthen ecosystem security in Thailand amid the current environmental crises. The Thai education system remains insufficiently integrated with real-life experiences and environmental issues throughout the lifespan, resulting in a lack of essential skills and attitudes for environmental stewardship. The objective of this article is to analyze strategies for integrating lifelong learning with environmental and natural resource management policies to enhance ecological resilience. The study presents a conceptual framework and practical strategies through a comparative analysis of case studies from Finland and Sweden—countries recognized for their success in systematically integrating education with environmental management.

Findings highlight the importance of both structural and practical integration, which can be implemented through: (1) coordinating policies and operational plans across ministries and developing joint strategies among government agencies; (2) establishing community-based lifelong learning centers for environmental education, using schools and local communities as foundational platforms, linked with local organizations and civil society; (3) developing curricula and activities connected to real-life contexts, emphasizing active and project-based learning; (4) providing long-term funding support and creating participatory monitoring and evaluation systems; and (5) promoting the engagement of the public and youth, ensuring inclusive participation in policy design and implementation, while fostering environmental awareness and skills across all age groups. These strategies aim to lay the foundation for sustainable development and long-term ecosystem security.

Keywords: Lifelong learning / Environmental policy / Ecosystem security / Integration / Participation

1. บทนำ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมในศตวรรษที่ 21 ทวีความรุนแรงและซับซ้อนมากขึ้น ทั้งในระดับโลกและระดับประเทศ ไม่ว่าจะเป็นวิกฤตการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ และปัญหามลพิษที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์และความมั่นคงของระบบนิเวศโดยตรง [1][2] ประเทศไทยเองเผชิญกับความท้าทายเหล่านี้อย่างเข้มข้น โดยเฉพาะการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างไม่ยั่งยืนและการขยายตัวของเมืองที่รวดเร็ว ซึ่งนำไปสู่การเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมและลดทอนศักยภาพของระบบนิเวศในระยะยาว [3][4] ความเชื่อมโยงระหว่างสิ่งแวดล้อมกับความมั่นคงของระบบนิเวศจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะเมื่อทรัพยากรธรรมชาติถูกใช้เกินขีดความสามารถในการฟื้นฟู ระบบนิเวศจะเสื่อมโทรมและส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางเศรษฐกิจและสังคมในอนาคต [5][6] มนุษย์ในฐานะผู้เรียนรู้และผู้เปลี่ยนแปลงจึงมีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะผ่านการสร้างความตระหนักรู้และทักษะที่จำเป็นในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน [7][5]

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีความพยายามในการบูรณาการประเด็นสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบการศึกษาไทย แต่ระบบการศึกษายังคงเน้นการเรียนรู้แบบแยกส่วน ขาดการเชื่อมโยงกับชีวิตจริงและการมีส่วนร่วมของชุมชน ส่งผลให้ผู้เรียนขาดทักษะและเจตคติที่จำเป็นต่อการอนุรักษ์และฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ การจัดการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมยังขาดความต่อเนื่องตลอดช่วงชีวิต ตั้งแต่ระดับปฐมวัยจนถึงวัยผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ ทำให้การเรียนรู้เพื่อการเปลี่ยนแปลง (transformative learning) ไม่เกิดขึ้นอย่างแท้จริง [5][7][8] ช่องว่างเหล่านี้สะท้อนถึงข้อจำกัดในกรอบแนวคิดและกลยุทธ์ที่สามารถสร้างผลกระทบเชิงบวกต่อสิ่งแวดล้อมผ่านกระบวนการเรียนรู้ตลอดชีวิต

ด้วยเหตุนี้ บทความวิชาการนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์แนวทางการบูรณาการ "การศึกษาตลอดชีวิต" กับนโยบายจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อเสริมสร้างความมั่นคงทางระบบนิเวศ โดยจะศึกษาสถานการณ์ปัจจุบันเกี่ยวกับทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย วิเคราะห์กรอบแนวคิดและกลยุทธ์ที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง รวมถึงนำเสนอกรณีศึกษาจากประเทศที่ประสบความสำเร็จ เช่น ฟินแลนด์และสวีเดน เพื่อเป็นแนวทางสำหรับบริบทไทย ทั้งหมดนี้เพื่อสร้างรากฐานของการพัฒนาอย่างยั่งยืนและความมั่นคงทางระบบนิเวศสำหรับคนรุ่นต่อไป

2. กรอบแนวคิดทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แนวทางการบูรณาการการศึกษาตลอดชีวิตกับนโยบายการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อความมั่นคงทางระบบนิเวศ จำเป็นต้องตั้งอยู่บนกรอบแนวคิดทางทฤษฎีที่ครอบคลุมทั้งมิติการเรียนรู้ การพัฒนาอย่างยั่งยืน และการจัดการนโยบายสาธารณะอย่างบูรณาการ

แนวคิดการศึกษาตลอดชีวิต (Lifelong Learning) หมายถึงกระบวนการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดชีวิตของบุคคลทั้งในระบบ (formal education) นอกระบบ (non-formal education) และตามอัธยาศัย (informal education) โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาศักยภาพมนุษย์ให้สามารถปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม [2][9] ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แนวคิดของยูเนสโก (UNESCO) ที่เน้น "การเรียนรู้เพื่อเป็น" (Learning to Be) และ "การเรียนรู้เพื่อการเปลี่ยนแปลง" (Transformative Learning) ทฤษฎีของ Knowles (Andragogy) ที่เน้นการเรียนรู้ของผู้ใหญ่โดยเน้นความต้องการและประสบการณ์ของผู้เรียน และแนวคิดของ Illeris ที่มองว่าการเรียนรู้เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการรับรู้ อารมณ์ และสังคม [7][10]

แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development) เป็นกรอบแนวคิดสำคัญที่เชื่อมโยงการศึกษาเข้ากับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของสหประชาชาติ (SDGs) โดยเฉพาะ SDG 4 (การศึกษาที่มีคุณภาพ), SDG 13 (การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ) และ SDG 15 (การใช้ประโยชน์จากระบบนิเวศอย่างยั่งยืน) การศึกษามีบทบาทสำคัญในการสร้างความรู้ ทักษะ และค่านิยมที่เอื้อต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของประชาชนเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและการพัฒนาสังคมอย่างสมดุล [5][1] นอกจากนี้ แนวคิดเรื่อง Education for Sustainable Development (ESD) ยังเน้นการบูรณาการประเด็นสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคมเข้าไว้ในกระบวนการเรียนรู้และนโยบายการศึกษา [9]

สำหรับแนวคิดการจัดการนโยบายสาธารณะ (Public Policy) การวิเคราะห์เชิงระบบ (system analysis) เป็นเครื่องมือสำคัญในการทำความเข้าใจปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีความซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับหลายภาคส่วน แนวทางการบูรณาการนโยบายข้ามภาคส่วน (policy integration) ช่วยให้เกิดการประสานงานระหว่างหน่วยงานด้านการศึกษา สิ่งแวดล้อม และการปกครองท้องถิ่น เพื่อให้การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมีประสิทธิภาพและยั่งยืน [11][12] บทบาทของภาคีที่หลากหลายใน

กระบวนการนโยบาย เช่น ภาครัฐ ภาคเอกชน ชุมชน และประชาสังคม มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการขับเคลื่อนนโยบายและสร้างการมีส่วนร่วมในระดับพื้นที่ [2]

จากทั้งสามแนวคิดสามารถสรุปได้ว่า การศึกษาตลอดชีวิต การพัฒนาอย่างยั่งยืน และการจัดการนโยบายสาธารณะ ล้วนเชื่อมโยงกันในการสร้างระบบการเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความเปลี่ยนแปลงของสังคมและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน โดยการศึกษาตลอดชีวิตมุ่งพัฒนาศักยภาพมนุษย์ตลอดช่วงชีวิตผ่านการเรียนรู้ในทุกบริบท ทั้งในและนอกระบบการศึกษา ขณะที่แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนเน้นการปลูกฝังความรู้ ทักษะ และค่านิยมเพื่อสร้างพฤติกรรมที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมตามเป้าหมาย SDGs และแนวคิดการจัดการนโยบายสาธารณะช่วยสนับสนุนการบูรณาการเชิงระบบและความร่วมมือข้ามภาคส่วน เพื่อให้เกิดนโยบายด้านการศึกษาและสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืนในระดับพื้นที่และระดับประเทศอย่างเป็นรูปธรรม

3. การบูรณาการการศึกษาตลอดชีวิตกับนโยบายการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยในปัจจุบัน

สถานการณ์การบูรณาการในประเทศไทยในช่วงที่ผ่านมาได้แสดงความพยายามในการบูรณาการนโยบายการศึกษาตลอดชีวิตเข้ากับการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมผ่านกรอบยุทธศาสตร์และแผนแม่บทระดับชาติหลายฉบับ โดยเฉพาะแผนแม่บทด้านสิ่งแวดล้อมและยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ที่มุ่งเน้นการสร้างความสมดุลระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน [13] นอกจากนี้ การขับเคลื่อนโมเดลเศรษฐกิจ BCG (Bio-Circular-Green Economy) ได้รับการผลักดันในฐานะยุทธศาสตร์หลักเพื่อสร้างความเติบโตทางเศรษฐกิจควบคู่กับการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยเน้นการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนและการพัฒนาทักษะที่เกี่ยวข้องกับเศรษฐกิจสีเขียว [14][15]

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีกรอบนโยบายและยุทธศาสตร์ที่ชัดเจน แต่การบูรณาการในทางปฏิบัติยังคงเผชิญกับอุปสรรคสำคัญหลายประการ อาทิ การขาดความต่อเนื่องเชิงนโยบายที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรัฐบาล ส่งผลให้แนวทางการดำเนินงานขาดความต่อเนื่องและไม่สามารถสร้างผลลัพธ์เชิงระบบได้อย่างยั่งยืน [16][17] นอกจากนี้ ความเข้าใจเรื่อง "การศึกษาตลอดชีวิต" ในเชิงลึกยังไม่แพร่หลายและมักถูกจำกัดอยู่ในกรอบการศึกษานอกระบบหรือการฝึกอบรมระยะสั้น ขณะที่การจัดการศึกษายังคงเน้นเนื้อหาทางวิชาการและขาดการเชื่อมโยงกับชุมชนหรือประเด็นสิ่งแวดล้อมในชีวิตจริง [9][18] ส่งผลให้ผู้เรียนขาดทักษะและเจตคติที่จำเป็นต่อการขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงด้านสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

อาจกล่าวสรุปได้ว่า สาเหตุสำคัญที่ทำให้ประเทศไทยยังไม่สามารถบรรลุเป้าหมายการบูรณาการการศึกษาตลอดชีวิตกับนโยบายสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ โครงสร้างระบบราชการที่แยกส่วนและขาดกลไกประสานงานระหว่างหน่วยงานหลัก เช่น กระทรวงศึกษาธิการ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น [17][18] งบประมาณและทรัพยากรที่จัดสรรยังไม่เพียงพอต่อการพัฒนาหลักสูตรหรือกิจกรรมการเรียนรู้เชิงบูรณาการ ขณะเดียวกัน การมีส่วนร่วมของภาคประชาชนและเยาวชนในเวทีนโยบายยังมีข้อจำกัด ทั้งในแง่โอกาสและกลไกการมีส่วนร่วม [19][16] โดยปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้การขับเคลื่อนนโยบายและการสร้างความเปลี่ยนแปลงในระดับพื้นที่ยังไม่เกิดขึ้นอย่างเป็นรูปธรรม

4. กรณีศึกษาการบูรณาการการศึกษาตลอดชีวิตกับนโยบายการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อความมั่นคงทางระบบนิเวศในต่างประเทศ

จากการวิเคราะห์สถานการณ์ของการบูรณาการดังกล่าว พร้อมนำเสนอกรอบแนวคิดและกลยุทธ์ที่เหมาะสม โดยใช้การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบกรณีศึกษาประเทศฟินแลนด์และประเทศสวีเดน ซึ่งประสบความสำเร็จในการบูรณาการการศึกษากับการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบ พบว่า แนวทางสำคัญในการพัฒนาและบูรณาการการศึกษาตลอดชีวิตกับนโยบายการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อความมั่นคงทางระบบนิเวศ ในที่นี้จะนำเสนอกรณีศึกษาของประเทศฟินแลนด์และประเทศสวีเดน ซึ่งเป็นประเทศที่ประสบความสำเร็จในการบูรณาการการเรียนรู้กับการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบและยั่งยืน ดังนี้

4.1 กรณีศึกษาประเทศฟินแลนด์ ระบบการศึกษาของประเทศฟินแลนด์ขึ้นชื่อในระดับโลกด้านการบูรณาการประเด็นสิ่งแวดล้อมและทักษะชีวิตเข้ากับการเรียนรู้ในทุกระดับ โดยเน้นการมีส่วนร่วมของชุมชนและการเชื่อมโยงกับบริบทท้องถิ่น โรงเรียนในประเทศฟินแลนด์มักดำเนินโครงการสิ่งแวดล้อมร่วมกับชุมชน เช่น โครงการ Eco-Schools และ Vihreä lippu (Green Flag) ที่ส่งเสริมให้นักเรียนมีบทบาทในการออกแบบและดำเนินกิจกรรมด้านสิ่งแวดล้อมจริงในพื้นที่ของตนเอง [20] กระบวนการเรียนรู้เน้น Active Learning (การเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ) และ Project-Based Learning (การเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน)

เพื่อให้นักเรียนได้ฝึกคิด วิเคราะห์ แก้ปัญหา และลงมือปฏิบัติจริง ทั้งยังมีการบูรณาการหัวข้อสิ่งแวดล้อมในหลักสูตรวิชาต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ [9] ความร่วมมือระหว่างโรงเรียน องค์กรท้องถิ่น และภาคประชาสังคม เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิผล

ทั้งนี้ระบบการศึกษาของประเทศฟินแลนด์ถือเป็นต้นแบบระดับโลกในด้านการบูรณาการประเด็นสิ่งแวดล้อมและทักษะชีวิตเข้ากับการเรียนรู้ในทุกระดับชั้น ตั้งแต่ระดับปฐมวัยจนถึงมัธยมศึกษา โดยมีหลักการสำคัญคือการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง การมีส่วนร่วมของชุมชน และการเรียนรู้บนพื้นฐานของบริบทท้องถิ่น โรงเรียนไม่ได้เป็นเพียงพื้นที่ถ่ายทอดความรู้ แต่เป็นศูนย์กลางของการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างนักเรียน ครู ผู้ปกครอง และชุมชน โดยหนึ่งในตัวอย่างเด่นคือโครงการ Vihreä lippu (Green Flag) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเครือข่าย Eco-Schools ที่ดำเนินการในหลายประเทศทั่วโลก โดยในประเทศฟินแลนด์ นักเรียนจะมีบทบาทหลักในการออกแบบกิจกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม เช่น การลดขยะในโรงเรียน การจัดการพลังงาน และการอนุรักษ์พื้นที่สีเขียว นักเรียนจะตั้ง "คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม" เพื่อกำหนดเป้าหมาย วางแผน และติดตามผลลัพธ์อย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น โรงเรียนแห่งหนึ่งในเมืองอูลู (Oulu) ได้จัดโครงการฟื้นฟูพื้นที่ชุ่มน้ำร่วมกับเทศบาล โดยนักเรียนได้ออกแบบกิจกรรมรณรงค์ให้ความรู้เรื่องระบบนิเวศในชุมชน และร่วมเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมจริงเพื่อนำเสนอแก่หน่วยงานท้องถิ่น

นอกจากนี้ ประเทศฟินแลนด์ยังส่งเสริมแนวทาง Active Learning (การเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ) และ Project-Based Learning (การเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน) อย่างจริงจัง นักเรียนไม่ได้เรียนเพียงจากตำรา แต่ได้ลงมือปฏิบัติผ่านโครงงานที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม เช่น การออกแบบแผนการอนุรักษ์พลังงานในโรงเรียน หรือการสร้างแปลงเกษตรอินทรีย์โดยใช้หลักการวนเกษตร ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ช่วยให้นักเรียนฝึกคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหา และตัดสินใจอย่างมีจริยธรรม ขณะเดียวกันก็ปลูกฝังเจตคติที่ดีต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นรูปธรรม โดยสิ่งสำคัญที่ทำให้แนวทางนี้ประสบผลสำเร็จคือ ความร่วมมือระหว่างโรงเรียน องค์กรท้องถิ่น และภาคประชาสังคม ซึ่งทำให้การเรียนรู้ไม่ได้จำกัดอยู่ในห้องเรียน แต่ขยายไปสู่พื้นที่ชุมชนจริง นักเรียนจึงมีบทบาทเป็น "พลเมืองนักอนุรักษ์" ที่สามารถสร้างผลกระทบเชิงบวกได้ตั้งแต่วัยเรียน และเป็นต้นแบบที่น่าสนใจสำหรับประเทศอื่น ๆ รวมถึงประเทศไทยในการประยุกต์ใช้กับบริบทของตนเอง

4.2 กรณีศึกษาประเทศสวีเดน ประเทศสวีเดนเป็นอีกประเทศหนึ่งที่ประสบความสำเร็จในการบูรณาการการศึกษากับการจัดการสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการนำแนวคิด Nature-Based Learning (การเรียนรู้โดยใช้ธรรมชาติเป็นฐาน) หรือการเรียนรู้จากธรรมชาติมาใช้ในทุกช่วงวัย ตั้งแต่ระดับปฐมวัยจนถึงผู้ใหญ่ โรงเรียนและศูนย์การเรียนรู้ในสวีเดนมักจัดกิจกรรมกลางแจ้ง เช่น การเรียนรู้ในป่า (Forest Schools) การปลูกป่า และการสังเกตธรรมชาติ เพื่อปลูกฝังความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมและสร้างจิตสำนึกด้านความยั่งยืน [21][22] การมีส่วนร่วมขององค์กรท้องถิ่นและภาคประชาสังคม เช่น สมาคมอนุรักษ์ธรรมชาติ องค์กรเยาวชน และกลุ่มอาสาสมัคร มีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนกิจกรรมและโครงการด้านสิ่งแวดล้อมในระดับพื้นที่ องค์กรเหล่านี้ทำงานร่วมกับโรงเรียนและหน่วยงานรัฐอย่างใกล้ชิด เพื่อให้เกิดการเรียนรู้และการมีส่วนร่วมอย่างต่อเนื่อง [22] จะเห็นได้ว่า ประเทศสวีเดนเป็นหนึ่งในตัวอย่างสำคัญของการบูรณาการการศึกษาเข้ากับการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะการนำนวัตกรรมทางการเรียนรู้ที่เน้นการเชื่อมโยงกับธรรมชาติหรือ Nature-Based Learning (การเรียนรู้โดยใช้ธรรมชาติเป็นฐาน) มาใช้ในหลากหลายช่วงวัย ไม่ว่าจะเป็นเด็กเล็ก วัยเรียน วัยรุ่น ไปจนถึงผู้ใหญ่ แนวทางนี้ไม่ได้เน้นเพียงการถ่ายทอดความรู้ แต่มุ่งสร้างความรู้สึกเชื่อมโยงทางอารมณ์และจิตสำนึกต่อธรรมชาติผ่านประสบการณ์ตรง โดยตัวอย่างหนึ่งที่เด่นชัดคือ Forest Schools หรือ "โรงเรียนในป่า" ซึ่งจัดการเรียนการสอนกลางแจ้งในพื้นที่ธรรมชาติ โดยให้นักเรียนได้เรียนรู้ผ่านการสำรวจ เดินป่า การดูนก หรือแม้กระทั่งการเรียนวิทยาศาสตร์โดยใช้สิ่งแวดล้อมเป็นห้องเรียนจริง เช่น ในโรงเรียนอนุบาลแห่งหนึ่งในเขตเมืองโบร าณ (Borlänge) ครูจะพาเด็กออกไปนอกห้องเรียนสัปดาห์ละ 2–3 ครั้ง เพื่อเรียนรู้เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตในดิน พืชป่า หรือระบบนิเวศขนาดเล็ก เด็ก ๆ จะได้เรียนรู้ผ่านการสัมผัส ดมกลิ่น ฟังเสียงธรรมชาติ และใช้ประสาทสัมผัสอย่างเต็มที่ ซึ่งช่วยปลูกฝังความสัมพันธ์กับธรรมชาติอย่างลึกซึ้งตั้งแต่ช่วงต้นของชีวิต

นอกจากนี้ ประเทศสวีเดนยังส่งเสริมการมีส่วนร่วมของภาคประชาชนในรูปแบบที่เข้มแข็ง โดยองค์กรอย่าง Naturskyddsföreningen (สมาคมอนุรักษ์ธรรมชาติแห่งสวีเดน) มีบทบาทสำคัญในการจัดกิจกรรมด้านสิ่งแวดล้อมในระดับท้องถิ่น เช่น การปลูกป่า กิจกรรมสังเกตธรรมชาติ และการเรียนเชิงปฏิบัติการเพื่อส่งเสริมความรู้ด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับประชาชนทั่วไป องค์กรเหล่านี้ทำงานร่วมกับโรงเรียน รัฐบาลท้องถิ่น และภาคเยาวชน เช่น กลุ่มอาสาสมัครวัยรุ่นเพื่อสิ่งแวดล้อม ที่ออกแบบโครงการรณรงค์การใช้ชีวิตที่ยั่งยืน เช่น การลดการใช้พลาสติก การใช้จักรยานแทนรถยนต์ และการเลือกอาหารจากแหล่งผลิตที่

เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นความสำเร็จของประเทศสวีเดนจึงอยู่ที่การผสมผสานการเรียนรู้กับธรรมชาติอย่างต่อเนื่อง การเปิดโอกาสให้ชุมชนและภาคประชาสังคมมีส่วนร่วมในการออกแบบและขับเคลื่อนกิจกรรมด้านสิ่งแวดล้อม และการสร้างระบบสนับสนุนที่ทำให้ "การเรียนรู้เพื่อความยั่งยืน" เป็นเรื่องของทุกคนในสังคม

ตารางที่ 1 สรุปข้อมูลการวิเคราะห์กรณีศึกษาการบูรณาการการศึกษาตลอดชีวิตกับนโยบายการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อความมั่นคงทางระบบนิเวศในต่างประเทศ

ประเทศ	แนวทางการพัฒนา	กลยุทธ์และนโยบายหลัก	ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จ
ฟินแลนด์	- บูรณาการการศึกษาสิ่งแวดล้อมกับการเรียนรู้ตลอดชีวิตในทุกระดับ - ใช้แนวทาง Active Learning และ Project-Based Learning - เน้นการมีส่วนร่วมของชุมชนและบริบทท้องถิ่น	- ส่งเสริมโครงการระดับโรงเรียน เช่น Vihreä lippu (Green Flag) - สร้าง "คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม" ในโรงเรียน - บูรณาการสิ่งแวดล้อมในหลักสูตรอย่างเป็นระบบ - สนับสนุนการเรียนรู้ในและนอกห้องเรียน	- ความร่วมมือระหว่างโรงเรียน ชุมชน และภาคประชาสังคม - การส่งเสริมบทบาทนักเรียนเป็นผู้ร่วมออกแบบกิจกรรม - ระบบสนับสนุนจากภาครัฐที่ต่อเนื่อง - การเรียนรู้เชื่อมโยงชีวิตจริง และมีความหมายต่อผู้เรียน
สวีเดน	- ใช้แนวทาง Nature-Based Learning (การเรียนรู้จากธรรมชาติ) - เรียนรู้ผ่านประสบการณ์ตรงในธรรมชาติ เช่น Forest Schools - เชื่อมโยงการศึกษากับกิจกรรมภาคสนามและกลางแจ้ง	- ส่งเสริมโรงเรียนป่า (Forest Schools) และกิจกรรมในธรรมชาติ - ความร่วมมือกับองค์กรอนุรักษ์ เช่น Naturskyddsföreningen - นำแนวคิด "การเรียนรู้เพื่อความยั่งยืน" ไปใช้ในทุกช่วงวัย - สนับสนุนการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมเชิงประสบการณ์	- การมีส่วนร่วมอย่างเข้มแข็งของภาคประชาชนและองค์กรท้องถิ่น - การเรียนรู้ผ่านประสาทสัมผัสและประสบการณ์จริงในธรรมชาติ - ระบบสนับสนุนจากทั้งรัฐและองค์กรอิสระ - การเปิดโอกาสให้ทุกกลุ่มวัยมีส่วนร่วมในการเรียนรู้เพื่อสิ่งแวดล้อม

ที่มา: การสังเคราะห์ข้อมูลของผู้จัดทำ

5. บทสรุป

จากการศึกษานี้ พบว่า ประเทศไทยกำลังเผชิญกับปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงและซับซ้อนขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ ซึ่งล้วนส่งผลกระทบต่อความมั่นคงของระบบนิเวศและคุณภาพชีวิตของประชาชนโดยตรง แม้ภาครัฐจะมีความพยายามกำหนดยุทธศาสตร์และแผนแม่บทเพื่อบูรณาการการศึกษาตลอดชีวิตกับการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม แต่ในทางปฏิบัติยังพบช่องว่างสำคัญ เช่น การขาดความต่อเนื่องเชิงนโยบาย การขาดความเข้าใจเรื่องการศึกษาตลอดชีวิตในเชิงลึก การจัดการศึกษาที่ยังเน้นวิชาการและขาดการเชื่อมโยงกับชีวิตจริง รวมถึงข้อจำกัดด้านงบประมาณและการมีส่วนร่วมของภาคประชาชนและเยาวชน

หัวใจสำคัญของการขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงคือการบูรณาการเชิงระบบและเชิงปฏิบัติอย่างจริงจัง หากยังคงดำเนินงานแบบแยกส่วนและขาดการเชื่อมโยงระหว่างภาคส่วนต่าง ๆ ประเทศไทยจะยังคงเผชิญความเสี่ยงด้านระบบนิเวศอย่างถาวร และพลาดโอกาสในการพัฒนาอย่างยั่งยืนทั้งในมิติสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม โดยประเทศไทยจึงควรเร่งดำเนินการตามแนวทางหลัก ดังนี้

5.1 บูรณาการนโยบายและแผนการดำเนินงานระหว่างกระทรวงต่าง ๆ โดยควรจัดทำยุทธศาสตร์ร่วม ระหว่างกระทรวงศึกษาธิการ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และมหาดไทย เพื่อให้การดำเนินงานด้านการเรียนรู้สิ่งแวดล้อมมีทิศทางเดียวกัน ลดความซ้ำซ้อนของนโยบาย เช่น การกำหนดเป้าหมายร่วมด้านการอนุรักษ์ในหลักสูตรโรงเรียนและการวางแผนพื้นที่สีเขียวในชุมชนภายใต้แผนพัฒนาท้องถิ่น เช่น โครงการ "โรงเรียนสีเขียว" ที่เชื่อมโยงหลักสูตรของกระทรวงศึกษาธิการเข้ากับแผนสิ่งแวดล้อมขององค์การบริหารส่วนตำบล (อบต.) และการสนับสนุนจากกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

5.2 จัดตั้งศูนย์การเรียนรู้ตลอดชีวิตด้านสิ่งแวดล้อมในระดับพื้นที่ โดยโรงเรียน ชุมชน และศูนย์การเรียนรู้ เป็นฐานพัฒนาแหล่งเรียนรู้ร่วมกัน เช่น ศูนย์เรียนรู้ป่าชุมชน แปลงเกษตรอินทรีย์ หรือศูนย์สาธิตการจัดการขยะ โดยประสานงานกับ

เทศบาล องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และกลุ่มอาสาสมัครในพื้นที่ เช่น "ศูนย์เรียนรู้ชุมชนคลองโยง" ที่โรงเรียนและชาวบ้านร่วมกันดูแลพื้นที่ป่าชายเลนให้เป็นแหล่งเรียนรู้ด้านระบบนิเวศและการอนุรักษ์

5.3 สนับสนุนงบประมาณระยะยาวและระบบติดตามผลแบบมีส่วนร่วม ควรจัดสรรงบประมาณต่อเนื่อง พร้อมสร้างระบบติดตามและประเมินผล โดยให้ประชาชนมีส่วนร่วม เช่น คณะกรรมการหมู่บ้าน หรือชมรมเยาวชน เพื่อให้เกิดความโปร่งใสและการมีส่วนร่วมในทุกขั้นตอน เช่น องค์กรปกครองท้องถิ่นร่วมกับชุมชนสร้างแผนพัฒนาเขตพื้นที่อนุรักษ์ โดยประชาชนสามารถเสนอแนวทางและติดตามผลได้ผ่านระบบข้อมูลสาธารณะ

5.4 พัฒนาหลักสูตรและกิจกรรมที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง จัดทำหลักสูตรที่เน้น Active Learning (การเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ) และ Project-Based Learning (การเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน) เช่น การสอนเรื่องโลกร้อนผ่านการวัดอุณหภูมิในโรงเรียนหรือการจัดการขยะในตลาดชุมชน พร้อมบูรณาการการเรียนรู้ในวิชาหลัก เช่น วิทยาศาสตร์ สังคม และการงานอาชีพ เช่น โครงการ "โรงเรียนปลอดขยะ" ที่ให้นักเรียนคิดกิจกรรมรีไซเคิล ทำธนาคารขยะ และขายรายได้มาบริหารสวัสดิการในโรงเรียน

5.5 เสริมสร้างการมีส่วนร่วมของประชาชนและเยาวชน เปิดพื้นที่ให้ ประชาชน เยาวชน และกลุ่มเปราะบาง เข้ามามีบทบาทในการออกแบบนโยบายและกิจกรรมด้านสิ่งแวดล้อม เช่น สภาเยาวชนระดับตำบล หรือกลุ่มนักเรียนจิตอาสา เพื่อปลูกฝังจิตสำนึกเชิงรุกและทักษะการเป็นพลเมือง เช่น การจัดค่ายเยาวชน "รักษ์ป่า" ที่ให้นักเรียนจากหลายโรงเรียนมาเรียนรู้การอนุรักษ์และนำแนวคิดกลับไปสร้างกิจกรรมในโรงเรียนตนเอง

โดยสรุป หากประเทศไทยสามารถขับเคลื่อนแนวทางเหล่านี้ได้อย่างจริงจังและต่อเนื่อง จะไม่เพียงช่วยปกป้องความมั่นคงของระบบนิเวศและสร้างภูมิคุ้มกันให้กับสังคมไทย แต่ยังเป็นการวางรากฐานสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนอย่างแท้จริง สังคมไทยจะเปลี่ยนผ่านจากการเผชิญปัญหาเชิงรับ สู่การเป็นสังคมแห่งการเรียนรู้และลงมือแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมร่วมกันอย่างมีพลังและความหวัง

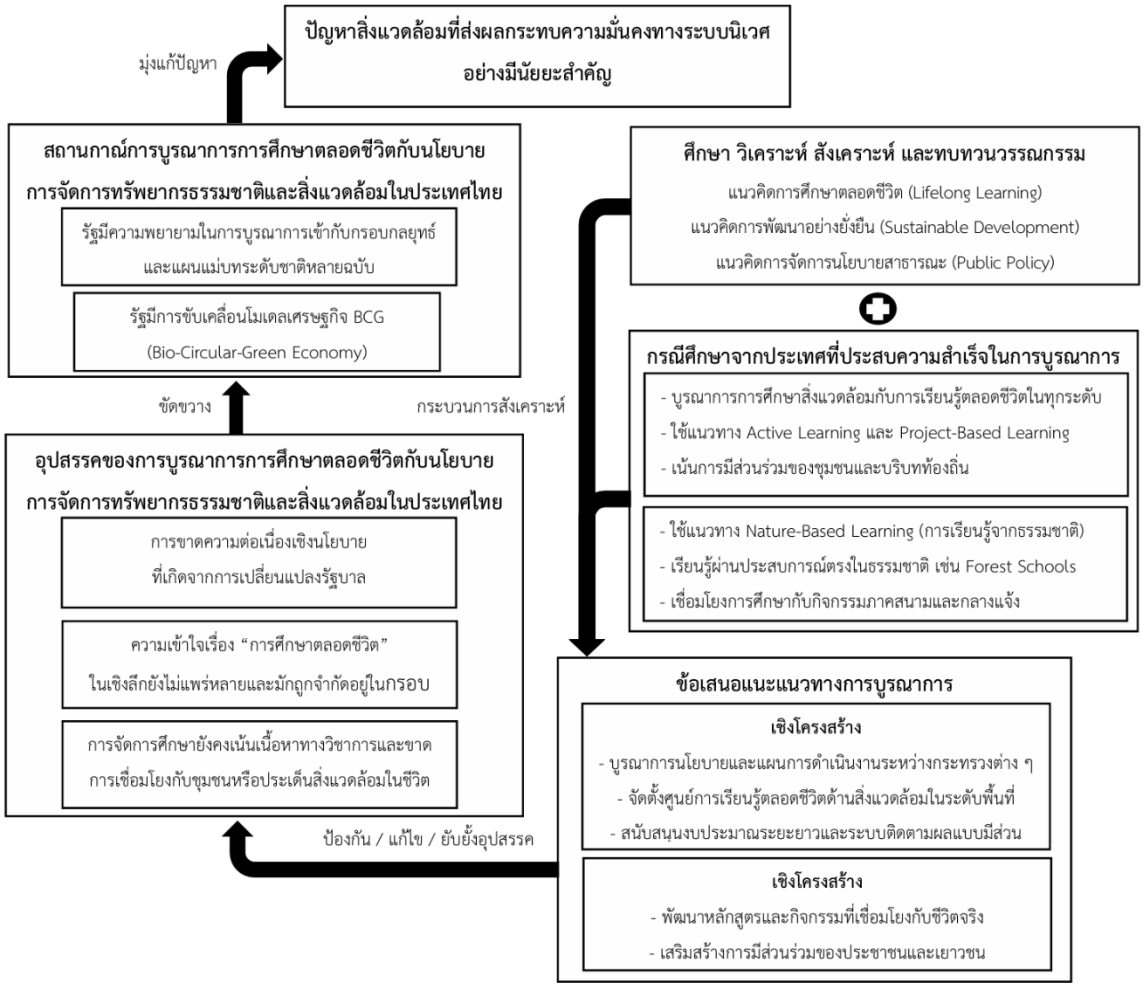
6. ข้อเสนอแนะเชิงโครงสร้างและข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ

การบูรณาการการศึกษาตลอดชีวิตกับนโยบายการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อความมั่นคงทางระบบนิเวศ จำเป็นต้องดำเนินการทั้งในระดับนโยบายและระดับปฏิบัติ เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ยั่งยืนและครอบคลุมทุกกลุ่มเป้าหมายในสังคมไทย ดังต่อไปนี้

ข้อเสนอแนะเชิงโครงสร้าง ประการแรก ควรบูรณาการแผนและนโยบายข้ามกระทรวงระหว่างกระทรวงศึกษาธิการ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และกระทรวงมหาดไทย เพื่อให้การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและการส่งเสริมการศึกษาตลอดชีวิตให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ลดความซ้ำซ้อนของนโยบาย และเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน [14][16] ประการที่สอง ควรจัดตั้ง "ศูนย์การเรียนรู้สิ่งแวดล้อมตลอดชีวิต" ในระดับพื้นที่ โดยใช้โรงเรียน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และศูนย์การเรียนรู้ชุมชนเป็นฐาน เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างภาคการศึกษา ชุมชน และภาคประชา [20][9] ประการที่สาม ภาครัฐควรสนับสนุนงบประมาณระยะยาวและต่อเนื่องสำหรับการพัฒนาหลักสูตร กิจกรรม และโครงการด้านสิ่งแวดล้อมที่เชื่อมโยงกับการศึกษาตลอดชีวิต รวมถึงการลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานด้านการเรียนรู้และเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อสิ่งแวดล้อม [14] นอกจากนี้ ควรเสริมสร้างกลไกติดตามและประเมินผลที่มีส่วนร่วมจากภาคประชาชน เพื่อให้เกิดความโปร่งใสและการปรับปรุงนโยบายอย่างต่อเนื่อง [18]

ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ ในระดับปฏิบัติ ควรพัฒนาหลักสูตรสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับแต่ละช่วงวัย ตั้งแต่เด็ก วัยทำงาน ไปจนถึงผู้สูงอายุ โดยเน้นการบูรณาการประเด็นสิ่งแวดล้อมเข้ากับทักษะชีวิตและอาชีพ [9] ส่งเสริมกิจกรรม "เรียนรู้จากโครงการจริง" เช่น โครงการฟื้นฟูป่าโดยชุมชน การจัดค่ายสิ่งแวดล้อม และการเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติในพื้นที่จริง เพื่อสร้างประสบการณ์ตรงและปลูกฝังจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม [21] นอกจากนี้ ควรใช้ทรัพยากรท้องถิ่นเป็นฐานการเรียนรู้ โดยนำภูมิปัญญาท้องถิ่นและธรรมชาติมาเป็นสื่อและเนื้อหาการเรียนรู้ เพื่อเชื่อมโยงผู้เรียนกับบริบทชุมชนและสร้างความรู้สึกเป็นเจ้าของทรัพยากร [8] ควรสนับสนุนโรงเรียนและสถาบันการศึกษาที่เน้นการเรียนรู้เชิงรุกและการเรียนรู้จากธรรมชาติ รวมถึงสร้างเครือข่ายความร่วมมือกับองค์กรท้องถิ่น ภาคประชาสังคม และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สถาบันอุดมศึกษา และเครือข่ายอาสาสมัครด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อขยายผลและสร้างความต่อเนื่องของการเรียนรู้ตลอดชีวิต [14][16] การดำเนินการตามข้อเสนอเหล่านี้จะช่วยให้ประเทศไทยสามารถสร้างระบบ

การศึกษาตลอดชีวิตที่บูรณาการกับนโยบายสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนและเสริมสร้างความมั่นคงของระบบนิเวศในระยะยาว



รูปที่ 1 แผนผังสรุปความคิดรวบยอดแนวทางการบูรณาการการศึกษาตลอดชีวิตกับนโยบายการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเพื่อความมั่นคงทางระบบนิเวศ

ที่มา: การสังเคราะห์ข้อมูลของผู้จัดทำ

เอกสารอ้างอิง

[1] United Nations Environment Programme. (2022). Making peace with nature: A scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution emergencies. Retrieved from https://www.unep.org/resources/making-peace-nature

[2] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2565). สถิติประชากรประจำปี 2565. กรุงเทพฯ: สำนักงานสถิติแห่งชาติ.

[3] United Nations Environment Programme. (2018). Global environmental outlook: Regional assessment. United Nations Environment Programme.

[4] Bangkok Post. (2025). Thailand's environmental challenges in the 21st century.

[5] UNESCO. (2021). Futures of education: Learning to become. Retrieved from https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379707

[6] United Nations. (2019). World population prospects (2019). Highlights. Retrieved from https://population.un.org/wpp/

[7] Sterling, S. (2010). Transformative learning and sustainability: Sketching the conceptual ground. Learning and Teaching in Higher Education, (5), 17–33.

[8] Thai Education Foundation. (2009). รายงานสถานการณ์การศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: มูลนิธิการศึกษาไทย.

[9] UNESCO. (2025). Education for sustainable development: A roadmap. UNESCO Publishing.

[10] Illeris, K. (2009). Contemporary theories of learning: Learning theorists... in their own words. Routledge.

[11] Persson, Å. (2004). Environmental policy integration: An introduction. Stockholm Environment Institute.

[12] Cornell Brooks Public Policy. (2023). Policy integration for sustainable development.

[13] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2563). ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561–2580). กรุงเทพฯ: สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.

[14] NXPO. (2025). BCG Economy and sustainable development in Thailand. สำนักงานสภานโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ.

[15] Open Development Thailand. (2025). BCG economy model and the SDGs. Retrieved from https://thailand.opendevelopmentmekong.net/en/tag/bcg-model/thailand.opendevelopmentmekong.net+1thailand.opendevelopmentmekong.net+1

[16] Thai-German Cooperation. (2025). Policy integration is key to confront climate change in Thailand. Retrieved from https://www.thai-german-cooperation.info/en_US/policy-integration-is-key-to-confront-climate-change-in-thailand/Thai German Cooperation

[17] PCD. (2024). รายงานสถานการณ์สิ่งแวดล้อมประเทศไทย 2567. กรมควบคุมมลพิษ.

[18] WWF-SCP. (2025). Sustainable consumption and production in Thailand: Policy gaps and opportunities. WWF Thailand.

[19] Nation Thailand. (2025). Young people in Thailand call for a bigger role in climate action. Retrieved from https://www.nationthailand.com/sustaination/40044100 nationthailand+2nationthailand+2nationthailand+2

[20] Eco-Schools Finland. (2023). Vihreä lippu – Green Flag programme in Finland. Retrieved from https://www.ecoschools.global/news-stories/2019/7/11/20-years-of-eco-schools-in-finlandEco Schools

[21] Naturskyddsföreningen. (2023). Education for sustainable development. Retrieved from https://www.naturskyddsforeningen.se/skola/education-for-sustainable-development/Naturskyddsföreningen

[22] SEI. (2016). Sustainable Håkarängen: Community-based environmental education in Sweden. Stockholm Environment Institute.

ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของมาตรการทางภาษีต่อการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาเพื่อกระตุ้นเศรษฐกิจสีเขียวในประเทศไทย

สุวิมล บัวพรหม[1,2*]

[1]คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร
[2]คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม แขวงวัดท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพมหานคร
** Corresponding author: suwimon.buap@ku.th; suwimonb@siamtechno.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของมาตรการทางภาษีต่อการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดา เพื่อกระตุ้นเศรษฐกิจสีเขียวในประเทศไทย โดยศึกษาผลของมาตรการทางภาษีต่อพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์และบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ตลอดจนวิเคราะห์ผลกระทบต่อรายได้ภาครัฐและการขยายตัวทางเศรษฐกิจ การศึกษานี้ใช้กรอบแนวคิดทางเศรษฐศาสตร์ภาษีและเศรษฐศาสตร์พฤติกรรม และการวิเคราะห์เชิงเศรษฐมิติ (Econometric analysis) ผลการศึกษาพบว่าเมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์การถดถอยเพียงอย่างเดียว ไม่พบความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างมาตรการลดหย่อนภาษีและการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้บริโภคสีเขียว ในขณะที่วิธีการวิเคราะห์ความแตกต่างในความแตกต่าง (DiD) พบว่ามาตรการลดหย่อนภาษีส่งผลกระทบเชิงบวกต่อพฤติกรรมการบริโภคสีเขียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ บ่งชี้ให้เห็นว่ามาตรการลดหย่อนภาษีกระตุ้นการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมผู้บริโภคให้สนับสนุนสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้บริโภคที่มีรายได้ระดับกลางถึงสูง ซึ่งมีศักยภาพในการเลือกซื้อสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้ อย่างไรก็ตาม มาตรการลดหย่อนภาษีที่มีอยู่อาจยังไม่มีความครอบคลุมและเจาะจงผลิตภัณฑ์ทุกประเภท จึงเสนอให้มีการปรับปรุงโครงสร้างภาษีเพื่อรักษาความสมดุลระหว่างเศรษฐกิจและการรักษาเสถียรภาพทางการคลังของรัฐ การเพิ่มมาตรการจูงใจทางเศรษฐศาสตร์ควบคู่กับมาตรการทางกฎหมายสนับสนุนการให้สิทธิทางภาษีแก่ผู้ผลิตห่วงโซ่อุปทานสีเขียว และสร้างแรงจูงใจแก่กลุ่มผู้บริโภค ผลการศึกษานี้จึงสามารถเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนานโยบายและมาตรการทางภาษีที่สนับสนุนเศรษฐกิจสีเขียวอย่างยั่งยืนและเพิ่มประสิทธิภาพของมาตรการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาในบริบทของประเทศไทย

คำสำคัญ: มาตรการลดหย่อนภาษี / เศรษฐกิจสีเขียว / เศรษฐศาสตร์พฤติกรรม / การบริโภคที่ยั่งยืน / เสถียรภาพทางการคลัง

The Economic Potential of Tax Measures on Personal Income Tax Deductions to Stimulate the Green Economy in Thailand

Suwimon Buaprom[1,2*]

[1]*Faculty of Environment, Kasetsart University, Thailand*
[2]*Faculty of Health Science, Siam Technology College, Thailand*
** Corresponding author: suwimon.buap@ku.th; suwimonb@siamtechno.ac.th*

Abstract

This study aims to analyze the economic potential of personal income tax deduction measures for stimulating the green economy in Thailand. The study systematically examines the effects of tax measures and policies on consumption behaviors regarding environmentally friendly products and services, while simultaneously evaluating fiscal implications for government revenue streams and macroeconomic expansion. The methodological framework incorporates principles from tax economics, behavioral economics, and employs rigorous econometric analytical techniques as well.

The empirical findings indicate that standard regression analysis failed to establish statistically significant correlations between tax deduction measures and modifications in green consumption patterns. However, Difference-in-Differences (DiD) analysis demonstrated that the results revealed statistically significant positive impacts to tax deduction measures on environmentally conscious consumption behaviors, which indicates that such tax deduction measures can effectively stimulate a behavioral transition toward environmentally responsible consumption, particularly among middle to high-income consumers possessing greater financial capacity to willing to pay in eco-friendly alternatives.

Despite these existing tax deduction measures framework exhibits limitations in its comprehensive application across diverse product categories. The study recommends improving tax reforms to maintain balance between economic development imperatives and fiscal stability, implementing complementary economic incentives alongside regulatory measures to extend tax benefits throughout green supply chains and establishing targeted consumer incentives. These findings contribute to guidance for developing tax policies and measures that sustainably promote the green economy and enhance the efficiency of personal income tax deductions in Thai context.

Keywords: Tax Deduction Measures / Green Economy / Behavioral Economics / Sustainable Consumption / Fiscal Stability

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและวิกฤตสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงขึ้นในปัจจุบัน ส่งผลต่อทั่วโลกให้ความสำคัญกับแนวคิดเศรษฐกิจสีเขียว (Green economy) ในฐานะกลไกสำคัญของการพัฒนาที่ยั่งยืนควบคู่กับการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม อันจะนำไปสู่การยกระดับคุณภาพชีวิต สร้างความเป็นธรรมเท่าเทียมกันทางสังคม ลดความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม และความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติ [20] หลายประเทศพัฒนาแล้ว อาทิ สหภาพยุโรป ญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ ได้นำนโยบายภาษีมาใช้เป็นเครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อกระตุ้นและส่งเสริมการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมไปสู่การบริโภคและการลงทุนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [17] แสดงให้เห็นว่านโยบายภาษีที่ออกแบบมาอย่างเหมาะสมสามารถมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมของผู้บริโภคได้อย่างมีนัยสำคัญ นโยบายการลดหย่อนภาษี (Tax deduction) เป็นหนึ่งในมาตรการที่ได้รับการพิจารณาการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดา สำหรับการบริโภคสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อาทิ ยานยนต์ไฟฟ้า การลงทุนในกองทุน Thai ESG เป็นต้น

ในบริบทของประเทศไทย แม้จะมีการกำหนดเป้าหมายการพัฒนาเศรษฐกิจสีเขียวไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 และยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี อย่างไรก็ดี การใช้มาตรการทางภาษีเพื่อส่งเสริมการบริโภคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมยังมีข้อจำกัดและความท้าทายหลายประการ โดยเฉพาะในด้านการออกแบบนโยบายที่ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างประสิทธิผลในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม ความเป็นธรรมทางภาษี และผลกระทบต่อรายได้ของรัฐ เพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม และยังคงความเสถียรภาพทางการคลังของประเทศ [9] แนวคิดการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาจึงได้รับการพิจารณาว่าเป็นกลไกสำคัญในการกระตุ้นพฤติกรรมผู้บริโภคและภาคธุรกิจให้สนับสนุนผลิตภัณฑ์และบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งในต่างประเทศแสดงให้เห็นว่าการให้สิทธิทางภาษีสำหรับสินค้าประหยัดพลังงานและยานยนต์ไฟฟ้า สามารถส่งเสริมตลาดและเร่งการเปลี่ยนผ่านไปสู่เศรษฐกิจคาร์บอนต่ำได้อย่างมีนัยสำคัญ [21] อย่างไรก็ดี ยังไม่มีการศึกษาใดในประเทศไทยที่วิเคราะห์ผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์ของมาตรการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาในแง่ของการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผู้บริโภคและผลกระทบต่อรายได้ของรัฐอย่างเป็นระบบ ทั้งในมิติของการวิเคราะห์เชิงปริมาณและข้อเสนอเชิงนโยบายที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง

การศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งวิเคราะห์ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของมาตรการทางภาษีต่อการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาจากการบริโภคสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อการส่งเสริมเศรษฐกิจสีเขียวในประเทศไทย โดยศึกษาผลกระทบเชิงพฤติกรรมของผู้บริโภค ประสิทธิภาพเชิงนโยบาย ตลอดจนข้อจำกัดและแนวทางการพัฒนา โดยใช้กรอบการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ภาษีและเศรษฐศาสตร์พฤติกรรม เพื่อเสนอแนวทางการดำเนินนโยบายทางภาษีที่มีประสิทธิภาพในการสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านไปสู่เศรษฐกิจสีเขียวได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนสอดคล้องกับบริบทของประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิเคราะห์ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของของมาตรการทางภาษีต่อการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาที่มีต่อการส่งเสริมเศรษฐกิจสีเขียวในประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมาตรการลดหย่อนภาษีกับการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์และบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
3. เพื่อเสนอแนวทางพัฒนานโยบายและมาตรการลดหย่อนภาษีที่เหมาะสมและสร้างดุลยภาพระหว่างการส่งเสริมเศรษฐกิจสีเขียวและการรักษาเสถียรภาพทางการคลังของประเทศ

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งวิเคราะห์ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของมาตรการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาต่อการส่งเสริมเศรษฐกิจสีเขียวในประเทศไทย โดยกำหนดขอบเขตการศึกษา ดังนี้

3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเอกสาร (Documentary research) มุ่งศึกษาข้อมูลทุติยภูมิและหลักการทางกฎหมาย ประกาศ ระเบียบ มาตรการ นโยบาย บทความวิจัยจากวารสาร เอกสารวิชาการ ตลอดจนรายงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกับภาษีสิ่งแวดล้อม และ/หรือมาตรการลดหย่อนภาษี และข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์พฤติกรรมการบริโภคสีเขียว ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

1) ศึกษาข้อมูลทางสถิติย้อนหลัง 10 ปี ระหว่าง พ.ศ. 2556 – 2567 ได้แก่ รายได้ ค่าใช้จ่าย และหนี้สินของครัวเรือน สถิติข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ผลรวมรายได้จัดเก็บของรัฐบาลในปี 2567 ผลการจัดเก็บรายได้ของกรมสรรพากร และการจัดเก็บภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาและการใช้สิทธิลดหย่อนภาษี

2) นโยบายและมาตรการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์และบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของมาตรการที่มีอยู่ต่อเศรษฐศาสตร์พฤติกรรมของผู้บริโภค

3.2 ขอบเขตด้านตัวแปร

3.2.1 ตัวแปรตาม คือ การบริโภคสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (บาท) (Green spending)

3.2.2 ตัวแปรอิสระ ได้แก่ มาตรการลดหย่อนภาษี (Tax deduction) รายได้ของผู้บริโภค (บาท) (Income) ระดับความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อม (Awareness) อายุของผู้บริโภค (Age)

4. วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ใช้วิธีวิจัยแบบผสมผสาน (Mix method research) โดยบูรณาการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative research) และเชิงคุณภาพ (Qualitative research) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

4.1 รวบรวมข้อมูล

4.1.1 รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ ฐานข้อมูลภาษีของกรมสรรพากร สถิติเศรษฐกิจและสังคมจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ และรายงานการศึกษาที่เกี่ยวข้อง โดยประเมินผลกระทบต่อรายได้รัฐและการเติบโตทางเศรษฐกิจ

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

4.2.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

1) สมการโมเดลพื้นฐานโดยการวิเคราะห์การถดถอย (Multiple Linear Regression Analysis: MLR) ด้วยการประมาณค่าสัมประสิทธิ์กำลังสองน้อยสุด (Ordinary Least Squares: OLS) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมาตรการลดหย่อนภาษีและการบริโภคสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green spending) ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับตัวแปรด้านมาตรการลดหย่อนภาษีและปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ การใช้จ่ายของประชาชนในสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รายได้ของประชาชน (Income) ระดับความตระหนักรู้ (Awareness) และอายุของผู้บริโภค (Age) แสดงดังสมการที่ 1

$$Green\_Spending_i = \beta_0 + \beta_1 Tax\_Deduction_i + \beta_2 Income_i + \beta_3 Awareness_i + \beta_4 Age_i + \epsilon_i \quad (1)$$

โดยคาดว่า $\beta_1>0$ หมายถึง มาตรการลดหย่อนภาษีมีผลเชิงบวกต่อการใช้จ่ายในสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2) สมการโมเดลพื้นฐานโดยการวิเคราะห์ความแตกต่างในความแตกต่าง (Difference-in-Differences: DiD) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิกลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มทดลอง (Treatment group) เป็นกลุ่มผู้บริโภคที่มีสิทธิ์ใช้มาตรการลดหย่อนภาษีสำหรับสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และกลุ่มควบคุม (Control group) เป็นกลุ่มผู้บริโภคที่ไม่มีสิทธิ์ใช้มาตรการลดหย่อนภาษี เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของการใช้จ่ายก่อนและหลังนโยบายระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม แสดงดังสมการที่ 2

$$Green\_Spending_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Treatment_i + \alpha_2 Post_t + \alpha_3 (Treatment_i \times Post_t) + \epsilon_{it} \quad (2)$$

โดยคาดว่า $\alpha_3 > 0$ หมายถึง มาตรการลดหย่อนภาษีช่วยกระตุ้นให้ผู้บริโภคใช้จ่ายสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น

4.2.2 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

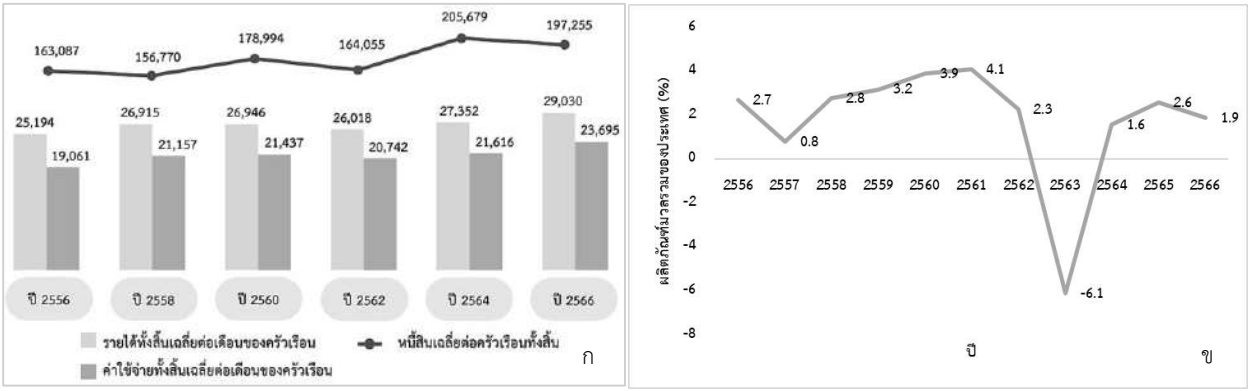
การวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) จากเอกสารวิชาการและการทบทวนวรรณกรรม ศึกษาความสอดคล้องจากการศึกษาเอกสารและข้อมูลทุติยภูมิความสัมพันธ์ระหว่างมาตรการลดหย่อนภาษีกับการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์และบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จากนั้นนำผลการวิเคราะห์มากำหนดประเด็นที่ควรเสนอแนวทางการพัฒนามาตรการลดหย่อนภาษีเงินได้ที่เหมาะสมจากการบริโภคสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา (Descriptive analysis) ซึ่งผลการวิเคราะห์จะนำไปสู่การพัฒนาข้อเสนอแนะเชิงนโยบายที่มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติและสอดคล้องกับบริบทของประเทศไทย

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

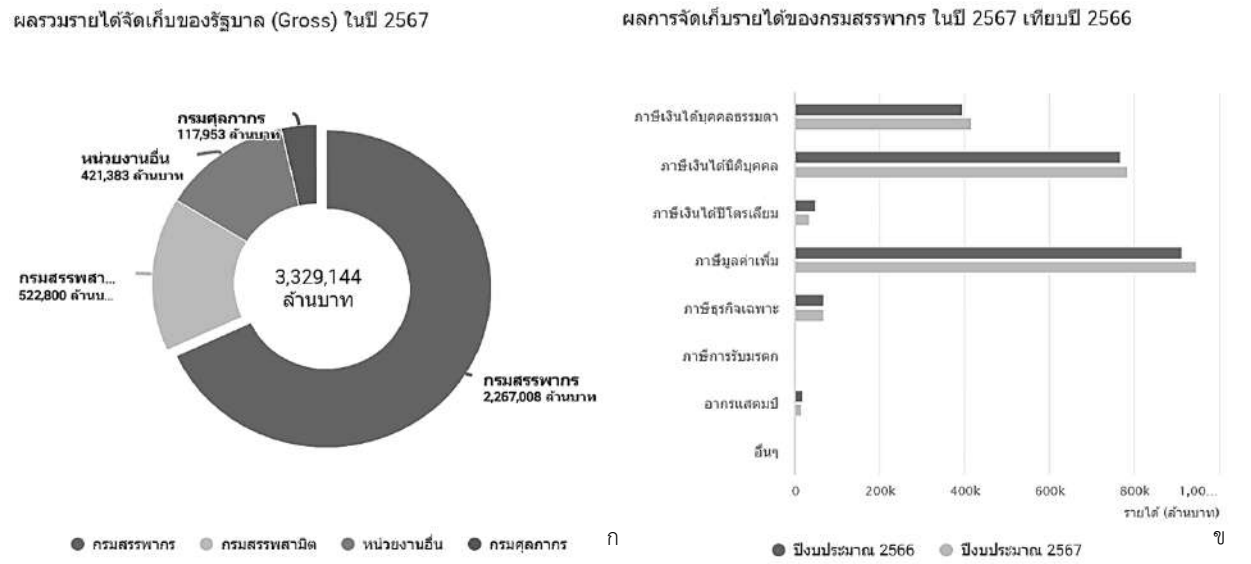
5.1 การวิเคราะห์นโยบายและมาตรการทางภาษีและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระบบเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม

เมื่อพิจารณาข้อมูลรายได้ ค่าใช้จ่าย และหนี้สินของครัวเรือน ตั้งแต่ปี 2556 จนถึงปี 2566 พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยค่าใช้จ่ายอุปโภคบริโภค ร้อยละ 87.1 พบว่าอาหาร เครื่องดื่ม และยาสูบ เป็นหมวดค่าใช้จ่ายที่มากที่สุด ร้อยละ 35.3 และผลรวมรายได้จัดเก็บของรัฐบาลในปี 2567 เท่ากับ 3,329,144 ล้านบาท พบว่ารายได้หลักมาจากภาษีกรมสรรพากร จำนวน 2,267,008 ล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 68.12 ของรายได้ทั้งหมดของรัฐบาล เมื่อเปรียบเทียบภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาระหว่างปีงบประมาณ 2567 และ 2566 พบว่ารัฐบาลไทยมีรายได้จากภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาเพิ่มขึ้นเป็น 415,192.68 ล้านบาท จากเดิม 395,743.92 ล้านบาท เนื่องจากมีการปรับปรุงโครงสร้างภาษีเงินได้บุคคลธรรมดา โดยปรับอัตราภาษีให้ถี่ขึ้น และเพิ่มค่าใช้จ่ายและค่าลดหย่อน สอดคล้องกับสถานการณ์เศรษฐกิจและผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ที่มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.9 เป็นร้อยละ 2.7 [12] แสดงดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3

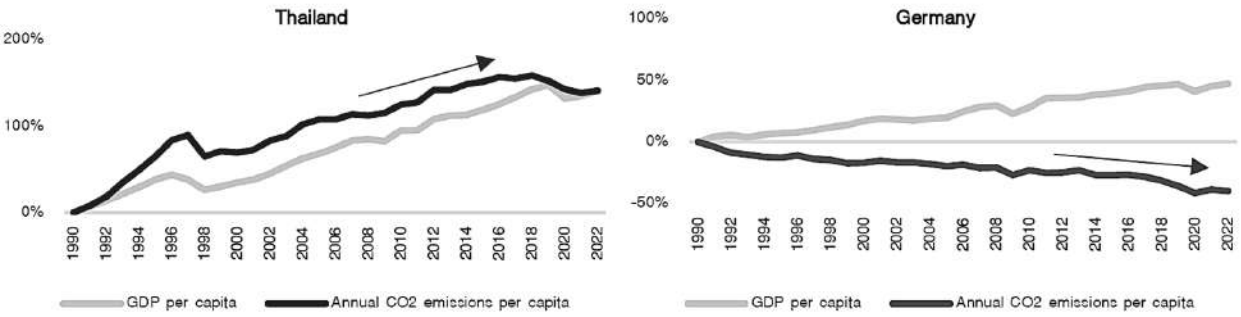
นโยบายสิ่งแวดล้อมส่งผลกระทบต่อมูลค่าอุตสาหกรรมไทยมากถึง 6.5 ล้านล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 37 ต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) พบว่าการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มูลค่าอุตสาหกรรมได้รับผลกระทบจากร่างพระราชบัญญัติการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. .... การพัฒนาตลาดคาร์บอน (Carbon market) และภาษีคาร์บอน เมื่อพิจารณาถึงนโยบายสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมสร้างแรงกดดันจากต่างประเทศ แสดงดังรูปที่ 4 ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการแข่งขันของธุรกิจและการเจริญเติบโตทางระบบเศรษฐกิจแปรผลผันกับประเทศพัฒนาแล้ว อาทิ เยอรมนี เนื่องจากมีการบังคับใช้มาตรการปรับราคาคาร์บอนก่อนข้ามพรมแดน (CBAM) ส่งผลต่อผู้ส่งออกจะต้องมีการรายงานปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ทุกไตรมาสก่อนจัดเก็บค่าธรรมเนียมในปี 2569 โดยเฉพาะในภาคส่วนพลังงาน ภาคขนส่ง ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และเหล็ก [6] สอดคล้องกับดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อม (EPI) พบว่าประเทศไทยมีคะแนนดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ 45.7 คะแนน ในปี 2567 แสดงถึงการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมที่ยังคงต้องปรับปรุง โดยเฉพาะในด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมและความสมบูรณ์ของระบบนิเวศ และพบว่านโยบายด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate policy) มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 36 คะแนน [10, 15]



รูปที่ 2 (ก) รายได้ ค่าใช้จ่าย และหนี้สินของครัวเรือน (หน่วย: บาท) ปี 2556 – 2566 และ (ข) สถิติข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) ปี 2556 – 2566 [12]



รูปที่ 3 (ก) ผลรวมรายได้จัดเก็บของรัฐบาลในปี 2567 และ (ข) ผลการจัดเก็บรายได้ของกรมสรรพากรในปี 2567 เทียบปี 2566 [11]



รูปที่ 4 อัตราการเปลี่ยนแปลงของ GDP ต่อหัวกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ค.ศ. 1990 - 2022 มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน [6]

ปัจจุบันมีมติเห็นชอบมาตรการทางภาษีประเด็นการปรับลดอัตราภาษีสรรพสามิตสถานบริการหรือหย่อนใจ เพื่อกระตุ้นการท่องเที่ยว และมาตรการ Easy E-Receipt 2.0 เพื่อสนับสนุนการบริโภคในประเทศและหักลดหย่อนค่าสินค้าและบริการ แม้ภาครัฐจะไม่มีขอบเขตการลดหย่อนสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจน อย่างไรก็ดี ก็มีแนวโน้มสอดคล้องกับนโยบายรัฐบาลที่ต้องการให้ผู้ประกอบการมีต้นทุนลดลง ซึ่งต้นทุนที่ลดลงดังกล่าวจะทำให้ผู้ประกอบการมีสภาพคล่องเพื่อใช้ในการดำเนินธุรกิจมากยิ่งขึ้น สามารถลงทุนเพื่อต่อยอดทางธุรกิจ หรือทำแผนส่งเสริมการขายเพื่อช่วยจูงใจการบริโภคมากยิ่งขึ้น เป็นการช่วยกระตุ้นเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมมวลรวมของประเทศ ดังนั้น การลดหย่อนภาษีสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจะแฝงในรายการสินค้าที่เข้าร่วมการลดหย่อนภาษี 2568 "Easy E-Receipt 2.0" แบ่งเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย การใช้จ่ายสินค้าทั่วไปโดยกำหนดวงเงินลดหย่อนภาษีได้ไม่เกิน 30,000 บาท และการใช้จ่ายร้านวิสาหกิจชุมชน SME และร้านค้า OTOP ลดหย่อนภาษีได้ตั้งแต่ 20,000 – 50,000 บาท ปัจจุบันไม่มีข้อมูลเฉพาะเจาะจงเกี่ยวกับสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่สามารถใช้ลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาได้โดยตรง [4]

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมาตรการลดหย่อนภาษีกับการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์และบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ความเข้าใจพื้นฐานด้านการจัดเก็บภาษีสิ่งแวดล้อมนั้นมาจากการพิจารณาจากนโยบายทางภาษีของรัฐ ประกอบด้วยหลักการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม และหลักการทางเศรษฐศาสตร์พฤติกรรม มาสนับสนุนแนวคิดการจัดเก็บภาษีการบริโภคสินค้าและใช้บริการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนแนวคิดการบริโภคสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อนำไปลดหย่อนภาษีเงินได้กรณีบุคคลธรรมดาจากการยื่นภาษีแบบ ภ.ง.ด. 90/91 จากข้อมูลรายการสินค้าที่เข้าร่วมการลดหย่อนภาษี 2568 จะเห็นได้ว่ามาตรการไม่มีขอบเขตการลดหย่อนสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจนตาม "Easy E-Receipt 2.0" อาจยังไม่มีแรงจูงใจมากเท่าที่ควร เนื่องจากสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมักมีต้นทุนสูง ทำให้การอุดหนุนสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นในเฉพาะกลุ่ม (Niche) หรือผู้บริโภคสีเขียว (Green consumers) ซึ่งยังไม่นิยมใช้ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมในการเลือกใช้สินค้าและบริการ ทำให้ตลาดสีเขียวของประเทศไทยยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควร [17] อีกทั้งขึ้นกับปัจจัยด้านเศรษฐกิจ อาทิ รายได้ต่อหัว ค่าใช้จ่ายที่ไม่สอดคล้องกับการดำเนินชีวิต สอดคล้องภาพรวมเศรษฐกิจไทยปี 2567 ที่มีกำลังขยายตัวขึ้นร้อยละ 2.7 จากข้อมูลเมื่อยื่นแบบภาษี ภ.ง.ด. 90/91 พบว่ารายได้ต่อหัวของคนไทยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 264,607.7 บาทต่อปี [13] รายได้ของบุคคลจะถูกจัดกลุ่มตามช่วงรายได้เพื่อคำนวณภาษีเงินได้บุคคลธรรมดา ซึ่งมีรายได้ระหว่าง 150,001 – 300,000 บาท [2] ในขณะที่ค่าซื้อหน่วยลงทุนในกองทุนรวมไทยเพื่อความยั่งยืน (Thai ESG) เป็นสิทธิการหักลดหย่อนได้หลังจากหักค่าใช้จ่ายแล้ว [5] เงินได้เท่าที่จ่ายเป็นค่าซื้อหน่วยลงทุน หรือเงิน หรือผลประโยชน์ใด ๆ ที่ได้รับเนื่องจากการขายหน่วยลงทุนคืนให้แก่กองทุนรวมไทยเพื่อความยั่งยืนตามกฎหมายว่าด้วยหลักทรัพย์และตลาดหลักทรัพย์ จะมีสิทธิได้รับการยกเว้นภาษี ตามมาตรา 42 แห่งประมวลกฎหมายรัษฎากร [3]

หากพิจารณาถึงกำลังซื้อและความเต็มใจที่จ่ายเพื่อสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม พบว่าผู้บริโภคเต็มใจจ่ายสินค้าและบริการในราคาเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 20 เท่ากับร้อยละ 20 ราคาเพิ่มขึ้นไม่เกินร้อยละ 20 เท่ากับร้อยละ 55 และราคาใกล้เคียงหรือเท่าเดิม เท่ากับร้อยละ 25 จึงเห็นได้ว่าสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมหากมีราคาต้นทุนเพิ่มขึ้นไม่เกินร้อยละ 20 จะส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคมากที่สุด นอกจากปัจจัยด้านราคาแล้ว ยังมีปัจจัยด้านสนับสนุนการตัดสินใจซื้อมาจากมาตรการจูงใจและส่งเสริมการขายมากที่สุดถึงร้อยละ 88 ในขณะที่ปัจจัยด้านการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้จริงรองลงมาร้อยละ 83 ปัจจัยด้านราคาสูงกว่าปกติไม่เกินร้อยละ 20 เท่ากับร้อยละ 65 และปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือของผู้ผลิตร้อยละ 64 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1 โดยกลุ่มผู้บริโภคส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มผู้มีรายได้ระดับปานกลางขึ้นไป โดยเฉพาะกลุ่มผู้มีรายได้ตั้งแต่ 45,000 เป็นต้นไป ระดับการศึกษาตั้งแต่ปริญญาตรีขึ้นไป และมีความเข้าใจปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม [8] ซึ่งเป็นกลุ่มคนที่มีกำลังซื้อมากที่สุด เนื่องจากไม่มีภาระทางการเงินมากนัก อาทิ สถานะโสด ไม่มีภาระในการเลี้ยงดูบุตร และมีความเต็มใจที่จะใช้จ่ายในด้านสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [14] จึงจะเป็นกลุ่มที่ยังพอมีกำลังซื้อและซื้อสินค้าปกติที่มีราคาใกล้เคียงกับสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอยู่แล้ว แม้ว่าผู้บริโภคจะมีความเต็มใจจ่ายเพิ่มมากกว่าสินค้าปกติ

ตารางที่ 1 ผลการสำรวจความเต็มใจจ่ายเพื่อสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [8]

ความเต็มใจจ่ายเพื่อสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	ร้อยละ (%)	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	ร้อยละ (%)
ราคาเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 20	20	มาตรการจูงใจและส่งเสริมการขาย	88
ราคาเพิ่มขึ้นไม่เกินร้อยละ 20	55	ลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้จริง	83
ราคาใกล้เคียงหรือเท่าเดิม	25	ราคาสูงกว่าปกติไม่เกินร้อยละ 20	65
		ความน่าเชื่อถือของผู้ผลิต	64

ทั้งนี้ ผู้บริโภคมองว่าสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมซึ่งมีราคาสูงกว่าสินค้าปกติ เนื่องจากธุรกิจอาจมีต้นทุนการพัฒนาสินค้าและปรับปรุงกระบวนการผลิตในระยะแรก อย่างไรก็ดี คาดว่าในระยะต่อไปความแตกต่างของราคาสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมกับสินค้าปกติน่าจะปรับตัวลดลงตามแนวโน้มตลาดที่ทุกธุรกิจต้องปรับตัวไปสู่โมเดลเศรษฐกิจ BCG ซึ่งธุรกิจน่าจะสามารถบริหารต้นทุนการจัดการได้ในระยะยาว สามารถเป็นกลุ่มเป้าหมายที่ดีสำหรับธุรกิจที่เน้นสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในห่วงโซ่อุปทาน

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของการบริโภคสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green spending)

Variables	Coefficient	Std. Error	t - test	p > I t I	R^2
Intercept	62.8292	3002.211	0.021	0.984	-7654.600
Tax deduction	-374.0018	132.106	-0.283	0.788	-3767.444
Income	0.0662	0.058	1.146	0.304	-0.082
Awareness	-196.3596	507.206	-0.387	0.715	-1500.175
Age	131.8428	167.044	0.789	0.466	-297.557
Observations	10				
Df Residuals	5				
Df Model	4				

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่ามาตรการลดหย่อนภาษีส่งผลกระทบเชิงบวกต่อพฤติกรรมผู้บริโภคที่ความสัมพันธ์เท่ากับ 0.88 หรือคิดเป็นร้อยละ 88 แสดงความสัมพันธ์กับตัวแปรด้านนโยบายลดหย่อนต่อการใช้จ่ายของประชาชนในสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รายได้ ระดับความตระหนักเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม และอายุของผู้บริโภค เท่ากับ 0.788 0.304 0.715 และ 0.466 ตามลำดับ บ่งชี้ได้ว่ามาตรการลดหย่อนภาษีเพียงอย่างเดียวอาจยังไม่มีผลต่อพฤติกรรมการใช้จ่ายในสินค้าสีเขียวอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างในความแตกต่างของมาตรการลดหย่อนภาษีมีผลต่อการบริโภคสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Variables	Coefficient	Std. Error	t - test	p > I t I	R^2
Intercept	5500.0000	935.414	5.880	0.001	3288.097
Treatment	2375.0000	875.000	2.714	0.030	305.954
Post	-2500.0000	1870.829	-1.336	0.223	-6923.807
Interaction	2375.0000	875.000	2.714	0.030	305.954
Observations	10				
Df Residuals	7				
Df Model	2				

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของค่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (Interaction) เท่ากับ 0.030 บ่งชี้ได้ว่ามาตรการลดหย่อนภาษีมีผลต่อการบริโภคสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือ ผู้ได้รับสิทธิลดหย่อนภาษี (Treatment) มีแนวโน้มบริโภคสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นในระดับที่สังเกตได้ อย่างไรก็ดี แม้จะมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ผลกระทบเชิงปฏิบัติ (Practical significance) ยังอยู่ในระดับปานกลาง แสดงให้เห็นว่ามาตรการทางภาษีเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอในการสร้างการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมอย่างยั่งยืน และการบริโภคสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอาจลดลงหลังมีการใช้มาตรการดังกล่าว (Post) อาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น ราคาที่ยังสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสินค้าทั่วไป ความไม่แน่นอนของนโยบายภาครัฐ รวมถึงการขาดความรู้และความตระหนักของผู้บริโภคต่อประโยชน์ที่แท้จริงของสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จำเป็นต้องเสริมด้วยนโยบายและมาตรการอื่น ๆ เช่น การให้ข้อมูล การสร้างแรงจูงใจผ่านการประชาสัมพันธ์ หรือการกำกับทางกฎหมายด้วย สอดคล้องกับ Kallbekken et al. [16] ที่บ่งชี้ถึงมาตรการทางเศรษฐศาสตร์มีผลต่อการเปลี่ยนพฤติกรรมผู้บริโภคเมื่อควบคู่กับการให้ข้อมูลที่ชัดเจน เช่นเดียวกับ Schuitema et al. [19] พบว่าการลดหย่อนภาษีสามารถส่งเสริมการเลือกใช้พลังงานสะอาดได้ในระยะยาว หากประชาชนมีความเข้าใจในนโยบายและมีแรงจูงใจทางการเงินเพียงพอ และรายงานของ OECD [17] กล่าวถึงมาตรการจูงใจทางภาษีจำเป็นต้องออกแบบควบคู่กับการสนับสนุนจากภาครัฐในรูปแบบอื่น ๆ เช่น การอุดหนุน การให้ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่โปร่งใส และการควบคุมมาตรฐานสิ่งแวดล้อม เพื่อสร้างความมั่นใจแก่ผู้บริโภคและลดความลังเลในการตัดสินใจซื้อสินค้าและบริการที่มีราคาสูงขึ้น หากไม่มีการกำหนดนโยบายที่ชัดเจนและต่อเนื่อง ผู้บริโภคอาจรู้สึกว่าแรงจูงใจในปัจจุบันไม่เพียงพอที่จะกระตุ้นให้การบริโภคสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมลดลงในระยะยาว [21] อาทิ สาธารณรัฐเกาหลีใต้ ได้บังคับมาตรการทางกฎหมายที่ควบคู่ไปกับแรงจูงใจทางการเงิน (Financial incentive) ในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมที่ประสบความสำเร็จจากการจัดการขยะอาหาร โดยใช้มาตรการทางกฎหมายสั่งห้ามการทิ้งขยะอาหารในพื้นที่ฝังกลบขยะ รวมถึงมาตรการทางเศรษฐศาสตร์ที่มีการคิดค่าธรรมเนียมอาหารเหลือทิ้งของครัวเรือน หรือ Pay-As-You-Throw (PAYT) [7]

5.3 แนวทางการพัฒนานโยบายและมาตรการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาจากการบริโภคสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ภาษีสิ่งแวดล้อมจะมีหลักการพิจารณาการจัดเก็บภาษีที่อาจยังไม่ครอบคลุมการจัดเก็บภาษีสินค้าและบริการทุกประเภท เมื่อไม่มีกฎหมายบัญญัติไว้อย่างเป็นรูปธรรม หน่วยงานรัฐ หรือพนักงานเจ้าหน้าที่ของรัฐจึงไม่มีอำนาจกระทำการจัดเก็บภาษีอากร ในขณะที่สินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมก็ไม่มีระเบียบ หรือข้อกำหนดให้สิทธิทางภาษีสำหรับการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดา การลดหย่อนภาษีสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของประเทศไทยจึงยังไม่มีข้อมูลเฉพาะเจาะจงเกี่ยวกับสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่สามารถใช้ลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาได้โดยตรง [5] การพิจารณาการจัดเก็บภาษีคาร์บอนทำให้ต้นทุนสินค้าและบริการมีราคาสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจมหภาค สังคม การเมือง วัฒนธรรม ตลอดจนวิถีชีวิตของประชาชนที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงภาระทางสิ่งแวดล้อมได้ จึงต้องมีการให้สิทธิทางภาษีการดำเนินกิจกรรมทางระบบเศรษฐกิจที่ส่งผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม

มาตรการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดา จึงเป็นแนวคิดการใช้เป็นเครื่องมือสร้างแรงจูงใจในการเลือกซื้อสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้มากขึ้น ซึ่งมาตรการทางภาษีที่มีอยู่เดิมนั้นอาจไม่ครอบคลุมผลิตภัณฑ์มากเท่าที่ควร หากจัดทำนโยบายและมาตรการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาที่สอดคล้องกับบริบทปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย จะช่วยกระตุ้นและยกการเติบโตของระดับเศรษฐกิจ และลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อมได้ จากการวิเคราะห์ศักยภาพและความเป็นไปได้ในการจัดทำนโยบายและมาตรการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาจากการบริโภค

สินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ประเทศไทยมีศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ที่จะใช้มาตรการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาเพื่อกระตุ้นเศรษฐกิจสีเขียวได้ อย่างไรก็ดี ยังมีข้อจำกัดและความท้าทายหลายประการ ซึ่งมีความจำเป็นต้องปรับปรุงโครงสร้างภาษีและเพิ่มฐานภาษีให้ครอบคลุมมากขึ้น การปรับใช้มาตรการให้สอดคล้องและเหมาะสมกับเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม รวมถึงการสร้างความตระหนักและสนับสนุนจากทุกภาคส่วน นอกจากนี้ การปรับปรุงโครงสร้างทางภาษีจะช่วยให้เกิดความสมดุลระหว่างรายได้ของรัฐและประชาชนได้สิทธิลดหย่อนภาษีอย่างเป็นธรรม แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อควรพิจารณาการปรับปรุงมาตรการทางภาษี เพื่อสิทธิลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดา

มาตรการทางภาษีประเด็นสิทธิการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดา	รายละเอียดและข้อควรพิจารณาแนวทางการพัฒนา
มาตรการ "Easy E-Receipt 2.0	การให้ผู้เสียภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาได้หักลดหย่อนค่าซื้อสินค้าหรือค่าบริการในประเทศ สูงสุดไม่เกิน 50,000 บาท โดยเฉพาะสินค้า OTOP และวิสาหกิจชุมชน ซึ่งสามารถปรับใช้เพื่อสนับสนุนสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพิ่มเติมได้
การสนับสนุนการลงทุนในกองทุนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม	การให้สิทธิในการลดหย่อนภาษีสำหรับการลงทุนในกองทุนที่เน้นความยั่งยืน อาทิ กองทุนรวมไทยเพื่อความยั่งยืน (Thai ESG) สามารถกระตุ้นให้ผู้ลงทุนสนใจในกองทุนที่มุ่งเน้นสิ่งแวดล้อมมากขึ้น
การสร้างแรงจูงใจการลดหย่อนภาษี	การให้สิทธิในการลดหย่อนภาษีสำหรับการซื้อสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสามารถกระตุ้นให้ผู้บริโภคเลือกสินค้าโดยให้สิทธิประโยชน์ด้านอื่น ๆ นอกจากการลดหย่อนภาษี
การขาดกลไกจูงใจที่มีประสิทธิภาพสำหรับภาคธุรกิจ	มาตรการภาษีมุ่งเป้าไปที่ผู้บริโภคเป็นหลัก ในขณะที่ภาคธุรกิจที่ผลิตและจำหน่ายสินค้าสีเขียวไม่ได้รับแรงจูงใจที่ชัดเจน ส่งผลให้ผู้ผลิตบางรายอาจมีต้นทุนสูงขึ้นจากการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่ไม่มีมาตรการลดหย่อนภาษีที่ช่วยลดภาระต้นทุน จึงควรให้สิทธิประโยชน์ทางภาษีแก่ผู้ผลิตและผู้ให้บริการสีเขียว เช่น ให้สิทธิยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล สำหรับธุรกิจที่ผลิตสินค้าสีเขียวหรือใช้พลังงานสะอาด ลดภาษีนำเข้าสำหรับเทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อช่วยให้ธุรกิจสามารถลดต้นทุนและผลิตสินค้าในราคาที่แข่งขันได้
การเพิ่มความตระหนักและการสนับสนุนทุกภาคส่วน	ผู้บริโภคบางส่วนอาจไม่ทราบว่ามาตรการลดหย่อนภาษีมีอยู่ หรือไม่แน่ใจว่าสินค้าใดเข้าข่ายได้รับสิทธิ์ และการขาดข้อมูลที่ชัดเจนอาจทำให้ประชาชนไม่ใช้สิทธิ์ที่มีอยู่ จึงควรประชาสัมพันธ์ผลประโยชน์ของการลดหย่อนภาษี สำหรับการบริโภคสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และความร่วมมือจากการสนับสนุนจากทั้งภาครัฐ เอกชน และประชาชน เช่น สร้างแพลตฟอร์ม (Platform) หรือแอพลิเคชั่น (Application) ออนไลน์ที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าและบริการที่ได้รับสิทธิ์ลดหย่อนภาษี ที่ให้ประชาชนสามารถตรวจสอบได้ว่าสินค้าใดลดหย่อนได้ และสามารถขอคืนภาษีได้ง่ายขึ้น หรือออกแคมเปญส่งเสริมการขายร่วมกับธุรกิจ เช่น ซื้อสินค้าสีเขียวรับ E-Receipt ลดหย่อนภาษีอัตโนมัติ เป็นต้น
การเข้าถึงของกลุ่มรายได้น้อยและปานกลาง	ผู้ที่ได้รับประโยชน์จากมาตรการลดหย่อนภาษีส่วนใหญ่เป็นกลุ่มรายได้ปานกลางถึงสูง ซึ่งมีภาระภาษีเงินได้และสามารถใช้สิทธิลดหย่อนได้ ในขณะที่กลุ่มรายได้น้อยอาจไม่ได้รับประโยชน์ เนื่องจากไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องเสียภาษี หรือเสียภาษีในอัตราต่ำ ทำให้แรงจูงใจของมาตรการลดหย่อนภาษีไม่ครอบคลุมทุกกลุ่ม ควรขยายมาตรการเงินอุดหนุนโดยตรง (Green subsidy) หรือเครดิตภาษี (Tax credit) เพื่อให้กลุ่มรายได้น้อยได้รับผลประโยชน์มากขึ้น เช่น ผู้ที่มีรายได้ต่ำกว่าเกณฑ์ภาษี ควรได้รับเงินอุดหนุนคืน (Refund) แทนการลดหย่อนภาษี นอกจานี้ การออกแบบโครงการร่วมระหว่างรัฐและเอกชน เพื่อสนับสนุนสินค้าสีเขียวให้เข้าถึงได้ง่ายขึ้น เช่น ส่วนลดเมื่อซื้อสินค้าผ่านแพลตฟอร์มของรัฐ เป็นต้น
ขอบเขตของสินค้าที่ได้รับสิทธิลดหย่อนภาษียังจำกัด	มาตรการภาษีอาจยังไม่ครอบคลุมสินค้าทุกประเภทที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อาจทำให้แรงจูงใจต่อผู้บริโภคลดลง จึงควรขยายขอบเขตสินค้าให้ครอบคลุมมาตรการลดหย่อนภาษี เช่น อาหารออร์แกนิก

มาตรการทางภาษีประเด็นสิทธิการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดา	รายละเอียดและข้อควรพิจารณาแนวทางการพัฒนา
	ผลิตภัณฑ์รีไซเคิล บริการซ่อมแซมสินค้าที่ยืดอายุการใช้งาน ตลอดจนการนำมาตรฐานรับรองมาใช้ เช่น ฉลากสิ่งแวดล้อม (Eco label) เป็นเกณฑ์กำหนดว่าสินค้าประเภทใดที่สามารถใช้ลดหย่อนภาษีได้ เป็นต้น

นอกจากนี้ ความเชื่อมั่นในนโยบายและความเป็นธรรมในการออกแบบนโยบาย เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการยอมรับมาตรการภาษีสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในกลุ่มรายได้ปานกลางถึงต่ำ [18] หากมีการปรับปรุงมาตรทางภาษีดังตารางที่ 4 จะสามารถส่งเสริมรถยนต์ไฟฟ้าผ่านมาตรการลดหย่อนภาษีสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้ 1.8 – 2.5 ตันต่อคันต่อปี ขณะที่การส่งเสริมสินค้าที่มีฉลากสิ่งแวดล้อมหรือบรรจุภัณฑ์รีไซเคิลอาจช่วยลดขยะพลาสติกจากครัวเรือนได้ร้อยละ 10 – 15 ต่อปี [17] อีกทั้งหากมีการให้สิทธิหักลดหย่อนภาษีจากการใช้บริการซ่อมแซมเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จะช่วยลดการสร้างขยะอิเล็กทรอนิกส์ (e-waste) โดยคาดว่าหากสามารถจูงใจให้ผู้บริโภคเลือกซ่อมมากกว่าซื้อใหม่ในอัตราร้อยละ 30 จะสามารถลดปริมาณขยะประเภทดังกล่าวได้มากกว่า 200,000 ตันต่อปี ในระดับประเทศ [20]

การจัดทำนโยบายและมาตรการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาที่สอดคล้องกับบริบทปัญหาสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย โดยคำนึงถึงความเป็นธรรมและประสิทธิภาพของนโยบาย จะช่วยกระตุ้นและยกระดับการเติบโตของเศรษฐกิจสีเขียว และลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ สะท้อนถึงแนวทางการสร้างดุลยภาพระหว่างการส่งเสริมเศรษฐกิจสีเขียวและการรักษาเสถียรภาพทางการคลังของประเทศในระยะยาว

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์ศักยภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ของมาตรการทางภาษีต่อการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดา เพื่อกระตุ้นเศรษฐกิจสีเขียวในประเทศไทย ผลการศึกษาบ่งชี้ประสิทธิผลของมาตรการลดหย่อนภาษีต่อการกระตุ้นเศรษฐกิจสีเขียวในประเทศไทย เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) เพียงอย่างเดียว ไม่พบความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างมาตรการลดหย่อนภาษีและการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของประชาชน อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้วิธีการวิเคราะห์ความแตกต่างในความแตกต่าง (DiD) ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาก่อนและหลังการบังคับใช้มาตรการและระหว่างกลุ่มที่ได้รับสิทธิประโยชน์ทางภาษีกับกลุ่มที่ไม่ได้รับ ผลการศึกษาพบว่ามาตรการลดหย่อนภาษีมีผลกระทบเชิงบวกต่อพฤติกรรมการบริโภคสีเขียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มาตรการทางภาษีจึงมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อการตัดสินใจของผู้บริโภค ทำให้ผลิตภัณฑ์และบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมีความสามารถในการแข่งขันด้านราคาเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับทางเลือกทั่วไป ทั้งนี้ ประเทศไทยมีศักยภาพที่จะใช้มาตรการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดาจากการบริโภคสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อกระตุ้นเศรษฐกิจสีเขียวได้ อย่างไรก็ดี ยังมีข้อจำกัดและความท้าทายหลายประการในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งมีความจำเป็นต้องมีการปรับปรุงโครงสร้างภาษีและเพิ่มฐานภาษีให้ครอบคลุมมากขึ้น การปรับใช้มาตรการให้สอดคล้องและเหมาะสมกับเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม รวมถึงการสร้างความตระหนักและสนับสนุนจากทุกภาคส่วน โดยภาครัฐควรมีการกำหนดนโยบายกระตุ้นและจูงใจให้ผู้ผลิตและผู้ให้บริการสร้างอุปทานสินค้า หรือบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ตลอดจนการสนับสนุนภาคประชาชนและเอกชนในการบริโภคสินค้าและบริการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ภาคธุรกิจอาจพิจารณากลยุทธ์ทางการตลาดเพิ่มเติม อาทิ มาตรการส่งเสริมการขาย แคมเปญจูงใจให้ผู้บริโภคเปลี่ยนมาเลือกซื้อสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมทดแทน ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการสร้างแรงจูงใจในการเลือกซื้อสินค้าและบริการเพื่อการลดหย่อนภาษีเงินได้บุคคลธรรมดา

อย่างไรก็ดี การศึกษานี้มีข้อจำกัดบางประการ ได้แก่ การใช้ข้อมูลทุติยภูมิเป็นหลัก อาจไม่สามารถสะท้อนพฤติกรรมผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงตามสถานการณ์เศรษฐกิจและนโยบายภาครัฐที่เปลี่ยนแปลงได้ทันที อีกทั้งยังไม่มีการเก็บข้อมูลจากภาคสนาม หรือกลุ่มเป้าหมายโดยตรง ซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์มุมมองเชิงคุณภาพของผู้บริโภคต่อมาตรการภาษีได้อย่างครอบคลุม ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคตควรดำเนินการศึกษาในเชิงปริมาณร่วมกับเชิงคุณภาพ โดยการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้บริโภคจริง หรือผู้ที่ได้รับสิทธิลดหย่อนภาษีโดยตรง เพื่อประเมินความเข้าใจ พฤติกรรม และทัศนคติต่อมาตรการภาษีอย่างละเอียดมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม. (2561). โครงการศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคสินค้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ปีงบประมาณ 2561, 27 กุมภาพันธ์ 2568. https://eservice.dcce.go.th/storage/Media/C201912238295.pdf

[2] กรมสรรพากร. (2560). บัญชีอัตราภาษีเงินได้บุคคลธรรมดา เริ่มใช้ปีภาษี 2560, 27 กุมภาพันธ์ 2568. https://www.rd.go.th/fileadmin/user_upload/borkor/tax121260.pdf

[3] กรมสรรพากร. (2568). เงินได้พึงประเมินอะไรบ้างที่ได้รับการยกเว้นภาษี, 27 กุมภาพันธ์ 2568. https://www.rd.go.th/fileadmin/user_upload/borkor/taxreturn23072567.pdf

[4] กรมสรรพากร. (2568). กรมสรรพากรเชิญชวนใช้สิทธิ "Easy E-Receipt 2.0" ลดหย่อนภาษีสูงสุด 50,000 บาท, 27 กุมภาพันธ์ 2568.https://media.thaigov.go.th/uploads/document/142/2025/01/pdf/Doc_20250113105523000000.pdf

[5] กรมสรรพากร. (2568). ผู้มีเงินได้มีสิทธิหักลดหย่อนอะไรได้บ้าง, 27 กุมภาพันธ์ 2568. https://www.rd.go.th/fileadmin/download/tax_deductions_update280168.pdf

[6] กฤษฎิ์ แก้วหิรัญ. (2567). นโยบายสิ่งแวดล้อมกระทบอุตสาหกรรมไทย 37% ต่อ GDP. ธนาคารกสิกรไทย, 27 กุมภาพันธ์ 2568. https://www.kasikornresearch.com/th/analysis/k-social-media/Pages/SBU311-FB-2024-06-06.aspx.

[7] ศูนย์วิจัยและสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (2564). SDG Updates | เศรษฐศาสตร์พฤติกรรมและเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน, 27 กุมภาพันธ์ 2568. https://www.sdgmove.com/2021/12/14/sdg-updates-behav-econ-sdgs/

[8] ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2564). โพลล์สำรวจก่อนการระบาดโควิด-19., 27 กุมภาพันธ์ 2568. https://www.kasikornresearch.com/th/analysis/k-social-media/Pages/Green-FB-12-10-21.aspx.

[9] สำนักงานเศรษฐกิจการคลัง. (2565). รายงานการวิเคราะห์นโยบายภาษีเพื่อสนับสนุนเศรษฐกิจสีเขียวในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กระทรวงการคลัง.

[10] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2567). รายงานสถานการณ์ดัชนีสมรรถนะสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย ปี 2567, 27 กุมภาพันธ์ 2568. https://www.onep.go.th/ebook/spd/thailand-state-of-epi-2567.pdf

[11] สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล. (2568). ผลรวมรายได้จัดเก็บของรัฐบาล (Gross) ในปี 2567, 27 กุมภาพันธ์ 2568. https://govspending.data.go.th/dashboard/5

[12] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2566). การสำรวจภาวะเศรษฐกิจและสังคมของครัวเรือน พ.ศ. 2566 ทั่วราชอาณาจักร, 27 กุมภาพันธ์ 2568. https://www.nso.go.th/nsoweb/storage/survey_detail/2024/20240702120458_45133.pdf

[13] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2568). สภาพัฒน์แถลง GDP ไตรมาสสี่โต 3.2ถ ทั้งปีขยายตัว 2.5% ประเมินปี 2568 ไว้ที่ 2.3 – 3.3%, 27 กุมภาพันธ์ 2568. https://thaipublica.org/2025/02/nesdc-q4-gdp-report-2024/

[14] Economic Intelligence Center (EIC). (2011). Retail landscape change: โอกาสค้าปลีกไทยในบริบทใหม่, 27 กุมภาพันธ์ 2568.https://www.scbeic.com/th/detail/file/product/159/dzj2lz1obp/2320_20110614150848.pdf

[15] EPI Yale & Columbia. (2024). The 2024 Environmental Performance Index (EPI), 27 February 2025. https://epi.yale.edu/epi-results/2022/country/tha.

[16] Kallbekken, S., Kroll, S., & Cherry, T. L. (2013). Do you not like pigou, or do you not understand him? Tax aversion and revenue recycling in the lab. Journal of Environmental Economics and Management, 62(1), 53-64.

[17] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2021). Tax Policy and the Green Economy: Assessing the Impact of Green Tax Incentives. Paris: OECD Publishing.

[18] Sælen, H., & Kallbekken, S. (2011). A choice experiment on fuel taxation and earmarking in Norway. Ecological Economics, 70(11), 2181–2190.

[19] Schuitema, G., Steg, L., & Forward, S. (2011). Explaining differences in acceptability before and acceptance after the implementation of a congestion charge in Stockholm. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 44(2), 99-109.

[20] United Nations Environment Programme (UNEP). (2011). Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. Nairobi: UNEP.

[21] World Bank. (2022). Green Taxation and Fiscal Policy: Case Studies and Global Trends. Washington, DC: World Bank.

การประเมินการรับรู้ของประชาชนต่อผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งเพื่อสนับสนุนการจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาหาดเจ้าสำราญ จังหวัดเพชรบุรี

บุณยาพร สุจริต และ ปรียาภรณ์ หมื่นราช*

ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม
* Corresponding author: muenratch.p@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการรับรู้ของประชาชนต่อปัญหาและผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่ง รวมทั้งความต้องการมีส่วนร่วมของชุมชนในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งเพื่อสนับสนุนการจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอย่างยั่งยืน ผู้วิจัยทำการแจกแบบสอบถามให้คนในชุมชน จำนวน 190 ราย และนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ผลการวิจัย พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้ถึงปัญหาการกัดเซาะในพื้นที่หาดเจ้าสำราญในระดับมาก ในขณะที่ การรับรู้ถึงผลกระทบด้านเศรษฐกิจอยู่ในระดับมาก และผลกระทบด้านสังคมอยู่ในระดับปานกลาง อย่างไรก็ตาม กลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้ถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม อยู่ในระดับมาก ในส่วนของทางเลือกการจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอย่างยั่งยืน กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ทราบว่า บริเวณพื้นที่ชายฝั่งฯ มีวิธีการป้องกันแก้ไขปัญหาการกัดเซาะ โดยรู้จักกำแพงป้องกันคลื่นมากที่สุด และเห็นว่าปัญหาดังกล่าวควรดำเนินการแก้ไขอย่างเร่งด่วน อย่างไรก็ตาม ระดับความต้องการมีส่วนร่วมของชุมชนในการแก้ปัญหาการกัดเซาะอยู่ในระดับปานกลาง ดังนั้น ผลการวิจัยนี้ได้สะท้อนให้เห็นว่า หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรเพิ่มการสนับสนุนกิจกรรมที่สร้างแรงจูงใจในการมีส่วนร่วมของประชาชนให้เข้ามามีส่วนร่วมแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง อีกทั้ง ทางเลือกการจัดการที่เหมาะสมกับบริบทพื้นที่ชายฝั่งเพื่อนำไปสู่การสนับสนุนการจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การประเมินการรับรู้ของประชาชน / ผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่ง / การจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอย่างยั่งยืน / หาดเจ้าสำราญ / จังหวัดเพชรบุรี

Assessment of Public Perception of the Impact of Coastal Erosion to Support Sustainable Marine and Coastal Management: A Case of Chao Samran Beach, Phetchaburi Province

Boonyabhorn Sutjarit และ Preeyaporn Muenratch*

Department of Geography, Faculty of Arts, Silpakorn University, Phra Pathom Chedi, Muang Nakhon Prathom, Nakhon Pathom
* Corresponding author: muenratch.p@gmail.com

Abstract

This research aimed to assess the public perception of the problems and impacts of coastal erosion and the community's need to participate in solving coastal erosion problems to support sustainable management of marine and coastal resources. Questionnaires were distributed to 190 people in the community and analyzed by using descriptive statistics. The results show that the sample highly perceived the erosion problem in the Chao Samran Beach area, while the perception of economic impacts was high, and the social impacts were moderate. However, the sample highly perceived the environmental impacts. In terms of sustainable marine and coastal resource management options, the majority of the sample knew that there were ways to prevent and solve erosion problems in coastal areas, mostly known of wave protection walls. They also agreed that this problem should be solved urgently. However, the level of community participation in solving the erosion problem is at a moderate level. Therefore, the results reflect that relevant authorities should increase support for activities that motivate people to participate in solving the coastal erosion problem, as well as appropriate management options for the coastal context to support sustainable marine and coastal resource management.

Keywords: Public perception Assessment / Impacts of coastal erosion / Sustainable marine and coastal resource management / Chao Samran Beach / Phetchaburi Province

1. บทนำ

ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งมีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศและมนุษย์อย่างมาก [1] โดยสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับประเทศที่ติดกับบริเวณชายฝั่ง เนื่องจาก มีการพัฒนามาเป็นอุตสาหกรรม การท่องเที่ยว การคมนาคมขนส่ง การทำประมง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง เกษตรกรรม การทำเหมืองแร่ ทำให้เกิดการขยายตัวทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศมากขึ้น ชายฝั่งทะเลจึงมีความสำคัญทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม [2] ปัจจุบัน การใช้ประโยชน์ของทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งในประเทศไทยนั้นมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น เช่น การท่องเที่ยวบริเวณชายฝั่งทะเล การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อุตสาหกรรมตามพื้นที่แนวชายฝั่ง การเกิดแหล่งชมชุนและเมืองในพื้นที่ชายฝั่งทะเล การคมนาคมและขนส่ง ท่าเรือ และการประมง เป็นต้น การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งดังกล่าวส่งผลให้เกิดความเสื่อมโทรมของทรัพยากรและชายฝั่ง ได้แก่ การทำลายพื้นที่ป่าชายเลน หาดทราย และแนวปะการัง ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเป็นแนวป้องกันตามธรรมชาติระหว่างระบบนิเวศบนบกและทะเล สถานการณ์ดังกล่าวจึงก่อให้เกิดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งตามมา [3]

พื้นที่ชายฝั่งที่ประสบปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งระยะทางประมาณ 704.44 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 22.4 ของพื้นที่ชายฝั่งทั้งหมด [4] ทั้งนี้ เพชรบุรีเป็นหนึ่งในจังหวัดที่มีการกัดเซาะชายฝั่ง ชายฝั่งทะเลมีความยาว 89.71 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 13 ตำบล 4 อำเภอ ได้แก่ อำเภอบ้านแหลม อำเภอเมืองเพชรบุรี อำเภอท่ายาง และอำเภอชะอำ พบการกัดเซาะเป็นระยะทางรวม 5.6 กิโลเมตร แบ่งเป็นพื้นที่กัดเซาะรุนแรง 3.81 กิโลเมตร พื้นที่กัดเซาะปานกลาง 0.58 กิโลเมตร และพื้นที่กัดเซาะน้อย 1.21 กิโลเมตร [5] โดยที่หาดเจ้าสำราญจัดอยู่ในพื้นที่วิกฤตและอยู่ในพื้นที่เร่งด่วนจากการกัดเซาะชายฝั่ง [6] ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งที่สำคัญ ได้แก่ หญ้าทะเล ป่าชายเลน สัตว์ทะเลหายากและใกล้สูญพันธ์ ซึ่งสาเหตุของการกัดเซาะชายฝั่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ตลอดเวลาจากการกัดเซาะของคลื่นทะเล ลมพายุ ลมมรสุม กระแสน้ำ น้ำขึ้น น้ำลง ลักษณะกายภาพชายฝั่ง เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ [5] อย่างไรก็ตาม กิจกรรมมนุษย์เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่ กิจกรรมการท่องเที่ยว การทำประมง เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ พื้นที่อยู่อาศัยของชุมชนริมทะเล การคมนาคมและท่าเรือ [7]

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาถึงสถานการณ์ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลและผลกระทบที่เกิดขึ้น [8-9] และการมีส่วนร่วมของชุมชนในการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งทะเล [8,10-11] อย่างไรก็ตาม ยังขาดการประเมินการรับรู้ของประชาชนจากผลกระทบต่อการกัดเซาะชายฝั่งเพื่อสนับสนุนการจัดการทรัพยากรทางทะเลอย่างยั่งยืน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีความสำคัญในการประเมินการรับรู้ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งและผลกระทบด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมจากการกัดเซาะชายฝั่ง รวมทั้ง ความต้องการมีส่วนร่วมของประชาชนในการเสนอแนวทางการแก้ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งเพื่อสนับสนุนการจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอย่างยั่งยืน

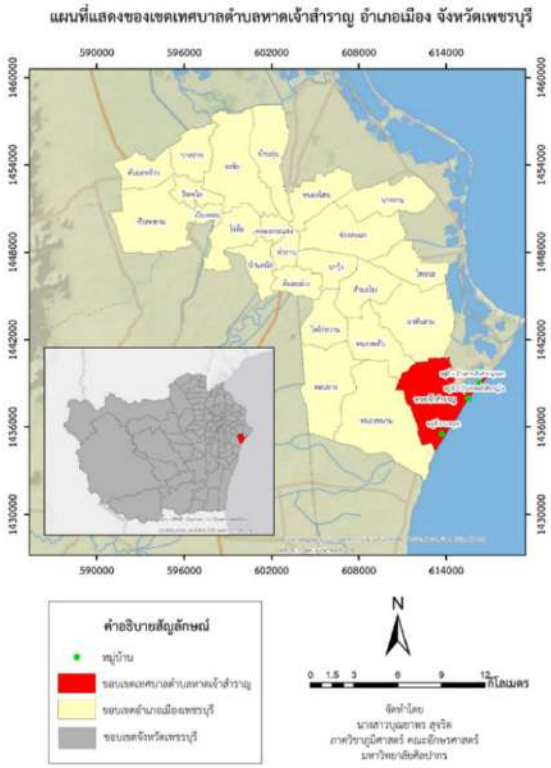
2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินการรับรู้ของประชาชนต่อปัญหาและผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่หาดเจ้าสำราญ
2. เพื่อประเมินความต้องการมีส่วนร่วมของประชาชนในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งเพื่อสนับสนุนการจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอย่างยั่งยืน

3. ขอบเขตของการศึกษา

ชุมชนบริเวณติดชายฝั่งทะเลในพื้นที่เทศบาลตำบลหาดเจ้าสำราญ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี ได้แก่ หมู่ที่ 1 บ้านหาดเจ้าสำราญนอก หมู่ที่ 2 บ้านหาดเจ้าสำราญใน หมู่ที่ 6 บางกุฬา เป็นพื้นที่ศึกษา (รูปที่ 1 และรูปที่ 2) การวิจัยครั้งนี้มีระยะเวลาในการ

เก็บรวบรวมข้อมูล ตั้งแต่เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2567 ถึง มีนาคม พ.ศ. 2568 ขอบเขตเนื้อหาเป็นการประเมินการรับรู้ของประชาชนต่อปัญหาและผลกระทบของการกัดเซาะชายฝั่ง รวมทั้ง ความต้องการมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่หาดเจ้าสำราญ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี



รูปที่ 1 แผนที่แสดงขอบเขตเทศบาลตำบลหาดเจ้าสำราญ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี ที่มา: ผู้วิจัย

รูปที่ 2 หาดเจ้าสำราญ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี ที่มา: ผู้วิจัย

4. วิธีการวิจัย

4.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

4.1.1 จำนวนประชากรที่อาศัยในพื้นที่ติดชายฝั่งทะเล รวม 2,427 คน จำนวน 3 หมู่บ้าน ได้แก่ หมู่ที่ 1 บ้านหาดเจ้าสำราญนอก หมู่ที่ 2 บ้านหาดเจ้าสำราญใน และหมู่ที่ 6 บางกุฬา โดยคำนวณตามสูตรของทาโร ยามาเน่ (Taro Yamane) ใช้ในการคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยกำหนดให้ระดับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้คือ 7% และระดับความเชื่อมั่น 93% ขนาดของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 190 คน

4.1.2 ผู้วิจัยดำเนินการหาจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่อาศัยบริเวณชายฝั่งทะเล จำนวน 190 คน ด้วยวิธีการสุ่มแบบชั้นภูมิ (Stratified random sampling) โดยกลุ่มตัวอย่างจะถูกเลือกแบบสุ่มตามสัดส่วนของประชากรในแต่ละกลุ่ม (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 จำนวนประชากรและกลุ่มตัวอย่างจากการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ

Strata	ขนาดประชากร (N)	จำนวนประชากรตัวอย่าง (n)
หมู่ที่ 1 บ้านหาดเจ้าสำราญนอก		
ชาย	198	16
หญิง	221	17
หมู่ที่ 2 บ้านหาดเจ้าสำราญใน		
ชาย	694	54
หญิง	702	55
หมู่ที่ 6 บางกุฬา		
ชาย	286	22
หญิง	326	26
รวม	**2,427**	**190**

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

4.2.1 แบบสอบถามที่สร้างขึ้นตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษาสูงสุด อาชีพ ระยะเวลาที่อาศัยอยู่ในชุมชน และรายได้เฉลี่ยต่อเดือน

ตอนที่ 2 การรับรู้ปัญหาการกัดเซาะในพื้นที่ชายฝั่งและผลกระทบที่เกิดขึ้น เป็นการวัดข้อมูลประเภท Likert Scale โดยแบ่งระดับการรับรู้และระดับของผลกระทบออกเป็น 5 ระดับ คือ คิดเห็นมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด

ตอนที่ 3 ทางเลือกการจัดการชายฝั่งอย่างยั่งยืน เป็นการวัดข้อมูลแบบ Multiple Choice

ตอนที่ 4 ความต้องการมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง เป็นการวัดข้อมูลประเภท Likert Scale

4.2.2 การสร้างเครื่องมือการวิจัย

1) ศึกษาข้อมูลจากบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้และการมีส่วนร่วม เพื่อกำหนดขอบเขตของการวิจัยและการสร้างเครื่องมือการวิจัย ให้ครอบคลุมตามความมุ่งหมายของการวิจัย

2) ศึกษาวิธีการสร้างแบบสอบถาม จากบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดขอบเขตและเนื้อหาของคำถามตามความมุ่งหมายของการวิจัย

3) นำข้อมูลที่ได้มาสร้างแบบสอบถาม ลักษณะคำถามเป็นคำถามประเภทปลายปิด (Closed-ended Form)

4) นำแบบสอบถามเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อช่วยตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์ของเนื้อหาให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

5) ปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถามตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา

4.2.3 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล เพื่อให้แบบสอบถามงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพและลดข้อผิดพลาด

1) การหาค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม (Reliability Test)

โดยผู้วิจัยจะนำแบบสอบถามแจกให้กับกลุ่มประชากรตัวอย่างที่อาศัยในชุมชนใกล้บริเวณชายฝั่งหาดเจ้าสำราญ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 30 คน เพื่อตอบแบบสอบถามแล้วนำข้อมูลที่ได้นี้เข้าโปรแกรมทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient: α) ซึ่งค่าแอลฟาครอนบาคของแบบสอบถามการศึกษาวิจัยนี้อยู่ที่ 0.87 ซึ่งมีความเชื่อมั่นสูง

4.3 วิธีการรวบรวมข้อมูล

4.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) การแจกแบบสอบถามให้กับกลุ่มตัวอย่างโดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างประชากร เมื่อผู้วิจัยรวบรวมแบบสอบถามได้ทั้งหมดแล้ว จึงทำการตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์ของแบบสอบถาม และทำการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นต่อไป

4.3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) เก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการ วารสาร รายงานการวิจัย วิทยานิพนธ์ การศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องทางอินเตอร์เน็ต

4.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้จากการเก็บแบบสอบถาม โดยการใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บแบบสอบถามของตัวแปรมาวิเคราะห์ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อประเมินการรับรู้และการมีส่วนร่วมของประชากรจากการกัดเซาะชายฝั่ง โดยกำหนดมาตรวัดประมาณค่า (Rating Scale) ให้มีค่าคะแนนทั้งหมด 5 ระดับ คือ คิดเห็นมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด แล้วนำมาวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยเกณฑ์การแปลค่าเฉลี่ยการรับรู้และการมีส่วนร่วมของประชาชนจากการกัดเซาะชายฝั่ง แบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.21 – 5.00	หมายถึง	ความคิดเห็นอยู่ในระดับมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.41 – 4.20	หมายถึง	ความคิดเห็นอยู่ในระดับมาก
ค่าเฉลี่ย 2.61 – 3.40	หมายถึง	ความคิดเห็นอยู่ในระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.81 – 2.60	หมายถึง	ความคิดเห็นอยู่ในระดับน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.80	หมายถึง	ความคิดเห็นอยู่ในระดับน้อยที่สุด

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 ผลการวิจัย

5.1.1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผลการวิจัย พบว่า กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 52.60 เป็นเพศหญิง และ ร้อยละ 47.40 เป็นเพศชาย กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 73.20 มีระดับการศึกษาต่ำกว่าปริญญาตรี กลุ่มตัวอย่างร้อยละ 66 ประกอบอาชีพรับจ้างทั่วไป ร้อยละ 38 ประกอบธุรกิจส่วนตัว และร้อยละ 33 เป็นชาวประมง ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างมีอายุเฉลี่ยประมาณ 43.47 ปี มีรายได้เฉลี่ย 12,911.63 บาทต่อเดือน และมีระยะเวลาอาศัยอยู่ในชุมชนเฉลี่ย 38.21 ปี (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน	ร้อยละ
1) เพศ		
- ชาย	90	47.40
- หญิง	100	52.60
2) ระดับการศึกษาสูงสุด		
- ต่ำกว่าปริญญาตรี	139	73.20
- อนุปริญญาหรือเทียบเท่า	14	7.40
- ปริญญาตรีหรือเทียบเท่า	33	17.40
- สูงกว่าปริญญาตรี	4	2.10
3) อาชีพ		
- ไม่ได้ประกอบอาชีพ	13	6.80
- เกษตรกรรม	6	3.20
- ชาวประมง	33	17.40
- ธุรกิจส่วนตัว	38	20
- ลูกจ้างบริษัท/ ห้างร้าน/ โรงแรม/ รีสอร์ท	14	7.40
- รับราชการ/ รัฐวิสาหกิจ	9	4.70
- นักเรียน/ นักศึกษา	11	5.80
- รับจ้างทั่วไป	66	34.70
ข้อมูลทั่วไป	**ค่าเฉลี่ย**	**ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน**
4) อายุ (ปี)	43.70	14.39
5) ระยะเวลาที่อาศัยอยู่ในชุมชน (ปี)	38.21	16.55
6) รายได้เฉลี่ยต่อเดือน (บาทต่อเดือน)	12,911.63	8,546.69

5.1.2 การรับรู้ปัญหา การป้องกัน และการแก้ไขการกัดเซาะในพื้นที่ชายฝั่งและผลกระทบที่เกิดขึ้น

ผลการวิจัย พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้ถึงปัญหา การป้องกัน และการแก้ไขการกัดเซาะชายฝั่งการกัดเซาะในพื้นที่หาดเจ้าสำราญ อยู่ในระดับมาก (3.71±1.05) การรับรู้ผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งด้านเศรษฐกิจอยู่ในระดับมาก (3.41±1.07) การรับรู้ผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งด้านสังคมอยู่ในระดับปานกลาง (3.06±1.14) และการรับรู้ผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งด้านสิ่งแวดล้อมอยู่ในระดับมาก (3.61±1.19) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการรับรู้ปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่หาดเจ้าสำราญ

การรับรู้ปัญหา การป้องกัน และการแก้ไขการกัดเซาะชายฝั่ง	$\bar{x}$	S.D.	**ความหมาย**
1) หาดเจ้าสำราญมีปัญหาการกัดเซาะ	3.86	1.047	มาก
2) หาดเจ้าสำราญ มีการป้องกันและแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง	3.77	.968	มาก
3) โครงการการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งหาดเจ้าสำราญ	3.50	1.130	มาก
ค่าเฉลี่ยรวมการรับรู้ปัญหา การป้องกัน และการแก้ไขการกัดเซาะชายฝั่ง	**3.71**	**1.05**	**มาก**
การรับรู้ผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่ง			
<u>การรับรู้ผลกระทบด้านเศรษฐกิจ</u>			
1) การกัดเซาะชายฝั่งส่งผลต่อการสูญเสียที่ดินทำให้ไม่สามารถประกอบอาชีพหรืออยู่อาศัยได้	3.48	1.063	มาก
2) การกัดเซาะชายฝั่งส่งผลกระทบต่อการลงทุนในการพัฒนาทางภาคอุตสาหกรรม การค้าและการท่องเที่ยวบริเวณชายฝั่ง	3.44	1.051	มาก
3) การกัดเซาะชายฝั่งส่งผลทำให้ประชาชนไม่มีรายได้หรือรายได้ลดลง	3.32	1.102	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ยรวมรายด้าน	**3.41**	**1.07**	**มาก**
<u>การรับรู้ผลกระทบด้านสังคม</u>			
1) การกัดเซาะชายฝั่งส่งผลให้ชุมชนที่ตั้งถิ่นฐานบริเวณชายฝั่งไม่สามารถอาศัยในพื้นที่เดิมต่อไปได้ ต้องอพยพไปยังพื้นที่อื่น	3.33	1.088	ปานกลาง
2) การกัดเซาะชายฝั่งทำให้วิถีชีวิตดั้งเดิมของชุมชนหายไป	3.12	1.149	ปานกลาง
3) การกัดเซาะชายฝั่งส่งผลต่อความสัมพันธ์ของคนในชุมชน	2.74	1.175	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ยรวมรายด้าน	**3.06**	**1.14**	**ปานกลาง**
<u>การรับรู้ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม</u>			
1) การกัดเซาะชายฝั่งทำให้ระบบนิเวศชายฝั่งถูกทำลาย เช่น ป่าชายเลน ป่าชายหาด แหล่งหญ้าทะเล เป็นต้น	3.78	1.095	มาก
2) การกัดเซาะชายฝั่งส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์และความหลากหลายทางชีวภาพ เช่น สิ่งมีชีวิตในทะเลลดลง ห่วงโซ่อาหารถูกทำลาย เป็นต้น	3.53	1.216	มาก
3) การกัดเซาะชายฝั่งส่งผลกระทบต่อพื้นที่อนุบาลสัตว์น้ำ	3.52	1.280	มาก
ค่าเฉลี่ยรวมรายด้าน	**3.61**	**1.19**	**มาก**
ค่าเฉลี่ยรวมการรับรู้ผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งทั้ง 3 ด้าน	**3.36**	**1.14**	**ปานกลาง**

5.1.3 ทางเลือกการจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอย่างยั่งยืน

ผลการวิจัย พบว่า ประชาชนส่วนใหญ่ทราบว่าบริเวณพื้นที่ชายฝั่งในเทศบาลตำบลหาดเจ้าสำราญ มีวิธีการป้องกันแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง ร้อยละ 85.3 และปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งหาดเจ้าสำราญควรดำเนินการแก้ไขอย่างเร่งด่วน ร้อยละ 83.2 อีกทั้งประชาชนรู้ถึงวิธีการป้องกันชายฝั่ง คือ กำแพงป้องกันคลื่น/เขื่อนหินทิ้ง มากที่สุดร้อยละ 67.4 รองลงมา คือ เขื่อนกันคลื่น ร้อยละ 46.3 และประชาชนส่วนใหญ่เลือกวิธีการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่หาดเจ้าสำราญมากที่สุด คือ กำแพงกันคลื่น/เขื่อนหินทิ้ง ร้อยละ 62.6 รองลงมา คือ เขื่อนกันคลื่น ร้อยละ 54.2 (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ทางเลือกการจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอย่างยั่งยืน

ทางเลือกการจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอย่างยั่งยืน	จำนวน	ร้อยละ
1) บริเวณพื้นที่ชายฝั่งในเทศบาลตำบลหาดเจ้าสำราญมีวิธีการป้องกันแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง		
- ทราบ	162	85.30
- ไม่ทราบ	28	14.70
2) ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณเทศบาลตำบลหาดเจ้าสำราญ ควรจะดำเนินการต่อไปอย่างไร		
- ควรดำเนินการแก้ไขปัญหาอย่างเร่งด่วน	158	83.20
- ควรมีการป้องกันแก้ไข แต่ไม่เร่งด่วน	17	8.90
- ไม่ควรดำเนินการแก้ไข	2	1.10
- ไม่ทราบ / ไม่แสดงความคิดเห็น	13	6.80
3) วิธีการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งมีวิธีใดบ้าง		
- กำแพงป้องกันคลื่น/ เขื่อนหินทิ้ง	128	67.40
- เขื่อนกันคลื่น	88	46.30
- การเสริมสร้างชายหาด	50	26.30
- เขื่อนกันทรายและคลื่น	43	22.60
- คันดักทราย	23	12.10
- ไส้กรอกทราย	3	1.60
- การปลูกพืช	5	2.60
- ปักแนวไม้ไผ่กันคลื่น	7	3.70
4) บริเวณชายฝั่งหาดเจ้าสำราญ ควรได้รับการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งด้วยวิธีใด		
- กำแพงป้องกันคลื่น/ เขื่อนหินทิ้ง	119	62.60
- เขื่อนกันคลื่น	103	54.20
- การเสริมสร้างชายหาด	90	47.40
- เขื่อนกันทรายและคลื่น	71	37.40
- คันดักทราย	25	13.20
- ไส้กรอกทราย	5	2.60
- การปลูกพืช	6	3.20
- ปักแนวไม้ไผ่กันคลื่น	6	3.20

5.1.4 ความต้องการมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง

ผลการวิจัย พบว่า ประชาชนต้องการมีส่วนร่วมในการเผยแพร่ข่าวสารเกี่ยวกับแนวทางการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งให้ผู้อื่นได้ทราบอยู่ในระดับปานกลาง (3.19±1.027) รองลงมา คือ ต้องการมีส่วนร่วมในการติดตามการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง และต้องการมีส่วนร่วมในการชักจูงให้ผู้อื่นหันมาสนใจปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง (3.17±1.025) โดยรวมแล้วความต้องการมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งอยู่ในระดับปานกลาง (3.14±.920) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ความต้องการมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง

ความต้องการมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง	$\bar{X}$	S.D.	ความหมาย
1) ความต้องการมีส่วนร่วมในการคิดหาทางแก้ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง	3.06	0.96	ปานกลาง
2) ความต้องการมีส่วนร่วมในการปฏิบัติตามนโยบาย กฎระเบียบ หรือมาตรการที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง	3.11	1.03	ปานกลาง
3) ความต้องการมีส่วนร่วมในการติดตามการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง	3.17	1.03	ปานกลาง
4) ความต้องการมีส่วนร่วมในการชักจูงให้ผู้อื่นหันมาสนใจปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง	3.17	1.03	ปานกลาง
5) ความต้องการมีส่วนร่วมในการเผยแพร่ข่าวสารเกี่ยวกับแนวทางการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งให้ผู้อื่นได้รับทราบ	3.19	1.03	ปานกลาง
รวม	**3.14**	**0.92**	**ปานกลาง**

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

1) การประเมินการรับรู้ของประชาชนต่อปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่ เทศบาลตำบลหาดเจ้าสำราญ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี ผลการวิจัยพบว่า การรับรู้ปัญหา การป้องกัน และการแก้ไขการกัดเซาะชายฝั่งในพื้นที่หาดเจ้าสำราญอยู่ในระดับมาก และคิดเห็นว่าผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งในด้านเศรษฐกิจส่งผลต่อการสูญเสียที่ดินทำให้ไม่สามารถประกอบอาชีพหรืออยู่อาศัยได้ ด้านสังคมคิดเห็นว่าการกัดเซาะชายฝั่งส่งผลให้ชุมชนที่ตั้งถิ่นฐานบริเวณชายฝั่งไม่สามารถอาศัยในพื้นที่เดิมต่อไปได้ ต้องอพยพไปยังพื้นที่อื่นและด้านสิ่งแวดล้อม การกัดเซาะชายฝั่งทำให้ระบบนิเวศชายฝั่งถูกทำลาย เช่น ป่าชายเลน ป่าชายหาด แหล่งหญ้าทะเล เป็นต้น ที่ผ่านมา คนในชุมชนที่ตั้งถิ่นฐานบริเวณชายฝั่งทะเล ในพื้นที่ตำบลสองคลอง อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา [9] เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร และพื้นที่จังหวัดสมุทรสาคร [10] ให้ความเห็นคล้ายคลึงกันว่า การกัดเซาะชายฝั่งส่งผลต่อระบบนิเวศชายฝั่ง ความหลากหลายของทรัพยากรและภาคธุรกิจ แหล่งท่องเที่ยว เกิดการอพยพย้ายถิ่น สูญเสียพื้นที่ดินและวิถีชีวิตดั้งเดิมทำให้รายได้ลดลงเพราะไม่สามารถประกอบอาชีพจับสัตว์น้ำตามธรรมชาติ อีกทั้งต้องสูญเสียค่าซ่อมแซมที่อยู่อาศัย [9-10]

2) การประเมินความต้องการมีส่วนร่วมของประชาชนในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งเพื่อสนับสนุนการจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอย่างยั่งยืน ผลการวิจัยพบว่า ความต้องการมีส่วนร่วมของประชาชนในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งอยู่ในระดับปานกลาง โดยประชาชนต้องการมีส่วนร่วมในการเผยแพร่ข่าวสารเกี่ยวกับแนวทางการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งให้ผู้อื่นได้ทราบ ติดตามการแก้ไขปัญหาและชักจูงให้ผู้อื่นหันมาสนใจปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง อย่างไรก็ตาม การมีส่วนร่วมของประชาชนที่อาศัยบริเวณชุมชนติดชายฝั่งทะเล ตำบลสองคลอง อำเภอบางปะกง อยู่ในระดับมาก เนื่องจากประชาชนเห็นว่าได้ประโยชน์และมีอำนาจในการเข้ามากำหนดประโยชน์ที่จะได้รับจากการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งทะเล มีการกำหนดช่องทางการ

เข้าร่วมที่ชัดเจน [11] ในขณะที่ประชาชนในเทศบาลตำบลหาดเจ้าสำราญยังขาดแรงจูงใจในการเข้ามามีส่วนร่วมแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง

6. สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสะท้อนให้เห็นว่า ประชาชนในพื้นที่เทศบาลตำบลหาดเจ้าสำราญ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี ที่อาศัยอยู่ในบริเวณติดชายฝั่งทะเล มีการรับรู้ถึงปัญหา การป้องกัน การแก้ไขและผลกระทบจากการกัดเซาะชายฝั่งในระดับมาก ในขณะที่ความต้องการมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งเพื่อสนับสนุนการจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอย่างยั่งยืนยังอยู่ในระดับปานกลาง โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรสนับสนุนความรู้ และส่งเสริมกิจกรรมที่ช่วยสร้างแรงจูงใจให้ประชาชนมีความต้องการเข้ามามีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหามากขึ้น ประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนเห็นถึงประโยชน์จากการเข้าร่วมโครงการและสิ่งที่จะได้รับจากการเข้าร่วมโครงการ หรือประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนเห็นถึงประโยชน์ที่ได้จากการเผยแพร่ข่าวสารแนวทางการแก้ไขปัญหา ติดตามและชักจูงให้ผู้อื่นเข้ามาสนใจปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง กำหนดช่องทางการเข้าร่วมและระยะเวลาให้ชัดเจน เพื่อดึงดูดให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาให้เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่มากขึ้น นำไปสู่การร่วมกันจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] ศิริชัย กุมารจันทร์. (2566). หลักการมีส่วนร่วมและการจัดทำบริการสาธารณะด้านทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น. *วารสารวิชาการนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ*, *11*(2), 33-48.

[2] วิศาล ศรีมหาวโร. (2564). การบริหารจัดการทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งแบบมีส่วนร่วมของชุมชนอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาเครือข่ายอาสาสมัครพิทักษ์ทะเล (อสทล.) บ้านท่าพิกุล อำเภอท่าฉาง จังหวัดสุราษฎร์ธานี. *วารสารวิชาการวิทยาลัยบริหารศาสตร์*, *4*(3), 81-95.

[3] นรากร นันทไตรภพ. (2563, กันยายน). ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. รายการร้อยเรื่องเมืองไทย. สถานีวิทยุกระจายเสียงรัฐสภาและสำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร กรุงเทพฯ, ประเทศไทย.

[4] วุฒิพงศ์ กิตติธเนศวร. (2563). แนวทางการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลประเทศไทย. *วารสารรัฏฐาภิรักษ์*. 4(3). 68-78

[5] กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (13 พฤศจิกายน 2561). สถานการณ์การกัดเซาะชายฝั่ง จ.เพชรบุรี. คลังความรู้ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. จาก https://km.dmcr.go.th/c_1/s_395/d_19059

[6] สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. (2564). การพัฒนาชุมชนเครือข่ายในการจัดการการกัดเซาะชายฝั่งในจังหวัดเพชรบุรี. จาก https://warning.acfs.go.th/th/articles-and-research/view/?page=93

[7] วิกานดา ผาพันธ์, ดั่งหทัย กระแสร์ชล, เบญญาภา จ่างแสง, กมลอร มุลเมฆ และ เฉลิมรัช นนทะภา. (2566). การวิเคราะห์ค่าสุดขีดของคลื่นทะเลบริเวณรอบชายฝั่งอ่าวไทยในจังหวัดตราด เพชรบุรี และสุราษฎร์ธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ*, *9*(1), 8-27.

[8] ชเนตตี มิลินทางกูร. (2013). การสร้างเสริมศักยภาพชุมชนในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน. วิทยาลัยประชากรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[9] วารุณี หาญวันนา. (2558). ผลกระทบด้านสังคมและแนวทางการแก้ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเล: กรณีศึกษา ตำบลสองคลอง อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา. มหาวิทยาลัยบูรพา.

[10] จันทิรา รัตนรัตน์, พัชรินทร์ แซ่ตั้ง. (2560). ความคิดเห็นของชุมชนเกี่ยวกับปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งของประเทศไทย. หลักสูตรเทคโนโลยีการจัดการทรัพยากรและชายฝั่ง สำนักงานวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

[11] สมใจ จั่วนาน, กิ่งกนก ชวลิตธำรง. (2558). การมีส่วนร่วมของประชาชานในการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งทะเล บริเวณชุมชนชายฝั่งทะเล ตำบลสองคลอง อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

การประเมินวัฏจักรชีวิตของจานฟางข้าวและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กรณีศึกษา: ตำบลหนองน้ำใส อำเภอภาชี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

นาฟีซะห์ มะหะหมัด, สุกัญญา เสรีนนท์ชัย, จิรทยา เริ่มมนตรี และ มณฑิรา ยุติธรรม*

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม

* Corresponding author: monthira.yut@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

การทำนาข้าวถือเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญในภาคเกษตรกรรมของประเทศไทย โดยเฉพาะจากการเผาชีวมวลหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากเป็นวิธีกำจัดได้เร็วและใช้แรงงานน้อย ในทางกลับกันการเผาชีวมวลส่งผลให้เกิดมลพิษทางอากาศและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ด้วยเหตุนี้ จึงมีการนำชีวมวลจากฟางข้าวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น จานฟางข้าว เพื่อเพิ่มมูลค่า ลดการเผา และทดแทนผลิตภัณฑ์จากพลาสติก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิตและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของจานฟางข้าว การศึกษานี้ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากศูนย์ฝึกมีชีวิต ตำบลหนองน้ำใส อำเภอภาชี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า โดยเฉลี่ยจานฟางข้าวหนึ่งใบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร น้ำหนัก 12 กรัม ปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.0216 kg CO_2e แต่ละกระบวนการมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนี้ กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ 0.0126 kg CO_2e (58.52%), กระบวนการผลิต 0.0064 kg CO_2e (29.58%), การขนส่ง 0.0003 kg CO_2e (1.36%) และกระบวนการกำจัดซากหลังการใช้งาน 0.0023 kg CO_2e (10.55%) และผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ต้นทุนรวมของการผลิตจานฟางข้าวเฉลี่ยต้นทุนต่อใบเท่ากับ 2.91 บาท จำหน่ายในราคา 5 บาท มีกำไรเฉลี่ยต่อใบอยู่ที่ 2.09 บาท จากข้อมูลข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการผลิตจานฟางข้าวมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากมีอัตราส่วนผลตอบแทนต่อหน่วยที่ค่อนข้างสูง นอกจากนี้ ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอย่างฟางข้าว ลดการเผาทำลายที่ก่อให้เกิดมลพิษ และสามารถต่อยอดในเชิงพาณิชย์และวิสาหกิจชุมชนได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ / มลพิษทางอากาศ / การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ / ก๊าซเรือนกระจก / จานฟางข้าว / ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

Life Cycle Assessment and Economic Viability of Rice Straw-based Plates Case Study: Nong Nam Sai, Phachi, Phra Nakhon Si Ayutthaya Province

Nafeesah Mahamad, Sukanya Sereenonchai, Jirataya Roemmontri and Monthira Yuttitham*

Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Thailand.

* Corresponding author: monthira.yut@mahidol.ac.th

Abstract

Rice cultivation is a significant contributor to greenhouse gas (GHG) emissions in Thailand, Especially due to the open burning of post-harvest biomass, which remains common because it is a rapid and labor-efficient disposal method. Conversely, the combustion of biomass contributes to air pollution and drives climate change. Consequently, rice straw biomass has been transformed into value-added products, such as rice straw-based plates, as a means to reduce open burning and serve as an alternative to plastic products. This research aims to assess the life cycle and economic viability of rice straw-based plates. The study applies the Life Cycle Assessment (LCA) methodology based on the principles established by the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). Primary data were collected from the Lifelong Learning Center in Nong Nam Sai, Phachi, Phra Nakhon Si Ayutthaya Province. Results indicate that the production of a 15 cm, 12-gram rice straw plate generates 0.0216 kg CO_2-equivalent emissions over its life cycle. The emission distribution is as follows: raw material (58.52%; 0.0126 kg CO_2e), manufacturing (29.58%; 0.0064 kg CO_2e), transportation (1.36%; 0.0003 kg CO_2e), and end-of-life disposal (10.55%; 0.0023 kg CO_2e). Economic analysis reveals a unit production cost of 2.91 THB, with a selling price of 5.00 THB, resulting in a net profit of 2.09 THB per unit. The above findings indicate that rice straw plate production is economically viable, as it yields a relatively high return per unit. Furthermore, the production process adds value to biomass, reduces pollution caused by open burning, and offers potential for sustainable commercialization and community-based enterprise development.

Keywords: Life Cycle Assessment of Products / Air Pollution / Climate Change / Greenhouse Gases / Rice Straw Plates / Economic Viability

1. บทนำ

ประเทศไทยถือเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจหลัก โดยมีพื้นที่เพาะปลูกมากกว่า 73 ล้านไร่ หรือคิดเป็นประมาณร้อยละ 23 ของพื้นที่ประเทศทั้งหมด [1] จากปริมาณการปลูกข้าวที่มากนี้ ก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในภาคการเกษตรซึ่งเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHGs) ปริมาณสูงถึง 56.77 Mt CO_2eq โดยการปลูกข้าวมีสัดส่วนสูงสุดในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คิดเป็น 28.71 Mt CO_2e หรือร้อยละ 50.58 ของการปล่อยก๊าซทั้งหมดในภาคเกษตร [2]

นอกจากนี้ ฟางข้าวในพื้นที่นาหลังการเก็บเกี่ยวถือเป็นชีวมวลเหลือใช้ที่มีปริมาณเฉลี่ย 650 กิโลกรัมต่อไร่ [3] เกษตรกรส่วนใหญ่เลือกใช้วิธีการเผาในที่โล่งเพื่อกำจัด เนื่องจากสะดวกและใช้แรงงานน้อย อย่างไรก็ตาม การเผาชีวมวลในลักษณะนี้นำไปสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกปริมาณสูง เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่มีการปล่อยถึง 726,700 กรัม/ไร่ และและการเผาชีวมวลในที่โล่งยังส่งผลกระทบต่อปัญหามลพิษทางอากาศ (Air pollution) ที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 51,259 กรัม/ไร่ ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) 936 กรัม/ไร่ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) 364 กรัม/ไร่ [4] นอกจากนี้ ยังเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate Matter) ได้แก่ PM2.5 และ PM10 ที่เกินค่ามาตรฐาน โดย PM2.5 ปล่อยเฉลี่ย 5,395 กรัม/ไร่ และ PM10 ปล่อยเฉลี่ย 6,110 กรัม/ไร่ ซึ่งในฝุ่นละอองนี้มีองค์ประกอบสำคัญอย่าง Black Carbon ที่มีคุณสมบัติดูดซับรังสีดวงอาทิตย์และเป็นปัจจัยเร่งภาวะโลกร้อน โดยมีการปล่อย Black Carbon เฉลี่ยถึง 344 กรัม/ไร่ [5] ผลกระทบจากการเผาชีวมวลนอกจากจะส่งผลต่อคุณภาพอากาศแล้ว ยังเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดิน ส่งผลให้ดินสูญเสียความชื้น อินทรียวัตถุ และธาตุอาหารสำคัญที่จำเป็นต่อพืช [6] และส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์อีกด้วย จากผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเผาชีวมวล ควรมีแนวทางในการลดการเผา เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการเกษตรและปัญหามลพิษทางอากาศ เนื่องจากการลดก๊าซเรือนกระจกในภาคการเกษตร มีแนวโน้มที่จะแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว เมื่อเทียบกับการลดก๊าซเรือนกระจกในกิจกรรมภาคอื่น ๆ หนึ่งในแนวทางที่สามารถลดการเผาชีวมวลในที่โล่งได้คือการส่งเสริมการนำฟางข้าวมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบที่สร้างมูลค่าเพิ่ม ซึ่งวิธีที่นิยม เช่น การไถกลบเป็นปุ๋ยธรรมชาติ การอัดเป็นก้อนเพื่อเป็นเชื้อเพลิง หรือการคลุมแปลงปลูกพืช แม้ทางเลือกเหล่านี้จะช่วยลดการเผา แต่กลับไม่ได้รับความนิยมจากเกษตรกร เนื่องจากมีต้นทุนสูงและต้องใช้แรงงานมาก [7]

การแปรรูปฟางข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่อย่าง "จานฟางข้าว" จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพสูงในการสร้างแรงจูงใจให้เกษตรกรลดการเผาชีวมวล โดยเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ทดแทนผลิตภัณฑ์จากพลาสติกหรือโฟม ซึ่งมีปัญหาด้านการย่อยสลายและการปนเปื้อนในระบบนิเวศ อีกทั้งยังสามารถเป็นแหล่งรายได้เสริมให้กับเกษตรกรและชุมชนในระยะยาว การส่งเสริมกระบวนการผลิตจานฟางข้าวจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ควรได้รับการสนับสนุนอย่างจริงจัง เพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมและส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียน

2. วัตถุประสงค์

1. ประเมินวัฏจักรชีวิตของจานฟางข้าว
2. ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของจานฟางข้าว

3. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา ตำบลหนองน้ำใส อำเภอภาชี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตจานฟางข้าวผลิตโดยศูนย์ฝึกมีชีวิต กศน.อำเภอภาชี ที่ส่งเสริมการนำวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่นมาเพิ่มมูลค่าในรูปผลิตภัณฑ์

4. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) โดยกำหนดหน่วยวิเคราะห์ (Functional Unit) คือ จานฟางข้าว 1 ใบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร น้ำหนัก 12 กรัม การประเมินครอบคลุมขอบเขตตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการผลิตและการใช้งาน หรือที่เรียกว่า ขอบเขตแบบ "Cradle to Grave" ซึ่งครอบคลุมกิจกรรมทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบไปจนถึงการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยผลของการประเมินจะแสดงในรูปของกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO_2e^-) ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)

5. วิธีการศึกษา

5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การประเมินนี้ดำเนินการตามแนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิตภายใต้กรอบการประเมินแบบ Cradle to Grave ของ IPCC 2006 และข้อมูลจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (TGO) โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data): เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิตจานฟางข้าว การขนส่ง และการจัดจำหน่าย เช่น วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต การปริมาณฟางข้าว ไฟฟ้า น้ำประปา และสารเคมี ข้อมูลแสดงไว้ในตารางที่ 1

ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data): รวบรวมข้อมูลจากเอกสารวิชาการที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) และศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP100)

ตารางที่ 1 ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) ในการผลิตจานฟางข้าว

รายการ	ปริมาณ	หน่วย
กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ		
ฟางข้าว	21.0000	kg
แป้งมันสำปะหลัง	0.2250	kg
โซดาไฟ (Sodium hydroxide)	0.3600	kg
ไฟฟ้า	2.4125	kWh
น้ำประปา	0.0610	m^3
เชื้อเพลิงชีวมวล (ไม้ฟืน)	15.0000	kg
กระบวนการผลิต		
ปริมาณโซดาไฟที่ใช้	0.3600	kg
ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้	0.3125	kWh
ปริมาณน้ำประปาที่ใช้	0.0210	m^3
กระบวนการขนส่ง		
รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ	-	tKm

5.2 การประเมินวัฏจักรชีวิตของจานฟางข้าว

การประเมินวัฏจักรชีวิตของจานฟางข้าว โดยการคำนวณเพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas emission: GHG emission) ในรูปคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ใช้วิธีการตามแนวทาง IPCC 2006 ซึ่งการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นจะพิจารณาจากข้อมูลกิจกรรมที่มีการดำเนินการในพื้นที่คูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ตารางที่ 2) โดยใช้สมการ ดังนี้

$$\text{GHG emission} = \text{Activity Data} \times \text{Emission factor}$$

เมื่อ GHG emission = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (กิโลกรัม CO_2e ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์)
Activity data = ข้อมูลกิจกรรม (เช่น น้ำหนัก ปริมาณ พลังงาน หรือระยะทาง)
Emission factor = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละกิจกรรม

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในการประเมิน

รายการ	หน่วย	Emission factor (kgCO2e)	แหล่งที่มา	ปีอัพเดต
Cob	kg	0.0319	IPCC Vol.2 Table 2.2, DEDE	2022
Cassava starch	kg	0.5410	Ecoinvent 2.2, IPCC 2007 GWP 100a	2012
Sodium hydroxide diaphram	kg	1.1200	Carbon Cloud	2023
Sodium hydroxide	kg	0.4690	ISCC v2.3-EU	2015
Electricity, grid mix	kWh	0.5986	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	2019
Electricity usage	kWh	0.4857	Thai National LCI Database, TIIS- MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	2021
น้ำประปา-การประปาส่วนภูมิภาค	m^3	0.2843	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	2019
การรวบรวมและการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียชุมชนของประเทศ	m^3	0.1302	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	2019
รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ วิ่งแบบปกติ 0% Loading	km	0.3131	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	2019
รถกระบะบรรทุกขนาดเล็ก 4 ล้อ วิ่งแบบปกติ 50% Loading	tkm	0.2698	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	2019
กระดาษฝังกลบ	kg	0.1900	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	2021

5.3 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลต้นทุนการผลิตจานฟางข้าว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร น้ำหนัก 12 กรัม โดยวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านวัตถุดิบ พลังงาน ค่าแรง และทรัพยากรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง อาทิ ฟางข้าว แป้งมันสำปะหลัง โซดาไฟ ไฟฟ้า น้ำประปา และฟืน รวมถึงต้นทุนแรงงาน นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดเพื่อทำการวิเคราะห์มูลค่าต้นทุน และอัตราผลตอบแทน และประเมินศักยภาพและความคุ้มค่าการลงทุนในการผลิตจานฟางข้าว เพื่อนำมาตัดสินใจลงทุน

การคำนวณหาอัตราผลตอบแทน เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยการประเมินมูลค่าการลงทุน (Investment Costs) และผลตอบแทน (Benefits) โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$EIRR = B - C$$

เมื่อ EIRR = อัตราผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์

B = มูลค่าผลตอบแทนที่เกิดขึ้น

C = มูลค่าต้นทุนค่าใช้จ่ายในการลงทุน

การวิเคราะห์ตามสมการข้างต้นสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจลงทุนผลิตจานฟางข้าวได้อย่างเหมาะสม โดยการพิจารณาความคุ้มค่าในเชิงรายได้และต้นทุนอย่างเป็นระบบ เพื่อสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมชีวภาพและผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในระดับชุมชนหรือวิสาหกิจขนาดย่อมอย่างยั่งยืน

6. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

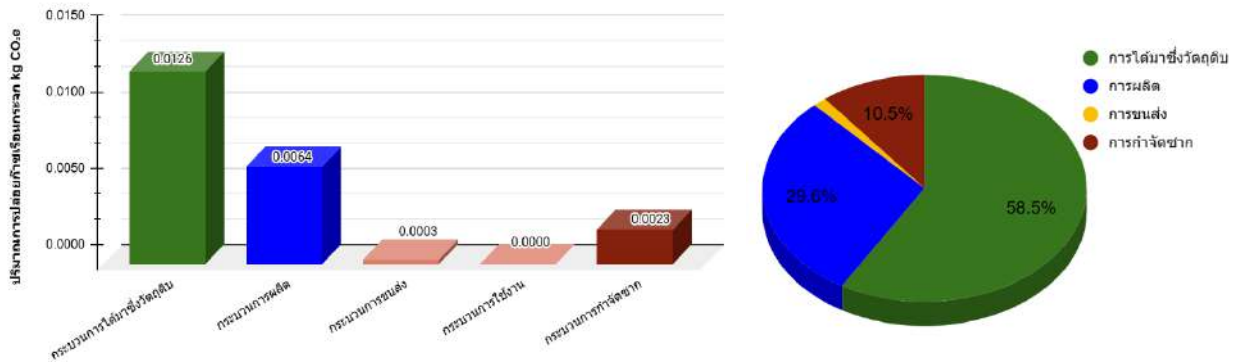
6.1 ผลการประเมินวัฏจักรชีวิตจานฟางข้าว

จากการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จานฟางข้าว พบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ตลอดวัฏจักรชีวิตของจานฟางข้าวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร น้ำหนัก 12 กรัม ต่อจำนวน 1 ใบ มีปริมาณรวมทั้งสิ้น 0.0216 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO_2e) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรชีวิตจานฟางข้าวดังแสดงในตารางที่ 3 โดมีรายละเอียดดังนี้

- กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด คิดเป็น 0.0126 kg CO_2e หรือคิดเป็น 58.52% ของการปล่อยทั้งหมด สาเหตุหลักมาจากการจัดหาวัตถุดิบจากภาคเกษตร เช่น ฟางข้าว แป้งมันสำปะหลัง และโซดาไฟ ซึ่งมีการใช้พลังงานและทรัพยากรในขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบค่อนข้างสูง
- กระบวนการผลิต มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 0.0064 kg CO_2e หรือคิดเป็น 29.58% ของการปล่อยทั้งหมด ซึ่งเกิดจากการใช้ไฟฟ้าและพลังงานความร้อนในกระบวนการแปรรูปฟางข้าวเป็นเยื่อกระดาษและการขึ้นรูปจาน
- กระบวนการขนส่ง มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพียง 0.0003 kg CO_2e หรือคิดเป็น 1.36% เนื่องจากระยะทางในการขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปไม่ไกลจากแหล่งผลิต
- กระบวนการใช้งาน ไม่พบกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากจานฟางข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทใช้ครั้งเดียวและไม่ต้องใช้พลังงานระหว่างการใช้งาน
- กระบวนการกำจัดซาก มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.0023 kg CO_2e หรือคิดเป็น 10.55% ของการปล่อยทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการจัดการขยะ เช่น การฝังกลบหรือการย่อยสลายอินทรีย์ภายหลังการใช้งาน

ตารางที่ 3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของจานฟางข้าว 1 ใบ

ข้อมูลกิจกรรม	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kg CO_2 e)	อัตราส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (%)
กระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ	0.0126	58.52%
กระบวนการผลิต	0.0064	29.58%
กระบวนการขนส่ง	0.0003	1.36%
กระบวนการใช้งาน	0.0000	0.00%
กระบวนการกำจัดซาก	0.0023	10.55%
รวม	0.0216	100%



(ก) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ข) ร้อยละการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

รูปที่ 1 แสดง (ก) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และ (ข) ร้อยละการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากข้อมูลรูปที่ 1 สามารถสรุปได้ว่า กระบวนการจัดหาวัตถุดิบและการผลิต เป็นแหล่งหลักของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตจานฟางข้าว ในขณะที่ขั้นตอนอื่น ๆ โดยเฉพาะกระบวนการใช้งานและการขนส่ง มีสัดส่วนที่น้อยมากต่อการปล่อยรวม และการวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้วัตถุดิบ เช่น การเลือกแหล่งวัตถุดิบที่มีการปล่อยคาร์บอนต่ำ หรือการใช้พลังงานหมุนเวียนในกระบวนการผลิต อาจช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีนัยสำคัญ

6.2 ผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลต้นทุนการผลิตจานกระดาษฟางข้าว พบว่าต้นทุนรวมของการผลิตคิดเป็นต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยอยู่ที่ 2.91 บาทต่อใบ โดยต้นทุนดังกล่าวครอบคลุมทั้งค่าใช้จ่ายด้านวัตถุดิบ พลังงาน แรงงาน และทรัพยากรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในการผลิตจานฟางข้าว เมื่อเปรียบเทียบกับราคาจำหน่ายเฉลี่ยของจานฟางข้าว ซึ่งกำหนดไว้ที่ 5.00 บาทต่อใบ พบว่า สามารถสร้างกำไรสุทธิจากการจำหน่ายได้ 2.09 บาทต่อใบ คิดเป็น อัตรากำไรสุทธิประมาณ 71.8% ของต้นทุนต่อหน่วย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตดังกล่าว ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลต้นทุนการผลิตจานกระดาษฟางข้าว

รายการวัตถุดิบ	ปริมาณที่ใช้	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	คิดเป็นเงิน (บาท)
ฟางข้าว	21.000	kg	3.75	78.75
แป้งมันสำปะหลัง	0.2250	Kg	13.75	3.09
โซดาไฟ	0.3600	kg	58	20.88
ไฟฟ้า	2.4125	kWh	3.24	7.82
น้ำประปา	0.0610	m^3	10	0.61
ฟืน	15.0000	kg	10	150
ค่าแรง	1	day	350	350
ต้นทุนรวม (210 ใบ)				611.15
เฉลี่ยต้นทุนต่อใบ				2.91
ราคาขายต่อใบ				5.00
กำไรต่อใบ				2.09

ผลการวิเคราะห์นี้สะท้อนให้เห็นว่า การผลิตจานฟางข้าวไม่เพียงเป็นทางเลือกที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังสามารถสร้างผลตอบแทนเชิงเศรษฐกิจที่น่าสนใจ โดยเฉพาะในบริบทของกล่มวิสาหกิจชุมชนหรือผู้ประกอบการขนาดย่อม ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการลงทุน อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมการใช้วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรอย่างมีประโยชน์ ลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการชีวมวลในพื้นที่การเกษตร

7. สรุปผลการศึกษา

ปัจจุบันขยะพลาสติกก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอย่างมาก การเสนอแนะให้มีการนำชีวมวลฟางข้าวมาใช้ประโยชน์โดยผลิตเป็นจานหรือบรรจุภัณฑ์จากฟางข้าว เป็นทางเลือกที่ดีในการจัดการกับชีวมวลทางการเกษตร ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แทนการใช้วัสดุที่เป็นพลาสติกที่ใช้เวลาในการย่อยสลายนาน ซึ่งการนำฟางข้าวมาใช้ประโยชน์ถือเป็นวิธีการในการจัดการสิ่งแวดล้อมช่วยลดปัญหาโลกร้อนที่ดีอย่างหนึ่ง ช่วยลดปัญหาการเผาในพื้นที่เกษตรกร และช่วยสร้างรายได้เสริมให้กับเกษตรกรได้ จากการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์จานฟางข้าวและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จานฟางข้าว 1 ใบ มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมตลอดวัฏจักรชีวิตเท่ากับ 0.0216 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO_2e) โดยมีแหล่งการปล่อยหลักจากกระบวนการได้มาซึ่งวัตถุดิบเท่ากับ 0.0126 kg CO_2e (58.52%) และกระบวนการผลิตเท่ากับ 0.0064 kg CO_2e (29.58%) ขณะที่กระบวนการขนส่งเท่ากับ 0.0003 kg CO_2e (1.36%) และการกำจัดซากเท่ากับ 0.0023 kg CO_2e (10.55%) มีสัดส่วนการปล่อยค่อนข้างน้อย และไม่พบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการใช้งาน นอกจากนี้ การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จากต้นทุนการผลิตจานฟางข้าว พบว่าต้นทุนเฉลี่ยต่อใบอยู่ที่ 2.91 บาท ขณะที่ราคาจำหน่ายเฉลี่ยอยู่ที่ 5.00 บาท ทำให้เกิดกำไรสุทธิ 2.09 บาทต่อใบ หรือคิดเป็นอัตรากำไรสุทธิประมาณ 71.8% ของต้นทุนต่อหน่วย ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่สูง ผลการวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็นว่า การผลิตจานฟางข้าวเป็นกิจกรรมที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยเฉพาะอย่าง

ยิ่งสำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนหรือผู้ประกอบการรายย่อย อีกทั้งยังส่งเสริมการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการเผาชีวมวล การผลิตจานฟางข้าวเป็นแนวทางที่เหมาะสมทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ และมีศักยภาพในการขยายผลไปสู่ระดับชุมชนหรือเชิงพาณิชย์ได้อย่างยั่งยืน เพื่อสร้างรายได้และลดผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมในภาคเกษตรกรรม

เอกสารอ้างอิง

[1] Office of Agricultural Economics. (2022). *Report on the analysis of the rice situation in Thailand*. Retrieved January 4, 2024, from https://www.oae.go.th

[2] Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. (2024). *Greenhouse gas inventory report for the agricultural sector in Thailand*. Retrieved August 26, 2024, from https://climate.onep.go.th

[3] Matsa, P., Saelim, T., & Woranat, T. (2023). *Rice residue utilization potential in Thai paddy fields*. Retrieved March 12, 2024, from https://www.agriculture.go.th

[4] Rongmuang, P., Chantara, S., & Thepanondh, S. (2017). *Emission factors of open biomass burning in agricultural fields in Thailand*. Retrieved March 9, 2024, from https://www.pcd.go.th

[5] Oanh, N. T. K., et al. (2011). *Black carbon emissions from biomass burning in Southeast Asia*. Retrieved January 4, 2024, from https://www.researchgate.net

[6] Toan, T. D., et al. (2022). *Soil degradation from open burning: A meta-analysis approach*. Retrieved March 13, 2024, from https://www.mdpi.com

[7] Nilsophon, P. (2023). *Guidelines for reducing greenhouse gas emissions in the agricultural sector: Opportunities and challenges*. Retrieved April 18, 2024, from https://www.greenagriculture.or.th

ประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้าโดยใช้สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ

สรธร สุขสัมฤทธิ์ และ ปวริศร์ พงษ์ศิริวัฒน์

โรงเรียนสุรวิทยาคาร ตำบลในเมือง อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์
** Corresponding author: sorathon081050@gmail.com*

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้าโดยใช้สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้าโดยใช้สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ และ 2) เพื่อศึกษาการหาปริมาตรของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ นำสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนไปวัดปริมาตร และนำผลที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{x}$) พบว่า ปริมาตรสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเมล็ดของมะละกอมีปริมาตรมากกว่าสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกของมะละกอ โดยปริมาตรสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอเฉลี่ยที่ได้จำนวน 40 และ 63 ตามลำดับ และเมื่อนำสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอมาทดสอบการกำจัดคราบโลหิตบนผ้าฝ้ายและผ้าไนลอน โดยนำผ้าหลังการซักล้างไปตรวจคราบโลหิตด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีนและวิธีลูมินอล จากนั้นวัดระดับความเข้ม/ความสว่างสีจากระบบสี HSL พบว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอสามารถขจัดคราบโลหิตบนผ้าฝ้ายได้ โดยสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเมล็ดของมะละกอมีประสิทธิภาพมากที่สุด รองลงมา คือ เปลือกของมะละกอ โดยมีค่าร้อยละความเข้มสีเฉลี่ยเท่ากับ 1.7 และ 3.53 และ มีค่าร้อยละความสว่างสีเฉลี่ยเท่ากับ 44.84 และ 46.45 ตามลำดับ จากการพิจารณาระดับความเข้มสีเป็น + และ ระดับความสว่างสีเป็น ++ เท่ากัน แสดงว่า เปลือกและเมล็ดของมะละกอมีประสิทธิภาพเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมาก และ พบว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอสามารถขจัดคราบโลหิตบนผ้าไนลอนได้ โดยสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเมล็ดของมะละกอมีประสิทธิภาพมากที่สุด รองลงมา คือ เปลือกของมะละกอ โดยมีค่าร้อยละความเข้มสีเฉลี่ยเท่ากับ 2.36 และ 3.14 และ มีค่าร้อยละความสว่างสีเฉลี่ยเท่ากับ 49.15 และ 49.74 ตามลำดับ จากการพิจารณาระดับความเข้มสีเป็น + และ ระดับความสว่างสีเป็น ++ เท่ากัน แสดงว่า เปลือกและเมล็ดของมะละกอมีประสิทธิภาพเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมาก

คำสำคัญ: เอนไซม์ปาเปน / สารสกัดหยาบ / คราบโลหิต / ระบบสี HSL / ระดับความเข้มและความสว่างสี

The Efficiency of Bloodstain Removal on Fabric Using Crude Papain Enzyme Extracts from Papaya Peel and Seeds

Sorathon Suksamrit and Pawarit Pongsiriwat

Surawittayakarn School, Nai Mueang, Mueang Surin, Surin, Thailand
** Corresponding author: sorathon081050@gmail.com*

Abstract

This study aimed to evaluate the effectiveness of crude papain extract from papaya peel and seeds in removing bloodstains from fabric, as well as to compare the volume of extract obtained from each source. The crude enzyme extracts were prepared and their volumes were measured and averaged. The results showed that the average volume of crude extract from papaya seeds (63 mL) was greater than that from the peel (40 mL). The extracts were then tested for their ability to remove bloodstains from cotton and nylon fabrics. After washing, the fabrics were examined for residual blood using the phenolphthalein and luminol tests, and color intensity and lightness were measured using the HSL color model. On cotton fabric, the extract from papaya seeds had a lower average color intensity (1.7%) compared to the peel (3.53%) and lightness values of 44.84% and 46.45%, respectively. On nylon fabric, the color intensity percentages were 2.36% (seeds) and 3.14% (peel), with corresponding lightness values of 49.15% and 49.74%. Although the seed extract generally showed slightly better stain removal performance, both extracts demonstrated similar levels of effectiveness on both types of fabric. Therefore, it can be concluded that crude papain extracts from both papaya peel and seeds are comparably effective in removing bloodstains from fabric.

Keywords: Papain enzyme / Crude enzyme extract / Bloodstain / HSL color model / Color intensity and brightness levels

1. บทนำ

ปัจจุบันสังคมมีความเจริญทางด้านเทคโนโลยีมากขึ้น มนุษย์มีการคิดค้นสารเคมีเพื่อความสะดวกในการทำความสะอาดมากขึ้นซึ่งน้ำยาขจัดคราบทั่วไปนั้นล้วนมีส่วนประกอบคล้ายกันแต่จะแตกต่างกันในส่วนสารเติมแต่ง ซึ่งล้วนเป็นสารเคมีทั้งสิ้น สารเคมีบางตัวอาจทำให้ผู้ใช้แพ้มีลักษณะอาการคันหรือเกิดการสะสมสารพิษในร่างกายโดยปัญหาเกี่ยวกับคราบโลหิตที่พบได้บ่อยคือลักษณะของคราบโลหิตซึ่งอาจเกิดจากการกระเด็นของโลหิตจากกิจกรรมต่างๆหรืออาจเกิดจากอุบัติเหตุซึ่งสามารถล้างออกได้โดยการใช้น้ำยาล้างโลหิตหรือการใช้ผลซักฟอกซึ่งสารที่กล่าวมาข้างต้นล้วนแต่มีส่วนประกอบจากสารเคมีทั้งสิ้น ในการขจัดคราบโลหิตนั้นมีเอนไซม์อยู่ตัวหนึ่งที่มีฤทธิ์สามารถช่วยในการขจัดคราบโลหิตได้นั้นคือเอนไซม์ปาเปน [1] ปาเปน (Papain) จากยางมะละกอมีความสามารถในการย่อยสลายโปรตีนได้ดีในสภาวะที่เป็นกลางในช่วงพีเอช 6.0 - 7.5 เอนไซม์ปาเปนได้มาจากพืชด้วยการสกัดจากยางมะละกอ ซึ่งมีในส่วนใบ ก้านใบ ลำต้น และผลดิบ จัดอยู่ในกลุ่มของซีสเตอีนโปรตีนเอส (Cystiene protease) ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยโปรตีน เอนไซม์ปาเปนเป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่ประกอบไปด้วยกรดอะมิโน 212 ตัว กรดอะมิโนซิสเตอีน 7 ตัว [2]

จากการศึกษาพบว่า ผลดิบของมะละกอซึ่งถือได้ว่าเป็นผลไม้ไทยที่พบได้ง่ายตามท้องถิ่นนั้นมีปริมาณเอนไซม์ปาเปนมาก โดยใช้เอนไซม์ปาเปนนั้นมีคุณสมบัติในการย่อยสลายพันธะเคมีซึ่งช่วยให้โปรตีนที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มีขนาดเล็กลง และพบว่ามีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้น้ำเปล่าซักล้างโดยไม่ต้องใช้น้ำยาขจัดคราบโลหิตหรือผงซักฟอกที่เป็นสารสังเคราะห์ [3]

ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดคราบโลหิตโดยใช้สารสกัดเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอในปริมาณที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นทางเลือกในการขจัดคราบโลหิตบนผ้า

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้าโดยใช้สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ
2. เพื่อศึกษาการหาปริมาตรของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. การศึกษาประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้าโดยใช้สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ
2. ตัวแปร

ตอนที่ 1 การศึกษาปริมาตรของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ

2.1.1 ตัวแปรต้น: ส่วนต่างๆของมะละกอ ได้แก่ เปลือก และเมล็ด

2.1.2 ตัวแปรตาม: ปริมาตรของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนที่ได้จากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ

2.1.3 ตัวแปรควบคุม: 1) ปริมาณเปลือกและเมล็ดของมะละกอ
2) พันธุ์ของมะละกอ
3) ปริมาณของตัวทำละลาย

ตอนที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพในการขจัดคราบโลหิตบนผ้าของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือก และเมล็ดของมะละกอ

2.2.1 ตัวแปรต้น: สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ

2.2.2 ตัวแปรตาม: ประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้า

2.2.3 ตัวแปรควบคุม: 1) ระยะเวลาในการทำให้โลหิตแห้ง

2) ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ผ้า

3) ชนิดของผ้า ได้แก่ ผ้าฝ้ายและผ้าไนลอน

4) ปริมาตรของสารสกัดที่ใช้ในการแช่ผ้า

3. ผ้าที่เปื้อนโลหิต ซึ่งได้มาจากการควบคุมการหยดโลหิตของสุกรลงบนผ้าขาวประมาณ 4-5 หยด เป็นระยะเวลา 1-2 ชั่วโมง

4. สถานที่: ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ โรงเรียนสุรวิทยาคาร จังหวัดสุรินทร์

5. ระยะเวลา: กรกฎาคม 2567 – มีนาคม 2568

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

ตอนที่ 1 การศึกษาปริมาณของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ

1.1 สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ

1.1.1 ปอกเปลือกมะละกอดิบและคว้านเมล็ดออกมาใส่ภาชนะไว้

1.1.2 นำเปลือกไปปั่นกับน้ำกลั่นอัตราส่วน 2:1 โดยนำเปลือกมา 100 g และน้ำกลั่น 50 ml ปั่นจนละเอียด ส่วนของเมล็ดก็ทำเช่นเดียวกับเปลือก

1.1.3 กรองเอาเศษออกด้วยผ้าขาวบาง

1.1.4 นำสารละลายไปปั่นด้วยเครื่อง centrifuge ด้วยความเร็ว 6,000 rpm เป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นเก็บสารละลายที่ได้ใส่ภาชนะที่มีฝาปิดไว้ และแช่ตู้เย็น

ตอนที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการขจัดคราบเลือดบนผ้าของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ

2.1 การเตรียมสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปน

2.1.1 นำสารละลายปาเปนจากเปลือกใส่หลอดทดลอง หลอดละ 30 ml จำนวน 2 หลอด

2.1.2 นำสารละลายปาเปนจากเมล็ดใส่หลอดทดลอง หลอดละ 30 ml จำนวน 2 หลอด

2.2 การเตรียมตัวอย่างผ้าและทดสอบประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้า

2.2.1 ตัดผ้าฝ้ายและผ้าไนลอนให้มีความกว้าง 2 นิ้ว และยาว 2 นิ้วชนิดละ 3 ผืน

2.2.2 หยดโลหิตสุกรลงบนผ้า ผืนละ 4 หยด จากนั้นทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

2.2.3 นำผ้าแต่ละชนิดไปแช่ในสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนใน 2.1.1 และ 2.1.2 ปริมาตร 30 ml อย่างละ 1 ผืน ในหลอดทดลอง เป็นเวลา 30 นาที

2.2.4 นำไปซักล้างโดยใช้เครื่องเขย่าสาร เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเปลี่ยนเป็นน้ำสะอาด แล้วทำซ้ำอีก 1 รอบ จากนั้นนำไปตากให้แห้ง

2.3 การทดสอบประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้า

2.3.1 การตรวจพิสูจน์คราบโลหิตด้วยวิธีลูมินอล

2.3.1.1 การเตรียมสารละลายลูมินอล

2.3.1.1.1 นำสารลูมินอล 0.25 g และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 g มาทำละลายด้วยน้ำกลั่น 50 ml

2.3.1.1.2 เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 3 mol/l

2.3.1.1.3 เก็บไว้ในบรรจุภัณฑ์ประเภทขวดสเปรย์

2.3.1.2 การตรวจสอบพิสูจน์คราบโลหิตด้วยสารลูมินอล

2.3.1.2.1 ฉีดสารละลายลูมินอลลงบนผ้า 2-3 ครั้ง

2.3.1.2.2 ถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายรูปดิจิตอล

2.3.1.2.3 นำภาพไปหาค่าความสว่างสีด้วยระบบสี HSL ในโปรแกรม PowerPoint แล้วบันทึกผล

2.3.2 การตรวจพิสูจน์คราบโลหิตด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน

2.3.2.1 การเตรียมน้ำยา Kastle-Meyer Test

2.3.2.1.1 ผสมฟีนอล์ฟทาลีน 2 g โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 20 g น้ำกลั่น 100 ml และ ผงสังกะสี 20 g

2.3.2.1.2 นำไปต้มโดยใช้เครื่องควบแน่นชนิดรีฟลักซ์ เป็นระยะเวลา 2-3 ชั่วโมง

2.3.2.1.3 หลังต้มจะได้สารละลายใสไม่มีสี จากนั้นเติมผงสังกะสี 5 g

2.3.2.1.4 เก็บไว้ในขวดสีชา เป็น stock solution

2.3.2.2 การตรวจพิสูจน์คราบโลหิตด้วยสารฟีนอล์ฟทาลีน

2.3.2.2.1 นำน้ำยา Kastle-Meyer Test ที่เตรียมไว้มา 5 ml ผสมกับเอทานอล 20 ml ใส่ขวดสีชา

2.3.2.2.2 หยดน้ำยา Kastle-Meyer Test ลงบนผ้า 2-3 หยด

2.3.2.2.3 หยดเอทานอลลงบนผ้า 2-3 หยด

2.3.2.2.4 หยดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 3 mol/l ลงบนผ้า 2 หยด ตามทันที

2.3.2.2.5 ถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายรูปดิจิตอล

2.3.2.2.6 นำภาพไปหาค่าความเข้มสีด้วยระบบสี HSL ในโปรแกรมPowerPointแล้วบันทึกผล

หมายเหตุ ทำการทดลองในตอนที่ 1 และ 2 ซ้ำ 3 ครั้ง

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปน และประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้าโดยใช้สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปน โดยใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และร้อยละความเข้ม/ความสว่างสี (%SL)

1. ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{x}$)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

เมื่อ $\bar{x}$ แทน ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูล

X_i แทน ค่าสังเกตจากข้อมูลลำดับที่ i

n แทน จำนวนข้อมูล

2. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

เมื่อ S.D. แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X_i แทน ค่าสังเกตจากข้อมูลลำดับที่ i

n แทน จำนวนข้อมูล

$\bar{x}$ แทน ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูล

3. ร้อยละความเข้ม/ความสว่าง (%SL)

$$\%SL = \frac{n}{255} \times 100$$

เมื่อ %SL แทน ร้อยละความเข้ม/ความสว่างสี

n แทน จำนวนข้อมูล

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การศึกษาประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้าโดยใช้สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ คณะผู้จัดทำขอนำเสนอผลการดำเนินการตามลำดับ ดังนี้

1. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้าโดยใช้สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ
2. ผลการศึกษาการหาปริมาตรของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ

5.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้าโดยใช้สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ

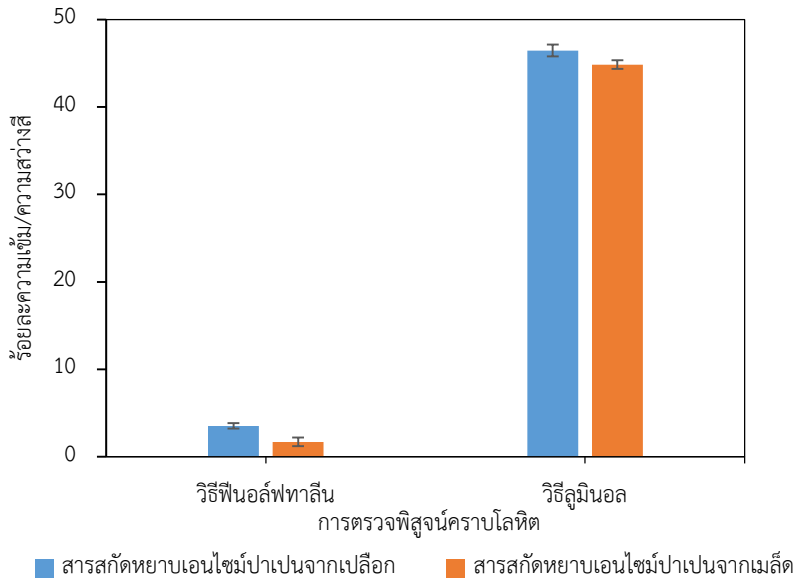
ผลการศึกษาประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้าโดยใช้สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ ซึ่งก่อนทำการซักล้าง คราบโลหิตบนผ้าฝ้ายมีค่าความเข้ม/ความสว่างสี = 80/50.2 ตามลำดับ และ คราบโลหิตบนผ้าไนลอน มีค่าความเข้ม/ความสว่างสี = 43.53/49.02 ตามลำดับ แสดงผลได้ดังตารางที่ 1 และ 2 ดังนี้

จากตารางที่ 1 เมื่อทำการตรวจพิสูจน์คราบโลหิตด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน พบว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือก มีค่าร้อยละความเข้มสีเฉลี่ยมากกว่าสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเมล็ด โดยมีค่าร้อยละความเข้มสีเฉลี่ย คือ 3.53 และ 1.7 ตามลำดับ ซึ่งมีระดับความเข้มสีเป็น + เท่ากัน

เมื่อทำการตรวจพิสูจน์คราบโลหิตด้วยวิธีลูมินอล พบว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือก มีค่าร้อยละความสว่างสีเฉลี่ยมากกว่าสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเมล็ด โดยมีค่าร้อยละความเข้มสีเฉลี่ย คือ 46.45 และ 44.84 ตามลำดับ ซึ่งมีระดับความเข้มสีเป็น ++ เท่ากัน

ตารางที่ 1 ผลการตรวจพิสูจน์คราบโลหิตบนผ้าฝ้าย

ชนิดของสารที่ใช้ในการขจัดคราบโลหิต	%SL ครั้งที่	หลังทำการซักล้าง	การตรวจพิสูจน์คราบโลหิต	
			วิธีฟีนอล์ฟทาลีน	วิธีลูมินอล
น้ำกลั่น	1	7.45	10.2	49.02
	2	10.98	7.06	49.8
	3	6.27	4.71	45.49
	$\bar{X}$	8.23	7.32	48.1
	S.D.	2	2.25	1.88
	ระดับความเข้ม/สว่างสี	+	+	++
สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือก	1	2.35	3.53	47.06
	2	4.31	3.92	47.45
	3	3.14	3.14	46.67
	$\bar{X}$	3.27	3.53	46.45
	S.D.	0.81	0.32	0.68
	ระดับความเข้ม/สว่างสี	+	+	++
สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเมล็ด	1	1.57	2.35	44.31
	2	3.14	1.18	45.49
	3	1.96	1.57	44.71
	$\bar{X}$	2.22	1.7	44.84
	S.D.	0.67	0.49	0.49
	ระดับความเข้ม/สว่างสี	+	+	++



ภาพที่ 1 ผลการตรวจพิสูจน์คราบโลหิตบนผ้าฝ้าย

ผลการตรวจพิสูจน์คราบโลหิตทั้ง 2 วิธี แสดงว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ สามารถขจัดคราบโลหิตได้ เมื่อพิจารณาจากค่าร้อยละความเข้ม/ความสว่างสีเฉลี่ย พบว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปน จากเมล็ดของมะละกอมีประสิทธิภาพมากที่สุด รองลงมา คือ สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกของมะละกอ เมื่อพิจารณาจากระดับความเข้ม/ความสว่างสีที่มีค่าเท่ากัน แสดงว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอมีประสิทธิภาพเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมาก

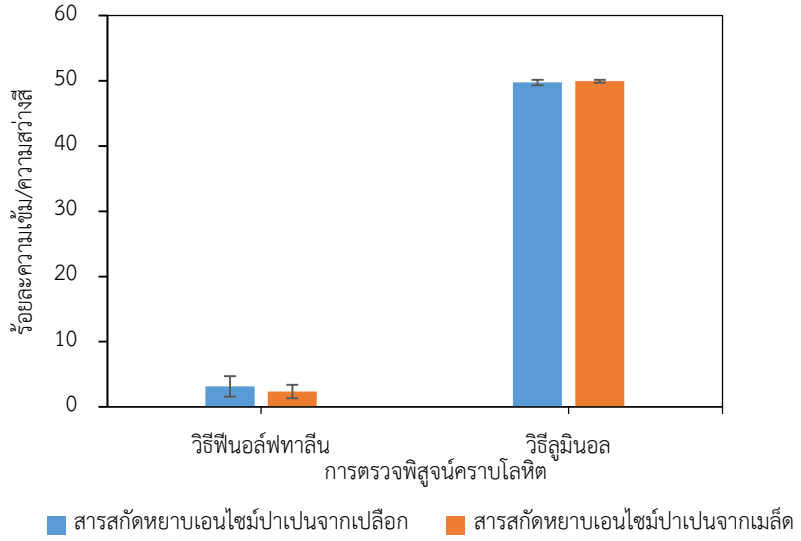
จากตารางที่ 2 เมื่อทำการตรวจพิสูจน์คราบโลหิตด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน พบว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกมีค่าร้อยละความเข้มสีเฉลี่ยมากกว่าสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเมล็ด โดยมีค่าร้อยละความเข้มสีเฉลี่ย คือ 3.14 และ 2.36 ตามลำดับ ซึ่งมีระดับความเข้มสีเป็น + เท่ากัน

เมื่อทำการตรวจพิสูจน์คราบโลหิตด้วยวิธีลูมินอล พบว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือก มีค่าร้อยละความสว่างสีเฉลี่ยมากกว่าสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเมล็ด โดยมีค่าร้อยละความเข้มสีเฉลี่ย คือ 49.74 และ 49.15 ตามลำดับ ซึ่งมีระดับความเข้มสีเป็น ++ เท่ากัน

ผลการตรวจพิสูจน์คราบโลหิตทั้ง 2 วิธี แสดงว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ สามารถขจัดคราบโลหิตได้ เมื่อพิจารณาจากค่าร้อยละความเข้ม/ความสว่างสีเฉลี่ย พบว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปน จากเมล็ดของมะละกอมีประสิทธิภาพมากที่สุด รองลงมา คือ สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกของมะละกอ และเมื่อพิจารณาจากระดับความเข้ม/ความสว่างสีที่มีค่าเท่ากัน แสดงว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอมีประสิทธิภาพเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมาก

ตารางที่ 2 ผลการตรวจพิสูจน์คราบโลหิตบนผ้าไนลอน

ชนิดของสารที่ใช้ในการขจัดคราบโลหิต	%SL ครั้งที่	หลังทำการซักล้าง	การตรวจพิสูจน์คราบโลหิต	
			วิธีฟีนอล์ฟทาลีน	วิธีลูมินอล
น้ำกลั่น	1	5.88	2.35	49.83
	2	4.71	7.84	50.2
	3	5.88	1.18	50.2
	$\bar{x}$	5.49	3.79	50.07
	S.D.	0.68	3.56	0.21
	ระดับความเข้ม/สว่างสี	+	+	++
สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือก	1	5.49	3.14	49.41
	2	1.57	1.57	49.61
	3	3.92	4.71	50.2
	$\bar{x}$	3.66	3.14	49.74
	S.D.	1.97	1.57	0.41
	ระดับความเข้ม/สว่างสี	+	+	++
สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเมล็ด	1	3.52	1.18	49.8
	2	5.88	2.75	50.2
	3	3.92	3.14	49.8
	$\bar{x}$	4.44	2.36	49.93
	S.D.	1.26	1.04	0.23
	ระดับความเข้ม/สว่างสี	+	+	++



ภาพที่ 2 กราฟแสดงผลการตรวจพิสูจน์คราบโลหิตบนผ้าไนลอน

5.2 ผลการศึกษาการหาปริมาตรของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ

ผลการศึกษาการหาปริมาตรของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ แสดงผลได้ดังตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ปริมาตรเฉลี่ยของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ

องค์ประกอบสารสกัดเอนไซม์ปาเปนจากมะละกอ	ปริมาตร (ml/100 g)
เปลือก	40
เมล็ด	63

จากตารางที่ 3 พบว่า ปริมาตรสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอ มีปริมาตรเฉลี่ยเท่ากับ 40 และ 63 ตามลำดับ แสดงว่า ปริมาตรสารสกัดเอนไซม์ปาเปนจากเมล็ดมีปริมาตรมากที่สุด รองลงมา คือ สารสกัดหยาบ เอนไซม์ปาเปนจากเปลือก

5.3 อภิปรายผลการศึกษา

1. ประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้าฝ้าย พบว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดสามารถขจัดคราบโลหิตได้ โดยสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเมล็ดมีประสิทธิภาพมากที่สุด รองลงมา คือ สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปน จากเปลือก โดยมีร้อยละความเข้มสีเฉลี่ย เท่ากับ 1.7 และ 3.53 ตามลำดับ และมีค่าร้อยละความสว่างสี เท่ากับ 44.84 และ 46.45 ตามลำดับ จากการพิจารณาระดับความเข้มสีเป็น + และ ระดับความสว่างสีเป็น ++ เท่ากัน แสดงว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอมีประสิทธิภาพเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมาก

ประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้าไนลอน พบว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดสามารถขจัดคราบโลหิตได้ โดยสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเมล็ดมีประสิทธิภาพมากที่สุด รองลงมา คือ สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือก โดยมีร้อยละความเข้มสีเฉลี่ย เท่ากับ 2.36 และ 3.14 ตามลำดับ และมีค่าร้อยละความสว่างสี เท่ากับ 49.15 และ 49.76 ตามลำดับ จากการพิจารณาระดับความเข้มสีเป็น + และ ระดับความสว่างสีเป็น ++ เท่ากัน แสดงว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอมีประสิทธิภาพเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมาก

2. จากผลการศึกษาปริมาตรสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากส่วนต่างๆของมะละกอ พบว่า ปริมาตรสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเมล็ดของมะละกอมีปริมาตรเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมา คือ สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกของมะละกอ โดยปริมาตรเฉลี่ยเท่ากับ 63 และ 40 ml/100 gของเมล็ดและเปลือกของมะละกอ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ [2] ที่ได้ศึกษา พบว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเมล็ดมีปริมาณมากกว่าเปลือกของมะละกอ ซึ่งจากการศึกษาประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้าโดยใช้สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากส่วนต่างๆของมะละกอ พบว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากส่วนต่างๆของมะละกอสามารถขจัดคราบโลหิตบนผ้าฝ้ายและผ้าไนลอนได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ [4] ที่ได้ศึกษา พบว่า ปาเปนเป็นเอนไซม์โปรติเนส จัดอยู่ในกลุ่มซีสเตอีน โปรติเนส ซึ่งเอนไซม์ปาเปนพบได้มากในน้ำยางมะละกอที่ได้จากทุกส่วนของต้นมะละกอ ซึ่งมีคุณสมบัติการย่อยสลายโปรตีน จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการช่วยขจัดคราบโลหิตได้

6. สรุปผลการศึกษา

1. ประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้าฝ้าย พบว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดสามารถขจัดคราบโลหิตได้ โดยสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเมล็ดมีประสิทธิภาพมากที่สุด รองลงมา คือ สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปน จากเปลือก โดยมีร้อยละความเข้มสีเฉลี่ย เท่ากับ 1.7 และ 3.53 ตามลำดับ และมีค่าร้อยละความสว่างสี เท่ากับ 44.84 และ 46.45 ตามลำดับ จากการพิจารณาระดับความเข้มสีเป็น + และ ระดับความสว่างสีเป็น ++ เท่ากัน แสดงว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอมีประสิทธิภาพเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมาก

ประสิทธิภาพการขจัดคราบโลหิตบนผ้าไนลอน พบว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดสามารถขจัดคราบโลหิตได้ โดยสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเมล็ดมีประสิทธิภาพมากที่สุด รองลงมา คือ สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือก โดยมีร้อยละความเข้มสีเฉลี่ย เท่ากับ 2.36 และ 3.14 ตามลำดับ และมีค่าร้อยละความสว่างสี เท่ากับ 49.15 และ 49.76 ตามลำดับ จากการพิจารณาระดับความเข้มสีเป็น + และ ระดับความสว่างสีเป็น ++ เท่ากัน แสดงว่า สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกและเมล็ดของมะละกอมีประสิทธิภาพเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมาก

2. ปริมาตรสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเม็ดของมะละกอมีปริมาตรเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมา คือ สารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปนจากเปลือกของมะละกอ เท่ากับ 60 และ 40 ml/100 gของเมล็ดและเปลือกของมะละกอ ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

[1] สร้างสรรค์โอกาส. (2016, กุมภาพันธ์ 10). ยางมะละกอขจัดคราบเปื้อน [image attached]. Facebook. https://www.facebook.com/share/Vx4CA6F4N6Jjf1ut/

[2] ดวง ทิพย์ ไข่ แก้ว, & สาร นิติ บุญ ประสพ. (2021). ประสิทธิภาพ การย่อยโปรตีนของสารสกัดหยาบเอนไซม์ปาเปน จาก ส่วน เหลือใช้ มะละกอ. วารสาร วิจัย มทร. กรุงเทพ, 15(2), 24-33.

[3] อภัย ราษฎรวิจิตร. (2559, กันยายน 6). ปาเปน [บทความออนไลน์]. หาหมอ.com. https://haamor.com/ปาเปน

[4] คู, คิน เลย์, กนก รัตนะ กนก ชัย, & สุรพงษ์พินิจ กลาง. (2017). การ ศึกษา ความ จำเพาะ ของ เอนไซม์ ปา เป น จาก ยาง มะละกอ เพื่อ ประยุกต์ ใช้ ใน อุตสาหกรรม: รายงาน วิจัย ฉบับ สมบูรณ์ (No. 283543). มหาวิทยาลัย เทคโนโลยี พระจอมเกล้า ธนบุรี.

[5] กิตติ เมือง ตุ้ม, & ธัญ ลักษณ์ คำ แหวน. (2023). ประสิทธิภาพ เอนไซม์ ปา เป น สกัด หยาบ จาก มะละกอ เพื่อ การ ผลิต โปรตีน ถั่ว ลิสง ไฮโดร ไล เซ ท. วารสาร วิชาการ วิทยาศาสตร์ และ วิทยาศาสตร์ประยุกต์, 7(14), 1-10.

น้ำหมักจุลินทรีย์เพื่อการจัดการขยะกระดาษที่ไม่สามารถรีไซเคิล: ทางเลือกสีเขียวเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

ธนศิษฏ์ จันทร์เด่นดวง[1*], ธีรวัชร ฉวีนิล[1], ทิพย์อาภรณ์ บุบผาชาติ[2], พีระพงศ์ โภคพัทน์[2], ชมณัฏฐ์ชา บุญมี[2], และ จุฑารัตน์ ใจงาม[1]

[1]โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี ตำบลบ่อเงิน อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี
[2]ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
** Corresponding author: thanasit.cha@pccp.ac.th*

บทคัดย่อ

การบริโภคผลิตภัณฑ์กระดาษมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การจัดการของเสียจากกระดาษกลายเป็นประเด็นที่สำคัญ งานวิจัยนี้ศึกษาการย่อยสลายของกระดาษที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ ได้แก่ กล่องอาหารเยื่อชานอ้อย กล่องพิซซ่าที่มีหมึกพิมพ์ และกระดาษห่อข้าวมันไก่ที่มีพลาสติกเคลือบด้านเดียว ในถังหมักขยะอินทรีย์ขนาด 16 ลิตร โดยใช้จุลินทรีย์ในมูลวัวแห้งเป็นจุลินทรีย์หลัก และเสริมประสิทธิภาพโดยเติมจุลินทรีย์น้ำซาวข้าว จุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา และจุลินทรีย์หน่อกล้วย ผลการวิเคราะห์น้ำหมักจุลินทรีย์พบว่าจุลินทรีย์หน่อกล้วยมีความหนาแน่นมากที่สุด รองลงมาคือจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา จุลินทรีย์น้ำซาวข้าว และมูลวัวแห้งตามลำดับ กล่องอาหารเยื่อชานอ้อยย่อยสลายได้ 100% ภายใน 4–5 สัปดาห์ กระดาษห่อข้าวมันไก่ (เฉพาะส่วนกระดาษ) ย่อยสลายได้หมดในระบบที่ใช้ไตรโคเดอร์เสริมประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามพบว่าในระบบอื่นมีเศษกระดาษตกค้างติดกับฟิล์มพลาสติกบางส่วน สำหรับกระดาษกล่องพิซซ่าที่มีหมึกพิมพ์มีอัตราการย่อยสลายช้าที่สุดคือ 88–94% ภายใน 8 สัปดาห์ จุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มามีประสิทธิภาพเร่งการย่อยสลายกระดาษได้สูงสุด รองลงมาคือจุลินทรีย์หน่อกล้วย และจุลินทรีย์น้ำซาวข้าวตามลำดับ ปุ๋ยหมักที่ได้ถูกนำมาทดสอบสมบัติทางเคมีและผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมด้วยการทดสอบความเป็นพิษที่มีต่อการงอกและการเจริญเติบโตพืช

ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพการจัดการขยะกระดาษบางประเภทที่ไม่สามารถรีไซเคิลได้ เพื่อเปลี่ยนเป็นวัสดุปรับปรุงดินที่ปลอดภัยสำหรับใช้ทางการเกษตร เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและช่วยลดปัญหาการกำจัดขยะกระดาษได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การย่อยสลาย / ขยะกระดาษ / จุลินทรีย์น้ำซาวข้าว / จุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา / จุลินทรีย์หน่อกล้วย

Microbial Fermented Bio-Extract for the Biodegradation of Non-Recyclable Paper Waste: A Sustainable Waste Management Strategy

Thanasit Chandenduang[1*], Teerawat Chaweenin[1], Tiparporn Bubpachat[2], Peeraphong Pokphat[2], Chomnutcha Boonmee[2], and Jutarat Jaingam[1]

[1]Princess Chulabhorn Science High School Pathum Thani, Thailand
[2]National Metal and Materials Technology Center, Thailand Science Park (TSP), Pathum Thani, Thailand
** Corresponding author: thanasit.cha@pccp.ac.th*

Abstract

The increasing consumption of paper products has led to a growing concern over the management of paper waste, especially those that cannot be recycled. This study investigates the biodegradation properties of non-recyclable paper waste, namely bagasse-based food containers (P1), ink-printed pizza boxes (P2), and plastic-coated chicken rice wrappers (P3) using microbial fermented bio-extracts in 16-liter organic waste composting bins. Dried cow manure (C) was served as the primary microbial source, while the efficiency was enhanced with the addition of microbial fermented bio-extracts from rice rinse water (R), Trichoderma spp. (T), and banana shoot (B). Microbial analysis revealed that banana shoot microbes exhibited the highest density, followed by Trichoderma, rice rinse water microbes, and cow manure, respectively. Complete decomposition of bagasse containers was achieved within 4–5 weeks. The paper component of the chicken rice wrappers was fully degraded in the Trichoderma-enhanced system; however, small amount of residual paper was adhered to the plastic film in other systems. The ink-printed pizza boxes exhibited the slowest degradation rate, ranging from 88% to 94% within 8 weeks. Trichoderma demonstrated the highest efficiency in accelerating paper decomposition, followed by banana shoot microbes and rice rinse water microbes. The resulting compost was evaluated for chemical properties and phytotoxicity through germination and plant growth tests.

The results demonstrate the potential of microbial fermented bio-extracts as an effective and environmentally friendly method for converting certain types of non-recyclable paper waste into safe soil amendments suitable for agricultural use, thereby offering a sustainable solution for paper waste management.

Keywords: Biodegradation / Paper waste / Rice rinse water microbes / Trichoderma / Banana shoot microbes

1. บทนำ

ปัญหาขยะกระดาษเป็นปัญหาที่พบได้ทั่วไปในหลายประเทศ โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ที่มีการบริโภคและใช้กระดาษเป็นส่วนประกอบหลักในปริมาณมาก เช่นการพิมพ์ การใช้เอกสารในสำนักงาน การทำการตลาด และการบรรจุภัณฑ์ ส่งผลให้ปริมาณขยะกระดาษเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลจากสมาคมอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษไทยระบุว่าไทยมีการใช้งานกระดาษ 75 กิโลกรัม/คน/ปี [1] และเป็นองค์ประกอบสำคัญหนึ่งของขยะมูลฝอย ขยะกระดาษบางชนิดเมื่อใช้แล้วสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ แต่ก็มีขยะกระดาษบางประเภทที่ไม่นิยมนำมารีไซเคิลเนื่องจากใช้กระบวนการที่ซับซ้อนทำให้ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ เช่น กระดาษเคลือบพลาสติก เช่น กระดาษห่อข้าวมันไก่ และกล่องนมมีพลาสติกเคลือบเพื่อกันน้ำและความชื้น กระดาษที่สกปรกหรือเปื้อนน้ำมัน เช่น กล่องกระดาษที่เปื้อนอาหาร น้ำมัน หรือสารเคมี ซึ่งขยะกระดาษเหล่านี้มักถูกทิ้งรวมกับขยะกระดาษรีไซเคิลอื่นส่งผลกระทบและก่อปัญหาในระบบรีไซเคิล ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์กระดาษรีไซเคิลลดลง หรือถูกทิ้งรวมกับขยะทั่วไปเพื่อส่งไปบ่อฝังกลบขยะ ทำให้มีการใช้พื้นที่ในบ่อฝังกลบและย่อยสลายได้ช้าในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทนซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก ส่งผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนตามมาได้ หากนำไปเผาจะทำให้เกิดก๊าซและฝุ่นละออง PM 2.5 ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ กรมควบคุมมลพิษรายงานค่าเฉลี่ยองค์ประกอบของขยะมูลฝอยในของประเทศไทยปี พ.ศ. 2564 ว่ามีขยะกระดาษเป็นองค์ประกอบประมาณ 7.27% โดยน้ำหนัก เมืองใหญ่หรือเมืองท่องเที่ยว เช่น กรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ ภูเก็ต และชลบุรี มีขยะกระดาษที่ถูกส่งเข้าสถานีกำจัดขยะมูลฝอยในสัดส่วนสูงถึง 12.14, 11.01, 10.62, และ 10.06% โดยน้ำหนักของขยะทั้งหมดตามลำดับ นอกจากนี้ยังรายงานว่าขยะกระดาษในเขตกรุงเทพมหานครประกอบด้วยกระดาษที่สามารถรีไซเคิลได้เพียง 2.50 % ในขณะที่มีกระดาษที่รีไซเคิลไม่ได้อยู่ถึง 9.64% [2]

ปริมาณขยะอินทรีย์ที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นปัญหาสำคัญหนึ่งของโลก มีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกทำให้เกิดความต้องการด้านอาหารเพิ่มขึ้นซึ่งเกี่ยวโยงกับอุตสาหกรรมการเกษตรที่ต้องการผลิตผลผลิตให้สูงขึ้น แนวทางหนึ่งที่จะส่งเสริมการปรับปรุงคุณภาพดินปลูกเพื่อการเกษตรคือการทำปุ๋ยหมักในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) Ballardo C. และคณะ ได้รายงานผลวิจัยเพื่อเพิ่มมูลค่าปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักขยะอินทรีย์ ด้วยการเพิ่มสมบัติช่วยกำจัดแมลงโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus thuringiensis* (BT) ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่มีประโยชน์ สามารถนำมาใช้กำจัดแมลงศัตรูพืช โดยเติมลงในถังหมักขยะอินทรีย์ และทำการเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จากถังหมักที่เติมเชื้อและไม่เติมเชื้อ พบว่าปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักทั้ง 2 แบบ มีสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด แต่การเติมเชื้อ BT ส่งผลต่อความหลากหลายของจุลินทรีย์ในปุ๋ยหมักที่ได้มากกว่า [3] Ahmed, S. และคณะ ทำการศึกษาการย่อยสลายของกระดาษหลายชนิดในปุ๋ยหมักและมูลไก่ พบว่ากระดาษต่างชนิดกันมีการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยกระดาษรีไซเคิล กระดาษมัน และกระดาษพิมพ์แบบไม่มีหมึกย่อยสลายได้หมดภายใน 14 16 และ 18 วันตามลำดับ ในขณะที่กระดาษพิมพ์แบบมีหมึกย่อยสลายไม่หมดภายในระยะเวลาที่ทำการทดสอบ 21 วัน [4] Alvarez, J. V. L. และคณะ ทำการทดสอบการย่อยสลายของตัวอย่างกระดาษ 6 ชนิดคือ กระดาษขาว กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษรีไซเคิลแบบฟอกสี กระดาษทิชชู กระดาษกล่อง และกระดาษคราฟท์สีน้ำตาล ด้วยวิธีการวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายตัวอย่างด้วยจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนในระบบการหมักขยะอินทรีย์ที่ควบคุมสภาวะเลียนแบบการหมักปุ๋ยระดับอุตสาหกรรมที่อุณหภูมิ 58±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 วัน พบว่ากระดาษทั้ง 6 ชนิดย่อยสลายได้ในช่วง 36-65% โดยกระดาษขาวย่อยสลายได้สูงที่สุดที่ 65% รองลงมาคือกระดาษ รีไซเคิลและกระดาษกล่องย่อยสลายได้ 61% และ 51% ตามลำดับ ในขณะที่กระดาษทิชชูย่อยสลายได้ 50% เนื่องจากจับตัวกันเป็นก้อน

ในถังหมักทำให้พื้นที่ผิวในการสัมผัสจุลินทรีย์ลดลง กระดาษหนังสือพิมพ์ย่อยสลายได้ 43% และกระดาษคราฟท์สีน้ำตาลย่อยสลายได้น้อยที่สุดคือ 36% [5]

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการเร่งการย่อยสลายทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์กระดาษในระบบหมักขยะอินทรีย์ในถังหมักขนาดเล็กของกระดาษ 3 ชนิด ได้แก่ กระดาษเยื่อชานอ้อย (P1) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในร้านและศูนย์อาหารในปัจจุบัน กระดาษกล่องพิซซ่า (P2) ที่เลอะคราบอาหารและมีหมึกพิมพ์อยู่ในปริมาณมาก และกระดาษห่อข้าวมันไก่ (P3) ซึ่งมีฟิล์มพลาสติกเคลือบ ใช้แหล่งจุลินทรีย์ธรรมชาติที่มีราคาถูก หาซื้อหรือเตรียมเองได้ง่าย 4 ชนิดคือ มูลวัวแห้ง (C) จุลินทรีย์น้ำซาวข้าว (R) จุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา (T) และจุลินทรีย์หน่อกล้วย (B) ทำการติดตามพฤติกรรมการย่อยสลายของกระดาษแต่ละชนิดที่ถูกเร่งการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน คำนวน % การย่อยสลายจากน้ำหนักที่หายไป วิเคราะห์สมบัติทางเคมีและความเป็นพิษที่มีต่อพืชอ้างอิงข้อกำหนดตามมาตรฐาน EN 13432:2000 [6] ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่ได้รับการยอมรับระดับนานาชาติสำหรับบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ในระบบหมักขยะอินทรีย์ องค์ความรู้ที่ได้จากโครงงานนี้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ และจัดการบรรจุภัณฑ์กระดาษเพื่อเปลี่ยนเป็นปุ๋ยหมักนำกลับมาใช้ประโยชน์ สร้างมูลค่าให้กับทรัพยากรได้เต็มศักยภาพใช้ทรัพยากรชีวภาพอย่างคุ้มค่า ช่วยลดขยะและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการย่อยสลายและคำนวณอัตราการย่อยสลายของกระดาษ 3 ประเภท ภายใต้สภาวะการหมักขยะอินทรีย์ในถังหมักขนาดเล็ก
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัย ในการเร่งกระบวนการย่อยสลายของกระดาษและขยะอินทรีย์
3. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จากการย่อยสลายของกระดาษร่วมกับขยะอินทรีย์

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. กระดาษที่ใช้ คือ กล่องอาหารเยื่อชานอ้อย (P1) กระดาษกล่องพิซซ่าที่มีหมึกพิมพ์ (P2) และกระดาษห่อข้าวมันไก่ที่มีพลาสติกเคลือบ 1 ด้าน
2. จุลินทรีย์ที่ใช้ คือ มูลวัวแห้ง (C) ใช้เป็นจุลินทรีย์หลัก และจุลินทรีย์น้ำซาวข้าว (R) จุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา (T) และจุลินทรีย์หน่อกล้วย (B) เป็นจุลินทรีย์เสริมประสิทธิภาพ
3. ใช้ถังหมักทำจากพลาสติกฝาปิดขนาด 16 ลิตร เจาะรูจำนวน 5 แถว แถวละ 8 รู เป็นถังหมัก ทำการหมักที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (Ambient temperature)

4. วิธีการศึกษา

4.1 การเตรียมแหล่งจุลินทรีย์

4.1.1 มูลวัวแห้ง

ชั่งมูลวัวแห้ง 10 กรัม ใส่ขวดแก้วขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 0.85% NaCl ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 15 นาทีก่อนนำมาใช้ศึกษาลักษณะและปริมาณของจุลินทรีย์

4.1.2 จุลินทรีย์น้ำซาวข้าว

ตวงน้ำซาวข้าว 2,000 มิลลิลิตรใส่ในบีกเกอร์ เทน้ำตาลทราย 120 กรัม คนให้ละลาย เติมนมเปรี้ยวบีทาเก้น 170 มิลลิลิตร คนให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากัน เทใส่ขวดเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 สัปดาห์ก่อนนำไปใช้งาน เปิดระบายแก๊สที่เกิดขึ้นภายในเป็นระยะ

4.1.3 จุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา

ตวงน้ำสะอาด 2,000 มิลลิลิตรใส่ในบีกเกอร์ ผสมกากน้ำตาล 100 มิลลิลิตร คนให้ละลายเข้ากัน จากนั้นเติมผงไตรโคเดอร์มาร์ ฮาร์เซียนั่ม (*Trichoderma harzianum*) 1.5 กรัม คนให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากัน เทใส่ขวดเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 สัปดาห์ ก่อนนำไปใช้งาน เปิดระบายแก๊สที่เกิดขึ้นภายในเป็นระยะ

4.1.4 จุลินทรีย์หน่อกล้วย

สับหน่อกล้วยเป็นชิ้นเล็กๆ หนัก 2 กิโลกรัม ใส่ถังพลาสติก ชั่งกากน้ำตาลประมาณ 660 กรัมใส่ลงในถัง ผสมให้เข้ากัน ปิดฝากันแมลง หมักทิ้งไว้ 2 สัปดาห์ กรองเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลวใส่ขวด

4.2 ศึกษาลักษณะและปริมาณของจุลินทรีย์

4.2.1 ศึกษาลักษณะของจุลินทรีย์ด้วยวิธีการย้อมแกรม (Gram Staining)

ทำการเขี่ยน้ำหมักจุลินทรีย์ที่เตรียมได้ลงบนสไลด์ที่สะอาด ทิ้งให้แห้ง จากนั้นตรึงตัวเซลล์ด้วยการผ่านเปลวไฟ 2-3 รอบอย่างรวดเร็วให้เซลล์แห้งติดกับแผ่นกระจกสไลด์ หยด Ammonium oxalate crystal violet บนเชื้อที่เขี่ยไว้นานประมาณ 1 – 2 นาที แล้วเทสีทิ้ง หยดสารละลายไอโอดีนตามลงไปนานประมาณ 2 นาที แล้วเททิ้ง สารละลายไอโอดีนจะช่วยให้เซลล์ย้อมติดสีได้ดีขึ้น ล้างสี (Decolorized) ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% และน้ำกลั่น หยดสี Safranin บนเชื้อนานประมาณ 15-30 วินาที ล้างสีด้วยน้ำกลั่น นำแผ่นสไลด์ที่เตรียมได้ไปศึกษาเซลล์จุลินทรีย์ผ่านทางกล้องจุลทรรศน์ซึ่งแบคทีเรียแกรมบวก (Gram Positive) จะย้อมติดสีน้ำเงินม่วง ของ Crystal violet ส่วนแบคทีเรียแกรมลบ (Gram Negative) จะย้อมติดสีแดง ของ Safranin

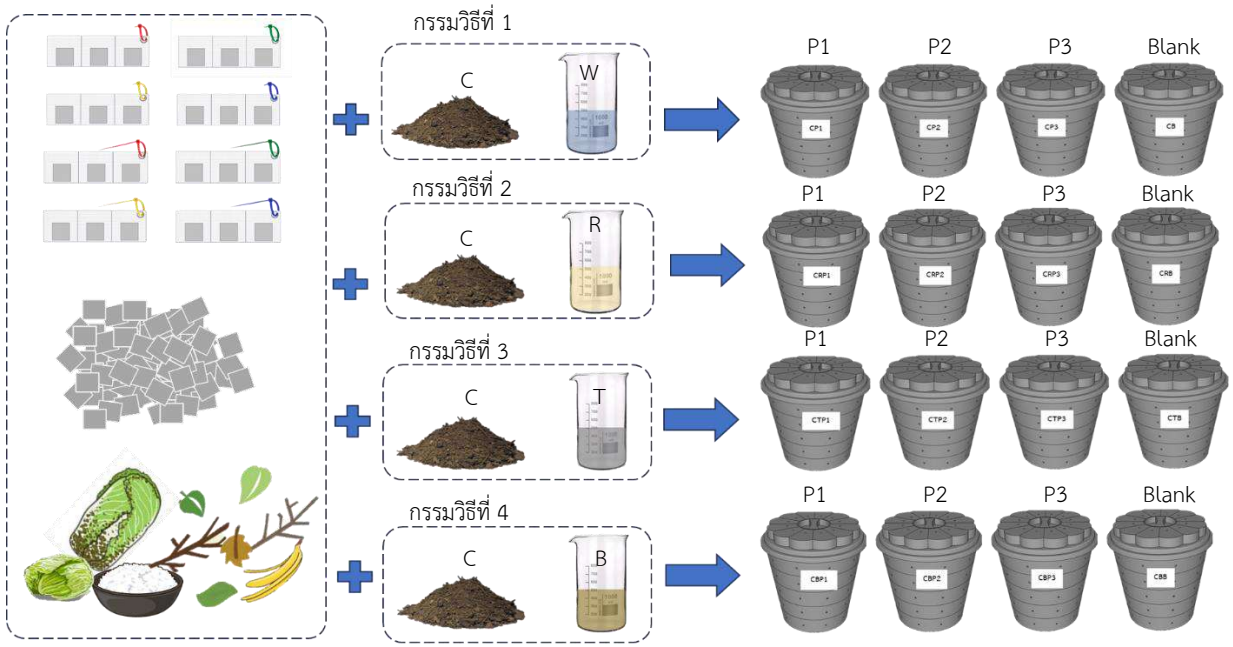
4.2.2 ตรวจนับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ด้วยเทคนิคการ spread plate

เตรียมสารละลายเชื้อที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยชั่งมูลวัวแห้ง 10 กรัม แยกใส่ขวดแก้วขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 0.85% NaCl ปริมาตร 90 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที สำหรับน้ำหมักจุลินทรีย์ที่เป็นของเหลว ทำการเตรียมโดยเขย่าของเหลวให้เข้ากันแล้วใช้ปิเปตดูดมา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดแก้วขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 0.85% NaCl 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันดี จะได้สารละลายความเข้มข้น 10^{-1} จากนั้นทำเจือจางทีละ 10 เท่า ทำ spread plate โดยดูดสารละลายเชื้อที่ความเข้มข้น 10^{-3}-10^{-6} ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตรลงอาหารเลี้ยงเชื้อ NA สำหรับทำการนับปริมาณแบคทีเรีย และอาหาร PDA สำหรับการนับปริมาณเชื้อรา ใช้แท่งแก้ว spreader เกลี่ยสารละลายเชื้อให้กระจายทั่วผิวหน้าของอาหาร บ่มเชื้อบนจานอาหาร NA ที่ 30 องศาเซลเซียส และบ่มเชื้อบนจานอาหาร PDA ที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับและคำนวนจำนวนโคโลนี (Colony forming units (CFU)) โดยใช้สมการ CFU/g or CFU/ml $= \frac{\text{จำนวนโคโลนีที่นับได้ต่อจานอาหาร}}{\text{ระดับความเจือจาง } \mathbf{x} \text{ ปริมาตรที่ปิเปตมา } (0.1)}$

4.3 เตรียมกระดาษทดสอบ

4.3.1 ตัดตัวอย่างกระดาษเยื่อชานอ้อย (P1) กระดาษกล่องพิซซ่า (P2) และกระดาษห่อข้าวมันไก่ (P3) ขนาด 2.5x2.5 ตารางเซนติเมตร ชนิดละ 1,300 ชิ้น

4.3.2 เตรียมถุงตาข่ายใส่กระดาษตัวอย่างชนิดละ 32 ถุง แต่ละถุงแบ่งเป็น 3 ช่อง ชั่งน้ำหนักกระดาษตัวอย่างแต่ละชิ้นก่อนใส่ลงในถุงตาข่าย สำหรับใส่ในถังหมัก 4 กรรมวิธี ถังละ 8 ถุง ทำรหัส 1 – 8 บนถุงตาข่ายสำหรับเก็บออกจากถังหมักสัปดาห์ละ 1 ถุง ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเตรียมถังหมัก 4 กรรมวิธี 1) ใช้มูลวัวแห้งเป็นแหล่งจุลินทรีย์หลัก (C) 2) ใช้มูลวัวแห้งร่วมกับจุลินทรีย์น้ำซาวข้าว (CR) 3) ใช้มูลวัวแห้งร่วมกับจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มาร์ (CT) และ 4) ใช้มูลวัวแห้งร่วมกับจุลินทรีย์หน่อกล้วย (CB); W = น้ำเปล่า
P1 = กระดาษเยื่อชานอ้อย P2 = กล่องพิซซ่า และ P3 = กระดาษห่อข้าวมันไก่

4.4 กระบวนการหมัก

4.4.1 กรรมวิธีที่ 1 ใช้มูลวัวแห้ง (C) เป็นแหล่งจุลินทรีย์หลัก

เตรียมวัสดุหมักโดยชั่งวัสดุหมักเลียนแบบขยะอินทรีย์ในครัวเรือนประกอบด้วยข้าวสวยประมาณ 6 กิโลกรัม เปลือกผลไม้ ประมาณ 7 กิโลกรัม เศษผักหั่นหยาบประมาณ 7 กิโลกรัม ใบไม้แห้ง ประมาณ 1 กิโลกรัม กิ่งไม้สับหยาบ 4 กิโลกรัม และมูลวัวแห้ง 7 กิโลกรัม ใส่ลงในกระบะคลุกผสมให้เข้ากันเติมน้ำประปา 2 ลิตร คลุกผสมให้เข้ากันอีกครั้ง ได้วัสดุหมักผสมประมาณ 34 กิโลกรัม แบ่งวัสดุหมักที่ผสมเข้ากันแล้วออกมาประมาณ 8 กิโลกรัม ใส่ลงถังหมักขนาด 16 ลิตรที่เจาะรูระบายอากาศไว้จำนวน 4 ถัง ถังใบที่ 1 ใส่ตัวอย่างกระดาษเยื่อชานอ้อย (P1) จำนวน 300 ชิ้น และถุงตาข่ายที่ใส่ตัวอย่างกระดาษเยื่อชานอ้อยที่ทราบน้ำหนักตั้งต้นจำนวน 8 ถุง ใส่รหัสถังหมัก CP1 ถังใบที่ 2 และ 3 ทำขั้นตอนเดิมแต่เปลี่ยนตัวอย่างกระดาษเยื่อชานอ้อย เป็นกระดาษกล่องพิซซ่า (P2) และกระดาษห่อข้าวมันไก่ (P3) ตามลำดับ และใส่รหัสถังหมักเป็น CP2 และ CP3 ส่วนถังใบที่ 4 ใส่ถังหมักรหัส CB เป็นถัง แบลงค์ (ไม่ใส่ตัวอย่างกระดาษ) ปุ๋ยหมักที่ได้จากถังแบลงค์นี้จะใช้เป็นปุ๋ยหมักควบคุมในการศึกษาผลของการย่อยกระดาษต่อคุณภาพของปุ๋ยหมักเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของปุ๋ยหมักที่มีและไม่มีกระดาษ

4.4.2 กรรมวิธีที่ 2 ใช้มูลวัวแห้งเสริมประสิทธิภาพด้วยจุลินทรีย์น้ำซาวข้าว (CR)

ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 4.4.1 แต่ใช้จุลินทรีย์น้ำซาวข้าว 1,000 มิลลิลิตร ผสมน้ำประปาให้เป็น 2 ลิตรแทนการใช้น้ำประปาอย่างเดียว ระบุรหัสถังหมัก CRP1, CRP2, CRP3 และ CRB ตามลำดับ

4.4.3 กรรมวิธีที่ 3 ใช้มูลวัวแห้งเสริมประสิทธิภาพด้วยจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มาร์ (CT)

เตรียมวัสดุหมักเช่นเดียวกับข้อ 4.4.1 แต่ใช้จุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มาร์ 1,000 มิลลิลิตร ผสมน้ำประปาให้เป็น 2 ลิตรแทนการใช้น้ำประปาอย่างเดียว ระบุรหัสถังหมัก CTP1, CTP2, CTP3 และ CTB ตามลำดับ

4.4.4 กรรมวิธีที่ 4 ใช้มูลวัวแห้งเสริมประสิทธิภาพด้วยจุลินทรีย์หน่อกล้วย (CB)

เตรียมวัสดุหมักเช่นเดียวกับข้อ 4.4.1 แต่ใช้จุลินทรีย์จุลินทรีย์หน่อกล้วย 1,000 มิลลิลิตรผสมน้ำประปาให้เป็น 2 ลิตรแทนการใช้น้ำประปาอย่างเดียว ระบุรหัสถังหมัก CBP1, CBP2, CBP3 และ CBB ตามลำดับ

4.5 การย่อยสลายของกระดาษ

ติดตามวัดอุณหภูมิภายในถังหมัก และเก็บตัวอย่างในถุงตาข่ายออกจากถังหมักจำนวน 1 ถุงทุกสัปดาห์ คลุกส่วนผสมในถังหมัก หากแห้งเกินไปให้เติมน้ำ ชั่งตัวอย่างแต่ละชิ้น คำนวน เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายจากน้ำหนักตัวอย่างที่หายไป โดยใช้สมการ % การย่อยสลาย = $\frac{W_0-W_1}{W_0}$ x 100 (เมื่อ W_0 = น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย หน่วยเป็นกรัม W_1 = น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย หน่วยเป็นกรัม) ทำความสะอาดตัวอย่างที่เก็บได้โดยแช่และเขย่าถุงตาข่ายเบา ๆ ในน้ำประมาณ 1 นาที อบตัวอย่างให้แห้ง เก็บตัวอย่างใส่ถุงซิป

4.6 คุณภาพของปุ๋ยหมัก

4.6.1 วิเคราะห์ความชื้น (moisture content) ของปุ๋ยหมัก

ชั่งตัวอย่างปุ๋ยหมักประมาณ 10 กรัมลงถ้วยครูซิเบิลที่ทราบน้ำหนัก และอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำถ้วยออกมาใส่โถดูดความชื้นจนเย็น ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง คำนวน % ความชื้นโดย โดยสมการ % ความชื้น = $\frac{(W_{wet}-W_{dry})}{W_{wet}}$ x 100 (เมื่อ W_{wet} = น้ำหนักปุ๋ยหมักก่อนอบ หน่วยเป็นกรัม W_{dry} = น้ำหนักปุ๋ยหมักหลังอบ หน่วยเป็นกรัม)

4.6.2 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย (EC)

ชั่งตัวอย่างปุ๋ยหมัก 30 กรัม ใส่ขวดพลาสติกมีฝาปิด จำนวน 3 ขวด เติมน้ำ DI 30 มิลลิลิตร ปิดฝา เขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที แล้ววางทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง นำสารละลายส่วนบนมาทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง pH meter (ยี่ห้อ Metrohm รุ่น 785 DMP Titrino) และ เครื่อง EC meter (TOA-DKK รุ่น MM42DP) ตามลำดับ

4.6.3 วิเคราะห์ค่า C/N

อบตัวอย่างปุ๋ยหมักให้แห้ง บดให้ละเอียดก่อนนำไปวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์ด้วยเครื่อง TOC (Total organic carbon, Shimazu Sciencetific) และ ปริมาณธาตุไนโตรเจน (N) ด้วยเทคนิค Kjeldah method (GERHARDT รุ่น Vap45S) คำนวนค่า C/N

4.6.4 ศึกษาความเป็นพิษต่อพืชของปุ๋ยหมัก

เตรียมดินปลูกพืชด้วยการผสมดินกับปุ๋ยหมักเข้มข้น 25% โดยน้ำหนัก โดยใช้ปุ๋ยหมักที่หมักครบระยะเวลา 8 สัปดาห์ จำนวน 125 กรัม ผสมกับดินปลูกต้นไม้ 375 กรัม เติมน้ำ 500 มิลลิลิตร คลุกผสมให้เข้ากัน จากนั้นแบ่งดินผสมที่ได้ น้ำหนัก 80 กรัม ใส่ในกระถางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว จำนวน 6 กระถาง ทดสอบการงอกของพืชโดยใช้เมล็ดข้าวฟ่าง (พืชใบเลี้ยงเดี่ยว)

และเมล็ดถั่วเขียว (พืชใบเลี้ยงคู่) อย่างละ 3 กระถาง โดยหว่านเมล็ดกระถางละ 10 เมล็ด แล้วโรยผิวหน้าด้วยเพอร์ไลต์บาง ๆ เพื่อรักษาความชื้นจากนั้นนำกระถางทั้งหมดวางในห้องควบคุมสภาวะที่อุณหภูมิ 22±1°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70±5%RH มีรอบการให้แสง 16 ชั่วโมง และช่วงมืด 8 ชั่วโมง ความเข้มแสง 350±50 μE/m²/s ในช่วงความยาวคลื่น 400–800 นาโนเมตร รดน้ำทุก 1–2 วัน โดยเติมน้ำ 10 มิลลิลิตรที่ถาดรองกระถาง และพ่นละอองน้ำบาง ๆ บนผิวดิน หลังจากทดสอบครบ 5 วัน ทำการนับจำนวนเมล็ดที่งอก แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์การงอก (% Germination) ด้วยสมการ %การงอก = $\frac{A}{10} x\ 100$ (เมื่อ A = จำนวนเมล็ดที่งอก) หลังจากทดสอบครบ 19 วัน ทำการตัดลำต้นส่วนที่อยู่เหนือดิน ใส่ถุงกระดาษ แล้วอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 60°C จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักแห้งของพืช ในการพิจารณาผลของปุ๋ยหมักที่มีกระดาษย่อยสลายอยู่อ้างอิงเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน EN 13432 หาก % การงอก และมวลแห้ง (มวลชีวภาพ) หรืออย่างใดอย่างหนึ่งของพืชที่ปลูกโดยใช้ปุ๋ยหมักที่มีตัวอย่างกระดาษย่อยสลายมีค่าน้อยกว่า 90% ของการปลูกโดยใช้ปุ๋ยหมักที่ไม่มีกระดาษ (ถังแบลงค์ ที่ได้จากกรรมวิธีเดียวกัน) ถือว่ามีความเป็นพิษ [6]

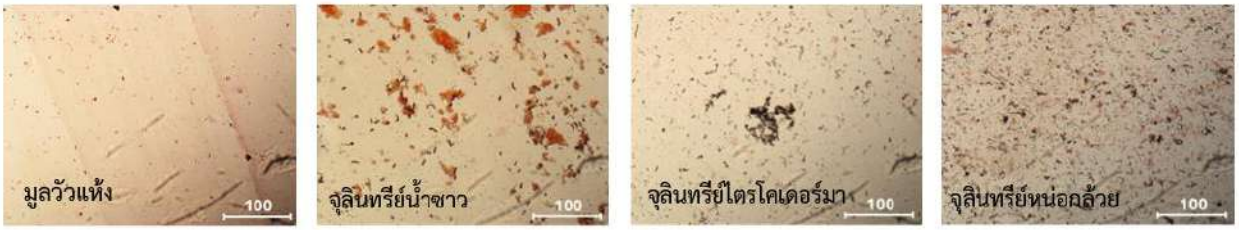
4.7 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ผลการทดลองถูกนำเสนอในรูปแบบค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD) ดำเนินการในโปรแกรม Microsoft Excel 2019 โดยใช้ฟังก์ชัน AVERAGE และ STDEV การแสดงผลข้อมูลในรูปกราฟใช้ค่าเฉลี่ย และมีแถบค่าคลาดเคลื่อน (Error bars) ซึ่งแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการเตรียมน้ำหมักจุลินทรีย์ ศึกษากลุ่มและปริมาณจุลินทรีย์

การเตรียมน้ำหมักจุลินทรีย์ใช้ระยะเวลาหมัก 14 วัน ได้น้ำหมักจุลินทรีย์น้ำซาวข้าวสีขาวขุ่น น้ำหมักจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มามีสีดำเข้ม และน้ำหมักจุลินทรีย์หน่อกล้วยมีสีน้ำตาลเข้ม ผลการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบว่าน้ำหมักจุลินทรีย์หน่อกล้วยมีความหนาแน่นของจุลินทรีย์สูงที่สุด รองลงมาคือน้ำหมักไตรโคเดอร์มา น้ำซาวข้าว และมูลวัวแห้งตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2 น้ำหมักจุลินทรีย์น้ำซาวข้าวและมูลวัวแห้งพบแบคทีเรียทั้งแกรมบวก (Gram-positive) และแกรมลบ (Gram-negative) ในขณะที่น้ำหมักไตรโคเดอร์มาพบลักษณะเส้นใยของเชื้อรา (hyphae) ทั้งแบบเส้นสั้นและเส้นยาว สำหรับน้ำหมักหน่อกล้วยพบแบคทีเรียทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบโดยส่วนใหญ่เป็นกลุ่มแกรมบวกที่ติดสีม่วงของ Crystal violet



รูปที่ 2 จุลินทรีย์ในน้ำหมักจุลินทรีย์ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 200 เท่า (200X)

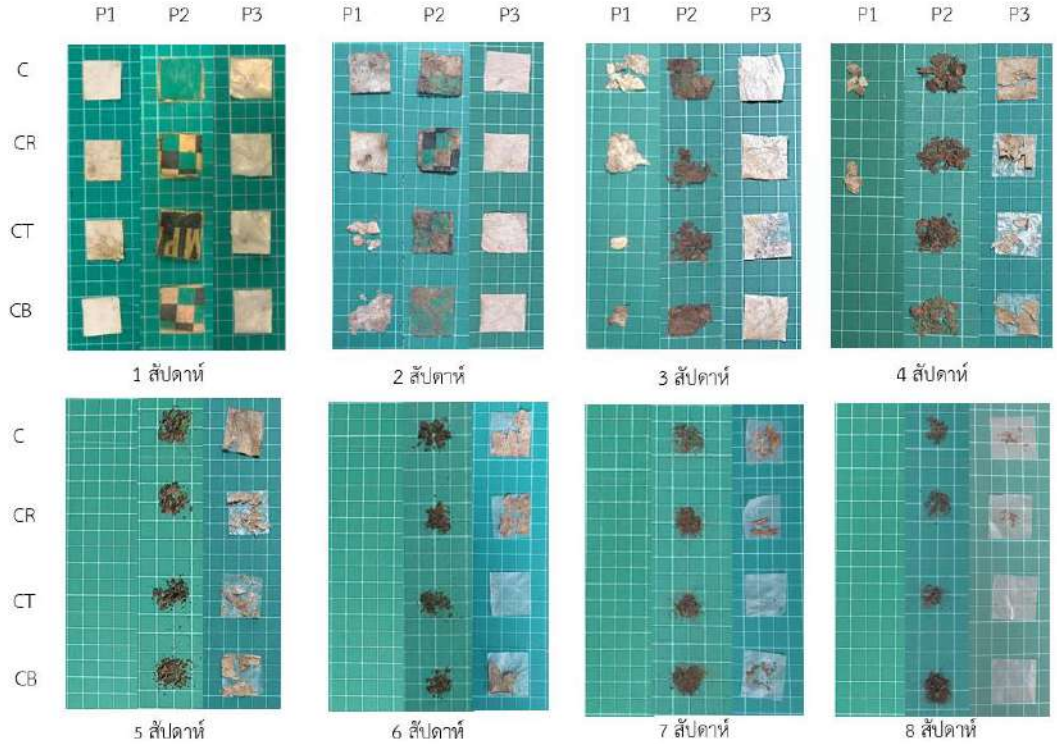
ผลการนับจำนวนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตด้วยเทคนิค spread plate สรุปได้ว่ามูลวัวแห้งและจุลินทรีย์น้ำซาวข้าวมีแบคทีเรียเป็นกลุ่มจุลินทรีย์หลัก ขณะที่น้ำหมักไตรโคเดอร์มา และหน่อกล้วย พบจุลินทรีย์ทั้งชนิดแบคทีเรียและรา โดยน้ำหมักหน่อกล้วยมีปริมาณจุลินทรีย์รวมสูงที่สุด รองลงมาคือ ไตรโคเดอร์มา มูลวัวแห้ง และน้ำซาวข้าว ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการตรวจนับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่มีชีวิตด้วยเทคนิค spread plate

แหล่งจุลินทรีย์	จำนวนจุลินทรีย์ (CFU/g หรือ CFU/ml)	
	อาหารเลี้ยงเชื้อ NA	อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA
มูลวัวแห้ง	5.3×10^7	-
จุลินทรีย์น้ำซาวข้าว	2.5×10^7	-
จุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา	1.3×10^7	5.3×10^7
จุลินทรีย์หน่อกล้วย	3.0×10^6	6.0×10^9

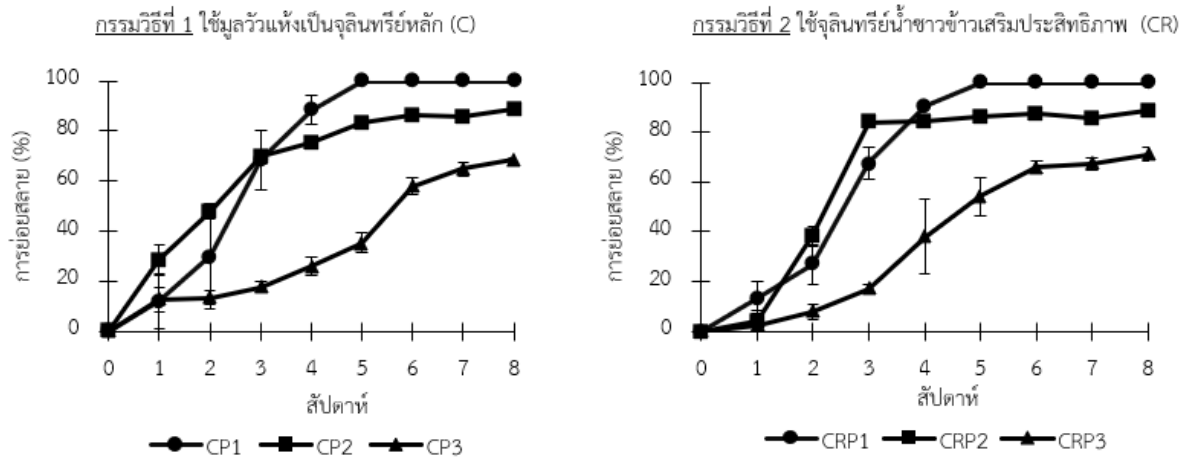
5.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการย่อยสลายของกระดาษในถังหมักขนาดเล็ก

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายของกระดาษ 3 ชนิด ได้แก่ กระดาษเยื่อชานอ้อย (P1) กล่องกระดาษพิซซ่า (P2) และกระดาษห่อข้าวมันไก่ (P3) ภายใต้ระบบหมักร่วมกับขยะอินทรีย์ในถังหมักขนาด 16 ลิตร ใช้ระยะเวลาการหมัก 8 สัปดาห์ กรรมวิธีที่ 1: ใช้มูลวัวแห้ง (C) เป็นแหล่งจุลินทรีย์หลัก กรรมวิธีที่ 2: เติมจุลินทรีย์จากข้าวสุกเป็นจุลินทรีย์เสริม (CR) กรรมวิธีที่ 3: เติมจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มาเป็นจุลินทรีย์เสริม (CT) และกรรมวิธีที่ 4: เติมจุลินทรีย์จากหน่อกล้วยเป็นจุลินทรีย์เสริม (CB) ตัวอย่างกระดาษที่ทราบน้ำหนักถูกใส่ในถุงตาข่ายไนลอนและฝังร่วมกับขยะอินทรีย์ภายในถังหมัก ถังละ 8 ถุง ทำการเก็บตัวอย่างกระดาษทุกสัปดาห์โดยนำถุงตาข่ายออกจากถังหมักครั้งละ 1 ถุง นำตัวอย่างมาล้างทำความสะอาด อบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักเพื่อใช้ในการคำนวณร้อยละของการย่อยสลายเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น รูปที่ 3 แสดงภาพถ่ายกระดาษตัวอย่างระหว่างการย่อยสลายในถังหมักภายในระยะเวลา 8 สัปดาห์

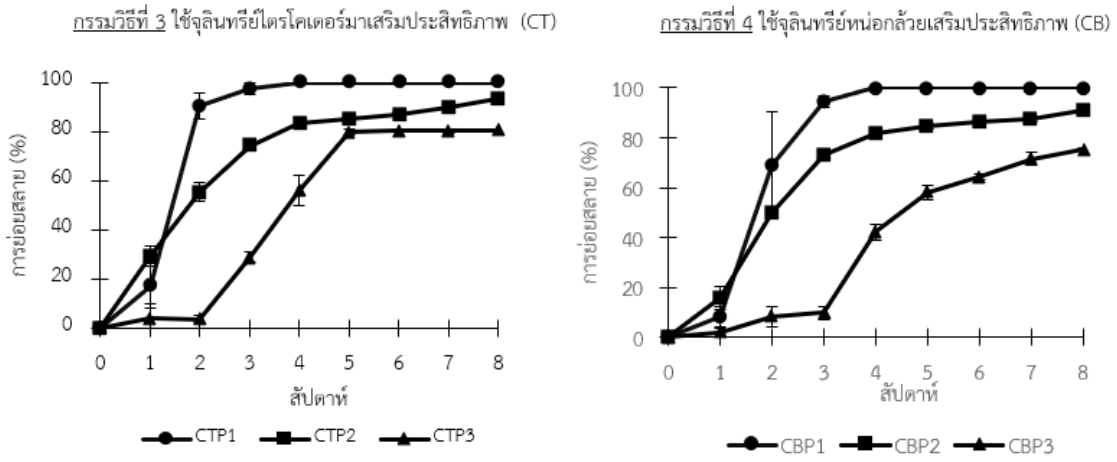


รูปที่ 3 กระดาษตัวอย่างหลังการทดสอบการย่อยสลายที่ระยะเวลาต่าง ๆ

รูปที่ 4 แสดงอัตราการย่อยสลายของกระดาษตัวอย่างพบว่ากระดาษเยื่อชานอ้อยสามารถย่อยสลายได้สมบูรณ์ (100%) ภายในระยะเวลา 4–5 สัปดาห์ การเสริมประสิทธิภาพการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา (กรรมวิธีที่ 3) และจุลินทรีย์หน่อกล้วย (กรรมวิธีที่ 4) ช่วยเร่งกระบวนการย่อยสลายให้เกิดเร็วกว่าการใช้เพียงมูลวัวแห้งเป็นแหล่งจุลินทรีย์หลัก หรือการเสริมด้วยจุลินทรีย์น้ำซาวข้าว (กรรมวิธีที่ 1 และ 2 ตามลำดับ) โดยลดระยะเวลาการย่อยสลายลงได้อย่างน้อย 1 สัปดาห์ ในขณะที่กระดาษกล่องพิซซ่าซึ่งมีการเคลือบด้วยหมึกพิมพ์ 1 ด้านพบว่ากระดาษยังคงสภาพเป็นแผ่นในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการหมัก และเริ่มแตกตัวเป็นชิ้นขนาดเล็กในสัปดาห์ที่ 3 จากนั้นมีการย่อยสลายต่อเนื่องจนกลายเป็นผงละเอียดในสัปดาห์ที่ 5 อย่างไรก็ตามกระดาษกล่องพิซซ่ายังไม่สามารถย่อยสลายได้ทั้งหมดภายในระยะเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อนำน้ำหนักตัวอย่างกระดาษที่เหลือมาคำนวนเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายเทียบกับน้ำหนักกระดาษตั้งต้น พบว่าในช่วง 2 สัปดาห์แรกกระดาษกล่องพิซซ่าย่อยสลายได้ประมาณ 50% โดยน้ำหนัก และเพิ่มขึ้นเป็น 75–85% ในช่วง 4 สัปดาห์แรก ส่วนในช่วงสัปดาห์ที่ 5–8 อัตราการย่อยสลายชะลอตัวลงเหลือเพียงประมาณ 5–8 % ในช่วง 3 สัปดาห์สุดท้าย ส่งผลให้เมื่อสิ้นสุดระยะเวลา 8 สัปดาห์ กระดาษกล่องพิซซ่าย่อยสลายรวมได้ประมาณ 89–93% โดยน้ำหนัก ในกรณีของกระดาษห่อข้าวมันไก่ ซึ่งเป็นกระดาษเคลือบฟิล์มพลาสติกบางหนึ่งด้านไม่พบการเปลี่ยนแปลงมากนักในช่วง 2 สัปดาห์แรก ด้านที่เป็นกระดาษเริ่มเกิดการแตกและย่อยสลายในช่วงสัปดาห์ที่ 3 และมีอัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงสัปดาห์ที่ 6 โดยเฉพาะในกรรมวิธีที่มีการเติมจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา (กรรมวิธีที่ 3) พบว่าด้านที่เป็นกระดาษสามารถย่อยสลายได้หมด ส่วนกรรมวิธีอื่นยังพบเศษกระดาษหลงเหลือเล็กน้อย เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 8 สัปดาห์ กระดาษห่อข้าวมันไก่มีอัตราการย่อยสลายรวมประมาณ 80% โดยน้ำหนัก โดยส่วนที่เป็นพลาสติกฟิล์มไม่สามารถย่อยสลายได้และตกค้างในถังหมักร่วมกับปุ๋ยหมักที่ได้



รูปที่ 4 กราฟแสดงอัตราการย่อยสลายของกระดาษตัวอย่าง



รูปที่ 4 กราฟแสดงอัตราการย่อยสลายของกระดาษตัวอย่าง (ต่อ)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก	ความชื้น (%)	pH	EC	C/N	พืชใบเลี้ยงเดี่ยว		พืชใบเลี้ยงคู่	
					% การงอก	% มวลชีวภาพ	% การงอก	% มวลชีวภาพ
CP1	71.03±0.06	7.48±0.02	5.64±0.66	9.38	100.00	97.22	100.00	107.23
CP2	72.19±0.23	7.64±0.06	5.39±0.28	10.57	100.00	94.44	96.67	116.87
CP3	73.55±0.92	7.62±0.10	6.08±0.21	10.48	100.00	113.89	96.67	100.00
CB	73.91±1.37	7.69±0.08	6.36±1.40	10.72	100.00	100.00	100.00	100.00
CRP1	71.59±0.72	7.38±0.08	7.11±1.19	10.29	100.00	91.55	103.44	98.99
CRP2	72.22±0.48	7.85±0.07	6.65±0.78	10.31	100.00	94.37	96.54	90.91
CRP3	72.06±1.65	7.50±0.13	7.16±1.30	10.08	100.00	97.18	96.54	91.92
CRB	72.30±0.42	7.55±0.03	6.14±0.43	9.70	100.00	100 .00	100.00	100.00
CTP1	72.67±2.03	7.41±0.12	5.55±0.17	9.70	103.44	119.78	103.58	101.19
CTP2	71.67±1.17	7.79±0.08	5.84±1.20	9.53	96.54	92.31	107.15	94.05
CTP3	72.62±1.16	7.82±0.12	6.47±0.34	9.75	100.00	106.59	107.15	95.24
CTB	73.05±1.96	8.05±0.04	7.54±1.04	10.11	100.00	100.00	100.00	100.00
CBP1	72.27±0.54	7.09±0.04	5.29±0.63	9.94	100.00	102.35	103.44	119.78
CBP2	71.56±1.23	7.36±0.06	5.94±1.24	10.58	96.67	90.59	96.54	92.31
CBP3	72.06±0.81	7.35±0.02	6.24±0.81	10.34	100.00	91.76	100.00	106.59
CBB	72.28±1.32	7.29±0.01	5.72±0.81	9.84	100.00	100.00	100.00	100.00

ปุ๋ยหมักที่ได้จากกระบวนการหมักย่อยกระดาษร่วมกับขยะอินทรีย์เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์มีค่าความชื้นก่อนอบแห้งอยู่ในช่วง 71.03–73.55% การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของปุ๋ยหมักได้แก่ ค่า pH อยู่ในช่วง 7.09–8.05 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) อยู่ระหว่าง 5.39–7.54 dS/m และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) อยู่ในช่วง 9.38–10.72 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามข้อกำหนดของกรมพัฒนาที่ดิน ในการประเมินความเป็นพิษต่อพืช (Phytotoxicity Test) โดยใช้

เมล็ดข้าวฟ่าง (พืชใบเลี้ยงเดี่ยว) และเมล็ดถั่วเขียว (พืชใบเลี้ยงคู่) เป็นพืชตัวแทน พบว่าอัตราการงอกของเมล็ดทั้งสองชนิดสูงกว่า 90% และต้นพืชที่งอกมีมวลชีวภาพใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม (Blank compost) ที่ไม่ได้เติมกระดาษที่ใช้กรรมวิธีการผลิตเดียวกัน

6. สรุปผลการศึกษา

การวิจัยนี้ได้ประเมินประสิทธิภาพของน้ำหมักจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ในการเร่งการย่อยสลายกระดาษร่วมกับขยะอินทรีย์ในถังหมักขนาดเล็ก พบว่าการเติมน้ำหมักจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา (CT) และหน่อกล้วย (CB) เป็นจุลินทรีย์เสริมประสิทธิภาพช่วยเร่งกระบวนการย่อยสลายกระดาษเยื่อชานอ้อย (P1) ให้สมบูรณ์ภายใน 4 สัปดาห์ ซึ่งเร็วกว่ากรรมวิธีที่ใช้มูลวัวแห้ง (C) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์หลักเพียงอย่างเดียว หรือใช้จุลินทรีย์จากน้ำซาวข้าว (CR) เสริมประสิทธิภาพ สำหรับกระดาษกล่องพิซซ่า (P2) ที่มีการเคลือบหมึกพิมพ์พบว่ามีการย่อยสลายประมาณ 89–93% ภายใน 8 สัปดาห์ โดยอัตราการย่อยสลายสูงในช่วง 4 สัปดาห์แรก และชะลอตัวลงในช่วงสัปดาห์ที่ 5–8 ทั้งนี้น่าจะมาจากการที่กระดาษถูกเคลือบผิวด้วยหมึกพิมพ์ทำให้ผิวหน้าของกระดาษที่ถูกเคลือบย่อยสลายได้ช้าลง ในกรณีกระดาษห่อข้าวมันไก่ (P3) ซึ่งเคลือบฟิล์มพลาสติกบางหนึ่งด้านพบว่าด้านที่เป็นกระดาษย่อยสลายได้หมดภายใน 8 สัปดาห์ในกรรมวิธีที่มีการเติมจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มาเป็นจุลินทรีย์เสริมประสิทธิภาพ ในขณะที่ในกรรมวิธีอื่นพบว่ามีเศษกระดาษเหลือติดกับฟิล์มพลาสติกเล็กน้อย ส่วนที่เป็นฟิล์มพลาสติกไม่สามารถย่อยสลายได้และยังคงตกค้างในปุ๋ยหมัก สรุปได้ว่าจุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มามีประสิทธิภาพเร่งการย่อยสลายกระดาษได้สูงสุด รองลงมาคือจุลินทรีย์หน่อกล้วย และจุลินทรีย์น้ำซาวข้าวตามลำดับ ปุ๋ยหมักทุกสูตรมีคุณสมบัติทางเคมีได้แก่ ค่า pH EC และ C/N อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดของกรมพัฒนาที่ดิน ในการเพราะเมล็ดข้าวฟ่าง และเมล็ดถั่วเขียวพบว่ามีอัตราการงอกสูงกว่า 90% และมีมวลชีวภาพใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม แสดงว่าปุ๋ยหมักมีการย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ และไม่เป็นพิษต่อพืช ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าปุ๋ยหมักที่ได้จากการย่อยสลายกระดาษร่วมกับขยะอินทรีย์ ใช้มูลวัวแห้งเป็นจุลินทรีย์หลักเสริมด้วยจุลินทรีย์จากน้ำซาวข้าว จุลินทรีย์ไตรโคเดอร์มา และจุลินทรีย์หน่อกล้วย ไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อการงอกของเมล็ดพืชและการเจริญเติบโตของพืชทั้งในกลุ่มพืชใบเลี้ยงเดี่ยวและใบเลี้ยงคู่ สะท้อนถึงความปลอดภัยและศักยภาพในการนำไปใช้ในระบบการเกษตรอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] Thairath Online (2566). กระดาษใช้แล้วของไทย ได้รับการคัดแยกเพียง 60% หวังปลูกฝัง "แยกขยะ" ให้ดียิ่งขึ้นม, 14 สิงหาคม 2567. https://www.thairath.co.th/futureperfect/articles/2709260.

[2] กรมควบคุมมลพิษ. (2565). การศึกษาองค์ประกอบของขยะมูลฝอย ปี 2564, 13 สิงหาคม 2567. https://www.pcd.go.th/publication/26745/.

[3] Ballardo, C., Vargas, M., Sanchez, A., and Barrena, A., (2020). Adding value to home compost: Biopesticide properties through Bacillus thuringiensis inoculation. Waste Management, 106, 32-34.

[4] Ahmed, S., Hall, A. M. & Ahmed, S. F., (2018). Biodegradatio of Different Type of Paper in a Compost Environment. Proceeding of the 5th International Conference on Natural Science and Technology (ICNST'18), Asian University for Woman: Bangladesh.

[5] Alvarez, J. V. L., Aguilar, M. L., Bermúdez, P. A. & Chicote, B. L. (2009). Biodegradation of paper waste under controlled composting conditions. Waste Management, 29, 1514–1519.

[6] EN 13432:2000 Packaging - Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation - Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging.

[7] กรมพัฒนาที่ดิน. มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง), 29 มกราคม 2568. http://www1.ldd.go.th/ldd/Fertilizer/Organic_Fertilizer.pdf

การประยุกต์ใช้ดัชนีคุณภาพน้ำของมาเลเซียในการประเมินคุณภาพน้ำผิวดินในคลองพื้นที่กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

ณัฐนันท์ พลอยพรม*, อาทิตย์ โพธิ์ศรี, และ ธนาศรี สีหะบุตร

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี จังหวัดกรุงเทพมหานคร
** Corresponding author: nattanan.ply@student.mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำคลองในกรุงเทพมหานครด้วยการนำดัชนีคุณภาพน้ำ (Water Quality Index; WQI) ที่กำหนดโดยกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ สิ่งแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ประเทศมาเลเซีย มาทำการประเมินคุณภาพโดยใช้ข้อมูลค่าความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งแขวนลอย ออกซิเจนละลายน้ำ บีโอดี ซีโอดี และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ของน้ำคลองจากจุดเก็บตัวอย่างจำนวน 299 แห่ง ที่วิเคราะห์โดยสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร จากนั้น ทำการแยกประเภทคุณภาพน้ำคลองออกเป็น 5 ระดับจากแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดีที่สุด (Class I) ไปประดับที่น้ำคุณภาพแย่ที่สุด (Class V) และทำการศึกษาการกระจายตัวของแหล่งน้ำแยกตามประเภทคุณภาพน้ำด้วยการใช้โปรแกรม QGIS

ผลการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำคลองส่วนใหญ่มีค่า WQI อยู่ในช่วง 31.0 ถึง 51.9 คิดเป็นร้อยละ 58.52 คุณภาพน้ำในระดับนี้จัดว่าเป็นแหล่งน้ำ Class IV เหมาะสำหรับการชลประทาน พบกระจายทั่วไปในกรุงเทพมหานคร รองลงมาได้แก่ ช่วง 51.9 ถึง 76.5 คิดเป็นร้อยละ 39.13 จัดว่าเป็นน้ำในระดับ Class III ซึ่งสัตว์น้ำโดยทั่วไปที่มีความทนทานและมีมูลค่าเศรษฐกิจสามารถอยู่อาศัยได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นแหล่งน้ำดื่มสำหรับปศุสัตว์ และสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำประปาหากมีกระบวนการบำบัดเป็นพิเศษ ในทางกลับกัน คุณภาพน้ำคลองที่ดีมากมีเพียงร้อยละ 0.67 โดยมีค่า WQI อยู่ในช่วง 76.5 ถึง 92.7 จัดว่าเป็นคุณภาพน้ำประเภท IIB สามารถใช้เป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจแบบสัมผัสน้ำได้ โดยพบที่คลองบึงหนองบอน เขตประเวศ ในโซนกลุ่มเขตที่อยู่อาศัย

คำสำคัญ: คุณภาพน้ำคลอง / กรุงเทพมาหนคร / ดัชนีคุณภาพน้ำของประเทศมาเลเซีย / การประเมินคุณภาพน้ำ / ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

Application of the Malaysian Water Quality Index for Evaluating Urban Canal Water in Bangkok, Thailand

Nattanan Ployprom*, Arthit Phosri, and Tanasri Sihabut

Faculty of Public Health, Mahidol University, Thung Phayathai Subdistrict, Ratchathewi District, Bangkok, Thailand
** Corresponding author: nattanan.ply@student.mahidol.ac.th*

Abstract

This research investigated the water quality of canals in Bangkok using the Water Quality Index (WQI) established by the Ministry of Natural Resources, Environment, and Climate Change of Malaysia. Key parameters for evaluation included pH, suspended solids, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, and ammonia-nitrogen, based on water samples from 299 sampling points analyzed by the Department of Drainage and Sewerage, Bangkok Metropolitan Administration. The water quality was classified into five categories, ranging from Class I (best quality) to Class V (worst quality). Additionally, the spatial distribution of water quality across Bangkok was analyzed using QGIS software. The study revealed that the WQI for most canals ranged from 31.0 to 51.9, representing 58.52% of the samples, which corresponds to Class IV. This water quality is suitable for irrigation and is commonly found throughout Bangkok. The second most frequent range, from 51.9 to 76.5, comprised 39.13% of the samples and was classified as Class III. This level of water quality can support fisheries for common, economically valuable, and tolerant species and may be used for livestock drinking or serve as a water supply if extensive treatment is applied. In contrast, only 0.67% of the canal water was rated as Class IIB, with a WQI ranging from 76.5 to 92.7. This high-quality water was found in the Bueng Nong Bon Canal, located in the Prawet District within a residential area, and can be used for recreational purposes involving body contact.

Keywords: Canal water quality / Bangkok / Water quality index (WQI) of Malaysis / Water quality assessment / GIS

1. บทนำ

การที่สภาพภูมิศาสตร์ของกรุงเทพมหานครตั้งอยู่ในบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ทำให้ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่อุดมไปคลอง คู ลำกระโดง จำนวนถึง 1,682 สาย ความยาวรวมประมาณ 2,604 กิโลเมตร จนถูกขนานนามว่าเป็นเวนิสแห่งตะวันออก [1] คลองเหล่านี้มีบทบาทต่อวิถีชีวิตของคนเมืองมาอย่างยาวนาน ทั้งเป็นที่พักพิงเพื่อสร้างบ้านเรือนอาศัยริมคลอง เป็นเส้นทางหลักในการคมนาคม การเป็นแหล่งน้ำสำหรับการอุปโภคบริโภค การเป็นสถานที่พักหย่อนใจ แหล่งอาหาร รวมถึงการใช้ทำเกษตรกรรมต่างๆ

ในปัจจุบันคลองเริ่มมีบทบาทน้อยลงลงเนื่องจากการขนส่งทางถนน และทางรถไฟมีความสำคัญมากขึ้น [2] ประกอบกับมีการสร้างบ้านเรือนและสิ่งปลูกสร้างกีดขวางการไหลของน้ำ รุกล้ำพื้นที่คลองสายหลักและสายย่อยกว่า 500 คลอง ทำให้คลองมีขนาดแคบลง มีการไหลของน้ำตามธรรมชาติช้าลง และทำให้ความสกปรกของน้ำในคลองในกรุงเทพมหานครมีแนวโน้มสูงขึ้น [1] อย่างไรก็ตามคลองก็ยังมีบทบาทในแง่ของการระบายน้ำ นอกจากนี้คลองหลายแห่งได้กลายเป็นแหล่งท่องเที่ยว และยังมีการใช้น้ำเพื่อการชลประทาน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้กรุงเทพมหานครจึงได้ทำการเฝ้าระวังโดยตรวจวัดคุณภาพน้ำทุก 1 เดือน เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์จำนวน 15 ตัว ได้แก่ อุณหภูมิ สี ของแข็งแขวนลอย ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง บีโอดี ซีโอดี ออกซิเจนละลายน้ำ ไนโตรเจนทั้งหมดในรูปทีเคเอ็น ไนไตร์ท ไนเตรต แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ฟอสฟอรัสทั้งหมด และแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด แม้การรายงานคุณภาพน้ำรายพารามิเตอร์ดังกล่าวจะมีประโยชน์ในแง่ของการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ การเฝ้าระวังปัญหาสิ่งแวดล้อม การดำเนินงานด้านกฎหมายหรือมาตรฐานสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ และสามารถระบุแหล่งมลพิษได้อย่างชัดเจนในรายแต่ละพารามิเตอร์ แต่มีข้อเสียคือ การที่มีข้อมูลจำนวนมากทำให้บุคคลทั่วไปเข้าใจได้ยาก เกิดความสับสน และไม่สามารถสะท้อนคุณภาพน้ำในภาพรวม ดังนั้น หลายประเทศจึงนิยมรายงานสภาพของคุณภาพน้ำในรูปของ WQI (Water Quality Index) ที่สามารถแพร่ข้อมูลคุณภาพน้ำที่เข้าใจง่ายและไม่ซับซ้อนให้กับประชาชน ยกตัวอย่าง ประเทศเม็กซิโกได้ใช้ WQI ในการประเมินคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำตอนบนของแม่น้ำเลร์มาซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่จำเป็นต่อกิจกรรมของมนุษย์ในบริเวณโดยรอบเพื่อดูแนวโน้มของคุณภาพ และหามาตรการเพื่อฟื้นฟูและรักษาคุณภาพน้ำของแม่น้ำสายสำคัญนี้ [3] ขณะที่ประเทศบังกลาเทศได้ใช้ WQI ในการประเมินคุณภาพน้ำของแม่น้ำจามูนา ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญและมีผลกระทบต่อสังคม เศรษฐกิจ นิเวศวิทยา และภูมิศาสตร์ เพื่อหาสาเหตุที่อาจทำให้คุณภาพน้ำของแม่น้ำจามูนาที่เสื่อมโทรมลง [4] สำหรับประเทศไทย แม้กรมควบคุมมลพิษจึงได้มีการพัฒนาดัชนีคุณภาพน้ำเพื่อใช้ประโยชน์ในการจำแนกประเภทของคุณภาพน้ำ แต่เนื่องจากดัชนีคุณภาพน้ำของประเทศไทยใช้พารามิเตอร์จำนวน 5 ตัว ได้แก่ ออกซิเจนละลายน้ำ บีโอดี แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด แบคทีเรียกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์ม และแอมโมเนีย-ในโตรเจน เพื่อประเมินคุณภาพน้ำ ทำให้กรุงเทพมหานครไม่สามารถประเมินค่าดังกล่าวได้เนื่องจากไม่ได้ทำการตรวจวัดพารามิเตอร์บางตัว ในขณะที่ดัชนีคุณภาพน้ำของประเทศมาเลเซียจะใช้พารามิเตอร์จำนวน 6 ตัว ได้แก่ ออกซิเจนละลายน้ำ, บีโอดี, ซีโอดี, แอมโมเนีย-ไนดตรเจน, ของแข็งละลายน้ำ, ความเป็นกรดและด่าง ทั้งนี้การที่ดัชนีคุณภาพน้ำของประเทศมาเลเซียไม่ได้น้ำพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับด้านชีวภาพ เช่น แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด และแบคทีเรียกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์ม เนื่องจาก ออกแบบมาเพื่อประเมินคุณภาพน้ำโดยรวมในด้านกายภาพและเคมีเพื่อการจัดการทรัพยากรน้ำในระดับมหภาค ไม่ใช่เพื่อการพิจารณาด้านสุขภาพสาธารณะหรือการบริโภคโดยตรง ซึ่งเหมาะสมกว่าสำหรับการประเมินความปลอดภัยของน้ำดื่มหรือการใช้น้ำเพื่อการบริโภคโดยมนุษย์ โดยดัชนีคุณภาพน้ำของประเทศไทยจะเน้นในด้านสุขภาพมนุษย์ ซึ่งจะแตกต่างกับของประเทศมาเลเซียที่เน้น ด้านสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ ใช้พารามิเตอร์ที่มีความเสถียรและง่ายต่อการติดตามแนวโน้ม นอกจากนี้ ทั้งสอง

ประเทศมีการใช้พารามิเตอร์สิ่งแวดล้อมร่วมกันบางรายการ และมีเป้าหมายเพื่อประเมินความเหมาะสมของการใช้น้ำ รายละเอียดความแตกต่างของดัชนีคุณภาพน้ำของประเทศไทยและประเทศมาเลเซียแสดงได้ดังตาราง ที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบพารามิเตอร์การตรวจวัดคุณภาพน้ำสำหรับการประเมินดัชนีคุณภาพน้ำ และเกณฑ์มาตรฐานของประเทศไทยกับประเทศมาเลเซีย

พารามิเตอร์	ดัชนีคุณภาพน้ำของประเทศมาเลเซีย	ดัชนีคุณภาพน้ำของประเทศไทย
ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	✓	✓
บีโอดี (BOD)	✓	✓
แอมโมเนีย-ในโตรเจน (NH_3)	✓	✓
ของแข็งละลายน้ำ (SS)	✓	x
ซีโอดี (COD)	✓	x
ความเป็นกรด - ด่าง (pH)	✓	x
แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (TCB)	x	✓
แบคทีเรียกลุ่มฟิคอลโคลิฟอร์ม (FC)	x	✓

แหล่งที่มา: National Water Quality Standards and Water Quality Index. Ministry of Natural Resources and Environmental Sustainability. (2022)[5] และกรมควบคุมมลพิษ [7]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำดัชนีคุณภาพน้ำของประเทศมาเลเซียที่ครอบคลุมพารามิเตอร์ที่กรุงเทพมหานครเฝ้าระวังมาใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำในการศึกษานี้ ทั้งนี้เนื่องจากลักษภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น และสภาพเศรษฐกิจ ของทั้งสองประเทศมีลักษณะใกล้เคียงกัน

2. วัตถุประสงค์

1.เพื่อประเมินคุณภาพน้ำคลองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

2. เพื่อศึกษาการกระจายตัวของระดับคุณภาพน้ำคลองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยครั้งนี้ใช้ดัชนีคุณภาพน้ำที่กำหนดโดยกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ สิ่งแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ประเทศมาเลเซีย มาประเมินคุณภาพน้ำคลองในกรุงเทพมหานคร โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิคุณภาพน้ำคลองปี 2566 ของสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การประเมินคุณภาพน้ำคลองในงานวิจัยนี้ใช้ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำคลองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ปี พ.ศ. 2566 จำนวน 6 พารามิเตอร์ ได้แก่ ของแข็งแขวนลอย ความเป็นกรด-ด่าง บีโอดี ซีโอดี ออกซิเจนละลายน้ำ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน จาก

จุดเก็บตัวอย่างน้ำ 299 จุด ของสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร โดยนำไปแทนค่าในดัชนีคุณภาพน้ำของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ สิ่งแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ประเทศมาเลเซีย ดังแสดงในสมการที่ 1 [5]

$$WQI = (0.22\times SI_{DO}) + (0.19\times SI_{BOD}) + (0.16\times SI_{COD}) + (0.15\times SI_{NH3}) + (0.16\times SI_{SS}) + (0.12\times Si_{pH}) \quad (1)$$

โดย; SI = ค่าดัชนีย่อยของแต่ละพารามิเตอร์; DO = ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (ร้อยละความอิ่มตัวของออกซิเจนละลายน้ำ); BOD = ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (mg/L); COD = ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (mg/L); NH_3 = ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg/L); SS = ค่าสารแขวนลอย (mg/L); pH = ค่าความเป็นกรด-ด่าง

จากนั้น ใช้โปรแกรม GQIS ในการศึกษาการกระจายตัวคุณภาพน้ำคลองในกรุงเทพมหานคร โดยจำแนกแบ่งออกเป็นเขตโซน ได้แก่ กลุ่มเขตอนุรักษ์ศิลป์วัฒนธรรมและส่งเสริมการท่องเที่ยว กลุ่มเขตศูนย์กลางธุรกิจและพาณิชยกรรม กลุ่มเขตที่อยู่อาศัย กลุ่มเขตที่อยู่อาศัยชานเมืองและเกษตรกรรมฝั่งตะวันออก กลุ่มเขตที่อยู่อาศัยชานเมืองและเกษตรกรรมฝั่งตะวันตกตอนบน และกลุ่มเขตที่อยู่อาศัยชานเมืองและเกษตรกรรมฝั่งตะวันตกตอนล่าง

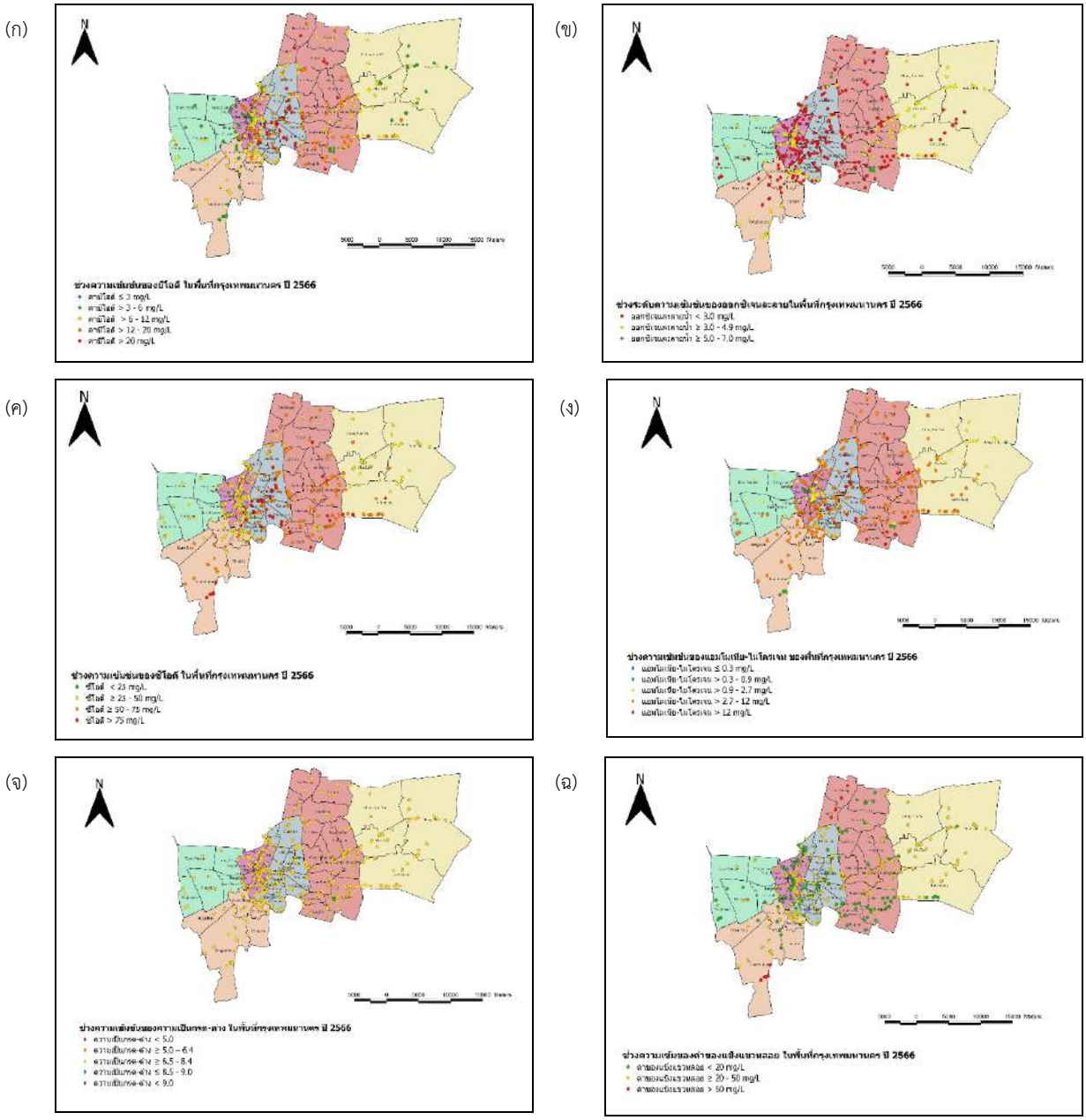
4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาในครั้งนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) โดยแสดงร้อยละประเภทของคุณภาพน้ำ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 คุณลักษณะน้ำคลองแยกรายพารามิเตอร์

ผลการศึกษาลักษณะคุณภาพน้ำคลองแยกรายพารามิเตอร์พบว่า ความเข้มข้นของค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) ในพื้นที่กรุงเทพมหาครโดยภาพรวมพบอยู่ในช่วงน้อยกว่า 3 mg/L (รูปที่ 1ก) บ่งบอกว่าแหล่งน้ำคลองในกรุงเทพอาจก่อให้เกิดความเครียดอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิตที่หลากหลายในน้ำ และอาจทำให้เสียชีวิตจากการขาดอากาศหายใจได้ [6] ขณะที่ค่าความเข้มข้นของปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biological Oxygen Demand; BOD) ส่วนใหญ่พบอยู่ในช่วงมากกว่า 6 ถึง 12 mg/L จัดได้ว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีระดับคุณภาพน้ำต่ำ [7] โดยพบกระจายในทุกโซนเขตในพื้นที่กรุงเทพมหานคร (รูปที่ 1ข) สำหรับค่าแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia-Nitrogen; NH_3) มักพบอยู่ในช่วง 2.7 - 12 mg/L (รูปที่ 1ค) ถือว่าสูงเกินค่าปกติที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติ และอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและสิ่งมีชีวิตในน้ำ [8] นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มข้นของความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand; COD) บ่งชี้ว่าแหล่งน้ำมีมลพิษจากสารอินทรีย์ในระดับปานกลาง อาจจะต้องผ่านการบำบัดก่อนการใช้งาน [9] เนื่องจากค่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วงมากกว่า 25 ถึง 50 mg/L (รูปที่ 1ง) ซึ่งเมื่อพิจารณาข้อมูลข้างต้น จะเห็นได้ว่าการแปลผลมีแนวโน้มสวนทางกับค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid; SS) ที่มักพบในช่วงตั้งแต่ 20 ถึง 50 mg/L (รูปที่ 1จ) บ่งบอกว่าแหล่งน้ำเหมาะสำหรับเป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจแบบสัมผัสร่างกาย [5] ขณะที่ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) (รูปที่ 1ฉ) ส่วนใหญ่มีค่าระหว่าง 6.5 - 8.4 ถือเป็นช่วงที่เหมาะสมตามธรรมชาติสำหรับแหล่งน้ำผิวดินทั่วไป และเป็นช่วงที่แหล่งน้ำนั้นเหมาะสมแก่การอยู่อาศัยของปลา [10]



รูปที่ 1 การกระจายตัวของคุณลักษณะน้ำคลองในกรุงเทพมหานครแยกตามพารามิเตอร์ (n = 299)

5.2 คุณลักษณะน้ำคลองแยกตามดัชนีคุณภาพน้ำ

ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำคลองส่วนใหญ่ในกรุงเทพมหานครมีค่า WQI อยู่ในช่วง 31.0 ถึง 51.9 โดยมีจำนวนมากถึง 175 จุด จากจำนวนจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 58.52 รองลงมาจะอยู่ในช่วง 51.9 – 76.5 พบจำนวน 117 จุด จากจำนวนจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 39.13 ในขณะช่วง WQI ที่พบน้อยที่สุด อยู่ในช่วง 76.5 – 92.7 พบ จำนวน 2 จุด จากจำนวนจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 0.67 ข้อมูลเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำคลองในกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่เป็นแหล่งน้ำประเภท Class IV จัดว่าเป็นแหล่งน้ำที่เริ่มมีสารปนเปื้อนสูง รองลงมาได้แก่ แหล่งน้ำประเภท Class III จัดว่าเป็นระดับที่เริ่มมีมลพิษ ทั้งนี้เนื่องจากค่า DO ของน้ำคลองในกรุงเทพมหานครซึ่งถือว่าเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมากที่สุดดังแสดงในสมการที่ 1 มีค่าต่ำ ขณะที่พารามิเตอร์อีก 3 ตัว ได้แก่ BOD, COD และ NH_3 ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ความสำคัญรองลงไปมีค่าแตกต่างจากน้ำในธรรมชาติทั่วไป ทำให้คุณภาพน้ำคลองในกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่ถูกจัดว่าเป็นคุณภาพน้ำประเภท Class IV

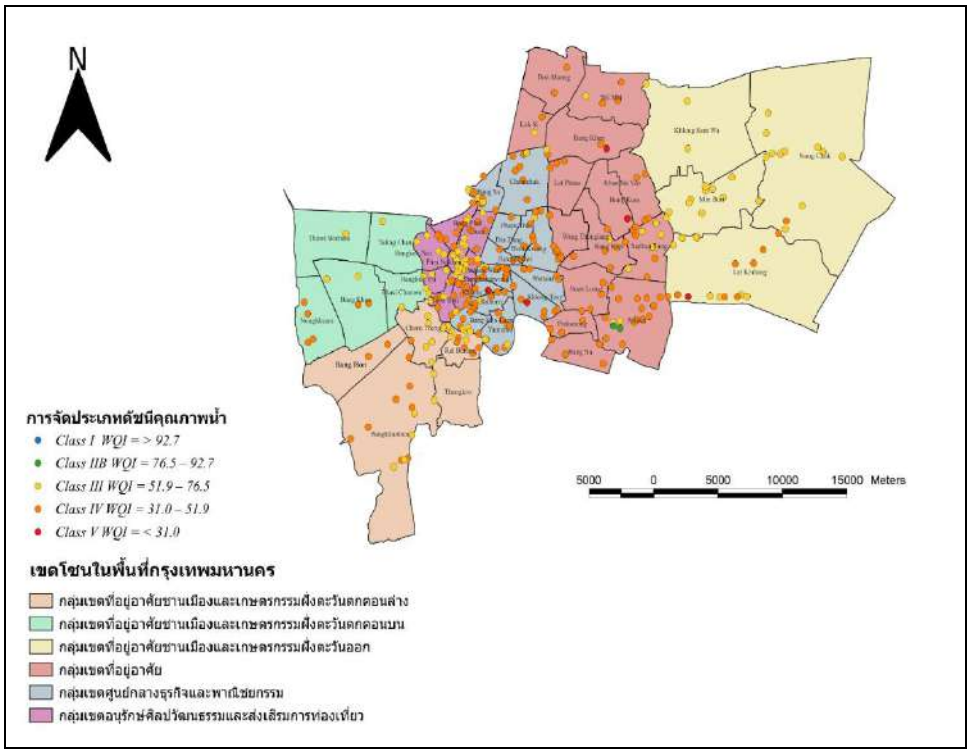
ตารางที่ 2 การจำแนกประเภทคุณภาพน้ำคลองในกรุงเทพมหานคร (n = 299)

Water Quality Index (WQI)	ประเภทของแหล่งน้ำ	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	
		จำนวน	ร้อยละ
> 92.7	**Class I** แหล่งน้ำเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ สามารถใช้เป็นน้ำดื่มได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านกระบวนการบำบัด และเป็นแหล่งน้ำสำหรับอนุรักษ์พันธุ์สัตว์น้ำที่อ่อนไหวเป็นพิเศษ	0	0.00
76.5 – 92.7	**Class AII** สามารถใช้เพื่อการประปาโดยต้องมีการบำบัดก่อนและเป็นแหล่งน้ำสำหรับสัตว์น้ำที่มีความอ่อนไหว	2	0.67
	Class BII ใช้เพื่อการนันทนาการแบบสัมผัสน้ำ		
51.9 – 76.5	**Class III** สามารถใช้เพื่อการประปาโดยแต่ต้องมีการบำบัดเป็นพิเศษ สามารถใช้เป็นแหล่งน้ำดื่มสำหรับปศุสัตว์ เหมาะสำหรับสัตว์น้ำโดยทั่วไปที่มีความทนทานและมีมูลค่าเศรษฐกิจ	117	39.13
31.0 – 51.9	**Class IV** ใช้เพื่อการชลประทาน	175	58.52
< 31.0	**Class V** ใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นที่ไม่ได้กล่าวข้างต้น	5	1.68

แหล่งที่มา: National Water Quality Standards and Water Quality Index. Ministry of Natural Resources and Environmental Sustainability. (2022)[5]

เมื่อศึกษาการกระจายตัวของคลองในกรุงเทพมหานครจำแนกตามคุณภาพน้ำ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแหล่งน้ำ Class IV พบได้ทุกเขตโซนของกรุงเทพมหานคร แต่พบมากที่สุดในโซนกลุ่มเขตศูนย์กลางธุรกิจและพาณิชยกรรม ในขณะที่โซนกลุ่มเขตที่อยู่อาศัยชานเมืองและเกษตรกรรมฝั่งตะวันออก เป็นโซนที่พบว่าเป็นแหล่งน้ำประเภทดังกล่าวน้อยที่สุด สำหรับแหล่งน้ำ Class IIA และ Class IIB ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ดีที่สุดในกรุงเทพมหานคร พบในโซนกลุ่มเขตที่อยู่อาศัยที่คลองบึงหนองบอน เขตประเวศ เนื่องจากคลองบึงหนองบอน เป็นหนึ่งในคลองภายในพื้นที่กรุงเทพมหานครที่มีการตั้งโครงการบำบัดน้ำเสีย และเป็นคลองที่บทบทาทที่สำคัญในการควบคุมคุณภาพน้ำในพื้นที่โดยรอบ นอกจากนี้คลองดังกล่าวยังถูกพัฒนาให้เป็นศูนย์กีฬาทางน้ำและสวนสาธารณะเพื่อเป็นพื้นที่พักผ่อนหย่อนใจของประชาชน[11] ถือว่าเป็นคลองที่ได้รับการดูแลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จึงส่งผลทำให้คลองบึงหนองบอนมีคุณภาพน้ำที่ดีในกรุงเทพมหานคร

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาระหว่างการประเมินคุณภาพน้ำคลองในกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ในครั้งนี้กับ แม่น้ำบนเกาะปีนัง ประเทศมาเลเซีย ที่มีการใช้ WQI ของประเทศมาเลเซียมาประเมินคุณภาพน้ำเหมือนกัน ผลการศึกษาในเกาะปีนังพบว่า ในบรรดาสถานีเก็บตัวอย่าง 30 แห่ง มี 17 สถานีที่คุณภาพน้ำจัดอยู่ใน Class III และ 13 สถานีที่คุณภาพน้ำจัดอยู่ใน Class IV [12] ผลการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าคุณภาพน้ำของกรุงเทพมหานครและเกาะปีนังไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก เนื่องจากมีแหล่งมลพิษทางน้ำที่คล้ายคลึงกัน คือ น้ำเสียจากครัวเรือน ขยะที่มาจากชุมชน น้ำเสียจากเขตอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ในพื้นที่ใกล้เคียง และเมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำของแม่น้ำเวย์คูริปัน ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งใช้ WQI เหมือนกันกับประเทศมาเลเซีย ผลการประเมินคุณภาพน้ำของแม่น้ำเวย์คูริปัน พบว่าคุณภาพน้ำอยู่ใน Class III จนถึง Class V ถือว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพแย่กว่าเมื่อเทียบกับคุณภาพน้ำของประเทศไทยและประเทศมาเลเซีย ถึงแม้ว่าสาเหตุหลักของการเกิดมลพิษในอินโดนีเซียเกิดจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนและกิจกรรมของมนุษย์เช่นเดียวกัน[13]



รูปที่ 2 แสดงการกระจายตัวของน้ำคลองจำแนกตามคุณภาพน้ำในกรุงเทพมหานคร (n = 299)

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำคลองในกรุงเทพมหานครด้วยการนำดัชนีคุณภาพน้ำที่กำหนดโดยกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ สิ่งแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ประเทศมาเลเซีย มาประเมินคุณภาพน้ำคลองในกรุงเทพมหานคร พบว่าคุณภาพน้ำคลองส่วนใหญ่ในกรุงเทพมหานครจัดว่าเป็นน้ำในระดับ Class IV ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่เหมาะสำหรับการชลประทาน โดยคลองบึงหนองบอน เขตประเวศ ในโซนกลุ่มเขตที่อยู่อาศัย จัดว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพน้ำที่ดีที่สุด ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร เหมาะสำหรับสามารถใช้เป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจแบบสัมผัสร่างกายและใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทั่วไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Team, T. M., & Team, T. M. (2022, May 12). *สำรวจคลองกรุงเทพมหานคร ปัญหาเรื้อรังและการพัฒนา ที่รอผู้ว่าฯ คนใหม่สะสาง*. The Momentum. https://themomentum.co/feature-bkkupsidedown-bangkok-canal/

[2] Plookpedia. (21 เมษายน 2560) *บทบาทและความสำคัญของคลองในอดีต.* https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/57709#google_vignette

[3] Barceló-Quintal, I. D., Salazar-Peláez, M. L., García-Albortante, J., Domínguez-Mariani, E., López-Chuken, U. J., & Gómez-Salazar, S. (2013). Evaluation of water quality index in Lerma River Upper Basin. *Journal of Environmental Protection*, *04*(07), 98–103. https://doi.org/10.4236/jep.2013.47a012

[4] Khan, M. H. R. B., Ahsan, A., Imteaz, M., Shafiquzzaman, M., & Al-Ansari, N. (2023). Evaluation of the surface water quality using global water quality index (WQI) models: perspective of river water pollution. *Scientific Reports*, *13*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-023-47137-1

[5] Department of Environment. (2022). *National Water Quality Standards and Water Quality Index*. Ministry Of Natural Resources and Environmental Sustainability

[6] Lehigh Environmental Initiative. (n.d.). Dissolved oxygen background. Lehigh University. Retrieved April 18, 2025, from https://ei.lehigh.edu/envirosci/watershed/wq/wqbackground/dobg.html

[7] กรมควบคุมมลพิษ. (2564). *รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย ปี 2563*

[8] Boyd, C. E. (1998). Water quality for pond aquaculture. Alabama: Auburn University.

[9] Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments – A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring* (2nd ed.). London: UNESCO/WHO/UNEP.

[10] Bai, V. R. (2009). Importance of biological parameters of water quality to reform water quality index in practice. Advances in Environment, Computational Chemistry and Bioscience, 199–204.

[11] กองนโยบายและแผนงาน. (2563). *รายงานการศึกษาสภาวะแวดล้อมในกรุงเทพมหานคร ปี 2563 (ด้านคุณภาพน้ำ).*

[12] Nurul-Ruhayu, M., An, Y. J., & Khairun, Y. (2015). Detection of river pollution using Water Quality Index: A case study of tropical rivers in Penang Island, Malaysia. *OALib*, *02*(03), 1–8. https://doi.org/10.4236/oalib.1101209

[13] Febrina, R. (2019). WATER QUALITY ASSESMENT BASED ON THE WATER QUALITY INDEX (WQI) APPROACH USING GEOSPATIAL ANALYSIS. *International Journal of GEOMATE*, *16*(56). https://doi.org/10.21660/2019.56.4693

ปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการจัดการขยะ และแนวทางสู่แผนปฏิบัติการการจัดการขยะมูลฝอย: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลบ้านดอน อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

อรณัฐ โสมภีร์, สุกัญญา เสรีนนท์ชัย, นพพล อรุณรัตน์, และ ศรัณยา สุจริตกุล

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม

** Corresponding author: orranut.som@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรม ปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือน และเสนอแนวทางสู่แผนปฏิบัติการการจัดการขยะมูลฝอยโดยใช้กรอบทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน เก็บตัวอย่างด้วยการสัมภาษณ์เชิงลึกกับกลุ่มตัวอย่างคือ ผู้นำชุมชน และเจ้าหน้าที่กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม และแบบสอบถามกับประชาชนในพื้นที่เทศบาลตำบลบ้านดอน 101 คน วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ สถิติทดสอบไค-สแควร์ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน และพหุคูณถดถอยเชิงเส้น จากนั้นวิเคราะห์จุดแข็ง-จุดอ่อน-โอกาส-อุปสรรค (SWOT) และ TOWS Matrix เพื่อเสนอแนวทางที่เหมาะสมตามแต่ละกลยุทธ์ ผลการวิจัยพบว่า (1) กลุ่มตัวอย่างในภาพรวมมีพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของครัวเรือนอยู่ในระดับเหมาะสมปานกลาง โดยปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการจัดการขยะคือ ตำแหน่งทางสังคม การเข้าร่วมโครงการ/กิจกรรมที่เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย และรายได้ส่วนบุคคล (2) พบ 3 ตัวแปร เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์อย่างโดดเด่นและมีนัยสำคัญต่อการจัดการขยะมูลฝอย ได้แก่ จำนวนสมาชิกในครัวเรือน การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง และความตั้งใจในการปฏิบัติพฤติกรรม (3) กลยุทธ์เชิงรุกคือ ยกระดับการจัดการขยะเป็นวาระสำคัญของเทศบาล เพิ่มความถี่ในการจัดกิจกรรมและจัดสรรงบประมาณเพื่อจัดทำโครงการจัดการขยะมูลฝอย กลยุทธ์เชิงแก้ไขคือ กำหนดนโยบายให้สอดคล้องกับกฎหมายและเร่งศึกษาโครงการบริการจัดเก็บขยะมูลฝอย กลยุทธ์เชิงป้องกันคือ เพิ่มงบประมาณด้านการจัดการขยะ สร้างการรับรู้ และส่งเสริม อสม. เป็นสื่อกลางเข้าถึงประชาชน และกลยุทธ์เชิงรับคือ เพิ่มอัตรากำลังของผู้รับผิดชอบงานด้านการจัดการขยะ ลงพื้นที่เข้าถึงประชาชนเพื่อรับรู้ปัญหา ข้อเสนอแนะที่สำคัญคือ ควรปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดการขยะจากที่ภาครัฐเป็นผู้ดำเนินการหลักมาเป็นรูปแบบที่ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนอย่างแท้จริง โดยประชาชนตระหนักถึงบทบาทและศักยภาพของตนในการจัดการขยะในชีวิตประจำวัน ขณะที่ภาครัฐทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวกโดยให้ความรู้ สนับสนุนทรัพยากร และสร้างแรงจูงใจเพื่อส่งเสริมการจัดการขยะที่ขับเคลื่อนโดยชุมชนอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน / ขยะมูลฝอย / การจัดการขยะ / การวิเคราะห์ SWOT / TOWS Matrix

Factors Affecting Solid Waste Management Behavior and the Guidelines for Solid Waste Management Action Plan: A Case Study of Ban Don Subdistrict Municipality in U-thong District, Suphanburi Province

Orranut Sommaphi, Sukanya Sereenonchai, Noppol Arunrat, and Saranya Sucharitakul

Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Thailand
**Corresponding author: orranut.som@gmail.com*

Abstract

This study investigates household waste management behavior, its influencing factors, and proposes an action plan using the Theory of Planned Behavior. Data were gathered from in-depth interviews with community leaders and public health and environmental officials, and surveys from 101 residents in Ban Don Subdistrict Municipality. Analyses included descriptive statistics, Chi-square tests, Pearson's correlation, and multiple regression. A SWOT analysis and TOWS Matrix were then used to develop targeted strategies for improving waste management practices. The research results revealed that: (1) Overall waste management behavior was moderately appropriate, with social status, participation in related activities, and income significantly associated; (2) Household size, subjective norms and behavioral intention about waste management significantly influenced waste management behavior; (3) The proposed strategies are as follows: The Strengths-Opportunities (SO) strategy is to elevate waste management as a priority on the municipal agenda, increase the frequency of related activities, and allocate budgets for waste management projects. The Weaknesses-Opportunities (WO) strategy is to align policies with legal requirements and expedite the study of waste collection service projects. The Strengths-Threats (ST) strategy is to increase the waste management budget, raise public awareness, and promote community health volunteers as intermediaries to reach the public. The Weaknesses-Threats (WT) strategy is to expand the workforce responsible for waste management and deploy personnel to engage directly with the community to better understand the issues. This study strongly recommends shifting from a government-led approach to a participatory model, where citizens actively contribute to sustainable waste solutions supported by facilitative governance.

Keywords: Theory of Planned Behavior / Solid Waste / Waste Management / SWOT Analysis / TOWS Matrix

1. บทนำ

ปัญหาขยะมูลฝอยเป็นปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งของชุมชนทั่วทุกประเทศ เนื่องจากมีส่วนสัมพันธ์กับความหนาแน่นของประชากร การประกอบอาชีพ และการขยายตัวทางเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบัน การดำเนินการจัดการขยะมูลฝอยในประเทศไทยยังขาดประสิทธิภาพ เนื่องจากหน่วยงานรัฐขาดงบประมาณ ขาดบุคลากร ขาดความรู้ความเข้าใจในการจัดการที่เหมาะสม เกิดความขัดแย้งในการดำเนินการ และการใช้เทคโนโลยีที่ไม่เหมาะสมในการจัดการปัญหาขยะมูลฝอยในครัวเรือน [1] ในส่วนของปริมาณขยะที่มากขึ้นเกิดจากจำนวนประชากร และความต้องการที่มากขึ้นของมนุษย์ ส่งผลให้ในแต่ละวันมนุษย์ผลิตขยะประมาณวันละ 0.5-1 กิโลกรัมต่อวันต่อคน ซึ่งจำนวนประชากรทั่วราชอาณาจักรไทย ปี 2564 รวมทั้งสิ้น 66,171,439 คน [2] ทำให้ในหนึ่งวัน ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตขยะประมาณ 49,628.58 ตันต่อวัน จังหวัดสุพรรณบุรีมีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่มีการดำเนินงานอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ จำนวน 3 แห่ง และสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ดำเนินการไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการจำนวน 22 แห่ง เทศบาลตำบลบ้านดอนมีประชากรรวม 2,116 ครัวเรือน จำนวน 7,443 คน มีปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นในปี 2567 เฉลี่ย 238.7948 ตัน/เดือน ปริมาณขยะอันตราย 510 กิโลกรัม/ปี [3] ในพื้นที่ไม่มีถังขยะสาธารณะ และการกำจัดขยะในครัวเรือนส่วนใหญ่ คือ การเผาในที่โล่ง และลักลอบทิ้งในพื้นที่สาธารณะ การจัดการขยะของเทศบาลตำบลบ้านดอนมีรถเก็บขยะจำนวน 1 คัน แต่ยังไม่ได้ให้บริการจัดเก็บขยะในแถบพื้นที่รับผิดชอบ เนื่องจากปัญหาจำนวนบุคลากรและงบประมาณในการจัดการไม่เพียงพอ และยังไม่สามารถหาสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ดำเนินการถูกต้องได้ [4] ทั้งนี้การจัดการขยะต้องได้รับความร่วมมือจากทุกคนที่เป็นผู้ก่อให้เกิดขยะมูลฝอย และผู้ดำเนินงานจะต้องมีความรู้ความเข้าใจในการจัดการปัญหาขยะมูลฝอยด้วย เพื่อนำไปสู่การจัดการมูลฝอยอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาพฤติกรรม และปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยครัวเรือนของประชาชน เพื่อเสนอแนวทางสู่แผนปฏิบัติการการจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลบ้านดอน อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือนของประชาชน
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการจัดการขยะของประชาชน
3. เพื่อเสนอแนวทางสู่แผนปฏิบัติการการจัดการขยะมูลฝอย

3. ขอบเขตของการศึกษา

3.1 ขอบเขตด้านตัวแปร

1. ตัวแปรต้น คือ ปัจจัยส่วนบุคคล การรับรู้การจัดการขยะมูลฝอย ความรู้เรื่องการจัดการขยะมูลฝอย ทัศนคติต่อพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอย การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิงต่อการจัดการขยะมูลฝอยการรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอย ความตั้งใจในการปฏิบัติพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอย

2. ตัวแปรตาม คือ พฤติกรรมการจัดการขยะของประชาชน

3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

พฤติกรรมการจัดการขยะ และปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการจัดการขยะของคนในชุมชน เทศบาลตำบลบ้านดอน

3.3 ขอบเขตด้านพื้นที่ศึกษา

เทศบาลตำบลบ้านดอน ตั้งอยู่หมู่ที่ 8 ตำบลบ้านดอน อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

3.4 ขอบเขตด้านกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชาชนในพื้นที่เทศบาลตำบลบ้านดอน จำนวน 101 ราย คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มแบบเป็นระบบ

2. ผู้นำชุมชนในพื้นที่เทศบาลตำบลบ้านดอน จำนวน 9 ราย คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง

3. นายกเทศมนตรี หัวหน้าฝ่ายอำนวยการ รักษาราชการแทน ผู้อำนวยการกองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม เจ้าพนักงานธุรการ และผู้ช่วยเจ้าพนักงานธุรการกองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม เทศบาลตำบลบ้านดอน จำนวน 5 ราย คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ เพื่อศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยส่งผลต่อพฤติกรรมการจัดการขยะ และแนวทางสู่แผนปฏิบัติการการจัดการขยะมูลฝอย พื้นที่เทศบาลตำบลบ้านดอน อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี โดยใช้เครื่องมือในการเก็บรวมรวมข้อมูลได้แก่ แบบสอบถาม และแบบสัมภาษณ์เชิงลึก โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มประชาชน กลุ่มผู้นำชุมชน และเจ้าหน้าที่เทศบาลตำบลบ้านดอนที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชน

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การวิจัยนี้วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Statistical Package for Social Science : SPSS) ประกอบด้วย การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติทดสอบไค-สแควร์ (Chi-square test) สถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson correlation) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปร และสถิติวิเคราะห์พหุคูณถดถอยเชิงเส้น (Multiple Linear Regression Analysis) และสำหรับการหาแนวทางที่จะนำไปพัฒนาเป็นแนวทางสู่แผนปฏิบัติการการจัดการขยะมูลฝอยนั้นใช้การวิเคราะห์ SWOT และ TOWS Matrix เพื่อกำหนดออกมาเป็นแนวทางที่เหมาะสมตามกลยุทธ์ประเภทต่าง ๆ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาและอภิปรายผลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ พฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอย ปัจจัยทำนายพฤติกรรม และแนวทางสู่แผนปฏิบัติการการจัดการขยะมูลฝอย ดังนี้

5.1 พฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือนของประชาชน

- ข้อมูลด้านคุณลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 66.3) มีอายุระหว่าง 41-59 ปี (ร้อยละ 48.5) สถานภาพสมรส (ร้อยละ 51) ระดับการศึกษาสูงสุดมัธยมต้น (ร้อยละ 34.7) ส่วนใหญ่มีอาชีพเกษตรกร เช่น ทำนา ปลูกผัก (ร้อยละ 20.8) 7 มีรายได้เฉลี่ยอยู่ที่ 15,734 บาทต่อเดือน และส่วนใหญ่ในครัวเรือนมีจำนวนสมาชิก 3-4 คน โดยกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ในหมู่บ้านที่อาศัยอยู่ปัจจุบันตั้งแต่เกิด (ร้อยละ 76.2) ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ไม่มีตำแหน่งทางสังคม (ร้อยละ 77.2) และไม่เคยเข้าร่วมโครงการ/กิจกรรมที่เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย (ร้อยละ 69.3) โดยช่องทางการรับข้อมูลข่าวสารด้านการจัดการขยะที่ชอบมากที่สุดคือ สื่อสังคมออนไลน์ เช่น Facebook, Line และผ่านหอกระจายข่าว/เสียงตามสาย (ร้อยละ 26.7)

- พฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของกลุ่มตัวอย่างอยู่ในระดับเหมาะสมปานกลาง (Mean = 57.54, SD = 9.641) คิดเป็นร้อยละ 53.50 รองลงมา คือ มีพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสม/ควรปรับปรุง คิดเป็นร้อยละ 28.70 (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับการศึกษาของอนาวิน ภัทรภาคินวรกุล และคณะ [5] ที่พบว่าระดับพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือนของประชาชนกลุ่มชาติพันธุ์ปกาเกอะญอ จังหวัดแม่ฮ่องสอน ในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง ร้อยละ 63.5 และสอดคล้องกับการศึกษาของ

จิราภรณ์ ประธรรมโย [6] ที่พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ ในครัวเรือนของประชาชนชุมชนบ้านคลองไผ่ ตำบลคลองไผ่ อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา มีพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยครัวเรือนอยู่ในระดับปานกลาง ร้อยละ 51.40 ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของอภินัทธ์ นิลสุข [7] ที่พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของครัวเรือนอยู่ในระดับไม่เหมาะสม ร้อยละ 67.7 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ปัจจัยทำนายพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของครัวเรือนในอำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีเพียง 2 ตัวแปร ซึ่งน้อยกว่าปัจจัยทำนายพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของครัวเรือนในพื้นที่เทศบาลตำบลบ้านดอน ที่มี 3 ตัวแปร จึงอาจส่งผลให้ครัวเรือนของประชาชนเทศบาลตำบลบ้านดอน มีพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือนดีกว่าครัวเรือนในอำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามระดับพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของครัวเรือน (n = 101)

พฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของครัวเรือน	จำนวน (ครัวเรือน)	ร้อยละ
ไม่เหมาะสม/ควรปรับปรุง (<52 คะแนน)	29	28.70
เหมาะสมปานกลาง (52 - 69 คะแนน)	54	53.50
ดี/เหมาะสมมาก (70 คะแนนขึ้นไป)	18	17.80
	Mean = 57.54, SD = 9.641, Min = 40, Max = 76	

- ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของครัวเรือน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบสองตัวแปร พบตัวแปรข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล จำนวน 3 ตัวแปร มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอย ในพื้นที่เทศบาลตำบลบ้านดอน ได้แก่ ตำแหน่งทางสังคม (X^2 = 75.202, *p*-value = 0.000) การเข้าร่วมโครงการ/กิจกรรมที่เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย (X^2 = 52.586, *p*-value = 0.000) และรายได้ส่วนบุคคล (r_{xy} = 0.280, *p*-value = 0.005) และพบความสัมพันธ์กันเองระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรอิสระบางตัว ตามที่ปรากฏในตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3

ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบสองตัวแปร พบว่า ผู้ที่มีตำแหน่งทางสังคม เช่น ผู้ช่วยผู้ใหญ่บ้าน หรือ อสม. มีพฤติกรรมอยู่ในระดับเหมาะสมมากถึงร้อยละ 78.30 ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด ทฤษฎีพฤติกรรมตามแผนของ Ajzen [8] ระบุว่า บุคคลที่มีอิทธิพลทางสังคมหรือมีแรงสนับสนุนจากสังคม มักมีแนวโน้มพฤติกรรมเชิงบวกต่อสาธารณะ เนื่องจากค่านิยมและแรงกดดันทางสังคม และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศรินทร์ทิพย์ บุญจันทร์ [9] พบว่าตำแหน่งทางสังคมและการเป็นสมาชิกชมรม มีอิทธิพลทางบวกต่อพฤติกรรมการคัดแยกขยะของแม่บ้าน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับการเข้าร่วมโครงการหรือกิจกรรมเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย มีความสัมพันธ์ทางบวกกับพฤติกรรมการจัดการขยะอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบสองตัวแปร พบว่า ผู้ที่เคยเข้าร่วมกิจกรรมมีพฤติกรรมในระดับเหมาะสมมากถึงร้อยละ 58.10 สอดคล้องกับงานวิจัยของ นภาภรณ์ แวงโสธรณ์ [10] พบว่า การเข้ารับการฝึกอบรมโครงการธนาคารขยะ มีความสัมพันธ์กับความรู้ การมีส่วนรวม และพฤติกรรมในการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับรายได้ส่วนบุคคลมีความสัมพันธ์ทางบวกกับพฤติกรรมการจัดการขยะในครัวเรือนอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าผู้มีรายได้สูงมีแนวโน้มพฤติกรรมที่เหมาะสมกว่า อาจเนื่องมาจากการเข้าถึงทรัพยากรหรือสื่อด้านการจัดการขยะได้ดีกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของบุญส่ง อยู่นุ่น [11] ที่พบว่ารายได้ต่อเดือนมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการจัดการขยะของประชาชนอย่างมีนัยสำคัญทาสถิติ

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของประชาชนด้วยสถิติไคสแควร์ (Chi-Square) (n = 101)

ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล	**จำนวน (ร้อยละ) พฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอย**			**รวม**	X^2	df	*p*-value
	ไม่เหมาะสม	เหมาะสม	เหมาะสมมาก				
เพศ							
ชาย	9	19	6	34	0.147	2	0.929
	(26.50)	(55.90)	(17.60)	(100)			
หญิง	20	35	12	67			
	(29.90)	(52.20)	(17.90)	(100)			
ตำแหน่งทางสังคม							
ไม่มี	29	49	0	78	75.202	2	0.000**
	(37.20)	(62.80)	(0.00)	(100)			
มี	0	5	18	23			
(ผู้ช่วยผู้ใหญ่บ้าน,อสม.)	(0.00)	(21.70)	(78.30)	(100)			
การเข้าร่วมโครงการ/กิจกรรมที่เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย							
ไม่เคยเข้าร่วมกิจกรรมม	28	42	0	70	52.586	2	0.000**
	(40.00)	(60.00)	(0.00)	(100)			
เคยเข้าร่วมกิจกรรม	1	12	18	31			
	(3.20)	(38.70)	(58.10)	(100)			
(โครงการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนในการคัดแยกขยะที่ต้นทางฯ, โครงการจัดการขยะชุมชน)							

หมายเหตุ : ** = Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

ตารางที่ 3 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของประชาชนด้วยสถิติสหสัมพันธ์ (Pearson Correlation) (n = 101)

	เพศ	อายุ	รายได้	จำนวนสมาชิกในครัวเรือน	ผู้มีตำแหน่งทางสังคม	ผู้การเข้าร่วมโครงการ/กิจกรรม	พฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอย
เพศ	1	-.102	-.022	.165	.037	.065	-.001
		(.311)	(.830)	(.099)	(.713)	(.517)	(.992)
อายุ	-	1	-.246*	.124	.035	-.099	-.032
			(.013)	(.218)	(.727)	(.323)	(.752)
รายได้	-	-	1	-.069	.115	.298**	.280**
				(.493)	(.251)	(.003)	(.005)
จำนวนสมาชิกในครัวเรือน	-	-	-	1	.033	-.049	.118
					(.746)	(.627)	(.240)
ผู้มีตำแหน่งทางสังคม	-	-	-	-	1	.816**	.759**
						(.000)	(.000)
ผู้การเข้าร่วมโครงการ/กิจกรรม	-	-	-	-	-	1	.707**
							(.000)
พฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอย	-	-	-	-	-	-	1

หมายเหตุ : * = Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed), ** = Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

5.2 ปัจจัยทำนายพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของครัวเรือน พื้นที่เทศบาลตำบลบ้านดอน

จากการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) พบว่าตัวแปรอิสระทั้งหมดร่วมกันอธิบายความผันแปรของคะแนนพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของครัวเรือนได้ ร้อยละ 73.60 โดยพบปัจจัยที่มีความสัมพันธ์อย่างโดดเด่นและมีนัยสำคัญ จำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ จำนวนสมาชิกในครัวเรือน (b = .993, *p*-value =.024) การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง (b = .532, *p*-value=.001) และความตั้งใจในการปฏิบัติพฤติกรรม (b =.419, *p*-value=.035) ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเส้นตรง (b) ตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปร มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อพฤติกรรมการจัดการขยะ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยทำนายพฤติกรรมการจัดการขยะ ในพื้นที่เทศบาลตำบลบ้านดอน อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี (n = 101)

ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการจัดการขยะ	Unstandardized Coefficients		*t*	*p*-value
	b	Std. Error		
(Constant)	7.872	12.935		.545
จำนวนสมาชิกในครัวเรือน	.993	.431	.138	.024*
การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิงต่อการจัดการขยะมูลฝอย	.532	.154	.404	.001**
ความตั้งใจในการปฏิบัติพฤติกรรม	.419	.195	.234	.035*

หมายเหตุ : R^2 = .812, Adjusted R^2= .736, SEE = 4.957, F = 10.597, * = p-value < 0.05, ** = p-value < 0.01

ผลการวิจัยสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศรินทร์ทิพย์ บุญจันทร์ [12], วริษฐา แสงยางใหญ่ และคณะ [13] และปรเมษฐ ห่วงมิตร [14] ที่สรุปว่า จำนวนสมาชิกในครัวเรือนมีอิทธิพลทางบวกต่อพฤติกรรมการคัดแยกขยะของแม่บ้าน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสอดคล้องกับข้อมูลของผู้วิจัยที่ได้จากการสังเกตขณะลงพื้นที่เก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถาม ซึ่งพบว่า ครัวเรือนส่วนใหญ่ที่มีสมาชิก 1-2 คน มีรูปแบบการจัดการขยะในลักษณะใช้เสร็จแล้วทิ้งกองรวม ไม่คัดแยกขยะ และเมื่อมีปริมาณมาก จึงเผาทิ้งในที่โล่ง โดยผู้ให้ข้อมูลให้เหตุผลว่าปริมาณขยะมีน้อย หากแยกรอขายก็เสียเวลา รวมถึงในครัวเรือนไม่มีสมาชิกที่เป็นต้นแบบในการจัดการขยะ ทำให้รูปแบบการจัดการขยะเป็นแบบดั้งเดิม สำหรับครัวเรือนที่มีสมาชิก 3 คน ขึ้นไป มักพบหัวหน้าครอบครัวที่เป็นต้นแบบในการจัดการขยะ เป็นผู้จัดจัดระเบียบภายในครอบครัว สมาชิกในครอบครัวจะดำเนินตามเป็นกิจวัตรประจำวัน สำหรับการคล้อยตามกลุ่มอ้างอิงต่อการจัดการขยะมูลฝอย ผลการศึกษาสอดคล้องกับแนวคิดของ Ajzen [8] ในทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior) ที่ระบุว่า "subjective norms" หรือแรงกดดันจากสังคมรอบตัว มีอิทธิพลต่อการแสดงพฤติกรรมของบุคคลอย่างมีนัยสำคัญ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Matthies et al. [15] ที่กล่าวว่า พฤติกรรมของผู้ปกครองส่งผลกระทบต่อบรรทัดฐานส่วนตัวของเด็กเกี่ยวกับการรีไซเคิล นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่พูดคุยกับประชาชนขณะเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถาม ถึงเหตุผลของการจัดการขยะในปัจจุบัน ซึ่งพบว่า พฤติกรรมการจัดการขยะของชุมชนในปัจจุบันเป็นการทำตามจากรุ่นสู่รุ่น และตัวแปรความตั้งใจในการปฏิบัติพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอย พบว่าแม้จะมีอิทธิพลน้อยกว่าการคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง แต่ยังคงมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการจัดการขยะในระดับที่มีนัยสำคัญ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปกรณ์เกียรติ หมื่นสิทธิโรจน์ [16] พบว่า ความตั้งใจที่จะแสดงพฤติกรรมการคัดแยกขยะมูลฝอยในครัวเรือนมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการแสดงพฤติกรรมการคัดแยกขยะมูลฝอยในครัวเรือน และสอดคล้องกับทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน [17] ระบุว่าความตั้งใจเชิงพฤติกรรม (Intention) หรือความต้องการพยายามทำพฤติกรรมนั้น ๆ สำหรับพฤติกรรมที่อยู่ภายใต้การควบคุมของบุคคลอย่างเต็มที่ ความตั้งใจเพียงตัวแปรเดียวก็เพียงพอที่จะกระทำพฤติกรรม หมายความว่า ยิ่งบุคคลมีความตั้งใจแน่วแน่ในการทำพฤติกรรม บุคคลมี

แนวโน้มที่จะทำพฤติกรรมนั้น แต่สำหรับพฤติกรรมที่บุคคลประสบปัญหาในการควบคุม ความตั้งใจเพียงตัวแปรเดียวอาจไม่เพียงพอที่จะใช้ทำนายพฤติกรรมได้อย่างแม่นยำ อาจมีปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลต่อความสัมพันธ์ระหว่างความตั้งใจกับพฤติกรรม ปัจจัยเหล่านี้อาจเป็นโอกาสหรือทรัพยากร เช่น เวลา ทักษะ ความร่วมมือจากผู้อื่น เป็นต้น

5.3 แนวทางสู่แผนปฏิบัติการการจัดการขยะมูลฝอย

ผลการวิเคราะห์ SWOT Analysis และ TOWs Matrix ประกอบด้วย 4 กลยุทธ์ ดังนี้ (ตารางที่ 5 และตารางที่ 6)

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ปัจจัยภายใน - ปัจจัยภายนอก การจัดการขยะมูลฝอยของประชาชน (SWOT Analysis)

จุดแข็ง (Strengths)	จุดอ่อน (Weakness)
S1 มีงบประมาณในการบริหารจัดการขยะมูลฝอย เช่น จัดทำโครงการให้ความรู้แก่ประชาชนต่อเนื่องทุกปี S2 ประชาชนมีความสัมพันธ์แบบระบบเครือญาติ S3 มีคณะกรรมการจัดการขยะในชุมชน S4 สื่อประชาสัมพันธ์เสียงตามสายครอบคลุมทุกหมู่บ้าน S5 มีรถเก็บขยะเป็นของเทศบาลเอง S6 ประชาชนมีความรู้ และวิธีการกำจัดขยะเป็นของตัวเอง S7 มีการอบรมทุกปี เกี่ยวกับการจัดการขยะ S8 มีนโยบายการจัดการขยะชุมชน S9 ประชาชนให้ความร่วมมือกับเทศบาลตำบลบ้านดอน และผู้นำชุมชน S10 ปริมาณขยะที่รอการกำจัดมีน้อย S11 มีการคัดแยกขยะที่ต้นทางเบื้องต้น S12 อสม.เข้าถึงลูกบ้านทุกหลังคาเรือน S13 เกือบทุกหลังคาเรือนมีสัตว์เลี้ยงทำให้ขยะประเภทเศษอาหารมีน้อย	W1 จำนวนบุคลากรที่ปฏิบัติงานด้านการจัดการขยะไม่เพียงพอ W2 ยังไม่มีการกำหนดให้มีเจ้าหน้าที่รับผิดชอบด้านการลด และคัดแยกขยะโดยเฉพาะ W3 ถังขยะไม่เพียงพอ ไม่มีถังขยะแยกประเภท W4 ประชาชนส่วนใหญ่ขาดจิตสำนึกและไม่มีวินัยในการทิ้งขยะ มีการทิ้งขยะลงในที่และทางสาธารณะ W5 ครัวเรือนขาดความรู้เกี่ยวกับวิธีการแยก และกำจัดขยะ W6 ครัวเรือนไม่ให้ความสำคัญ และมีส่วนร่วมน้อยในการคัดแยกขยะ W7 ไม่มีสถานที่รับกำจัดขยะมูลฝอย W8 ไม่มีการจัดการขยะที่เป็นรูปธรรม W9 ประชาชนไม่เชื่อมั่นในการดำเนินงาน/กิจกรรมของเทศบาล W10 ไม่มีกฎระเบียบกติกาในการจัดการขยะที่ชัดเจนในชุมชน W11 ครัวเรือนยังขาดจิตสำนึกในการกำจัดขยะครัวเรือน กำจัดขยะตามวิถีเดิม ๆ เช่น เผา หรือแอบทิ้งในพื้นที่สาธารณะ เป็นต้น W12 ประชาชนไม่ทำตามในสิ่งที่ได้รับการอบรมไป W13 เทศบาลต้องการให้แต่ละครัวเรือนจัดการขยะของตนเอง W14 มีรถเก็บขยะของเทศบาล แต่ไม่ได้ใช้งาน
โอกาส (Opportunities)	**อุปสรรค (Threats)**
O1 จังหวัดสุพรรณบุรี มีแผนปฏิบัติการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน "จังหวัดสะอาด" O2 นโยบายภาครัฐด้านการจัดการขยะชุมชนในทุกระดับสอดคล้องกัน O3 มีงบประมาณจัดทำโครงการจัดการขยะชุมชนทุกปี O4 ได้รับความร่วมมือจากหน่วยงานภายนอกในการสนับสนุนงบประมาณการจัดทำโครงการจัดการขยะ O5 ประชาชนส่วนใหญ่เข้าถึงเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้มีช่องทางการสื่อสารมากขึ้น O6 ผู้นำทุกชุมชน วัด โรงเรียน พร้อมให้ความร่วมมือ ต่อกิจกรรมการจัดการขยะ O7 พื้นที่ในชุมชนมีสภาพอากาศแบบร้อนชื้น สามารถทำระบบบำบัดขยะอินทรีย์เพื่อขายได้ O8 พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นทุ่งนา ไร่ สวน อยู่ห่างไกลหมู่บ้าน สามารถจัดสรรพื้นที่ทำที่เผาขยะที่ถูกต้องตามกฎหมายได้ O9 ในอำเภออู่ทองยังไม่มีเทศบาลหรือตำบลใดมีผลงานการจัดการขยะที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม หากเทศบาลตำบลบ้านดอนทำได้ จะเป็นเทศบาลต้นแบบด้านการจัดการขยะได้ O10 มีรถเก็บขยะเป็นของเทศบาลเอง O11 ประชาชนให้ความร่วมมือในการจ่ายเงินเพื่อให้มีรถมาเก็บขนขยะ O12 มีคนรับซื้อของเก่าในพื้นที่ชุมชน	T1 งบประมาณที่ได้รับการจัดสรรสนับสนุนจากรัฐบาลยังไม่เพียงพอ T2 การจัดสรรงบประมาณและระยะเวลาการเบิกจ่ายไม่เหมาะสมกับเวลาดำเนินการ T3 การแก้ไขปัญหาที่ต้องขอความร่วมมือจากหน่วยงานอื่น บางครั้งมีความล่าช้าไม่สามารถตอบสนองความต้องการของประชาชนได้ทันเวลา T4 พื้นที่เทศบาลตำบลบ้านดอนส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ทางการเกษตร ไม่เหมาะที่จะจัดทำบ่อขยะ หรือพื้นที่กำจัดขยะ T5 ประชาชนบางส่วนคุ้นชินกับการทิ้งขยะแบบรวมแม้จะมีการอบรมการแยกขยะที่ต้นทางก็ยังไม่ปฏิบัติตาม T6 เทศบาลขาดบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านการจัดการขยะ T7 กฎหมายการลงโทษผู้ที่แอบทิ้งขยะในที่สาธารณะไม่เข้มแข็ง ทำให้คนทำผิดไม่กลัว T8 ประชาชนขาดความรู้เรื่องโทษทางกฎหมายและสุขภาพ เมื่อมีการกำจัดขยะแบบเผา T9 เมื่อไม่มีรถเก็บขยะ และถังขยะให้ประชาชน จึงต้องใช้วิธีดั้งเดิมในการกำจัดขยะ T10 บ่อขยะที่ถูกกฎหมายอยู่ห่างไกลพื้นที่ชุมชน

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์กลยุทธ์การบริหารจัดการขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลบ้านดอน อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ด้วยเทคนิค TOWS matrix

กลยุทธ์เชิงรุก (SO)	กลยุทธ์เชิงแก้ไข (WO)
S8+O1+O2 : ยกระดับการจัดการขยะในเทศบัญญัติ เพื่อเป็นวาระของเทศบาลฯ โดยดำเนินการให้สอดคล้องและครอบคลุมกับกฎหมายการจัดการขยะอย่างเป็นรูปธรรม S1+S3+O3+O4 : เพิ่มงบประมาณด้านการจัดการขยะ และจัดสรรบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถเฉพาะทาง ให้เพียงพอต่อการดำเนินการจัดการขยะ S1+S8+O3+O4 : จัดโครงการ/กิจกรรมด้านการจัดการขยะเพื่อแก้ไขปัญหาในพื้นที่อย่างตรงจุด โดยบูรณาการความร่วมมือจากหน่วยงานภายนอก ทั้งภาครัฐ และเอกชน ในการบริหารจัดการและสนับสนุนงบประมาณเพิ่มเติม S2+S4+S12+O5 : ประชาสัมพันธ์ข่าวสาร ความรู้ ประโยชน์ โทษทางกฎหมาย และสุขภาพเกี่ยวกับการจัดการขยะอย่างสม่ำเสมอ ผ่านช่องทางเสียงตามสายที่มีทุกหมู่บ้าน ผ่านระบบเครือญาติ และระบบอินเทอร์เน็ต S1+S9+S11+O3+O4+O7 : เนื่องจากพื้นที่ภายในชุมชนส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตร เช่น ทำนา ทำไร่ และมีพื้นที่เพียงพอโดยรวมกลุ่มผู้นำชุมชนและประชาชนในพื้นที่เพื่อจัดทำโครงการ เช่น ปุ๋ยจากขยะที่ย่อยสลายได้ เพื่อใช้ประโยชน์และสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน โดยเทศบาลฯ เป็นผู้สนับสนุนโครงการทั้งด้านงบประมาณ และการอบรม S5+S9+S11+O3+O10+O11 : จัดทำประชาพิจารณ์โครงการบริการจัดเก็บขยะมูลฝอยครัวเรือน เพื่อลดการกำจัดขยะด้วยการเผาในที่โล่ง หรือการลักลอบทิ้งในพื้นที่สาธารณะ และใช้ประโยชน์รถเก็บขยะของเทศบาลที่มีอยู่ S3+S8+S9+O6 : ผู้นำชุมชน และประชาชน ร่วมเป็นคณะกรรมการจัดการขยะชุมชน เพื่อเป็นตัวแทนของชุมชน ในการบริหารจัดการด้านสิ่งแวดล้อมให้สอดคล้องกับปัญหาในพื้นที่ และเกิดประสิทธิภาพ S9+O1+O2+O6 : ผู้นำชุมชน และ ประชาชนร่วมทำงานกับภาครัฐ เพื่อสร้างผลงานการจัดการขยะที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มุ่งสู่ชุมชนต้นแบบด้านการบริหารจัดการขยะและเมืองน่าอยู่อย่างยั่งยืน	W2+W4+W5+W6+W10+O1+O2+O3+O4 : จัดทำแผนปฏิบัติการการดำเนินงานด้านการจัดการขยะ ให้สอดคล้องกับแผนปฏิบัติการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน "จังหวัดสะอาด" และสอดคล้องกับสภาพปัญหาในพื้นที่ปัจจุบัน W7+W12+W13+O1+O3+O10+O11 : เร่งศึกษาโครงการบริการจัดเก็บขยะมูลฝอยครัวเรือน และจัดหาสถานที่รับกำจัดขยะมูลฝอย ที่ถูกกฎหมาย W4+W6+W7+W8+O1+O3+O4+O6+O7 : พัฒนาโครงการ/กิจกรรมด้านการจัดการขยะที่เป็นรูปธรรม โดยใช้ข้อดีของสภาพภูมิอากาศ และลักษณะทางภูมิประเทศ เช่น โครงการหมักขยะอินทรีย์เพื่อทำปุ๋ย เป็นต้น เพื่อสร้างรายได้ให้กับชุมชน และลดปริมาณขยะที่กำจัดอย่างไม่ถูกต้อง W3+W8+O4 : ร่วมมือกับหน่วยงานเอกชนภายนอก เช่น บริษัทฯ ขุดเจาะน้ำมัน ของบสนับสนุนด้านการจัดการขยะ เช่น จัดซื้อถังขยะมูลฝอย W9+O5 : รายงานผลการดำเนินโครงการ/กิจกรรม การจัดการขยะแต่ละขั้นตอนให้ประชาชนรับทราบ เพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้กับประชาชน W1+W2+O1+O2+O3 : จัดหาบุคลากรที่มีความชำนาญในด้านการจัดการขยะ และผู้นำด้านการจัดการขยะจากทุกระดับในชุมชน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้กับกองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมเทศบาลตำบลบ้านดอน W4+W10+W12+O1+O2+O6 : บังคับใช้กฎหมายเกี่ยวกับการจัดการขยะชุมชนในการดำเนินการต่อผู้กระทำผิดทางกฎหมายอย่างจริงจัง W4+W5+W6+O3+O4+O5 : ส่งเสริมความรู้เกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอย ให้ประชาชนรับทราบผ่านสื่อสังคมออนไลน์ การอบรมจากภายในและภายนอก, ตัวอย่างครัวเรือนต้นแบบ เพื่อส่งเสริมให้ประชาชนจัดการขยะภายในครัวเรือนมากที่สุด W1+W9+O2+O6 : ผู้นำชุมชนร่วมวางแผนพัฒนาท้องถิ่นของเทศบาลฯ ให้สอดคล้องกับสภาพปัญหาในพื้นที่ เพื่อแก้ไขปัญหาให้ตรงจุด
กลยุทธ์เชิงป้องกัน (ST)	**กลยุทธ์เชิงรับ (WT)**
S1+S8+T1+T2 : เพิ่มงบประมาณด้านการส่งเสริมสาธารณสุข และพัฒนาคุณภาพชีวิตประจำปีให้มากขึ้น เพื่อนำไปแก้ไขปัญหาด้านการจัดการขยะของพื้นที่ นอกเหนือจากการอบรมประจำปี S3+S8+S9+T1+T2 : ระดมทุนจากหน่วยงานภายนอก เพื่อจัดทำโครงการด้านการจัดการขยะ เช่น โครงการจัดตั้งกลุ่มแปรรูปขยะ โครงการอบรมให้ความรู้ โครงการจัดซื้อถังขยะ โครงการจัดเก็บขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลในทุกหมู่บ้าน เป็นต้น S5+S8+S9+S10+S11+T9+T10 : จัดทำนโยบายและแผนการดำเนินงาน เพื่อจัดตั้งสถานีเก็บขยะกลางหรือระบบเก็บขยะชุมชน เนื่องจากสภาพพื้นที่ของชุมชนเป็นพื้นที่ทางการเกษตรไม่ใช่พื้นที่อุตสาหกรรม ดังนั้นคาดว่าปริมาณขยะที่เกิดขึ้นต่อวันจึงมีปริมาณน้อย รวมทั้งลักษณะพื้นที่ไม่ใช่ชุมชนแออัด จึงมีพื้นที่เพียงพอต่อการดำเนินการจัดทำสถานีเก็บขยะกลางที่ดำเนินการสอดคล้องกับกฎหมาย S1+S3+S8+T6 : จ่ายค่าตอบแทนคณะกรรมการจัดการขยะชุมชนที่ปฏิบัติงานด้านการจัดการขยะ เพื่อสร้างแรงจูงใจในการปฏิบัติงาน S2+S4+S9+S12+T5+T7+T8 : สื่อสารข้อมูลข่าวสารการดำเนินงานด้านการจัดการขยะทั้งเรื่องการดำเนินโครงการ การจัดการ ผลกระทบ และกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะ ให้ประชาชนรับทราบครอบคลุมทุกหมู่บ้าน วัด และโรงเรียนอย่างต่อเนื่อง ผ่านช่องทางเสียงตามสาย สื่อสังคมออนไลน์ โดยผู้บริหารหรือบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถเฉพาะทาง สื่อสารผ่านเครือญาติ หรือโดยทีม อสม. ที่เข้าถึงทุกหลังคาเรือน เพื่อสร้างความรู้ และความเชื่อมั่นให้กับประชาชน S3+S6+S8+S9+T5+T8+T9 : ผู้นำชุมชน ร่วมเสนอโครงการที่ตอบสนองความต้องการต่อภาคประชาชนมากที่สุด จัดทำโครงการและกิจกรรมด้านการจัดการขยะ ในฐานะตัวแทนภาคประชาชน	W3+W4+W7+W8+T1+T2+T5+T9 : เพิ่มงบประมาณด้านการจัดการขยะจากแผนพัฒนาท้องถิ่นประจำปีให้มากขึ้น เพื่อเร่งจัดทำโครงการบริการจัดเก็บขยะมูลฝอยครัวเรือน จัดหาสถานที่รับกำจัดขยะมูลฝอยที่ถูกกฎหมาย สถานีแยกขยะ หรือสถานที่พักคอยขยะ เพื่อลดการกำจัดขยะด้วยการเผาในที่โล่ง และลักลอบทิ้งในที่สาธารณะ W1+W2+T6+T8 : เพิ่มอัตรากำลังของนักวิชาการด้านสิ่งแวดล้อม กองงานสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม เพื่อรับผิดชอบงานด้านการจัดการขยะโดยเฉพาะ W4+W5+W6+W9+W10+W11+T5+T6+T8 : ทบทวนแผนการดำเนินงานด้านการจัดการขยะประจำปี เพื่อปรับปรุงการดำเนินโครงการ/กิจกรรม ให้สร้างความรู้, จิตสำนึก และการมีส่วนร่วม โดยมีการประเมินผลหลังจบกิจกรรม W3+W7+W12+W13+T8+T9+T10 : ส่งเสริมและสนับสนุนให้แต่ละครัวเรือนมีการจัดการขยะด้วยตนเองอย่างถูกต้องตามกฎหมายให้มากที่สุด ทั้งนี้หากขยะที่ครัวเรือน ไม่สามารถจัดการได้แล้ว ต้องจัดหาถังขยะ และรถเก็บขน ไปกำจัดอย่างถูกต้อง W1+W2+W9+T5+T6+T8 : ดำเนินโครงการด้านการจัดการขยะ โดยเจ้าหน้าที่กองสาธารณสุขฯ ที่มีความรู้ความชำนาญ และผู้นำชุมชนในพื้นที่ต้องลงพื้นที่ เพื่อติดตามผลการดำเนินงาน และแก้ไขปัญหาในการดำเนินโครงการครั้งต่อไป W1+W4+W5+W6+W9+T5+T6+T8 : สื่อสาร/ประชาสัมพันธ์โดยการอธิบายอย่างมีเหตุผลสำหรับโทษทางสุขภาพ และการกระทำที่ขัดกับข้อกฎหมาย และระเบียบด้านการสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม โดยใช้ถ้อยคำที่ไม่ซับซ้อน ใช้ภาษาที่เข้าใจง่ายชัดเจนและตรงประเด็น ให้ประชาชนรับทราบ ผ่านหอกระจายข่าวชุมชน และป้าย W4+W10+T7 : หากมีผู้ใดกระทำความผิดตามข้อกฎหมาย และระเบียบด้านการสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม ให้ดำเนินการลงโทษตามกฎหมายอย่างเคร่งครัด

	W1+W4+W6+W11+T5+T9 : ผู้นำชุมชน มีบทบาทในการเป็นแบบอย่างที่ดีในการจัดการขยะมูลฝอย เพื่อสร้างแรงจูงใจและกระตุ้นให้สมาชิกในชุมชนตระหนักถึงความสำคัญของการลด คัดแยก และกำจัดขยะอย่างถูกวิธี W3+W5+W9+T5+T8+T9 : ผู้นำชุมชน ทำหน้าที่เป็นตัวแทนของภาคประชาชนในการสะท้อนปัญหา เสนอแนวทางแก้ไข และติดตามผลการดำเนินงานด้านการจัดการขยะร่วมกับหน่วยงานภาครัฐหรือองค์กรที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้การแก้ไขปัญหาขยะมูลฝอยมีความต่อเนื่องและสอดคล้องกับบริบทของชุมชนอย่างแท้จริง

เอกสารอ้างอิง

[1] ธงชัย ทองทวี. (2553). *สภาพปัญหาการจัดการขยะมูลฝอย องค์การบริหารส่วนตำบลหนองขาม อำเภอจักราช จังหวัดนครราชสีมา* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น].

[2] สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง. (2564). *รายงานสถิติประชากรประจำปี 2564*. กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย.

[3] กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม เทศบาลตำบลบ้านดอน. (2568). *รายงานผลการดำเนินงานด้านการจัดการขยะมูลฝอย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568*. เทศบาลตำบลบ้านดอน.

[4] อธิศนันท์ สิงหเมธาพัฒน์, "การสื่อสารส่วนบุคคล," สัมภาษณ์ส่วนบุคคล, 20 ธันวาคม 2564.

[5] อนาวิน ภัทรภาคินวรกุล, ทัศน์กร อินทจักร์, และปรภัทร คงศรี. (2566). ปัจจัยทำนายพฤติกรรมการจัดการลดขยะมูลฝอยครัวเรือนของประชาชนกลุ่มชาติพันธุ์ปกาเกอะญอ จังหวัดแม่ฮ่องสอน. *วารสารเทคโนโลยีภาคใต้, 16*(1), 88–98.

[6] จิราภรณ์ ประธรรมโย. (2566). ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้กับพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือนของประชาชนชุมชนบ้านคลองไผ่. *วารสารมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล, 36*(2), 74-88.

[7] อภินัทธ์ นิลสุข. (2565). *ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของครัวเรือน ในอำเภอทับสะแก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์.* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต].

[8] Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211. https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T

[9] ศรินทร์ทิพย์ บุญจันทร์. (2561). ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการคัดแยกขยะของแม่บ้าน ในตำบลบึงพระ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก. *วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, 12*(1), 180–190.

[10] นภาภรณ์ แวงโสธรณ์. (2553). *ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้และการมีส่วนร่วมของประชาชนในการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนกับพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอย: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลบ้านแพง จังหวัดนครพนม* (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.

[11] บุญส่ง อยู่นุ่น. (2566*). พฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือนของประชาชน ตำบลคูหาใต้ อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา. เอกสารเผยแพร่ผลงานวิชาการ. สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสงขลา.* ปีงบประมาณ 2567.

[12] ศรินทร์ทิพย์ บุญจันทร์. (2561). ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการคัดแยกขยะของแม่บ้าน ในตำบลบึงพระ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก. *วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, 12*(1), 180–190

[13] วริษฐา แสงยางใหญ่, ศรีรัตน์ ล้อมพงศ์, & บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์. (2560). ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการลดขยะครัวเรือนของประชาชนในเขตเทศบาลจังหวัดสมุทรปราการ. *วารสารสาธารณสุขมหาวิทยาลัยบูรพา, 12*(1), 76–87

[14] ปรเมษฐ ห่วงมิตร. (2550). *พฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยของประชาชนในเขตลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร* (ปัญหาพิเศษรัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการบริหารทั่วไป, วิทยาลัยการบริหารรัฐกิจ, มหาวิทยาลัยบูรพา).

[15] Matthies, E., Selge, S., & Klöckner, C. A. (2012). The role of parental behaviour for the development of behaviour specific environmental norms – The example of recycling and re-use behaviour. *Journal of Environmental Psychology, 32*(3), 277–284. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2012.04.003

[16] ปกรณ์เกียรติ หมื่นสิทธิโรจน์. (2564). *การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการคัดแยกขยะมูลฝอยในครัวเรือนและผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการจัดการขยะมูลฝอย กรณีศึกษาโครงการอาคารชุดบ้านเอื้ออาทรบางโฉลง นิติบุคคล 1 จังหวัดสมุทรปราการ* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[17] ปิยภรณ์ อภิฐานฐิติ. (2551). *การศึกษาทัศนคติ การคล้อยตามกลุ่มอ้างอิง การรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม ความตั้งใจเชิงพฤติกรรม และพฤติกรรมการให้บริการ (กิจกรรม CARE): กรณีศึกษาพนักงานบริษัทประกันวินาศภัย* [การค้นคว้าอิสระปริญญาศิลปะศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาจิตวิทยาอุตสาหกรรมและองค์การ, คณะศิลปศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์].

เกมและสถานการณ์จำลองเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้เกี่ยวกับมูลค่าบริการของระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่ถ้ำเขาช้างหาย จังหวัดตรัง

ณกุลกานต์ สิงห์เหาะ[1], พิณอัญญา เตชะธนะชัย[1], ชินพัฒน์ สะตะ[1], ภูมิพัฒน์ ศรีเสวก[1], พิชญดา เตียวเจริญ[1], และ พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา[1,2*]

[1]ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย
[2]ศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย
* Corresponding author: pongchai.d@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ถ้ำเขาช้างหาย จังหวัดตรัง มีความสำคัญในด้านบริการของระบบนิเวศ โดยเฉพาะเศรษฐกิจท้องถิ่น อย่างไรก็ตาม ประชาชนในพื้นที่ยังคงขาดความตระหนักรู้เกี่ยวกับคุณค่าของระบบนิเวศดังกล่าว ดังนั้น การสร้างเครื่องมือเพื่อส่งเสริมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้เกี่ยวกับคุณค่าของบริการระบบนิเวศนี้จึงมีความจำเป็น โดยเกมและสถานการณ์จำลองถือเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่สามารถนำมาใช้เพื่อช่วยให้เกิดความเข้าใจถึงความซับซ้อนของระบบนิเวศมากยิ่งขึ้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเกมและสถานการณ์จำลองที่เป็นตัวแทนของระบบนิเวศถ้ำดังกล่าวข้างต้น เพื่อนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้เกี่ยวกับบริการของระบบนิเวศ มูลค่าบริการของระบบนิเวศ และความหลากหลายทางชีวภาพ กระบวนการสร้างแบบจำลองประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้น ได้แก่ การกำหนดวัตถุประสงค์และสร้างแผนภาพตัวแทนระบบ การสร้างแบบจำลองและแบบทดสอบความรู้ก่อนและหลังการใช้แบบจำลอง และการทดสอบเบื้องต้นร่วมกับนิสิตระดับปริญญาตรีและปริญญาโท ผู้วิจัยได้สร้างเกมและสถานการณ์จำลองในรูปแบบบอร์ดเกมโดยประยุกต์ใช้แนวคิดจากเกมเศรษฐี อุปกรณ์ประกอบด้วยบอร์ดเกมที่มีช่องทำกิจกรรมต่าง ๆ การ์ดความหลากหลาย การ์ดกิจกรรม ใบความรู้ และแบบทดสอบวัดความรู้ เกมนี้เหมาะสำหรับผู้เล่น 4-6 คนต่อกลุ่ม ใช้เวลาเล่นประมาณ 50 นาที ผลการทดสอบกับนิสิตจำนวนทั้งสิ้น 3 ครั้ง พบว่าเกมนี้สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ได้ และมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงเกม หลังจากนี้ผู้วิจัยจะนำแบบจำลองนี้ไปใช้กับกลุ่มผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในพื้นที่ ได้แก่ ชาวบ้าน องค์การบริหารส่วนตำบล นักเรียน ครู และนักท่องเที่ยว เพื่อส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับคุณค่าบริการของระบบนิเวศ และหาแนวทางการอนุรักษ์ระบบนิเวศถ้ำอย่างมีส่วนร่วมต่อไป

คำสำคัญ: การอนุรักษ์ / ความหลากหลายทางชีวภาพ / แบบจำลอง / มูลค่าบริการของระบบนิเวศ / ระบบนิเวศถ้ำ

Gaming and Simulations for Collective Learning on the Value of Ecosystem Services and Biodiversity at Khao Chang Hai Cave, Trang Province

Nakulkan Singhoah[1] Pinanyar Teachatanachai[1] Chinnapat Sata[1] Poomipat Sreesawake[1]
Phichayada Teawchalearn[1], and Pongchai Dumrongrojwatthana[1,2*]

[1] Department of Biology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.
[2] Center of Learning Network for the region, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.
**Corresponding author: pongchai.d@chula.ac.th*

Abstract

Khao Chang Hai Cave, Trang Province, is importance area for ecosystem services, particularly local economy. However, the local people still unaware of the value of this ecosystem. Consequently, it is necessary to create a tool for collective learning on the value of ecosystem services provided by this cave ecosystem. Gaming and simulations have been proved to be used to enhance understanding of a complex ecosystems. Therefore, this study aims to create a gaming and simulation that represents the cave ecosystem mentioned earlier. It will be used as a tool for knowledge sharing about ecosystem services, value of ecosystem services, and biodiversity found around the cave ecosystem. The modelling process consists of three main steps: defining objectives and creating a conceptual diagram, constructing the model along with pre- and post- tests, and conducting an initial trial with undergraduate and graduate students. A gaming and simulation was created in form of a board game inspired by the Monopoly game concept. The equipment includes a game board with activity spaces, diversity cards, activity cards, informational documents, and pre- and post- tests. This game is suitable for 4-6 players per group and requires approximately 50 minutes to complete. Preliminary testing results with three student groups showed that the game can serve as a tool for shared learning. Suggestions to improve the game were provided. For future studies, participatory gaming and simulation field workshops will be conducted with local stakeholders, including villagers, staffs from subdistrict administrative organization, students, teachers, and tourists, to facilitate mutual understanding about the value of ecosystem services and biodiversity in this cave ecosystem, as well as co-identify sustainable conservation strategies.

Keywords: Biodiversity / Cave ecosystem / Conservation / Model / Value of ecosystem services

1. บทนำ

ระบบนิเวศเขาหินปูนมีลักษณะภูมิประเทศเป็นเนินเขาสูงชัน เกิดจากการกัดเซาะของน้ำบนหินปูน ทำให้เกิดถ้ำและพื้นที่ต่าง ๆ ที่มีคุณลักษณะเฉพาะ ระบบนิเวศนี้มีความสำคัญทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรน้ำ โดยเฉพาะแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่เขาหินปูนที่มีคุณภาพดีและเป็นแหล่งน้ำสำคัญสำหรับประชากรหลายประเทศ [1] นอกจากนี้ ระบบนิเวศเขาหินปูนยังประกอบด้วยป่าไม้ที่สำคัญ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีฝนตกชุก ป่าไม้ในพื้นที่เหล่านี้มักประกอบด้วยพืชที่มีการปรับตัวพิเศษ เช่น การพัฒนารากลึกเพื่อดูดซับแร่ธาตุจากดินที่มีแคลเซียมสูง การกักเก็บน้ำในลำต้น และการปรับโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาเพื่อให้สามารถทนทานต่อความแห้งแล้งและดินที่ขาดธาตุอาหาร [2]

นอกจากนี้ ลักษณะเด่นของระบบนิเวศเขาหินปูนคือการมีระบบนิเวศถ้ำ ซึ่งเกิดจากการกัดเซาะของน้ำบนหินปูน พื้นที่ภายในถ้ำมีลักษณะทางกายภาพและชีวภาพที่แตกต่างจากภายนอก เช่น ขาดแสงสว่าง อุณหภูมิคงที่ตลอดทั้งปี และความชื้นสูง สิ่งมีชีวิตในถ้ำต้องปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่มืดและแหล่งอาหารที่จำกัด เช่น ค้างคาวที่ใช้การสะท้อนเสียงหรือสัตว์น้ำจืดที่สามารถดำรงชีวิตในที่มืด ระบบนิเวศถ้ำจึงมีห่วงโซ่อาหารที่จำกัดและซับซ้อน [3] ความเปราะบางของระบบนิเวศถ้ำทำให้เสี่ยงต่อการถูกทำลายจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การท่องเที่ยวที่ขาดการควบคุม หรือการขาดมาตรการในการดูแลพื้นที่ ซึ่งอาจทำลายโครงสร้างทางกายภาพของถ้ำและที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตภายใน

พื้นที่ถ้ำเขาช้างหาย ตำบลนาหมื่นศรี อำเภอเมืองตรัง จังหวัดตรัง เป็นหนึ่งในระบบนิเวศที่มีลักษณะดังกล่าว โดยมีพื้นที่ประมาณ 95 ไร่ และเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่ได้รับความนิยมสูงในจังหวัดตรัง มีนักท่องเที่ยวจำนวนมากมาเยือนในแต่ละปี ซึ่งสร้างรายได้ให้กับชุมชนท้องถิ่น ถ้ำเขาช้างหายยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตที่หายากและเฉพาะถิ่นหลายชนิด จึงเป็นแหล่งอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพที่สำคัญ โดยมีสัตว์ถ้ำต่าง ๆ เช่น มด แมงมุม ไร กิ้งกือ ด้วง แมลงหางดีด ค้างคาว หอย และแมงกระดานถ้ำ ดังนั้น การอนุรักษ์พื้นที่นี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อรักษาความหลากหลายทางชีวภาพและลักษณะเฉพาะของระบบนิเวศนี้ให้ยั่งยืน โดยต้องเริ่มต้นจากการให้ความรู้แก่ประชาชนในพื้นที่เกี่ยวกับคุณค่าและมูลค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบนิเวศ เพื่อเสริมสร้างความรักและความหวงแหนในทรัพยากรธรรมชาติ พร้อมทั้งส่งเสริมการร่วมมือในการอนุรักษ์ให้เกิดผลยั่งยืนในระยะยาว ทั้งนี้ จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่าประชาชนในพื้นที่รอบถ้ำเขาช้างหายยังขาดความรู้และความตระหนักถึงความสำคัญและคุณค่าของระบบนิเวศถ้ำและพื้นที่โดยรอบ จึงควรมีการให้ความรู้แก่ประชาชนและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกลุ่มต่าง ๆ

แบบจำลองเชิงบูรณาการในรูปแบบเกมและสถานการณ์จำลอง (gaming and simulation) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่มีความเหมาะสมสำหรับการแลกเปลี่ยนเรียนรู้เกี่ยวกับคุณค่าบริการของระบบนิเวศ โดยมีงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าเกมและสถานการณ์จำลองช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ผ่านการสร้างภาพความเข้าใจระบบร่วมกัน (common representation) โดยการบูรณาการองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และศาสตร์อื่น ๆ และช่วยให้ผู้มีส่วนร่วมสามารถตัดสินใจในการแก้ปัญหาระบบนิเวศที่ซับซ้อนได้ [4] ในประเทศไทยมีตัวอย่างการใช้เกมและสถานการณ์จำลองในการเรียนรู้และจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีส่วนร่วม เช่น การใช้แบบจำลองเชิงบูรณาการเพื่อเรียนรู้บริการของระบบนิเวศป่าปลูกในจังหวัดน่าน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การใช้แบบจำลองเชิงบูรณาการในรูปแบบเกมและสถานการณ์จำลองช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ และวางแผนการจัดการทรัพยากรร่วมกันได้อย่างชัดเจน โดยการจำลองสถานการณ์ทำให้ผู้เข้าร่วมได้รับความรู้เกี่ยวกับบริการของระบบนิเวศในป่าปลูก และเข้าใจบทบาทของป่าปลูกเมื่อมีการจัดการที่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดแผนการดูแลและการใช้ประโยชน์ป่าปลูกที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในอนาคต [5]

จากความจำเป็นในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และศักยภาพในการใช้เกมและสถานการณ์จำลองดังกล่าวข้างต้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเกมและสถานการณ์จำลองที่เป็นตัวแทนของระบบนิเวศถ้ำเขาช้างหาย เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการ

แลกเปลี่ยนเรียนรู้เกี่ยวกับความสำคัญของถ้ำในการให้บริการของระบบนิเวศ และนำเสนอมูลค่าที่เกิดจากระบบนิเวศดังกล่าว รวมถึงความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่ โดยเกมที่พัฒนาขึ้นจะถูกนำไปใช้ร่วมกับประชาชนและหน่วยงานที่เกี่ยวเกี่ยวข้องในพื้นที่ถ้ำเขาช้างหาย ตลอดจนนำไปประยุกต์ใช้กับหน่วยงานที่สนใจต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างเกมและสถานการณ์จำลองสำหรับการแลกเปลี่ยนเรียนรู้เกี่ยวกับบริการของระบบนิเวศ มูลค่าบริการของระบบนิเวศ และความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่ถ้ำเขาช้างหาย จังหวัดตรัง

3. ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองในรูปแบบเกมและสถานการณ์จำลองที่สามารถใช้แลกเปลี่ยนเรียนรู้เกี่ยวกับคุณค่าและมูลค่าบริการของระบบนิเวศ และความหลากหลายชนิดของสิ่งมีชีวิตที่พบได้ในพื้นที่ถ้ำเขาช้างหาย และการทดสอบเบื้องต้นเพื่อปรับปรุงเกม โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. ขอบเขตพื้นที่: สร้างเกมและสถานการณ์จำลองที่เป็นตัวแทนของระบบนิเวศถ้ำเขาช้างหาย
2. ขอบเขตตัวอย่างในการทดสอบแบบจำลอง: ทดสอบกับตัวแทนนิสิตจากภาควิชาชีววิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. วิธีการศึกษา

4.1 กำหนดวัตถุประสงค์และสร้างแผนภาพตัวแทน

ผู้วิจัยได้กำหนดวัตถุประสงค์ของเกมนี้ โดยใช้เพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้เกี่ยวกับคุณค่าและมูลค่าบริการของระบบนิเวศ และความหลากหลายทางชีวภาพของระบบนิเวศถ้ำเขาช้างหาย หลังจากนั้นจึงสร้างแผนภาพตัวแทนของระบบในรูปแบบ Unified Modeling Language (UML) diagram ซึ่งเป็นขั้นตอนเริ่มต้นในการแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับทรัพยากรภายในระบบ (actors and resources) ก่อนนำไปสู่การพัฒนาแบบจำลองตามแนวทางแบบจำลองเพื่อนคู่คิด (Companion Modelling) [6, 7] ซึ่งเป็นแนวคิดการสร้างแบบจำลองเชิงบูรณาการแบบมีส่วนร่วมที่เปิดโอกาสให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องแลกเปลี่ยนความรู้ผ่านกิจกรรมต่าง ๆ มองเห็นภาพรวมของพลวัตของระบบ และสนับสนุนการตัดสินใจใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน จากนั้น จึงทำการรวบรวมข้อมูลจากภาคสนาม การสัมภาษณ์ และข้อมูลทุติยภูมิ เพื่อประกอบการสร้างแบบจำลอง

4.2 การสร้างแบบจำลองและแบบทดสอบความรู้

สร้างเกมและสถานการณ์จำลองในรูปแบบกระดานเกม โดยประยุกต์หลักการแนวคิดจากเกมเศรษฐีซึ่งเป็นเกมที่นิยมและเข้าใจง่าย และออกแบบเกมเพื่อส่งเสริมให้เกิดการพูดคุยกัน โดยอ้างอิงผลการดำเนินกิจกรรมในเกมตามข้อมูลจากภาคสนาม การสัมภาษณ์ และข้อมูลจากงานวิจัยอื่น ๆ กำหนดวิธีการใช้แบบจำลอง รวมทั้งกฎและกติกาต่าง ๆ รวมทั้งสร้างแบบทดสอบความรู้ก่อนและหลังการใช้แบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ที่ได้จากการใช้แบบจำลอง

4.3 การทดสอบเกมและสถานการณ์จำลองเบื้องต้น

การทดสอบเกมและสถานการณ์จำลองที่พัฒนาขึ้นได้ดำเนินการร่วมกับนิสิตภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 3 ครั้ง โดยมีผู้ร่วมทดสอบ 7 คน 6 คน และ 8 คน ตามลำดับ การเลือกกลุ่มตัวอย่างนี้ เนื่องจากนิสิตภาควิชาชีววิทยามีพื้นฐานความรู้ด้านระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพ จึงเป็นกลุ่มตัวอย่างที่มีความเหมาะสมในการทดสอบเกมที่เกี่ยวข้องกับประเด็นดังกล่าว อีกทั้งยังมีทักษะในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์และการประเมินผล ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและผลลัพธ์ที่ปรากฏภายในเกม

หลังการทดสอบ ได้มีการสอบถามและอภิปรายในประเด็นต่าง ๆ เพื่อนำไปปรับปรุงแบบจำลอง เช่น การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล การวิเคราะห์ผลในคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถแสดงผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้อง ระยะเวลาในการใช้แบบจำลองมีความสอดคล้องกับเวลาที่กำหนด การปรับความยากและความซับซ้อนของเกมเพื่อให้ผู้เล่นสามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น รวมทั้งการระบุปัญหาที่เกิดขึ้นและการปรับแก้ตัวเลขต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น รายได้ รายจ่าย และผลตอบแทน เพื่อไม่ให้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงมากเกินไป เป็นต้น หลังจากนั้น ผู้วิจัยได้มีการปรับแก้แบบจำลองเพื่อเตรียมนำไปใช้จริงร่วมกับตัวแทนชาวบ้าน นักเรียน อบต. และนักท่องเที่ยวในพื้นที่ต่อไป

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 เกมและสถานการณ์จำลอง

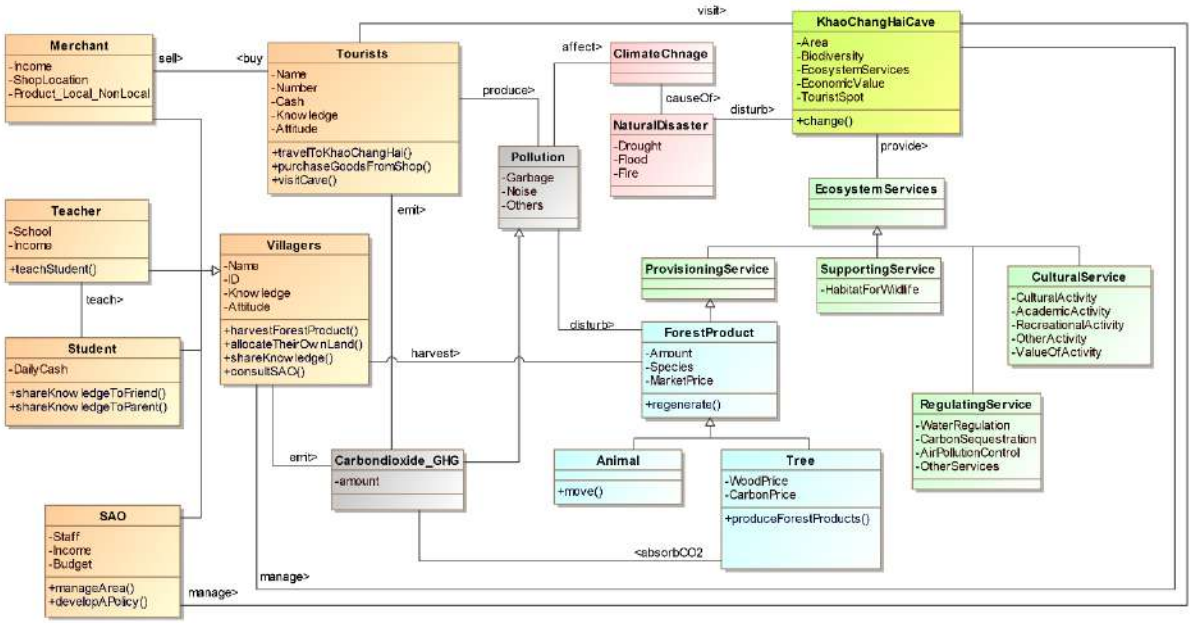
<u>แนวคิดการออกแบบ</u>: เกมนี้ได้มีการใช้แนวคิดต่าง ๆ มาประกอบการออกแบบ ได้แก่ การอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ บริการของระบบนิเวศ การประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ การรบกวนระบบนิเวศและผลกระทบย้อนกลับ การมีส่วนร่วม การแลกเปลี่ยนเรียนรู้แบบคอนสตรัคติวิสต์ (constructivism) และการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน

<u>แผนภาพตัวแทนระบบ (conceptual model)</u>: แผนภาพตัวแทนระบบแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้มีส่วนเกี่ยวข้องและทรัพยากรในพื้นที่ถ้ำสะท้อนถึงการเชื่อมโยงระหว่างมนุษย์และระบบนิเวศแสดงดังรูปที่ 1 โดยนักท่องเที่ยวมีบทบาทในการกระตุ้นเศรษฐกิจท้องถิ่นผ่านการใช้จ่าย พ่อค้าแม่ค้าผลิตและจำหน่ายสินค้า ครูให้ความรู้แก่นักเรียน ซึ่งสามารถส่งต่อความรู้ไปยังผู้ปกครอง และชาวบ้านใช้ทรัพยากรธรรมชาติในการดำรงชีวิตและแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ระหว่างกัน ส่วนองค์การบริหารส่วนตำบล (SAO: Subdistrict Administrative Organization) มีบทบาทในการกำหนดนโยบายและบริหารจัดการถ้ำ ซึ่งระบบนิเวศถ้ำเขาช้างหายมีความหลากหลายทางชีวภาพและบริการระบบนิเวศหลายด้าน เช่น การกักเก็บคาร์บอนจากป่าไม้และการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ อย่างไรก็ตาม กิจกรรมมนุษย์ เช่น การท่องเที่ยวและการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสัตว์ คาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมต่าง ๆ ยังมีผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน การประเมินมูลค่าบริการระบบนิเวศทั้งทางตรงและทางอ้อมสะท้อนถึงความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติทั้งในด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ซึ่งจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการอย่างยั่งยืนเพื่อรักษามูลค่าในระยะยาว

<u>องค์ประกอบเกม</u>: องค์ประกอบของเกมหลังพัฒนาและปรับแก้ มีดังนี้ (รูปที่ 2)

กระดานเกมและพื้นที่ตัวแทนพื้นที่ถ้ำและพื้นที่รอบ ๆ ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ แผนที่พื้นที่ถ้ำเขาช้างหาย จังหวัดตรัง และช่องกิจกรรมหลัก รวมทั้งสิ้น 26 ช่อง ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มกิจกรรมที่เป็นผลกระทบจากมนุษย์ ผลกระทบจากการจัดการพื้นที่ ผลกระทบจากธรรมชาติ กลุ่มคำถาม และกลุ่มเบ็ดเตล็ด ซึ่งแต่ละช่องจะมีเหตุการณ์สมมติหรือกิจกรรมที่ให้ผู้เล่นปฏิบัติต่างกันไป รวมทั้งมีพื้นที่สำหรับวางการ์ดความหลากหลาย ได้แก่ การ์ดสัตว์ การต้นไม้ และการ์ดของป่า ซึ่งจะเป็นตัวแทนของทรัพยากรที่พบ

ได้ในพื้นที่ และในการ์ดแต่ละใบจะมีข้อมูลบริการของระบบนิเวศในแต่ละด้านของทรัพยากรนั้น รวมทั้งมูลค่าของทรัพยากรนั้นๆ รวมทั้งมีพื้นที่สำหรับวางการ์ดกิจกรรมรอง เป็นการ์ดที่จำลองสถานการณ์การเข้ามาใช้ประโยชน์ในพื้นที่ โดยเมื่อผู้เล่นหยิบได้การ์ดใด จะได้ประโยชน์หรือเสียประโยชน์จากสถานการณ์นั้น ๆ ตามที่การ์ดกำหนด



รูปที่ 1 แผนภาพตัวแทนของระบบนิเวศเขาช้างหาย

รูปที่ 2 กระดานเกม ตัวอย่างการ์ดความหลากหลายและการ์ดกิจกรรม ใบความรู้ ใบบันทึกผลข้อมูล และไฟล์บันทึกข้อมูลและผลลัพธ์

รูปที่ 2 กระดานเกม ตัวอย่างการ์ดความหลากหลายและการ์ดกิจกรรม ใบความรู้ ใบบันทึกผลข้อมูล และไฟล์บันทึกข้อมูลและผลลัพธ์ (ต่อ)

แบบทดสอบความรู้ก่อนและหลังใช้แบบจำลอง แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) คำถามเพื่อประเมินการเรียนรู้เรื่องบริการระบบนิเวศและมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของบริการระบบนิเวศ 2) คำถามเพื่อประเมินการเรียนรู้เรื่องความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่ถ้ำเขาช้างหาย จังหวัดตรัง 3) คำถามเพื่อวัดความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการทรัพยากรในพื้นที่

ใบบันทึกผลข้อมูล ในแต่ละรอบของการเล่น ผู้เล่นจะได้รับใบบันทึกผลข้อมูล 1 แผ่น ซึ่งประกอบไปด้วยการบันทึกรายรับรายจ่ายในแต่ละรอบปีของเกม รายได้จากการขายของป่า รายได้จากการขายคาร์บอนเครดิต มูลค่าเนื้อไม้ และมูลค่าสัตว์ และจำนวนการ์ดความหลากหลายที่ได้รับทั้งหมด

ไฟล์บันทึกข้อมูลและแสดงผลลัพธ์ ไฟล์บันทึกข้อมูลผลการดำเนินเกมและแสดงผลลัพธ์ สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Exel ประกอบด้วยส่วนที่ให้ผู้นำเกมในการกรอกข้อมูลผลการเล่นของผู้เล่นแต่ละคนโดยผู้นำเกมจะกรอกข้อมูลจากใบบันทึกผลข้อมูลของผู้เล่นแต่ละคน กรอกลงในเซลล์ที่มีตัวอักษรสีแดง จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณผลรวมของแต่ละกลุ่มออกมาโดยอัตโนมัติและแสดงผลในส่วนของผลลัพธ์ต่อไป

อุปกรณ์อื่น ๆ เช่น ใบบันทึกคำตอบและกิจกรรมในแต่ละปีของผู้เล่น เงินปลอม ใบขึ้นโครงการคาร์บอนเครดิต ลูกเต๋า ตัวเดิน กล่องอุปกรณ์ เข็มหมุด เป็นต้น

<u>ขั้นตอนการใช้งาน</u>:

ก่อนเริ่มเกม ผู้ช่วยคุมเกมให้ผู้เล่นทำแบบประเมินความรู้ก่อนเล่นเกม เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำการวางการ์ดกิจกรรมและการ์ดความหลากหลายลงในช่องบนกระดานเกม รวมทั้งแจกอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ผู้เล่นตามบทบาทที่กำหนด จากนั้นผู้วิจัยชี้แจงเป้าหมายของเกม โดยแบ่งเป็นเป้าหมายของผู้เล่นแต่ละคน คือ การเก็บรวบรวมการ์ดความหลากหลายให้ได้มากที่สุด และเป้าหมายร่วมของผู้เล่นในกลุ่ม คือ การตามหาช้าง ซึ่งจะทำได้โดยการวางลูกปัดที่เป็นตัวแทนของสัตว์ลงบนกระดานเกมในพื้นที่ที่เป็นถิ่นอาศัยของสัตว์ชนิดนั้น ๆ บนกระดานมีทั้งหมด 9 บริเวณ ได้แก่ พื้นที่ป่า 2 บริเวณ (ต้องวางให้ครบ 10 ชนิดต่อบริเวณหนึ่ง) และห้องในถ้ำ 7 ห้อง (ต้องวางให้ครบ 3 ชนิดต่อบริเวณหนึ่ง) เมื่อวางสัตว์ครบตามจำนวนในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง เช่น ลงสัตว์ครบ 10 ชนิดในพื้นที่ป่า จะได้รับจิ๊กซอว์ช้าง 1 ชิ้น และหากได้รับจิ๊กซอว์ช้างครบ 9 ชิ้น ผู้เล่นจะสามารถตามหาช้างได้สำเร็จ ผู้ชนะในเกมนี้คือ ผู้ที่มีจำนวนการ์ดความหลากหลายมากที่สุด เกมนี้ใช้เวลาเล่นประมาณ 1 ชั่วโมง

การเล่นเกมเริ่มต้นโดยให้ผู้เล่นวางตัวเดินที่จุดเริ่มต้นและทอยลูกเต๋าเดินไปตามช่องตามคะแนนที่ได้และปฏิบัติตามคำแนะนำหรือคำสั่งของแต่ละช่อง เช่น หากต้องหยิบการ์ดสัตว์ให้วางลูกปัดที่แหล่งอาศัยของสัตว์นั้นและเก็บการ์ดไว้กับตัว หากหยิบการ์ดต้นไม้หรือของป่าให้เก็บการ์ดไว้กับตัว หากตกช่องที่ต้องหารือหรือตอบคำถามให้ผู้เล่นคนแรกตอบก่อนแล้วให้ผู้อื่นตอบไม่เกิน 3 คน หากตกช่องโรงเรียนให้ความรู้เกี่ยวกับบริการของระบบนิเวศ ให้บทบาทครู/นักเรียนอ่านใบความรู้ หากต้องทิ้งการ์ดสัตว์หรือของป่า ให้นำการ์ดเข้าสุสานและนำลูกปัดออกจากกระดาน หากมีสถานการณ์ที่ อบต. ต้องจ่ายเงินในการซ่อมแซมแล้วไม่มีเงินเพียงพอ ผู้คุมเกมจะสร้างสถานการณ์ให้บทบาทอื่นช่วยระดมทุนเพื่อช่วยเหลือ อบต. หาก อบต. ไม่มีเงินพอที่จะซ่อมแซม จะทำการโละลูกปัดทิ้ง 1 บริเวณ และนำการ์ดสัตว์นั้น ๆ ทิ้งลงกองสุสาน เป็นต้น นอกจากนี้ ในแต่ละรอบปีจะมีกิจกรรม ได้แก่ การเปิดตลาดให้ผู้เล่นขายของป่า เช่น การขายการ์ดหน่อไม้ ซึ่งจะได้รับเงินตามมูลค่าของหน่อไม้ การขึ้นทะเบียนโครงการคาร์บอนเครดิต โดยต้องเสียเงิน 10,000 บาท เพื่อรับใบรับรองการขึ้นโครงการสำหรับซื้อขายคาร์บอนเครดิต และการให้ อบต. และหน่วยงานเอกชน ได้รับงบประมาณประจำปี หลังจากจบปีแรก ผู้เล่นจะบันทึกรายได้และรายจ่าย จากนั้นเริ่มปีที่สอง ซึ่งมีการซื้อขายคาร์บอนเครดิต ผู้เล่นที่มีใบรับรองการขึ้นโครงการคาร์บอนเครดิตและการ์ดต้นไม้ สามารถนำการ์ดต้นไม้ขายและรับเงินตามมูลค่าคาร์บอนของต้นไม้ชนิดนั้น เมื่อจบรอบที่ 2 ผู้เล่นจะบันทึกผลรวมจำนวนการ์ดสัตว์ ต้นไม้ ของป่า มูลค่าสัตว์ มูลค่าเนื้อไม้ รายได้จากการขายของป่าและคาร์บอนเครดิต ก่อนนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลต่อไป และเมื่อจบเกมให้ผู้เล่นทำแบบทดสอบหลังเล่นเกม และสรุปผลการจัดกิจกรรม ทั้งนี้ แต่ละกิจกรรมได้มีการออกแบบให้มีการสอดแทรกองค์ความรู้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ความรู้ที่สอดแทรกในเกม

รายละเอียดเกม	ความรู้ที่แลกเปลี่ยนในเกม
1. ส่วนกระดานเกม	
โรงเรียนให้ความรู้เรื่องบริการระบบนิเวศ	แนวคิดเรื่องบริการของระบบนิเวศแต่ละข้อ และมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของบริการของระบบนิเวศ และครู/นักเรียน มีบทบาทสำคัญในการเผยแพร่ความรู้เรื่องคุณค่าบริการของระบบนิเวศในพื้นที่
ครูพานักเรียนมาทัศนศึกษา ทำให้ได้รู้ความสำคัญของระบบนิเวศ	
ช่วยกันบอกวิธีอนุรักษ์พื้นที่ถ้ำเขาช้างหาย	แนวทางการอนุรักษ์ที่ยั่งยืน
นักท่องเที่ยวหยิบหินออกจากถ้ำทำให้รบกวนระบบนิเวศถ้ำ	การนำหินออกจากถ้ำส่งผลต่อสมดุลทางกายภาพและเคมีของถ้ำ
มีนักท่องเที่ยวมือบอนจับ/หักหินงอกหินย้อยและประติมากรรมในถ้ำต้องเสียค่าซ่อมแซม	การทำลายหินงอกหินย้อยเป็นการทำลายโครงสร้างธรรมชาติที่ใช้เวลาสร้างนานนับพันปี อีกทั้งยังทำลายโอกาสการชมความงามของถ้ำของคนอื่นด้วย
มีคนมาลักลอบจับสัตว์ในพื้นที่ ทำให้ความหลากหลายลดลง	การลักลอบจับสัตว์ส่งผลให้ความหลากหลายทางชีวภาพลดลง ทำให้ห่วงโซ่อาหารในถ้ำเสียสมดุล
นักท่องเที่ยวทิ้งขยะ ทำให้ราขึ้น	ขยะจากนักท่องเที่ยวอาจนำไปสู่การเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรียที่ส่งผลต่อระบบนิเวศถ้ำ
พระจัดกิจกรรมบวชป่าทำให้คนหวงแหนพื้นที่ป่ามากขึ้น	พระสงฆ์สามารถเป็นผู้นำในการสร้างจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม อีกทั้งการบวชป่าเป็นกลไกทางวัฒนธรรมที่ช่วยสร้างจิตสำนึกในการอนุรักษ์ป่า
ภาคเอกชนเข้ามาจัดกิจกรรมเพื่อสังคม	ภาคเอกชนสามารถสนับสนุนการอนุรักษ์ผ่านกิจกรรม CSR เช่น ปลูกป่าหรือพัฒนาสิ่งอำนวยความสะดวกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งความร่วมมือระหว่างภาคเอกชนและชุมชนช่วยให้การพัฒนาเป็นไปอย่างยั่งยืน
เทศกาลลูกลมทำให้นักท่องเที่ยวมาเพิ่ม	เทศกาลเป็นเครื่องมือดึงดูดนักท่องเที่ยวที่สำคัญที่กระตุ้นเศรษฐกิจท้องถิ่น
ช่วยกันหารือวิธีดึงดูดนักท่องเที่ยวมาเที่ยวถ้ำมากขึ้น	หารือกลยุทธ์ในการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยว

ตารางที่ 1 องค์ความรู้ที่สอดแทรกในเกม (ต่อ)

รายละเอียดเกม	ความรู้ที่แลกเปลี่ยนในเกม
เสียภาษีให้ อบต.	ภาษีที่จ่ายให้ อบต. สามารถนำไปใช้พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติในพื้นที่
เกิดภัยพิบัติน้ำท่วม	การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไม่ใช่เรื่องไกลตัว แต่ส่งผลต่อระบบนิเวศและเศรษฐกิจโดยตรง
โลกร้อนขึ้นผลิตของป่าได้น้อยลง	
มีการแยกขยะ เพื่อนำไปสร้างรายได้ให้ชุมชน	การแยกขยะสามารถลดปริมาณขยะที่ส่งไปฝังกลบและช่วยสร้างรายได้จากการรีไซเคิล (recycle)
2. ส่วนการ์ดกิจกรรม	
มีการประชาสัมพันธ์สถานที่ท่องเที่ยว ทำให้นักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้น	การประชาสัมพันธ์ช่วยดึงดูดนักท่องเที่ยว ทำให้เศรษฐกิจในชุมชนดีขึ้น
มีนักท่องเที่ยวจำนวนมากมาเที่ยว ทำให้ร้านค้าขายของดี	
ไกด์สอนนักท่องเที่ยวเรื่องกฎระเบียบ ในการเที่ยวถ้ำ ทำให้นักท่องเที่ยวมีพฤติกรรมที่ดี	นักท่องเที่ยวที่ได้รับความรู้เกี่ยวกับกฎระเบียบจะลดพฤติกรรมที่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม
มีการจัดกิจกรรมดูแลป่า ทำให้ป่ามีความความหลากหลายมากขึ้น	การปลูกป่าและฟื้นฟูพื้นที่ธรรมชาติช่วยเพิ่มถิ่นที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่ารวมทั้งป่าที่มีความอุดมสมบูรณ์ช่วยรักษาสมดุลของระบบนิเวศ
มีการจัดอบรมให้ความรู้กับคนในพื้นที่ ทำให้คนในพื้นที่มีการเก็บของป่ามากขึ้น	การอบรมให้ความรู้กับคนในพื้นที่ช่วยให้เกิดการใช้ประโยชน์จากป่าอย่างยั่งยืน
นักวิจัยเข้ามาสำรวจป่า เพื่อศึกษาความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต	การสำรวจทางวิทยาศาสตร์ช่วยให้เข้าใจระบบนิเวศและเป็นข้อมูลสำหรับการอนุรักษ์
นักท่องเที่ยวไปไหว้เจ้าที่ แล้วทิ้งขนมไว้ มดเข้ามาทำลายระบบนิเวศ	การทิ้งอาหารเช่นไหว้ทำให้มดและสัตว์รบกวนเพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อสมดุลของระบบนิเวศ
นักท่องเที่ยวหยิบหินต่าง ๆ ออกจากถ้ำ ทำให้รบกวนระบบนิเวศในถ้ำ	การนำหินออกจากถ้ำทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศถ้ำที่ต้องใช้เวลาหลายพันปีในการก่อตัว
มีเด็กแว้นเข้ามาในพื้นที่ ทำให้นักท่องเที่ยวน้อยลง	การขับขี่เสียงดังรบกวนบรรยากาศการท่องเที่ยว ทำให้นักท่องเที่ยวลดลง
ลักลอบจับสัตว์ในถ้ำ ทำให้สัตว์ในถ้ำมีความหลากหลายน้อยลง	สัตว์ในถ้ำมีความสำคัญต่อสมดุลของระบบนิเวศ หากถูกจับไปอาจส่งผลต่อวงจรชีวิตในถ้ำ
ภาคเอกชนให้งบประมาณศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพ	การร่วมมือระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชน และนักวิชาการเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาการอนุรักษ์แบบยั่งยืน
นักเรียนเข้ามาทำโครงงานวิทยาศาสตร์ ทำให้ได้ข้อมูลในการดูแลพื้นที่	การเรียนรู้ผ่านโครงงานวิทยาศาสตร์ช่วยพัฒนาการดูแลทรัพยากรธรรมชาติ
มีการทำป้ายความรู้ในสถานที่เพิ่มเติม ช่วยดึงดูดนักท่องเที่ยว	การให้ความรู้ในรูปแบบที่น่าสนใจ เช่น แผนที่เชิงนิเวศหรือเรื่องราวทางธรณีวิทยา ช่วยดึงดูดนักท่องเที่ยวให้สนใจมากขึ้น
จัดให้มีการอบรมสร้างมัคคุเทศน์น้อย ทำให้เด็กในชุมชนหวงแหนถ้ำเขาช้างหายมากขึ้น	การให้เยาวชนมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์ช่วยสร้างความต่อเนื่องในการดูแลสิ่งแวดล้อม
คำถาม นักท่องเที่ยวไม่ควรทำอะไรในการมาเที่ยวถ้ำเขาช้างหาย	นักท่องเที่ยวควรมีจิตสำนึกในการท่องเที่ยวอย่างรับผิดชอบและเคารพกฎระเบียบเพื่อร่วมอนุรักษ์ถ้ำเขาช้างหายอย่างยั่งยืน

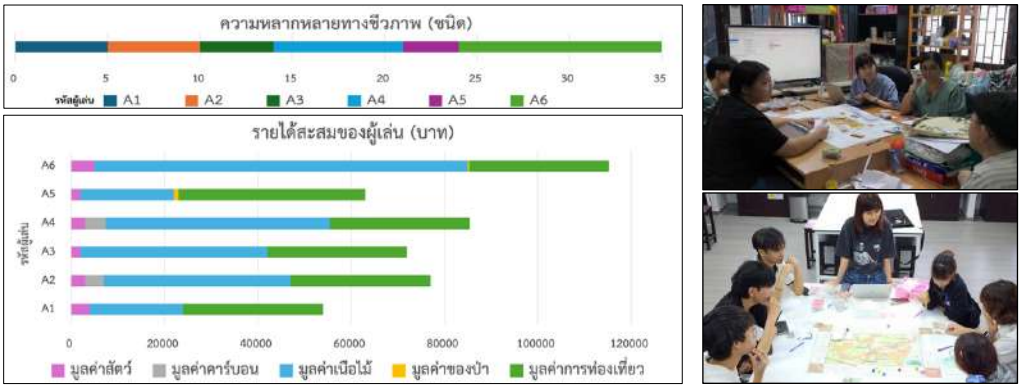
5.2 ผลการทดสอบการใช้งานเบื้องต้น

ผลการทดสอบเกมเบื้องต้นทั้ง 3 รอบ พบว่าบรรยากาศการใช้งานเกมเป็นไปอย่างสนุกสนาน มีการแลกเปลี่ยนประสบการณ์และความรู้ใหม่ ๆ ระหว่างผู้เล่น เนื่องจากหลายคนไม่เคยเดินทางไปชมหรือเที่ยวถ้ำมาก่อน หลังเล่นเกมมีการแลกเปลี่ยนความคิดและมีการเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงเกมให้เหมาะสมในการใช้งานมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการใช้งานเกมและสถานการณ์จำลองในงานวิจัยต่าง ๆ ก่อนหน้า ที่สร้างบรรยากาศสนุกสนาน กระตุ้นการเรียนรู้ [8, 9, 10]

จากการทดสอบในครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 มีการปรับปรุงรูปแบบเกมเพื่อเพิ่มความสะดวกและความคล่องตัวในการดำเนินการ โดยได้มีการลดจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในการเล่นให้เหมาะสมยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ยังได้ปรับระดับความยากของแบบทดสอบก่อนและหลังการใช้แบบจำลองให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น รวมถึงมีการปรับรูปแบบการ์ดโดยเพิ่มขนาดตัวอักษรและลดจำนวนข้อความ เพื่อให้ผู้เล่นสามารถอ่านและทำความเข้าใจได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ยังได้ปรับข้อมูลเชิงตัวเลขภายในเกม เช่น ค่าเงิน และมูลค่าทรัพยากรต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับบริบทจริงของพื้นที่ เพื่อเพิ่มความสมจริงและความเข้าใจในเชิงระบบนิเวศมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้การดำเนินกิจกรรมเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ราบรื่น และใช้เวลาในการเล่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากผลการทดสอบครั้งที่ 3 ซึ่งเป็นเวอร์ชันที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว มีผู้เข้าร่วมทั้งหมด 6 คน ใช้เวลาเล่นประมาณ 1 ชั่วโมง พบว่าผู้เล่นสามารถเข้าใจกติกาและวิธีการเล่นได้อย่างชัดเจน และสามารถจดบันทึกข้อมูลลงในใบบันทึกได้อย่างถูกต้อง โดยไฟล์บันทึกผลลัพธ์สามารถแสดงข้อมูลได้อย่างครบถ้วนและมีประสิทธิภาพ ระหว่างการเล่น ผู้เล่นมีการวางแผนการลงลูกปัดสัตว์ในพื้นที่เพื่อเพิ่มโอกาสในการชนะ พร้อมทั้งมีการจัดการพื้นที่ร่วมกันอย่างเหมาะสม เช่น การช่วยกันบริจาคเงินสนับสนุน อบต. เพื่อรักษาความหลากหลายในพื้นที่ การขายของป่า และการเข้าร่วมโครงการซื้อขายคาร์บอนเครดิต นอกจากนี้ยังพบว่าผู้เล่นมีความร่วมมือในการตอบคำถามเชิงอนุรักษ์ได้อย่างราบรื่น นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ปรับปรุงขั้นตอนการสรุป (debriefing) ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญที่ทำให้เกิดการเรียนรู้จากการใช้เกม [11]

ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าแบบจำลองเชิงบูรณาการสามารถจำลองพื้นที่ถ้ำเขาช้างหาย จังหวัดตรัง ได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้ผู้เล่นสามารถเชื่อมโยงพื้นที่จำลองในเกมกับพื้นที่จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้เล่นมีความกระตือรือร้นในการตอบคำถาม แสดงความคิดเห็น สื่อสาร เจรจา ต่อรอง และแสดงความร่วมมือภายในกลุ่มอย่างชัดเจน และที่สำคัญ ผู้เล่นได้เรียนรู้การสร้างมูลค่าจากบริการของระบบนิเวศ เช่น การจำหน่ายของป่า การซื้อขายคาร์บอนเครดิต มูลค่าของไม้และสัตว์ป่า (รูปที่ 3) รวมถึงเรียนรู้ชนิดของสัตว์และพืชที่พบในพื้นที่ ตลอดจนร่วมกันเสนอความคิดวางแผนการจัดการพื้นที่อย่างเหมาะสม ทั้งยังตระหนักถึงปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพและบริการของระบบนิเวศจากทั้งกิจกรรมของมนุษย์และปัจจัยทางธรรมชาติ



รูปที่ 3 ผลการดำเนินเกมของผู้เล่น และบรรยากาศการจัดกิจกรรมเบื้องต้น

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเกมและสถานการณ์จำลองในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้เกี่ยวกับบริการของระบบนิเวศ มูลค่าบริการของระบบนิเวศ และความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่ถ้ำเขาช้างหาย จังหวัดตรัง ผลการศึกษานำไปสู่การสร้างเกมในรูปแบบบอร์ดเกม โดยประยุกต์ใช้แนวคิดจากเกมเศรษฐี ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น กระดานเกมที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ถ้ำเขาช้างหายที่มีช่องกิจกรรมต่าง ๆ การ์ดความหลากหลายที่เป็นตัวแทนของทรัพยากรในพื้นที่ ใบความรู้ และใบจดข้อมูล โดยผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าเกมที่สร้างขึ้นและได้รับการปรับปรุงแล้ว สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการเรียนรู้คุณค่าของบริการระบบนิเวศในพื้นที่ถ้ำเขาช้างหาย จังหวัดตรัง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับงานวิจัยในระยะต่อไป ผู้วิจัยมีแผนที่จะนำแบบจำลองนี้ไปใช้กับกลุ่มผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในพื้นที่ เช่น ชาวบ้าน องค์การบริหารส่วนตำบล นักเรียน ครู และนักท่องเที่ยว เพื่อส่งเสริมความเข้าใจในคุณค่าบริการของระบบนิเวศ และค้นหาแนวทางในการอนุรักษ์ระบบนิเวศถ้ำอย่างมีส่วนร่วมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Taminskas, J., Paskauskas, R., Zvikas, A., & Satkunas, J. (2006). Karst and ecosystems. *Geology and Ecosystems: International Union of Geological Sciences (IUGS) Commission on Geological Sciences for Environmental Planning (COGEOENVIRONMENT)* Commission on Geosciences for Environmental Management (GEM), 61–76.

[2] Liu, C., Huang, Y., Wu, F., Liu, W., Ning, Y., Huang, Z., ... & Liang, Y. (2021). Plant adaptability in karst regions. *Journal of Plant Research*, *134*, 889–906.

[3] Howarth, F. G., & Moldovan, O. T. (2018). The ecological classification of cave animals and their adaptations. In: Moldovan, O., Kováč, Ľ., Halse, S. (eds). *Cave Ecology*. Ecological Studies, vol 235. Cham: Springer

[4] Voinov, A., Jenni, K., Gray, S., Kolagani, N., Glynn, P. D., Bommel, P., . . . Smajgl, A. (2018). Tools and methods in participatory modeling: Selecting the right tool for the job. *Environmental Modelling & Software, 109*, 232–255.

[5] แรกขวัญ ผลธัญญา. (2566). *การประเมินบริการของระบบนิเวศและการทดสอบแบบจำลองเชิงบูรณาการอย่างมีส่วนร่วมสำหรับการจัดการป่าปลูกในจังหวัดน่าน*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[6] Etienne, M., Du Toit, D. R., & Pollard, S. (2011). ARDI: A co-construction method for participatory modeling in natural resources management. *Ecology and Society*, *16*(1).

[7] Etienne, M. (2014). *Companion modelling: A participatory approach to support sustainable development*. France: Quæ and Springer.

[8] Tan, C. K. W., & Nurul-Asna, H. (2023). Serious games for environmental education. *Integrative Conservation, 2*(1), 19–42.

[9] Hamada, R., Soranastaporn, S., Kanegae, H., Dumrongrojwatthana, P., Chaisanit, S., Rizzi, P., Dumblekar, V. (2019). *Neo-Simulation and Gaming Toward Active Learning* (1 ed.). Singapore: Springer Nature Singapore.

[10] Dumrongrojwatthana, P., Wimolsakcharoen, W., Pinmaneenopparat, S., Chompooming, P., Weerapan, A., Kabkham, T., . . . Kamtem, S. (2019). A role-playing simulation game for shared learning on community forest in Lai Nan, Nan Province, Thailand. *Unisearch Journal, 6*(2), 3–10.

[11] Crookall, D. (2010). Serious games, debriefing, and simulation/gaming as a discipline. *Simulation & Gaming, 41*(6), 898–920.

การประเมินระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์: กรณีศึกษาชั้นน้ำบาดาลพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ ประเทศไทย

ชุตินันท์ ลิมปกาญจน์เวช[1*] และ ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์[1,2]

[1]ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
[2]สถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
** Corresponding author: chutinun_l@yahoo.com*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์ในชั้นน้ำบาดาลพระประแดง ซึ่งเป็นแหล่งน้ำบาดาลที่มีบทบาทสำคัญในจังหวัดสมุทรปราการ ปัจจุบันคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ดังกล่าวถูกคุกคามจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอไรด์ ซึ่งอาจเกิดจากกิจกรรมอุตสาหกรรมหรือการรุกล้ำของน้ำเค็ม จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินมาตรการติดตามและบริหารจัดการน้ำบาดาลอย่างรัดกุม เพื่อป้องกันผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำในระยะยาว

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลช่วงปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2564 โดยได้มีการศึกษาและวิเคราะห์ค่าระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์ เพื่อที่จะทำความเข้าใจในลักษณะการกระจายตัวของปริมาณคลอไรด์ และวิเคราะห์แนวโน้มที่อาจเกิดจากการรุกล้ำของน้ำทะเลเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ การจัดทำ piper diagrams และการตรวจสอบสมดุลประจุไอออน ผลการศึกษาพบว่าแหล่งน้ำบาดาลแต่ละพื้นที่มีระดับคลอไรด์ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่ใกล้ชายฝั่ง มีระดับคลอไรด์สูงกว่าพื้นที่อื่นอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งส่วนใหญ่เป็นน้ำบาดาลประเภทโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นหลัก ซึ่งบ่งชี้ว่ามีการรุกล้ำของน้ำทะเลอย่างมีนัยสำคัญ ผลลัพธ์นี้นำไปสู่การประเมินระดับพื้นหลังธรรมชาติ (NBL) และช่วยวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำตามเวลา พร้อมทั้งเน้นย้ำถึงความสำคัญของการติดตามตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และการจัดทำมาตรการเชิงนโยบายที่เหมาะสม เพื่อรักษาความยั่งยืนของแหล่งน้ำบาดาลในจังหวัดสมุทรปราการ

คำสำคัญ: น้ำบาดาล / ระดับพื้นหลังธรรมชาติ (NBL) / คลอไรด์ / ชั้นน้ำบาดาลพระประแดง / รุกล้ำของน้ำเค็ม

Assessment of chloride natural background levels: A case study of the Phra Pradaeng Aquifer in Samut Prakan Province, Thailand

Chutinun Limpakanwech[1*] and Srilert Chotpantarat[1,2]

[1]Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.
[2]Sustainable Environment Research Institute, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.
**Corresponding author: chutinun_l@yahoo.com*

Abstract

Assessing the natural background level of chloride in the Phra Pradaeng aquifer—a significant groundwater source in Samut Prakan Province—was the goal of this study. The rise in chloride levels, which could be brought on by industrial processes or seawater intrusion, is currently endangering the area's groundwater quality. To prevent long-term effects on water resources, stringent groundwater monitoring and management measures must be put in place. Data used in this study ranged from 2010 to 2021. To understand the distribution of chloride levels and to analyze potential patterns brought on by seawater intrusion into the aquifer, the natural background level of chloride was examined and measured. The ion balance analysis, piper diagrams, and statistical analysis were applied. The findings demonstrated that the quantities of chloride in each area's groundwater sources varied considerably, with coastal regions having considerably higher levels than other regions. The wells showed considerable seawater intrusion, and most of the groundwater sources were sodium chloride (NaCl) groundwater. As a result of these findings, the natural background level (NBL) was determined and the trajectory of water quality changes over time was analyzed, highlighting the significance of ongoing monitoring and the creation of suitable policy measures. To keep Samut Prakan Province's groundwater supplies sustainable.

Keywords: Groundwater / Natural background level (NBL) / Chloride / Phra Pradaeng aquifer / Seawater intrusion

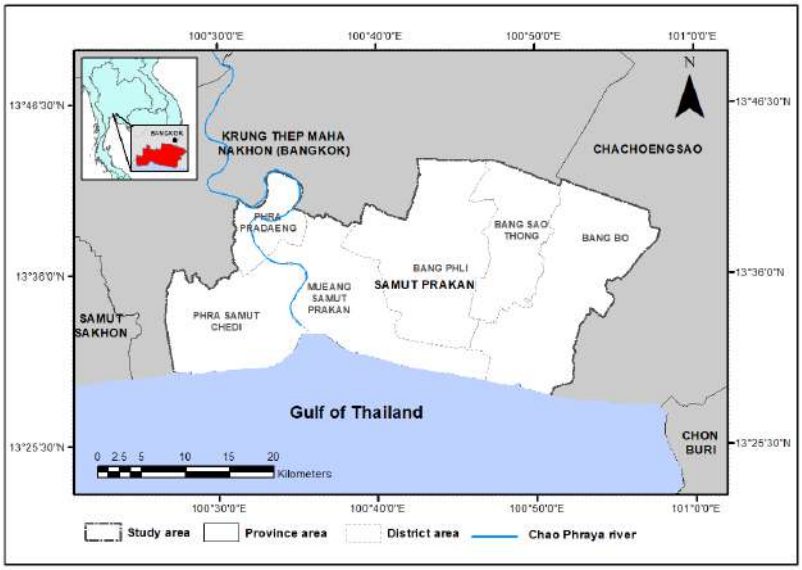
1. บทนำ

พื้นที่แอ่งน้ำบาดาลเจ้าพระยาตอนล่าง ประกอบด้วยชั้นน้ำบาดาล 8 ชั้นน้ำ ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ดังนั้นจึงมีความต้องการทรัพยากรน้ำเป็นจำนวนมาก โดยช่วงปี พ.ศ. 2541-2544 มีการใช้น้ำบาดาลมากกว่า 2.5 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ภายหลังกรมทรัพยากรน้ำบาดาลได้ออกมาตรการควบคุมการใช้น้ำบาดาลและประกาศเขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาล ประกอบด้วยพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร นนทบุรี ปทุมธานี นครปฐม สมุทรสาคร สมุทรปราการ และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยใช้ข้อมูลทางวิชาการที่ได้จากการศึกษาของศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2542) [2] ซึ่งได้ทำการศึกษาสมดุลของระบบน้ำบาดาลในพื้นที่ดังกล่าวพบว่าอัตราการเติมน้ำเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่เขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาลเฉลี่ยเท่ากับ 1.25 ล้านลูกบาศก์เมตร/วัน และจากมาตรการการควบคุมฯ มีแนวโน้มของระดับน้ำบาดาลที่เพิ่มขึ้น แต่บริเวณที่อยู่ติดชายฝั่งทะเล โดยเฉพาะพื้นที่จังหวัดสมุทรสาครและสมุทรปราการพบว่าชั้นน้ำบาดาลบริเวณดังกล่าวมีค่าความเค็มที่ค่อนข้างสูงเนื่องจากมีการสูบใช้น้ำบาดาลเพื่อใช้สำหรับอุตสาหกรรมเป็นปริมาณมากและเป็นระยะเวลานาน [1]

จังหวัดสมุทรปราการตั้งอยู่ทางตอนใต้ของกรุงเทพมหานคร เป็นหนึ่งในพื้นที่ยุทธศาสตร์สำคัญของประเทศไทยที่มีบทบาทในด้านเศรษฐกิจ อุตสาหกรรม และการขนส่งทางน้ำ เนื่องจากมีที่พื้นที่ติดชายฝั่งทะเลอ่าวไทย ทำให้พื้นที่นี้ต้องเผชิญกับปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ โดยเฉพาะปัญหาการการรุกล้ำของน้ำเค็มเข้าสู่ชั้นน้ำบาดาล [15],[16] ปัจจุบันพบว่า ชั้นน้ำบาดาลพระประแดง (Phra Pradaeng Aquifer) ในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ มีแนวโน้มของระดับคลอไรด์ที่สูงกว่าปกติ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากกิจกรรมอุตสาหกรรม การขยายตัวของเมือง และอิทธิพลจากน้ำทะเลผ่านแม่น้ำและลำคลองที่เชื่อมต่อกับอ่าวไทย [4],[11],[17]

ปัจจุบันคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ดังกล่าวถูกคุกคามจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอไรด์ที่เกิดขึ้น ทำให้จังหวัดสมุทรปราการจำเป็นต้องให้ความสำคัญในการติดตามคุณภาพและปริมาณของน้ำบาดาลในพื้นที่ เพื่อรักษาสมดุลระหว่างการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรม ครัวเรือน และการรักษาคุณภาพของทรัพยากรน้ำบาดาลให้ยั่งยืน โดยการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ปัญหาการดังกล่าวได้ขยายวงกว้างในเขตชายฝั่งทะเลทั่วโลก และส่งผลกระทบต่อเมืองใหญ่ชายฝั่งจำนวนมาก รวมถึงพื้นที่บริเวณลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างในประเทศไทยด้วย [4],[12],[13] ดังนั้น การเข้าใจสภาพแวดล้อมและระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์ในน้ำบาดาล จึงเป็นสิ่งสำคัญในการวางแผนบริหารจัดการน้ำและกำหนดมาตรการรับมือที่เหมาะสม

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินระดับพื้นหลังตามธรรมชาติ (Natural Background Level; NBL) ของคลอไรด์ในชั้นน้ำบาดาลพระประแดง โดยมีขอบเขตพื้นที่ศึกษาครอบคลุมจังหวัดสมุทรปราการดังรูปที่ 1 โดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลและการตรวจวัดที่เป็นระบบ [6] เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่สะท้อนคุณภาพตามธรรมชาติของแหล่งน้ำใต้ดิน และสามารถจำแนกอิทธิพลของกิจกรรมมนุษย์ออกจากสภาพธรรมชาติได้อย่างชัดเจน ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาจะช่วยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถกำหนดมาตรการที่มีประสิทธิภาพในการจัดการและรักษาคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่ให้ยั่งยืนต่อไป [7],[18]



รูปที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

2. วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์ในชั้นน้ำบาดาลพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์โดยใช้วิธีสถิติในชั้นน้ำบาดาลพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลของบ่อสังเกตการณ์การน้ำบาดาล เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในแต่ละช่วงเวลา โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วยข้อมูลผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาล ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2564 และจัดทำแผนที่ระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์ในชั้นน้ำบาดาลพระประแดง พื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลของบ่อสังเกตการณ์น้ำบาดาล ชั้นน้ำบาดาลพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในแต่ละช่วงเวลา โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วยข้อมูลผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2564

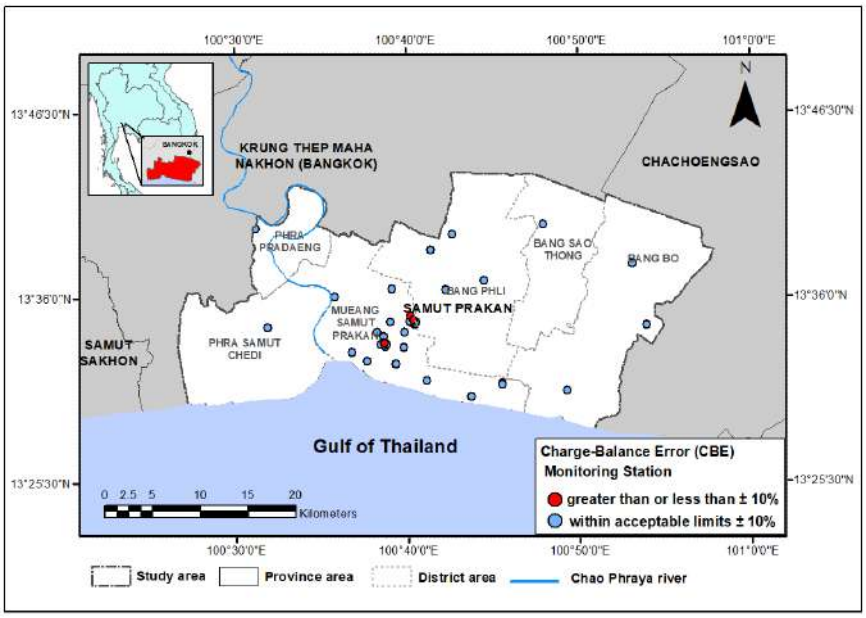
4.2 ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล

ทำการแบ่งข้อมูลออกตามกลุ่มของชั้นน้ำบาดาลในแต่ละชั้นน้ำบาดาล และตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลแต่ละบ่อสังเกตการณ์โดยวิธีการวิเคราะห์ค่า Charge-Balance Error (CBE) หรือค่าความคลาดเคลื่อนของสมดุลประจุ เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญที่ใช้ประเมินความถูกต้องแม่นยำและความน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างน้ำบาดาล โดยการคำนวณค่าความแตกต่างระหว่างผลรวมของประจุบวก (cation) และประจุลบ (anion) ในตัวอย่างน้ำในรูปของเปอร์เซ็นต์ ค่านี้มีความสำคัญในการ

ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลทางอุทกเคมี โดยเฉพาะในการประเมินคุณภาพน้ำในชั้นน้ำบาดาล หากค่า CBE ที่ได้มีค่ามากกว่า ±10% อาจแสดงให้เห็นว่ามีความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ หรือการป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบ โดยในพื้นที่ศึกษาพบว่ามีบางตำแหน่งของการวิเคราะห์มีค่ามากกว่า ±10% (รูปที่ 2) ทั้งนี้มีรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้

$$\Sigma \text{ cations} = \Sigma \text{ anions}$$

$$\text{CBE} = \frac{\Sigma \text{ cations} - |\Sigma \text{ anions}|}{\Sigma \text{ cations} + |\Sigma \text{ anions}|} \times 100$$



รูปที่ 2 การกระจายตัวของค่า CBE ที่ทำการวิเคราะห์จากตัวอย่างน้ำบาดาลของบ่อสังเกตการณ์น้ำบาดาล ชั้นน้ำบาดาลพระประแดง

4.3 จำแนกชนิดของน้ำบาดาล

ทำการจำแนกชนิดของน้ำบาดาล โดยใช้ Piper diagrams

4.4 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติน้ำบาดาลเพื่อหาค่าระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติน้ำบาดาลเพื่อหาค่าระดับพื้นหลังธรรมชาติ (NBL) ทั้งนี้จะใช้ค่าขีดจำกัด (Threshold Value; TV) เพื่อกำหนดระดับความเข้มข้นของคลอไรด์ที่อาจแสดงให้เห็นถึงปัญหามลพิษในน้ำบาดาล [3] โดยวิธีการคำนวณค่าขีดจำกัด (Threshold Value; TV) มีรายละเอียดดังนี้

1) รวบรวมค่าปริมาณคลอไรด์ในพื้นที่ศึกษา โดยใช้ข้อมูลจากผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลของบ่อสังเกตการณ์น้ำบาดาล

2) คำนวณค่าระดับพื้นหลังธรรมชาติ (NBL) ของแต่ละบ่อสังเกตการณ์น้ำบาดาลในช่วง ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2564 โดยใช้ค่าร้อยละ (percentiles) ที่ 95

3) ทำการกำหนดค่ามาตรฐานอ้างอิง (Reference Value; REF) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์สำหรับระบบคลอไรด์ที่ถือเป็นค่าปกติทั่วไป โดยในการวิจัยนี้ใช้ค่าเกณฑ์มาตราฐานปริมาณคอลไรด์ที่อนุโลมให้สูงสุด สำหรับการใช้น้ำบาดาลเพื่อการบริโภค คือ 600 มิลลิกรัม/ลิตร ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 322 พ.ศ. 2521

4) ทำการสรุปข้อมูลโดยมีเงื่อนไข ดังนี้

4.1) หากค่าระดับพื้นหลังธรรมชาติ (NBL) น้อยกว่าค่ามาตรฐานอ้างอิง (Reference Value; REF) กำหนดให้ค่าขีดจำกัด (Threshold Value; TV) เท่ากับค่ามาตรฐานอ้างอิง (Reference Value; REF)

4.2) หากค่าระดับพื้นหลังธรรมชาติ (NBL) มากกว่าค่ามาตรฐานอ้างอิง (Reference Value; REF) กำหนดให้ค่าขีดจำกัด (Threshold Value; TV) เท่ากับค่าระดับพื้นหลังธรรมชาติ (NBL)

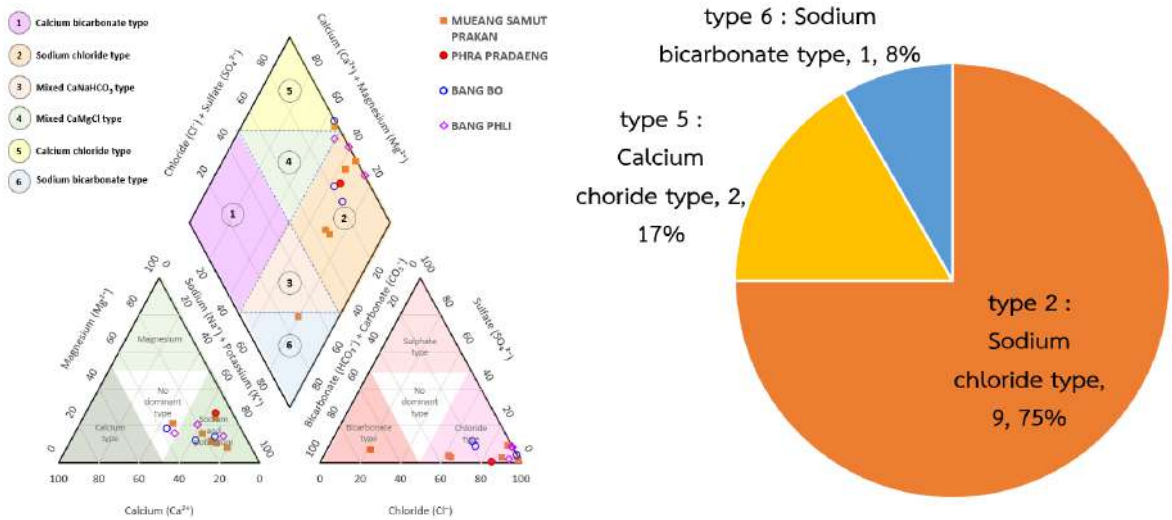
5) จัดทำแผนที่ระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์ในชั้นน้ำบาดาลพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลผลวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ของบ่อสังเกตการณ์น้ำบาดาลในชั้นน้ำบาดาลพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติใน ปี พ.ศ. 2553 ถึง พ.ศ. 2564 โดยมีรายละเอียดผลการศึกษา ดังนี้

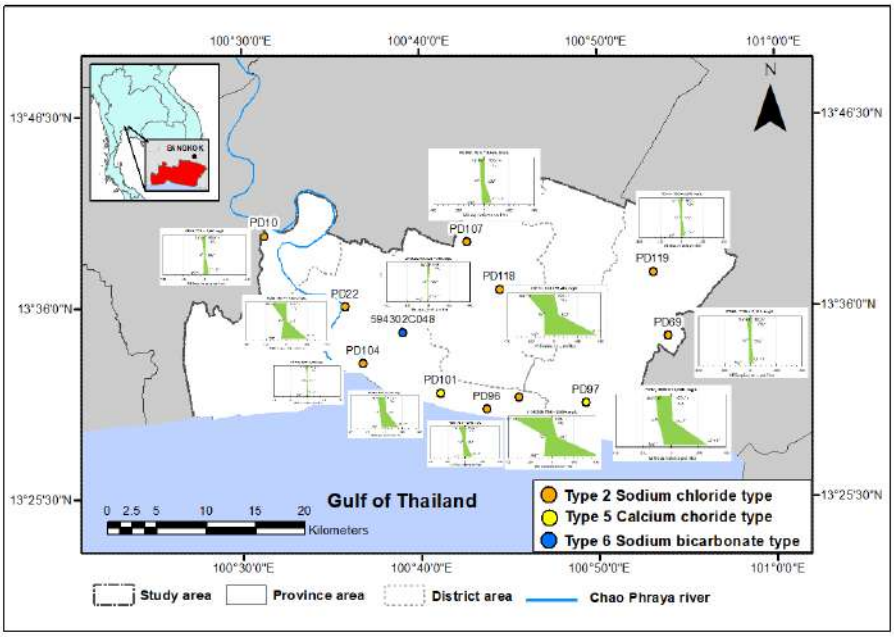
5.1 ผลศึกษาการจำแนกชนิดของน้ำบาดาล

ผลการศึกษาการจำแนกชนิดของน้ำบาดาล โดยข้อมูลผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำบาดาลของบ่อสังเกตการณ์น้ำบาดาลในชั้นน้ำบาดาลพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ ปี พ.ศ. 2564 ด้วยวิธี Piper diagrams ดังรูปที่ 3 (ก) โดยผลการศึกษาพบว่าส่วนใหญ่เป็นน้ำบาดาลประเภทโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นหลัก คิดเป็นร้อยละ 75 ของจำนวนบ่อสังเกตการณ์น้ำบาดาลทั้งหมด รองลงมาเป็นน้ำบาดาลประเภทแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl) ดังรูปที่ 3 (ข) ซึ่งหากนำไปจัดทำแผนที่ดังรูปที่ 4 พบว่าน้ำบาดาลประเภทแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl) มีการกระจายตัวอยู่บริเวณแนวชายฝั่งติดกับอ่าวไทย



(ก) Piper diagrams (ข) กราฟแสดงจำนวนชนิดของน้ำบาดาล

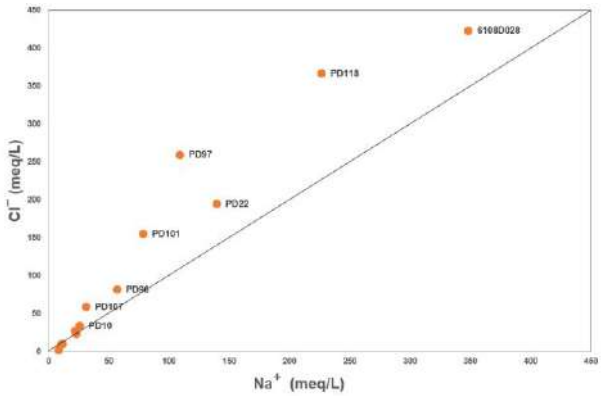
รูปที่ 3 แสดง (ก) Piper diagrams และ (ข) กราฟแสดงจำนวนชนิดของน้ำบาดาล ปี พ.ศ. 2564



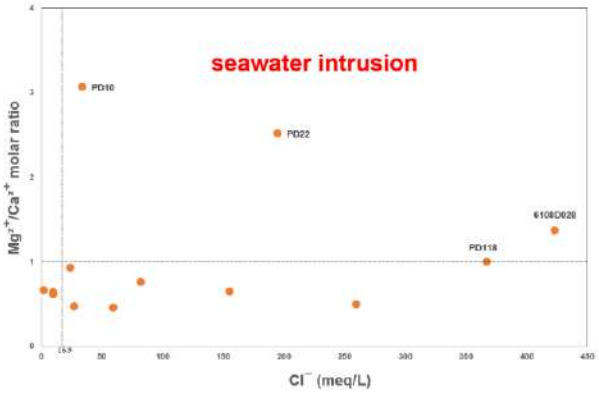
รูปที่ 4 แสดงการกระจายของชนิดของน้ำบาดาล ปี พ.ศ. 2564

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคลอไรด์ (Cl^-) และโซเดียม (Na^+) บ่งชี้ว่าตัวอย่างน้ำบาดาลจากบางพื้นที่ปรากฏอยู่เหนือเส้นผสมในอัตราส่วน 1:1 (1:1 mixing line) ซึ่งสะท้อนถึงปริมาณไอออนคลอไรด์ (Cl^-) ที่เพิ่มขึ้นในระบบน้ำบาดาล (แสดงในรูปที่ 5 (ก)) โดยลักษณะนี้ชี้ให้เห็นถึงอิทธิพลของการรุกล้ำของน้ำทะเลต่อระบบน้ำบาดาลจืด โดยเฉพาะในจังหวัดสมุทรปราการ [10]

นอกจากนี้ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนแมกนีเซียมต่อแคลเซียม (Mg^{2+}/Ca^{2+}) กับปริมาณคลอไรด์ (Cl^-) ยังบ่งชี้อีกว่า ตัวอย่างน้ำบาดาลจากพื้นที่บางจุดมีอัตราส่วน Mg^{2+}/Ca^{2+} มากกว่า 1 และมีปริมาณคลอไรด์ (Cl^-) สูงกว่า 16.9 meq/L (600 มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่งเป็นแนวโน้มเฉพาะที่บ่งชี้ถึงการรุกล้ำของน้ำทะเลที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้น ผลการวิเคราะห์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kamdee et al. (2023) [8] ซึ่งระบุว่าน้ำบาดาลของแอ่งเจ้าพระยาตอนล่างที่มีอายุน้อย (younger water) มีแนวโน้มแสดงการปนเปื้อนจากการรุกล้ำของน้ำทะเล (brackish water) ในชั้นน้ำบาดาลตอนบน



(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคลอไรด์ (Cl^-) และโซเดียม (Na^+)



(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนแมกนีเซียมต่อแคลเซียม (Mg^{2+}/Ca^{2+}) กับปริมาณคลอไรด์ (Cl^-)

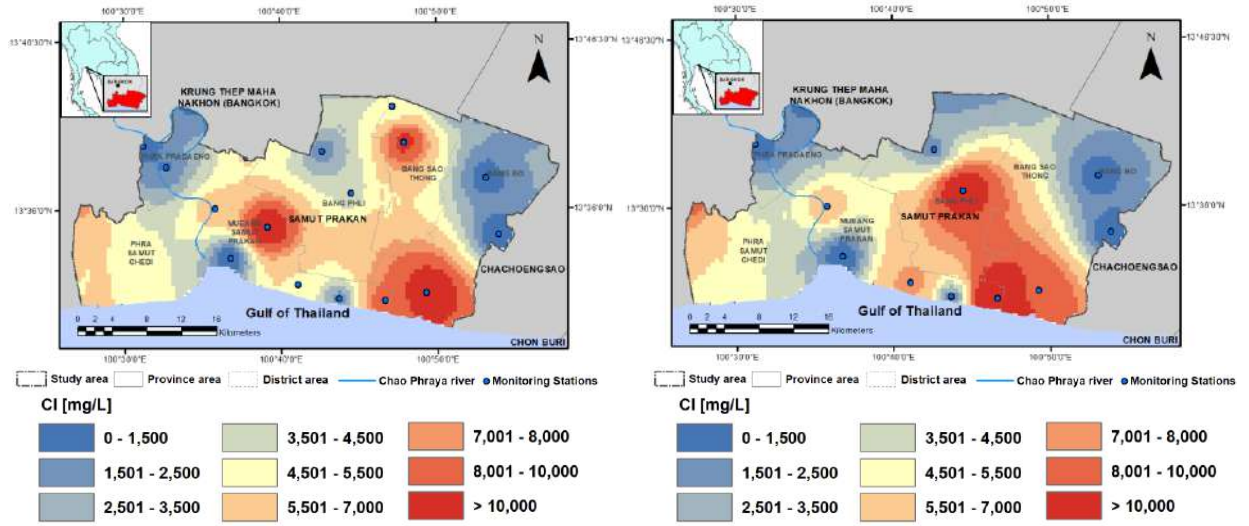
รูปที่ 5 แสดง (ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคลอไรด์ (Cl^-) และโซเดียม (Na^+) และ (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนแมกนีเซียมต่อแคลเซียม (Mg^{2+}/Ca^{2+}) กับปริมาณคลอไรด์ (Cl^-) ปี พ.ศ. 2564

5.2 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของปริมาณคลอไรด์ในพื้นที่ศึกษา

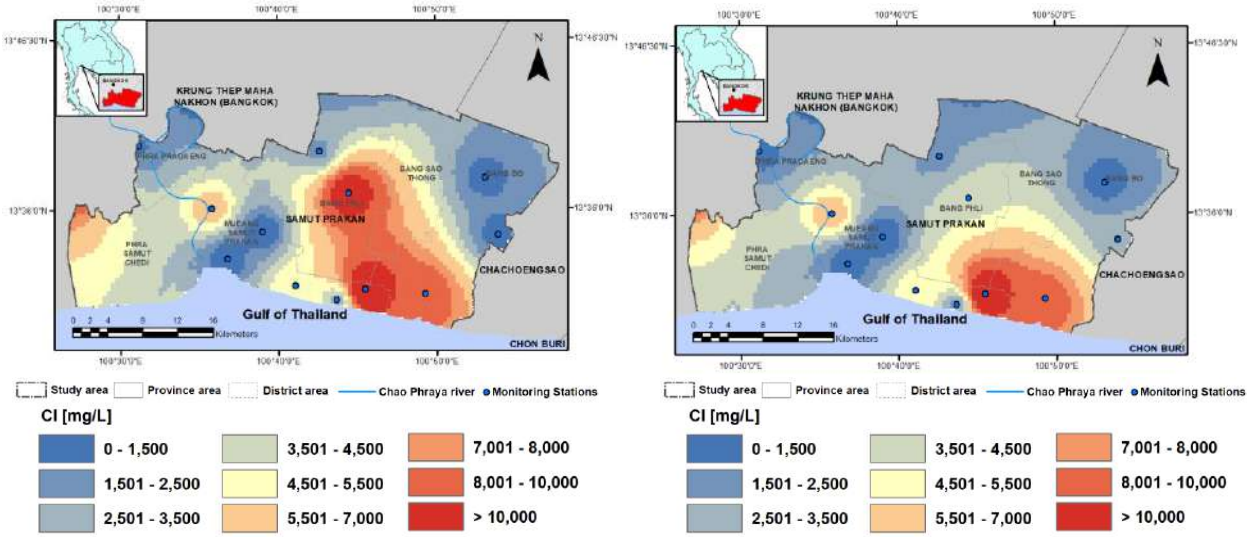
ผลการศึกษาสามารถจัดทำแผนที่การกระจายตัวของปริมาณคลอไรด์ในพื้นที่ศึกษา ในปี พ.ศ. 2554 พ.ศ. 2558 พ.ศ. 2563 และ พ.ศ. 2564 ดังรูปที่ 6 โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

ในปี พ.ศ. 2554 ระดับคลอไรด์ที่มีช่วง 7,001-10,000 มิลลิกรัม/ลิตร และช่วง >10,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปรากฏอยู่ในบางพื้นที่ ได้แก่ พื้นที่เมืองสมุทรปราการ บริเวณพื้นที่อำเภอบางเสาธง และพื้นที่ติดแนวชายฝั่งของบริเวณพื้นที่บางบ่อ ขณะที่พื้นที่ตอนในของชั้นน้ำบาดาล มีค่าคลอไรด์ต่ำกว่า 3,500 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเฉพาะบริเวณทางเหนือในพื้นที่บางบ่อ และพื้นที่ต่อเนื่องไปยังจังหวัดฉะเชิงเทรา

ปี พ.ศ. 2558 และ ปี พ.ศ. 2563 พบว่าลักษณะการกระจายตัวของคลอไรด์มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน โดยพบว่า บริเวณตอนกลางของพื้นที่เมืองสมุทรปราการ และพื้นที่ติดแนวชายฝั่งของบริเวณพื้นที่บางบ่อ มีระดับคลอไรด์ในช่วง 7,001-10,000 มิลลิกรัม/ลิตร และช่วง >10,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่บริเวณพื้นที่ตอนกลางของพื้นที่เมืองสมุทรปราการ ฝั่งที่ใกล้กับแม่น้ำเจ้าพระยา พบปริมาณคลอไรด์ที่ลดลง จากปี พ.ศ. 2554 และในปี พ.ศ. 2564 พบว่า ระดับคลอไรด์ในช่วง 7,001-10,000 มิลลิกรัม/ลิตร และช่วง >10,000 มิลลิกรัม/ลิตร มีการกระจายตัวอยู่ในบริเวณที่ติดแนวชายฝั่งของบริเวณพื้นที่บางบ่อ และทางใต้ของพื้นที่เมืองสมุทรปราการ เท่านั้น ซึ่งแนวโน้มการลดลงของปริมาณอาจเกิดการจากเติมน้ำของระบบน้ำบาดาลในบริเวณตะวันออกของแอ่งเจ้าพระยาตอนล่าง [9]



(ก) การกระจายตัวของปริมาณคลอไรด์ปี พ.ศ. 2554 (ข) การกระจายตัวของปริมาณคลอไรด์ปี พ.ศ. 2558



(ค) การกระจายตัวของปริมาณคลอไรด์ปี พ.ศ. 2563 (ง) การกระจายตัวของปริมาณคลอไรด์ปี พ.ศ. 2564

รูปที่ 6 แสดง (ก) การกระจายตัวของปริมาณคลอไรด์ปี พ.ศ. 2554 (ข) การกระจายตัวของปริมาณคลอไรด์ปี พ.ศ. 2558 (ค) การกระจายตัวของปริมาณคลอไรด์ปี พ.ศ. 2563 และ (ง) การกระจายตัวของปริมาณคลอไรด์ปี พ.ศ. 2564 ของพื้นที่ศึกษา

5.3 ผลการประเมินระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์โดยใช้วิธีสถิติ

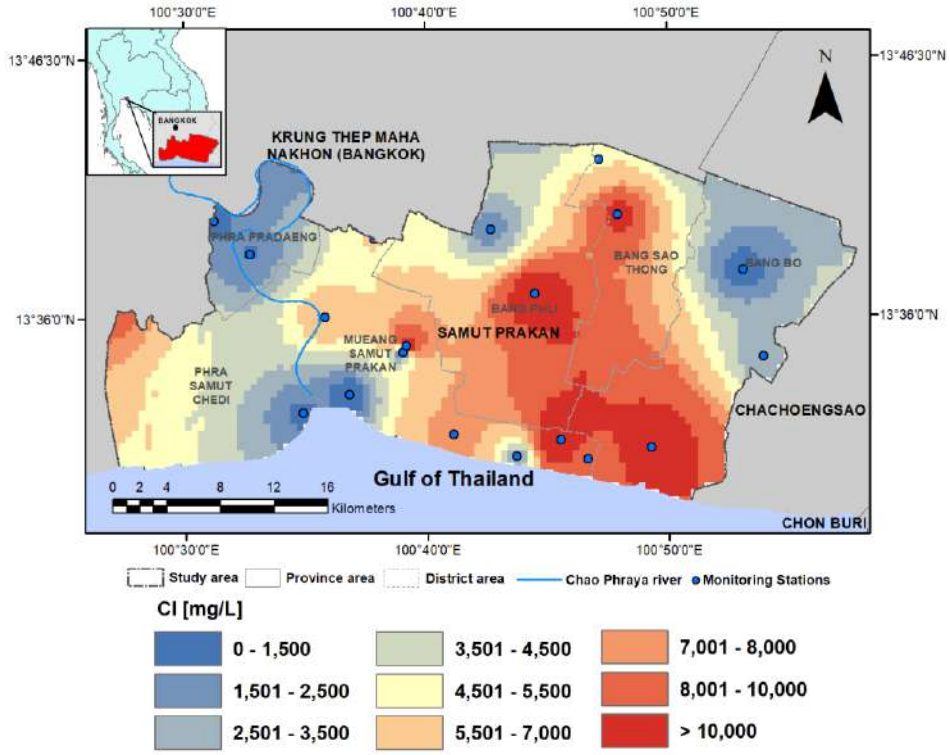
จากการศึกษาระดับคลอไรด์ในน้ำบาดาลอาจได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัย เช่น การรุกล้ำของน้ำเค็ม กิจกรรมอุตสาหกรรม และการชะล้างจากพื้นที่เกษตรกรรม โดยชุดข้อมูลนี้ติดตามความเข้มข้นของคลอไรด์ในชั้นน้ำบาดาลพระประแดง พื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของคลอไรด์เปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงเวลา โดยมีการนำตัวชี้วัดต่างๆ มาใช้เพื่อสนับสนุนการประเมินผล ได้แก่

1) ค่าร้อยละ (percentiles) ที่ 25, 50 และ 75 เพื่อแสดงลักษณะการกระจายตัว และแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของคลอไรด์ในแต่ละปี
2) ค่าระดับพื้นหลังตามธรรมชาติ (National Background Level; NBL) เพื่อใช้เป็นค่าฐานสำหรับระดับความเข้มข้นคลอไรด์ที่สะท้อนสภาพธรรมชาติ โดยใช้ค่าร้อยละ (percentiles) ที่ 95
3) ค่ามาตรฐานอ้างอิง (Reference Value; REF) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์สำหรับระบบคลอไรด์ที่ถือเป็นค่าปกติทั่วไป
4) ค่าขีดจำกัด (Threshold Value; TV) เพื่อกำหนดระดับความเข้มข้นของคลอไรด์ที่อาจแสดงให้เห็นถึงปัญหามลพิษในน้ำบาดาล

ตัวชี้วัดเหล่านี้ช่วยในการประเมินปริมาณของคลอไรด์ในแต่ละพื้นที่เปรียบเทียบกับค่าธรรมชาติและค่าที่ยอมรับได้ เพื่อใช้ในการจัดการคุณภาพน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติน้ำบาดาลของบ่อสังเกตการณ์ในช่วงปี พ.ศ. 2553–2564 ดังแสดงในตารางที่ 1 และทำการจัดทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์ ดังรูปที่ 7 โดยพบว่าบริเวณตอนกลางพื้นที่อำเภอเมืองสมุทรปราการ มีค่าระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์ที่ค่อนข้างสูง และบริเวณชายฝั่งด้านใต้ของพื้นที่อำเภอเมืองสมุทรปราการ และอำเภอบางบ่อ มีค่าระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์ที่ค่อนข้างสูง โดยค่าระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์ที่สูงสุดคือ 15,050 มิลลิกรัม/ลิตร ต่ำสุดอยู่ที่ 20 มิลลิกรัม/ลิตร

ตารางที่ 1 สรุปข้อมูลทางสถิติของผลวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ของบ่อสังเกตการณ์น้ำบาดาลในชั้นน้ำบาดาลพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ

ปี (พ.ศ.)	จำนวนบ่อสังเกตการณ์น้ำบาดาล	Cl^{-1} [mg/L]							
		min	max	Percentile			NBL	REF	TV
				25th	50th	75th			
2553-2564	21	20	17,000	870	2,150	7,925	15,050	600	15,050
2553	8	360	5,800	763	1,500	2,525	5,100	600	5,100
2554	18	340	16,000	1,025	3,100	8,125	14,300	600	14,300
2555	7	350	16,000	760	2,000	5,900	13,060	600	13,060
2556	16	330	16,000	793	5,650	9,150	13,750	600	13,750
2557	11	20	16,000	655	2,000	5,850	14,000	600	14,000
2558	12	340	17,000	825	4,000	8,850	14,800	600	14,800
2559	12	340	17,000	823	3,950	8,050	13,700	600	13,700
2560	- ไม่มีข้อมูล -								
2561	11	340	14,000	1,440	2,400	7,950	13,500	600	13,500
2562	1	15000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	600	15,000
2563	12	66	15,000	933	2,500	7,475	13,900	600	13,900
2564	12	84	15,000	765	2,450	5,725	11,755	600	11,755



รูปที่ 7 แสดงการกระจายตัวของระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการจัดทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์ โดยพบว่าบริเวณตอนกลางพื้นที่อำเภอเมืองสมุทรปราการ มีค่าระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์ที่ค่อนข้างสูงซึ่งมีแนวโน้มที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมอุตสาหกรรมเนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีการกระจุกตัวของบ่อน้ำบาดาลภาคเอกชน และบริเวณชายฝั่งด้านใต้ของพื้นที่อำเภอเมืองสมุทรปราการ และอำเภอบางบ่อ มีค่าระดับพื้นหลังธรรมชาติของคลอไรด์ที่ค่อนข้างสูง ส่วนใหญ่เป็นน้ำบาดาลประเภทโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เป็นหลัก รวมถึงผลจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคลอไรด์ (Cl^-) และโซเดียม (Na^+) และ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนแมกนีเซียมต่อแคลเซียม (Mg^{2+}/Ca^{2+}) กับปริมาณคลอไรด์ (Cl^-) ปี พ.ศ. 2564 ซึ่งบ่อชี้ว่ามีการรุกล้ำของน้ำทะเลอย่างมีนัยสำคัญ [5][14][15]

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจาก "ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช" สุดท้ายนี้ขอขอบคุณกรมทรัพยากรน้ำบาดาลที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2555). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการจัดทำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการบริหารจัดการน้ำบาดาลในเขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาล. กรุงเทพฯ. กรมทรัพยากรน้ำบาดาล.

[2] ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2542). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาข้อมูลและศักยาพการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อการอุตสาหกรรมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. กรุงเทพฯ

[3] Bulut, O. F., Duru, B., Çakmak, Ö., Günhan, Ö., Dilek, F. B., & Yetis, U. (2020). Determination of groundwater threshold values: A methodological approach. Journal of Cleaner Production, 253, 120001.

[4] Cao, T., Han, D., & Song, X. (2021). Past, present, and future of global seawater intrusion research: A bibliometric analysis. Journal of Hydrology, 603, 126844.

[5] Chotpantarat, S., Parkchai, T., & Wisitthammasri, W. (2020). Multivariate statistical analysis of hydrochemical data and stable isotopes of groundwater contaminated with nitrate at Huay Sai Royal Development Study Center and adjacent areas in Phetchaburi Province, Thailand. *Water*, *12*(4), 1127.

[6] Kim, K. H., Yun, S. T., Kim, H. K., & Kim, J. W. (2015). Determination of natural backgrounds and thresholds of nitrate in South Korean groundwater using model-based statistical approaches. Journal of Geochemical Exploration, 148, 196-205.

[7] Kumar, M., Panday, D. P., Bhagat, C., Herbha, N., & Agarwal, V. (2023). Demystifying the decadal shift in the extent of groundwater in the coastal aquifers of Gujarat, India: A case of reduced extent but increased magnitude of seawater intrusion. Science of The Total Environment, 898, 165451.

[8] Kamdee, K., Corcho Alvarado, J. A., Yongprawat, M., Occarach, O., Hunyek, V., Wongsit, A., ... & Matsumoto, T. (2023). Using 81Kr and isotopic tracers to characterise old groundwater in the Bangkok metropolitan and vicinity areas. Isotopes in Environmental and Health Studies, 59(4-6), 426-453.

[9] Lorphensri, O., Nettasana, T., & Ladawadee, A. (2016). Groundwater environment in Bangkok and the surrounding vicinity, Thailand. In Groundwater environment in Asian cities (pp. 229-262). Butterworth-Heinemann.

[10] Mtoni, Y., Mjemah, I. C., Bakundukize, C., Van Camp, M., Martens, K., & Walraevens, K. (2013). Saltwater intrusion and nitrate pollution in the coastal aquifer of Dar es Salaam, Tanzania. Environmental Earth Sciences, 70, 1091-1111.

[11] Piyapong, J., Thidarat, B., Jaruwan, C., Siriphan, N., & Passanan, A. (2019). Enhancing citizens' sense of personal responsibility and risk perception for promoting public participation in sustainable groundwater resource management in Rayong Groundwater Basin, Thailand. Groundwater for Sustainable Development, 9, 100252.

[12] Pulido-Velazquez, D., Baena-Ruiz, L., Fernandes, J., Arnó, G., Hinsby, K., Voutchkova, D., Hansen, B., Retike, I., Bikše, J., & Collados-Lara, A.-J. (2022). Assessment of chloride natural background levels by applying statistical approaches. Analyses of European coastal aquifers in different environments. Marine Pollution Bulletin, 174, 113303.

[13] Pulido-Velazquez, D., Baena-Ruiz, L., Voutchkova, D., Hansen, B., Hinsby, K., Arnó, G., ... & Grima, J. (2021, April). Comparing methods to estimate chloride natural background levels to assess sea water intrusion. In EGU General Assembly Conference Abstracts (pp. EGU21-16210).

[14] Sae-Ju, J., Chotpantarat, S., & Thitimakorn, T. (2018). Assessment of seawater intrusion using multivariate statistical, hydrochemical and geophysical techniques in coastal aquifer, Cha-am district, Thailand. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, *2018*, 1-50.

[15] Sae-Ju, J., Chotpantarat, S., & Thitimakorn, T. (2020). Hydrochemical, geophysical and multivariate statistical investigation of the seawater intrusion in the coastal aquifer at Phetchaburi Province, Thailand. Journal of Asian Earth Sciences, 191, 104165.

[16] Stoecker, F., Babel, M. S., Gupta, A. D., Rivas, A. A., Evers, M., Kazama, F., & Nakamura, T. (2013). Hydrogeochemical and isotopic characterization of groundwater salinization in the Bangkok aquifer system, Thailand. Environmental earth sciences, 68, 749-763.

[17] Yu, X., & Michael, H. A. (2022). Impacts of the scale of representation of heterogeneity on simulated salinity and saltwater circulation in coastal aquifers. Water Resources Research, 58(1), e2020WR029523.

[18] Zhang, Y., Yan, Y., Yao, R., Wei, D., Huang, X., Luo, M., Wei, C., Chen, S., & Yang, C. (2024). Natural background levels, source apportionment and health risks of potentially toxic elements in groundwater of highly urbanized area. Science of The Total Environment, 935, 173276.

การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม และนโยบาย

Poster Presentation

การศึกษาผลกระทบของค่าความเค็มในน้ำต่อการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน

ดวงฤดี แสงไกร, บุญญรัตน์ ดิษฐสอน, และพชรพล อินทุเวศ*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 73000
* Corresponding author: induvesa_p@su.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของค่าความเค็มในน้ำต่อการเกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทนซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อในระบบผลิตน้ำประปาได้แก่ ไดคลอโรไอโอโดมีเทน (DCIM) โบรโมคลอโรไอโอโดมีเทน (BCIM) และไตรไอโอโดมีเทน (TIM) เป็นกลุ่มสารที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพเนื่องจากมีความเป็นพิษเมื่อเทียบกับสารในกลุ่มไตรฮาโลมีเทนอื่น ๆ โดยในการวิเคราะห์นั้นจะใช้น้ำตัวอย่างจากโรงผลิตน้ำประปาในเขตกรุงเทพมหานคร โดยจะนำน้ำมาจากคลองประปา น้ำหลังตกตะกอน น้ำหลังกรอง และน้ำที่จ่ายจากท่อประปาพารามิเตอร์ทั่วไปที่วิเคราะห์คุณภาพน้ำมีดังนี้ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความกระด้าง การนำไฟฟ้า ความเป็นด่าง ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ ความเค็ม สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ปริมาณไอโอไดด์และคลอไรด์ รวมถึงปริมาณคลอรีนคงเหลือ และได้มีการทดสอบศักยภาพการเกิดสารพลอยได้ในน้ำผ่านการเติมโซเดียมคลอไรด์เพื่อศึกษาผลกระทบของความเค็มต่อการเกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน โดยการใช้โซเดียมคลอไรด์ในความเข้มข้นที่แตกต่างกันเพื่อทดสอบ ผลการศึกษาพบว่าน้ำดิบจากคลองประปามีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 6.6-7.5 ความกระด้างอยู่ในช่วง 60.78-114.9 mg/l การนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 207.50- 363.33 µS/cm ความเค็มอยู่ในช่วง 0.10-0.18 ppt ความเป็นด่าง (Alkalinity) 91.18-101.60 mg/l ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 181.33-239.33 mg/l และคลอไรด์อยู่ในช่วง 8.61-29.80 mg/l ซึ่งทุกค่าไม่เกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่กำหนด เมื่อน้ำดิบผ่านกระบวนการของระบบผลิตน้ำประปา ค่าคุณภาพน้ำมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 6.3-7.5 ความกระด้างอยู่ในช่วง 59.74-127.20 mg/l การนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 212.83-358.33 µS/cm ความเค็มอยู่ในช่วง 0.10-0.19 ppt ความเป็นด่าง 12.70-77.89 mg/l ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำอยู่ในช่วง 102.00-314.67 mg/l และคลอไรด์ 14.50-34.91 mg/l ซึ่งโดยรวมพบว่าหลังผ่านกระบวนการผลิตพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ลดลง ยกเว้นปริมาณคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์สารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคพบว่า โบรโมคลอโรไอโอโดมีเทน (BCIM) ไม่ถูกตรวจพบในทุกตัวอย่างน้ำ ขณะที่ไดคลอโรไอโอโดมีเทน (DCIM) นั้นพบเฉพาะในน้ำดิบและน้ำหลังตกตะกอนน้ำ นอกจากนี้เมื่อนำพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ไปหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียรสัน พบว่า ไอโอไดด์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับไดคลอโรไอโอโดมีเทนและไตรไอโอโดมีเทน โดยเฉพาะเมื่อน้ำมีความเค็มสูง ค่าความเค็มยังมีผลต่อความสัมพันธ์ของตัวแปรอื่น ๆ เช่น สารอินทรีย์ในน้ำ คลอไรด์ คลอรีนตกค้าง ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการศึกษาจึงชี้ให้เห็นถึงบทบาทของไอโอไดด์และความเค็มที่มีผลต่อการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทนในกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยควรมีการควบคุมระดับไอโอไดด์ สารอินทรีย์ในน้ำและความเค็มในกระบวนการผลิตให้เหมาะสม เพื่อลดความเสี่ยงจากการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน

คำสำคัญ: ไอโอไดด์ / ไอโอโดไตรฮาโลมีเทน / ค่าความเค็ม / สารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรค / คุณภาพน้ำประปา

The Impact of Water Salinity on the Formation of Iodo-trihalomethanes in Water Treatment Plant

Duangrudee Saengkrai, Boonyarat Ditasorn, and Phacharapol Induvesa*

Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand.
*Corresponding author: induvesa_p@su.ac.th

Abstract

This study aimed to analyze the impact of water salinity on the formation of iodo-trihalomethanes (I-THMs), a group of disinfection by-products (DBPs) generated during the chlorination process in a public water production system. The target compounds included dichloroiodomethane (DCIM), bromochloroiodomethane (BCIM), and triiodomethane (TIM), which pose potential health risks due to their higher toxicity compared to other trihalomethanes (THMs). Water samples were collected from a water treatment plant in Bangkok at four stages: raw water from the canal, post-coagulation, post-filtration, and treated water from the distribution system. The water quality parameters analyzed included pH, hardness, electrical conductivity, alkalinity, total dissolved solids (TDS), salinity, organic matter, iodide and chloride concentrations, and residual chlorine. Additionally, experiments were conducted by adding sodium chloride at different concentrations to examine the influence of salinity on I-THM formation. The results indicated that the raw water met surface water quality standards, with pH ranging from 6.6 to 7.5, hardness between 60.78 and 114.9 mg/L, electrical conductivity from 207.50 to 363.33 µS/cm, salinity between 0.10 and 0.18 ppt, alkalinity ranging from 91.18 to 101.60 mg/L, TDS between 181.33 and 239.33 mg/L, and chloride concentrations from 8.61 to 29.80 mg/L. After treatment, most water quality parameters decreased except for chloride levels, which increased. Specifically, pH ranged from 6.3 to 7.5, hardness from 59.74 to 127.20 mg/L, electrical conductivity between 212.83 and 358.33 µS/cm, salinity from 0.10 to 0.19 ppt, alkalinity between 12.70 and 77.89 mg/L, TDS ranging from 102.00 to 314.67 mg/L, and chloride levels from 14.50 to 34.91 mg/L. DBP analysis revealed that BCIM was not detected in any water samples, while DCIM was found only in raw and post-coagulation water. Pearson correlation analysis demonstrated a positive correlation between iodide and both DCIM and TIM, particularly at higher salinity levels. Furthermore, salinity influenced I-THM formation through its interaction with organic matter, chloride, and residual chlorine at a significance level of 0.05. These findings highlight the role of iodide and salinity in I-THM formation and emphasize the importance of controlling iodide levels, organic matter, and salinity in water treatment processes to minimize the risks associated with these disinfection by-products.

Keywords: Iodide / Iodo-Trihalomethanes / Salinity / Disinfection Byproducts / Tap water quality

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การใช้ทรัพยากรน้ำบาดาลเกินขีดจำกัดและการรุกล้ำของน้ำทะเล ส่งผลให้ค่าความเค็มในแหล่งน้ำจืดเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของน้ำดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา ค่าความเค็มที่เพิ่มขึ้นมักมาพร้อมกับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของไอออนฮาไลด์ โดยเฉพาะไอโอไดด์ (I-) และโบรไมด์ (Br-) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับสารฆ่าเชื้อ เช่น คลอรีนและคลอรามีน นำไปสู่การก่อเกิดสารพลอยได้จากกระบวนการฆ่าเชื้อ (Disinfection By-Products; DBPs) โดยเฉพาะสารกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน (Iodinated Trihalomethanes; I-THMs) ได้แก่ ไดคลอโรไอโอโดมีเทน (DCIM) โบรโมคลอโรไอโอโดมีเทน (BCIM) และไตรไอโอโดมีเทน (TIM) ซึ่งมีความเป็นพิษสูงกว่าไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes; THMs) อื่น ๆ สารในกลุ่ม I-THMs มีความเป็นพิษสูงเนื่องจากมีศักยภาพในการก่อกลายพันธุ์ (mutagenicity) และก่อมะเร็ง (carcinogenicity) สูงกว่า THMs ทั่วไป นอกจากนี้ ยังสามารถก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบประสาท (neurotoxicity) และมีผลกระทบต่อระบบต่อมไร้ท่อ (endocrine disruption) ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของค่าความเค็มในน้ำดิบจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องได้รับการพิจารณาในการบริหารจัดการคุณภาพน้ำประปา การเลือกใช้สารฆ่าเชื้อที่เหมาะสม เพื่อลดการเกิดสารพิษกลุ่ม I-THMs และป้องกันผลกระทบด้านสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นกับประชากร จึงได้เริ่มดำเนินงานวิจัยนี้ขึ้นเพื่อศึกษากลไกการเกิดสารพลอยได้กลุ่ม I-THMs ในระบบผลิตน้ำประปาและหาแนวทางการป้องกันค่าความเค็มในน้ำที่จะเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำประปา เพื่อการผลิตน้ำประปาที่มีคุณภาพสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนด้านที่ 6 เพื่อให้มีน้ำเพื่อใช้ประโยชน์และมีการจัดการน้ำและสุขาภิบาลอย่างยั่งยืนสำหรับทุกคน

2. วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์ผลกระทบของค่าความเค็มในน้ำต่อการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน ซึ่งเป็นสารที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อในระบบผลิตน้ำประปา โดยมุ่งเน้นไปที่สาร ไดคลอโรไอโอโดมีเทน (DCIM), โบรโมคลอโรไอโอโดมีเทน (BCIM) และไตรไอโอโดมีเทน (TIM)

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาการเกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคในน้ำตัวอย่างจาก 1) น้ำดิบ (Raw water) 2) น้ำตัวอย่างหลังตกตะกอน (Coagulation-Flocculation Sedimentation) 3) น้ำหลังกรองผ่านถังกรองทราย (Sand filtration) 4) น้ำที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโรค (Tap water)

2. ศึกษาสารพลอยได้ในกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน (Iodo–trihalomethanes; I-THMs) จากการฆ่าเชื้อโรคในแต่ละขั้นตอน และศึกษาผลกระทบในการเกิดสารพลอยได้ที่เกิดขึ้นจากการฆ่าเชื้อโรค (Formation potential)

4. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของค่าความเค็มในน้ำต่อการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโด-ไตรฮาโลมีเทน โดยมีรายละเอียด

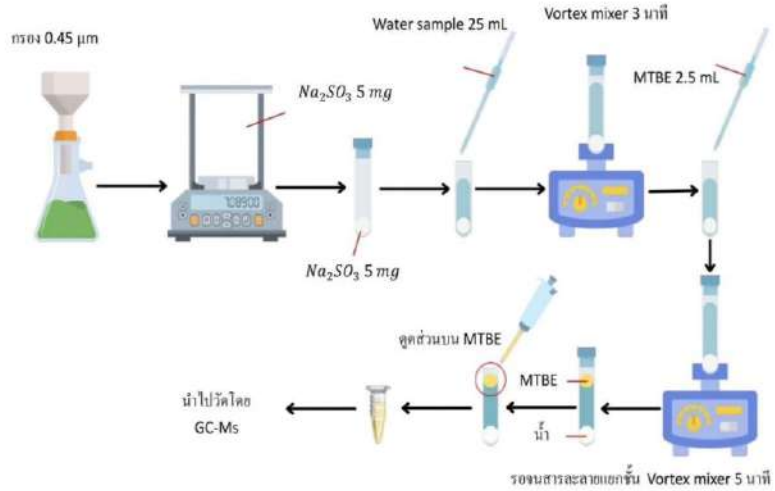
4.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพน้ำทั่วไป ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพน้ำทั่วไป

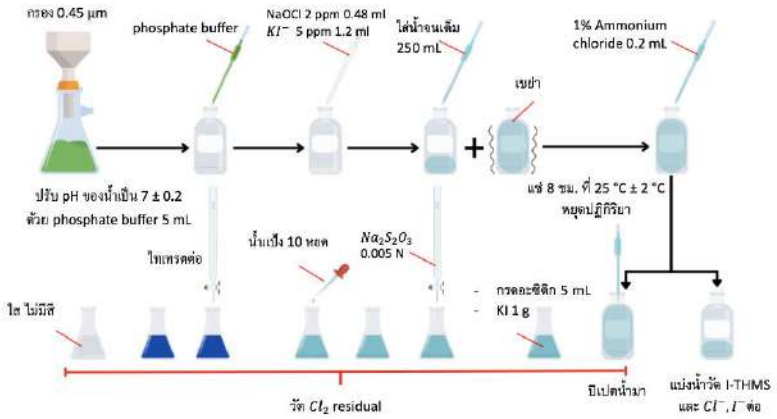
พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือวิเคราะห์
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH meter
ความกระด้าง (Hardness)	EDTA titrimetric
การนำไฟฟ้า (Conductivity)	EC meter
ความเค็ม (Salinity)	Salinity Meter
ความเป็นด่าง (Alkalinity)	Indicator titration
ของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (Total Dissolved Solid; TDS)	การทำให้แห้งที่ 180 °C
สารอินทรีย์ละลายน้ำ - สารอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ - การตรวจวัดการดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 254 nm	 - เครื่อง TOC Analyzer - เครื่อง UV-Spectrophotometer
ไอโอไดด์ (Iodide)	Ion Chromatography
คลอไรด์ (Chloride)	Ion Chromatography
คลอรีนคงเหลือ (Chlorine residual)	Iodometric Titration

2. วิธีการวิเคราะห์การเกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน (Iodotrihalomethanes; I-THMs) จะทำการวิเคราะห์สาร 3 ชนิด ได้แก่ ไดคลอโรไอโอโดมีเทน (DCIM) โบรโมคลอโรไอโอโดมีเทน (BCIM) และไตรไอโอโดมีเทน (TIM) โดยใช้วิธีการสกัดด้วยสารละลาย (Liquid-Liquid Extraction; GC) คือ การนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรอง GF/C และนำมากรองต่อด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 µm จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการกรอง 25 ml มาใส่ในขวดฝาเกลียวที่มี Na_2SO_3 5 mg ผสมให้เข้ากัน แล้วจึงเติม MTBE 2.5 ml ก่อนจะนำไปผสมที่ Vortex Mixer เป็นเวลา 5 นาที และ ปิเปตสาร MTBE ที่อยู่ด้านบนสารละลายใส่ขวด Viral ตรวจวัดด้วยเครื่อง Gas-chromatography Mass ดังรูปที่ 1



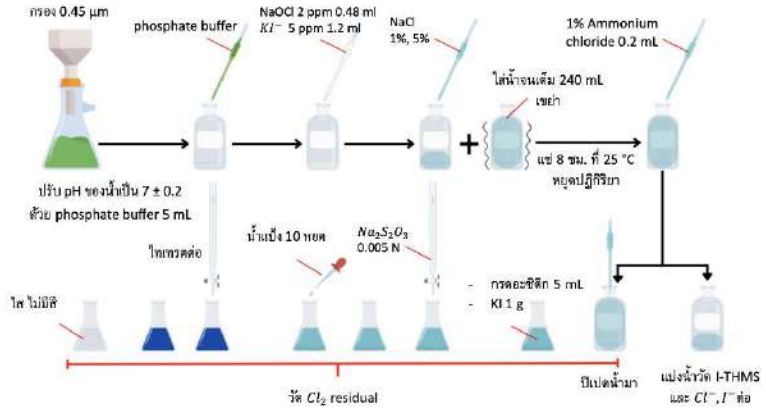
รูปที่ 1 ขั้นตอนการสกัดไอโอโดไตรฮาโลมีเทน (Iodotrihalomethanes; I-THMs)

3. วิธีการศึกษาศักยภาพการเกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน (Formation potential of I-THMs with Iodide) ทำโดยการนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรอง GF/C และกระดาษกรองขนาด 0.45 µm นำ Phosphate buffer 5 ml ใส่ในขวดปริมาตร 250 ml เติมสารละลายไฮโปคลอไรท์ 0.48 ml และสารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ 1.2 ml จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการกรองแล้วใส่ในขวดปริมาตร 250 ml ให้เต็มขวดแล้วจึงนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25±2 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วนำน้ำมาเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 2 ml ก่อนนำไปสกัดด้วยสารละลาย (Liquid-Liquid Extraction; GC) และแบ่งน้ำที่บ่มแล้วไปวิเคราะห์ปริมาณคลอรีนคงเหลือ ค่าไอโอไดด์ และค่าคลอไรด์ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำ Formation potential of I-THMs with Iodide

4. วิธีการศึกษาผลกระทบของความเค็มต่อการเกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน (Formation potential of I-THMs with Iodide and Salinity) ทำโดยการนำน้ำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรอง GF/C และกระดาษกรองขนาด 0.45 µm นำ Phosphate buffer 5 ml ใส่ในขวดปริมาตร 250 ml เติมสารละลายไฮโปคลอไรท์ 0.48 ml และสารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ 1.2 ml จากนั้นเติมโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 1% และ 5% แล้วจึงนำน้ำที่ผ่านการกรองแล้วใส่ในขวดปริมาตร 250 ml ให้เต็มขวดแล้วจึงนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 25±2 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วนำน้ำมาเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ 2 ml ก่อนนำไปสกัดด้วยสารละลาย (Liquid-Liquid Extraction; GC) และแบ่งน้ำที่บ่มแล้วไปวิเคราะห์ปริมาณคลอรีนคงเหลือ ค่าไอโอไดด์ และค่าคลอไรด์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำ Formation potential of I-THMs with Iodide and Salinity

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

1. วิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพน้ำทั่วไปด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย

2. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค็มกับการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน รวมถึง ความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสารกลุ่มนี้ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทั่วไปของน้ำก่อนและหลังเข้ากระบวนการผลิตน้ำประปา

จากการศึกษาการเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 4 จุด โดยจะเก็บตัวอย่างจำนวน 1 ตัวอย่างในแต่ละจุดและเก็บจุดละ 6-7 L การเก็บตัวอย่างน้ำดำเนินการตั้งแต่ช่วงเดือนมิถุนายน 2567 ถึงเดือนธันวาคม 2567 รวมทั้งหมด 4 ครั้ง ทั้งนี้ ตัวอย่างน้ำ แต่ละจุดจะถูกวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแต่ละพารามิเตอร์ซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ โดยการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำดิบจากคลองประปามีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 6.6-7.5 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่กำหนดไว้ที่ 5.0-9.0 [1] เช่นเดียวกับน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตน้ำประปาที่มีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.3-7.5 แสดงให้เห็นว่าน้ำยังคงมีสภาพเป็นกลางทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการผลิต ค่าความกระด้างของน้ำดิบอยู่ระหว่าง 60.78-114.9 mg/l และหลังจากผ่านกระบวนการผลิตพบว่ามีค่าความกระด้างอยู่ระหว่าง 59.74-127.20 mg/l ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันมากนัก สำหรับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำดิบอยู่ในช่วง 207.50-363.33 µS/cm และหลังผ่านกระบวนการผลิตอยู่ในช่วง 212.83-358.33 µS/cm แสดงให้เห็นว่าค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากกระบวนการตกตะกอนและการกรองที่สามารถลดปริมาณไอออนบางชนิดในน้ำได้ อย่างไรก็ตาม ค่าความเค็มของน้ำดิบอยู่ในช่วง 0.10-0.18 ppt และหลังผ่านกระบวนการผลิตอยู่ในช่วง 0.10-0.19 ppt ซึ่งมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน สะท้อนให้เห็นว่ากระบวนการผลิตน้ำประปาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มของน้ำมากนัก ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ของน้ำดิบอยู่ในช่วง 91.18-101.60 mg/l และหลังผ่านกระบวนการผลิตอยู่ในช่วง 12.70-77.89 mg/l ซึ่งค่าความเป็นด่างนี้มีบทบาทสำคัญต่อการรักษาค่า pH ในกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยช่วยควบคุมสมดุลกรด-ด่างและป้องกันการกัดกร่อนของท่อส่งน้ำ ค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (TDS) ในตัวอย่างน้ำดิบอยู่ระหว่าง 181.33-239.33 mg/l และในน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตอยู่ในช่วง 102.00-314.67 mg/l สะท้อนให้เห็นว่ากระบวนการผลิตน้ำสามารถลดค่าของแข็งที่ละลายน้ำบางส่วนได้ แต่ในบางช่วงเวลาอาจมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับคุณภาพของน้ำดิบและประสิทธิภาพของระบบกรอง สำหรับค่าคลอไรด์ในน้ำดิบอยู่ระหว่าง 8.61-29.80 mg/l และในน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 14.50-34.91 mg/l ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าคลอไรด์นี้อาจมีสาเหตุมาจากการเติมสารฆ่าเชื้อโรค เช่น คลอรีน ในกระบวนการผลิตน้ำประปา อย่างไรก็ตาม ค่าคลอไรด์ที่พบยังอยู่ในช่วงที่ปลอดภัยและไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ ทั้งนี้ จากการตรวจวิเคราะห์พบว่าไม่มีการตรวจพบไอโอไดด์ในน้ำทั้งก่อนและหลังกระบวนการผลิต โดยทุกพารามิเตอร์ที่กล่าวมาทั้งการตรวจวิเคราะห์น้ำดิบจากคลองประปาและน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตน้ำประปาแล้วนั้นไม่เกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน [1] และมาตรฐานคุณภาพน้ำประปา [2]

5.2 ผลการศึกษาผลกระทบของความเค็มต่อการเกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน

ผลการศึกษาพบว่าการเกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคของกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทนก่อนทำปฏิกิริยานั้นไม่พบไดคลอโรไอโอโดมีเทน (DCIM) โบรโมคลอโรไอโอโดมีเทน (BCIM) และไตรไอโอโดมีเทน (TIM) ในทุกจุดเก็บตัวอย่างน้ำ แต่หลังการทำปฏิกิริยา พบว่ามีสารไดคลอโรไอโอโดมีเทน (DCIM) และไตรไอโอโดมีเทน (TIM) เกิดขึ้นในทุกจุดเก็บตัวอย่างน้ำ โดยไม่พบโบรโมคลอโรไอโอโดมีเทน (BCIM) อีกทั้งค่าไอโอไดด์และคลอไรด์ในน้ำหลังทำปฏิกิริยานั้นมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกจุดเก็บตัวอย่างน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าไอโอไดด์ และคลอไรด์ของน้ำทุกจุดเก็บตัวอย่างน้ำก่อนทำปฏิกิริยา และเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของความเค็มต่อการเกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทนได้มีการเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความเข้มข้น 1% และ 5% โดยใช้การวิเคราะห์สถิติค่าสัมประสิทธิ์สหพันธ์เพียรสัน (Pearson Correlation Coefficient) โดยกำหนดสมมติฐานทางสถิติ คือ H_0 : ค่าพารามิเตอร์ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกัน และ H_1 : ค่าพารามิเตอร์มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหพันธ์เพียรสัน (Pearson Correlation

Coefficient) ระหว่างค่าไอโอไดด์ ค่าคลอไรด์ และค่าไอโอโดไตรฮาโลมีเทน (I-THMs) มีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันไปตามระดับความเค็ม ดังตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์สหพันธ์เพียรสันระหว่างค่าไอโอไดด์ และ ค่าไอโอโดไตรฮาโลมีเทน (I-THMs) ในความเค็มที่แตกต่างกัน

Formation potential of I-THMs with Iodide and NaCl 1%			
parameter	จุดเก็บตัวอย่าง	P-value	Pearson Correlation Coefficient
Iodide - DCIM	1	.380	0.3795
	2	.369	0.6306
	3	.726	0.2744
	4	ND	ND
Iodide - TIM	1	.903	0.0974
	2	.694	0.3062
	3	.602	0.3982
	4	.561	0.4390
Formation potential of I-THMs with Iodide and NaCl 5%			
parameter	จุดเก็บตัวอย่าง	P-value	Pearson Correlation Coefficient
Iodide - DCIM	1	.352	0.6480
	2	.353	0.6469
	3	.728	-0.2717
	4	ND	ND
Iodide - TIM	1	.238	0.7625
	2	.020*	0.9804
	3	.042*	0.9581
	4	.065	0.9346

หมายเหตุ : * มีความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ND = Not detected (ตรวจไม่พบสารกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน จึงไม่สามารถวิเคราะห์ทางสถิติได้)
จุดเก็บตัวอย่าง 1 หมายถึง น้ำดิบ
จุดเก็บตัวอย่าง 2 หมายถึง น้ำหลังตกตะกอน
จุดเก็บตัวอย่าง 3 หมายถึง น้ำหลังทรายกรอง
จุดเก็บตัวอย่าง 4 หมายถึง น้ำประปา

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหพันธ์เพียรสันระหว่างค่าคลอไรด์ และ ค่าไอโอโดไตรฮาโลมีเทน (I-THMs) ในความเค็มที่แตกต่างกัน

Formation potential of I-THMs with Iodide and NaCl 1%			
parameter	จุดเก็บตัวอย่าง	P-value	Pearson Correlation Coefficient
Chloride - DCIM	1	.291	0.7087
	2	.310	0.6904
	3	ND	ND
	4	ND	ND
Chloride - TIM	1	.556	0.4440
	2	.289	0.7110
	3	.269	0.7307
	4	.195	0.8053
Formation potential of I-THMs with Iodide and NaCl 5%			
parameter	จุดเก็บตัวอย่าง	P-value	Pearson Correlation Coefficient
Chloride - DCIM	1	.033*	0.9672
	2	.019*	0.9807
	3	ND	ND
	4	ND	ND
Chloride - TIM	1	.902	-0.0985
	2	.488	0.5120
	3	.662	0.3378
	4	.938	0.0619

หมายเหตุ : * มีความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
ND = Not detected (ตรวจไม่พบสารกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน จึงไม่สามารถวิเคราะห์ทางสถิติได้)
จุดเก็บตัวอย่าง 1 หมายถึง น้ำดิบ
จุดเก็บตัวอย่าง 2 หมายถึง น้ำหลังตกตะกอน
จุดเก็บตัวอย่าง 3 หมายถึง น้ำหลังทรายกรอง
จุดเก็บตัวอย่าง 4 หมายถึง น้ำประปา

จากตารางที่ 5.1 พบว่าในจุดที่ 2 ที่มีการเติม NaCl ที่ความเข้มข้น 5% นั้นค่าไอโอไดด์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าไตรไอโอโดมีเทนที่เป็นสารในกลุ่มสารไอโอโดไตรฮาโลมีเทนอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ เมื่อค่าไอโอไดด์เพิ่มขึ้น ค่าไตรไอโอโดมีเทนก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน [3] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความเค็มสูงขึ้นจะส่งผลต่อการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทนในลักษณะเดียวกันกับจุดที่ 3 ที่เติม NaCl ที่ความเข้มข้น 5% ก็แสดงผลลัพธ์ในทิศทางเดียวกันกับในจุดที่ 2 สำหรับในตารางที่ 5.2 เมื่อนำค่าคลอไรด์กับค่าไอโอโดไตรฮาโลมีเทนในความเค็มที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันนั้นจะเห็นว่าในจุดที่ 1 และจุดที่ 2 ที่มีการเติม NaCl ที่ความเข้มข้น 5% นั้นมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางบวกอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่าคลอไรด์นั้นมีความสัมพันธ์กับค่าไดคลอโรไอโอโดมีเทนที่เป็นสารในกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน นอกจากนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น

ค่าคลอรีนคงเหลือและค่าคลอไรด์นั้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าคลอไรด์ กล่าวคือ เมื่อค่าคลอไรด์เพิ่มขึ้น ค่าคลอรีนคงเหลือหลังทำปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากคลอรีนละลายน้ำเกิดเป็นคลอไรด์ไอออน [4] อย่างไรก็ตาม ค่าคลอรีนคงเหลือมีความสัมพันธ์เชิงลบกับไอโอไดด์ หมายความว่า หากไอโอไดด์เพิ่มขึ้น ค่าคลอรีนคงเหลือจะลดลง เนื่องจากคลอรีนทำปฏิกิริยากับไอโอไดด์จนเกิดกรดไฮโปไอโอดัส (HOI) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาสารอินทรีย์ในน้ำและก่อให้เกิดสารพลอยได้ในกลุ่มไอโอโด (I-DBPs) โดยหนึ่งในนั้นคือสารกลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน [5] และจากผลการศึกษาจึงชี้ให้เห็นว่าบทบาทของไอโอไดด์และความเค็มนั้นมีผลต่อการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทนในกระบวนการผลิตน้ำประปา ความเค็มยังส่งผลต่อพารามิเตอร์อื่น ๆ ทำให้เกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทนได้อีกด้วย โดยควรมีการควบคุมระดับไอโอไดด์ สารอินทรีย์ในน้ำและความเค็มในกระบวนการผลิตให้เหมาะสม อีกทั้งการใช้สารฆ่าเชื้อควรมีการใช้ในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อลดความเสี่ยงจากการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตร-ฮาโลมีเทน

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ผลกระทบของค่าความเค็มในน้ำต่อการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทน (I-THMs) ซึ่งเป็นสารที่เกิดขึ้นในกระบวนการฆ่าเชื้อในระบบผลิตน้ำประปา โดยเฉพาะไดคลอโรไอโอโดมีเทน (DCIM), โบรโมคลอโรไอโอโดมีเทน (BCIM) และไตรไอโอโดมีเทน (TIM) ซึ่งมีความเป็นพิษสูง ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพน้ำทั่วไปพบว่า ค่าน้ำดิบจากคลองประปามีค่า pH อยู่ในช่วง 6.6-7.5 ความกระด้าง 60.78-114.9 mg/l การนำไฟฟ้า 207.50-363.33 µS/cm และความเค็ม 0.10-0.18 ppt ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน เมื่อผ่านกระบวนการผลิตน้ำประปา ค่าคุณภาพน้ำส่วนใหญ่จะลดลง ยกเว้นปริมาณคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ผลกระทบของความเค็มต่อการเกิดสารพลอยได้ในกลุ่ม I-THMs โดยใช้ Pearson Correlation Coefficient พบว่า ค่าความเค็มในน้ำมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการเกิดสารพลอยได้กลุ่มนี้ โดยเมื่อเพิ่มความเค็มด้วยโซเดียมคลอไรด์ในความเข้มข้น 1% และ 5% พบว่าปริมาณของ DCIM และ TIM ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม I-THMs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความเค็มที่สูงขึ้น โดยเฉพาะที่ความเค็มสูงสุดที่ทดสอบ (NaCl 5%) พบความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญระหว่างไอโอไดด์กับ TIM และระหว่างคลอไรด์กับ DCIM จากการศึกษานี้จึงสรุปได้ว่า ค่าความเค็มและระดับไอโอไดด์ในน้ำมีอิทธิพลต่อการเกิดสารพลอยได้กลุ่มไอโอโดไตรฮาโลมีเทนในกระบวนการผลิตน้ำประปา หากค่าความเค็มในน้ำสูงเกินไป อาจส่งผลให้เกิดสารพิษที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพ ดังนั้น ควรมีการควบคุมความเค็มในน้ำ ลดระดับไอโอไดด์ และควบคุมการใช้สารฆ่าเชื้อให้เหมาะสมเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดสารกลุ่ม I-THMs ที่เป็นอันตราย และในการบริหารจัดการคุณภาพน้ำในอนาคตควรคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะการรุกล้ำของน้ำทะเลที่อาจทำให้ค่าความเค็มในแหล่งน้ำจืดเพิ่มขึ้น หากไม่มีการควบคุมที่ดี อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อคุณภาพน้ำประปาและสุขภาพของผู้ใช้น้ำได้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2537). ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (2537) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน. https://www.pcd.go.th/laws/4168/

[2] การประปานครหลวง. (2565). ประกาศการประปานครหลวง เรื่อง เกณฑ์กำหนดคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง https://www.mwa.co.th/wp-content/uploads/2022/12เกณฑ์กำหนดน้ำประปาการประปานครหลวง-พ.ศ.2565.pdf

[3] Liang, L., Singer, P. C., Zhai, H., Zhang, X., Zhu, X., Liu, J., & Ji, M. (2022). Effect of seawater intrusion on the formation of disinfection by-products in drinking water. Science of The Total Environment, 827, 154398. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154398

[4] ธีรวิทย์ ปูผ้า และคณะ. (2548). ปัญหาคลอรีน คลอไรด์ ในน้ำประปาที่ใช้ในอุตสาหกรรมและแนวทางการแก้ไข https://www.welkinchemi.com/content/19565/chlorine-effect-solution

[5] Huiyu Dong et al. (2019). Formation of Iodinated Disinfection Byproducts (I-DBPs) in Drinking Water: Emerging Concerns and Current Issues. (pp. 896-905) https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.accounts.8b00641

การจัดการมลพิษ

Oral Presentation

การจัดการขยะเศษอาหารนำไปสู่โรงเรียนปลอดขยะ

วรากร พุ่มมณี[1], นพดล ปิ่นดอกไม้[1], ธีรภัทร ปั้นพิพัฒน์[1], สุรีพร แน่นดี[1], อภิชัย เชาว์โชติ[1], และสุวรรณี อัศวกุลชัย[2*]

[1]โรงเรียนพระสุธรรมยานเถระวิทยา จังหวัดอุทัยธานี
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
* Corresponding author: suwannee_ads@utcc.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนารูปแบบการจัดการขยะเศษอาหารแบบครบวงจร 2) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบการจัดการขยะเศษอาหาร และ 3) วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการลดปริมาณขยะเศษอาหาร การวิจัยใช้รูปแบบการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) ร่วมกับการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research) กลุ่มตัวอย่างเลือกแบบเจาะจง 500 คน แบ่งเป็นบุคลากรโรงเรียน 28 คน และนักเรียนประจำ 472 คน เครื่องมือวิจัยประกอบด้วย แบบสำรวจปริมาณขยะ แบบประเมินพฤติกรรม แบบทดสอบความรู้ และออกแบบรูปแบบการจัดการขยะเศษอาหาร วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาและการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า 1) รูปแบบการจัดการขยะเศษอาหารเป็นถังหมัก ทำจากพลาสติกหนา มีฝาปิด และไม่มีก้นถัง เส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร สามารถย่อยสลายขยะเศษอาหารได้ภายใน 7 วัน และผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง 2) ปริมาณขยะเศษอาหารลดลงจาก 6.1 เป็น 3.0 กิโลกรัมต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 50.1 3) ปัจจัยความสำเร็จประกอบด้วยการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ผลการอบรมการลดปริมาณขยะเศษอาหารภายในโรงเรียนแสดงให้เห็นว่าความรู้ก่อนและหลังการอบรมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และความพึงพอใจต่อการอบรมอยู่ในระดับสูงสุด ($\bar{x} = 4.60$) และการติดตามประเมินผลอย่างต่อเนื่อง โดยสรุป แนวทางการจัดการขยะเศษอาหารที่พัฒนา ช่วยลดปริมาณขยะเศษอาหารในโรงเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยประหยัดน้ำ ผลิตปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง และปลูกฝังจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อมให้กับนักเรียนและบุคลากร ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไปคือการนำแนวทางนี้ไปประยุกต์ใช้ในบริบทอื่น เช่น ชุมชนหรือองค์กรต่างๆ เพื่อขยายผลการลดขยะอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การจัดการขยะเศษอาหาร / โรงเรียนประจำ / การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม / เศรษฐกิจหมุนเวียน

Food waste management leads to a zero-waste school

Warakorn Phummanee[1], Noppadon Pindokmai[1], Teerapat Panpipat[1], Sureeporn Naendee[1], Apichai Chaochote[1], and Suwannee Asavakulchai[2]*

[1] Phra Suthammayanthera Witthaya School, Uthai Thani Province, Thailand
[2] Faculty of Engineering, University of the Thai Chamber of Commerce, Thailand
* Corresponding author: suwannee_ads@utcc.ac.th

Abstract

This research aims to 1) develop an integrated food waste management model 2) study the efficiency of the food waste management system and 3) analyze factors contributing to the success of reducing food waste. The study employs a Research and Development (R&D) approach combined with Participatory Action Research (PAR). A purposive sampling method selected 500 participants, including 28 schools staff and 472 boarding students. Research instruments consist of a waste quantity survey, a behavior assessment form, a knowledge test and the design of a food waste management model Data were analyzed using descriptive statistics and content analysis. The research findings revealed that 1) the food waste management model involved a fermentation bin made of thick plastic, featuring a sealed lid and an open bottom, with a diameter of 40 cm and a height of 60 cm. It could decompose food waste within 7 days and produce high-quality organic fertilizer. 2) The amount of food waste was reduced from 6.1 to 3.0 kilograms per month, representing a 50.1% reduction. 3) Success factors included stakeholder participation, hands-on training workshops, and continuous monitoring and evaluation. Training on food waste reduction within the school demonstrated a statistically significant difference in knowledge before and after the training ($p < 0.05$), with the highest level of satisfaction for the training ($\bar{x} = 4.60$). In conclusion, the developed food waste management approach effectively reduces food waste in schools, conserves water, produces high-quality organic fertilizer, and fosters environmental awareness among students and staff. Recommendations for future research include applying this approach in other contexts, such as communities or organizations, to expand sustainable waste reduction outcomes.

Keywords: Food waste management / Boarding schools / Participatory action research / Circular economy

1. บทนำ

การจัดการขยะเศษอาหารเป็นหนึ่งในประเด็นสำคัญที่ได้รับความสนใจในระดับสากล เนื่องจากขยะเศษอาหารเป็นสาเหตุหลักของการเกิดก๊าซมีเทน (Methane) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีศักย์รูปในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนสูงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 25 เท่า [2] ในประเทศไทย กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้จัดทำโครงการโรงเรียนปลอดขยะ (Zero Waste School) เพื่อส่งเสริมการลด คัดแยก และนำขยะกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในสถานศึกษา [1] อย่างไรก็ตาม ปัญหาขยะเศษอาหารในสถานศึกษาเป็นประเด็นสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

และค่าใช้จ่ายในการกำจัด โดยเฉพาะในโรงเรียนประจำที่มีการจัดอาหารให้นักเรียนทั้ง 3 มื้อ การทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยที่ผ่านมามุ่งเน้นการจัดการขยะทั่วไปในโรงเรียน [3] ต่ยังขาดการศึกษาเฉพาะด้านการจัดการขยะเศษอาหารในบริบทโรงเรียนประจำ

แนวคิด Circular Economy ได้รับการยอมรับว่าเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการจัดการขยะอย่างยั่งยืน โดยมุ่งเน้นการนำทรัพยากรกลับมาใช้ใหม่ในระบบ ร่วมกับทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม ที่อธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมผ่าน 5 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นก่อนการพิจารณา การพิจารณา การเตรียมการ การลงมือปฏิบัติ และการคงไว้ซึ่งพฤติกรรมใหม่ [6]

สำหรับโรงเรียนพระสุธรรมยานเถระวิทยา มีปริมาณขยะที่เกิดขึ้นภายในโรงเรียนเฉลี่ย 500 กิโลกรัมต่อวัน [5] ซึ่งปัจจุบันทางโรงเรียน ได้ดำเนินการลดปริมาณการเกิดขยะ มีการคัดแยกขยะมูลฝอย และของเสียอันตราย อย่างต่อเนื่อง เช่น การจัดการขยะพลาสติกเช่น การนำพลาสติกกลับไปรีไซเคิล เป็นต้น ทำให้ปริมาณขยะแห้งโดยรวมลดลงเป็นอย่างมาก แต่ปัญหาขยะเปียก คือ เศษอาหาร ยังไม่สามารถจัดการได้อย่างสมบูรณ์

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะเศษอาหารที่เหมาะสมกับบริบทโรงเรียนประจำ โดยบูรณาการแนวคิด Circular Economy และทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม เพื่อสร้างระบบการจัดการขยะเศษอาหารที่ยั่งยืน นำไปสู่โรงเรียนปลอดขยะแบบองค์รวม (Zero-Waste under Whole-School Approach) [4] โดยมีกรอบแนวคิดการวิจัย ประกอบด้วย การวางแผนและการปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรวบรวมและกำจัดขยะ การมีส่วนร่วมของนักเรียนและบุคลากรในการลดขยะ และการลดปริมาณขยะเศษอาหารและสร้างสรูปแวดล้อมที่ยั่งยืนในโรงเรียน [4]

2. วัตถุประสงค์

1. พัฒนารูปแบบการจัดการขยะเศษอาหารแบบครบวงจร
2. ศึกษาประสิทธิภาพของระบบการจัดการขยะเศษอาหาร
3. วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการลดปริมาณขยะเศษอาหาร

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะเศษอาหาร โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. กรณีศึกษา โรงเรียนพระสุธรรมยานเถระวิทยา เท่านั้น
2. สำรวจปริมาณขยะเศษอาหาร 3 มื้อต่อเดือน ในปี 2566

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) ร่วมกับการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research) กลุ่มตัวอย่างเลือกแบบเจาะจง 500 คน แบ่งเป็นบุคลากรโรงเรียน 28 คน และนักเรียนประจำ 472 คน เครื่องมือวิจัย ประกอบด้วย แบบสำรวจปริมาณขยะ แบบประเมินพฤติกรรม แบบทดสอบความรู้ และออกแบบรูปแบบการจัดการขยะเศษอาหาร วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาและการวิเคราะห์เนื้อหา

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

- วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยสถิติเชิงพรรณนาและอนุมาน
- วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา
- ทดสอบความแตกต่างก่อน-หลังด้วย Paired t-test
- วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วย Pearson's correlation

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

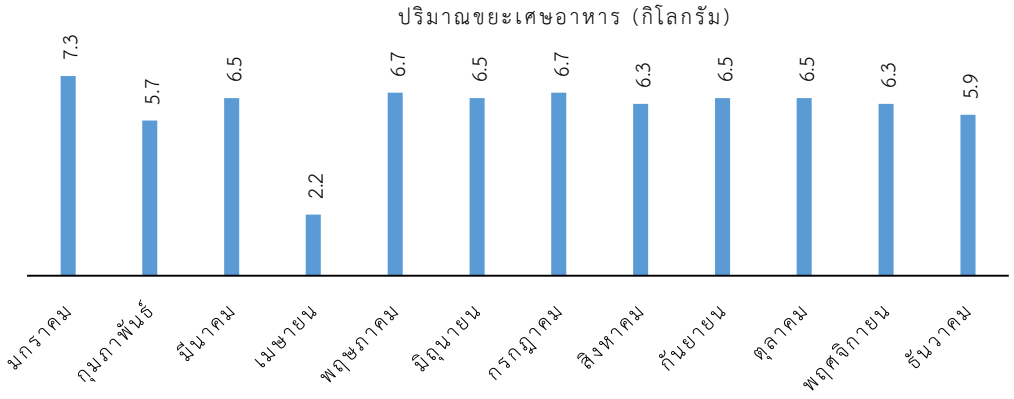
5.1 ผลการคัดเลือกประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

- ประชากรทั้งหมด 500 คน แบ่งเป็นบุคลากรโรงเรียน 28 คน นักเรียนชาย-หญิง 472 คน ทั้งหมดเป็นนักเรียนอยู่ประจำ โดยมีหอพักชายและหอพักหญิงอยู่ในโรงเรียน
- กลุ่มตัวอย่าง คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตร Taro Yamane ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้กลุ่มตัวอย่าง 222 คน แต่เพื่อความครอบคลุมจึงเก็บข้อมูลจากประชากรทั้งหมด

5.2 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูล

- ผลการสำรวจปริมาณขยะเศษอาหารก่อนเริ่มโครงการ ในปี 2566 มื้อเช้าและมื้อเย็น 474 คน มื้อกลางวัน 500 คน เพราะมื้อเช้าและมื้อเย็นบุคลากรโรงเรียนทานอาหารที่บ้าน แต่จะมีครูดูแลหอพักชาย-หญิง ประจำหอละ 1 คน แสดงในรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 ก่อนเริ่มโครงการปริมาณขยะเศษอาหารเฉลี่ย 3 มื้อต่อเดือน ต่อเดือน ในปี 2566 เท่ากับ 6 กิโลกรัม



รูปที่ 1 ปริมาณขยะเศษอาหาร 3 มื้อต่อเดือน ในปี 2566

- ผลจากแบบสอบถามเกี่ยวกับพฤติกรรมและทัศนคติในการจัดการขยะ แสดงในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 ผลจากแบบสอบถามเกี่ยวกับพฤติกรรมและทัศนคติในการจัดการขยะ พบว่า ค่าเฉลี่ยของคะแนนพฤติกรรมการจัดการขยะ และทัศนคติในการจัดการขยะ 4.30 และ 4.45 ตามลำดับ และถือว่าระดับคุณภาพดีมาก

ตารางที่ 1 ผลจากแบบสอบถามเกี่ยวกับพฤติกรรมและทัศนคติในการจัดการขยะ

ประเด็น	คะแนน	ระดับคุณภาพ
พฤติกรรมการจัดการขยะ	4.30	ดีมาก
ทัศนคติในการจัดการขยะ	4.45	ดีมาก

5.3 ผลการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะเศษอาหาร

รูปแบบการจัดการขยะเศษอาหารด้วยถังหมักแบบไร้อากาศ ได้รับการพัฒนาโดยใช้หลักการออกแบบเชิงวิศวกรรม มีคุณลักษณะดังนี้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 ซม. สูง 60 ซม. วัสดุที่ใช้ เป็นพลาสติก HDPE หนา 4 มม. ฝาปิดแบบเกลียวพร้อมซีลยาง มี รูระบายด้านล่างพร้อมตัวกรอง แสดงในรูปที่ 2 และตำแหน่งในการวางถังบรรจุขยะเศษอาหาร แสดงในรูปที่ 3

รูปที่ 2 ถังหมักแบบไร้อากาศ

จากรูปที่ 3 ตำแหน่งที่วางถังบรรจุขยะเศษอาหาร มุมของต้นไม้ 30 ต้น เหมาะสมเนื่องจากอยู่ใกล้โรงอาหารของนักเรียน สะดวกในการนำเศษอาหารที่ทานไม่หมดมาเทลงถัง แสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 3 ตำแหน่งที่เหมาะสมในการถังบรรจุขยะเศษอาหาร

รูปที่ 4 นักเรียนมาเทเศษอาหารในแต่ละมื้อ

จากผลการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะเศษอาหาร ถังบรรจุขยะเศษอาหารที่ออกแบบในครั้งนี้ ป้องกันการรั่วไหลของก๊าซ และกลิ่นรบกวน ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จะส่งผลกระทบกับบรรยากาศด้วย นอกจากนั้นน้ำจากเศษอาหารช่วยรดต้นไม้ และเศษอาหารที่ย่อยแล้วกลายเป็นปุ๋ย ตำแหน่งที่วางถังบรรจุขยะเศษอาหารเหมาะสมที่สุด เนื่องจากอยู่ใกล้โรงอาหารของนักเรียน นอกจากนั้นน้ำจากเศษอาหาร ทำให้ลดจำนวนครั้งในการรดต้นไม้ จากรดน้ำวันเว้นวัน เปลี่ยนเป็นรดน้ำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ช่วยประหยัดน้ำไปได้เป็นอย่างดี

5.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบการจัดการขยะเศษอาหาร

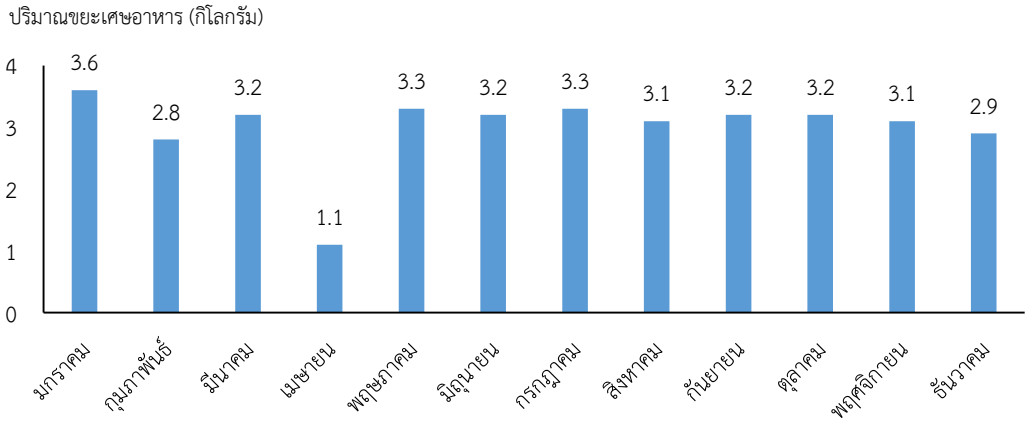
- ผลการติดตามการลดปริมาณขยะเศษอาหาร ณ แหล่งกำเนิด รวมถึงสภาพแวดล้อมอื่นๆ แสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 ผลการติดตามการลดปริมาณขยะเศษอาหาร

จากรูปที่ 5 ระบบการจัดการขยะเศษอาหาร กำจัดเศษอาหาร ใช้เวลาลดลงจาก 1 เดือนเหลือ 1 สัปดาห์ อัตราการย่อยสลาย 7-10 วัน ผลการติดตามสภาพแวดล้อมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง พบว่า ต้นไม้โตเร็วขึ้น เนื่องจากเดิมได้รับแต่น้ำ แต่หลังจากมีถังเศษอาหารที่วางไว้ 4 มุม ทำให้ต้นไม้เลยโตเร็วขึ้น เพราะได้รับปุ๋ย

- **ผลการประสิทธิภาพของระบบการจัดการขยะเศษอาหาร**

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบการจัดการขยะเศษอาหาร สามารถลดปริมาณขยะเศษอาหาร 3 มื้อต่อเดือน ในปี 2567 ได้ร้อยละ 50.1 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ปริมาณขยะเศษอาหาร 3 มื้อต่อเดือน ในปี 2567

5.5 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการลดปริมาณขยะเศษอาหาร

- การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการและการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนผลอบรมการให้ความรู้เรื่องการลดปริมาณขยะเศษอาหารภายในโรงเรียน โดยให้ปรับพฤติกรรมการกินอาหารเพื่อให้เกิดเศษอาหารน้อยที่สุด ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเปรียบเทียบก่อนและหลังการอบรม แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเปรียบเทียบก่อนและหลังการอบรม

การทดสอบ	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
ก่อนการอบรม	6.45	2.15
หลังการอบรม	8.75	1.45

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าความรู้ก่อนและหลังการอบรม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

- ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการอบรม ประเด็นประเมินมี 4 ด้าน ได้แก่ เนื้อหา วิทยากร การจัดการอบรม และประโยชน์ที่ได้รับ แสดงผลในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับความพึงพอใจต่อการอบรมในภาพรวม

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ ($\bar{x}$)	แปลผล
ด้านเนื้อหาการอบรม	4.52	มากที่สุด
ด้านวิทยากร	4.65	มากที่สุด
ด้านการจัดการอบรม	4.48	มาก
ด้านประโยชน์ที่ได้รับ	4.75	มากที่สุด
ภาพรวม	**4.60**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 3 ภาพรวมระดับความพึงพอใจต่อการอบรม = 4.60 ถือว่ามากที่สุด ประเด็นที่ได้รับความพึงพอใจมากที่สุด ได้แก่ ประโยชน์ที่ได้รับ ด้วยคะแนน 4.75

- ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยของคะแนนก่อนและหลังอบรม และความพึงพอใจต่อการอบรม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนน และค่าสหสัมพันธ์ (r) แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	ค่าสหสัมพันธ์ (r)	ระดับความสัมพันธ์
ความรู้ - การนำไปใช้	0.82	สูง
ทักษะ - ความมั่นใจ	0.78	สูง
การอบรม - ผลสัมฤทธิ์	0.85	สูงมาก

จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร พบว่า ค่าสหสัมพันธ์ของการอบรมและผลสัมฤทธิ์สูงมาก มีค่า 0.85 แสดงให้เห็นว่า การอบรมในครั้งนี้มีผลสัมฤทธิ์ที่สูงมาก

6. สรุปผลการศึกษา

6.1 รูปแบบการจัดการขยะเศษอาหารที่ เปลี่ยนเศษอาหารเป็นปุ๋ยสำหรับต้นไม้ และลดปริมาณน้ำที่รดต้นไม้ลง เนื่องจากเศษอาหารน้ำเป็นองค์ประกอบ สอดคล้องกับแนวคิด Circular Economy ที่เน้นการหมุนเวียนทรัพยากรกลับมาใช้ประโยชน์

6.2 ประสิทธิภาพของระบบการจัดการขยะเศษอาหาร สามารถลดปริมาณขยะเศษอาหารได้ร้อยละ 50.1

6.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการลดปริมาณขยะเศษอาหาร ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เป็นไปตามทฤษฎีของ Prochaska และ DiClemente โดยผ่านขั้นตอนตั้งแต่การสร้างความตระหนักจนถึงการปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จ คือการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Smith et al. (2022) ที่พบว่าการมีส่วนร่วมเป็นกุญแจสำคัญในการจัดการขยะอย่างยั่งยืน

โดยสรุป แนวทางการจัดการขยะเศษอาหารในครั้งนี้เหมาะสมสำหรับโรงเรียนพระสุธรรมยานเถระ ช่วยการลดปริมาณขยะเศษอาหารในโรงเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จนไม่มีขยะเศษอาหารอย่างยั่งยืน นอกจากนั้น ยังช่วยประหยัดน้ำที่ใช้รดต้นไม้ ไม่ต้องใช้ปุ๋ย รวมถึงการปลูกฝังจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อมในนักเรียนและบุคลากร และสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีให้กับโรงเรียนอีกด้วย

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยต่อไป

การนำแนวทางการจัดการขยะเศษอาหารไปประยุกต์ใช้ในบริบทอื่น เช่น ชุมชนหรือองค์กรต่างๆ เพื่อขยายผลต่อไป เนื่องจากต้นทุนต่ำ ใช้งานง่าย ประหยัดพื้นที่ รักษาสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี ควรบูรณาการการจัดการขยะเข้ากับหลักสูตรการเรียนการสอน และควรศึกษาผลกระทบทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้บริหาร คณะครู และนักเรียนโรงเรียนพระสุธรรมยานเถระวิทยาที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2563). รายงานประจำปี 2563 กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย. สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2564, จาก https://www.pcd.go.th/publication/14113

[2] นพรัตน์, ช. (2567). ขยะล้นเมือง คนไทยสร้างขยะเฉลี่ย 7.3 หมื่นตัน/วัน. ไทยพีบีเอส. สืบค้นจาก https://www.thaipbs.or.th/news/content/340722

[3] ปริยวิศว์, ว. (2565). การพัฒนารูปแบบการจัดการขยะในสถานศึกษาตามโครงการโรงเรียนปลอดขยะ โรงเรียนขลุงรัชดาภิเษก จังหวัดจันทบุรี. วารสารวิชาการไทยวิจัยและการจัดการ, 3(3), กันยายน–ธันวาคม.

[4] โรงเรียนปลอดขยะ. (2566). โครงการโรงเรียนปลอดขยะ. สืบค้นจาก http://www.saopakjan.go.th/news/doc_download/a_231122_090338.pdf

[5] โรงเรียนพระสุธรรมยานเถระวิทยา. (2565). รายงานผลการประเมินตนเอง. สืบค้นจาก https://fth0.com/uppic/61106012/news/61106012_1_20240306-110657.pdf

[6] Ellen MacArthur Foundation. (2019). Completing the picture: How the circular economy tackles climate change. Ellen MacArthur Foundation. https://ellenmacarthurfoundation.org/completing-the-picture

Recovery of Natural Bioactive Extract with Antioxidants and Anti-Tyrosinase from Coffee Silver Skin (CSS)

Packapong Thuthaisong[1], Apivich Likitlersuang[2], Sarana Vanichchinchai[3], Napapat Pattanapirom[4], Kunath Saisoothi[5], NutwaraTusjunt[6], Kronkanok Tipboontong[7], Jiraphat Khamphaeng[8], Thanyathorn Saeting[9], Achiraya Assawasatienwong[10], Natawat Jantong[11], Chatchaiphat Nabtuedee[12], Phanthiwa Khongharat[13], Chanpen Chanchao[13] and Preecha Phuwapraisirisan[1*]

[1]*Center of Excellence in Natural Products, Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand*

[2]*King Mongkut's International Demonstration School*

[3]*Harrow International School Bangkok*

[4]*Satriwittaya School*

[5]*Saint John Mary Internation School*

[6]*Saint Joseph Convent School*

[7]*Yothinburana School*

[8]*Vachiralai School*

[9]*Legacy of Grace Internation Christian School*

[10]*Bodindecha School*

[11]*Benjamarachutit School*

[12]*Thammasat Secondary School*

[13]*Department of Biology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, 254 Phayathai Road, Bangkok, 10330, Thailand*

* Corresponding author: preecha.p@chula.ac.th

Abstract

Coffee silver skin (CSS) is a thin tegument of the outer layer of coffee bean, CSS is a by-product of the coffee, appearing during the roasting step. Although this is produced in large amounts as an agricultural waste, the chemical components and biological activity have never been explored. In this study, CSS was extracted using three different polarity solvents and three extracts were evaluated for antioxidant and anti-tyrosinase activity. The ethyl acetate extract showed the most potent inhibition against DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) and ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) with IC_{50} values of 0.31 ± 0.06 and 0.49 ± 0.03 (mg/mL), respectively. In addition, ethyl acetate extract also revealed the most potent inhibition (25%) against tyrosinase at the concentration of 0.25 mg/mL. This finding suggested that CSS would be developed as a prolific source of antiaging agents such as cosmetics.

Keywords: Coffee Silver skin / Total Phenolic / Anti-Tyrosinase / Antioxidants / Bioactive Extract

1. Introduction

One of the main problems that occur due to the production of goods and services are the offshoot of waste as a byproduct, most of these many different kinds of waste do not get disposed of properly, causing widespread damage that builds up to unimaginably high degrees over year and years of inaction. The focus of this research paper is to study one of these types of wastes, more specifically Coffee Silver skin which is a by-product of processing and roasting coffee. And one of the largest sources of discarded waste in the world [1].

Coffee is one of the world's most consumed drinks in the world, with each small cup of coffee requiring ~11 grams of coffee beans. In the perspective of the world with over millions of people consuming coffee at an average of over 2.25 billion cups of coffee consumed worldwide every day, the amount of waste is bound to be astronomical. In 2023 alone, global coffee production reach approximately over 10 billion kg [2]. Coffee is one of the worlds' global economic plants and the global coffee market was valued at approximately 223.78$ billion in 2023 with forecasts of even further growth in the coming years, [3] supporting the livelihoods of roughly 25 million small producers all over the globe, with >90% of coffee production in developing countries.

Despite Coffee Silver skin typically making up only 1-2% of the mass of roasted coffee beans, it accumulates to significant quantities annually due to the massive demand and consumption of coffee production. Data from industrial coffee roasters indicates approximately 1 ton of coffee silver skin by-product produced every 120 tons of roasted coffee which along with the process in which coffee is produced is extremely water intensive especially in wet processing methods has contributed and snowballed into many other worldwide problems such as deforestation and carbon emissions. [4, 6]

Though there are a lot of disposal methods used currently, they face a lot of challenges when imposed. In many regions of metropolitan areas that have high business surrounding coffee consumption, the disposal methods consist of sending coffee silver skin to composting facilities near the area. However, taking into account the logistics and management of the transportation of coffee silver skin, it would not doubt be very costly—studies have reported disposal costs of around 447.55 pounds per ton when utilizing composting facilities as a disposal method [5]. Another well used method is incineration and landfilling with these methods posing a lot of environmental challenges through the release of methane and carbon dioxide adding onto greenhouse gas emissions which may even top that of coal combustion. All of these methods put an economically impossible limit for small businesses to invest in other lose value processing due to high logistical and handling costs [7].

Recent research has explored various coffee silver skin methods of disposal by incorporating it into functional and economically feasible products such as bakery items, water adsorbents and most importantly cosmetics which had significantly reduced disposal costs. An instance of this was in Naples where they had replaced part of their wheat flour with small amounts of coffee silver skin in bakery products, managing to reduce disposal costs by 190.09 pounds per ton [4].

The main purpose of this research paper is to explore the bioactive components of Coffee Silver skin, most notably their antioxidants and anti-tyrosinase efficacy from its compounds. Using three different polarity extracts to separate specific compounds of the substances resting in Coffee Silver skin, this research aims to evaluate its phenolic activity for the purpose of potential utilization in economical and healthcare fields. The research could be used to maximize the efficiency of disposal of coffee silver skin through providing other means of use for companies to build off of their waste to decrease waste costs and increase profit.

2. Objective

1. To identify the potent bioactive extract inhibiting against free radical and tyrosinase.

3. Scope of the Research Study

1. Evaluation of CSS extracts against antioxidant and anti-tyrosinase together with determination of their total phenolic and flavonoid contents.

4. Experiment

4.1 Plant Material

The coffee silver skin (CSS) were obtained from Nestlé (Thai) Ltd in June 2024. A voucher specimen was deposited at the Natural Products Research Laboratory of Center of Excellence in Natural Products, Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

4.2 Extraction and Isolation

The coffee silver skins (CSS) (1.5kg) were mashed and macerated with MeOH (3 L each, 2 times for 2 days) at room temperature. The MeOH extract was then partitioned with hexane and EtOAc. Removal of the solvent under reduced pressure yielded hexane EtOAc and MeOH extracts (Figure 1).

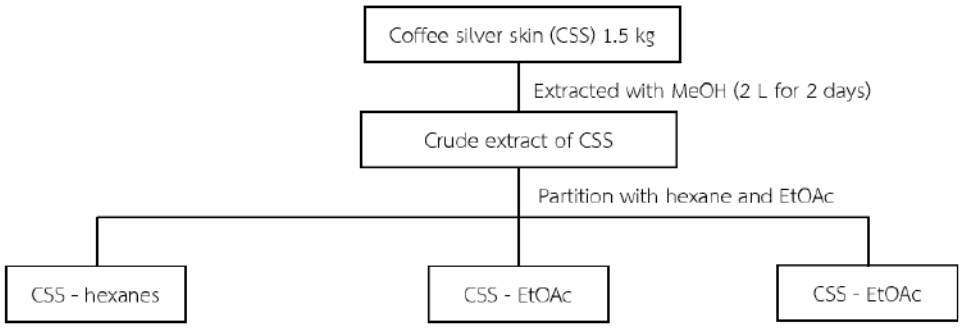


Figure 1 Chromatographic separation of coffee silver skin (CSS) extract.

4.3 Estimation of Total Phenolic Content (TPC)

Total phenolic content was evaluated using the Folin-Ciocalteu method [6, 8]. Briefly, each sample of coffee silver skin (CSS) (1 mg/mL) was diluted with DMSO to make five concentrations 2, 1, 0.75, 0.50, 0.25, 0.125 mg/mL. Then, the coffee silver skin (CSS) solution (25 µL) was mixed with 125 µl of 0.2 N Folin-Ciocalteu reagent for 5 min. Subsequently, 100 µl of 75% (w/v) sodium carbonate (Na_2CO_3) was added. The absorbance at a wavelength of 700 nm was measured using a microplate reader against DMSO as a blank. All reactions were performed in triplicate. The results were expressed as mg of gallic acid equivalents (GAE)/g of partitioned extract using a standard graph for gallic acid in the range of 0.02–0.1 mg/mL.

4.4 Estimation of Total Flavonoid Contents

Total flavonoids content was evaluated using the aluminium chloride ($AlCl_3$) colorimetric method in a 96 well microplate reader. Briefly, twenty-five microliters of the coffee silver skin (CSS) extract solution dissolved in DMSO was mixed with one hundred microliters of distilled water. Then, 7.5 µL of 5% (w/v) $NaNO_2$ solution was added and incubated at room temperature for 5 min, followed by the addition of 7.5 µL of 10% (w/v) $AlCl_3$. After being 6 min incubation at room temperature was added 50 µL of 1 M NaOH. The absorbance at wavelength of 510 nm was measured. The TFC was expressed as mg of quercetin equivalents (QE)/g of partitioned extract using a standard graph for quercetin (0.1–1 mg/mL).

4.5 Determination of the antioxidant capacity

The DPPH free radical scavenging activity assay

The potential of the crude extracts was determined as previously described [6, 8]. Five different concentrations of each sample were prepared in DMSO. The each well was mixed with 20 µL of the sample and 80 µL of 0.15 mM DPPH in MeOH for each concentration and incubated at room temperature for 30 min. The absorbance was measured at a wavelength of 517 nm (A_{517}) using a microplate reader. Ascorbic acid (vitamin C) was used as the positive control. Each assay was performed in triplicate. The free radical scavenging activity was calculated from Equation (1):

$$\% \text{ DPPH radical scavenging activity} = [(A-B)/(A)] \times 100, \quad (1)$$

where A is the $A_{517}$of the negative control and B is the A_{517} of the treatment. The % inhibition (Y axis) was plotted against the extract concentrations (X axis) and the effective concentration at 50% (EC_{50}) was obtained from the graph.

4.6 Determination of the Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC)

The Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) assay followed the described method [6, 8]. The stock solution of $ABTS^{\bullet+}$ was prepared by reacting 7 mM ABTS solution with 2.45 mM potassium persulphate solution in distilled water at a 1:1 (v/v) ratio in the dark at room temperature for 16 h before use. The stock solution (one mL)

mixed ethanol (Thirty-five mL) to obtained an absorbance at 734 nm (A734) of 0.700 ± 0.025. The 0.3 mL of each extract at different concentrations dissolved in DMSO was mixed with 2.7 mL of the prepared $ABTS^{\cdot+}$ solution, left for six min in the dark and then the A_{734} was read. The percentage of inhibition was calculated according to Equation. (2),

$$\% \text{ ABTS radical scavenging activity} = [(A-B)/(A)] \times 100, (2)$$

where A is the A_{734} of the negative control and B is the A_{734} of the treatment. The % inhibition (Y axis) was plotted against the respective extract concentration (X axis) and the EC50 value was obtained from the graph. The results were then compared with the Trolox standard curve (0-0.2 mM) and the results are expressed as µmole Trolox equivalents (TE)/g partitioned extract.

4.7 *In vitro* tyrosinase inhibition

Anti-tyrosinase activity was conducted as described by [6, 7, 8] using L-DOPA as the substrate and kojic acid as a positive control. Briefly,120 µL of 2.5 mM L- DOPA in 80 mM phosphate buffer (pH 6.8), 30 µL of 80 mM phosphate buffer (pH 6.8), and 10 µL of partitioned extract or kojic acid (positive control) at different concentrations in DMSO. All sample solutions were incubated at 37°C for 10 min and 300 µL of L-DOPA was added. After mixing, the reaction was added 40 µL of 165 units (U)/mL mushroom enzyme in phosphate buffer was added and incubated at 25 ˚C for 5 min. The absorbance was measured using spectrophotometry at 475 nm was measured using a microplate reader. The tyrosinase activity was calculated as the IC_{50} value. Each assay was performed in triplicate and the percentage TYRI was calculated from Equation. (3);

$$\text{The inhibition Percentage of tyrosinase inhibition} = [(A_{control} - A_{sample})/A_{control}] \times 100, (3)$$

where $A_{control}$ is the absorbance of the enzyme activity and A_{sample} is the absorbance of enzyme activity in the addition of the sample solution. The concentration at 50% inhibition (IC_{50}) was obtained by plotting the inhibition percentage and sample concentration.

5. Result and discussion

The partitioned extracts of coffee silver skin (CSS)

The methanolic extract was first prepared from the coffee sliver skin (CSS) by soaking in methanol. The methanol soluble portion was separated by liquid-liquid partition with hexane and EtOAc, respectively. Three partitioned extracts, namely hexane, EtOAc and methanol extracts, were obtained. The EtOAc partitioned extracts had the highest yield (above 40%). The MeOH partitioned extracts exhibited a sticky solid form, whereas the hexane partitioned extracts exhibited an oil form.

Determination of the total phenolic compound and total flavonoid compound

The TPC and TFC were determined from the calibration curves of gallic acid ($y = 7.5447x - 0.004$; $R^2 = 0.9975$) and quercetin ($y = 0.4651x + 0.0519$; $R^2 = 0.9781$). The biological activities of hexanes, ethyl acetate

and methanol extract from coffee silver skin (CSS) were summarized in (Tables1). The TPC of ethyl acetate (EtOAc) extract was the highest with value of 62.91 ± 1.46 mg GAE/g extract and the highest TFC was shown by ethyl acetate extract with value of 247.41 ± 6.28 mg QE/g extract.

Antioxidant activity of the fractionation

The results of partitioned extracts with antioxidant assays from the coffee silver skin are shown in (Table 2) along with that for ascorbic acid as the standard reference for the DPPH and Trolox as the standard reference for the ABTS assays. The ethyl acetate was the most potent inhibitor against DPPH with EC_{50} values of 0.31 ± 0.06 mg/mL. Although this was still almost 22-fold less effective than ascorbic acid (EC_{50} of 0.01 ± 8.9 mg/mL), while the hexanes extract had the weakest DPPH scavenging capacity. The ethyl acetate showed a significantly strong ABTS radical scavenging ability with (EC_{50} values of 0.49 ± 0.03 mg/mL), although this was still over four-fold less effective than Trolox EC_{50} of 0.12 ± 0.02 mg/mL.

Tyrosinase inhibition

All the partitioned extracts were initially screened for tyrosinase activity **[7]**. Generally, the ethyl acetate was the most potent inhibitor against tyrosinase activity with %inhibition (36.04%) shown in Figure 2. On the other hand, hexane showed weak or no inhibition, except for MeOH that show a significant suppression against tyrosinase with %inhibition (28.06%).

It should be noted that higher inhibition against radical and tyrosinase is corresponding to higher total phenolic and flavonoid. We therefore assume that the active components in EtOAc and methanol extracts are possibly phenolic and flavonoid type compounds.

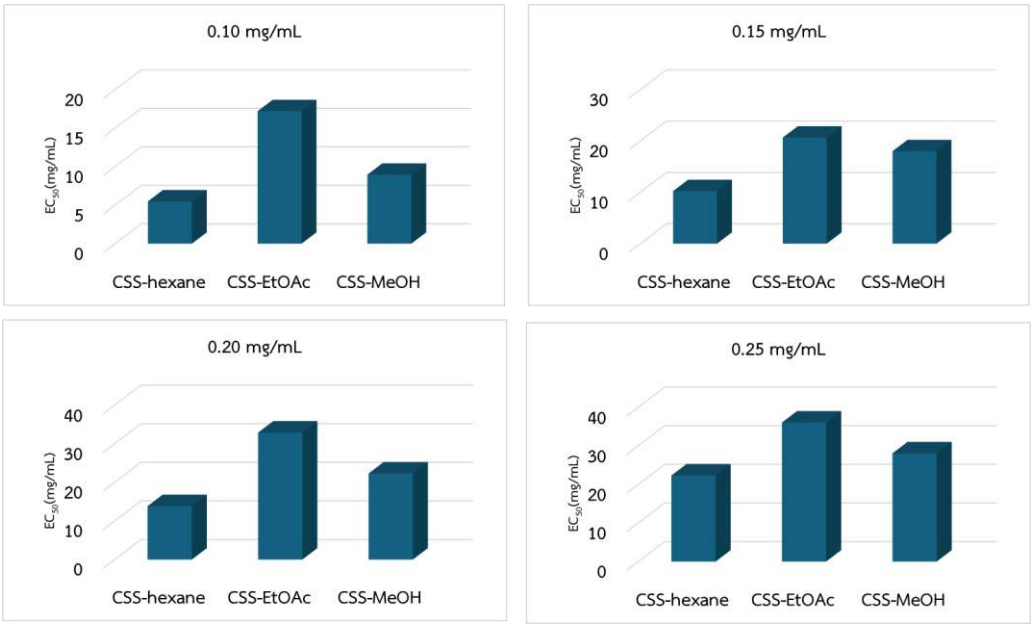


Figure 2 Tyrosinase inhibition of coffee silver skin (CSS).

Table1 The TPC and TFC of the coffee silver skin (CSS) extracts

Sample	Total phenolic (mg GAE/ g extract)	Total flavonoids (mg QE/ g extract)
CSS – hexanes	ND	ND
CSS - EtOAc	62.91 ± 1.46	247.41 ± 6.28
CSS - MeOH	58.59 ± 0.77	142.67 ± 6.18

Notes. Data are shown as the mean ± 1SD derived from three replicates. EC_{50} = concentration at 50% inhibition ND = Not detectable.

Table 2 Antioxidant activity of the spent coffee grounds extracts.

Sample	DPPH EC_{50} (mg/mL)	ABTS EC_{50} (mg/mL)
CSS – hexanes	NI	NI
CSS - EtOAc	0.31 ± 0.06	0.49±0.03
CSS - MeOH	0.54 ± 0.04	0.83±0.02
Ascorbic acid	0.01 ± 8.9	-
Trolox	-	0.12 ± 0.02

Notes. Data are shown as the mean ± 1SD derived from three replicates. EC_{50} = concentration at 50% inhibition NI = percentage inhibition less than 30% at highest concentration tested

6. Conclusion

The ethyl acetate had the highest antioxidant activities, which were correlated to the highest TPC and TFC. Their fractionation led to an enrichment of bioactivities, suggesting these might be the major active compounds in the coffee silver skin (CSS). The ethyl acetate was the most potent inhibitor against tyrosinase with highest %inhibition.

Reference

(1) McDonald, K.; Langenbahn, H. J.; Miller, J. D.; McMullin, D. R. Phytosterol Oxidation Products from Coffee Silverskin. Journal of Food Science 2022, 87 (2), 728–737. https://doi.org/10.1111/1750-3841.16042.

(2) Shabandeh, M. Worldwide Coffee Production. Statista. https://www.statista.com/statistics/263311/worldwide-production-of-coffee/ (accessed 2025-04-15).

(3) Coffee Market Size, Share & Trends Analysis Report, 2030. www.grandviewresearch.com. https://www.grandviewresearch.com /industry-analysis/coffee-market#.

(4) Salim, H.; Ahmed, C. S.; None Mokhtari–Soulimane Nassima; Bekhti Sari Fadia; Souna Mimoun; Hafida Merzouk. Coffee Silverskin Waste as Alternative to Produce Alkaloids with Antioxidant, Antihemolytic, and Alpha-Amylase Inhibitory Activities. *Biomass Conversion and Biorefinery* 2023, *15*. https://doi.org/10.1007/s13399-023-05207-4.

(5) Ansanelli, G.; Fiorentino, G.; Chifari, R.; Meisterl, K.; Leccisi, E.; Zucaro, A. Sustainability Assessment of Coffee Silverskin Waste Management in the Metropolitan

(6) Phanthiwa Khongkarat; Preecha Phuwapraisirisan; Chanpen Chanchao. Phytochemical Content, Especially Spermidine Derivatives, Presenting Antioxidant and Antilipoxygenase Activities in Thai Bee Pollens. *PeerJ* 2022, *10*, e13506–e13506. https://doi.org/10.7717/peerj.13506.

(7) Thita Yodsawad; Thitipan Meemongkolkiat; Chanpen Chanchao; Thanakorn Damsud; Preecha Phuwapraisirisan. Four New Alkylamides from the Fruits of *Piper Retrofractum* and Antityrosinase Evaluation. *Natural Product Research* 2023, *38* (20), 3613–3622. https://doi.org/10.1080/14786419.2023.2258542.
(8) Phanthiwa Khongkarat; Ramadhan, R.; Preecha Phuwapraisirisan; Chanpen Chanchao. Screening and Bioguided Fractionation of *Mimosa Pigra* L. Bee Pollen with Antioxidant and Anti-Tyrosinase Activities. *Journal of Apicultural Science* 2021, *65* (1), 71–83. https://doi.org/10.2478/jas-2021-0001.

การกำจัดสีจากน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงพยาบาล ด้วยกระบวนการฉายรังสียูวีร่วมกับสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ตรีเนตร เจริญสุวรรณ[1], ศักดิ์นฤน ถนอมไทย[1], พิจิตร เจียมวรางกูร[2] และขวัญเนตร มนูญพงศ์[1*]

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ
* Corresponding author: kwannate.m@cit.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความสามารถในการกำจัดสีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงพยาบาลด้วยกระบวนการฉายรังสียูวีร่วมกับสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โดยศึกษาหาปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และระยะเวลาฉายรังสียูวีที่เหมาะสมในการกำจัดสี ในการศึกษาใช้ปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 0.1, 0.3, 0.5 และ 1 ml และการฉายรังสียูวีที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ 10 นาที จากการศึกษาพบว่า น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงพยาบาลมีค่าสีเท่ากับ 24 ADMI ปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และระยะเวลาการฉายรังสียูวี ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.3 ml และเวลา 5 นาที ตามลำดับ สามารถลดค่าสีให้เหลือปริมาณ 6 ADMI ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับ 75% สำหรับการบำบัดโดยใช้แสงยูวีเพียงอย่างเดียวสามารถลดค่าสีได้เพียงเล็กน้อยที่ทุกระยะเวลาการฉายรังสี สำหรับที่ระยะเวลา 5 นาที สามารถลดค่าสีคิดเป็น 13% ค่าความขุ่นมีค่าน้อยกว่า 1.5 NTU ที่ทุกสภาวะการทดลอง การใช้กระบวนการฉายรังสียูวีร่วมกับสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (UV/H_2O_2) ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเป็นกรด - ด่าง การใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 30% ที่ปริมาณและสภาวะที่เหมาะสม คิดเป็นค่าใช้จ่าย 5.22 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

คำสำคัญ: การกำจัดสี / น้ำทิ้งโรงพยาบาล / รังสียูวี / ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ / ค่ากรด - ด่าง

The Removal of Color from Treated Hospital Wastewater Using UV Hydrogen Peroxide Process

Trinead Charoensuwan[1], Saknarin Thanomthai[1], Pijit Jiemvarangkul[2] and Kwannate Manoonpong[1*]

[1]Department of Civil and Environmental Engineering Technology Faculty of Industrial Technology
King Mongkut's University of Technology North Bangkok Wongsawang Sub-district Bangsue District, Bangkok, Thailand.
[2]Faculty of Engineering King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Wongsawang Sub-district Bangsue District, Bangkok, Thailand.
** Corresponding author: kwannate.m@cit.kmutnb.ac.th*

Abstract

This research investigates the efficiency of color removal from treated hospital wastewater using a UV irradiation process combined with hydrogen peroxide (H_2O_2). The study focuses on determining the optimal concentration of hydrogen peroxide and UV exposure time for effective color removal. Hydrogen peroxide was applied in volumes of 0.1, 0.3, 0.5, and 1 ml, and UV exposure times were set at 1, 3, 5, and 10 minutes. The initial color level of the treated wastewater was measured at 24 ADMI. The results indicate that the optimal conditions for color removal were 0.3 ml of hydrogen peroxide and a UV exposure time of 5 minutes, under which the color level was reduced to 6 ADMI, corresponding to a 75% removal efficiency. In comparison, using UV irradiation alone led to only minor reductions in color, with a maximum removal efficiency of 13% at 5 minutes of exposure. The turbidity remained below 1.5 NTU under all experimental conditions. The combined UV/H_2O_2 process did not affect the conductivity or pH of the treated water. Using 30% hydrogen peroxide at the optimal dosage and conditions resulted in a treatment cost of 5.22 THB per cubic meter.

Keywords: Color removal / Hospital wastewater / UV irradiation / Hydrogen peroxide / pH value

1. บทนำ

น้ำทิ้งจากโรงพยาบาลเป็นหนึ่งในแหล่งกำเนิดน้ำเสียที่มีความซับซ้อน เนื่องจากมีสารปนเปื้อนหลายประเภท รวมถึงยาปฏิชีวนะ สารเคมีฆ่าเชื้อ และสีย้อมจากกระบวนการวินิจฉัยทางการแพทย์ เช่น การตรวจด้วยเครื่องเอกซเรย์และการทดสอบทางห้องปฏิบัติการ สีเหล่านี้มักมีความคงทนสูง ยากต่อการย่อยสลายตามธรรมชาติ และอาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน้ำหากไม่ได้รับการบำบัดอย่างเหมาะสม ปัจจุบัน มีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อกำจัดสีในน้ำทิ้งหลากหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีมีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ได้แก่ วิธีบำบัดทางกายภาพ เช่น การดูดซับด้วยถ่านกัมถันต์ (Activated carbon) วัสดุมีรูพรุน มีคุณสมบัติในการดูดซับสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ เป็นวิธีการบำบัดที่มีประสิทธิภาพสูง แต่มีข้อจำกัดคือการนำกลับมาใช้ใหม่จะต้องฟื้นฟูสภาพถ่านกลับมาด้วยการเผาที่ความร้อนสูง ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง [1] ยังมีวิธีบำบัดทางเคมี เช่น การตกตะกอน (Coagulation) นิยมใช้ไอออนเกลืออะลูมิเนียม และไอออนเกลือของเหล็กสร้างตะกอน เช่น อะลูมิเนียมซัลเฟต และเฟอร์ริกคลอไรด์ โดยสาร Coagulant ทั้ง 2 นี้ช่วยกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ที่เป็นสาเหตุของการเกิดสีที่ปิดกั้นการกระจายของแสง ส่งผลให้การส่องผ่านแสงเพิ่มขึ้น [2] มีการใช้กระบวนการโอโซนเนชันที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้โอโซน ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการออกซิเดชันของสารมลพิษโดยช่วยให้โอโซนแตกตัวเป็นอนุมูลไฮดรอกซิล ซึ่งมีศักยภาพในการทำลายสารอินทรีย์สูงกว่าการใช้โอโซนเพียงอย่างเดียว [3] นอกจากนี้ยัง มีอีกวิธีที่สามารถกำจัดสีได้โดยไม่เกิดตะกอน และสารตกค้าง อีกทั้งใช้ระยะเวลาในกระบวนการสั้นสามารถกำจัดสีในน้ำได้และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมนั่นคือ การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ร่วมกับรังสียูวี (UV) ซึ่งสามารถสร้างอนุมูลไฮดรอกซิล (•OH) ที่มีศักยภาพสูงในการทำลายพันธะของโมเลกุลสารอินทรีย์ รวมถึงโครงสร้างของโมเลกุลสี ทำให้สามารถลดสีและความเป็นพิษของน้ำทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นของเหลวใส เมื่อเจือจางแล้วจะได้เป็นสารละลายที่ไม่มีสี สามารถสลายตัวได้เมื่อถูกแสงและความร้อน เมื่อทำปฏิกิริยาร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเลตแล้ว จะสามารถกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ทำให้เกิดสี ในน้ำได้ ซึ่งเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ยากต่อการย่อยสลาย การประยุกต์ใช้กระบวนการ UV/H_2O_2กับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นแล้วจากโรงพยาบาล จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจและสามารถยกระดับคุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างปลอดภัย ซึ่งไม่เพียงช่วยลดปริมาณการใช้น้ำประปา แต่ยังส่งเสริมการจัดการน้ำอย่างยั่งยืนภายในสถานพยาบาลเพื่อให้น้ำทิ้งจากโรงพยาบาลไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังเป็นแนวทางนำไปใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยีการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับการฉายรังสียูวี (UV/H_2O_2) ในการกำจัดสีในน้ำทิ้งโรงพยาบาลที่ผ่านการบำบัดแล้ว
2. เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำทิ้งโรงพยาบาลที่ผ่านการบำบัดแล้ว ด้วยกระบวนการไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับการฉายรังสียูวี (UV/H_2O_2)

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม ดังนี้

1. เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ Activated Sludge
2. ศึกษาปัจจัยในการกำจัดสีในน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลที่ผ่านการบำบัดแล้ว ดังนี้
   2.1 ระยะเวลาการฉายรังสียูวีที่ 1, 3, 5 และ 10 นาที และไม่ได้ฉายรังสียูวี
   2.2 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0, 0.1, 0.3, 0.5 และ 1 มิลลิลิตร/ลิตร
   2.3 ปริมาณน้ำทิ้งที่ใช้ในการทดสอบ 20 ลิตร
3. วิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัด ได้แก่ ค่าสี การนำไฟฟ้า pH และความขุ่น

4. วิธีการศึกษา

4.1 อุปกรณ์

4.1.1 ชุดผลิตรังสียูวีขนาด 16 วัตต์ ช่วงคลื่น 100 – 280 นาโนเมตร

4.1.2 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าและความเป็นกรด - ด่าง ยี่ห้อ Hach รุ่น HQ440d multi

4.1.3 เครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer) ยี่ห้อ Hach รุ่น DR6000

4.1.4 เครื่องวัดความขุ่น (Turbidity Meter) ยี่ห้อ Hach รุ่น TL2300

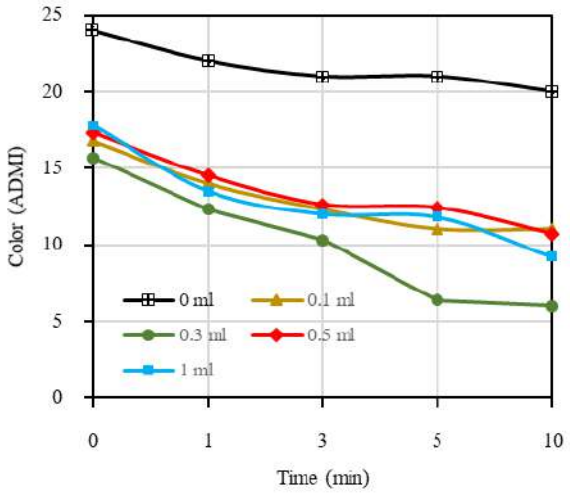
4.2 วิธีดำเนินการ

เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพ Activated sludge โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 4 องศาเซลเซียส ในการทดลองแต่ละครั้งจะนำน้ำตัวอย่างมาทิ้งไว้ให้มีอุณภูมิห้องก่อนนำมาทดสอบ จากนั้นเตรียมน้ำตัวอย่างโดยทำการกรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง GF/C ใส่ในบีกเกอร์ จำนวน 5 บีกเกอร์ บีกเกอร์ละ 1 ลิตร ใช้ไมโครปิเปตดูดสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 30% ปริมาณ 0, 0.1, 0.3, 0.5 และ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในแต่ละบีกเกอร์ ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารที่ความเร็วรอบ 100 rpm เป็นเวลา 30 วินาที นำน้ำที่ผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ใส่ลงในเครื่องฉายรังสียูวีเป็นเวลา 1, 3, 5 และ 10 นาที ตามลำดับ ในแต่ละช่วงเวลาแบ่งน้ำออกมา 100 มิลลิลิตร เพื่อทำการวัดค่าสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer (Hach รุ่น DR6000) และวัดค่าความขุ่นด้วยเครื่อง Turbidity Meter (Hach รุ่น TL2300) วัดค่าการนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรด-ด่าง (Hach รุ่น HQ440d multi) และบันทึกผลของน้ำตัวอย่างที่เติมสารปริมาณต่างๆ ทั้งก่อนและหลังจากเข้าเครื่องฉายรังสียูวี เพื่อศึกษาระยะเวลาและปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการกำจัดสี

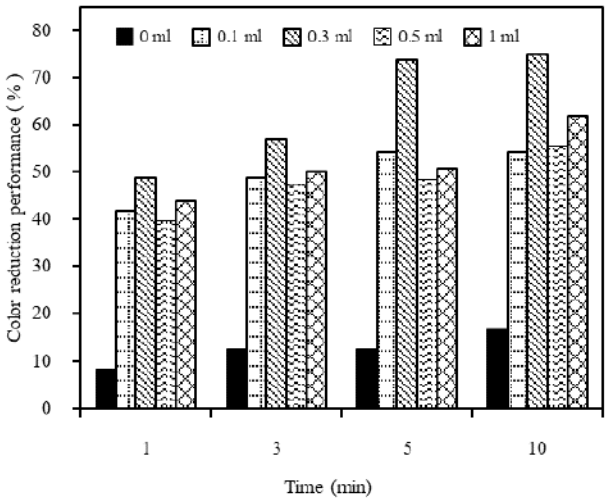
5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงพยาบาล มาทำการศึกษาการบำบัดสีด้วยกระบวนการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับการฉายรังสียูวี (UV/H_2O_2) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ดังนี้

5.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสี



รูปที่ 1 แสดงค่าสีที่ผ่านการฉายรังสียูวีที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ 10 นาที ร่วมกับการเติมสาร H_2O_2 ปริมาณต่างๆ

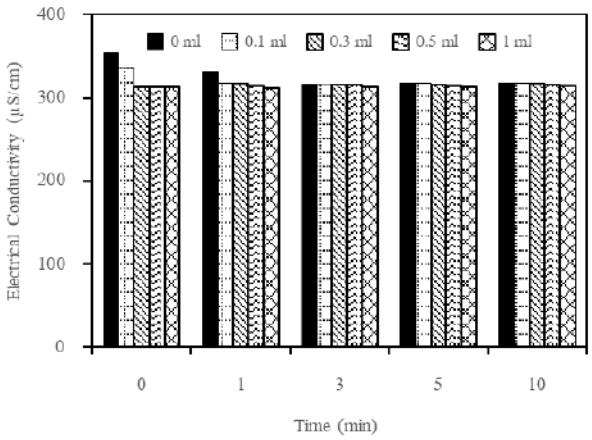


รูปที่ 2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ผ่านกระบวนการ (UV/H_2O_2) ที่เวลา 1, 3, 5 และ 10 นาที ที่ปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ

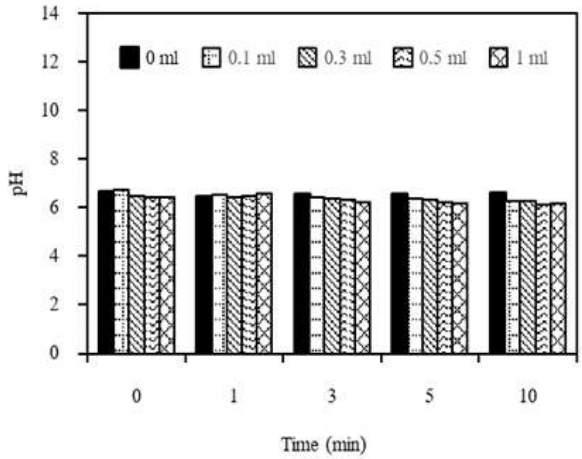
รูปที่ 1 แสดงผลการเติมสาร H_2O_2 ปริมาณ 0, 0.1, 0.3, 0.5 และ 1 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลา 1, 3, 5 และ 10 นาที จะเห็นได้ว่าค่าสีมีแนวโน้มลดลงตามลำดับ เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ที่ระยะเวลาที่เหมาะสมในการฉายรังสียูวีเท่ากับ 5 นาที โดยมีค่าสีเท่ากับ 21, 11, 6, 13 และ 12 DMI เมื่อเติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 0, 0.1, 0.3, 0.5 และ 1 มิลลิลิตร ตามลำดับ ถ้าพิจารณาปริมาณสาร H_2O_2 ที่เหมาะสมพบว่า การเติมสาร H_2O_2 ที่ปริมาณ 0.3 มิลลิตร จะเหลือค่าสีน้อยที่สุด

รูปที่ 2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดแล้วจากโรงพยาบาลที่เติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณ 0, 0.1, 0.3, 0.5 และ 1 มิลลิลิตร ร่วมกับการฉายรังสียูวีที่เวลา 1, 3, 5 และ 10 นาที พบว่า เมื่อระยะเวลาในการฉายแสงยูวีเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดสีมีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับ เมื่อพิจารณาปริมาณการเติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่า ปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 0.3 มิลลิลิตร ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ดีที่สุด เมื่อพิจารณาระยะเวลาที่ 1, 3, 5 และ 10 นาที ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีเท่ากับ 49, 57, 74 และ 75% ตามลำดับ นั่นแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการฉายรังสียูวีอยู่ที่ 5 นาที

5.2 ผลการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าและ ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH)



รูปที่ 3 แสดงค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำทิ้งผ่านการบำบัดแล้วจากโรงพยาบาล ที่เวลา 1, 3, 5 และ 10 นาที ร่วมกับการเติมสาร H_2O_2 ปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4 แสดงค่าความเป็นกรด - ด่างของตัวอย่างน้ำทิ้งผ่านการบำบัดแล้วจากโรงพยาบาล ที่เวลา 1, 3, 5 และ 10 นาที ร่วมกับการเติมสาร H_2O_2 ปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 3 แสดงค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำทิ้งผ่านการบำบัดแล้วจากโรงพยาบาล โดยการเติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณ 0, 0.1, 0.3, 0.5 และ 1 มิลลิลิตร ร่วมกับการฉายรังสียูวีที่เวลาต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกันที่ทุกสภาวะการทดลอง และมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 350 µS/cm ซึ่งเทียบได้กับมาตรฐานคุณภาพน้ำประปาที่มีค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 800 µS/cm [4] กระบวนการ (UV/H_2O_2) ไม่ส่งผลต่อค่าการนำไฟฟ้า เนื่องจากโมเลกุล H_2O_2 เมื่อมีการแตกตัวเป็น H_2O และ O_2 ไม่มีการแตกตัวเป็นไอออนในน้ำดังสมการที่ 1

$$H_2O_2 \leftrightarrow H^+ + HO_2^-$$

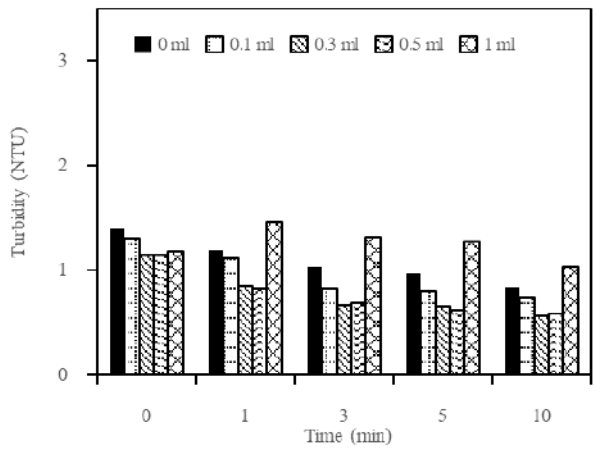
และสมการค่าคงที่สมดุล (pka)ของ H_2O

$$Pka \approx 11.6 \ (H_2O_2 \rightarrow H^+ + HO_2^-)$$

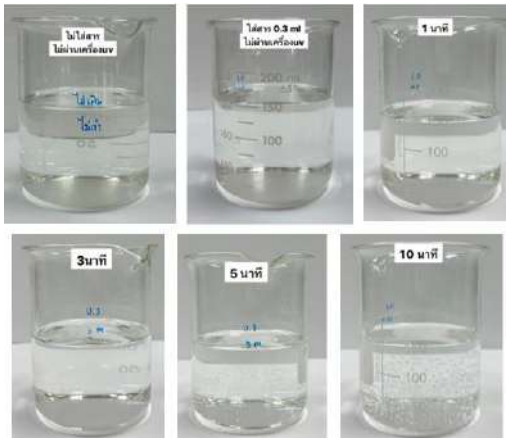
อย่างไรก็ตามการเติมสาร H_2O_2 สามารถแตกตัวเป็นไฮโดรเจนอิออนได้โดยขึ้นอยู่กับปัจจัย pH ของสารละลาย ถ้าสารละลายมีค่า pH สูงกว่า 11.6 จะเกิด OH^- มากทำให้การแตกตัวเป็น H^+ มากขึ้น จากการทดลองนี้ ค่า pH ของน้ำไม่เปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งในการทดลองใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 30% ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้า ถ้าหากใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 30% จึงจะทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ [5]

รูปที่ 4 แสดงค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ของตัวอย่างน้ำทิ้งโรงพยาบาลที่ผ่านการบำบัดแล้วที่เติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณ 0, 0.1, 0.3, 0.5 และ 1 มิลลิลิตร เมื่อทำการฉายรังสียูวีที่เวลา 1, 3, 5 และ 10 นาที พบว่าค่า pH มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 6.2-6.7 โดยค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) มาตรฐานน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียอยู่ที่ 5.5 – 9.0 [6] ซึ่งค่าความเป็นกรด - ด่างของน้ำที่ทำการทดลองมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยปกติสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็น H_2O และ O_2 จึงส่งผลให้ค่า pH ของสารละลายไม่เปลี่ยนแปลง เพราะน้ำที่เกิดขึ้นไม่ทำให้สารละลายเป็นกรดหรือด่างจึงส่งผลต่อค่า pH น้อย

5.3 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำทางกายภาพ



รูปที่ 5 แสดงค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำทิ้งผ่านการบำบัดแล้วจากโรงพยาบาล ที่เวลา 1, 3, 5 และ 10 นาที ร่วมกับการเติม สาร H_2O_2 ปริมาณต่างๆ



รูปที่ 6 แสดงเปรียบเทียบลักษณะของตัวอย่างน้ำทิ้งผ่านการบำบัดแล้วจากโรงพยาบาล และเติมสาร H_2O_2ปริมาณ 0.3 มิลลิลิตร ร่วมกับการฉายรังสียูวีที่เวลาต่างๆ

รูปที่ 5 แสดงค่าความขุ่นของตัวอย่างน้ำทิ้งผ่านการบำบัดแล้วจากโรงพยาบาล พบว่าความขุ่นเริ่มต้นอยู่ในช่วงประมาณ 1.1 – 1.4 NTU เมื่อเติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับการฉายแสงยูวี พบว่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องที่ทุกสภาวะการทดลอง ยกเว้นที่ การเติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ปริมาณเติมสารปริมาณ 1 มิลลิลิตร มีค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นเนื่องจากการใส่สารปริมาณมาก ทำให้ในน้ำมี O_2 มากกว่าปกติ ส่งผลทำให้เกิดฟองและเกิดความขุ่นมัวในน้ำ เมื่อทำการวัดค่าความขุ่นจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดัชนีหักเหของแสง ซึ่งทำให้มีค่าความขุ่นเกิดขึ้นถึงแม้ในน้ำจะไม่มีตะกอนอยู่ [7] อย่างไรก็ตามค่าความขุ่นมีค่าไม่เกิน 1.5 NTU

รูปที่ 6 แสดงลักษณะน้ำทางกายภาพ จะเห็นได้ว่าการใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับรังสียูวีในการกำจัดสีในน้ำเป็นกระบวนการที่เรียกว่า UV/H_2O_2 process ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้แสงยูวีและสารเคมี ทำให้สีในน้ำหายไป โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำจะปล่อยสารอนุมูลอิสระที่มีความสามารถในการทำลายสารเคมีต่างๆ รวมถึงสารที่ทำให้เกิดสีในน้ำ ความเข้มข้นของสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้มีผลต่อประสิทธิภาพในการกระบวนการ อีกทั้งรังสียูวีจะช่วยกระตุ้นให้สารไฮโดรเจน

เปอร์ออกไซด์แตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำลายพันธะเคมีในสารที่ทำให้เกิดสีทำให้สีในน้ำหายไปหรือจางลง กระบวนการนี้ทำให้น้ำที่มีสีจากสารเคมีหรือสิ่งปนเปื้อนกลายเป็นน้ำใสและสะอาดขึ้น

เมื่อพิจารณาราคาค่าใช้จ่ายในการเติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกรดอุตสาหกรรม (Commercial grade) ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.3 มิลลิลิตร/ลิตร คิดเป็นราคา 5.22 บาท/ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 1 ปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ทดลองและราคาต่อลูกบาศก์เมตร

ปริมาณ H_2O_2 30% ที่เติมในน้ำ 1 ลิตร	ราคาปริมาณ H_2O_2 30% ที่ใช้ต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร
0.1 มิลลิลิตร	1.74 บาท
0.3 มิลลิลิตร	5.22 บาท
0.5 มิลลิลิตร	8.70 บาท
1 มิลลิลิตร	17.40 บาท

6. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาการกำจัดสีในน้ำทิ้งโรงพยาบาลโดยใช้กระบวนการฉายรังสียูวีร่วมกับสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) พบว่า พบว่าตัวอย่างน้ำที่เติมสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณ 0.3 มิลลิลิตร ผ่านการฉายรังสียูวีเป็นเวลา 5 นาที มีความสามารถในการกำจัดสีในน้ำได้มากที่สุด ทำให้ค่าสีลดลงจาก 24 ADMI เหลือ 6 ADMI คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดสีเท่ากับ 75% ค่าความขุ่นมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง มีค่าน้อยกว่า 1.5 NTU ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 6.14 และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.74 ค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่า 350 μS/cm ไม่เกิน 800 μS/cm กระบวนการ UV/H_2O_2 ใช้ความเข้มข้นของสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% ที่ปริมาณและสภาวะที่เหมาะสม ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้า คิดเป็นค่าใช้จ่าย 5.22 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

เอกสารอ้างอิง

[1] วนิดา ชูอักษร. (2555). เทคโนโลยีกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม. วารสารมหาวิทยาลัยบูรพา 17, 181-191.
[2] ศุทรามาส ทากุ และธัญลักษณ์ ราษฎร์ภักดี. (2564). การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานน้ำตาลด้วยกระบวนการยูวีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และยูวีเปอร์ซัลเฟตเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์, 14(4), 141-149.
[3] ธัญวรรณ กฤษณะพุกต์ และชลอ จารสุทธิรักษ์. (2551). การบำบัดสีในน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโอโซเนชันที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54, 1107-1114.
[4] ธารารัตน์ ตั้งจิตร และคณะ. (2562). ค่าการนำไฟฟ้ากับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม, 22 กุมภาพันธ์ 2568. www.nimt.or.th
[5] วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. (2559). สมดุลกรด-เบสและสมดุลไอออน. เคมีสำหรับวิศวกร, 303.
[6] กองบริหารการสาธารณะสุข. (2564). คู่มือควบคุมและบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล. สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณะสุข.
[7] กระทรวงสาธารณสุข. เกณฑ์คุณภาพน้ำประปาดื่มได้กรมอนามัย พ.ศ. 2563, 25 กุมภาพันธ์ 2568. https://phld.anamai.moph.go.th/th/water-quality-standards

ระบบจัดการอาหารผ่านระบบ IoT

ลักษณ์นารา จันทรารมย์ [1,2], ดุสิต งามรุ่งโรจน์ [2], สาลินี อาจารีย์ [2], และวริษฐ์ ธรรมศิริโรจน์ [2*]

[1] คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี ตำบลสามพระยา อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี
[2] วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร
* Corresponding author: warit.t@cit.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันวิกฤตขยะจากอาหารที่เกิดจากอาหารเหลือทิ้งจากการบริโภคครัวเรือนของประชากรทั่วโลก มีปริมาณปีละมากกว่าหนึ่งพันล้านตัน ส่งผลให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นจากอาหารที่เน่าเสีย ทำให้รัฐบาลของแต่ละประเทศได้ออกนโยบายและรณรงค์ให้ประชาชนตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้น อาทิ นโยบายการจัดการและการกำจัดขยะ และนโยบายการป้องกันและลดการเกิดขยะอาหาร เป็นต้น คณะผู้วิจัยตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาเหล่านี้ จึงได้พัฒนาระบบจัดการอาหารผ่านระบบ IoT พร้อมสร้างแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบระบบจัดการอาหารผ่านระบบ IoT ด้วยวิธีการดำเนินการวิจัย 4 กระบวนการ คือ 1. ค้นหาและวิเคราะห์ความต้องการ 2. ออกแบบระบบจัดการอาหาร 3. สร้างต้นแบบ และ 4. ประเมินระบบ คณะผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามเพื่อหาและวิเคราะห์ความต้องการโดยผู้ใช้ และได้จัดทำแบบประเมินการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้และประเมินการใช้งานระบบโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน และนำข้อมูลที่ได้จากการประเมินมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยครั้งนี้ พบว่า การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ในภาพรวมของการออกแบบ ได้ผลประเมินอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ เท่ากับ 4.80 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน SD เท่ากับ 0.45 และการใช้งานต้นแบบระบบจัดการอาหารผ่านระบบ IoT ในภาพรวมของการออกแบบ ได้ผลประเมินอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ เท่ากับ 4.60 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน SD เท่ากับ 0.55

คำสำคัญ: ระบบ IoT / ระบบจัดการอาหาร / แอปพลิเคชัน / การจัดการสินค้าคงคลัง

Food Management System using IoT

Laknara Chandraramya [1,2], Dusit Ngamrungroj [2], Salinee Acharry [2], and Warit Thammasiriroj [2*]

[1] *Faculty of Information and Communication Technology, Silpakorn University, Phetchburi IT Campus, Thailand*
[2] *College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand*
* Corresponding author: warit.t@cit.kmutnb.ac.th

Abstract

Currently, the global food waste crisis, particularly from leftover food in household consumption, amounts to more than one billion tons per year. This results in an increase in greenhouse gas emissions from decomposing food. Consequently, governments around the world have introduced policies and launched campaigns to raise public awareness of the issue, such as waste management and disposal policies and food waste prevention and reduction policies. Recognizing the importance of these problems, the research team developed a food management system through IoT technology, along with a mobile application.

The objectives of the research are to design and build a prototype of food management system using IoT, with four main processes: 1. identifying and analyzing user needs, 2. designing the food management system, 3. developing a prototype, and 4. evaluating the system.

The research team collected data through questionnaires to identify and analyze user needs. They also created evaluation forms for user interface design and system usability, assessed by five experts. The collected data was then statistically analyzed by calculating the mean and standard deviation.

The results of this research showed that the overall user interface design was rated at the highest level, with a mean score ($\bar{x}$) of 4.80 and a standard deviation (SD) of 0.45. The usability of the food management system prototype through IoT was also rated at the highest level, with a mean score ($\bar{x}$) of 4.60 and a standard deviation (SD) of 0.55.

Keywords: IoT system / Food management system / Application / Inventory management

1. บทนำ

องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ระบุว่า ในปี พ.ศ. 2565 โลกสูญเสียอาหารไป 1.05 พันล้านตัน ซึ่งคิดเป็นอาหารหนึ่งในห้า (19 เปอร์เซ็นต์) ของปริมาณอาหารที่ผู้บริโภคมีเหลือทิ้ง ทั้งในระดับร้านค้าปลีก บริการด้านอาหาร และครัวเรือน นอกเหนือจากอาหารร้อยละ 13 ของโลกที่สูญเสียไปในห่วงโซ่อุปทาน ตามที่ FAO ประมาณการ ตั้งแต่หลังการเก็บเกี่ยวจนถึงและไม่รวมร้านค้าปลีก [1], [2] และจากการสำรวจข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษด้านการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย พบว่าในปี พ.ศ. 2566 มีปริมาณขยะมูลฝอยประมาณ 26.95 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2565 ร้อยละ 4.86 [3] องค์ประกอบของขยะในพื้นที่กรุงเทพมหานครที่พบมากที่สุด คือ เศษอาหาร ประมาณร้อยละ 43 [4] อีกทั้งในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาทั่วโลกประสบปัญหาโรคระบาด "โควิด-19" ทำให้หลายครัวเรือนเริ่มมีค่านิยมในการทำอาหารกันเองในครอบครัว จึงเกิดการเก็บและกักตุนทั้งอาหารสดและอาหารแห้ง และซื้อสินค้าในรูปแบบบิ๊กแพคเพราะราคาถูกกว่าซื้อแบบปลีก เมื่อต้องเก็บอาหารสดปริมาณมาก ๆ ในตู้เย็น ส่งผลให้ตู้เย็นไม่สามารถรักษาอุณหภูมิที่เหมาะสมได้ อาหารจึงเน่าเสียคาตู้เย็น ทำให้เสียโอกาสในการบริโภค รวมถึงการสะสมอาหารแห้ง อาหารกระป๋อง หรือเครื่องปรุงต่าง ๆ เป็นเวลานาน ทำให้หมดอายุก่อนจะนำมาบริโภค หรืออาจเก็บไว้นานจนจำไม่ได้ว่าซื้อมาแล้ว จึงอาจเกิดการซื้อซ้ำเพราะคิดว่าถูกบริโภคไปแล้ว ทำให้สินค้าเก่าหมดอายุเสียก่อน ในขณะที่รัฐบาลประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกร่วมกันหาแนวทางปฏิบัติในการบริโภคอาหารเพื่อให้เกิดความยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อมด้วยการพยายามลดของเสียจากอาหารจากครัวเรือน แต่แนวทางปฏิบัติในการจัดเก็บที่ถูกวิธีกลับถูกมองข้าม [5] จากงานวิจัยของ Ganglbauer และคณะ [6] เน้นย้ำว่า วิธีปฏิบัติในการจัดเก็บวัตถุดิบต่าง ๆ ในครัวเรือนเป็นเรื่องสำคัญมาก นอกจากปัญหานี้ส่งผลกระทบต่อความยั่งยืนของระบบนิเวศ [5] แล้วยังส่งผลต่อเศรษฐกิจของครัวเรือนอีกด้วย

ปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชนในชาติ ทำให้เกิดแผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ ตามมติคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ. 2562 ประเด็นที่ 32 การวิจัยและพัฒนานวัตกรรม ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันด้านโครงสร้างพื้นฐานทางเทคโนโลยีและด้านโครงสร้างพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ของประเทศ [7] หากประเทศไทยต้องการจะพัฒนาเศรษฐกิจประเทศให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น การนำโครงข่ายอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง (Internet of things: IoT) มาใช้จะสามารถช่วยได้ในหลายภาคธุรกิจ [8] การนำแอปพลิเคชันต่าง ๆ ของ IoT มาใช้จะช่วยลดการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายภายในครัวเรือน [9] ตามที่สถาบันวิจัย McKinsey Global [10] ประเมินไว้ว่าในปี พ.ศ. 2568 ผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจของ IoT ทั่วโลก อาจจะมีค่าได้สูงระหว่าง 3.9 ถึง 11.1 ล้านล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี โดยที่เกือบร้อยละ 70 จะเป็นผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นระหว่างธุรกิจกับธุรกิจ ในขณะที่อีกร้อยละ 30 จะเป็นผลประโยชน์จากการที่ผู้บริโภคใช้งานแอปพลิเคชัน

จากความสำคัญที่กล่าวมาในข้างต้น คณะผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของปัญหาและเป็นประโยชน์แก่ผู้บริโภคในลดการค่าใช้จ่ายภายในครัวเรือน ด้วยการสร้างระบบจัดการของกินของใช้ภายในครัว งานวิจัยนี้นำเสนอระบบจัดการอาหารด้วยเทคโนโลยีบาร์โคดผ่านระบบ IoT โดยแจ้งให้ผู้ใช้ทราบเกี่ยวกับรายการสินค้า จำนวน วันที่หมดอายุของสินค้า ตำแหน่งของสินค้าผ่านทางแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและสร้างระบบและแอปพลิเคชันจัดการอาหารผ่านระบบ IoT
2. เพื่อประเมินผลการใช้งานแอปพลิเคชันจัดการอาหารผ่านระบบ IoT

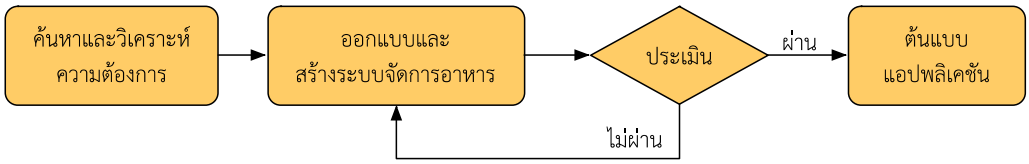
3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างระบบจัดการอาหารด้วยระบบสินค้าคงคลัง [9] โดยใช้เทคโนโลยีบาร์โคดผ่านระบบ IoT และพัฒนาแอปพลิเคชันในระบบปฏิบัติการ Android และประเมินการออกแบบแอปพลิเคชัน

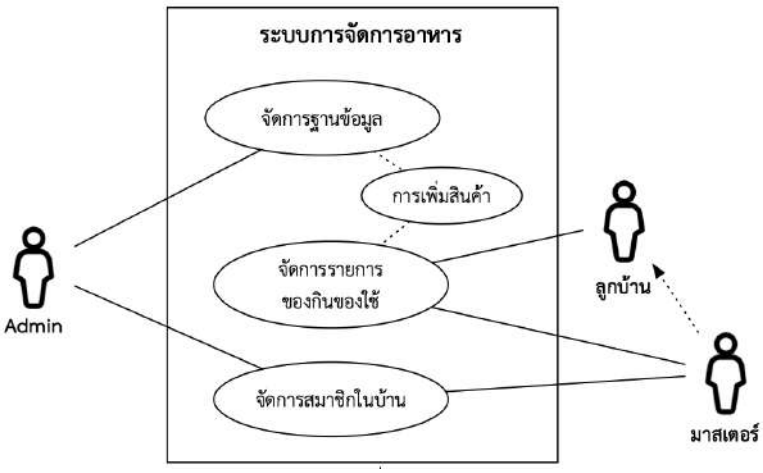
4. วิธีการศึกษา

4.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

วิธีการศึกษางานวิจัยนี้ ขั้นตอนแรก ทำการค้นหาปัญหา อุปสรรคและประสบการณ์ของแม่บ้านและพ่อบ้าน และค้นหาความต้องการในการใช้งานระบบอาหารด้วยแบบสอบถามทั้งแบบปลายปิดและปลายเปิด ขั้นตอนถัดไป คือ นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความต้องการต่าง ๆ ของผู้ใช้งาน อีกทั้ง ยังศึกษาฟังก์ชันต่าง ๆ จากแอปพลิเคชันที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อคัดเลือกฟังก์ชันการใช้งานที่เหมาะสม จากนั้น คณะผู้วิจัยได้นำความต้องการของผู้ใช้มาพิจารณาหาฟังก์ชันและคัดเลือกฟังก์ชันที่มีความเป็นไปได้ในการพัฒนากับเทคโนโลยีบาร์โคดผ่านระบบ IoT โดยอ้างอิงระบบสินค้าคงคลัง คือ 1. ฟังก์ชันหลัก คือ รายการซื้อของ สินค้าคงคลังในบ้าน สแกนบาร์โคด การเพิ่มข้อมูลสินค้า (ชื่อ จำนวน วันหมดอายุ ฯลฯ) การนำสินค้าออกไปใช้งาน และการแจ้งเตือนวันหมดอายุ ถือเป็นกลุ่มฟังก์ชันที่มีความสำคัญ และ 2. ฟังก์ชันที่ช่วยเพิ่มความสะดวกและสร้างความแตกต่าง คือ ติดตามค่าใช้จ่าย (แบบประมาณการ) คำนวณอายุสินค้าที่สแกนไม่ได้ และรายการสินค้าที่ใกล้หมดและต้องการซื้อเพิ่ม รวมถึง จัดทำกรณีการใช้งาน (Use-Case Diagram) เพื่อนำเสนอวิธีที่แอปพลิเคชันติดต่อกับผู้ใช้งาน แสดงให้เห็นถึงภาพรวมของระบบที่ใช้ในการสื่อสารกับผู้ใช้ว่า ระบบจะทำอะไร และแสดงให้เห็นถึงฟังก์ชันหลักของระบบและผู้ใช้ประเภทต่าง ๆ ที่จะติดต่อกับระบบ ดังรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

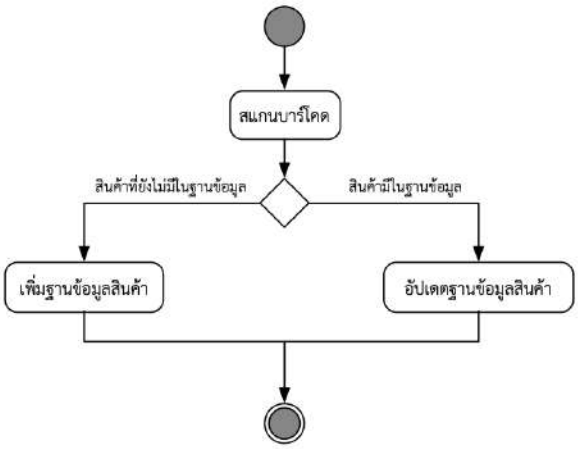


รูปที่ 2 Use-Case ของแอปพลิเคชัน

คณะผู้วิจัยได้จัดทำไดอะแกรมกิจกรรม (Activity Diagram) ของแอปพลิเคชันนี้ โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ 1. จัดการฐานข้อมูล (รูปที่ 3) 2. ระบบเพิ่มสมาชิกในบ้าน (รูปที่ 4) และ 3. ระบบจัดการรายการสินค้า/อาหาร (รูปที่ 5)

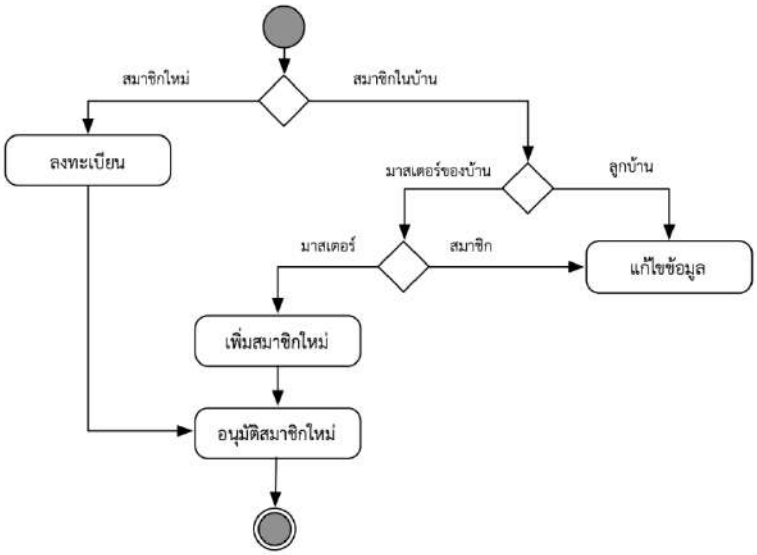
จากรูปที่ 3 ไดอะแกรมแสดงการจัดการฐานข้อมูล โดยระบบจะดำเนินการ "สแกนบาร์โคด" เพื่ออ่านข้อมูลสินค้าจากฐานข้อมูลผ่านบาร์โคด ระบบจะเข้าสู่ขั้นตอนการตัดสินใจเพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลสินค้าที่ได้จากการสแกนนั้นมีอยู่ในฐานข้อมูลแล้วหรือไม่ ในกรณีที่ 1 คือ สินค้าที่ยังไม่มีในฐานข้อมูล ระบบจะตรวจสอบพบว่า สินค้านี้เป็นรายการใหม่ (ยังไม่มีข้อมูลในฐานข้อมูล) ระบบจะดำเนินกระบวนการ "เพิ่มฐานข้อมูลสินค้า" ซึ่งหมายถึงการสร้างระเบียนข้อมูลสินค้าใหม่ในฐานข้อมูล และกรณีที่ 2 คือ

สินค้ามีในฐานข้อมูล หากผลการตรวจสอบพบว่า สินค้านี้มีข้อมูลอยู่แล้วในฐานข้อมูล ระบบจะดำเนินกระบวนการ "อัพเดตฐานข้อมูลสินค้า" ซึ่งอาจหมายถึงการปรับปรุงข้อมูลบางอย่าง อาทิ จำนวนคงเหลือ รวมทั้งข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสินค้ารายการนั้น



รูปที่ 3 ไดอะแกรมการจัดการฐานข้อมูล

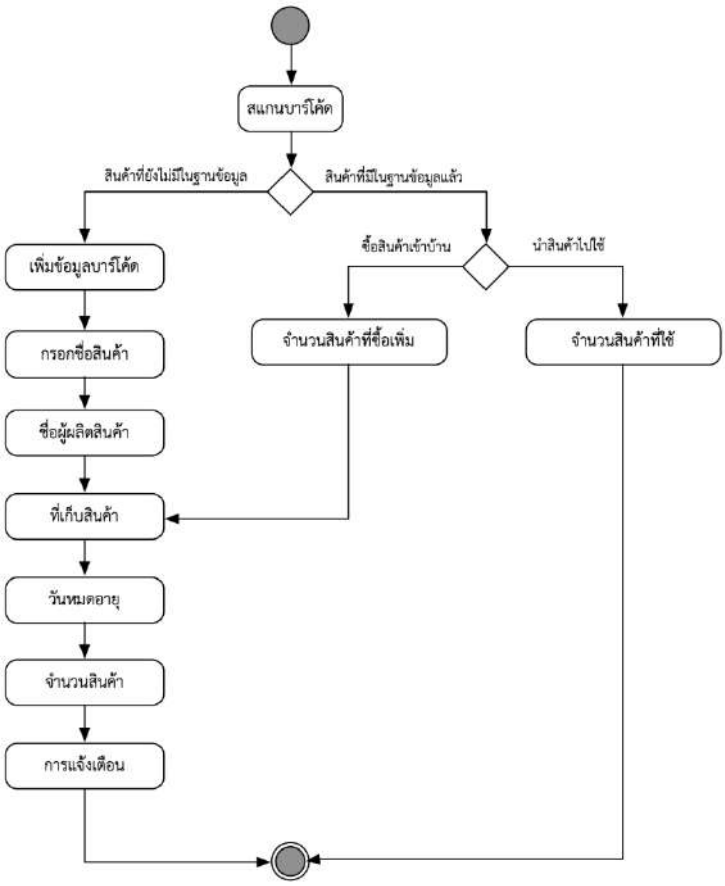
จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงตรรกะการควบคุมการเข้าถึงและการจัดการผู้ใช้ในระบบที่มีโครงสร้างแบบกลุ่ม "บ้าน" และมีการกำหนดบทบาทที่แตกต่างกัน คือ มาสเตอร์และลูกบ้าน กระบวนการครอบคลุมตั้งแต่การรับสมาชิกใหม่ การอนุมัติการให้สิทธิ์แก้ไขข้อมูลพื้นฐานแก่สมาชิกทุกคน และการให้สิทธิ์บริหารจัดการสมาชิกเพิ่มเติมแก่ผู้ใช้ที่มีบทบาทเป็นมาสเตอร์ ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการบริหารจัดการผู้ใช้ในระบบที่ต้องการควบคุมสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลหรือฟังก์ชันการทำงานภายในกลุ่มของแต่ละบ้าน เมื่อลงทะเบียนเรียบร้อยสมาชิกจะได้รับสิทธิ์ในการใช้งานแอปพลิเคชันที่แตกต่างกัน คือ ระดับ มาสเตอร์ของบ้านและระดับลูกบ้าน ในระดับมาสเตอร์ของบ้าน จะมีสิทธิ์อนุมัติสมาชิกในทุกบ้าน และจัดการสิทธิ์ต่าง ๆ ให้กับสมาชิกแต่ละบ้านได้ รวมถึงการจัดการในส่วนของข้อมูลสินค้าต่าง ๆ อีกด้วย ส่วนระดับลูกบ้านจะมีสิทธิ์การใช้งานแอปพลิเคชันในบ้านที่ตัวเองเป็นลูกบ้านอยู่เท่านั้น โดยสามารถนำสินค้าเข้า-ออก และดูข้อมูลภายในบ้านได้



รูปที่ 4 ไดอะแกรมการเพิ่มสมาชิกในบ้าน

จากนั้น คณะผู้วิจัยได้สร้าง flowchart กระบวนการและรายละเอียดขั้นตอนการทำงานของระบบในการจัดการ และปรับปรุงข้อมูลสินค้าคงคลัง (ในรูปที่ 5) โดยระบบมีจุดเริ่มต้นจากการ "สแกนบาร์โคดสินค้า" ระบบจะตรวจสอบว่า สินค้านี้มีข้อมูลอยู่ในฐานข้อมูลแล้วหรือยังไม่มี ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1 คือ สินค้าที่ยังไม่มีในฐานข้อมูล เส้นทางนี้ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลสินค้าประเภทใหม่ที่ไม่เคยมีในระบบมาก่อน กระบวนการประกอบด้วยการบันทึกข้อมูลหลัก และข้อมูลสต็อก อาทิ เพิ่มข้อมูลบาร์โคด กรอกชื่อสินค้า ชื่อผู้ผลิตสินค้า ที่เก็บสินค้า วันหมดอายุ จำนวนสินค้า และการแจ้งเตือน (เฉพาะการแจ้งเตือนที่เกี่ยวข้อง)



รูปที่ 5 ไดอะแกรมการจัดการรายการอาหารและผลิตภัณฑ์อาหาร

กรณีที่ 2 สินค้ามีในฐานข้อมูลแล้ว คือ ระบบจะเข้าสู่จุดตัดสินใจที่ 2 เป็นการ ซื้อสินค้าเข้าบ้าน (Stock-in) หรือ นำสินค้าไปใช้ (Stock-out) ถ้าเป็นกรณี 2.1 ซื้อสินค้าเข้าบ้าน เป็นระบบจะดำเนินการบันทึก "จำนวนสินค้าที่ซื้อเพิ่ม" จากนั้นกระบวนการจะเชื่อมโยงกลับไปเพื่อบันทึกข้อมูลเพิ่มเติมหรือรายการที่รับเข้ามาใหม่ ได้แก่ วันหมดอายุ จำนวนสินค้า (อาจเป็นการยืนยันหรือปรับปรุงจำนวน) และการแจ้งเตือน และแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มปริมาณสินค้าคงคลังและการบันทึกข้อมูลเฉพาะของสินค้าที่รับเข้ามารอบใหม่ และกรณี 2.2 นำสินค้าไปใช้ เป็นระบบจะดำเนินการบันทึกจำนวนสินค้าที่ใช้ เพื่อปรับลดปริมาณสินค้าคงคลัง

กระบวนการทำงานที่เป็นระบบสำหรับการจัดการข้อมูลสินค้าคงคลังอย่างละเอียด โดยเริ่มจากการระบุตัวตนสินค้าผ่านบาร์โคด ระบบสามารถรองรับการสร้างข้อมูลสินค้าใหม่ทั้งหมด การบันทึกการรับสินค้าเข้าคลังพร้อมรายละเอียดที่จำเป็น (เช่น

วันหมดอายุของล็อตใหม่) และการบันทึกการเบิกจ่ายสินค้าออกจากคลัง ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการรักษาความถูกต้องและเป็นปัจจุบันของข้อมูลสินค้าคงคลังในระบบบริหารจัดการ

จากนั้น สร้างต้นแบบแอปพลิเคชันระบบจัดการอาหาร ที่สามารถสแกนบาร์โคดและนำระบบที่ได้ไปทดสอบการใช้งานกับผู้เชี่ยวชาญ เก็บข้อมูลการใช้งาน เพื่อนำไปพัฒนาต้นแบบให้ดีขึ้น

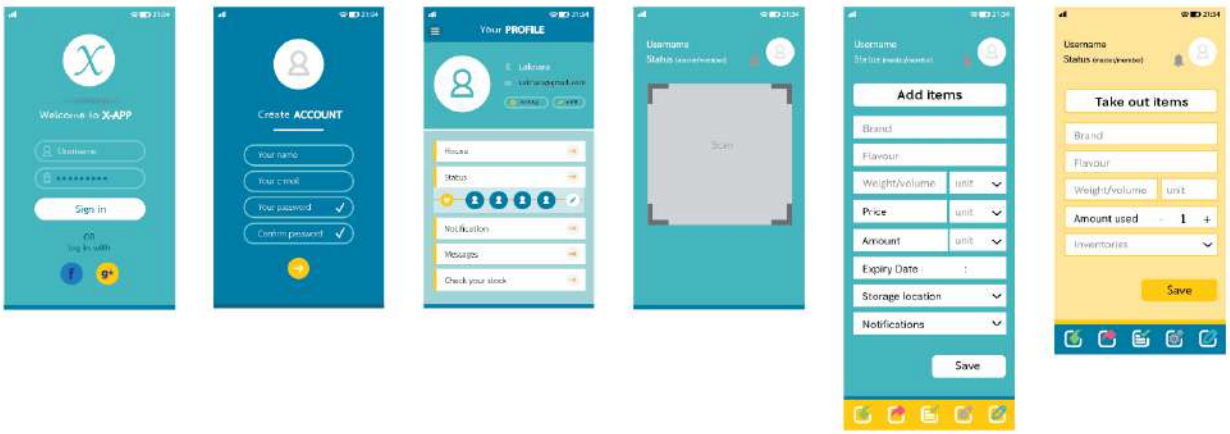
4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ใช้ค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน SD ในการประเมินผลทางสถิติ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการออกแบบแอปพลิเคชันต้นแบบระบบจัดการอาหารผ่านระบบ IoT

ผู้วิจัยได้ออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ของแอปพลิเคชันขึ้น เพื่อสร้างต้นแบบแอปพลิเคชันระบบจัดการอาหารผ่านระบบ IoT และได้นำตัวอย่างของส่วนติดต่อผู้ใช้ของแอปพลิเคชันมาแสดงดังรูปที่ 6 เพื่อให้เห็นภาพรวมของการออกแบบแอปพลิเคชัน ประกอบด้วย (ก) หน้าลงทะเบียน (ข) หน้ากรอกข้อมูลการลงทะเบียนและรหัสผ่าน (ค) หน้าที่เป็นข้อมูลที่ต้องใช้ในแอปพลิเคชัน เมื่อกด save แล้ว สามารถเริ่มต้นการใช้งานได้ด้วย (ง) หน้าสแกนบาร์โคด จากนั้นจะเข้า (จ) หน้าเพิ่มสินค้าอัตโนมัติ และหากต้องการเปลี่ยนเมนู สามารถกดได้จากปุ่มที่บาร์ทางด้านล่าง เพื่อเข้า (ฉ) หน้าเอาสินค้าออกจากคลัง



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ) (ฉ)

รูปที่ 6 ผลการออกแบบแอปพลิเคชันต้นแบบของระบบจัดการอาหารผ่านระบบ IoT

5.2 ผลการประเมินต้นแบบแอปพลิเคชันระบบจัดการอาหารผ่านระบบ IoT

การประเมินผลต้นแบบแอปพลิเคชันระบบจัดการอาหารผ่านระบบ IoT แบ่งออกเป็นการประเมิน 2 ส่วน โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน คือ 1. ผลประเมินการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ของแอปพลิเคชันต้นแบบของระบบจัดการอาหารผ่านระบบ IoT (ตารางที่ 1) และ 2. ผลประเมินการใช้งานของแอปพลิเคชันต้นแบบระบบจัดการอาหารผ่านระบบ IoT (ตารางที่ 2)

การประเมินทั้ง 2 ส่วนนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. เพื่อตรวจสอบการใช้งานและประเมินการใช้งานแอปพลิเคชันว่า สามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวก 2. เพื่อระบุปัญหาและข้อบกพร่องและนำข้อมูลที่ได้ไปทำการปรับปรุงประสบการณ์ผู้ใช้ เพื่อให้ตรวจสอบว่า การออกแบบนี้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ 3. เพื่อลดต้นทุนในการพัฒนาแอปพลิเคชัน 4. เพื่อทดสอบแนวคิดและฟังก์ชันการทำงานสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ และ 5. เพื่อรับฟังความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญที่สามารถนำไปปรับปรุงการออกแบบ

จากตารางที่ 1 ผลประเมินการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ พบว่า 1. ภาพประกอบ (พื้นหลัง) ผลอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.20, SD = 0.45) 2. ปุ่มสวยงามน่าใช้ ผลอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.20, SD = 0.45) 3. ขนาดของปุ่มชัดเจน ผลอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.40, SD = 0.55) 4. ฟังก์ชันมีความชัดเจน เข้าใจง่าย ผลอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.40, SD = 0.55) 5. ขนาดตัวอักษรเห็นได้ชัดเจน ผลอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.40, SD = 0.55) 6. การใช้สีสวยงาม เหมาะสม ผลอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.80, SD = 0.45) 7 .ความสวยงาม ทันสมัย ผลอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.40, SD = 0.55) และ 8. ภาพรวมการออกแบบ ผลอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.80, SD = 0.45)

ตารางที่ 1 ผลประเมินการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ของแอปพลิเคชันต้นแบบระบบจัดการอาหารผ่านระบบ IoT

หัวข้อการประเมิน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	SD	การแปลผล
1. ภาพประกอบ (พื้นหลัง)	4.20	0.45	มาก
2. ปุ่มสวยงาม ใช้งานง่าย	4.20	0.45	มาก
3. ขนาดของปุ่มชัดเจน	4.40	0.55	มาก
4. ฟังก์ชันมีความชัดเจน เข้าใจง่าย	4.40	0.55	มาก
5. ขนาดตัวอักษรเห็นชัดเจน	4.40	0.55	มาก
6. การใช้สีสวยงาม เหมาะสม	4.80	0.45	มากที่สุด
7. ความสวยงาม ทันสมัย	4.40	0.55	มาก
8. ภาพรวมการออกแบบ	4.80	0.45	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 ผลประเมินการใช้งานแอปพลิเคชัน พบว่า 1. ความสะดวกในการใช้งาน ผลอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.20, SD = 0.45) 2. เข้าใจง่าย ผลอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.40, SD = 0.55) 3. ใช้งานได้ไม่ติดปัญหา ผลอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.00, SD = 0.71) 4. จำวิธีการใช้งานได้ ผลอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.00, SD = 0.00) 5. ง่ายต่อการเข้าถึงข้อมูล ผลอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.80, SD = 0.45) และ 6. ความพึงพอใจในการใช้งานโดยรวม ผลอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.60, SD = 0.55) อีกทั้ง ยังมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่ขนาดของอุปกรณ์ที่สามารถใช้งานได้นั้น คือ ควรให้อุปกรณ์อื่น ๆ เช่น แท็บเล็ตสามารถใช้งานด้วยได้ เพื่อความสะดวกสบายให้กับบ้านที่มีผู้สูงอายุ

ตารางที่ 2 ผลประเมินการใช้งานของแอปพลิเคชันต้นแบบระบบจัดการอาหารผ่านระบบ IoT

หัวข้อการประเมิน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	SD	การแปลผล
1. ความสะดวกในการใช้งาน	4.20	0.45	มาก
2. เข้าใจง่าย	4.40	0.55	มาก
3. ใช้งานได้ไม่ติดปัญหา	4.00	0.71	มาก
4. จำวิธีการใช้งานได้	4.00	0.00	มาก
5. ง่ายต่อการเข้าถึงข้อมูล	4.80	0.45	มากที่สุด
6. ความพึงพอใจในการใช้งานโดยรวม	4.60	0.55	มากที่สุด

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการประเมินแอปพลิเคชันต้นแบบของระบบจัดการอาหารสะท้อนให้เห็นถึงความสำเร็จในการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้และการใช้งานในระดับที่น่าพึงพอใจ โดยสามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ 2 ด้าน คือ

1. ด้านการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ อยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ อยู่ระหว่าง 4.20 ถึง 4.80) โดยองค์ประกอบที่ได้รับการประเมินสูงสุด คือ การใช้สี ($\bar{x}$ = 4.80, SD = 0.45) และภาพรวมการออกแบบ ($\bar{x}$ = 4.80, SD = 0.45) ซึ่งทั้งสอง

องค์ประกอบได้รับการประเมินในระดับมากที่สุด และในส่วนขององค์ประกอบอื่น ๆ เช่น ขนาดของปุ่ม ความชัดเจนของฟังก์ชัน ขนาดตัวอักษร และความทันสมัยได้รับการประเมินในระดับมาก ในขณะที่ภาพประกอบและความสวยงามของปุ่มได้รับการประเมินในระดับมาก

2. ด้านการใช้งาน อยู่ในระดับมากเช่นกัน คือ ความง่ายต่อการเข้าถึงข้อมูลได้รับการประเมินสูงสุด ($\bar{x}$ = 4.80, SD = 0.45) รองลงมา คือ ความพึงพอใจโดยรวม ($\bar{x}$ = 4.60, SD = 0.55) และความเข้าใจง่าย ($\bar{x}$ = 4.40, SD = 0.55) ส่วนความสะดวกในการใช้งานได้รับการประเมินที่ $\bar{x}$ = 4.20 (SD = 0.45) ขณะที่การใช้งานโดยไม่ติดปัญหา และการจดจำวิธีการใช้งานได้รับการประเมินเท่ากันที่ $\bar{x}$ = 4.00 (SD = 0.71 และ SD = 0.00 ตามลำดับ) รวมทั้งข้อเสนอแนะที่สำคัญ คือ การพัฒนาให้แอปพลิเคชันสามารถใช้งานได้บนอุปกรณ์ที่หลากหลายมากขึ้น โดยเฉพาะแท็บเล็ต เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้สูงอายุและผู้ใช้ที่ต้องการหน้าจอขนาดใหญ่

ดังนั้น ผลการประเมินนี้ แสดงให้เห็นว่าแอปพลิเคชันต้นแบบมีศักยภาพสูงในการนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์จริง โดยมีจุดแข็งด้านการออกแบบที่สวยงาม ทันสมัย และใช้งานง่าย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งเสริมให้ผู้ใช้ยอมรับและใช้งานระบบจัดการอาหารผ่าน IoT เพื่อลดขยะอาหารและประหยัดค่าใช้จ่ายในครัวเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาด้านความเสถียรของระบบและการรองรับอุปกรณ์ที่หลากหลาย เพื่อให้แอปพลิเคชันสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ทุกกลุ่มอายุและรองรับสังคมผู้สูงวัยได้ในอนาคตอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] The United Nations Environment Programme. (2024, March 27). Food Waste Index Report 2024. Retrieved October 14, 2024 from https://www.unep.org/resources/publication/food-waste-index-report-2024

[2] The Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). Food Loss and Food Waste. Retrieved October 30, 2024 from https://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/flw-data

[3] กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2567). รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2566. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[4] สำนักงานคณะกรรมการข้อมูลข่าวสารของราชการ. (2559). การจัดการขยะมูลฝอยทั่วไป. Retrieved ตุลาคม 30, 2564 from http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER9/DRAWER026/GENERAL/DATA0000/00000331.PDF

[5] Esau, M., Lawo, D., & Stevens, G. (2020). Really Smart Fridges: Investigating Sustainable Household Storage Practices. 7th International Conference On Ict for Sustainability. Virtual.

[6] Ganglbauer , E., Fitzpatrick, G., & Comber, R. (2013). Negotiating food waste: Using a practice lens to inform design. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 20(2), 1-25.

[7] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2562, ธันวาคม 3). แผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ. Retrieved ตุลาคม 31, 2564 from http://nscr.nesdc.go.th/แผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสต/

[8] สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. (2560). เทคโนโลยี Internet of Things และนโยบาย Thailand 4.0. Retrieved ตุลาคม 24, 2565 from https://www.nbtc.go.th/getattachment/Services/quarter2560/ไตรมาส-3-ปี-2560/เอกสารแนบ.pdf.aspx

[9] aws. (มปป). IoT ทำงานอย่างไร. Retrieved ตุลาคม 24, 2565 from https://aws.amazon.com/th/what-is/iot/

[10] Manyika, J., Chui, M., Bisson, P., Woetzel, J., Dobbs, R., Bughin, J., & Aharon, D. (2558, มิถุนายน). The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype. McKinsey Global Institute. Retrieved ตุลาคม 24, 2565 from https://www.nbtc.go.th/getattachment/Services/quarter2560/ไตรมาส-3-ปี-2560/เอกสารแนบ.pdf.aspx

การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำแข็งของร้านจำหน่ายอาหารภายในพื้นที่คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตพญาไท

สุวิชญา พานุพันธ์, อาซีดีน ตะโละดิง, ณัฐเศรษฐ ชำนาญมาก, ธีรภัทร เอรวัล, และ ธีรพงษ์ เลิศอัศวกร*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
** Corresponding author: teerapong.ler@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

น้ำแข็งเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคและหาซื้อได้ง่ายในประเทศไทย เนื่องจากมีการใช้แหล่งน้ำดิบในกระบวนการผลิตซึ่งมีโอกาสปนเปื้อนไมโครพลาสติก จึงมีความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัส การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำแข็งจากร้านจำหน่ายอาหารภายในพื้นที่คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตพญาไท จำนวน 4 ร้าน ตัวอย่างน้ำแข็งนำมาสกัดสารอินทรีย์ด้วยวิธี Oxidative Digestion (H_2O_2) และกรองแยกไมโครพลาสติกผ่าน silicon membrane (1.5 μm) ก่อนนำไปวิเคราะห์สัณฐานและปริมาณของไมโครพลาสติกด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ จำแนกและระบุประเภทพลาสติกด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy โหมด Attenuated Total Reflection ร่วมกับการตรวจสอบสุขาภิบาลอาหารภายในร้านจำหน่ายอาหารเพื่อพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อการปนเปื้อน

ผลการศึกษาจากการส่องกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ พบชิ้นส่วนไมโครพลาสติก 123-316 ชิ้นต่อตัวอย่างน้ำแข็ง 150 mL (เฉลี่ย 63 ± 36 ชิ้น) ชนิดสัณฐานที่พบมากที่สุดคือ เส้นใย ขนาดตั้งแต่ 3-726 ไมโครเมตร เมื่อสุ่มตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วย FTIR 14 ชิ้น สามารถระบุเป็นไมโครพลาสติกได้ 42.9% จำแนกเป็นได้เป็นพลาสติกประเภท Polypropylene และ Polyester จากการสังเกตของผู้วิจัยร่วมกับแบบตรวจสุขาภิบาล พบสาเหตุการปนเปื้อนอาจมาจากกระสอบน้ำแข็งที่ใช้บรรจุน้ำแข็งสำหรับบริโภคในการขนส่งเสื่อมสภาพ หรือไมโครพลาสติกปนเปื้อนตั้งแต่แหล่งน้ำดิบและกระบวนการผลิตน้ำแข็งจากต้นทาง ผลการศึกษาครั้งนี้ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานแสดงการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในพื้นที่วิทยาเขตพญาไท สำหรับประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสไมโครพลาสติกต่อไป

คำสำคัญ: การปนเปื้อน / ไมโครพลาสติก / น้ำแข็ง / ร้านจำหน่ายอาหาร / วิทยาเขตพญาไท

Microplastic Contamination in Ice Cubes from Food Vendors at the Faculty of Public Health, Mahidol University, Phayathai Campus

Suwichaya Phanuphan, Arsidin Talohding, Nuttaset Chamnanmak, Teerapat Arawan, and Teerapong Lertassavakorn*

Department of Environmental Health Sciences, Faculty of Public Health, Mahidol University, Thailand
** Corresponding author: teerapong.ler@mahidol.ac.th*

Abstract

Ice is a widely consumed product in Thailand. However, the raw water sources used in the production process in various studies are found to be contaminated with microplastic, posing potential exposure concerns. This study aimed to investigate microplastic contamination in ice cubes from four food vendors within the Faculty of Public Health, Mahidol University, Phayathai Campus. Ice samples were collected and treated to eliminate organic matter via the Oxidative Digestion method using hydrogen peroxide (H_2O_2). The solution was filtered through a 1.5 μm silicon membrane before analyzing the morphology and quantity of microplastic under a stereomicroscope. Then, microplastic identification and classification were conducted using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) in Attenuated Total Reflection (ATR) mode. Additionally, a sanitary inspection of food vendors was assessed to determine the contamination factors.

The stereomicroscopic analysis results showed microplastic particles ranging from 123 to 316 pieces per 150 mL ice sample, with an average of 63 ± 36 pieces. The most common morphology observed was fibers with a size varying between 3 to 726 μm. Subsequently, 14 suspected microplastic particles were randomly selected to undergo FTIR analysis and 6 pieces (42.9%) were confirmed as microplastics. These microplastics were classified as polypropylene and polyester. Based on observations and sanitary inspection, potential contamination sources included deteriorated ice sacks used to pack ice for transportation and pre-existing microplastic contamination in raw water and ice production processes. This study provides baseline data on microplastic contamination in the Phayathai Campus area for further risk assessment of microplastic exposure.

Keywords: Contamination / Microplastics / Ice cubes / Food vendors / Phayathai Campus

1. บทนำ

ไมโครพลาสติก (Microplastics) เป็นชิ้นส่วนพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร เกิดจากการแตกหัก หรือย่อยสลายของพลาสติกขนาดใหญ่ หรือจากกระบวนการผลิตพลาสติกขนาดเล็กเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน ปัจจุบันปัญหาไมโครพลาสติกมีความสำคัญเพิ่มมากยิ่งขึ้น เนื่องจากทั่วโลกมีการผลิตพลาสติกมากกว่า 430 ล้านตัน [1] แต่กลับมีขยะพลาสติกสูงถึง 8 ล้านตันถูกปล่อยทิ้งลงสู่มหาสมุทร และพบว่ามากกว่าร้อยละ 50 มีต้นกำเนิดจากประเทศในเอเชีย โดยถุงพลาสติกและบรรจุภัณฑ์พลาสติกเป็นขยะที่พบมากที่สุด [2] สำหรับสถานการณ์ขยะพลาสติกในประเทศไทยในปี 2564 มีปริมาณขยะพลาสติกใช้ครั้งเดียว (Single-use plastics) เกิดขึ้นจากการบริโภคสูงถึง 2.76 ล้านตัน โดยร้อยละ 63 เป็นถุงพลาสติก เช่น ถุงร้อน ถุงหูหิ้ว ส่วนใหญ่เป็นพลาสติกชนิด polyethylene ซึ่งพฤติกรรมการใช้พลาสติกที่เกินความจำเป็นนี้ เกิดจากความสะดวกและราคาถูกของผลิตภัณฑ์ การใช้บริการสั่งอาหารเดลิเวอรีที่ใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกที่เพิ่มมากขึ้น และการกำจัดขยะพลาสติกอย่างไม่ถูกต้อง [3]

ไมโครพลาสติกเหล่านี้ตกค้างจากการใช้แล้วกำจัดทิ้งก่อนปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณมาก โดยมีการปนเปื้อนผ่านระบบนิเวศทางทะเลจากการระบายน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด และน้ำเสียชุมชนที่ไม่ผ่านการบำบัดซึ่งมีสาเหตุการปนเปื้อนมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การทิ้งพลาสติกใช้ครั้งเดียวอย่างไม่ถูกต้อง การใช้เครื่องสำอางและเวชภัณฑ์ หรือการซักผ้าที่มีเส้นใยพลาสติกเป็นส่วนประกอบ [4] ส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของไมโครพลาสติกในทะเลได้ เนื่องจากไมโครพลาสติกมีขนาดเล็กและมีอายุการย่อยสลายที่นาน ทำให้เกิดการคุกคามระบบนิเวศทางทะเลในระยะยาว โดยสามารถเข้าไปปนเปื้อนอยู่ในห่วงโซ่อาหารของสัตว์น้ำ เมื่อสัตว์น้ำกินไมโครพลาสติกเข้าไปจะเกิดการสะสมและถ่ายทอดไปยังผู้บริโภคตามลำดับ [5] อาทิ พบรายงานการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในปลาบริเวณอ่าวไทยตอนล่าง พบว่าปลาผิวน้ำมีปริมาณไมโครพลาสติกเฉลี่ย 0.3-4.3 ชิ้นต่อตัว ปลาหน้าดินมีปริมาณไมโครพลาสติกเฉลี่ย 0.9-3 ชิ้นต่อตัว และปลาแนวปะการังมีปริมาณไมโครพลาสติกเฉลี่ย 0.3-2.3 ชิ้นต่อตัว [6] หรือแม้แต่การตรวจพบไมโครพลาสติกในดินจากการเกษตร โดยเกิดจากการใช้พลาสติกคลุมหน้าดินเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของวัชพืช แต่เมื่อฟิล์มพลาสติกเกิดการเสื่อมสภาพจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมทำให้มีการแตกสลายของพลาสติกสะสมอยู่ในดิน ส่งผลให้คุณสมบัติของดินมีการเปลี่ยนแปลงไป เช่น ความพรุน การซึมผ่านของน้ำ ทำให้การเจริญเติบโตของพืชเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ [7] ด้วยความที่ไมโครพลาสติกปนเปื้อนในหลากหลายตัวกลางสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้มนุษย์มีช่องทางการรับสัมผัสหลายช่องทางด้วยจากรายงานขององค์การกองทุนสัตว์ป่าโลกสากล (WWF) พบว่า มนุษย์บริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อนไมโครพลาสติกเฉลี่ยสูงถึง 2,000 ชิ้นต่อสัปดาห์ หรือ 250 กรัมต่อปี [8] และยังพบว่าไมโครพลาสติกสามารถล่องลอยในอากาศ มนุษย์สามารถสูดดมไมโครพลาสติกเข้าสู่ปอดได้โดยตรง ทำให้มีการทำลายถุงลมปอดเสี่ยงต่อการเกิดโรคถุงลมโป่งพองและมะเร็งปอด รวมถึงสามารถเข้าสู่กระแสเลือดส่งผลให้หลอดเลือดแดงมีการแข็งตัวและเพิ่มความเสี่ยงทำให้เกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดอีกด้วย [9]

ตัวกลางทางสิ่งแวดล้อมที่มักพบการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกคือแหล่งน้ำดิบเพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภค โดยน้ำแข็งถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคและหาซื้อได้ง่ายในประเทศไทย รวมถึงมีการใช้แหล่งน้ำดิบในกระบวนการผลิตน้ำแข็ง อย่างไรก็ตามจากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในประเทศไทยพบว่างานวิจัยเกี่ยวกับไมโครพลาสติกในน้ำแข็งสำหรับบริโภคมีเพียงงานวิจัยเดียวเท่านั้น จากงานวิจัยของสุรวุฒิ สุดหา และดุษฎีพร หิรัญ พบว่าแหล่งน้ำดิบในจังหวัดชัยภูมิมีปริมาณไมโครพลาสติกเฉลี่ย 224 ชิ้นต่อลิตร และพบในน้ำแข็งได้อยู่ที่ 28 ชิ้นต่อลิตร [10] แสดงให้เห็นถึงความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสไมโครพลาสติกจากการบริโภคน้ำแข็งพร้อมรับประทานได้ สำหรับในพื้นที่คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ประกอบไปด้วยบุคลากร นักศึกษา และบุคคลภายนอกเข้ามาใช้บริการโรงอาหารและร้านค้าต่อวันเป็นจำนวนมาก แต่ยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับการปนเปื้อนของ ไมโครพลาสติกในน้ำแข็งสำหรับบริโภค ทีมผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในร้านน้ำแข็งของร้านจำหน่าย

อาหารภายในพื้นที่คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตพญาไท โดยศึกษาถึงปริมาณและขนาดรวมถึงจำแนกชนิดของไมโครพลาสติก เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานแสดงการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในพื้นที่วิทยาเขตพญาไท สำหรับประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสไมโครพลาสติก และเป็นข้อมูลในการพิจารณาลดช่องทางการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกสู่น้ำแข็งต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำแข็งของร้านจำหน่ายอาหารภายในพื้นที่คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตพญาไท
2. เพื่อจำแนกรูปร่างของไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในน้ำแข็งของร้านจำหน่ายอาหารภายในพื้นที่คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตพญาไท
3. เพื่อศึกษาขนาดและปริมาณของไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในน้ำแข็งของร้านจำหน่ายอาหารภายในพื้นที่ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตพญาไท

3. ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในน้ำแข็งพร้อมบริโภคของร้านจำหน่ายอาหารภายในพื้นที่คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตพญาไท จำนวน 4 ร้าน

4. วิธีการศึกษา

4.1 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

ผู้วิจัยซื้อตัวอย่างน้ำแข็งจากร้านจำหน่ายอาหาร ที่ตั้งอยู่ภายในพื้นที่คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยใช้ขวดแก้ว Duran ขนาด 1,000 มิลลิลิตร สำหรับบรรจุตัวอย่างน้ำแข็ง พร้อมเขียนฉลากระบุชื่อและตำแหน่งร้าน บรรจุลงในกล่องโฟมรักษาอุณหภูมิ ก่อนนำตัวอย่างกลับไปเก็บในตู้เย็นที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม ในระหว่างการเก็บตัวอย่าง ดำเนินการตรวจสอบสุขาภิบาลอาหารภายในร้านจำหน่ายอาหาร โดยใช้แบบตรวจมาตรฐานสุขาภิบาลอาหาร (ตามกฎกระทรวงสุขลักษณะของสถานที่จำหน่ายอาหาร พ.ศ. 2561) เป็นแม่แบบ ทีมผู้วิจัยได้มีการปรับเปลี่ยนเพิ่มเติมบางหัวข้อ เพื่อใช้ตรวจประเมินเบื้องต้นถึงปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในงานวิจัยนี้ ดังแสดงในตารางที่ 1

4.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างน้ำแข็งที่เก็บในตู้เย็นห้องปฏิบัติการ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาทีหรือจนกว่าน้ำแข็งจะละลาย ก่อนถ่ายใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร จากนั้นเติม 30% Hydrogen Peroxide (H_2O_2) 40 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างและนำไปอุ่นบนเตาให้ความร้อน (hot plate) ที่อุณหภูมิ 65°C เพื่อกำจัดเชื้อโรคและสารอินทรียวัตถุที่อาจปนเปื้อนหรือติดมากับตัวอย่าง [11] โดยทำการกวนตัวอย่างทุก ๆ 10 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อให้ความร้อนเสร็จแล้ว นำตัวอย่างน้ำแข็งที่ละลายกรองแบบสุญญากาศผ่าน silicon filter ขนาดรูพรุน 1 μm ที่ผ่านการล้างด้วย DI water โดยใช้ filter 1 แผ่นต่อตัวอย่าง 100-150 มิลลิลิตร ก่อนนำ filter วางตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะแห้งที่อุณหภูมิห้องบนจานเพาะเชื้อในตู้ดูดควัน (fume hood)

ตารางที่ 1 แบบตรวจสุขาภิบาลอาหารหัวข้อการตรวจน้ำแข็ง "สถานที่จำหน่ายอาหาร" สำหรับพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการปนเปื้อนไมโครพลาสติก

ข้อกำหนดสุขลักษณะ	ผลการตรวจ			หมายเหตุ
	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่มีกิจกรรม	
1. น้ำแข็ง ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด เช่น เครื่องหมาย อย.				
2. น้ำแข็งเก็บในภาชนะที่สะอาด ไม่มีคราบสกปรก มีฝาปิด				
3. ภาชนะบรรจุน้ำแข็ง วางสูงจากพื้นอย่างน้อย 15 เซนติเมตร จากปากขอบภาชนะ สูงจากพื้นอย่างน้อย 60 เซนติเมตร จากบริเวณที่วางภาชนะ				
4. ไม่มีน้ำขังเฉอะแฉะ หรือวางใกล้ถังขยะ				
5. ใช้อุปกรณ์ที่สะอาด มีด้ามสำหรับคีบหรือตักน้ำแข็งโดยเฉพาะ				
6. ไม่นำอาหารหรือสิ่งของ ไปแช่รวมในถังน้ำแข็งสำหรับบริโภค				
7. วางอุปกรณ์สำหรับตักน้ำแข็งเหมาะสม เช่น วางปลายด้ามไม่สัมผัสน้ำแข็ง				
รวม				

ข้อสังเกตเพิ่มเติม.....

4.3 ขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูล

ตรวจหาไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำแข็งเบื้องต้นด้วยสายตาผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (stereomicroscope) ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น SZX16 โดยวัดขนาดของชิ้นส่วนที่คาดว่าจะเป็นไมโครพลาสติกที่พบด้วยเครื่องมือวัดขนาดผ่านโปรแกรม DP2-BSW จากนั้นเพื่อยืนยันชิ้นส่วนดังกล่าวที่พบในกล้องว่าเป็นไมโครพลาสติกจริง ทำการสุ่มคีบตัวอย่างชิ้นส่วนที่คาดว่าจะเป็นไมโครพลาสติกผ่านกล้องจุลทรรศน์ใส่ลงใน Plate แบบ 12 ช่อง นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ชนิด Microscope Spectrometer ยี่ห้อ Thermo Fisher Scientific รุ่น Nicolet iN10 เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบโครงสร้างทางเคมีของชิ้นส่วนว่าเป็นไมโครพลาสติกจริงหรือไม่ เป็นพลาสติกชนิดใด ผ่านการเทียบกับ spectra ของตัวอย่างกับแหล่งข้อมูลใน library ของเครื่อง FTIR

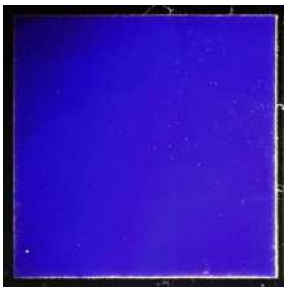
4.4 การควบคุมคุณภาพ (Quality control)

ดำเนินการเตรียมตัวอย่างควบคุม (Blank) ควบคู่ไปตัวอย่างน้ำแข็ง โดยใช้น้ำ Deionized (DI water) เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในระหว่างปฏิบัติการทดลอง ร่วมกับหลีกเลี่ยงการใช้อุปกรณ์ทดลองที่มีส่วนประกอบของพลาสติกและขั้นตอนที่อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนไมโครพลาสติกจากสภาพแวดล้อมในห้องปฏิบัติการได้ ได้แก่ ฝาขวดแก้วซึ่งเป็นพลาสติก ให้ใช้อะลูมิเนียมฟอยล์คลุมปากขวดก่อนปิดด้วยฝา ดำเนินการเตรียมและสกัดตัวอย่างทุกขั้นตอนใน fume hood ปิดฝาจานเพาะเชื้อเมื่อทำให้แห้งใน fume hood เพื่อลดการปนเปื้อนจากอากาศ เป็นต้น

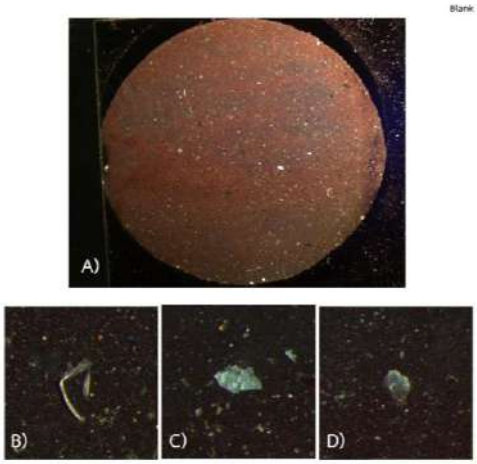
5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลวิเคราะห์การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำแข็งด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ

ผลการศึกษาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำแข็งของร้านจำหน่ายอาหารภายในพื้นที่คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตพญาไท จำนวน 4 ร้าน (แทนด้วยรหัส PH01 – PH04) พบการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในน้ำแข็งของร้านจำหน่ายอาหารภายในพื้นที่คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตพญาไท ในทุก ๆ ตัวอย่างที่ทำการตรวจวิเคราะห์ โดยยังพบการปนเปื้อนไมโครพลาสติกแม้แต่ในตัวอย่างควบคุมที่ใช้ DI water ด้วย (รูปที่ 1) โดยการปนเปื้อนอาจมาจากสิ่งแวดล้อมภายในห้องปฏิบัติการ อ้างอิงจากงานวิจัยของ Nandi และคณะ พบว่าปริมาณไมโครพลาสติกภายในอาคารสูงกว่าในที่โล่งแจ้งในช่วงหลังมรสุมและฤดูหนาว รวมถึงการทำกิจกรรมของมนุษย์ก่อให้เกิดความแปรปรวนของการไหลในอากาศซึ่งเป็นการพัดพาไมโครพลาสติกเข้าสู่อาคาร [12] ส่งผลต่อการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในตัวอย่างควบคุมได้ รวมถึง DI water ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็น type II water อาจส่งผลให้ยังพบเศษชิ้นส่วนได้หากเทียบกับการใช้ type I water (ultrapure) หรือตัวกรองของ type II water เองที่เสื่อมประสิทธิภาพจนส่งผลให้ยังพบเศษชิ้นส่วนในตัวอย่างควบคุมได้ ลักษณะสัณฐานของไมโครพลาสติกมี 3 ลักษณะจากทั้งหมด 6 ลักษณะ จำนวนรวมทั้งหมดเฉพาะตัวอย่างน้ำแข็ง 830 ชิ้น โดยลักษณะสัณฐานของไมโครพลาสติกที่พบมากที่สุดคือ ไมโครพลาสติกชนิดเส้นใย ตามด้วยชนิดแผ่นฟิล์ม และชนิดชิ้นส่วนตามลำดับ (ตารางที่ 2) ส่วนรูปแบบที่ยังไม่พบหรือไม่อาจสามารถระบุลักษณะสัณฐานของไมโครพลาสติกอีก 3 ลักษณะ คือ ทรงกลม (Sphere) เม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ (Nurdle) และโฟม (Foam) เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยมีประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง กำหนดลักษณะของเครื่องสำอางที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือขาย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2562 กำหนดไว้ว่า ห้ามผลิต หรือขายเครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของพลาสติกไมโครบีดส์ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2563 ทำให้ประเทศไทยไม่มีการผลิตและใช้พลาสติกประเภทเหล่านี้ [13] รวมถึงร้านจำหน่ายอาหารที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำแข็งไม่มีการใช้โฟมภายในร้าน โดยตัวอย่างผลการวิเคราะห์ไมโครพลาสติกของ PH01-1 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอมีปริมาณ ไมโครพลาสติกมากกว่าในตัวอย่างตัวควบคุม (blank) โดยพบลักษณะสัณฐานของไมโครพลาสติกทั้ง 3 ชนิด (รูปที่ 2) ซึ่งขนาดของ ไมโครพลาสติกที่พบอยู่ระหว่าง 3-726 ไมโครเมตร (ตารางที่ 3)

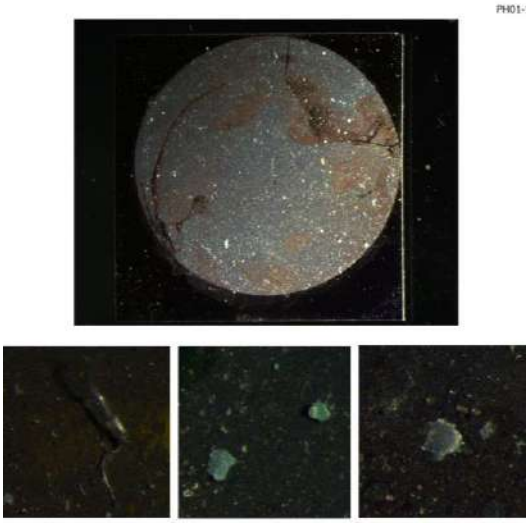


(ก) Silicon filter ที่ไม่ได้ผ่านการกรอง (กำลังขยาย 1X)



(ข) Silicon filter ที่กรองตัวอย่าง blank

รูปที่ 1 เปรียบเทียบแผ่นกรอง silicon ที่ส่องผ่าน stereomicroscope ระหว่างยังไม่ได้ผ่านการกรอง (ก) และกรองแล้วด้วยตัวอย่าง blank (ข) ; โดย *ที่กำลังขยาย 1X* [A) Silicon filter ที่กรองด้วย DI water] *ที่กำลังขยาย 11.5X* [B) รูปร่างไมโครพลาสติกชนิดเส้นใย C) รูปร่างไมโครพลาสติกชนิดชิ้นส่วน D) รูปร่างไมโครพลาสติกชนิดแผ่นฟิล์ม]



รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์ไมโครพลาสติกของ PH01-1 ที่ส่องผ่าน stereomicroscope; โดย*ที่กำลังขยาย 1X* [A) Silicon filter ที่กรองด้วย DI water] *ที่กำลังขยาย 11.5X* [B) รูปร่างไมโครพลาสติกชนิดเส้นใย C) รูปร่างไมโครพลาสติกชนิดชิ้นส่วน D) รูปร่างไมโครพลาสติกชนิดแผ่นฟิล์ม]

ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดลักษณะสัณฐานของไมโครพลาสติกในตัวอย่างน้ำแข็งจากร้านจำหน่ายอาหารภายในพื้นที่คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตพญาไท

ร้านจำหน่ายอาหารที่	หมายเลขตัวอย่าง	ลักษณะสัณฐานไมโครพลาสติก (ชิ้น)				
		ชิ้นส่วน	เส้นใย	แผ่นฟิล์ม	รวม	
	Blank	3	2	4	9	9
1	PH01-1	3	18	2	23	123
	PH01-2	3	31	12	46	
	PH01-3	4	36	14	54	
2	PH02-1	6	37	15	58	130
	PH02-2	2	21	4	27	
	PH02-3	6	19	20	45	
3	PH03-1	13	58	39	110	316
	PH03-2	10	40	24	74	
	PH03-3	5	23	13	41	
	PH03-4	10	48	33	91	
4	PH04-1	58	62	30	150	261
	PH04-2	20	35	23	78	

	PH04-3	4	18	11	33	
รวม (เฉพาะตัวอย่างน้ำแข็ง)		**141**	**446**	**240**	**830**	

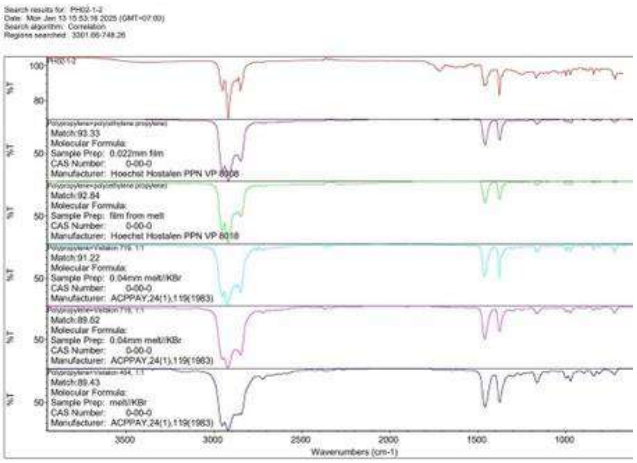
ตารางที่ 3 แสดงรายละเอียดลักษณะปริมาณและขนาดของไมโครพลาสติกในน้ำแข็งในร้านจำหน่ายอาหารภายในพื้นที่ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตพญาไท

ร้านจำหน่ายอาหารที่	**หมายเลขตัวอย่าง**	**ปริมาณไมโครพลาสติกที่พบ (ชิ้น)**		**S.D.**	**ขนาดไมโครพลาสติก (ไมโครเมตร)**
		รวม	**เฉลี่ย**		
	Blank	9	-	-	13–47
1	PH01-1	23	41	16	5–724
	PH01-2	46			
	PH01-3	54			
2	PH02-1	58	43	16	5–658
	PH02-2	27			
	PH02-3	45			
3	PH03-1	111	79	30	4–726
	PH03-2	74			
	PH03-3	41			
	PH03-4	91			
4	PH04-1	150	86	60	3–300
	PH04-2	76			
	PH04-3	31			

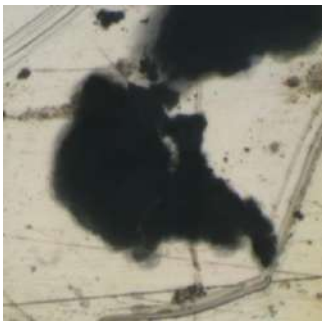
5.2 ผลวิเคราะห์เพื่อยืนยันการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำแข็งด้วยด้วย FTIR Microscope Spectrometer

ผลวิเคราะห์จากการคีบสุ่มตัวอย่างจำนวน 14 ชิ้น ไปวิเคราะห์ด้วย FTIR Microscope Spectrometer โหมดการสะท้อนกลับหมด (Attenuated Total Reflectance, ATR) โดยใช้แบบส่วนรองรับตัวอย่างเป็นผลึกเจอร์มาเนียม (Germanium Crystal) พบว่า สามารถระบุเป็นไมโครพลาสติกได้ 42.9% หรือ 6 ชิ้น โดยจำแนกเป็นได้เป็นพลาสติกประเภท polypropylene จำนวน 5 ชิ้น (83.3%) และ polyester จำนวน 1 ชิ้น (16.7%) (รูปที่ 3) ซึ่งพลาสติกประเภท polypropylene เป็นพลาสติกที่ใช้สำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์ทั่วไป เช่น ถุงพลาสติก ขวดน้ำ หรือกระสอบน้ำแข็งที่นิยมใช้ในปัจจุบัน และพลาสติกประเภท polyester เป็นพลาสติกที่ใช้สำหรับการผลิตสิ่งทอต่าง ๆ เช่น เสื้อผ้า ผ้าปูที่นอน เป็นต้น สาเหตุการปนเปื้อนพลาสติกชนิดดังกล่าวอาจมาจากการบรรจุน้ำแข็งในกระสอบน้ำแข็งที่ผ่านการใช้งานซ้ำเป็นระยะเวลายาวนานเสื่อมสภาพและผ่านการขนส่งจากโรงน้ำแข็งมายังร้านจำหน่ายอาหารภายในคณะสาธารณสุขศาสตร์ หรือจากน้ำเสียที่ผ่านการซักล้างปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำดิบ ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำแข็งในปัจจุบันยังไม่สามารถกำจัดไมโครพลาสติกออกจากผลิตภัณฑ์น้ำแข็งที่ใช้สำหรับบริโภคได้หมด จึงส่งผลให้ยังคงมีการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในน้ำแข็งสำหรับบริโภค

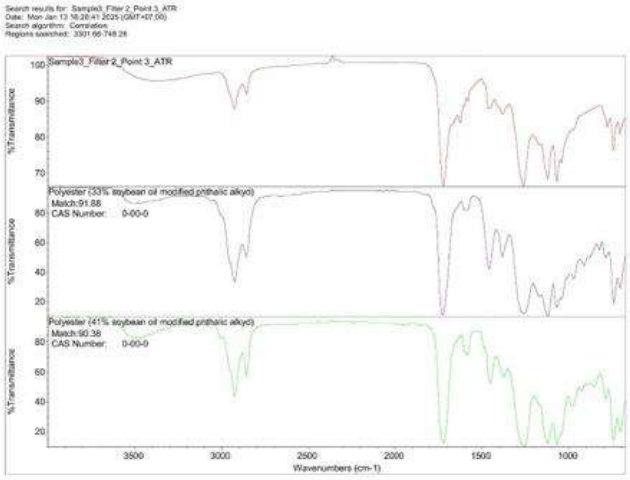
A)



B)



C)



D)

รูปที่ 3 แสดง A) ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างไมโครพลาสติก PH02-1 ผ่าน FTIR Microscope Spectrometer B) ผลการวิเคราะห์ spectra ของ PH02-1 ที่เทียบกับฐานข้อมูลของเครื่อง FTIR C) ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างไมโครพลาสติก PH03-2 ผ่าน FTIR Microscope Spectrometer D) ผลการวิเคราะห์ spectra ของ PH03-2 ที่เทียบกับฐานข้อมูลของเครื่อง FTIR

5.3 ผลการตรวจสุขาภิบาลอาหารในหัวข้อน้ำแข็งของร้านจำหน่ายอาหารปัจจัยที่ส่งผลต่อการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในน้ำแข็งของร้านจำหน่ายอาหาร

ผลการศึกษาพบว่า ร้านจำหน่ายอาหารที่มีการเก็บตัวอย่างน้ำแข็งมีการใช้น้ำแข็งแบบหลอดเล็ก ไม่มีการวางอาหารและสิ่งของประเภทอื่น ๆ ปะปนอยู่ในถังน้ำแข็งที่ใช้สำหรับบริโภค บางร้านถังที่ใช้สำหรับบรรจุน้ำแข็งไม่สูงตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อาจส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนไมโครพลาสติกจากการวางถุงกระสอบที่วางบนน้ำแข็งได้ และแม้ทุกร้านจำหน่ายอาหารมีการวางอุปกรณ์ตักน้ำแข็งลงบนน้ำแข็งโดยตรง แต่วัสดุไม่ได้ทำมาจากพลาสติก (ตารางที่ 4) จากการสำรวจขณะเก็บตัวอย่างพบว่าทุกร้านจำหน่ายอาหารมีการใช้น้ำแข็งที่ขนส่งมาในถุงกระสอบน้ำแข็งที่มีองค์ประกอบของพลาสติก และบางร้านมีการนำถุงกระสอบน้ำแข็งวางบน

น้ำแข็งพร้อมบริโภคโดยตรง ซึ่งอาจเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลต่อการปนเปื้อนในไมโครพลาสติก เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Shruti และคณะ พบการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในทุกตัวอย่างของผลิตภัณฑ์น้ำแข็งพร้อมบริโภคทั้งหมด 15 ยี่ห้อ ในประเทศเม็กซิโก คณะผู้วิจัยคาดว่าการปนเปื้อนอาจเนื่องมาจากตั้งแต่ขั้นตอนและกระบวนการผลิตน้ำแข็ง [11] และจากงานวิจัยของสุรวุฒิ สุดหา และดุษฎีพร หิรัญ พบว่ามีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในตัวอบ่างน้ำดิบ 224 ชิ้นต่อลิตร รวมถึงยังพบไมโครพลาสติกในผลิตภัณฑ์น้ำแข็งจากร้านจำหน่ายอาหารจากผู้ประกอบการน้ำแข็งในจังหวัดชัยภูมิเฉลี่ย 323 ชิ้นต่อลิตร โดยสาเหตุการปนเปื้อนไมโครพลาสติกดังกล่าวอาจมาจากแหล่งน้ำดิบในกระบวนการผลิตเป็นแหล่งน้ำชุมชนหมู่บ้านและพฤติกรรมการขนส่งผลิตภัณฑ์ ลักษณะการเก็บ และบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการเก็บ เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาครั้งนี้พบ การปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในน้ำแข็งมากกว่า [10]

ตารางที่ 4 แสดงผลการตรวจสุขาภิบาลอาหารในหัวข้อน้ำแข็งของร้านจำหน่ายอาหารปัจจัยที่ส่งผลต่อการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในน้ำแข็งของร้านจำหน่ายอาหาร

ข้อกำหนดสุขลักษณะ	ร้านจำหน่ายอาหารที่			
	PH01	PH02	PH03	PH04
1. น้ำแข็ง ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด เช่น เครื่องหมาย อย.	/	/	/	/
2. น้ำแข็งเก็บในภาชนะที่สะอาด ไม่มีคราบสกปรก มีฝาปิด	/	/	/	/
3. ภาชนะบรรจุน้ำแข็ง วางสูงจากพื้นอย่างน้อย 15 เซนติเมตร จากปากขอบภาชนะสูง จากพื้นอย่างน้อย 60 เซนติเมตร จากบริเวณที่วางภาชนะ	/		/	/
4. ไม่มีน้ำขังเฉอะแฉะ หรือวางใกล้ถังขยะ	/	/	/	/
5. ใช้อุปกรณ์ที่สะอาด มีด้ามสำหรับคีบหรือตักน้ำแข็งโดยเฉพาะ	/	/	/	/
6. ไม่นำอาหารหรือสิ่งของ ไปแช่รวมในถังน้ำแข็งสำหรับบริโภค	/		/	/
7. วางอุปกรณ์สำหรับตักน้ำแข็งเหมาะสม เช่น วางปลายด้ามไม่สัมผัสน้ำแข็ง				

หมายเหตุ : สัญลักษณ์ / หมายถึง ผลการตรวจผ่านเกณฑ์

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาและวิเคราะห์จำนวนไมโครพลาสติกของร้านจำหน่ายอาหาร คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตพญาไท จำนวน 4 ร้าน โดยใช้น้ำแข็งตัวอย่างปริมาตรประมาณ 500 มิลลิลิตร พบการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในน้ำแข็งทุกร้าน สามารถจำแนกตามลักษณะสัณฐาน ได้ 3 ลักษณะ คือ ชิ้นส่วน (Fragment) เส้นใย (Fiber) แผ่นฟิล์ม (Film) โดยพบชนิดเส้นใยมากที่สุด จำนวน 446 ชิ้น มีขนาดอยู่ระหว่าง 3–726 ไมโครเมตร เมื่อนำผลการตรวจสุขาภิบาลอาหารในหัวข้อน้ำแข็งพบว่าทุกร้านจำหน่ายอาหารมีการใช้ที่ตักน้ำแข็งวางลงในถังน้ำแข็ง แต่วัสดุที่ใช้ไม่มีองค์ประกอบของพลาสติก จึงสามารถสรุปได้ว่าการปนเปื้อนในการศึกษาครั้งนี้อาจมาจากการขนส่งน้ำแข็งที่บรรจุในกระสอบน้ำแข็งที่มีองค์ประกอบของพลาสติกและการนำถุงกระสอบน้ำแข็งวางบนน้ำแข็งที่ใช้สำหรับบริโภคโดยตรง เมื่อสุ่มตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วย FTIR Microscope Spectrometer 14 ชิ้น สามารถระบุเป็นไมโครพลาสติกได้ 42.9% สามารถระบุชนิดของไมโครพลาสติกที่พบได้เป็นพลาสติกชนิด polypropylene (PP) และ polyester การศึกษาครั้งนี้ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานแสดงการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในพื้นที่วิทยาเขตพญาไท สำหรับ

ประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสไมโครพลาสติกและประเมินแหล่งที่มาของไมโครพลาสติก รวมถึงสร้างความตระหนักให้แก่ผู้ประกอบการในการลดการปนเปื้อนไมโครพลาสติกจากกระบวนการผลิตและแก่ผู้จำหน่ายน้ำแข็งในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์

เอกสารอ้างอิง

[1] United Nations. (25 August 2023). *Fast Facts – What is Plastic Pollution?*. https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2023/08/explainer-what-is-plastic-pollution/

[2] ลัฐกา เนตรทัศน์. (19 ธันวาคม 2562). *สถานการณ์ขยะพลาสติกทะเลในอาเซียน*. Law for ASEAN. https://lawforasean.ocs.go.th/Content/View?Id=716&Type=1

[3] กรมควบคุมมลพิษ. (27 มกราคม 2566). *แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก ระยะที่ 2 (พ.ศ.2566 – 2570)*. https://www.pcd.go.th/publication/28484/

[4] สุทธิรัตน์ กิตติพงษ์วิเศษ, อาทิตย์ เพ็ชรรักษ์, เจนยุกต์ โล่ห์วัชรินทร์, จงรักษ์ ผลประเสริฐ. (2562). *มลสารไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำเสียดิบและระบบบำบัดน้ำเสีย*. วารสารสิ่งแวดล้อมไทย, 23(1), 4.

[5] กรรณิกา หวังฤทธิไกรกุล, ศุภกร เทพวิไล, สกลวรรณ ชาวไชย, ราฟาเอล บิสเซ่น. (2564). *ไมโครพลาสติกบนตะกอนชายหาดของประเทศไทย*. วารสารสิ่งแวดล้อมไทย, 25.

[6] กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. (10 มกราคม 2563). *จากปลาสู่คน : ไมโครพลาสติก ตอนที่ 4*. https://www.dmcr.go.th/detailAll/38013/nws/191

[7] มูลนิธิสืบนาคะเสถียร. (8 มกราคม 2567). *'ดินพลาสติก' เมื่อการเกษตรกรรมปนเปื้อนไปด้วย 'ไมโครพลาสติก'*. https://www.seub.or.th/bloging/news/2024-4/

[8] World Wildlife Fund. (13 June 2019). *No plastic in nature: Assessing plastic ingestion from nature to people.* https://awsassets.panda.org/downloads/plastic_ingestion_press_singles.pdf

[9] IQAir. (1 มกราคม 2563). *ไมโครพลาสติกเข้ามาในอากาศได้อย่างไร?*. https://www.iqair.com/th/newsroom/microplastics-effects-on-air-pollution

[10] สุรวุฒิ สุดหา, ดุษฎีพร หิรัญ. (2565). *การพัฒนาวิธีการหาและลดปริมาณไมโครพลาสติกปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์น้ำแข็งที่ผลิตจากแหล่งน้ำดิบเชิงพื้นที่ อำเภอเมืองชัยภูมิ.* วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 29(2), 59-73.

[11] Shruti V.C., Kutralam-Muniasamy G., Pérez-Guevara F., Roy P.D., Elizalde-Martínez I. (2023). *First evidence of microplastic contamination in ready-to-use packaged food ice cubes*. Environmental Pollution, 318,120905.

[12] Nandi, S., Kumar, R. N., Dhandapani, A., & Iqbal, J. (2024). *Characterization of microplastics in outdoor and indoor air in Ranchi, Jharkhand, India: first insights from the region*. Environmental Pollution, 346, 123543.

[13] กลุ่มควบคุมเครื่องสำอาง. (2562). *ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง กำหนดลักษณะของเครื่องสำอางที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือขาย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2562.* https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2562/E/312/T_0004.PDF

โฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนในอากาศด้วยสาหร่ายคลอเลร่า

กนกกานต์ มีแก้ว และนพรัตน์ วันแก้ว*

โรงเรียนหัวหิน ตำบลหัวหิน อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
* Corresponding author: kanokkanmeekeaw123@gmail.com

บทคัดย่อ

เนื่องจากสภาวะโลกร้อนส่งผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตและสภาพอากาศของโลก โดยเฉพาะปรากฏการณ์เรือนกระจกที่มีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์ จากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องทำให้ผู้วิจัยออกแบบและพัฒนาระบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนในอากาศด้วยสาหร่ายคลอเรลลา โดยระบบประกอบด้วยสี่ส่วน ดังนี้ (1) โครงสร้างโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติที่ออกแบบด้วยโปรแกรมออกแบบ (CAD) สร้างด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (3D Printer) (2) ชุดควบคุมอัตโนมัติ (Automation Control Set) ที่ประกอบด้วยบอร์ดควบคุมและเซนเซอร์ (3) ชุดติดตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วยกล้องตรวจจับ (Algae Growth Monitoring Set) และ (4) ระบบเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านแพลตฟอร์ม (IoT) ผลการทดสอบพบว่าโครงสร้างสามารถรองรับน้ำหนักและนำไปติดตั้งได้ถูกต้องคิดเป็นค่าเฉลี่ย 80.00% ชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์สามารถเชื่อมต่อและทำงานได้ถูกต้องคิดเป็นค่าเฉลี่ย 80.00% ชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตสามารถตรวจจับภาพของสาหร่ายคลอเรล่าได้ถูกต้องคิดเป็นค่าเฉลี่ย 90.00% และประสิทธิภาพการดักก๊าซ CO_2 ในอากาศระบบสามารถลดความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 จากค่าเฉลี่ย 587.53 ppm เหลือ 503.03 ppm ในระยะเวลาการทดสอบ 5 วัน คิดเป็นประสิทธิภาพการดักจับเฉลี่ย 14.06% โดยมีอัตราการดักจับสูงสุดเฉลี่ย 19.25% และต่ำสุดเฉลี่ย 8.29%

ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อนำไปใช้แก้ปัญหาสภาวะโลกร้อนจากการดักจับก๊าซ CO_2 โดยใช้สาหร่ายคลอเรล่าที่ดูแลควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ จุดประสงค์เพื่อให้ระบบสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ สามารถนำไปใช้ดูแลสาหร่ายประเภทอื่นๆ และวิเคราะห์การดักจับก๊าซ CO_2 ในสิ่งแวดล้อมได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: โฟโตรีแอคเตอร์ / การดักจับคาร์บอน / สาหร่ายคลอเรล่า / อัตโนมัติ / กล้องตรวจจับ

Automated Photobioreactor for Atmospheric Carbon Sequestration Using Chlorella Algae

Kanokkan Meekeaw, and Nopparat Wankaew*

Hua Hin School, Prachuap Khiri Khan, Thailand
* Corresponding author: kanokkanmeekeaw123@gmail.com

Abstract

Due to the direct impact of global warming on living organisms and the Earth's climate, particularly the greenhouse effect primarily caused by carbon dioxide, the researchers designed and developed an automated photobioreactor for atmospheric carbon sequestration using Chlorella algae. The system consists of four components: (1) a photobioreactor structure designed with CAD software and fabricated using a 3D printer, (2) an automation control set comprising control boards and sensors, (3) an algae growth monitoring set with detection cameras, and (4) a real-time data collection system via IoT platform. Testing results showed that the structure could support weight and be installed correctly with an average efficiency of 80.00%. The photobioreactor control set connected and functioned properly with an average efficiency of 80.00%. The growth monitoring camera system detected Chlorella algae correctly with an average efficiency of 90.00%. For CO_2 sequestration performance, the system reduced atmospheric CO_2 concentration from an average of 587.53 ppm to 503.03 ppm during the 5-day testing period, representing an average sequestration efficiency of 14.06%, with maximum and minimum average sequestration rates of 19.25% and 8.29%, respectively.

This developed system applies technology to address global warming through CO_2 sequestration using Chlorella algae maintained by an automated system. The purpose is to enable the system's application to larger structures, adaptation for other algae species, and accurate, efficient analysis of CO_2 sequestration in the environment.

Keywords: Photobioreactor / Carbon Sequestration / Chlorella Algae / Automation / Detection Camera

1. บทนำ

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) เป็นวิกฤตการณ์ระดับโลกที่ส่งผลกระทบรุนแรงต่อระบบนิเวศและการดำรงชีวิตของมนุษย์ สาเหตุหลักมาจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ จากรายงานของ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) พบว่าความเข้มข้นของ CO_2 ในชั้นบรรยากาศได้เพิ่มขึ้นจาก 280 ppm ในยุคก่อนอุตสาหกรรมเป็นมากกว่า 410 ppm ในปัจจุบัน [1] ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การพัฒนาเทคโนโลยีการดักจับและกักเก็บคาร์บอน (Carbon Capture and Storage, CCS) จึงเป็นหนึ่งในแนวทางสำคัญในการบรรเทาปัญหาดังกล่าว โดยเฉพาะการใช้วิธีทางชีวภาพ (Biological Carbon Capture) ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การใช้จุลสาหร่าย (Microalgae) ในการดักจับ CO_2 ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากจุลสาหร่ายมีประสิทธิภาพในการตรึงคาร์บอนสูงกว่าพืชบกถึง 10-50 เท่า [2]

สาหร่ายคลอเรลลา (Chlorella sp.) เป็นจุลสาหร่ายสีเขียวที่มีศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้สำหรับการดักจับ CO_2 ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ โดยมีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว สามารถเพิ่มจำนวนเซลล์ได้เป็น 2 เท่าภายใน 24 ชั่วโมง มีความสามารถในการทนต่อความเข้มข้นของ CO_2 สูงถึง 15-20% [3] มีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงสูง สามารถเปลี่ยน CO_2 เป็นชีวมวลได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถเพาะเลี้ยงได้ในน้ำจืด น้ำเค็ม หรือน้ำกร่อย และชีวมวลที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการสูง สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย การเพาะเลี้ยงจุลสาหร่ายในระบบปิดแบบโฟโตรีแอคเตอร์ (Photobioreactor) ที่มีประสิทธิภาพสูงยังคงมีความท้าทายหลายประการ ทั้งในด้านการควบคุมปัจจัยแวดล้อมให้เหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นแสง อุณหภูมิ pH และปริมาณ CO_2 การออกแบบระบบให้มีการกระจายแสงและการผสมที่มีประสิทธิภาพ การลดต้นทุนการผลิตและการใช้พลังงาน การป้องกันการปนเปื้อน รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการดักจับ CO_2 [4] จากเหตุผลข้างต้นทำให้ผู้พัฒนาต้องการออกแบบและพัฒนาระบบโฟโตรีแอคเตอร์ที่ใช้การควบคุมอัตโนมัติที่มีชุดควบคุมร่วมกับระบบเซนเซอร์เพื่อตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ที่สำคัญ ทั้งค่า PH, อุณหภูมิ, ความเข้มแสงและความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ส่งเป็นสัญญาณผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อสร้าง Real-time monitoring system ที่ใช้ในการดูแลระบบโฟโตรีแอคเตอร์และการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลลา เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการดักจับคาร์บอนที่มีประสิทธิภาพ ลดต้นทุน นอกจากนี้ ยังสามารถต่อยอดองค์ความรู้ในการพัฒนาระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และการประยุกต์ใช้ในด้านอื่นๆ เช่น การผลิตชีวมวล การบำบัดน้ำเสีย และการผลิตผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงจากจุลสาหร่าย ซึ่งจะเป็นส่วนสำคัญในการช่วยลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาและพัฒนาโครงสร้างโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับดักจับคาร์บอนในอากาศด้วยสาหร่ายคลอเลร่า
2. ศึกษาและพัฒนาชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์สำหรับดักจับคาร์บอนในอากาศด้วยสาหร่ายคลอเลร่า
3. พัฒนาต้นแบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับดักจับคาร์บอนในอากาศด้วยสาหร่ายคลอเลร่า

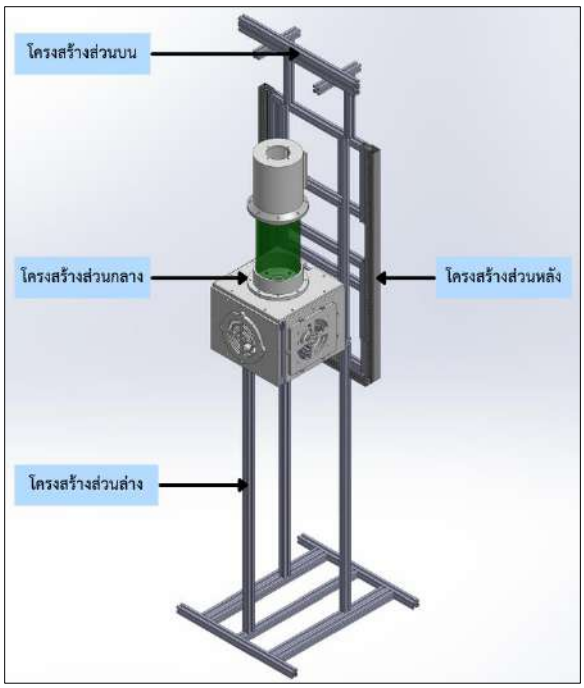
3. วิธีดำเนินการ

การออกแบบและพัฒนาระบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเลร่าแบ่งการออกแบบและพัฒนาเป็น 4 ส่วน ส่วนที่หนึ่งการออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบโฟโตรีแอคเตอร์ ส่วนที่สองการออกแบบชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์ ส่วนที่สามการออกแบบและพัฒนาต้นแบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอน ส่วนที่สี่การทำงานและโปรแกรมควบคุม

3.1 การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบโฟโตรีแอคเตอร์

การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบของโฟโตรีแอคเตอร์ออกแบบโดยใช้โปรแกรมการออกแบบทางคอมพิวเตอร์ (CAD) ช่วยในการออกแบบ โดยออกแบบโครงสร้างเป็น 4 ส่วน โครงสร้างส่วนที่หนึ่งเป็นโครงสร้างด้านบน ประกอบด้วยโมดูลแอลอีดี (LED Module) และแผงโซลาเซลล์ (Solar Cell) ด้านล่างของโครงสร้างเป็นรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

160 mm สูง 400 mm มีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor), เซนเซอร์วัดความชื้น (Humidity Sensor), เซนเซอร์วัดค่า pH (pH Sensor), เซนเซอร์วัดแสง (LDR Sensor), เซนเซอร์วัดความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 (CO_2 Senser Module) และพัดลมสำหรับระบายอากาศ (DC Fan 12V) โครงสร้างส่วนที่สองเป็นโครงสร้างส่วนกลาง เป็นโครงสร้างที่บรรจุสาหร่ายคลอเลร่า เป็นทรงกระบอกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 mm สูง 150 mm มีขนาดบรรจุ 2,000 mL มีชิ้นส่วนรองรับด้านบนและด้านล่าง โครงสร้างส่วนที่สามเป็นโครงสร้างส่วนล่าง เป็นโครงสร้างที่เป็นฐานรองรับโครงสร้างส่วนบนและส่วนกลางเป็นโครงสร้างที่ประกอบขึ้นจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาด 20x20 mm เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด 250 x 250 x 180 mm ภายในโครงสร้างส่วนล่างติดตั้งปั๊มอากาศ (Air Pump) สำหรับจ่ายอากาศให้กับสาหร่ายคลอเลร่าและติดตั้งเซนเซอร์วัดความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ด้านล่างเป็นขารองรับสูง 600 mm โครงสร้างส่วนที่สี่เป็นโครงสร้างด้านหลังเป็นโครงสร้างที่ประกอบจากอลูมิเนียมโปรไฟล์มีความกว้าง 250 mm และสูง 700 mm เป็นโครงสร้างที่รองรับชิ้นส่วนในการติดตั้งชุดควบคุมอัตโนมัติ (Automation Control Set), ชุดควบคุมกล้อง (Camera Control set), ชุดปั๊มจ่ายของเหลว (Peristaltic Pump), ชุดแหล่งจ่ายพลังงาน (Power Module) การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบของโฟโตรีแอคเตอร์แสดงดังรูปที่ 1

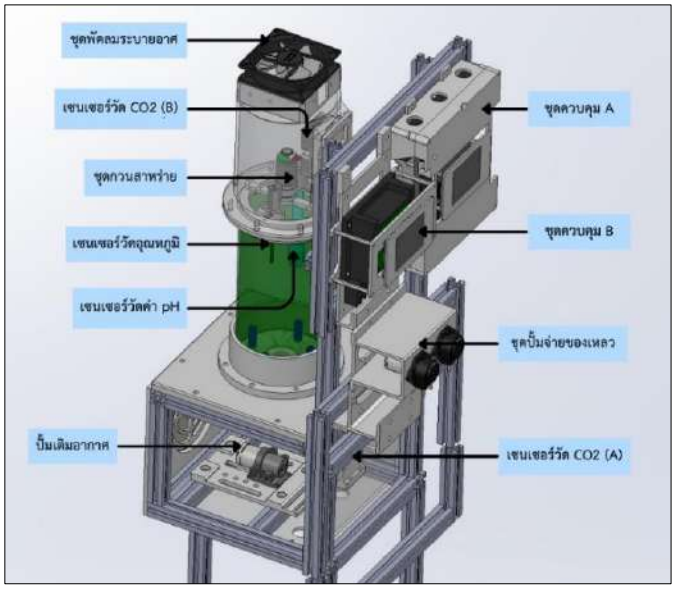


รูปที่ 1 แสดงการออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบโฟโตรีแอคเตอร์

3.2 การออกแบบชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์

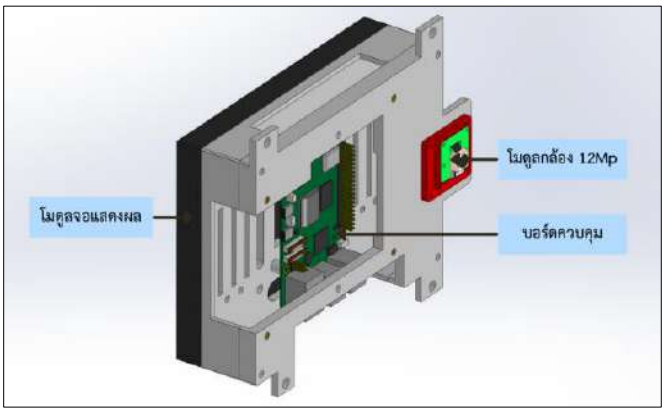
การออกแบบชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์ ประกอบด้วยชุดควบคุม 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการออกแบบชุดควบคุมของโฟโตรีแอคเตอร์ ส่วนที่สองเป็นการออกแบบชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเลร่า การออกแบบชุดควบคุมของโฟโตรีแอคเตอร์มีบอร์ดควบคุมสองชุด ชุดที่หนึ่งเรียกว่าชุด A เป็นตัวควบคุมหลักของโฟโตรีแอคเตอร์ ส่วนอินพุท (Input) เป็นกลุ่มเซนเซอร์ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ, เซนเซอร์วัดความชื้น, เซนเซอร์วัดความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 (A) และเซนเซอร์วัดค่า pH ส่วนเอาร์พุท (Output) ประกอบด้วยปั๊มอากาศ, พัดลมระบายอากาศ และโมดูลจอ (LCD Module) ชุดที่สองเรียกว่าชุด B เป็นชุดควบคุมรองของโฟโตรีแอคเตอร์ ส่วนอินพุทประกอบด้วยเซนเซอร์วัดความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 (B), เซนเซอร์

วัดแสง ส่วนเอาร์พุท ประกอบด้วยโมดูลแอลอีดี, ชุดปั๊มจ่ายของเหลว, โมดูลโซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) และโมดูลจอ โดยมีชุดแหล่งจ่ายพลังงานขนาด 12V 320w การออกแบบชุดควบคุมของโฟโตรีแอคเตอร์แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการออกแบบชุดควบคุมของโฟโตรีแอคเตอร์

การออกแบบชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเลร่าเป็นการตรวจสอบการเปลี่ยนสีของสาหร่ายเพื่อประเมินความหนาแน่นของเซลล์ ประกอบด้วยบอร์ดควบคุมกล้อง (Camera Control Module), โมดูลกล้อง (Camera Module) และโมดูลจอ การออกแบบชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการออกแบบชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเลร่า

3.3 การออกแบบและพัฒนาโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเลร่า

การออกแบบและพัฒนาโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเลร่ามีส่วนประกอบ 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการออกแบบระบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเลร่า ส่วนที่สองเป็นการ

พัฒนาต้นแบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเลร่า จากการออกแบบโครงสร้างส่วนประกอบของโฟโตรีแอคเตอร์และชุดควบคุมอัตโนมัติ ทำให้สามารถวางแผนการประกอบและติดตั้งชิ้นส่วนโครงสร้างและชุดควบคุมร่วมกับอุปกรณ์ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด ทำให้ได้การออกแบบโครงสร้างและชิ้นส่วนทั้งหมดของระบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเลร่าแสดงดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 แสดงการออกแบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเลร่า

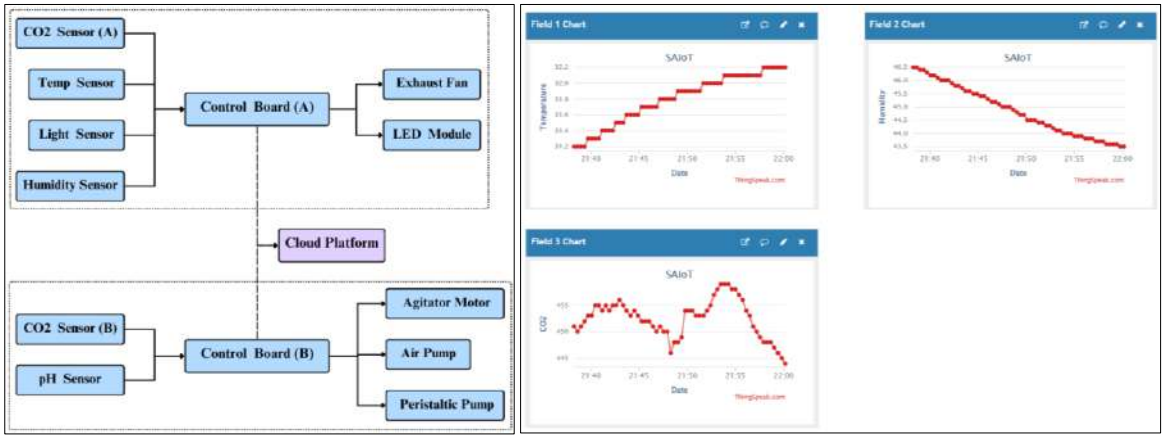
การพัฒนาต้นแบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเลร่าเป็นการนำการออกแบบที่ได้มาสร้างชิ้นส่วนด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยการตั้งค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรมเครื่องพิมพ์ จากนั้นนำชิ้นส่วนและโครงสร้างที่สร้างจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติมาประกอบเข้าด้วยกันตามแบบที่กำหนด โดยติดตั้งด้วยสกรูขนาด M5 และ M3 มาประกอบเข้ากับชิ้นส่วนโครงสร้างของอลูมิเนียมโปรไฟล์ขนาด 20x20 mm ที่ยึดด้วยตัวยึด (Bracket) ขนาด 20 mm นำชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์และชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเลร่าติดตั้งตามแบบที่กำหนด การพัฒนาต้นแบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเลร่าแสดงดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 แสดงต้นแบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเลร่า

3.4 การทำงานและโปรแกรมควบคุม

การทำงานและโปรแกรมควบคุมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการทำงานและโปรแกรมควบคุมของชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์ ส่วนที่สองเป็นการทำงานและโปรแกรมควบคุมชุดควบคุมกล้อง ส่วนชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์มีหน้าที่การควบคุมการเลี้ยงสาหร่ายคลอเลร่าเพื่อใช้กักเก็บก๊าซ CO_2 การทำงานของชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์เป็นการรับค่าเซนเซอร์ในชุดควบคุม (A) และชุดควบคุม (B) เพื่อส่งค่าไปให้บอร์ดควบคุมประมวลผลและส่งสัญญาณการควบคุมเป็นคำสั่งให้อุปกรณ์ส่วนเอาร์พุททำงาน จากนั้นทำการส่งค่าที่ได้รับจากเซนเซอร์ไปเก็บที่คลาวด์ (Cloud) ของเวปไซต์ธิงสปีค (ThingSpeak) ดังรูปที่ 6

จากรูปที่ 6 (ก) เป็นแผนผังการทำงานของชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์โดยอธิบายการเชื่อมต่อของชุดควบคุม (A) และชุดควบคุม (B) ในส่วนชุดควบคุม (A) เป็นการรับค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 (A) จากอากาศที่เป็นส่วนออกจากโฟโตรีแอคเตอร์, อุณหภูมิกับความชื้นของสาหร่ายคลอเรล่าและความเข้มแสงของสิ่งแวดล้อมที่ส่งมาจากเซนเซอร์เพื่อควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศและโมดูลไฟแอลอีดี ส่วนชุดควบคุม (B) เป็นการรับค่าความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 (B) จากอากาศที่เป็นส่วนเข้าไปในโฟโตรีแอคเตอร์และค่ากรด-เบสของสาหร่ายคลอเรล่าที่ส่งมาจากเซนเซอร์เพื่อนำไปควบคุมการทำงานของชุดปั้มจ่ายของเหลว, ตัวกวนสาหร่ายและปั้มเติมอากาศ จากรูปที่ 6 (ข) เป็นโปรแกรมแสดงค่าเซนเซอร์บนธิงสปีคที่ถูกส่งมาจากชุดควบคุม (A) และชุดควบคุม (B) โดยแสดงผลเป็นกราฟเส้นในช่วงเวลาที่โฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติทำงาน



(ก) (ข)

รูปที่ 6 แสดง (ก) แผนผังการทำงานชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์และ (ข) โปรแกรมแสดงค่าเซนเซอร์บนธิงสปีค

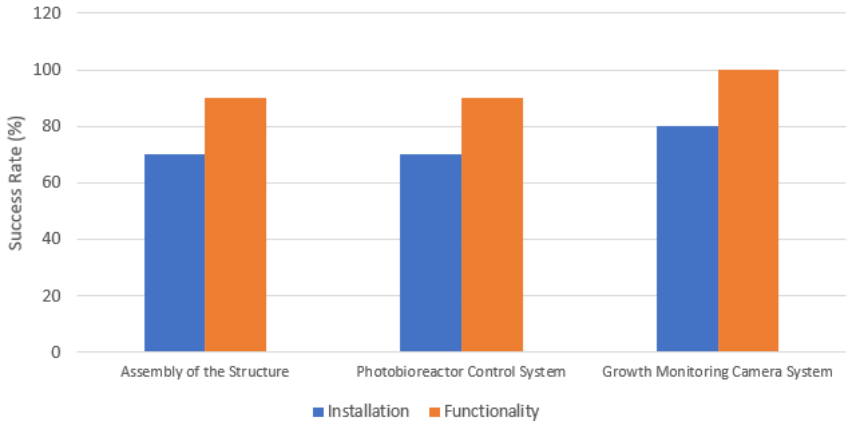
ส่วนชุดควบคุมกล้องมีหน้าที่ติดตามการเจริญเติบโตเพื่อดูความหนาแน่นและความผิดปกติของสาหร่ายคลอเลร่าที่จะส่งผลต่อการกักเก็บก๊าซ CO_2 การทำงานเป็นการตรวจสอบความหน่าแน่นของสาหร่ายที่สังเกตจากสีของสาหร่ายโดยใช้โมดูลกล้องและโปรแกรมควบคุมกล้องสร้างจากภาษาไพทอน โดยใช้การเปรียบเทียบสีของภาพสาหร่ายคลอเลร่าที่ถ่ายจากโมดูลกล้องกับภาพอ้างอิง โดยมีคำสั่งให้ถ่ายภาพเพื่อเก็บเป็นช่วงเวลา 2 ช่วงเวลา ได้แก่ เวลา 5.30 น. และ 19.30 น. ดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 แสดงโปรแกรมควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเลร่า

4. ผลการทดสอบ

จากการทดสอบการทำงานของระบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเลร่าจะแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นผลการทดสอบการประกอบโครงสร้างร่วมกับการติดตั้งชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์และชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโต ส่วนที่สองเป็นผลการทดสอบความสามารถในการดักจับก๊าซ CO_2 จากสาหร่ายคลอเลร่าด้วยชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก

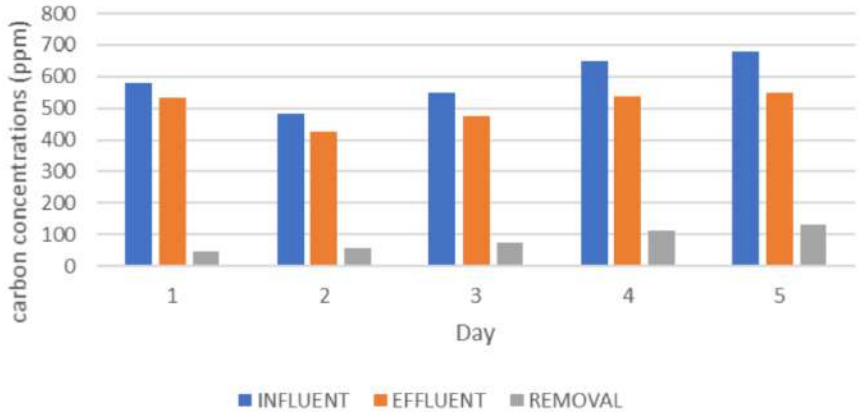
ในการทดสอบส่วนที่หนึ่ง การทดสอบการประกอบโครงสร้างร่วมกับการติดตั้งชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์และชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโต เป็นการทดสอบการประกอบและติดตั้งโครงสร้างได้ถูกต้องตามจุดประสงค์การออกแบบและทดสอบการติดตั้งชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์ร่วมกับชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตเพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อ การทำงานของอุปกรณ์ให้ถูกต้องตามจุดประสงค์ ผลการทดสอบส่วนที่หนึ่งแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การทดสอบการประกอบติดตั้งโครงสร้างของและการทำงานโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติ

จากผลการทดสอบ พบว่าโครงสร้างสามารถติดตั้งประกอบและรองรับน้ำหนักหรือทำงานได้ถูกต้องคิดเป็นค่าเฉลี่ย 80.00% ชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์สามารถติดตั้งประกอบและทำงานได้คิดเป็นค่าเฉลี่ย 80.00% และชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตมีเปอร์เซ็นความสำเร็จในการติดตั้งและเชื่อมต่อเฉลี่ยอยู่ที่ 90.00%

ในส่วนที่สองเป็นการทดสอบการดักจับก๊าซ CO_2 ด้วยชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์ เป็นการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพในการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์ โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ที่เข้าสู่ระบบและก๊าซ CO_2 ที่ออกจากระบบ โดยเก็บผลการทดสอบทั้งหมด 5 วัน ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงการทดสอบการดักจับก๊าซ CO_2 จากสาหร่ายคลอเรล่าที่ควบคุมด้วยโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติ

จากผลการทดสอบพบว่าความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ที่เข้าสู่ระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 587.53 ppm และความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ที่ออกจากระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 503.03 ppm ระบบสามารถดักจับก๊าซ CO_2 ได้ทั้งหมด 84.50 ppm คิดเป็น 14.06 % ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์ที่เข้าสู่โฟโตรีแอคเตอร์

5. สรุปผลการทดสอบ

การออกแบบและพัฒนาโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเลร่า ในการทดสอบส่วนที่หนึ่งเป็นการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติและอลูมิเนียมโปรไฟล์ พบปัญหาในการออกแบบส่วนการติดตั้ง

และประกอบในส่วนของการยึดถังใส่สาหร่ายที่ต้องบรรจุสาหร่ายคลอเลร่าในถังและการเจาะรูเพื่อใส่สายยางและท่อสำหรับนำสาหร่ายคลอเรล่าออกจากถัง ส่วนในการติดตั้งและเชื่อมต่อชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติพบปัญหาในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องเพราะต้องใช้สายสัญญาณเชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุมที่มีตำแหน่งอุปกรณ์แตกต่างกันทำให้ต้องใช้รางเก็บสายช่วยเก็บสายสัญญาณให้เชื่อมต่อได้สะดวกและง่ายต่อการตรวจสอบ ดังนั้นในการทดสอบการประกอบติดตั้งโครงสร้างร่วมกับชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์และชุดควบคุมกล้องติดตามการเจริญเติบโตสามารถติดตั้งและประกอบได้ถูกต้องคิดเป็นค่าเฉลี่ย 73.33% และการทำงานของโครงสร้างกับชุดควบคุมโฟโตรีแอคเตอร์และชุดควบคุมกล้องสามารถทำงานได้ถูกต้องคิดเป็นค่าเฉลี่ย 93.33 % ในการทดสอบส่วนที่สองพบว่าระบบโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติที่ใช้สาหร่ายคลอเรล่าสามารถทำงานได้ถูกต้องตามเงื่อนไขที่กำหนด ทำให้มีการดักจับก๊าซ CO_2 เฉลี่ยทั้งหมด 14.06 % คิดเป็น 84.50 ppm โดยมีการดักจับสูงสุดคิดเป็นค่าเฉลี่ย 19.25 % และมีการดักจับต่ำสุดคิดเป็นค่าเฉลี่ย 8.29 % โดยปัญหาที่พบในการทดสอบเป็นปริมาณน้ำที่ใช้ในการเลี้ยงสาหร่ายคลอเลร่ามีการลดลงบางส่วนและการรั่วซึมของภาชนะที่บรรจุ ในการทดสอบได้ทำการแก้ไขด้วยการใช้ซิลิโคนอุดการรั่วซึมร่วมทั้งปัญหาของการตั้งเงื่อนไขการทำงานบางส่วนที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมที่ทดสอบ

ในการออกแบบและพัฒนาโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเลร่า ผู้พัฒนาพบว่าผลการทดสอบแต่ละส่วนมีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันและสามารถนำไปใช้ในการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซต์และสามารถเก็บเกี่ยวสาหร่ายคลอเลร่าไปใช้ประโยชน์ต่อตามวัตถุประสงค์การใช้งานของสาหร่าย ในส่วนการพัฒนาเพิ่มเติมเป็นการนำปัญหาที่พบไปปรับปรุงแก้ไขและต้องการนำไปใช้จริงโดยเพิ่มขนาดภาชนะบรรจุให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและออกแบบการเก็บผลผลิตจากสาหร่ายให้เป็นระบบอัตโนมัติเพื่อเพิ่มมูลค่าของระบบและนำ AI ช่วยในการวิเคราะห์ควบคุมผลลัพธ์ให้ได้แนวทางที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาโฟโตรีแอคเตอร์อัตโนมัติสำหรับการดักจับคาร์บอนด้วยสาหร่ายคลอเลร่า

เอกสารอ้างอิง

[1] Carvalho, A. P., Silva, S. O., Baptista, J. M., & Malcata, F. X. (2011). Light requirements in microalgal photobioreactors: An overview of biophotonic aspects. Applied Microbiology and Biotechnology, 89(5), 1275-1288. https://doi.org/10.1007/s00253-010-3047-8

[2] Klinthong, W., Yang, Y.-H., Huang, C.-H., & Tan, C.-S. (2015). A review: Microalgae and their applications in CO_2 capture and renewable energy. Aerosol and Air Quality Research, 15(2), 712-742. https://doi.org/10.4209/aaqr.2014.11.0299

[3] Acut, D. P., Alarde, H. P. S., Bartolabac, K. J. C., Cane, J. F. A., & Magsayo, J. R. (2022). Development of an Arduino-based photobioreactor to investigate algae growth rate and CO_2 removal efficiency. IAES International Journal of Robotics and Automation, 11(2), 141-160. https://doi.org/10.11591/ijra.v11i1.pp141-160

[4] Chang, J.-S., Show, P.-L., Ling, T.-C., Chen, C.-Y., Ho, S.-H., & Tan, C.-H. (2017). Photobioreactors. In Current Developments in Biotechnology and Bioengineering (pp. 313-352). Elsevier

การย่อยสลายพลาสติกชีวภาพภายใต้สภาวะการหมักขยะอินทรีย์และสภาวะจริงในบ่อฝังกลบขยะ

ทิพย์อาภรณ์ บุบผาชาติ, พีระพงศ์ โภคพัทน์, สิริกร ศาสตระรุจิ, ณัฏฐาพัชร์ สังขนันท์, บรรพต เจี้ยงเจริญ, เบญจวรรณ ทองชื่นตระกูล, ธนาวดี ลี้จากภัย, และ ชมณัฏฐ์ชา บุญมี*

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
** Corresponding author: chomnutcha.boo@mtec.or.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปัญหาขยะพลาสติกทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีพลาสติกจำนวนมากที่ไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสม ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ พลาสติกชีวภาพจึงได้รับความสนใจในฐานะวัสดุทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพ 3 ชนิด ได้แก่ พอลิแลกติกแอซิด (PLA), พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) และพอลิบิวทิลีนอะดิเพต-โค-เทเรฟทาเลต (PBAT) ภายใต้สภาวะการหมักขยะอินทรีย์แบบใช้อากาศที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลา 84 วัน และในสภาวะจริงของบ่อฝังกลบขยะเป็นระยะเวลา 365 วัน ผลการศึกษาพบว่า พลาสติกชีวภาพทั้งสามชนิดสามารถย่อยสลายได้สมบูรณ์ในระบบหมักแบบใช้อากาศ โดย PLA ย่อยสลายได้ภายใน 14 วัน ขณะที่ PBS และ PBAT ใช้เวลา 84 วัน ในทางตรงกันข้าม ภายใต้สภาวะบ่อฝังกลบขยะพบว่าเฉพาะ PLA เท่านั้นที่สามารถย่อยสลายได้สมบูรณ์ภายใน 365 วัน ขณะที่ PBS และ PBAT ย่อยสลายได้เพียงร้อยละ 11 จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของพลาสติกชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิว ได้แก่ ความขรุขระ รอยแตก และการเกาะติดของจุลินทรีย์ ซึ่งบ่งชี้ถึงกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพที่เกิดขึ้น

ข้อมูลจากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนและพัฒนาการจัดการขยะพลาสติกชีวภาพอย่างยั่งยืนในประเทศไทย

คำสำคัญ: พลาสติกชีวภาพ / ขยะอินทรีย์ / การย่อยสลาย / บ่อฝังกลบขยะ / จุลินทรีย์

Biodegradation of Biodegradable Plastics under Organic Waste Composting and Landfill Conditions

Tiparporn Bubpachat, Peeraphong Pokphat, Sirikorn Sastraruji, Natthaphat Sangkanan, Banphot Jiangchareon, Benjawan Thongchuentrakool, Thanawadee Leejarkpai, and Chomnutcha Boonmee*

[1]National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani
**Corresponding author: Chomnutcha.boo@mtec.or.th*

Abstract

The global accumulation of plastic waste continues to rise annually, with a substantial proportion being improperly disposed of, resulting in severe environmental degradation and negative impacts on public health. Biodegradable plastics have emerged as a promising alternative to conventional plastics, offering a sustainable solution for mitigating plastic pollution. This study aims to evaluate the biodegradation behavior of three types of bioplastics—polylactic acid (PLA), polybutylene succinate (PBS), and polybutylene adipate-co-terephthalate (PBAT)—under two distinct conditions: (1) simulated industrial-scale aerobic composting at elevated temperature over 84 days, and (2) real landfill conditions over a 365-day period. The results revealed that all three bioplastics underwent complete degradation under composting conditions. PLA fully degraded within 14 days, while PBS and PBAT achieved complete biodegradation within 84 days. In contrast, the landfill environment significantly slowed down the degradation process. PLA was the only material that completely degraded within 365 days under landfill conditions, whereas PBS and PBAT showed only approximately 11% degradation during the same period. Surface morphology analysis using scanning electron microscopy (SEM) indicated increased surface roughness, the presence of cracks, and microbial colonization on the residual bioplastics, confirming the occurrence of biodegradation.

These findings provide valuable insights for the development of bioplastic materials and offer guidance for the effective management of biodegradable plastic waste in Thailand, contributing to more sustainable environmental practices.

Keywords: Biodegradable plastics / Organic waste / Degradation / Landfill / Microorganisms

1. บทนำ

พลาสติกเป็นวัสดุที่มีความสำคัญและมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณลักษณะเฉพาะที่สอดคล้องกับความต้องการในการใช้งานในหลากหลายบริบท อาทิ น้ำหนักเบา ความคงทนต่อสภาพแวดล้อม ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อน การดูแลรักษาที่ไม่ยุ่งยาก มีความเป็นพิษต่ำ ความโปร่งใสของวัสดุ ตลอดจนมีต้นทุนในการผลิตที่ไม่สูงมากนัก คุณสมบัติเหล่านี้ส่งผลให้พลาสติกสามารถประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรม ภาคพาณิชยกรรม และภาคเกษตรกรรม ทั้งในรูปแบบของวัสดุสำหรับบรรจุภัณฑ์ ชิ้นส่วนประกอบเครื่องจักร รวมถึงผลิตภัณฑ์เพื่อการอุปโภคและบริโภคในชีวิตประจำวัน [1] โดยพลาสติกที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือบรรจุภัณฑ์ เช่น ถุงพลาสติก ขวด และบรรจุภัณฑ์อาหาร พลาสติกทั่วไปส่วนใหญ่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เช่น พอลิเอทิลีน (PE) พอลิโพรพิลีน (PP) พอลิสไตรีน (PS) พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) และพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) [2] จากข้อมูลพบว่า ร้อยละ 76 ของขยะพลาสติกที่ถูกผลิตขึ้นทั่วโลก สามารถจำแนกกระบวนการจัดการได้เป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่ การรีไซเคิลร้อยละ 14 การเผาทำลายร้อยละ 14 และการฝังกลบหรือปล่อยทิ้งในสิ่งแวดล้อม คิดเป็นสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 72 สะท้อนถึงการบริหารจัดการขยะพลาสติกในระดับโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดการที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ในระยะยาว [1] พลาสติกเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เนื่องจากย่อยสลายได้ยากและยังคงสะสมอยู่ในสิ่งแวดล้อมหลังจากถูกกำจัดทิ้งไปแล้ว โดยขยะพลาสติกจะสลายตัวด้วยแรงธรรมชาติต่างๆ เช่น การเสียดสีทางกล การย่อยสลายด้วยแสงอัลตราไวโอเลต (UV) การเกิดออกซิเดชัน และการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยสลายตัวเป็นชิ้นเล็กๆ ชิ้นส่วนพลาสติกขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร หรือเรียกว่า ไมโครพลาสติก (MPs) [3] จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงมีการนำพลาสติกชีวภาพมาใช้ทดแทนพลาสติกทั่วไปในบางผลิตภัณฑ์ เนื่องจากพลาสติกชีวภาพถูกผลิตมาจากวัสดุธรรมชาติซึ่งสามารถย่อยสลายได้ภายในระยะเวลาไม่นานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ หรือพลาสติกชีวภาพ เป็นทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแทนพลาสติกที่ทำจากปิโตรเลียม สามารถบรรเทาปัญหาสิ่งแวดล้อมและปัญหาการกำจัดขยะพลาสติกได้ ได้แก่ พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (PHA) พอลิโพรพิโอแล็กโทน (PPL) และพอลิแลคติกแอซิด (PLA) ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในฟิล์มเกษตร ถุงปุ๋ยหมัก ผ้าพอลิเอสเตอร์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ และเรซินที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพอื่นๆ [4] พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการแก้ไขปัญหาขยะพลาสติกและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พลาสติกเหล่านี้สามารถผลิตจากวัตถุดิบที่ได้จากทรัพยากรหมุนเวียน เช่น พืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก [5] ซึ่งไม่เพียงช่วยลดการพึ่งพาปิโตรเลียมเท่านั้น แต่ยังมีส่วนในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตและย่อยสลายเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกทั่วไป ตัวอย่างเช่น พอลิไฮดรอกซีอัลคาโนเอต (PHA) และกรดแลคติก (วัตถุดิบสำหรับ PLA) สามารถผลิตได้โดยกระบวนการทางเทคโนโลยีชีวภาพแบบหมักโดยใช้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและจุลินทรีย์ [2] ในความเป็นจริงแม้พลาสติกชีวภาพจะถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แต่อัตราการย่อยสลายนั้นแตกต่างกันไปตามชนิดของวัสดุและเงื่อนไขของสภาพแวดล้อมภายนอก ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการย่อยสลาย ได้แก่ ประเภทของไบโอพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งแต่ละชนิดมีโครงสร้างโมเลกุลแตกต่างกัน ส่งผลต่อความสามารถในการถูกย่อยโดยจุลินทรีย์ ยิ่งไปกว่านั้น พลาสติกชีวภาพบางชนิดไม่ได้ประกอบด้วยพอลิเมอร์ชีวภาพเพียงอย่างเดียว แต่ยังมีการเติมสารต่าง ๆ เช่น สารเติมแต่งหรือวัสดุผสมอื่น ๆ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติเฉพาะด้าน เช่น ความเหนียว ความแข็งแรง หรือความสามารถในการขึ้นรูป ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้อาจส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายช้าลง หรือเปลี่ยนแปลงกลไกของการย่อยสลายไปจากที่คาดการณ์ไว้ภายใต้สภาวะธรรมชาติ [5] แม้ว่าการรีไซเคิลและการนำพลังงานความร้อนกลับมาใช้จากขยะพลาสติกจะเป็นแนวทางสำคัญในการลดปริมาณขยะและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่กระบวนการเหล่านี้ยังคงมีข้อจำกัดอยู่มาก

โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งมักประสบปัญหาด้านการขาดแคลนทรัพยากรทั้งทางเทคนิคและเศรษฐกิจ ด้วยเหตุนี้พลาสติกจำนวนมากที่หมดอายุการใช้งานจึงถูกกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบในในบ่อฝังกลบขยะ หรือทิ้งไว้ในพื้นที่รองรับขยะที่ไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสม [6] คาดว่าภายในปี พ.ศ. 2593 ขยะพลาสติก 12 พันล้านตัน จะถูกทิ้งในสภาพแวดล้อมธรรมชาติหรือหลุมฝังกลบขยะ [4] จากรายงานวิจัยหลายฉบับ พบว่าพลาสติกชีวภาพบางชนิด มีอัตราการสลายตัวที่ช้ากว่าที่คาดไว้เมื่อนำไปทิ้งในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ จึงทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบจากการกำจัดพลาสติกชีวภาพในลักษณะที่ไม่เหมาะสมเมื่อหมดอายุการใช้งาน [5] โดยการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพในสภาวะที่ควบคุมที่เหมาะสม เช่น ในกระบวนการทำปุ๋ยหมักที่มีอุณหภูมิสูงและมีจุลินทรีย์เฉพาะกลุ่มที่ทำหน้าที่ย่อยสลายวัสดุได้อย่างรวดเร็ว [4]

ดังนั้นการศึกษาวิธีการกำจัดขยะพลาสติกชีวภาพในสภาวะที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญ ทีมวิจัยจึงได้ทำการศึกษาการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพ 3 ชนิด ได้แก่ พอลิแลคติกแอซิด (PLA), พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) และพอลิบิวทิลีนอะดิเพต-โค-เทเรปธาเลต (PBAT) ภายใต้สภาวะการหมักขยะอินทรีย์แบบใช้อากาศที่อุณหภูมิสูงและในสภาวะจริงในบ่อฝังกลบขยะ เพื่อรองรับการจัดการขยะพลาสติกชีวภาพในบ่อฝังกลบขยะ ซึ่งเป็นวิธีการจำกัดขยะหลักของประเทศไทย การศึกษาการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพจึงมีความสำคัญเพื่อสนับสนุนการใช้งานพลาสติกชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งเป็นการช่วยประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและการจัดการหลังการใช้ โดยทีมวิจัยคาดหวังว่า ผลการศึกษานี้จะช่วยในการจัดการขยะพลาสติกชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน รวมทั้งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบอัตราและประสิทธิภาพการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพทั้งสามชนิดใน 2 สภาวะที่แตกต่างกัน
2. เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของพลาสติกชีวภาพหลังการย่อยสลายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
3. เพื่อเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ข้อมูลในการพัฒนาสูตรการผลิตและการจัดการขยะพลาสติกชีวภาพในประเทศไทยอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ ภายใต้สภาวะการหมักขยะอินทรีย์และสภาวะจริงในบ่อฝังกลบขยะ โดยมีขอบเขตการศึกษาดังนี้

1. พลาสติกชีวภาพที่ใช้ คือ พอลิแลคติกแอซิด (PLA) พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) และพอลิบิวทิลีนอะดิเพต-โค-เทเรปธาเลต (PBAT) ซึ่งเป็นชนิดที่ได้รับการใช้งานแพร่หลายในผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้
2. สภาวะที่ใช้ในการทดสอบการย่อยสลาย คือ สภาวะเลียนแบบระบบหมักขยะอินทรีย์แบบใช้อากาศในระดับอุตสาหกรรม ที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลา 84 วัน ซึ่งเป็นการทดสอบที่ยอมรับในระดับสากล และสภาวะจริงในบ่อฝังกลบขยะเป็นเวลา 365 วัน ซึ่งเป็นการจัดการขยะหลักของประเทศไทย
3. ประเมินผลการย่อยสลายโดยคำนวนเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายจากน้ำหนักที่หายไป และติดตามตรวจสอบพื้นผิวของพลาสติกชีวภาพระหว่างการทดสอบการย่อยสลายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

4. วิธีการศึกษา

4.1 การเตรียมพลาสติกชีวภาพ

นำเม็ดพลาสติกชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ประกอบด้วย PLA, PBS และ PBAT ไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่น ด้วยการใช้เครื่องรีด (Cast sheet extrusion machine) (รุ่น LR 8906-02F บริษัท HAAKE, Germany) แผ่นพลาสติกชีวภาพที่ผ่านการขึ้นรูปจะถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติ โดยนำไปอบในตู้อบ (FED 720, Binder, Tuttlingen, Germany) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่เพื่อวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตัวอย่าง (% moisture content) และปริมาณของของแข็งทั้งหมดของตัวอย่าง (% total dry solids) จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ของตัวอย่าง (% Volatile solids) วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนด้วยวิธีเจลดาห์ลโดยใช้เครื่องกลั่นวิเคราะห์ไนโตรเจน Vapodest 45s, C. Gerhardt GmbH & Co. KG, Königswinter, Germany) รวมถึงวัดค่าความหนาของตัวอย่างโดยใช้เครื่องวัดความหนาดิจิตอล (Film master model, Alfa Mirage Co., Ltd., Osaka, Japan) ตัวอย่างแผ่นพลาสติกชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ให้มีขนาด 5 x 5 ตารางเซนติเมตร เก็บตัวอย่างในตู้ดูดความชื้นก่อนนำมาทำการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ

4.2 การศึกษาการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพในระบบหมักขยะอินทรีย์

ศึกษาการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพในระบบหมักขยะอินทรีย์ โดยเตรียมวัสดุหมักและควบคุมสภาวะทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 16929: 2021 [7] นำตัวอย่างพลาสติกฝังลงในขยะอินทรีย์ บรรจุลงถังในห้องควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 84 วัน (1 รอบของการทดสอบการย่อยสลายในระบบหมักขยะอินทรีย์) ติดตามอุณหภูมิการหมักตลอดการศึกษาด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) เก็บตัวอย่างพลาสติกที่ผ่านการย่อยสลายในระบบหมักขยะอินทรีย์เป็นเวลา 7 14 21 28 42 56 70 และ 84 วัน มาล้างและกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ติดมากับตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างไปอบไล่ความชื้นที่อุณภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ นำค่าน้ำหนักมาคำนวณหาค่าร้อยละการย่อยสลาย ตามสมการที่ 1 พร้อมถ่ายรูปเพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของชิ้นพลาสติกที่เปลี่ยนแปลงไป เก็บตัวอย่างปุ๋ยหมักที่ได้หลังจบการศึกษาที่ 84 วัน มาวิเคราะห์สมบัติหลังผ่านการหมักในระบบหมักขยะอินทรีย์

$$\text{ร้อยละการย่อยสลาย} = \frac{(\mathrm{Wi}-\mathrm{Wf})}{\mathrm{Wi}} \times 100 \qquad (1)$$

โดย W_i คือค่าน้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง หน่วยเป็นกรัม และ W_f คือค่าน้ำหนักที่ของตัวอย่างที่เหลือหลังผ่านการย่อยสลายในแต่ละช่วงเวลา หน่วยเป็นกรัม

4.3 การศึกษาการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพในระบบฝังกลบขยะ

ศึกษาการย่อยสลายการพลาสติกชีวภาพในระบบฝังกลบขยะในบ่อฝังกลบขยะชุมชน จังหวัดสุพรรณบุรี โดยนำตัวอย่างพลาสติกฝังลงในบ่อฝังกลบขยะที่ระดับความลึกประมาณ 2 เมตร จากพื้นดิน เป็นระยะเวลา 365 วัน (1 ปี) ติดตามอุณหภูมิในบ่อฝังกลบขยะตลอดการศึกษาด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) เก็บตัวอย่างพลาสติกที่ 90 180 270 และ 365 วัน และนำตัวอย่างที่เก็บได้มาล้างและกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ติดมากับตัวอย่าง จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ นำค่าน้ำหนักมาคำนวณหาค่าร้อยละการย่อยสลาย ตามสมการที่ 1 เช่นเดียวกับข้อ 4.2 พร้อมถ่ายรูปเพื่อศึกษาลักษณะสันฐานวิทยาของชิ้นพลาสติกที่เปลี่ยนแปลงไป

4.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผิวพลาสติกหลังผ่านการย่อยสลายทางชีวภาพ

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของตัวอย่างพลาสติกชีวภาพแต่ละชนิดหลังผ่านการศึกษาการย่อยสลายในระบบหมักขยะอินทรีย์และระบบฝังกลบขยะ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (Hitachi 3400N) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า บันทึกภาพและผลการศึกษาที่ได้

4.5 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ผลการศึกษาถูกนำเสนอในรูปแบบค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD) ดำเนินการในโปรแกรม Microsoft Excel 2019 โดยใช้ฟังก์ชัน AVERAGE และ STDEV

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพ

คุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพทั้ง 3 ชนิด แสดงในตารางที่ 1 โดยพลาสติกทั้ง 3 ชนิด มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (%) รวมถึงค่าปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (%) ของตัวอย่าง สูงใกล้เคียงกันที่ 99% แสดงให้เห็นว่าพลาสติกที่นำมาศึกษาในการศึกษาครั้งนี้ มีองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์ที่เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัวไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ไม่พบปริมาณไนโตรเจนในพลาสติกทั้ง 3 ชนิด เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเจลดาห์ล ค่าความหนาของแผ่นพลาสติกที่เตรียมได้มีค่าสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่นและมีค่าความหนาค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยพลาสติกชีวภาพชนิด PBS และ PBAT มีความหนากว่าพลาสติกชีวภาพชนิด PLA เล็กน้อย

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพชนิด PLA PBS และ PBAT ที่ใช้ในการศึกษา

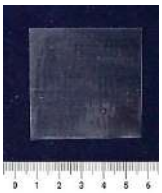
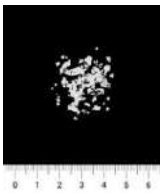
คุณสมบัติ	PLA	PBS	PBAT
ค่าความชื้น (%)	0.47 ± 0.02	0.39 ± 0.06	0.35 ± 0.01
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)	99.53 ± 0.02	99.61 ± 0.06	99.65 ± 0.01
ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (%)	99.94 ± 0.02	99.93 ± 0.01	99.94 ± 0.01
ปริมาณไนโตรเจน (%)	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
ความหนาเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	0.113 ± 0.003	0.146 ± 0.002	0.168 ± 0.005

5.2 ผลการศึกษาการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพในระบบหมักขยะอินทรีย์

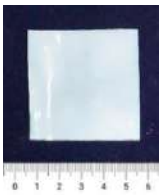
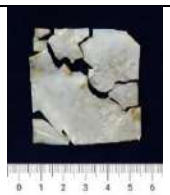
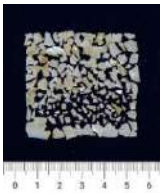
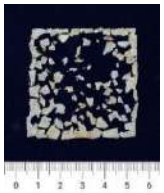
ลักษณะทางกายภาพของชิ้นพลาสติกชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ที่คงเหลืออยู่ในระบบหลังผ่านการหมักร่วมกับขยะอินทรีย์ที่เวลาต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2 ผลการศึกษาในวันที่ 7 พบว่า PLA เกิดการแตกหักเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยอย่างชัดเจน ชิ้นพลาสติกมีความเปราะบางมาก มีการเปลี่ยนแปลงของสีจากโปร่งใสเป็นสีขาวขุ่น ส่วน PBS เริ่มเกิดการแตกหักออกเป็นส่วน ในขณะที่ PBAT เกิดการบิดงอและพบรอยแตกเล็กน้อยบริเวณขอบของชิ้นพลาสติก การแตกออกเป็นส่วนของ PBS และ PBAT จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาการหมักร่วมกับขยะอินทรีย์ โดยในวันที่ 70 ของการศึกษาพบชิ้นส่วนขนาดเล็กของ PBS และ PBAT ที่มีความเปราะบางแตกหักง่าย และไม่พบชิ้นส่วนพลาสติกชีวภาพทั้ง 2 ชนิดนี้ในระบบเมื่อสิ้นสุดการศึกษาที่ 84 วัน

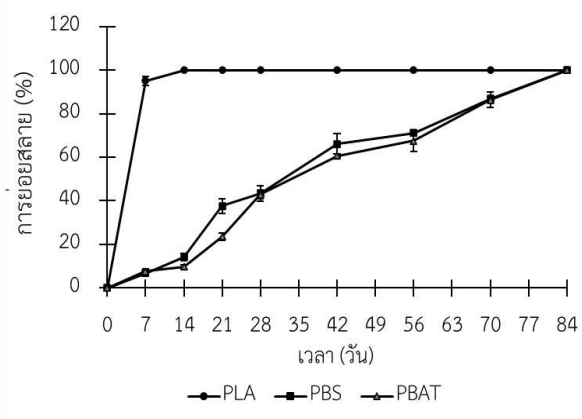
ชิ้นพลาสติกชีวภาพที่เหลือในระบบในแต่ละช่วงเวลาถูกนำมาชั่งน้ำหนักและคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพ ดังแสดงในรูปที่ 1 ผลการศึกษาพบว่า พลาสติกชีวภาพทั้ง 3 ชนิด เกิดการย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ (100%) ในระบบหมักขยะอินทรีย์เป็นเวลา 84 วัน โดย PLA เกิดการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว มีค่าการย่อยสลายเฉลี่ยที่ 95.06% ภายใน 7 วันของการหมักร่วมกับขยะอินทรีย์ และเกิดการย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ภายในเวลา 14 วัน ในขณะที่ PBS และ PBAT มีค่าการย่อยสลายเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาการหมักร่วมกับขยะอินทรีย์ ในช่วง 21 วันแรกของการศึกษาพบว่า PBS มีค่าการย่อยสลายสูงกว่า PBAT โดย PBS มีค่าการย่อยสลายเฉลี่ยที่ 37.65% ส่วน PBAT มีค่าการย่อยสลายเฉลี่ยที่ 23.54% หลังจากนั้นค่าการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพทั้ง 2 ชนิดนี้มีค่าใกล้เคียงกัน และเกิดการย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ภายในเวลา 84 วัน

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นพลาสติกชีวภาพชนิด PLA PBS และ PBAT ก่อนการย่อยสลายและหลังการย่อยสลายในระบบหมักขยะอินทรีย์

ก่อนการย่อยสลาย	หลังการย่อยสลายในระบบหมักขยะอินทรีย์ที่เวลาต่างๆ			
 PLA	 7 วัน	 14 วัน	 21 วัน	 28 วัน
	 42 วัน	 56 วัน	 70 วัน	 84 วัน
 PBS	 7 วัน	 14 วัน	 21 วัน	 28 วัน
	 42 วัน	 56 วัน	 70 วัน	 84 วัน

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นพลาสติกชีวภาพชนิด PLA PBS และ PBAT ก่อนการย่อยสลายและหลังการย่อยสลายในระบบหมักขยะอินทรีย์ (ต่อ)

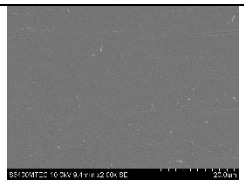
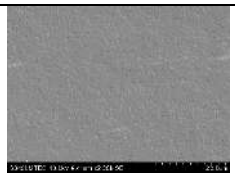
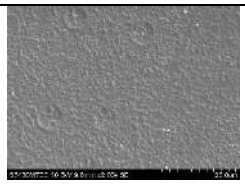
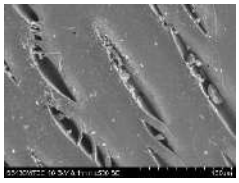
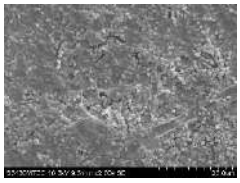
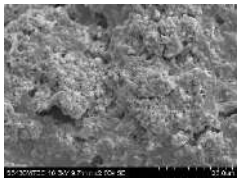
ก่อนการย่อยสลาย	หลังการย่อยสลายในระบบหมักขยะอินทรีย์ที่เวลาต่างๆ			
 PBAT	 7 วัน	 14 วัน	 21 วัน	 28 วัน
	 42 วัน	 56 วัน	 70 วัน	 84 วัน



รูปที่ 1 แสดงการย่อยสลาย (%) ของพลาสติกชีวภาพชนิด PLA PBS และ PBAT ในระบบหมักขยะอินทรีย์

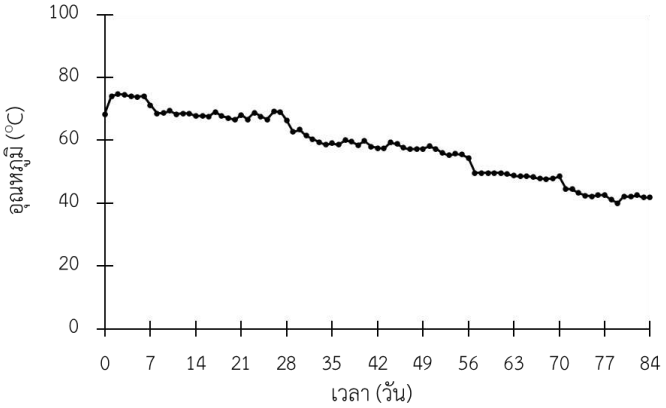
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของตัวอย่างพลาสติกชีวภาพแต่ละชนิดหลังผ่านการศึกษาการย่อยสลายในระบบหมักขยะอินทรีย์แสดงในตารางที่ 3 พบว่าพลาสติกชีวภาพทั้ง 3 ชนิด ก่อนการย่อยสลายจะมีลักษณะพื้นผิวเรียบสม่ำเสมอ เมื่อผ่านการย่อยสลายพบว่า PLA มีรอยแตกขนาดใหญ่เกิดขึ้นบนผิวพลาสติก ส่วน PBS และ PBAT พบลักษณะพื้นผิวที่มีความขรุขระและผุกร่อน รวมถึงพบการเกาะติดของจุลินทรีย์บนผิวของพลาสติกชีวภาพทั้ง 2 ชนิดนี้ด้วย

ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวของพลาสติกชีวภาพทั้ง 3 ชนิด หลังผ่านการย่อยสลายในระบบหมักขยะอินทรีย์ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า

ชนิดพลาสติกชีวภาพ	PLA	PBS	PBAT
ก่อนการย่อยสลาย			
หลังการย่อยสลาย	 7 วัน	 70 วัน	 70 วัน

ในการศึกษานี้ มีการควบคุมอุณหภูมิของระบบหมักขยะอินทรีย์ตามมาตรฐาน ISO 16929: 2021 แสดงในรูปที่ 2 โดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ในช่วง 68.27 – 74.71 องศาเซลเซียส ภายใน 7 วันแรกของการทดสอบ และอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 45 – 65 องศาเซลเซียส ตลอดกระบวนการหมัก ก่อนลดลงต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส ในช่วงท้ายของการหมักขยะอินทรีย์ (วันที่ 70–84) การควบคุมอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ โดยในช่วงอุณหภูมิสูงจะมีกิจกรรมของจุลินทรีย์เทอร์โมไฟล์ และในช่วงอุณหภูมิลดลงจะเป็นบทบาทของจุลินทรีย์มีโซไฟล์ ส่งผลให้การหมักเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ อุณหภูมิที่สูงยังช่วยเร่งการย่อยสลายของ PLA เนื่องจากใกล้เคียงกับค่า glass transition temperature ของวัสดุ ทำให้ PLA แตกเปราะและถูกย่อยสลายผ่านกระบวนการ hydrolysis ได้ง่ายขึ้น พลาสติกชีวภาพชนิด PBS และ PBAT มีอัตราการย่อยสลายที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม ในช่วง 21 วันแรกของการทดสอบพบว่า PBS มีอัตราการย่อยสลายที่สูงกว่า PBAT ซึ่งอาจเนื่องมาจากความแตกต่างของโครงสร้างโมเลกุล โดย PBS มีโครงสร้างพอลิเมอร์แบบโซ่ตรง ซึ่งสามารถถูกจุลินทรีย์เข้าถึงและย่อยสลายได้ง่ายกว่า ขณะที่ PBAT ประกอบด้วยหน่วยโครงสร้างที่เป็นวงแหวนแอโรมาติก ซึ่งมีความคงตัวสูง ทำให้ต้านทานต่อกระบวนการย่อยสลายได้มากกว่า

คุณสมบัติขยะอินทรีย์ก่อนเข้าสู่กระบวนการหมักและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักหลังผ่านกระบวนการหมักเป็นเวลา 84 วัน แสดงในตารางที่ 4 ปุ๋ยหมักที่ได้จากกระบวนการหมักพลาสติกชีวภาพร่วมกับขยะอินทรีย์เป็นเวลา 84 วัน มีคุณสมบัติเบื้องต้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ตามข้อกำหนดของกรมพัฒนาที่ดิน [8]



รูปที่ 2 แสดงอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้ในระหว่างกระบวนการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพในระบบหมักขยะอินทรีย์

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของขยะอินทรีย์ก่อนเข้าสู่กระบวนการหมักและปุ๋ยหมักที่ได้หลังผ่านกระบวนการหมักเป็นเวลา 84 วัน

คุณสมบัติ	ขยะอินทรีย์	ปุ๋ยหมัก
ค่าความชื้น (%)	72.06 ± 2.91	73.39 ± 4.33
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)	27.94 ± 2.91	26.61 ± 4.33
ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (%)	86.56 ± 1.38	74.14 ± 1.33
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.52 ± 0.02	6.77 ± 0.19
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	3.45 ± 0.10	8.94 ± 0.16
ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (%)	38.52	32.30
ปริมาณไนโตรเจน (%)	2.92 ± 0.11	3.62 ± 0.04
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)	13.19	8.92

5.3 ผลการศึกษาการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพในระบบฝังกลบขยะ

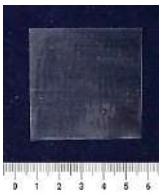
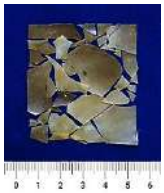
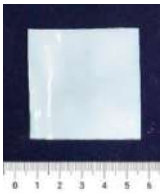
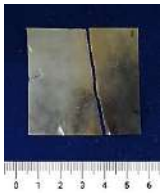
ตารางที่ 5 แสดงลักษณะทางกายภาพของพลาสติกชีวภาพชนิด PLA PBS และ PBAT ทั้งก่อนและหลังการย่อยสลายภายใต้สภาวะบ่อฝังกลบขยะเป็นระยะเวลา 365 วัน ส่วน รูปที่ 3 แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพทั้ง 3 ชนิด จากผลการศึกษาพบว่า PLA เป็นพลาสติกชีวภาพเพียงชนิดเดียวที่สามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ โดยช่วง 90 วันแรก พบว่าทั้ง 3 ชนิด เริ่มเกิดการย่อยสลายเพียงเล็กน้อย เมื่อทำการทดสอบจนถึงวันที่ 180 พบว่า PLA แสดงค่าการย่อยสลายเฉลี่ยสูงถึง 82.09% พร้อมกับการแตกออกเป็นชิ้นขนาดเล็ก ในขณะที่ PBS และ PBAT ยังคงมีค่าการย่อยสลายต่ำกว่า 5% ในช่วงเวลาเดียวกัน

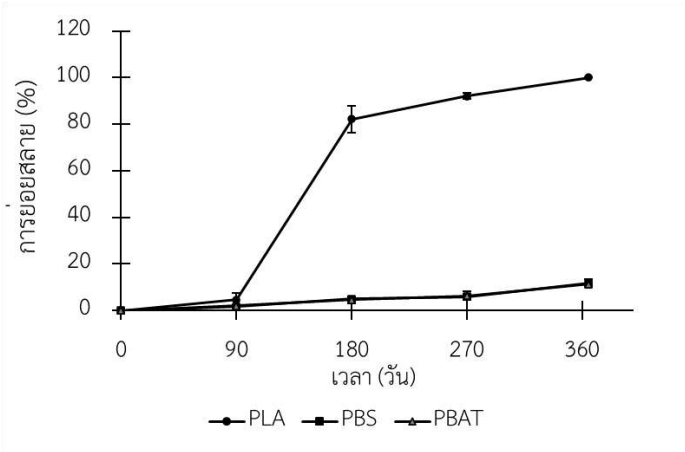
เมื่อเพิ่มระยะเวลาการฝังกลบเป็น 270 วัน พบว่า PLA เหลือชิ้นส่วนเพียงเล็กน้อย และไม่พบชิ้นส่วนเหลืออยู่เลยภายหลังครบ 365 วัน แสดงถึงการย่อยสลายที่สมบูรณ์

ส่วน PBS และ PBAT มีการแตกออกเป็นชิ้นเล็กมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป โดยเฉพาะในวันที่ 270 อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายโดยน้ำหนัก พบว่า PBS และ PBAT ยังคงมีค่าค่อนข้างต่ำอยู่ที่ 5.80% และ 6.32% ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยสุดท้ายเท่ากันที่ประมาณ 11% ภายหลังครบระยะเวลา 365 วัน

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างพลาสติกชีวภาพแต่ละชนิดหลังการฝังกลบ (ตารางที่ 6) พบว่า ชิ้นส่วนของ PLA ที่ยังหลงเหลือในวันที่ 270 มีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระมากขึ้น มีรูขนาดเล็กบนพื้นผิว และพบการเกาะติดของจุลินทรีย์ ซึ่งอาจเป็นชนิดที่สามารถย่อยสลาย PLA ได้ สำหรับ PBS และ PBAT ถึงแม้ว่าจะมีเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายต่ำในระบบฝังกลบขยะ แต่ยังพบการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวในลักษณะขรุขระ และพบการเกาะติดของจุลินทรีย์เช่นกัน ซึ่งบ่งชี้ถึงแนวโน้มการย่อยสลายในระยะยาว

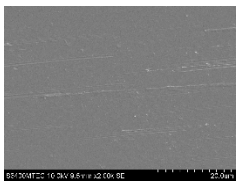
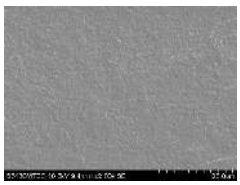
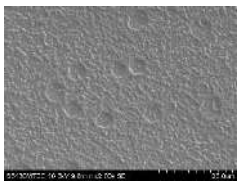
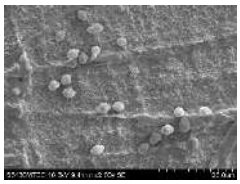
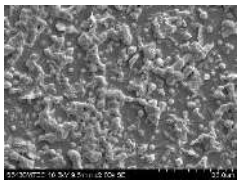
ตารางที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นพลาสติกชีวภาพชนิด PLA PBS และ PBAT ก่อนการย่อยสลายและหลังการย่อยสลายในบ่อฝังกลบขยะ

ก่อนการย่อยสลาย	หลังการย่อยสลายในระบบหมักขยะอินทรีย์ที่เวลาต่างๆ			
 PLA	 90 วัน	 180 วัน	 270 วัน	 365 วัน
 PBS	 90 วัน	 180 วัน	 270 วัน	 365 วัน
 PBAT	 90 วัน	 180 วัน	 270 วัน	 365 วัน



รูปที่ 3 แสดงเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพชนิด PLA PBS และ PBAT ในบ่อฝังกลบขยะ

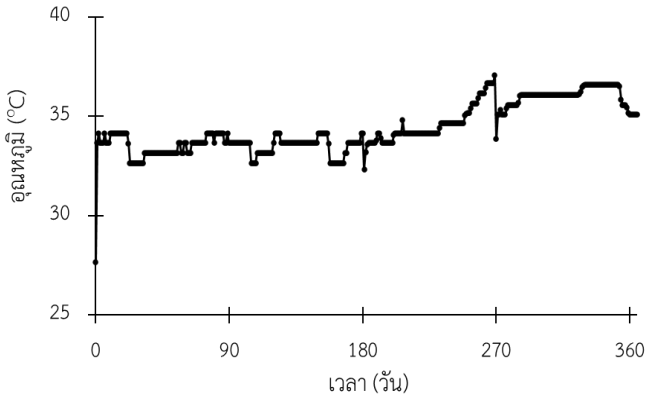
ตารางที่ 6 การเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวของพลาสติกชีวภาพทั้ง 3 ชนิด หลังผ่านการย่อยสลายในบ่อฝังกลบขยะ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า

ชนิดพลาสติกชีวภาพ	PLA	PBS	PBAT
ก่อนการย่อยสลาย			
หลังการย่อยสลาย	 270 วัน	 365 วัน	 365 วัน

จากผลการศึกษาพบว่า พลาสติกชีวภาพทั้งสามชนิด สามารถย่อยสลายได้รวดเร็วและสมบูรณ์มากกว่าในระบบหมักขยะอินทรีย์เมื่อเทียบกับระบบฝังกลบขยะ โดยอัตราการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ โครงสร้างทางพอลิเมอร์ ขนาดและความหนาของวัสดุ ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงและความยากง่ายในการย่อยสลาย รวมถึงปัจจัยแวดล้อม เช่น แสง อุณหภูมิ ความชื้น ความร้อน และปริมาณออกซิเจนในระบบ

เมื่อเปรียบเทียบสภาวะของทั้ง 2 ระบบ พบว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความแตกต่างของอัตราการย่อยสลาย ได้แก่ ชนิดของจุลินทรีย์, ปริมาณออกซิเจนในอากาศ, และ อุณหภูมิของระบบ โดยระบบหมักขยะอินทรีย์เป็นระบบที่ต้องการอากาศ (aerobic composting) ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์กลุ่มใช้ออกซิเจนเป็นหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ และมีการกลับกองหมักเพื่อเพิ่ม

การถ่ายเทอากาศและส่งเสริมกิจกรรมของจุลินทรีย์ ในทางตรงกันข้าม ระบบฝังกลบขยะเป็นระบบที่เกิดภายใต้สภาวะไร้อากาศ (anaerobic conditions) ซึ่งจำกัดกิจกรรมของจุลินทรีย์บางกลุ่ม อีกทั้ง อุณหภูมิเฉลี่ยในระบบฝังกลบตลอดการศึกษาครั้งนี้อยู่ที่ 34.41 องศาเซลเซียส (แสดงในรูปที่ 4) ซึ่งต่ำกว่าระบบหมักขยะอินทรีย์ ส่งผลให้อัตราการย่อยสลายของพลาสติกทั้งสามชนิดนี้เกิดขึ้นได้ช้ากว่าในระบบหมักขยะอินทรีย์



รูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้ในระหว่างกระบวนการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพในระบบฝังกลบขยะ

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบอัตราการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพชนิด PLA PBS และ PBAT ภายใต้ 2 ระบบ ได้แก่ ระบบหมักขยะอินทรีย์และระบบฝังกลบขยะ โดยใช้ระยะเวลาการศึกษา 84 วัน สำหรับระบบหมักขยะอินทรีย์ และ 365 วัน สำหรับระบบฝังกลบขยะ ผลการศึกษาพบว่า พลาสติกชีวภาพทั้งสามชนิดสามารถย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ภายใน 84 วัน ในระบบหมักขยะอินทรีย์ โดย PLA ย่อยสลายเร็วที่สุด (95.06% ภายใน 7 วัน และสมบูรณ์ใน 14 วัน) ส่วน PBS และ PBAT ย่อยสลายได้ช้ากว่า โดย PBS มีอัตราการย่อยสลายสูงกว่า PBAT ในช่วง 21 วันแรก และทั้ง 2 ชนิด ย่อยสลายได้สมบูรณ์ในระยะเวลา 84 วัน เช่นกัน การศึกษาการย่อยสลายภายใต้สภาวะฝังกลบขยะพบว่า PLA เป็นพลาสติกชีวภาพเพียงชนิดเดียวที่สามารถย่อยสลายได้สมบูรณ์ภายใน 365 วัน โดยมีการแตกออกเป็นชิ้นเล็ก มีอัตราการย่อยสลายเฉลี่ยสูงถึง 82.09% ในวันที่ 180 และไม่พบชิ้นส่วนหลงเหลือในวันสุดท้ายของการศึกษา ขณะที่ PBS และ PBAT มีการย่อยสลายเพียงเล็กน้อยตลอดช่วงการศึกษา โดยมีค่าการย่อยสลายเฉลี่ยสุดท้ายอยู่ที่ประมาณ 11% การควบคุมอุณหภูมิตามมาตรฐาน ISO 16929: 2021 ในระบบหมักขยะอินทรีย์ มีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ โดยอุณหภูมิที่สูงในช่วงต้นกระตุ้นจุลินทรีย์เทอร์โมไฟล์ และอุณหภูมิที่ลดต่ำลงในช่วงท้ายส่งเสริมกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์มีโซไฟล์ ทำให้การย่อยสลายขยะอินทรีย์รวมถึงพลาสติกชีวภาพเกิดได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] Ali, S. S., Elsamahy, T., Koutra, E., Kornaros, M., El-Sheekh, M., Abdelkarim, E. A., ... & Sun, J. (2021). Degradation of conventional plastic wastes in the environment: A review on current status of knowledge and future perspectives of disposal. *Science of the Total Environment*, *771*, 144719.

[2] Tokiwa, Y., Calabia, B. P., Ugwu, C. U., & Aiba, S. (2009). Biodegradability of plastics. *International journal of molecular sciences*, *10*(9), 3722-3742.

[3] Qin, M., Chen, C., Song, B., Shen, M., Cao, W., Yang, H., ... & Gong, J. (2021). A review of biodegradable plastics to biodegradable microplastics: another ecological threat to soil environments?. *Journal of Cleaner Production*, *312*, 127816.

[4] Sun, Y., Shaheen, S. M., Ali, E. F., Abdelrahman, H., Sarkar, B., Song, H., ... & Wang, Q. (2022). Enhancing microplastics biodegradation during composting using livestock manure biochar. *Environmental Pollution*, *306*, 119339.

[5] Ahsan, W. A., Hussain, A., Lin, C., & Nguyen, M. K. (2023). Biodegradation of different types of bioplastics through composting—a recent trend in green recycling. *Catalysts*, *13*(2), 294.

[6] Xochitl, Q. P., María del Consuelo, H. B., María del Consuelo, M. S., Rosa María, E. V., & Alethia, V. M. (2021). Degradation of plastics in simulated landfill conditions. *Polymers*, *13*(7), 1014.

[7] ISO 16929:2021 Plastics — Determination of the degree of disintegration of plastic materials under defined composting conditions in a pilot-scale test.

[8] กรมพัฒนาที่ดิน. มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยอินทรีย์คุณภาพสูง), 19 มกราคม 2568. http://www1.ldd.go.th/ldd/Fertilizer/Organic_Fertilizer.pdf

การเพิ่มประสิทธิภาพการลดก๊าซเรือนกระจก จากการนำน้ำทิ้งและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมชุมชนมาใช้ประโยชน์

วิจักขณ์ เจริญสุข[1] และ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์[2*]

[1] สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แขวงวังใหม่ เขตพญาไท กรุงเทพฯ
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แขวงวังใหม่ เขตพญาไท กรุงเทพฯ
* Corresponding author: (orathai.o@chula.ac.th)

บทคัดย่อ

การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ภาวะโลกร้อน และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทั่วโลก การจัดการน้ำเสียชุมชนที่ไม่เหมาะสมและการจัดการกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียที่ไม่ถูกต้องเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบแนวทางการใช้ประโยชน์น้ำทิ้งและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมชุมชนแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์เพื่อการลดก๊าซเรือนกระจก และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมของการนำน้ำทิ้งและกากตะกอนมาใช้ประโยชน์ โดยมีขอบเขตการศึกษาในพื้นที่โรงบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครปากเกร็ด (โซน 1 ศรีสมาน) วิธีการศึกษาประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูล การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งและกากตะกอนมาวิเคราะห์ และการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกตามคู่มือ IPCC 2006 ผลการศึกษาพบว่าในปี พ.ศ. 2565 โรงบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครปากเกร็ดมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 3,865 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า พบว่าการใช้น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อการเกษตรทดแทนน้ำประปาสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 0.5326 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า /ไร่/ปี (ลดลง 83.77%) และการนำกากตะกอนไปผลิตปุ๋ยอินทรีย์ทดแทนการฝังกลบ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 1,151.75 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า/สัปดาห์ (ลดลง 58.07%) สรุปได้ว่าการนำน้ำทิ้งและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้ประโยชน์เป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการจัดการของเสีย และส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืนในระยะยาว

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก / ระบบบำบัดน้ำเสียรวมชุมชนแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ / น้ำทิ้ง / กากตะกอน / การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจก

Enhancing the effectiveness of greenhouse gas reduction through the utilization of wastewater and sludge from community wastewater treatment systems

Vijak Jaroensuk[1] and Orathai Chavalparit[2*]

[1] interdisciplinary program in environmental, Chulalongkorn University, Thailand.
[2] Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand.
** Corresponding author: orathai.o@chula.ac.th*

Abstract

The increase in greenhouse gases is a significant factor contributing to climate change and global warming and impacts living organisms worldwide. Inappropriate community wastewater management and improper sludge management from wastewater treatment are important sources of greenhouse gas emissions. This study aims to compare approaches for utilizing effluent and sludge from activated sludge community wastewater treatment systems for greenhouse gas reduction and to analyze the economic and environmental feasibility of utilizing effluent and sludge. The scope of the study is the Pak Kret City Municipality Wastewater Treatment Plant (Zone 1 Sri Saman). The methodology comprises data collection, effluent and sludge sample collection and analysis, and calculation of greenhouse gas emissions according to the 2006 IPCC Guidelines. The results of the study show that in 2022, the Pak Kret City Municipality Wastewater Treatment Plant released a total of 3,865 tons of carbon dioxide equivalent. It was found that utilizing effluent from the wastewater treatment system for agriculture to replace tap water can reduce greenhouse gas emissions by 0.5326 tons of carbon dioxide equivalent/rai/year (an 83.77% reduction), and utilizing sludge to produce organic fertilizer instead of landfilling can reduce greenhouse gas emissions by 1,151.75 tons of carbon dioxide equivalent/week (a 58.07% reduction). In conclusion, the utilization of effluent and sludge from community wastewater treatment systems is a potentially effective approach for reducing greenhouse gas emissions in the waste management sector and contributes to environmental benefits and long-term sustainability.

Keywords: Greenhouse gases / Community activated sludge treatment system / Treated wastewater / Sludge / Calculation of greenhouse gas emissions

1. บทนำ

การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก เป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภาวะโลกร้อน ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทั่วโลก โดยชี้ให้เห็นว่ากิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น การใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล การเกษตร และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เป็นสาเหตุสำคัญของการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก สำหรับประเทศไทย แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลักมาจากภาคการผลิตพลังงาน การขนส่ง อุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการจัดการของเสีย แม้จะมีความพยายามในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมีข้อตกลงระหว่างประเทศ แต่ประเทศไทยยังคงเผชิญกับความท้าทาย ดังนั้นการจัดการน้ำเสียชุมชน ซึ่งเป็นอีกหนึ่งความท้าทายที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การปล่อยน้ำเสียที่ไม่ได้รับการบำบัดอย่างเหมาะสม รวมถึงการจัดการกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียที่ไม่ถูกต้อง ยังเป็นแหล่งของการปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจก ด้วยเหตุนี้ จึงนำเสนอถึงปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคน้ำเสียชุมชนในประเทศไทย และเสนอแนวทางการศึกษาเพื่อนำน้ำทิ้งและกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนมาใช้ประโยชน์ ซึ่งเป็นความพยายามในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในภาคการจัดการของเสีย และเป็นการปกป้องสิ่งแวดล้อมและความเป็นอยู่ที่ดีทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศในระยะยาว

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อเปรียบเทียบแนวทางการใช้ประโยชน์น้ำทิ้งและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมชุมชนแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์เพื่อการลดก๊าซเรือนกระจก

2.2 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมของมาตราการการนำน้ำทิ้งและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมชุมชนแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์มาใช้ประโยชน์

3. ขอบเขตของการศึกษา

3.1 ศึกษาการนำน้ำทิ้งและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมชุมชนแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ในบริเวณจากโรงบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครปากเกร็ด (โซน 1 ศรีสมาน) มาใช้ประโยชน์

3.2 คำนวณการลดก๊าซเรือนกระจกจากการนำน้ำทิ้งและกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียรวมชุมชนแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์มาใช้ประโยชน์

3.3 ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมของการการนำน้ำทิ้งและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมชุมชนแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์กรณีศึกษามาใช้ประโยชน์

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

4.1.1 ข้อมูลโรงบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครปากเกร็ด (โซน 1 ศรีสมาน) ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ เทศบาลนครปากเกร็ด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี ด้านฝั่ง ตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา ระยะห่างจากจังหวัดนนทบุรี 10 กิโลเมตร ทำเลที่ตั้งติดกับกรุงเทพฯและ ปริมณฑลครอบคลุมพื้นที่ 5 ตำบล ได้แก่ ตำบลปากเกร็ด ตำบลบางพูด ตำบลบ้านใหม่ ตำบลบางตลาด และ ตำบลคลองเกลือ 34 หมู่บ้าน มีพื้นที่รับผิดชอบทั้งหมด 36.04 ตารางกิโลเมตร

- ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสีย ปี 2565

ความสามารถในการรองรับน้ำเสีย (ลบ.ม/วัน) : 6,000 เฉลี่ยปริมาณน้ำเสียที่รวบรวมต่อวัน (ลบ.ม/วัน): 5,600

ร้อยละปริมาณน้ำเสียเข้าระบบ : 93.33 % ประเภทระบบบำบัดน้ำเสีย : Activated sludge (AS)

- การจัดการน้ำทิ้งและกากตะกอนในปัจจุบัน

น้ำทิ้ง: เทศบาลนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์ เช่น ล้างถนน รดน้ำต้นไม้ และหมุนเวียนในระบบบำบัดน้ำเสีย

กากตะกอน: เทศบาลนำกากตะกอนไปใช้ประโยชน์ โดยนำไปทำวัสดุบำรุงดิน และ จ้างเอกชนเป็นผู้ดำเนินการกำจัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

4.2 เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งและกากตะกอนมาวิเคราะห์

4.2.1 น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง(pH) , ค่าสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ (BOD) , ของแข็งแขวนลอย(TSS) , น้ำมันและไขมัน (FOG) และ ธาตุอาหารพืช (TP&TN)

4.2.2 เก็บตัวอย่างกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อวิเคราะห์ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) , ปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด (TVS) , ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) , ความชื้น , อินทรีย์วัตถุ , ธาตุอาหารพืช (TP&TN) Fecal coliforms และโลหะหนัก (แคดเมียม,ทองแดง,โครเมียม,นิกเกิล และ ตะกั่ว)

4.3 การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน

ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการน้ำเสียชุมชนตามคู่มือ 2006 IPCC Guidelines พิจารณาก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ ก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์ ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียไม่ถูกนำมาคำนวณเนื่องจากเกิดจากต้นกำเนิดทางชีวภาพ (Biogenic Origin) (IPCC, 2006)

4.3.1 การคำนวณการปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) จากน้ำเสีย การปล่อย CH_4 จากน้ำเสียเกิดขึ้นในสภาวะไม่ใช้อากาศ (anaerobic conditions) ในระหว่างการบำบัดและการระบายน้ำเสีย สูตรพื้นฐานในการคำนวณคือ:

CH_4 Emissions = Total Organic degradable in Wastewater, TOW) x Emission Factor (EF)] - ปริมาณ CH_4 ที่ถูกดักจับและนำไปใช้/เผา (Amount of CH_4 recovered or flared)

- ปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ทั้งหมดในน้ำเสีย (TOW) คำนวณจากจำนวนประชากร (P) คูณด้วยปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ต่อคนต่อปี (เช่น วัดในรูป BOD - Biological Oxygen Demand) และปรับแก้ด้วยปัจจัยต่างๆ เช่น สัดส่วนของประชากรที่เชื่อมต่อกับระบบบำบัดน้ำเสีย TOW คำนวณในหน่วย kg BOD/ปี

สูตรคำนวณ TOW สำหรับน้ำเสียชุมชน: **TOW = P x BOD x 0.001 x I x 365** โดยที่

P = จำนวนประชากร, BOD = ปริมาณ BOD ในน้ำเสียชุมชน (กรัม/ลิตร), I = ปัจจัยปรับแก้สำหรับการปล่อยน้ำเสียอุตสาหกรรมร่วมด้วย (หากมีน้ำเสียอุตสาหกรรมรวมกับน้ำเสียชุมชน หากไม่มี ให้ใช้ 1)

- Emission Factor (EF) ค่านี้ขึ้นอยู่กับประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย/การจัดการน้ำเสีย และปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้สูงสุดที่สามารถผลิตมีเทนได้ (Bo) และ Methane Conversion Factor (MCF) ของระบบนั้นๆ

EF = Bo x MCF โดยที่:

- Bo (Maximum methane producing capacity) ปริมาณสูงสุดของ CH_4 ที่สามารถผลิตได้จากสารอินทรีย์ 1 หน่วย (หน่วย kg CH_4/kg BOD) สำหรับน้ำเสียชุมชน ค่า Bo Default ที่ IPCC กำหนดคือ 0.6 kg CH_4/kg BOD
- MCF (Methane Conversion Factor) สัดส่วนของสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศและผลิต CH_4 ในระบบ/วิธีการจัดการน้ำเสียนั้นๆ ค่า MCF จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทของระบบบำบัดหรือแหล่งรองรับน้ำเสีย

4.3.2 การคำนวณการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) จากน้ำเสีย การปล่อย N_2O จากน้ำเสียเกิดขึ้นจากกระบวนการ Nitrification (การเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนเตรท) และ Denitrification (การเปลี่ยนไนเตรทเป็นก๊าซไนโตรเจน) ทั้งในระบบบำบัดและหลังจากปล่อยน้ำทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

การคำนวณ N_2O จะพิจารณาจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสีย (Total Nitrogen, TN) สูตรคือ

N_2O Emissions = [Total N in wastewater inflow - Total N in sludge removed] x EF สำหรับ N_2O x 44/28

- Total N in wastewater inflow คำนวณจากจำนวนประชากร คูณด้วยปริมาณไนโตรเจนที่ขับถ่ายต่อคนต่อปี
- Total N in sludge removed พิจารณาจากปริมาณกากตะกอนที่เกิดขึ้นและสัดส่วนไนโตรเจนในกากตะกอนส่วนนั้น
- Emission Factor (EF) สำหรับ N_2O ค่า Default ที่ IPCC กำหนดสำหรับการปล่อย N_2O จากไนโตรเจนในน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติคือ 0.005 kg N_2O-N/kg N
- 44/28: เป็นอัตราส่วนโมเลกุลเพื่อแปลงหน่วยจาก N_2O-N เป็น N_2O (น้ำหนักโมเลกุลของ N2O คือ 44, น้ำหนักอะตอมของ N 2 อะตอมคือ 28)

4.3.3 การแปลงเป็นตันเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ (tCO_2e) หลังจากคำนวณปริมาณการปล่อย CH_4 (เป็น kg CH_4) และ N_2O (เป็น kg N_2O) ได้แล้ว ต้องนำมาแปลงเป็นหน่วยตันเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ (tCO_2e) โดยคูณด้วยค่าศักยภาพในการทำให้โลกร้อน (Global Warming Potential - GWP) ของแต่ละก๊าซ

- CH_4 (AR4) GWP = 25 tCO_2e/tCH_4 - N_2O (AR4) GWP = 298 tCO_2e/tN_2O

ปริมาณ GHG รวม (tCO_2e) = (ปริมาณ CH_4 (kg CH_4) x GWP CH_4 / 1000) + (ปริมาณ N_2O (kg N_2O) x GWP N_2O / 1000)

4.4 การประเมินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินมาตรการลดก๊าซเรือนกระจก

4.4.1 มาตราการใช้น้ำทิ้งไปใช้ในการเกษตรแทนน้ำประปา

4.4.2 มาตราการใช้กากตะกอนไปทำปุ๋ยแทนการฝังกลบ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลวิเคราะห์น้ำทิ้งและกากตะกอน

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งในพื้นที่ ทน.ปากเกร็ด (โซน 1 ศรีสมาน)

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่วัดได้
ความเป็นกรดและด่าง	-	7.3
อุณหภูมิ	°ซ	33.2
ของแข็งแขวนลอย	มก./ล.	5.00
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด	มก./ล.	320
บีโอดี	มก./ล.	3.64
ซีโอดี	มก./ล.	21.90
น้ำมันและไขมัน	มก./ล.	2.70
ไนโตรเจนทั้งหมด	มก./ล.	9.76
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./ล.	1.244
โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด	MPN/100 mL	93,000
E.coli	MPN/100 mL	790

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพกากตะกอนในพื้นที่ ทน.ปากเกร็ด (โซน 1 ศรีสมาน)

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่วัดได้
ความเป็นกรดและด่าง	-	6.5
ปริมาณของแข็งระเหยทั้งหมด	มก./กก.	98,500
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	มก./กก.	203,000
ความชื้น	ร้อยละ	82.80
อินทรีย์วัตถุ	ร้อยละ	17.48
ไนโตรเจนทั้งหมด	มก./กก.	4,640
ฟอสฟอรัสทั้งหมด	มก./กก.	606
ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย	MPN/กรัม	170
แคดเมียม	มก./กก.	1.97
โครเมียม	มก./กก.	19.30
ทองแดง	มก./กก.	92.45
นิกเกิล	มก./กก.	18.01
ตะกั่ว	mg/kg	51.09

5.2 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการน้ำเสียในพื้นที่ต้นแบบ

5.2.1 ขอบเขตการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ใช้วิธีการตามที่ระบุในคู่มือ IPCC 2006 (IPCC, 2006) เรื่องการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนและการระบายทิ้ง โดยจำแนกเป็นการปล่อยก๊าซมีเทนจากน้ำเสียชุมชน

และ การปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากน้ำเสีย โดยพิจารณาเฉพาะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภทที่ 1 ได้แก่ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากกระบวนการทางชีวภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย ไม่รวมถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภทที่ 2 จากแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม ได้แก่ การใช้ไฟฟ้า/เชื้อเพลิง รวมทั้ง ประเภทที่ 3 จาก เป็นกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ เช่น การใช้น้ำประปา สารเคมี เป็นต้น

ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 1 เท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) ก๊าซมีเทน เท่ากับ 28 เท่าของ CO_2eq ก๊าซไนตรัสออกไซด์ เท่ากับ 265 เท่าของ CO_2eq ซึ่งอ้างอิงจากรายงาน IPCC 2006

5.2.2 การรวบรวมข้อมูลกิจกรรม

ข้อมูลกิจกรรมสำหรับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสียของพื้นที่ศึกษาใช้ข้อมูลของปี 2565 โดยข้อมูลกิจกรรมสำหรับการประเมินการปล่อยก๊าซมีเทน ได้แก่ จำนวนประชากร อัตราการเกิดน้ำเสีย ค่าความสกปรกในรูปบีโอดี สำหรับการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์ ได้แก่ จำนวนประชากร และปริมาณการบริโภคโปรตีนรายปี รวมทั้งข้อมูลสำหรับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการกากตะกอน ดังแสดงใน ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลกิจกรรมที่ใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ข้อมูลกิจกรรม	หน่วย	ค่าที่ใช้	แหล่งข้อมูล
ข้อมูลการจัดการน้ำเสียของพื้นที่ศึกษา			
พื้นที่ขอบเขตท้องถิ่น	ตร.กม.	36.04	ทน.ปากเกร็ด
จำนวนประชากร	คน	189,918	ทน.ปากเกร็ด
- จำนวนประชากรในเขตเทศบาล	คน	189,918	ทน.ปากเกร็ด
พื้นที่ให้บริการบำบัดน้ำเสีย	ตร.กม	12	dspot.pcd.go.th
ร้อยละพื้นที่ให้บริการ	เปอร์เซ็น	33.3	dspot.pcd.go.th
ความหนาแน่นของประชากร	คน/ตร.กม.	5,261	ทน.ปากเกร็ด
จำนวนประชากรที่ได้รับการบริการบำบัดน้ำเสีย	คน	63,132	คำนวณ
ร้อยละจำนวนประชากรที่ได้รับการบริการบำบัดน้ำเสีย	เปอร์เซ็น	33.24	คำนวณ
อัตราการเกิดน้ำเสีย	ลิตร/คน-วัน	100	ประมาณการ
ค่าบีโอดีของน้ำเสียจากแหล่งกำเนิด	มก./ล.	120	กรมควบคุมมลพิษ
ปริมาณการบริโภคโปรตีนของประชาชน	กก./คน-ปี	21.06	กรมอนามัย
สัดส่วนการจัดการน้ำเสีย			
- ระบบบำบัดน้ำเสีย ประเภท AS	เปอร์เซ็น	0.33	dspot.pcd.go.th
- บ่อเกรอะ Septic Tank	เปอร์เซ็น	0.45	ประมาณการ
- ส้วมหลุม บ่อซึม	เปอร์เซ็น	0.02	ประมาณการ
- ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง	เปอร์เซ็น	0.20	ประมาณการ
ข้อมูลระบบบำบัดน้ำเสียแห่งที่ 1			
ประเภทระบบบำบัดน้ำเสีย		AS	dspot.pcd.go.th
ความสามารถในการรับน้ำเสีย	ลบ.ม/วัน	6,000	dspot.pcd.go.th

ตารางที่ 3 ข้อมูลกิจกรรมที่ใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ต่อ)

ข้อมูลกิจกรรม	หน่วย	ค่าที่ใช้	แหล่งข้อมูล
ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ยที่เข้าระบบ	ลบ.ม/วัน	5,600	dspot.pcd.go.th
ค่าบีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ	มก./ล.	21.10	ค่าตรวจวัด
ค่าบีโอดีของน้ำทิ้ง	มก./ล.	8.10	ค่าตรวจวัด
การจัดการกากตะกอน		รีดน้ำ/ฝังกลบ	ทน.ปากเกร็ด
ปริมาณตะกอนที่นำไปฝังกลบ	ตัน/สัปดาห์	2,500	ทน.ปากเกร็ด
	ตัน/ปี	130,000	ทน.ปากเกร็ด
% ของแข็งทั้งหมด	เปอร์เซ็น	20.3	ค่าตรวจวัด
% อินทรียวัตถุ	เปอร์เซ็น	17.48	ค่าตรวจวัด
% ของแข็งระเหยง่าย	เปอร์เซ็น	9.85	ค่าตรวจวัด

5.2.3 ค่าการปล่อย (Emission Factor) สำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชนและการระบายทิ้ง

ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนและการระบายทิ้งของพื้นที่ศึกษา ใช้ค่าแนะนำจากคู่มือ 2006 IPCC Guidelines ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าการปล่อยที่ใช้ในการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนและการระบายทิ้งของพื้นที่ศึกษา

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
Maximum CH_4 producing capacity (B_0)	B_0 = 0.6 kg CH_4/kg BOD
Methane Conversion Factor (MCF)	<u>Untreated</u> - Sea, river and lake discharge = 0.1 <u>Treated</u> - Aerobic treatment plant (Must be well manage) = 0 - Aerobic treatment plant (Not well manage) = 0.3
สัดส่วนของโปรตีนในน้ำเสียที่ไม่ได้เกิดจากการบริโภค ($F_{Non-con}$)	$F_{Non-Con}$ = 1.1
สัดส่วนของโปรตีนจากอุตสาหกรรม พาณิชยกรรมที่ทิ้งในท่อ ($F_{Ind-com}$)	$F_{Ind-Com}$ = 1.25
สัดส่วนของ N ในโปรตีน (FNPR)	F_{NPR} = 0.16 kg N/kg protein
ปริมาณไนโตรเจนที่อยู่ในกากตะกอน (N_{Sludge})	N_{Sludge} = 0 kg N/yr
Emission factor for N_2O emissions discharged to wastewater ($EF_{EFFLUENT}$)	$EF_{EFFLUENT}$ = 0.005 kg N_2O-N/kg N
Emission factor for N_2O generated in centralised WWTP (EF_{PLANT})	EF_{PLANT} = 3.2 g N_2O/person/year

ที่มา: IPCC Guidelines, 2006

5.2.4 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบำบัดน้ำเสียชุมชน

จากการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนและการระบายทิ้งของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ เทศบาลนครปากเกร็ด ปี พ.ศ. 2565 (รูปที่ 1) พบว่า มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งสิ้น 3,865 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2eq) โดยเกิดจาก

- ก๊าซมีเทน 78.4 tCH_4 หรือ2,194 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2eq) คิดเป็นร้อยละ 57
- ก๊าซไนตรัสออกไซด์ 6.3 tN_2O หรือ 1,671 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2eq) คิดเป็นร้อยละ 43

รูปที่ 1 แสดงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบำบัดน้ำเสียชุมชนของเทศบาลนครปากเกร็ด ปี พ.ศ. 2565

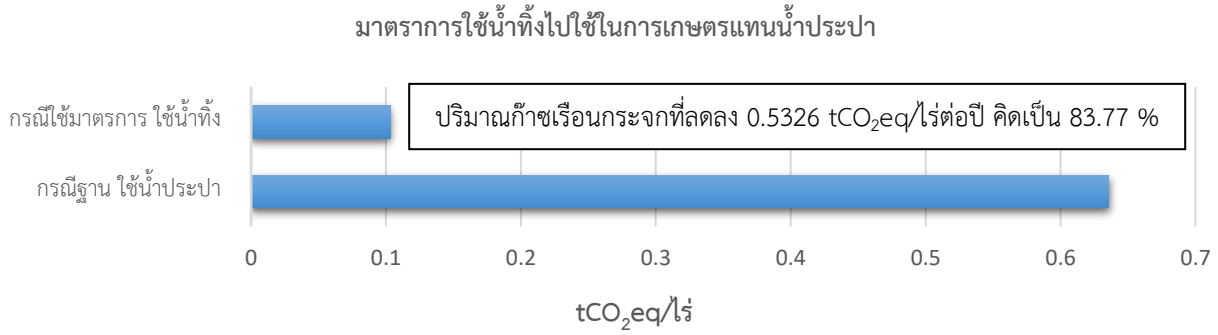
5.3 ผลจากการประเมินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินมาตรการลดก๊าซเรือนกระจก

5.3.1 มาตราการใช้น้ำทิ้งไปใช้ในการเกษตรแทนน้ำประปา

- กรณีฐาน ใช้น้ำประปาในการทำการเกษตร จากข้อมูล Thai national LIC database ค่า Emission Factor ของการประปานครหลวง (Metropolitan Waterworks Authority - MWA) มีรายงานค่าการประเมินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ 0.7948 kg CO_2e/m^3
- กรณีใช้มาตรการ ใช้น้ำทิ้งจากระบบบำบัดเสียมาใช้ในการเกษตร จากข้อมูล Thai national LIC database ค่า Emission Factor การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียของชุมชนของเมืองขนาดใหญ่ คือ 0.1290 kg CO_2e/m^3

กรณีตัวอย่างพื้นที่สวนทุเรียน จะใช้น้ำประมาณ 600 – 800 ลูกบาศก์เมตร/ไร่ต่อปี (กรมการเกษตร,2564)

การประเมินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อาศัยข้อมูลกิจกรรม และค่าการปล่อยตามข้อมูล พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน เท่ากับ 0.6358 tCO_2eq/ไร่ต่อปี และ กรณีดำเนินมาตรการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียไปใช้แทนน้ำประปา พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบำบัดน้ำเสีย เท่ากับ 0.1032 tCO_2eq/ไร่ต่อปี คิดเป็น **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง 0.5326 tCO_2eq**/ไร่ต่อปี คิดเป็น 83.77 % ที่สามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ (รูปที่ 2)



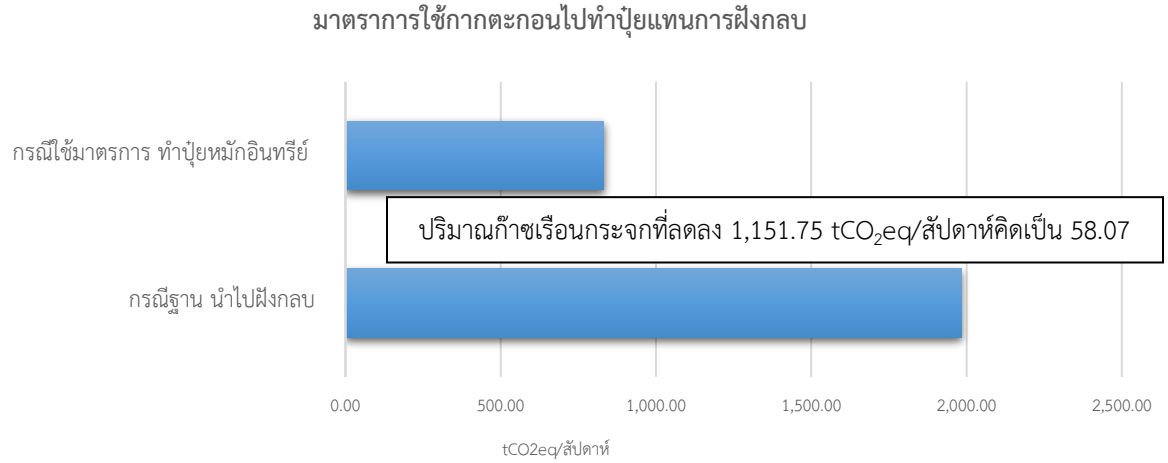
รูปที่ 2 แสดงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากมาตราการใช้น้ำทิ้งไปใช้ในการเกษตรแทนน้ำประปา

5.3.2 มาตราการใช้กากตะกอนไปทำปุ๋ยแทนการฝังกลบ

- กรณีฐาน การกำจัดกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียด้วยการรีดน้ำและนำไปฝังกลบปริมาณ 2,500 ตัน/สัปดาห์ จากข้อมูล Thai national LIC database ค่า Emission Factor สำหรับ การฝังกลบขยะของเสียแบบถูกหลักสุขาภิบาล ซึ่งอาจรวมกากตะกอนอยู่ด้วย คือ 0.7933 kg CO_2eq/kg

- กรณีใช้มาตรการ ใช้การบำบัดกากตะกอนปริมาณ 2,500 ตัน/สัปดาห์ ด้วยวิธีหมักทำปุ๋ยหมักอินทรีย์ จากข้อมูล Thai national LIC database ค่า Emission Factor สำหรับทำปุ๋ยหมักอินทรีย์แบบใช้อากาศ คือ 0.3326 kg CO_2eq/kg

การประเมินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อาศัยข้อมูลกิจกรรม และค่าการปล่อยตามข้อมูล พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน เท่ากับ 1,983.25 tCO_2eq/สัปดาห์และ กรณีดำเนินมาตรการนำน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียไปใช้แทนน้ำประปา พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบำบัดน้ำเสีย เท่ากับ 831.5 tCO_2eq/สัปดาห์ คิดเป็น **ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง 1,151.75 tCO_2eq**/สัปดาห์คิดเป็น 58.07 % ที่สามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 แสดงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากมาตราการใช้กากตะกอนไปทำปุ๋ยแทนการฝังกลบ

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาเพื่อประเมินศักยภาพการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก (GHG) ผ่านการประยุกต์ใช้แนวทางการนำน้ำทิ้งและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมชุมชนมาใช้ประโยชน์ โดยมีกรณีศึกษา ณ โรงบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครปากเกร็ด (โซน 1 ศรีสมาน) พบว่าการดำเนินงานจัดการน้ำเสียในสภาวะกรณีฐานสำหรับปี พ.ศ. 2565 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สู่ชั้นบรรยากาศรวมทั้งสิ้น 3,865 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2eq) ซึ่งประกอบด้วยการปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) คิดเป็นร้อยละ 57 (เทียบเท่า 2,194 tCO_2eq) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N2O) คิดเป็นร้อยละ 43 (เทียบเท่า 1,671 tCO_2eq) ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาผลจากการดำเนินมาตรการลดก๊าซเรือนกระจก พบว่า มาตรการนำน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรทดแทนการใช้น้ำประปามีศักยภาพในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก ได้ 0.5326 tCO_2eq ต่อไร่ต่อปี ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 83.77 ของปริมาณก๊าซเรือนกระจก จากกรณีฐานการใช้น้ำประปา ในขณะที่มาตรการนำกากตะกอนจากการบำบัดน้ำเสียไปผ่านกระบวนการผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์แทนวิธีการฝังกลบ สามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก ได้ถึง 1,151.75 tCO_2eq ต่อสัปดาห์ หรือคิดเป็นร้อยละ 58.07 เมื่อเทียบกับการกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การนำผลผลิตจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ ไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบของน้ำทิ้งหรือกากตะกอน ล้วนมีส่วนช่วยในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างเป็นรูปธรรมและมีนัยสำคัญ ซึ่งสนับสนุนเป้าหมายในการจัดการของเสียอย่างยั่งยืนและการลดผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ, 2560. *คู่มือระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน*. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ,กรุงเทพฯ.

[2] กรมควบคุมมลพิษ, 2565. *รายงานผลการดำเนินงานโครงการส่งเสริมการนำน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับสภาพแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนไปใช้ประโยชน์*. สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ,กรุงเทพฯ.

[3] กรมควบคุมมลพิษ (คพ.) GIZ และ Geo Info, 2564. *Database System for Publicly Owned Treatment Works*. https://dspot.pcd.go.th/

[4] กรมส่งเสริมการเกษต, 2564. *เทคนิคการปลูก และดูแลรักษาทุเรียน*. https://esc.doae.go.th/wp-content/uploads/2021/06/Durian.pdf

[5] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก , 2566. *Emission Factor (CFP).* https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y0hKdlpIVmpkSE5mWlcxcGMzTnBiMjQ9

[6] IPCC.2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. National Greenhouse Gas Inventories Programmed. IGES, Japan.

การจัดการมลพิษ

Poster Presentation

การสกัดเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวสังข์หยดและไคโตซานเกล็ดปลาเพื่อประยุกต์ใช้ในการเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพดูดซับสีย้อม

สาวิกา เบ็ญละโต๊ะ[1] , ธัญพิชชา คำใหญ่[1] , ปริณดา ห้องแก้ว[1] และสุภาวดี สุกดำ[2*]

[1]โรงเรียนบางแก้วพิทยาคม อำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุง
[2]โรงเรียนบางแก้วพิทยาคม สำกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาพัทลุง
* Corresponding author: (supawadee.sukdam@gmail.com)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวสังข์หยดพัทลุง ได้วิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส พบว่ามีองค์ประกอบเซลลูโลสปริมาณร้อยละ 25.68 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR พบปรากฏหลักฐาน สัญญาณเลขคลื่นของเซลลูโลส จากเทคนิค TGA พบว่าเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากฟางข้าวทนต่อความร้อนสูง และได้ศึกษาการสกัดไคโตซานจากเกล็ดปลาในพื้นที่จังหวัดพัทลุง ได้วิเคราะห์ปริมาณไคโตซาน พบว่ามี องค์ประกอบไคโตซานปริมาณร้อยละ 40.24 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR พบปรากฏหลักฐานสัญญาณ เลขคลื่นของไคโตซาน จากเทคนิค TGA พบว่าไคโตซานที่สกัดได้มีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดี จากนั้นนำเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซานที่สกัดได้มาเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพ ลักษณะของแผ่นฟิล์มที่ได้เป็นแผ่นบาง พื้นผิวเรียบ มีสีน้ำตาล ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR พบปรากฏหลักฐานสัญญาณเลขคลื่นการ เกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างไคโตซานและเซลลูโลส โดยมีกรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวางสำเร็จ จากเทคนิค TGA พบว่าแผ่นกรองชีวภาพมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดี ผลของความเข้มข้นของเซลลูโลสในแผ่นฟิล์ม ชีวภาพร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพต่อการกำจัดสีย้อมมากที่สุด จากการศึกษา pH 7 ในช่วงเวลา 60 – 120 นาที มีความเหมาะสมที่สุดในการดูดซับสีย้อม จากการศึกษามีความเป็นไปได้ที่จะนำแผ่นกรองชีวภาพที่เตรียม ได้มาประยุกต์ใช้ในด้านเทคโนโลยีวัสดุ เช่นวัสดุบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมกระจูด น้ำเสียจากอุตสาหกรรมสีย้อม ผ้า พอลิเมอร์ดูดซับน้ำหรือไฮโดรเจล รวมถึงแผ่นฟิลม์สำหรับบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

คำสำคัญ: ฟางข้าวสังข์หยด / เส้นใยเซลลูโลส / ไคโตซาน / แผ่นฟิล์มชีวภาพ / ดูดซับสีย้อม

Cellulose fiber extracted from Sang Yod rice straw and Chitosan from fish scales for biopolymer film application for dye adsorbent

Sawika Benlato[1], Thanphitcha Kumyai[1], Parinda Hongkaew[1] and Supawadee Sukdam[2*]

[1]Bangkaew Pittayakom School, Bangkaew District, Phatthalung Province
[2]Bangkaew Pittayakom School, Phatthalung Secondary Educational Service Area Office
* Corresponding author: (supawadee.sukdam@gmail.com)

Abstract

In this research work, the cellulose fibers were extracted from indigenous rice straw (Sang Yod Phatthalung rice). The chemical composition cellulose contents were determined. It was found that the cellulose content from rice straw were 25.68%, respectively. The results of FTIR analysis revealed the evidence of wave numbers of functional groups in the structure of cellulose fibers. From TGA analysis, the extracted cellulose fibers exhibited high thermalstability. Additionally, chitosan was extracted from fish scales collected in Phatthalung province, with a chitosan content of 40.24%. The results FTIR analysis revealed the evidence of wave numbers of functional groups in the structure of chitosan, and TGA results demonstrated its good thermal stability. The extracted cellulose fibers and chitosan were then used to prepare biopolymer films. The resulting films were thin, smooth, and brown in color. FTIR analysis confirmed the successful crosslinking reaction between chitosan and cellulose using citric acid as a crosslinking agent. TGA results further confirmed the high thermal stability of the biopolymer film. The study found that a film containing 5% cellulose exhibited the highest efficiency in dye adsorption. The optimal conditions for dye adsorption were at pH 7, with an adsorption time between 60 and 120 minutes. From the results in this study, it is possible to apply the prepared biopolymer film in the field of material technology i.e., material for treating wastewater from the dyeing industry, water-absorbing polymer or hydrogel including biodegradable packaging films.

Keywords: Rice straw, Cellulose fiber, Chitosan, Biopolymer film, Dye adsorption

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์จักสานจากกระจูดถือเป็นงานหัตถกรรมที่มีชื่อเสียงของจังหวัดพัทลุง และได้รับการพัฒนา ให้เป็นสินค้า OTOP ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสร้างรายได้และส่งเสริมเศรษฐกิจในระดับชุมชน [1] ปัจจุบันมีการออกแบบและพัฒนาให้มีความร่วมสมัยมากขึ้น เพื่อให้ สอดคล้องกับรสนิยมและความต้องการของผู้บริโภค อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตจักสานจากกระจูดมักใช้สี ย้อมที่มีสารเคมีเป็นองค์ประกอบ ซึ่งหากถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ได้รับการบำบัดอย่างเหมาะสม อาจ ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำเสียที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สูง โลหะหนักปนเปื้อน และมีสาร แขวนลอยที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ [8] การพัฒนาแนวทางบำบัดน้ำเสียจาก กระบวนการผลิตให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จึงเป็นประเด็นที่ควรได้รับการส่งเสริม ทั้งในด้านการวิจัย การ ปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้ผลิตภัณฑ์จักสานจากกระจูดเติบโตอย่างยั่งยืน ควบคู่ไปกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

จังหวัดพัทลุงมีพื้นที่ถือครองเพื่อการเกษตรรวมทั้งสิ้น 1,495,976 ไร่ โดยในจำนวนนี้เป็นพื้นที่ปลูก ข้าว 150,041.82 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 10.03 ของพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมด และสามารถให้ผลผลิตรวม 66,647.40 ตันต่อปี [9] ข้าวพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกส่วนใหญ่เป็นข้าวพื้นเมือง เช่น ข้าวสังข์หยดพัทลุง และข้าวเฉลี้ยงพัทลุง ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 450 กิโลกรัมต่อไร่ ภายหลังการเก็บ เกี่ยวเหลือฟางข้าวในปริมาณมากมักถูกกำจัดโดยการเผา ซึ่งการเผาฟางก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ [6] การนำฟางข้าวมาเพิ่มมูลค่าจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการลดผลกระทบด้าน สิ่งแวดล้อม จากการศึกษาทางเคมีพบว่า ฟางข้าวประกอบด้วยโฮโลเซลลูโลสในปริมาณร้อยละ 63.32 และมี เซลลูโลสสูงถึงร้อยละ 49.42 [5] ซึ่งสามารถนำฟางข้าวไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ เป็นวัสดุเสริมแรงในพอลิเมอร์ เป็นต้น การพัฒนาแนวทางในการใช้ประโยชน์จากฟางข้าวอย่างคุ้มค่าจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และเพิ่มโอกาสทางเศรษฐกิจให้แก่เกษตรกรในท้องถิ่น

จังหวัดพัทลุงมีพื้นที่ติดกับลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ทำให้ชาวบ้านบริเวณดังกล่าวประกอบอาชีพประมง พื้นบ้านเป็นหลัก หนึ่งในของเสียจากการทำประมงคือเกล็ดปลา ซึ่งมักถูกทิ้งโดยไม่มีการนำมาใช้ให้เกิด ประโยชน์ จากงานวิจัยพบว่าเกล็ดปลามีองค์ประกอบสำคัญ เช่น ไคโตซาน ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเป็น ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงในอุตสาหกรรมวัสดุชีวภาพ [7] การนำเกล็ดปลากลับมาใช้ประโยชน์ไม่ เพียงช่วยลดปริมาณของเสียจากการทำประมง แต่ยังสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน ซึ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด อีกทั้งไคโตซานซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่ คุณสมบัติพิเศษในการจับกับไอออนของโลหะหนักผ่านหมู่ไฮดรอกซิล ทำให้สามารถใช้เป็นสารดูดซับมลพิษ เช่น สีย้อมที่มีพิษได้และไคโตซานยังสามารถเปลี่ยนเป็นฟองน้ำที่มีโครงสร้างรูพรุนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพใน การกรองและบำบัดมลพิษทางน้ำได้ [17]

ดังนั้น การศึกษาวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตสำหรับการดูดซับสีย้อม โดยใช้วัสดุเหลือทิ้ง จากชุมชนให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งนี้ ผู้วิจัยให้ความสนใจในการสังเคราะห์แผ่นฟิล์มชีวภาพจากเซลลูโลส-ไคโตซาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมจากกระจูด ซึ่งเป็นหนึ่งในปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในพื้นที่ นอกจากนี้ วัสดุดูดซับที่พัฒนาขึ้นยังสามารถต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ช่วยลด ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสนับสนุนแนวทางการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการสกัดและสมบัติทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวสังข์หยดและไคโตซานจากเกล็ดปลา
2. เพื่อศึกษากระบวนการเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพเซลลูโลสไคโตฟาน
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและปัจจัยที่มีผลในการดูดซับสีย้อมของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

3. ขอบเขตของการศึกษา

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดลอง

1) ตัวแปรต้น คือ แผ่นฟิล์มชีวภาพเส้นใยเซลลูโลสไคโตซาน จากวัสดุเหลือทิ้งในพื้นที่จังหวัดพัทลุง

2) ตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมของแผ่นฟิล์มชีวภาพเส้นใยเซลลูโลสไคโตซาน

3) ตัวแปรที่ควบคุม คือ ความเข้มข้นของสีย้อม

4. วิธีการศึกษา

4.1 กำหนดจุดศึกษา

การสกัดฟางข้าว ใช้ฟางข้าวสังข์หยดพัทลุง จากตำบลนาปะขอ อำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุง และการสกัดไคโตซาน ใช้เกล็ดปลา จากตำบลจากตำบลนาปะขอ อำเภอบางแก้ว จังหวัดพัทลุง และ จากตำบลทะเลน้อย อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง

4.2 การดำเนินงานวิจัย

4.2.1 การสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวสังข์หยด

การสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวสังข์หยดพัทลุงเริ่มจากการตัดฟางข้าวให้มีขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร ล้างด้วยน้ำสะอาดอุณหภูมิ 60°C นำฟางข้าวไปตากแดดให้แห้ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำฟางข้าวชั่งน้ำหนัก 50 กรัม เติมสารละลาย 17% w/v NaOH ให้ความร้อนอุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง นำฟางข้าวที่ผ่านการกำจัดลิกนินไปฟอกขาวด้วยสารละลาย 10% w/v H_2O_2 ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง นำมาไฮโดรไลซิสเยื่อที่ผ่านการฟอกสีด้วยสารละลาย 2 M HCl ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำเส้นใยเซลลูโลสที่ได้ล้างด้วยน้ำกลั่นให้เป็นกลาง (ทดสอบด้วยกระดาษยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์) จากนั้นกรองและนำเส้นใยเซลลูโลสที่ได้ไปทำให้แห้ง [14]

4.2.2 การสกัดไคโตซานจากเกล็ดปลา

การสกัดไคโตซานจากเกล็ดปลาเริ่มจากล้างเกล็ดปลาด้วยน้ำสะอาด และนำเกล็ดปลาไปตากแดดให้แห้ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเกล็ดปลาชั่งน้ำหนัก 50 กรัม เติมสารละลาย 2 M HCl ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง นำเกล็ดปลาที่ผ่านการกำจัดโปรตีนและไขมันไปกำจัดแร่ธาตุด้วยสารละลาย 2 M NaOH ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง นำมาทำให้ไคโตซานบริสุทธิ์มากขึ้นและลดสิ่งเจือปนด้วยสารละลาย 95% CH_3CH_2OH จากนั้นกรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง จะได้เป็นไคติน และนำไคตินมาปรับสภาพด้วยสารละลาย 2 M NaOH ที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา15นาที จากนั้นกรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนเป็นกลาง และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้เป็นไคโตซาน [18]

4.2.3 การศึกษาร้อยละผลได้ของเส้นใยเซลลูโลสกัดและไคโตซานสกัด

การศึกษาร้อยละผลได้ของเส้นใยเซลลูโลสกัดและไคโตซานสกัดนำเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวและไคโตซานจากเกล็ดปลามาคำนวณหาผลผลิตร้อยละ โดยใช้สูตร ผลผลิตร้อยละ = (ผลผลิตที่แท้จริง/ผลผลิตตามทฤษฎี) x 100 [14]

4.2.4 การศึกษาโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซาน

การศึกษาโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซานนำตัวอย่างวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยFT-IR โดยนำตัวอย่างอบไล่ความชื้นวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR โดยการวัดการดูดกลืนรังสีในช่วงเลขคลื่น 4000–400 cm^{-1} [13]

4.2.5 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซาน

การศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซานนำตัวอย่าง มาวิเคราะห์โดยใช้เครื่องTGAโดยนำตัวอย่างอบไล่ความชื้น บดตัวอย่างให้เป็นผงละเอียด นำไปวิเคราะห์ในช่วง 30 °C - 800 °C อัตราการให้ความร้อน 10.00°C/min ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน [14]

4.2.6 การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพ

การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพเริ่มจากการนำเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซานที่สกัดได้มาผสมกัน โดยใช้กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวาง ที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยปริมาณเซลลูโลสและไคโตซานที่ใช้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1. การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพด้วยเซลลูโลสและไคโตซาน (ชุดทดลอง)

สูตรที่	เซลลูโลส (%)	น้ำหนักไคโตซาน (g)	น้ำหนักเซลลูโลสที่สกัดได้ (g)
1	0	5.000	0.000
2	2.5	4.875	0.125
3	5	4.750	0.250
4	10	4.500	0.500
5	15	4.250	0.750

หมายเหตุ ทดลองการเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพเซลลูโลสไคโตซาน (ชุดควบคุม) โดยใช้เซลลูโลสและไคโตซานมาตรฐาน

4.2.7 ศึกษาผลของความเข้มข้นของเซลลูโลสที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

นำแผ่นฟิล์มชีวภาพสูตรที่ 1 – 5 มาวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 655 นาโนเมตร และคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม MB removal (%) = $[(C_0 - C_e) / C_0] \times 100$ โดยที่ C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นก่อนบำบัด (mg/L) C_e = ความเข้มข้นหลังบำบัด (mg/L)

4.2.8 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของแผ่นฟิล์มชีวภาพ นำแผ่นฟิล์มชีวภาพมาวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย ATR-FTIR นำตัวอย่างอบไล่ความชื้น วัดการดูดกลืนรังสีช่วงอินฟราเรดที่อยู่ในช่วงเลขคลื่น 4000–400 cm^{-1} [14]

4.2.9 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มชีวภาพ นำแผ่นฟิล์มชีวภาพมาวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง TGA โดยนำตัวอย่างอบไล่ความชื้น นำไปวิเคราะห์ที่อุณหภูมิในช่วง 30 °C - 800 °C อัตราการให้ความร้อน 10.00°C/min ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน [14]

4.2.10 การศึกษาผลของpH ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม เตรียมสารละลาย Methylene blue (MB) เข้มข้น 25 ppm ปริมาตร 25 mL ที่ pH 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 และนำไปแช่ในแผ่นฟิล์มชีวภาพสูตรที่ 3 (เซลลูโลสร้อยละ 5) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงและนำมาคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

4.2.11 การศึกษาผลของเวลาต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม เตรียมสารละลาย Methylene blue เข้มข้น 25 ppm ปริมาตร 25 mL ที่ pH 7 และนำไปแช่ในแผ่นฟิล์มชีวภาพสูตรที่ 3 (เซลลูโลสร้อยละ 5) เก็บตัวอย่างสารละลายในช่วงเวลาต่าง ๆ คือ 0, 2, 5, 20, 60 และ120 นาที จากนั้นนำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงและนำมาคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

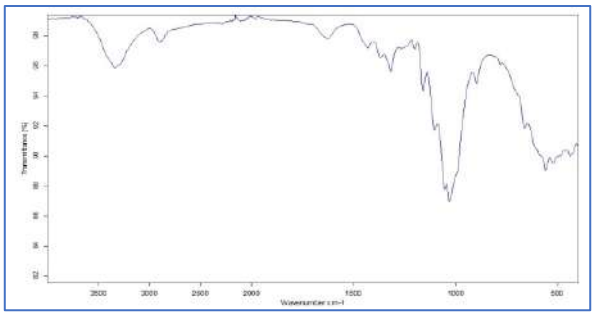
5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 การสกัดและศึกษาผลผลิตร้อยละเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซาน

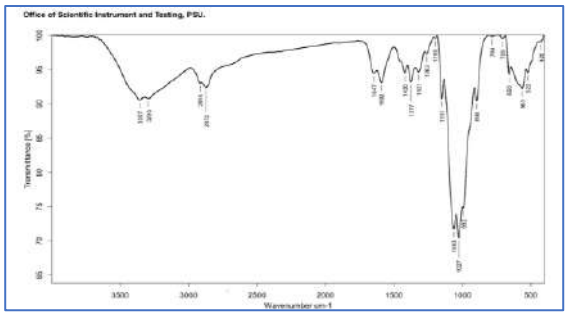
ผลผลิตร้อยละของเซลลูโลสเฉลี่ยร้อยละ 25.68 และผลผลิตร้อยละของไคโตซานเฉลี่ยร้อยละ 40.24

5.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซาน

5.2.1 การศึกษาโครงสร้างทางเคมี (หมู่ฟังก์ชันของเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซาน)



รูปที่ 5.1 สเปกตราอินฟราเรดของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าว

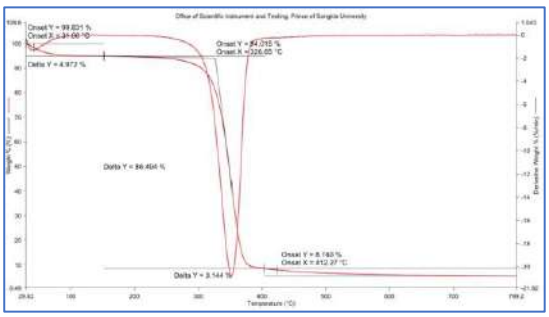


รูปที่ 5.2 สเปกตราอินฟราเรดของไคโตซานจากเกล็ดปลา

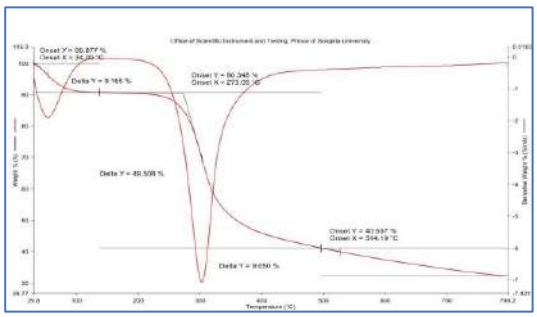
รูปที่ 5.1 แสดงอินฟราเรดสเปกตราของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าว พบพีคหลักที่ 3400-3340 cm^{-1} (พันธะ O-H) และ 1028 cm^{-1} (พันธะไกลโคซิดิก) รูปที่ 5.2 แสดงอินฟราเรดสเปกตราของไคโตซานเกล็ดปลา พบพีคที่ 3200-3600 cm^{-1} (หมู่ไฮดรอกซิลและอะมิโน), 1650-1670 cm^{-1} (หมู่คาร์บอนิลจากไคติน) และ 1020-1100 cm^{-1} (พันธะไกลโคซิดิกในไคโตซาน)

5.2.2 ศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยเซลลูโลสและไคโตซาน

สมบัติทางความร้อนของเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวแสดงดังรูปที่ 5.3 ที่ได้แสดงการลดลงของน้ำหนักตัวอย่างเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าสูญเสียน้ำที่ 80°C สลายเฮมิเซลลูโลสและลิกนินที่ 300°C และสลายแอลฟาเซลลูโลสที่ 380°C แสดงให้เห็นว่าเซลลูโลสมีความเสถียรทางความร้อนสูง และสมบัติทางความร้อนของไคโตซานเกล็ดปลาแสดงดังรูปที่ 5.4 และตารางรางที่ 5.1 ที่ได้แสดงการลดลงของน้ำหนักตัวอย่างไคโตซานที่ผ่านการสกัดเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าไคโตซานเกล็ดปลาสูญเสียน้ำที่ 80°C และสลายพันธะไกลโคซิดิกรวมถึงโปรตีนและสิ่งเจือปนที่ 200-350°C



รูปที่ 5.3 เทอร์โมแกรมของเส้นใยเซลลูโลส



รูปที่ 5.4 เทอร์โมแกรมของไคโตซาน

5.3 การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพ

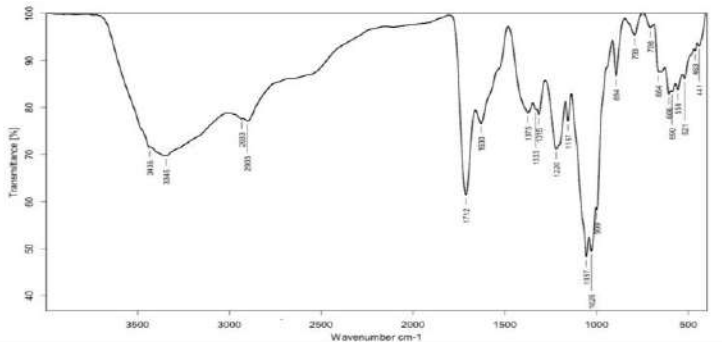
5.3.1 การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพด้วยการเชื่อมขวาง

การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพด้ได้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง พื้นผิวเรียบ มีสีน้ำตาล โดยเส้นใยเซลลูโลสมีการกระจายตัวทั่วทั้งเพลท เมื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลสในแผ่นฟิล์มชีวภาพทำให้แผ่นฟิล์มชีวภาพมีสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น กลไกการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นระหว่างหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxylic) ของกรดซิตริก กับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของสายโซ่เซลลูโลสและไคโตซาน และเกิดเป็นพันธะโควาเลนซ์ของหมู่เอสเทอร์ (COO) เชื่อมโยงพอลิเมอร์ 2 สายโซ่เข้าด้วยกัน

ตารางที่ 5.2 แผ่นฟิล์มชีวภาพเซลลูโลสฟางข้าวและไคโตซานโดยมีกรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวาง

เซลลูโลส (%)	น้ำหนักไคโตซาน (g)	น้ำหนักเซลลูโลส (g)	แผ่นฟิล์มชีวภาพที่เตรียมได้
0	5.000	0.000	
2.5	4.875	0.125	
5	4.750	0.250	
10	4.500	0.500	
15	4.250	0.750	

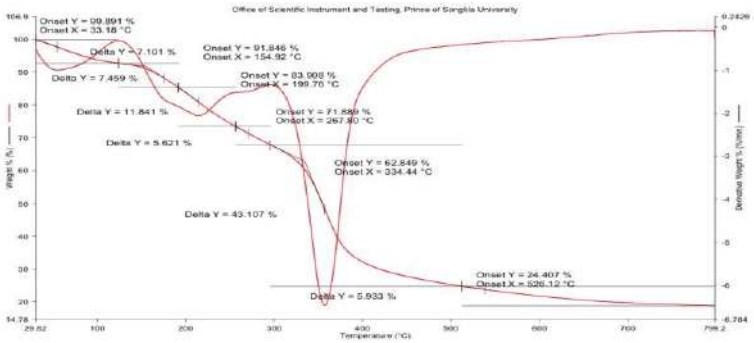
5.3.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของแผ่นฟิล์มชีวภาพ



รูปที่ 5.5 สเปกตราอินฟราเรดของแผ่นกรองชีวภาพ

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของแผ่นกรองชีวภาพด้วยเทคนิค FTIR ได้สเปกตราดังรูปที่ 5.5 พบพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3400-3300, 2900, 1712, 1375, 1220, 1054, 1029 cm^{-1} ซึ่งบ่งชี้ถึงหมู่ O-H, C-H, CH_2, aryl-alkyl ether, C-O-C และ C-C พีคที่ 1712 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ Carbonyl (C=O) จากปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างไคโตซานและเซลลูโลส โดยใช้กรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวาง

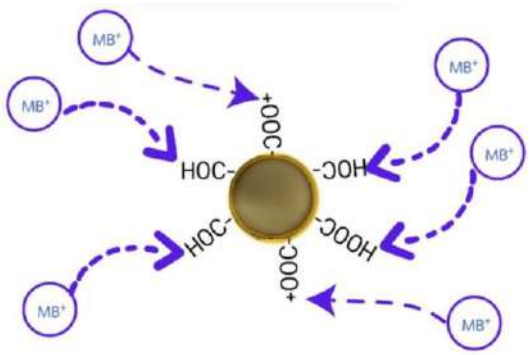
5.3.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มชีวภาพ



รูปที่ 5.6 เทอร์โมแกรมของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

สมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มชีวภาพแสดงดังรูปที่ 5.6 ได้แสดงการลดลงของน้ำหนักแผ่นฟิล์มชีวภาพเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าที่อุณหภูมิประมาณ 80 °C เกิดการระเหยไปของความชื้นในเส้นใย ที่อุณหภูมิประมาณ 250 °C – 350 °C ตัวอย่างมีน้ำหนักลดลงประมาณร้อยละ 25 -50 เกิดการสลายของแอลฟาเซลลูโลสและการสลายตัวของสายโซไคโตซาน รวมถึงหมู่ไฮดรอกซิลและกลุ่มอะมิโนและองค์ประกอบที่เหลือ ถ้าเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มชีวภาพกับไคโตซานและเส้นใยเซลลูโลสก่อนการเชื่อมขวางพบว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพมีเสถียรทางความร้อนที่ดีกว่า

5.4 ศึกษาผลของความเข้มข้นของเซลลูโลสแผ่นฟิล์มชีวภาพที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม



รูปที่ 5.7 กลไกการดูดซับสีย้อมของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของเซลลูโลสที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเซลลูโลสสกัด 0, 2.5, 5, 10 และ 15 ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าเท่ากับร้อยละ 35.85, 72.03, 79.73, 68.63 และ 58.63 ตามลำดับ และ (ตารางที่ 5.5) ที่ความเข้มข้นเซลลูโลสมาตรฐาน 0, 2.5, 5, 10 และ 15 ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับร้อยละ 36.49, 70.55, 81.65, 67.04 และ55.39 ตามลำดับ พบว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพเซลลูโลสร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมมากที่สุด และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลสประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ กลไกการดูดซับสีย้อม MB (รูปที่ 5.7) พบว่า หมู่ OH ของไคโตซานและเซลลูโลสสามารถจับกับสีย้อม MB ได้ด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล พันธะไฮโดรเจน หมู่ C=O และแรงดึงดูดระหว่างขั้ว

5.5 ศึกษาผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

การศึกษาผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่ pH 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 7.0 และ 8.0 ที่ ระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมมีค่าเท่ากับร้อยละ 60.01, 68.52, 69.83, 71.47,73.45, และ 69.51 ตามลำดับจากการทดลองนี้ค่า pH ที่ดูดซับสีย้อมได้ดีที่สุด คือ pH 7.0 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐฐานิตา มาลากุล ณ อยุธยา ที่ได้ทำการศึกษาการแช่แผ่นฟิล์มชีวภาพในน้ำปราศจากไอออนที่ pH 7.0 เป็น 21 วัน พบว่าไคโตซานถูกเชื่อมขวางกับเจนิพิน จะเกิดโครงสร้างไคโตซานขึ้น โครงสร้างนี้ช่วยลดการละลายในน้ำและปรับปรุงความต้านทานโดยรวมของฟองน้ำต่อการละลายน้ำได้ดีขึ้น [4]

5.6 การศึกษาผลของเวลาต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

จากการศึกษาผลของเวลาต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่ระยะเวลา 0, 15, 30, 60, 90 และ120 นาที พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมมีค่าเท่ากับร้อยละ 39.30, 57.40, 59.78, 70.75, 72.90 และ 73.54 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเวลาที่นานขึ้นอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับดีขึ้นด้วย ที่เวลา 60-120 นาที คือ ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมจะมีค่าสูงสุด

6. สรุปผลการศึกษา

แผ่นฟิล์มชีวภาพฟางข้าวสังข์หยดดูดซับสีย้อมทำได้โดยนำฟางข้าวและนำเกล็ดปลามาปรับสภาพด้วยด่างและกรด นำเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพโดยมีกรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวาง สรุปผลได้ดังนี้

การสกัดเซลลูโลสจากฟางข้าว ให้ผลผลิตเฉลี่ยร้อยละ 25.68 พบโครงสร้างทางเคมีของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) และพันธะไกลโคซิดิก (C-O-C) โดยเส้นใยเซลลูโลสมีเสถียรภาพทางความร้อนสูง การสกัดไคโตซานจากเกล็ดปลา ให้ผลผลิตเฉลี่ยร้อยละ 40.24 พบหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) หมู่อะมิโน (H-N-H) และพันธะไกลโคซิดิก (C-O-C) แผ่นฟิล์มชีวภาพที่พัฒนามีลักษณะบาง เรียบ และสีน้ำตาล เกิดการเชื่อมขวางระหว่างไคโตซานและเซลลูโลสได้สำเร็จ มีเสถียรภาพทางความร้อนสูง จากการทดสอบพบว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพเซลลูโลสร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพกำจัดสีย้อมสูงสุด ร้อยละ79.30 สารละลายมี pH 7.0 ในช่วงเวลาในการดูดซับ 60-120 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับสีย้อม

การสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวสังข์หยดและไคโตซานจากเกล็ดปลาจังหวัดพัทลุง

จากการสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าวสังข์หยด พบว่าเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวมีผลผลิตร้อยละ 25.68 และจากการวิเคราะห์ด้วย ATR-FTIR พบพีคที่ 3400-3340 cm^{-1} และ 1028 cm^{-1} เกิดจากการสั่นของพันธะ O-H และพันธะ C-O-C ตามลำดับ พีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1626 cm^{-1} เกิดจากการสั่นของพันธะ O-H ภายในโครงสร้างของเซลลูโลส สมบัติทางความร้อนของเส้นใยเซลลูโลสพบว่ามีปริมาณเซลลูโลสสูง และสิ่งเจือปนอื่น ๆ อยู่ต่ำทำให้เกิดเสถียรภาพทางความร้อน จากการสกัดไคโตซานจากเกล็ดปลาพบว่าได้ผลผลิตร้อยละ 40.24 และจากผลการวิเคราะห์ด้วยATR-FTIR พบพีคที่ 3200 - 3600 cm^{-1} เกิดจากการสั่นแบบยืดของหมู่ไฮดรอกซิล -OH และหมู่อะมิโน $-NH_2$ พีคที่ 1650 - 1670 cm^{-1} และ 1020 - 1100 cm^{-1} เกิดจากการสั่นของพันธะไกลโคซิดิกในโครงสร้างไคโตซาน สมบัติทางความร้อนของไคโตซานจากเกล็ดปลามีเสถียรภาพความร้อนที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในฟิล์มชีวภาพ หรือสารเคลือบที่ต้องทนต่ออุณหภูมิระดับปานกลางหากนำไปใช้ในการเสริมสมบัติของวัสดุ

การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพ

จากการเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพโดยใช้เส้นใยเซลลูโลสที่สกัดจากฟางข้าวสังข์หยดและไคโตซานที่สกัดจากเกล็ดปลา พบว่าได้ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของแผ่นฟิล์มชีวภาพด้วยเทคนิค FTIR พบพีคที่ 3300, 2800, 1428, 1375,1246, 1098 และ 1061 cm^{-1} ของหมู่ O-H (O-H stretching), C-H (C-H stretching), CH_2 (CH_2 scissoring), C-H (C-H deformation), aryl-alkyl ether, C-O-C (C-O-C stretching) และ C-C (C-C stretching) การเชื่อมขวางพบพีคสำคัญที่ 1720 cm^{-1} โดยพีคดังกล่าแสดงหมู่ฟังก์ชันของหมู่ Carbonyl ของสารประกอบเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเชื่อมขวางระหว่างไคโตซานและเซลลูโลสโดยมีกรดซิตริกเป็นสารเชื่อมขวางได้สำเร็จ และถ้าเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของแผ่นฟิล์มชีวภาพกับไคโตซานและเส้นใยเซลล์ลูโลสก่อนการเชื่อมขวางพบว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพมีเสถียรทางความร้อนที่ดีกว่าเนื่องจากการเติมไคโตซานเข้าไปในโครงสร้างของเซลลูโลสช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ทำให้ฟิล์มสามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นได้โดยไม่เกิดการสลายตัวง่าย

การศึกษาผลของความเข้มข้นของเซลลูโลสที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของเซลลูโลสที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่ความเข้มข้นเซลลูโลส 0, 2.5, 5, 10 และ 15 ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าเท่ากับร้อยละ 35.85, 72.03, 79.73, 68.63 และ 58.63 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 5 มีประสิทธิภาพต่อการกำจัดสีย้อมมากที่สุด และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลสพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลสทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับมีจำกัดจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการดูดซับมีค่าลดลง และกลไกการดูดซับสีย้อม MB (รูปที่ 4.7) พบว่า

หมู่ OH ของไคโตซานและเซลลูโลสสามารถจับกับสีย้อม MB ได้ด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล พันธะไฮโดรเจน หมู่ C=O และแรงดึงดูดระหว่างขั้ว

จากการศึกษาผลของ pH ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม ที่ pH 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 7.0 และ 8.0 ที่ ระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมมีค่าเท่ากับร้อยละ 60.01, 68.52, 69.83, 71.47,73.45, และ 69.51 ตามลำดับ และเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เพราะสีย้อมที่ละลายน้ำจะแสดงประจุลบ และแผ่นฟิล์มชีวภาพที่อยู่ในสารละลายมีค่า pH มากกว่า 7.0 จะมีพื้นที่ผิวในการดูดซับเป็นประจุบวก จึงทำให้มีประสิทธิภาพการดูดซับในสารละลายที่ pH มากกว่า 7.0 ดีกว่าสารละลายที่ pH น้อยกว่า 7.0 เพราะเมื่อสารละลายมีค่า pH ลดลงน้อยกว่า 7.0 จะทำให้แผ่นกรองชีวภาพมีพื้นผิวการดูดซับเป็นบวกเหมือนกับสารละลายสีย้อม ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับลดลง ซึ่งจากผลการทดลองนี้ค่า pH ที่ดูดซับสี ย้อมได้ดีที่สุด คือ pH 7.0

จากการศึกษาผลของเวลาต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมที่ระยะเวลา 0, 15, 30, 60, 90 และ120 นาที พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมมีค่าเท่ากับร้อยละ 39.30, 57.40, 59.78, 70.75, 72.90 และ 73.54 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเวลาที่นานขึ้นอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับดีขึ้นด้วย ที่เวลา 60-120 นาที คือ ประสิทธิภาพการกำจัดจะมีค่าสูงสุด และเริ่มคงที่ เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาใน การดูดซับจะทำให้การดูดซับเพิ่มขึ้น ซึ่งในช่วงแรกการดูดซับเกิดเร็วมาก เนื่องจาก concentration gradient ในสารละลาย และที่ว่างบนผิวของตัวดูดซับยังคงมีมากทำให้ดูดซับสีย้อมได้มาก หลังจากนั้น การดูดซับจะลดลงจนเข้าสู่ภาวะสมดุล เพราะที่ว่างเหล่านั้นดูดซับสีย้อมไว้เต็มที่แล้ว

ข้อเสนอแนะการทดลอง

1) การปรับสภาพเส้นใยมีความสำคัญต่อพื้นผิวของแผ่นฟิล์มชีวภาพ ดังนั้นอาจจะปรับสภาพเส้นใยด้วยวิธีอื่นๆเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับแผ่นฟิล์มชีวภาพให้ดีขึ้น

2) ศึกษาไอโซเมอร์ในการดูดซับและประสิทธิภาพในการคายซับ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงการคลัง คลินิกภาษี (2565). ผลิตภัณฑ์จักสานจากกระจูดจังหวัดพัทลุง.https://phatlung.nso.go.th/statistics% 20report.

[2] กิตติพงษ์ พรหมจันทร์ (2565). การสกัดไคโตซานจากเศษเปลือกกุ้งขาวและการประยุกต์ใช้ในการปลูกพรรณไม้น้ำลานไพลิน. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 16(3), 1-10.

[3] ชัชวาลย์ สุขมั่น. 2557. การผลิตแผ่นคอโพสิตดูดซับเสียงโดยใช้ผักตบชวา-ฟางข้าว. มหาลัยวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.

[4] ณัฐฐานิตา มาลากุล ณ อยุธยา. (2566). การพัฒนาฟองน้ำคอมโพสิตไคโตซาน/เซลลูโลสสำหรับการดูดซับสีย้อมในน้ำเสียโดยใช้สารเจนิพินเป็นสารเชื่อมขวาง [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต,].http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2023/TU_2023_6309035704_18207_27815.pdf

[5] ณัฏฐ์ธวดี จินาพันธ์, เจิมขวัญ สังข์สุวรรณ, สุทธิรา สุทธสุภา, สุฐพัศ คำไทย. คุณสมบัติของฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเยื่อฟางข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 2555; 43(3 (พิเศษ):615–20.

[6] พรรณทิวา คำดี, นภดล ปั้นจันทร์ และชลิดา เนียมนุ้ย. 2558. สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเซลลูโลสจากฟางข้าว. ว.วิทย์เกษตรศาสตร์. 46(3)(พิเศษ), 233-236.

[7] วิจิตรา ตุ้งซี่ และ ศรัณย์ รักษาพราหมณ์ และ ณัฐพล ราชูภิมนต์. (2567) การสกัดไคโตซานจากเศษเปลือกกุ้งขาวและการประยุกต์ใช้ในการปลูกพรรณไม้น้ำลานไพลิน. วารสารเกษตรพระวรุณ, 21(2), 77-82. 10.14456/paj.2024.39.

[8] วารุณี ตานันต์ และ สายันต์ แสงสุวรรณ. 2557. พอลิเมอร์ดูดซับน้ำได้มาก: การสังเคราะห์ การวิเคราะห์ และ การประยุกต์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 16(2),63-81.

[9] ศูนย์วิจัยข้าวพัทลุง (2567)

[10] อุษณี อ่อนจร, สิทธิศักดิ์ แซ่โกว, ฐิตินันท์ พมมา, จักริน พะสอน, วีรชาติ เพลินนวม, และจิราภรณ์ กิจสุวรรณ (2565). การสกัดไคโตซานด้วยเทคนิคการสกัดของแข็ง-ของเหลวเพื่อการยับยั้งแบคทีเรีย. วารสารวิชาการและวิจัยสถาบันเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 3(1), 44-52.

[11] อรดี ฤทธิชัย และ ศศิธร มันเจริญ. 2557. การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยถ่านกัมมันต์จากเปลือกปู. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 19(1),131-140.

[12] Caza, N., Bewtra, J.A., Biswas, N., and Taylor, K.E. 1998. Removal of Phenolic Compounds from Synthetic Wastewater Using Soybean Peroxidase. Water Research. 33, 3012- 3018.

[13] Iulai. N., Carmen. Z., Raluca. I.B., Sergiu C. and Daniela. S. 2020. Adsorptive materials based on cellulose : preparation, characterization and application for copper ions retention. Cellulose Chemistry and Technology. 54(5-6), 579-590.

[14] Oliveira, J.P., Bruni, G.P., Lima, K.O., Halal, S.L.M., Rosa, G.S., Dias, A.R.G. and Zavareze, E.R. 2017. Cellulose fiber extracted from rice and oat husks and their application in hydrogel. Food Chemistry. 221, 153-160.

[15] Thakur, M., Sharma, A., Ahlawat, V., Bhattacharya, M. and Goswami, S. 2020. Process optimization for the production of cellulose nanocrystals from rice atraw derived α-cellulose. Material Science for Energy Technalogies. 3, 328-334.

[16] Ping Lu and You-Lo Hsieh. (2012). Preparation and characterization of cellulose nanocrystals from rice straw. Carbohydrate Polymers 87 : 564-573.

[17] Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. Progress in Polymer Science, 31(7), 603-632.

[18] Younes and Rinaudo. (2015). Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties, and applications. Marine Drugs. 13(3), 1133.

การกักเก็บคาร์บอนในดินของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ที่มีการต่อระบบแบบผสมผสาน (Hybrid Constructed Wetlands)

ดิรดา บุญนารอด*, ตุลวิทย์ สถาปนจารุ, อดิศร ทรงคุณ, พรชัย นุ่มวงศ์, และ ศุภวิชญ์ รุ่งเหมือนฟ้า

ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

** Corresponding author: dirada.bo@ku.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ที่มีการต่อระบบแบบผสมผสาน (Hybrid Constructed Wetlands) ในการกักเก็บคาร์บอน โดยพิจารณารูปแบบการไหลของน้ำเสียภายในระบบ ได้แก่ ระบบไหลแนวดิ่ง (Vertical Flow Constructed Wetlands: VFCWs) ระบบไหลแนวราบ (Horizontal Flow Constructed Wetlands: HFCWs) และระบบที่มีการเพิ่มชั้นตัวกรองทางธรรมชาติ (Vertical Flow Wetland with Biological Filter: VFWBF) รวมถึงระบบที่มีการผสมผสานรูปแบบการไหลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและกักเก็บคาร์บอน ผลการศึกษาพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการต่อระบบแบบผสมผสาน เช่น VFWBF+ HFCWs, VFCWs+ VFWBF และ HFCWs+ VFCWs มีประสิทธิภาพสูงในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินและการกักเก็บคาร์บอนผ่านการเจริญเติบโตของพืชเมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมที่ไม่มีชั้นตัวกลาง นอกจากนี้ยังพบว่าระบบที่มีการเพิ่มชั้นตัวกรองทางธรรมชาติสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีขึ้น ส่งผลให้เกิดการสะสมของอินทรียวัตถุในดินมากขึ้น ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการกักเก็บคาร์บอนของระบบบึงประดิษฐ์ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ที่มีการออกแบบระบบไหลแบบผสมผสานสามารถเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการจัดการน้ำเสียเชิงนิเวศและการกักเก็บคาร์บอนเพื่อสนับสนุนการลดก๊าซเรือนกระจก

คำสำคัญ: การกักเก็บคาร์บอน / การไหลแบบผสมผสาน / ระบบบำบัดน้ำเสีย / บึงประดิษฐ์ / อินทรียวัตถุในดิน

Carbon sequestration in soil of hybrid constructed wetlands wastewater treatment systems.

Dirada Boonnarod*, Tunlawit Satapanajaru, Adisorn Songkun, Phonchai Noomvomg, and Supawit Rungmueanfa

Department of Environmental technology and Management, Faculty of Environment, Kasetsart University, Thailand.
** Corresponding author: dirada.bo@ku.th*

Abstract

This article presents on evaluating the efficiency of hybrid constructed wetlands for wastewater treatment and carbon sequestration by considering different flow patterns within the system. The studied flow configurations include vertical flow constructed wetlands (VFCWs), horizontal flow constructed wetlands (HFCWs), and vertical flow wetlands with biological filters (VFWBF). Additionally, hybrid flow systems were assessed for their potential to enhance wastewater treatment efficiency and carbon sequestration. The results indicate that hybrid constructed wetlands, such as VFWBF+ HFCWs, VFCWs+ VFWBF and HFCWs+ VFCWs, exhibit high efficiency in increasing soil organic carbon and facilitating carbon sequestration through plant growth compared to control systems without filter media layers. Moreover, systems incorporating natural filtration layers demonstrated improved wastewater treatment performance, leading to higher organic matter accumulation in the soil—an essential mechanism for carbon sequestration in constructed wetlands. This study highlights that hybrid constructed wetlands with integrated flow designs present a promising ecological approach for wastewater management and carbon sequestration, contributing to greenhouse gas reduction efforts.

Keywords: carbon sequestration / hybrid constructed wetlands / wastewater treatment / constructed wetlands / soil organic matter

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมและชีวิตของมนุษย์ โดยเฉพาะในด้านของภัยพิบัติทางธรรมชาติ ความมั่นคงทางอาหาร และทรัพยากรน้ำ [9] หนึ่งในสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงนี้คือ ภาวะเรือนกระจก ซึ่งเกิดจากการสะสมของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และไนตรัสออกไซด์ ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้น และก่อให้เกิดปรากฏการณ์รุนแรงอย่าง น้ำท่วม ความแห้งแล้ง พายุ และการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศ [7] แนวทางสำคัญในการบรรเทาผลกระทบจากปัญหาดังกล่าว คือการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์ควบคู่กับการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศ ซึ่งรวมถึงดิน พืช และแหล่งน้ำ โดยเฉพาะการกักเก็บคาร์บอนในดิน ซึ่งถือเป็นหนึ่งในแหล่งสะสมคาร์บอนที่มีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำ [6] เนื่องจากดินสามารถดูดซับและกักเก็บสารอินทรีย์ได้ในระยะยาว และช่วยปรับปรุงโครงสร้างและความอุดมสมบูรณ์ของดินในเวลาเดียวกัน

หนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงหลังคือ ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ (Constructed Wetlands: CWs) ซึ่งนอกจากจะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและใช้ต้นทุนต่ำแล้ว ยังแสดงศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนผ่านกระบวนการสะสมสารอินทรีย์ในดินและชีวมวลของพืชภายในระบบ [11][12] ระบบนี้จำลองลักษณะการทำงานของ พื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ โดยใช้พืช วัสดุกรอง และดินร่วมกันในการกำจัดมลสาร เช่น สารอินทรีย์ โลหะหนัก ธาตุอาหารส่วนเกิน และสารพิษอื่น ๆ ที่อยู่ในน้ำเสีย [15] นอกจากการบำบัดน้ำเสียแล้ว ระบบบึงประดิษฐ์ยังมีบทบาทในการกักเก็บคาร์บอน ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ เช่น การตรึงคาร์บอนโดยพืช การสะสมอินทรียวัตถุในดิน และการทำงานร่วมของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยไม่ปล่อยกลับสู่บรรยากาศทันที [8] กระบวนการเหล่านี้ช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น CO_2 และ CH_4 ออกสู่ชั้นบรรยากาศ อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับประสิทธิภาพของการกักเก็บคาร์บอนระหว่างระบบบึงประดิษฐ์แบบเดี่ยวและแบบผสมผสาน ขาดความเข้าใจเกี่ยวกับผลของการออกแบบ เช่น ชนิดพืช ทิศทางการไหล และวัสดุกรอง ต่อการสะสมคาร์บอนในทั้งดินและชีวมวลพืช การศึกษาที่มีอยู่มักเน้นเฉพาะประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย โดยไม่ได้เชื่อมโยงกับศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในระยะยาวอย่างเป็นระบบ [4] การขยายพื้นที่ระบบบึงประดิษฐ์อย่างเหมาะสมยังสามารถมีบทบาทสำคัญในการ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับภูมิภาคและระดับโลก โดยเฉพาะในพื้นที่เกษตรกรรมและชุมชนที่ไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งส่งเสริมความมั่นคงด้านทรัพยากรธรรมชาติในระยะยาว

การศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์ศักยภาพของระบบบึงประดิษฐ์ในการกักเก็บคาร์บอน โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างรูปแบบของระบบที่แตกต่างกัน เพื่อเสนอแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงระบบบำบัดให้มีความยั่งยืน สนับสนุนการจัดการสิ่งแวดล้อม และช่วยลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

1. ประเมินการกักเก็บคาร์บอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

3. ขอบเขตของการศึกษา

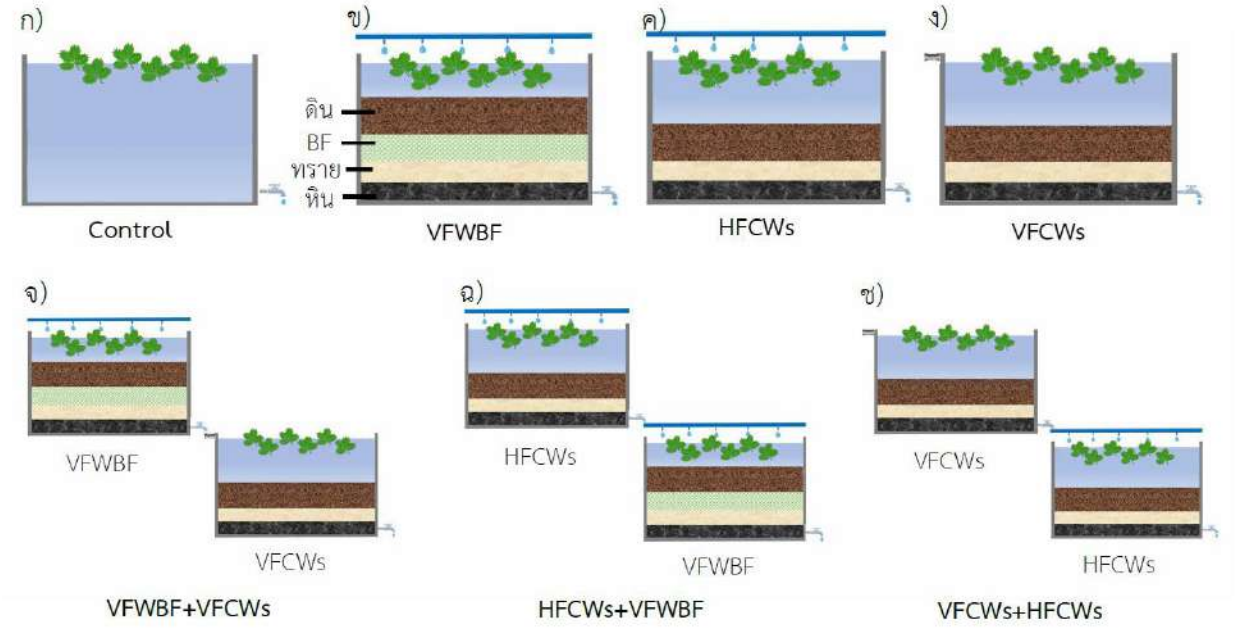
งานวิจัยนี้เป็นการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำแบบผสมผสานที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยมีขอบเขตการศึกษาดังนี้

1. ทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำแบบผสมผสาน
2. ประเมินการกักเก็บคาร์บอนในดินและพืชของระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำแบบผสมผสาน
3. ศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของพืชในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ที่มีการไหลของน้ำแบบผสมผสาน

4. วิธีการศึกษา

4.1 การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์

การทดลองได้มีการออกแบบในกระถางปูนที่มีขนาดความกว้าง 40 เซนติเมตร ความยาว 100 เซนติเมตร และความสูง 50 เซนติเมตร โดยมีการจัดการดังนี้ แบ่งเป็นระบบบำบัดเดี่ยว ได้แก่ รูปที่ 1 ก.) ไม่มีตัวกลาง; control รูปที่ 1 ข.) มีตัวกลางเป็นชั้นดิน, เซรามิกบอล (biological filter: BF), ทราย และหิน และมีการไหลของน้ำในแนวดิ่ง; VFWBF รูปที่ 1 ค.) มีตัวกลางเป็นชั้นดิน ทราย และหิน และมีการไหลของน้ำในแนวดิ่ง; VFCWs รูปที่ 1 ง.) มีตัวกลางเป็นชั้นดิน ทราย และหิน และมีการไหลของน้ำในแนวราบ; HFCWs ความสูงของตัวกลางในแต่ละชั้นประกอบด้วยดินหนา 12.5 เซนติเมตร BF หนา 10 เซนติเมตร ทรายหนา 3 เซนติเมตร และหินหนา 4.5 และระบบบำบัดผสมผสานที่มีการต่อระบบสองชั้น ได้แก่ รูปที่ 1 จ.) ระบบที่มีการเพิ่มชั้นตัวกรองทางธรรมชาติต่อกับระบบไหลแนวราบ; VFWBF+HFCWs รูปที่ 1 ฉ.) ระบบไหลแนวดิ่งต่อกับระบบที่มีการเพิ่มชั้นตัวกรองทางธรรมชาติ; VFCWs+VFWBF และ รูปที่ 1 ช.) ระบบไหลแนวราบต่อกับระบบไหลแนวดิ่ง; HFCWs+VFCWs ในแต่ละระบบมีการใช้ผักกระเฉดซึ่งเป็นพืชลอยน้ำภายในระบบ โดยจะทำการขังน้ำเสียที่ได้จากฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำไว้ในระบบเป็นระยะเวลา 7 วัน ก่อนจะปล่อยน้ำเสียเข้าระบบถัดไปและขังไว้อีกเป็นเวลา 7 วัน



รูปที่ 1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ ก) Control ข) VFWBF ค) VFCWs ง) HFCWs จ) VFWBF+ HFCWs ฉ) VFCWs+ VFWBF และ ช) HFCWs+ VFCWs

4.2 การศึกษาคุณภาพน้ำ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำดำเนินการในห้องปฏิบัติการเคมีด้วยวิธีมาตรฐานของ APHA, AWWA and WPCF [3] โดยมีพารามิเตอร์ดังนี้ ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) mg/L โดยวิธี Azide modification of iodometric method ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) mg/L โดยวิธี Closed Reflux ค่าฟอสเฟตรวม (TP) mg/L ค่าไนไตรท์ (NO_2^--N) mg/L และ ค่าไนเตรท (NO_3^--N) mg/L โดยวิธี Colorimetric method

4.3 การกักเก็บคาร์บอนในระบบ

การกักเก็บคาร์บอนในระบบบำบัดจะดำเนินการคำนวณหาจากปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินและอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของพืชก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียเพื่อหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนภายในของระบบบำบัด

4.3.1 การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดิน

การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอน โดยใช้วิธี Walkley and Black [14] เป็นการทำปฏิกิริยาทางเคมี ของคาร์บอนอินทรีย์ในดินกับโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) จากการทำปฏิกิริยา คาร์บอนจะถูกออกซิไดซ์โดยไดโครเมตไอออน ($Cr_2O_7^{-2}$) เป็น Cr^{+3} ในส่วนของ $Cr_2O_7^{-2}$ ส่วนเกินจะถูกไตเตรทกลับด้วย ไอออนของเหล็ก (Fe^{+3}) จากสารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$) แล้วนำค่าที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการมาคำนวณหาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ จากสมการที่ (1)

$$\%\ Organic\ Carbon = \frac{(Vb - Vs)\ x\ M\ Fe\ x\ 0.003\ x\ 100\ x\ f\ x\ mcf}{W} \quad (1)$$

โดย :	Vb	=	ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตตัวควบคุม (mL)
	Vs	=	ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสซัลเฟตที่ใช้ไทเทรตตัวอย่างดิน (mL)
	0.003	=	ค่าคงที่ที่ใช้ในการแปลงมวลของคาร์บอนจากปริมาตรของ Fe^{2+}
	f	=	correction factor (1.3)
	W	=	น้ำหนักของตัวอย่างดินแห้ง (g)
	mcf	=	Moisture correction factor

4.3.2 การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพืช

การกักเก็บคาร์บอนของพืชในระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์สามารถประเมินได้จากชีวมวลของพืชที่เพิ่มขึ้นตลอดช่วงเวลาการทดลอง โดยใช้ตัวชี้วัดที่เรียกว่า อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate: RGR) ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการสะสมชีวมวลของพืชต่อหน่วยชีวมวลเดิมในช่วงเวลาหนึ่ง ดังสมการที่ (2)

$$RGR = \frac{\ln(W_2) - \ln(W_1)}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

โดย : W_1 = ชีวมวลของพืช ณ เวลาเริ่มต้น (g)

W_2 = ชีวมวลของพืช ณ เวลาสิ้นสุด (g)

t_1 และ t_2 = เวลาที่วัด (วัน)

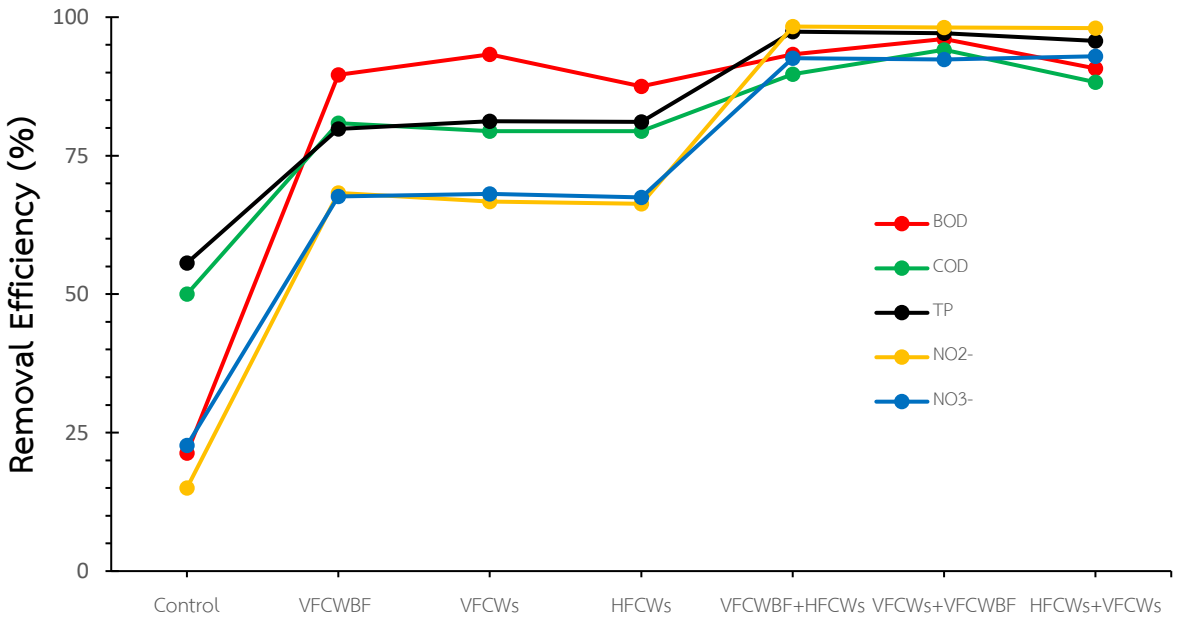
4.4 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ทดสอบค่าความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียและประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนของแต่ละชุดการทดลอง โดยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากนั้นเปรียบเทียบหาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดการทดลองด้วย T- test โดยโปรแกรม Excel

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 การศึกษาคุณภาพน้ำ

จากการศึกษาคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัด พบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการ ลด BOD, COD, TP, NO_2^--N และ ค่าไนเตรท NO_3^--N เมื่อเทียบกับชุดควบคุม อีกทั้งระบบบำบัดแบบผสมผสานยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดของทุกพารามิเตอร์มีค่ามากกว่าร้อยละ 88 อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2 ที่แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดพารามิเตอร์น้ำต่าง ๆ ของระบบ VFWBF+HFCWs, VFCWs+VFWBF และ HFCWs+VFCWs ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นจากระบบบำบัดเดี่ยวอย่างเห็นได้ชัด

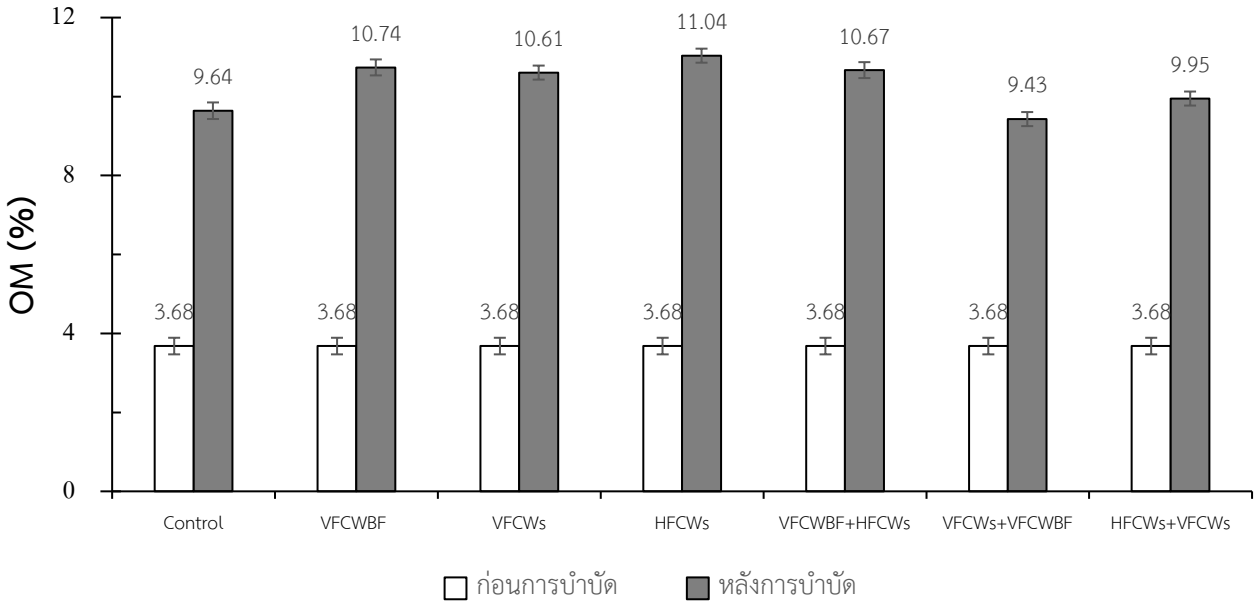


รูปที่ 2 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

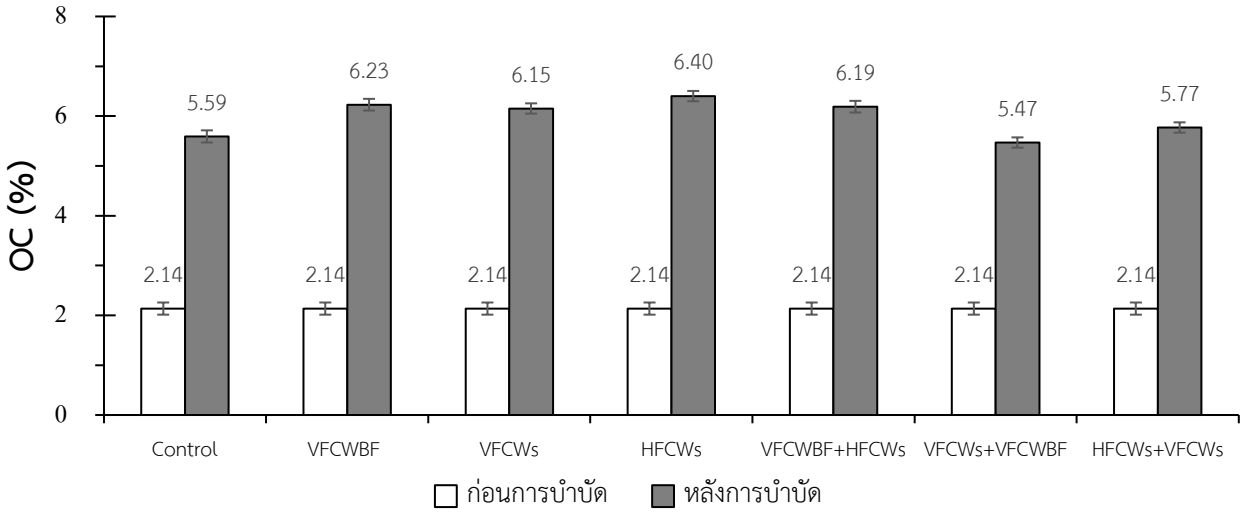
ระบบแบบผสมผสานช่วยให้การไหลของน้ำผ่านวัสดุกรองและพื้นที่รากพืชหลากหลายมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างจุลินทรีย์ น้ำเสีย และวัสดุกรองในแต่ละเฟตของระบบ ส่งผลให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์และการดูดซับสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น [10][15] โดยระบบ VFWBF+HFCWs ซึ่งประกอบด้วยการไหลแนวดิ่งผ่านวัสดุตัวกลางทางธรรมชาติอย่างเซรามิกบอลต่อด้วยการไหลแนวราบ แสดงประสิทธิภาพสูงเกือบทุกพารามิเตอร์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าในระบบกาไหลแนวดิ่งจะเอื้อต่อการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic) โดยมีการเติมอากาศได้ดี ในขณะที่ระบบแนวราบจะเอื้อต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) รวมถึงกระบวนการ Denitrification ที่ช่วยลดไนเตรทได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 การกักเก็บคาร์บอนในระบบ

จากการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในดินก่อนนำน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดพบว่าปริมาณค่าอินทรียวัตถุของดินมีค่าร้อยละ 3.68±0.10 ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าปริมาณของอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูง ตามการจำแนกระดับอินทรียวัตถุในดิน [1] และค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินมีค่าร้อยละ 2.14±0.06 ดังแสดงในรูปที่ 4 จากการศึกษาการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนของดินในแหล่งน้ำที่มีการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนใกล้เคียงกับดินก่อนนำน้ำเสียเข้าเข้าสู่ระบบบำบัด [4]

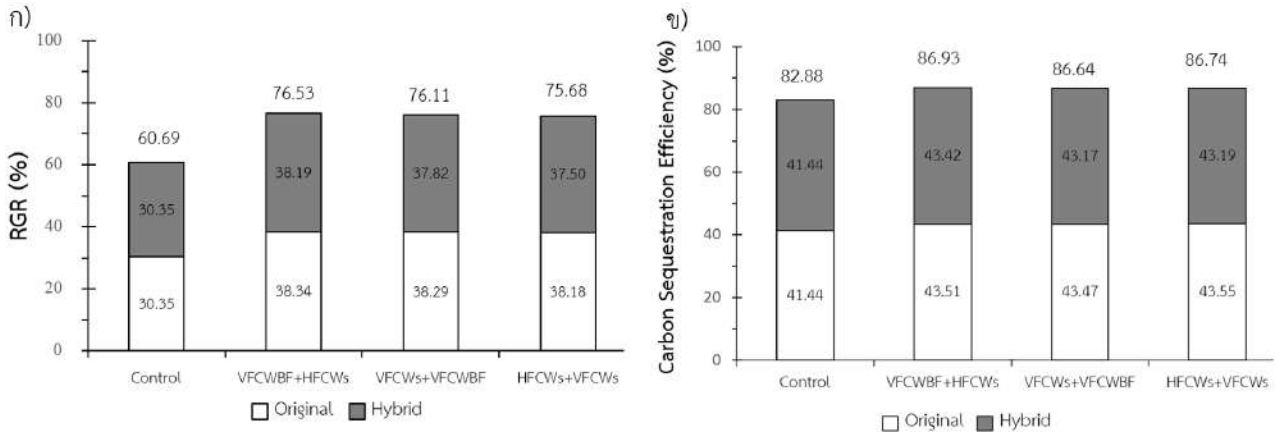


รูปที่ 3 ปริมาณอินทรียวัตถุในดินของระบบบำบัดน้ำเสียก่อนการบำบัดน้ำเสียและหลังการบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ 4 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินของระบบบำบัดน้ำเสียก่อนการบำบัดน้ำเสียและหลังการบำบัดน้ำเสีย

หลังผ่านการบำบัดน้ำเสียพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของอินทรียวัตถุ ส่งผลให้มีการสะสมของคาร์บอนอินทรีย์ในดินเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4 ในปัจจัยแวดล้อมที่คล้ายคลึงกันส่งผลให้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมีค่าใกล้เคียงกัน [2] เช่นเดียวกับอัตราการเจริญเติบโตของพืช ดังแสดงในรูปที่ 5 ก) และในขณะเดียวกันที่ปัจจัยแวดล้อมเดียวกันที่มีการจัดการออกแบบให้แตกต่างกันก็ส่งผลต่อปริมาณการกักเก็บคาร์บอนให้มีความแตกต่างกัน [8] ประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนของทุกระบบมีค่าที่ใกล้เคียงกัน การออกแบบโดยต่อระบบแบบผสมผสานส่งผลให้มีการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในระบบเพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัว ดังที่แสดงในรูปที่ 5 ข) ในขณะเดียวกันประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นก็แลกมากับการใช้พื้นที่ในการบำบัดที่มากขึ้นและใช้ระยะเวลาที่มากขึ้น



รูปที่ 5 ก) อัตราการเจริญเติบโตของพืชในระบบบำบัดน้ำเสียหลังการบำบัดน้ำเสีย และ ข) ประสิทธิภาพในการกักเก็บคาร์บอนของดินและพืชในระบบบำบัดน้ำเสียหลังการบำบัดน้ำเสีย

ระบบที่มีการต่อผสมผสาน เช่น VFWBF+HFCWs และ VFCWs+VFWBF แสดงให้เห็นว่ามีการเพิ่มของปริมาณอินทรียวัตถุในดินมากกว่าระบบทั่วไป [10] ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มพื้นที่รับสัมผัสน้ำเสียกับชั้นดินและตัวกรองทำให้เกิดการสะสมสารอินทรีย์มากขึ้นอินทรียวัตถุเหล่านี้เป็นแหล่งของคาร์บอนที่สามารถถูกตรึงไว้ในดิน [13] แนวโน้มของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินแสดงให้เห็นว่าระบบ VFCWBF+HFCWs มีการสะสมคาร์บอนในดินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญมากที่สุด โดยระบบที่มีการผสมผสานระบบแบบแนวดิ่งและแนวราบสามารถเก็บคาร์บอนได้ดีกว่าระบบที่มีเพียงทิศทางเดียว นอกจากนั้นพืชในระบบ VFWBF+HFCWs มีการเจริญเติบโตสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มของสารอาหารในดินและคุณภาพน้ำที่ดีขึ้น การเติบโตของพืชไม่เพียงเพิ่มชีวมวล (biomass) ที่เป็นแหล่งสะสมคาร์บอนในรูปของชีวภาพ แต่ยังช่วยกรองและตรึงคาร์บอนจากบรรยากาศด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง [5]

6. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบบึงประดิษฐ์ที่มีการออกแบบเป็นระบบผสมผสาน เช่น ระบบ VFWBF+HFCWs มีประสิทธิภาพในการลดค่ามลสารในน้ำเสียได้อย่างโดดเด่น โดยสามารถลดค่า BOD ได้ 93.29%, COD ได้ 89.71%, ฟอสเฟตรวม (TP) ได้ 97.38%, ไนไตรท์ (NO_2^--N) ได้ 98.31% และไนเตรท (NO_3^--N) ได้ 92.58% ซึ่งสูงกว่าระบบควบคุมที่มีค่าการลดอยู่ในช่วงเพียงประมาณ 56% หรือต่ำกว่า สำหรับทุกพารามิเตอร์ ระบบแบบผสมผสานอื่น ๆ เช่น VFCWs+VFWBF และ HFCWs+VFCWs ก็แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการลดมลสารที่อยู่ในช่วง 88–98% ซึ่งแม้ว่าจะต่ำกว่าระบบ VFWBF+HFCWs เล็กน้อย แต่ก็ยังคงมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบบำบัดเดี่ยวอย่างชัดเจน ในด้านของการกักเก็บคาร์บอนในดินพบว่าหลังจากน้ำเสียผ่านกระบวนการบำบัด ระบบ VFWBF+HFCWs มีปริมาณอินทรียวัตถุในดินเพิ่มขึ้นจากเดิม 3.68% เป็น 10.67% คิดเป็นการเพิ่มขึ้นประมาณ 2.90 เท่า ขณะที่คาร์บอนอินทรีย์ในดิน (Soil Organic Carbon) เพิ่มจาก 2.14% เป็น 6.19% หรือประมาณ 2.89 เท่า โดยมีค่า SOC เพิ่มสูงที่สุด เมื่อเทียบกับระบบควบคุมพบว่าระบบผสมผสานสามารถเพิ่มการสะสมคาร์บอนในดินได้มากกว่าเกือบสองเท่า นอกจากนี้การวัดอัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ของพืช (Relative Growth Rate: RGR) พบว่าระบบ VFWBF+HFCWs ให้ค่า RGR สูงถึง 76.53% เมื่อเทียบกับระบบควบคุมที่มีค่าเพียง 60.69% ซึ่งหมายถึงการเจริญเติบโตของพืชในระบบผสมผสานสูงกว่าระบบควบคุมถึง 26.46% ส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มของชีวมวลพืช และช่วยส่งเสริมการกักเก็บคาร์บอนในรูปชีวภาพ

เมื่อรวมทั้งการกักเก็บคาร์บอนจากดินและพืชพบว่าระบบ VFWBF+HFCWs มีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนรวมมากที่สุด คิดเป็น 86.93% ของค่าการกักเก็บ โดยระบบ VFCWs+VFWBF และ HFCWs+VFCWs อยู่ที่ 86.64% และ 86.74% ตามลำดับ ส่วนระบบควบคุมสามารถกักเก็บคาร์บอนได้เพียง 82.88% ของระบบ จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบผสมผสานไม่เพียงแต่เพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย แต่ยังเสริมศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในระบบได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในดินและชีวมวลพืช ซึ่งส่งผลดีต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระยะยาว และสนับสนุนแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาที่ดิน. (2558). สถานภาพทรัพยากรดินและที่ดินของประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์. กรุงเทพฯ

[2] ณัทธิยา ชำนาญค้า. (2564). การกักเก็บคาร์บอนอินทรีย์ในดินตะกอน พื้นบ่อเลี้ยงปลาดุกบิ๊กอุย. Thai Science and Technology Journal, 296-306.

[3] APHA, AWWA, & WPCF. (2017). Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23th ed. American Public Health Association. Washington DC, USA.

[4] Boyd, C. E., Wood, C. W., Chaney, P. L., & Queiroz, J. F. (2010). Role of aquaculture pond sediments in sequestration of annual global carbon emissions. *Environmental pollution*, *158*(8), 2537-2540.

[5] Brix, H. (1997). Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science and Technology, 35*(5), 11–17. https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00047-4

[6] FAO. (2016). The state of food and agriculture, Climate Change. Agriculture and Food Security. FAO, United Nations.

[7] IPCC. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. International Panel on Climate Change. Hayama, Japan.

[8] Li, L., Xu, H., Zhang, Q., Zhan, Z., Liang, X., & Xing, J. (2024). Estimation methods of wetland carbon sink and factors influencing wetland carbon cycle: a review. Carbon Research. 3.

[9] Mander, U., Dotro, G., Ebie, Y., Towprayoon, S., Chiemchaisri, C., Nogueira, S.F., Jamsranjav, B., Kasak, K., Truu, J., Tournebize, J., & Mitsch, W.J. (2014). Greenhouse gas emission in constructed wetlands for wastewater treatment: A review. Ecological Engineering, 66, 19-35.

[10] Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2008). *Treatment Wetlands* (2nd ed.). CRC Press.

[11] Parde, D., Patwa, A., Shukla, A., Vijay, R., Killedar, D. J., & Kumar, R. (2021). A review of constructed wetland on type, treatment and technology of wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, *21*, 101261.

[12] Rosli, F. A., Lee, K. E., Goh, C. T., Mokhtar, M., Latif, M. T., Goh, T. L., & Simon, N. (2017). The Use of Constructed Wetlands in Sequestrating Carbon: An Overview. Nature Environment & Pollution Technology. 16(3).

[13] Tanner, C. C., Sukias, J. P., & Upsdell, M. P. (1999). Organic matter accumulation during maturation of gravel-bed constructed wetlands treating farm dairy wastewaters. *Water Research, 33*(12), 2875–2885. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00030-8

[14] Walkley, A.J., Black, I.A. (1934). Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.

[15] Wu, S., Kuschk, P., Brix, H., Vymazal, J., & Dong, R. (2014). Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: A nitrogen and organic matter targeted review. *Water Research*, 57, 40–55.

การศึกษาประสิทธิภาพของไบโอชาร์ต่อการบำบัดน้ำเสีย บริเวณแหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม

พรปวีร์ เอี่ยมเอกสุวรรณ, พัทธดนย์ จิรกิจรัตน์, ณัฏฐ์วรัชญ์ ทองยินดี, น้อยหน่า ศรีทัศน์, เทิดศักดิ์ สกุลสุข, และ จิราภรณ์ แสงประทุม*

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ตำบลนครปฐม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม
** Corresponding author: jiraporns@webmail.npru.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของไบโอชาร์ชนิดที่แตกต่างกันในการบำบัดคุณภาพน้ำผิวดินของแหล่งน้ำ 3 แหล่งภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม ระหว่างเดือนมกราคม ถึงมีนาคม พ.ศ. 2568 โดย ไบโอชาร์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ไบโอชาร์จากถ่านไม้ ไบโอชาร์จากจุลินทรีย์ และไบโอชาร์จากถ่านไม้ไผ่ การวิเคราะห์คุณภาพน้ำผิวดินประกอบด้วย ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (TDS) ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และค่าความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือออกซิไดซ์ (ORP) ผลการศึกษาพบว่า คุณภาพน้ำผิวดินของแหล่งน้ำทั้ง 3 แหล่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) ในการศึกษาประสิทธิภาพของไบโอชาร์ทั้ง 3 ชนิดในการบำบัดน้ำเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง โดยทำการทดลองภายในห้องปฏิบัติการ พบว่าการใช้ไบโอชาร์จากจุลินทรีย์มีค่า DO สูงสุดในทุกแหล่งน้ำ และมีค่า ORP ติดลบมากที่สุด นอกจากนี้ไบโอชาร์จากไม้ไผ่และจุลินทรีย์มีค่าของแข็งที่ละลายในน้ำ (TDS) เกินมาตรฐานคุณภาพผิวดินที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง DO และ ORP ของไบโอชาร์จากจุลินทรีย์ในระยะเวลา 0, 24, 48, และ 72 ชั่วโมง พบว่าค่า DO เพิ่มขึ้น ขณะที่ค่า ORP ลดลงและมีค่าติดลบ จากผลการศึกษาการใช้ไบโอชาร์ในการบำบัดน้ำนี้สามารถเพิ่มค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้ โดยเฉพาะไบโอชาร์จากจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการเพิ่มค่า DO และลดค่า ORP ได้

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ / คุณภาพน้ำ / น้ำเสีย / การบำบัดน้ำเสีย / ค่าออกซิเจนละลายน้ำ

A Study on the Efficiency of Biochar for Wastewater Treatment in Water Sources at Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom Province

Pornpawee Iameksuwan, Pattadon Jirakitrat, Nutwarach Thongyindee, Noyna Srithat, Teardsak Skunsuk, and Jiraporn Sangpratum*

Science and Technology, Demonstration School of Nakhon Pathom Rajabhat, Thailand
** Corresponding author: jiraporns@webmail.npru.ac.th*

Abstract

This study aimed to evaluate the efficiency of three different types of biochar in improving the quality of surface water from three water sources located within Nakhon Pathom Rajabhat University, Nakhon Pathom Province, during the period from January to March 2025. The types of biochar used in the experiment included: biochar derived from wood charcoal, biochar derived from microbial biomass, and biochar derived from bamboo charcoal. Surface water quality was assessed based on several parameters: electrical conductivity (EC), total dissolved solids (TDS), dissolved oxygen (DO), pH, and oxidation-reduction potential (ORP). The results indicated that the surface water quality in all three sources met the World Health Organization (WHO) standards for surface water quality. To determine the treatment efficiency of the three biochar types, laboratory experiments were conducted over a 72-hour period at room temperature. Among the tested biochars, microbial biochar showed the highest DO levels across all water sources and produced the most negative ORP values. However, both bamboo biochar and microbial biochar exhibited significantly elevated TDS values, exceeding the WHO surface water quality standards, with statistical significance ($p < 0.05$). Further analysis of the relationship between DO and ORP for microbial biochar at 0, 24, 48, and 72 hours revealed that DO levels increased over time, while ORP values decreased and became negative. These findings suggest that the use of biochar, particularly microbial biochar, can effectively enhance dissolved oxygen levels in surface water and reduce oxidative potential, making it a promising material for sustainable water treatment.

Keywords: Biochar / Water quality / Watse water / Watse water treatment / Dissolved oxygen

1. บทนำ

ในปัจจุบันมนุษย์เผชิญกับปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น มลพิษทางอากาศ มลพิษทางดิน มลพิษทางน้ำ โดยเฉพาะมลพิษทางน้ำเป็นสิ่งที่มนุษย์ใช้สำหรับอุปโภคและบริโภค จากข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษได้ระบุรายงานผล 19% ของแหล่งน้ำผิวดินในประเทศไทยมีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรมหรือควรเฝ้าระวังและ 39% อยู่ในเกณฑ์พอใช้ ปัญหามลพิษทางน้ำทำให้เกิดโรคต่างๆและอันตรายต่อสุขภาพ เช่น โรคท้องร่วง อหิวาตกโรค โรคบิด ไทฟอยด์ และโปลิโอ ที่ส่งผลต่ออัตราการเสียชีวิตมากกว่า 500,000 คน ทั่วโลกทุกปี โดยมลพิษทางน้ำเกิดจากการได้รับสิ่งปนเปื้อนจากน้ำทิ้งต่างๆ เช่น กิจกรรมในครัวเรือน โรงงานที่ปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำ การเกษตร และรวมถึงจากธรรมชาติที่มีการทับถมของใบไม้และแหล่งน้ำที่ไม่มีการหมุนเวียนของน้ำ ที่ส่งผลทำให้เกิดน้ำเน่าเสีย ปัญหาน้ำขุ่น ตะกอนสะสม และการปนเปื้อนของสารอินทรีย์หรือโลหะหนัก ที่นำไปสู่มลพิษทางน้ำ [1] ในการพัฒนาและฟื้นฟูแหล่งน้ำ เป็นเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals, SDGs) ที่มีทั้งหมด 17 เป้าหมาย และเพื่อฟื้นฟูแหล่งน้ำให้เป็นไปตามโครงการ ในเป้าหมายที่ 6 การจัดการน้ำสะอาดและสุขาภิบาล, เป้าหมายที่ 13 การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และเป้าหมายที่ 15 เพื่อฟื้นฟูระบบนิเวศให้กลับมามีสภาพใหม่และหยุดการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ [2] แหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ตั้งอยู่ใกล้บริเวณพื้นที่ชุมชนและได้รับน้ำจากแหล่งน้ำบริเวณรอบมหาวิทยาลัย ซึ่งมีโอกาสที่จะได้รับการปนเปื้อนจากทั้งภาคเกษตรกรรมและชุมชน รวมถึงการตั้งอยู่ภายในมหาวิทยาลัยที่อาจจะได้รับสิ่งปฏิกูลจากกิจกรรมต่างๆ ซึ่งมีโอกาสน้ำไปสู่น้ำเน่าเสีย ดังนั้นการป้องกันฟื้นฟูบำบัดน้ำเสีย และทำให้คุณภาพของน้ำดีขึ้น เพื่อลดโอกาสที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้คนที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำ และความปลอดภัยของนักเรียน นักศึกษาในมหาวิทยาลัย ไบโอชาร์ (Biochar) เป็นวัสดุที่ได้จากการเผาชีวมวลภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนซึ่งมีโครงสร้างที่มีรูพรุนสูง สามารถดูดซับสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และโลหะหนักได้ดี ไบโอชาร์สามารถลดค่าความสกปรกในน้ำได้ โดยการดูดซับโลหะหนักภายในแหล่งน้ำเช่น ตะกั่ว และโครเมียมซึ่งไบโอชาร์จะเข้าเกาะกลุ่มกับสารเคมีที่เป็นมลพิษทางน้ำ ทำให้น้ำมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ซึ่งให้ผลดีกว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ ไบโอชาร์ถูกแบ่งประเภทตามชีวมวลที่นำมาผลิต ซึ่งมวลชีวภาพต่างชนิดกันจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน รวมถึงองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับสารปนเปื้อน [3] ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นในศึกษามลพิษทางแหล่งน้ำและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการนำไบโอชาร์จากชีวมวล 3 ชนิด มาในการดูดซับสารที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารที่ปนเปื้อนในน้ำจากชนิดของไบโอชาร์ที่ต่างกัน

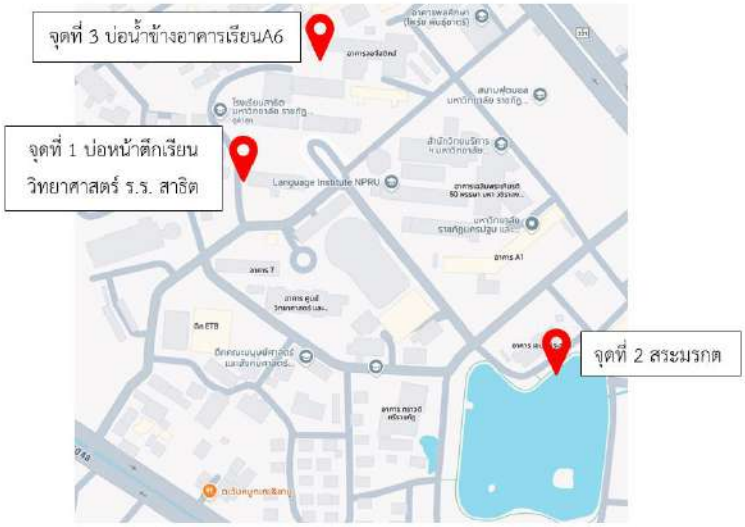
3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นศึกษาคุณภาพแหล่งน้ำ 3 แห่ง ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำจากการเก็บตัวอย่างแต่ละแหล่งน้ำเพื่อมาทำการทดสอบการดูดซับสารปนเปื้อนโดยใช้ไบโอชาร์

4. ขั้นตอนและการดำเนินงาน

4.1 ขั้นตอนการสำรวจแหล่งน้ำ

4.1.1 ศึกษาคุณภาพของน้ำ และเก็บตัวอย่างน้ำ โดยจะทำการสำรวจ 3 ครั้ง ได้แก่เดือนกุมภาพันธ์ เดือนมีนาคม และเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2568 แหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมใช้ในการสำรวจและทำการศึกษา ได้แก่ จุดสำรวจที่ที่ 1 พื้นที่บ่อน้ำหน้าอาคารวิทยาศาสตร์ โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, จุดสำรวจที่ 2 พื้นที่บ่อน้ำสระมรกต และจุดที่ 3 พื้นที่บ่อน้ำข้างอาคารเรียน A6 (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 แสดงจุดสำรวจแหล่งบริเวณแหล่งน้ำภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม

4.1.2 เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมโดยรอบ ได้แก่ ลักษณะพื้นที่ของแหล่งน้ำ, ลักษณะความขุ่นใสของน้ำ, ลักษณะพืชโดยรอบแหล่งน้ำและพืชใต้น้ำ และตรวจสอบแหล่งขยะบริเวณใกล้เคียง

4.1.3 การวัดและวิเคราะห์คุณภาพแหล่งน้ำบริเวณจุดสำรวจ ได้แก่ วัดอุณหภูมิเหนือน้ำ (Air temperature, วัดอุณหภูมิใต้น้ำ (Water temperature), ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC), ค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (Total Dissolved Solid, TDS), ค่าความเป็นกรดด่าง (pH), ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen, DO), ค่าความเค็มของน้ำ (Salinity) และค่าศักยภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation Reduction Potential, ORP)

4.1.4 เก็บตัวอย่าง ณ จุดสำรวจ โดยทำการตักน้ำปริมาตร 1,000 ml บรรจุในขวดโพลีเอทิลีน (Polyethylene)

4.2 ขั้นตอนการศึกษาการดูดซับสารปนเปื้อนโดยใช้ไบโอชาร์

นำตัวอย่างน้ำที่เก็บปริมาตร 1,000 ml ของแต่ละแหล่งน้ำ นำมาแบ่งใส่บีกเกอร์ 200 ml หลังจากนั้นใส่ไบโอชาร์ 3 ชนิด ได้แก่ ไบโอชาร์จากถ่านไม้ (BC1), ไบโอชาร์จากถ่านไม้ไผ่ (BC2) และไบโอชาร์จากจุลินทรีย์หมัก (BC3) อัตราส่วน 1 กรัม : 100 ml ในแต่ละบีกเกอร์ของน้ำตัวอย่าง ที่อุณหภูมิห้อง และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยทำการวัดค่าพารามิเตอร์น้ำทุก 24 ชั่วโมง เพื่อดูการเปลี่ยนแปลง

4.3 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ค่าพารามิเตอร์น้ำที่วัดได้ ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel คำนวณค่าเฉลี่ยของข้อมูล (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ซึ่งใช้การเปรียบเทียบเชิงสถิติด้วยความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P<0.05$ จากค่าพารามิเตอร์ของน้ำที่วัดได้

5. ผลการศึกษา

5.1 ผลการศึกษาสภาพแหล่งน้ำบริเวณที่ทำการสำรวจ

จุดสำรวจที่ 1 พิกัด 13.835966, 100.028723 : พื้นที่บ่อน้ำหน้าอาคารวิทยาศาสตร์ ร.ร. สาธิตฯ (รูปที่ 1A)
ลักษณะของแหล่งน้ำ : น้ำมีลักษณะขุ่นเล็กน้อย มีต้นไม้เล็กอยู่บริเวณรอบสระน้ำ ไม่พบพืชใต้น้ำ

จุดสำรวจที่ 2 พิกัด 13.838165, 100.026501 : พื้นที่บ่อน้ำสระมรกต (รูปที่ 1B)
ลักษณะของแหล่งน้ำ : น้ำมีลักษณะขุ่นเล็กน้อย มีต้นไม้เล็กอยู่บริเวณรอบสระน้ำ ไม่พบพืชใต้น้ำ

จุดสำรวจที่ 3 พิกัด 13.838551, 100.026592 : พื้นที่บ่อน้ำข้างอาคารเรียน A6 (รูปที่ 1C)
ลักษณะของแหล่งน้ำ : น้ำมีลักษณะขุ่นเล็กน้อย น้ำมีสีเขียวปนน้ำตาล มีต้นไม้ใหญ่และเล็กอยู่บริเวณรอบสระน้ำ

รูปที่ 1 ลักษณะของแหล่งน้ำ ณ จุดสำรวจ (A: จุดสำรวจที่ 1, B: จุดสำรวจที่ 2, และ C: จุดสำรวจที่ 3)

5.2 ผลการประเมินคุณภาพน้ำตามพารามิเตอร์บริเวณสระน้ำภายใน มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

จากผลการวัดคุณภาพของแหล่งน้ำพบว่าสระน้ำทั้ง 3 บริเวณ ผ่านเกณฑ์คุณภาพของน้ำผิวดินตามค่ามาตรฐานเกณฑ์คุณภาพน้ำผิวดิน [1] ได้แก่ ค่า อุณหภูมิใต้น้ำ ค่าความเป็นกรดด่าง ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen : DO) และค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (Total Dissolved Dolid : TDS) จากการศึกษาค่าความเป็นกรดด่างของทั้ง 3 จุดสำรวจมีค่าใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในช่วง 7.80 - 8.00 ค่า DO ที่มีค่าสูงสุดบริเวณจุดสำรวจที่ 1 (8.30±1.40 mg/L) และค่าต่ำสุดบริเวณจุดสำรวจที่ 3 (4.30±0.40 mg/L) ค่าเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Conductivity) มีค่าสูงสุดได้แก่ บริเวณจุดสำรวจที่ 3 (783.33±38.73 uS/cm) และค่าต่ำสุดได้แก่จุดสำรวจที่ 1 (520.00±1.29 uS/cm) ค่า TDS พบว่าบริเวณจุดสำรวจที่ 2 และจุดสำรวจที่ 3 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในช่วง 370.00 – 400.00 ppm แต่จุดสำรวจที่ 1 ให้ค่าต่ำที่สุด (259.67±65.52 ppm) และค่าความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือออกซิไดซ์ (ORP) สูงสุดที่บริเวณจุดสำรวจที่ 1 และค่าต่ำสุดที่จุดสำรวจที่ 3 (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพของแหล่งน้ำ จากค่าพารามิเตอร์น้ำที่ใช้ บริเวณจุดสำรวจสระน้ำภายใน มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

พารามิเตอร์น้ำที่ใช้	เกณฑ์คุณภาพน้ำผิวดิน	จุดสำรวจที่ 1	ผลการประเมิน	จุดสำรวจที่ 2	ผลการประเมิน	จุดสำรวจที่ 3	ผลการประเมิน
อุณหภูมิใต้น้ำ (°C)	เป็นไปตามธรรมชาติ	26.75±1.77	อยู่ในเกณฑ์	26.05±2.19	อยู่ในเกณฑ์	25.45±3.32	อยู่ในเกณฑ์
ค่า pH ของน้ำ	5 - 9	7.89±1.66	อยู่ในเกณฑ์	7.91±0.84	อยู่ในเกณฑ์	7.96±0.67	อยู่ในเกณฑ์
ออกซิเจนในน้ำ (DO) (mg/L)	≥ 4	8.30±1.40	อยู่ในเกณฑ์	6.77±1.77	อยู่ในเกณฑ์	4.30±0.40	อยู่ในเกณฑ์
ค่าเหนี่ยวนำกระแไฟฟ้า (Conductivity) uS/cm	-	520.00±1.29	-	735.00±24.33	-	783.33±38.73	-
ค่า Total Dissolved Solid (TDS) (ppm)	≤ 500	259.67±65.52	อยู่ในเกณฑ์	370.00±15.52	อยู่ในเกณฑ์	388.67±19.35	อยู่ในเกณฑ์
ค่า ORP (mV)	-	173.33±18.37	-	146.00±63.17	-	104.00±32.97	-

หมายเหตุ ค่าทางสถิติที่ใช้ Mean±Standard deviation

5.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพไบโอชาร์ต่างชนิด ในการฟื้นฟูน้ำเสีย

จากการศึกษาการใช้ไบโอชาร์ 3 ชนิด ได้แก่ ไบโอชาร์จากถ่านไม้ (BC1) ไบโอชาร์จากถ่านไม้ไผ่ (BC2) และไบโอชาร์จากจุลินทรีย์ (BC3) โดยนำไบโอชาร์ทั้ง 3 ชนิดแช่ในน้ำตัวอย่างที่เก็บได้ในแต่ละจุดสำรวจ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และทำการวัดค่าพารามิเตอร์ของตัวอย่างน้ำจากจุดสำรวจที่ 1 (ตารางที่ 2), ตัวอย่างน้ำจากจุดสำรวจที่ 2 (ตารางที่ 3) และตัวอย่างน้ำจากจุดสำรวจที่ 3 (ตารางที่ 4) พบว่าค่า pH ของน้ำที่ใช้ BC1 มีค่าต่ำกว่าค่า control ของทั้ง 3 ตัวอย่างน้ำ ค่า DO ของน้ำที่ให้ค่าสูงสุดพบในการใช้ BC3 ในการดูดซับ รองลงมาได้แก่ BC2 และ BC1 ตามลำดับ ในค่า conductivity พบว่า BC3 มีค่าสูงสุด ค่าผลการศึกษา TDS พบว่าการใช้ BC3 มีค่าสูงสุด และค่า ORP พบว่าการใช้ BC3 ทำให้ค่า ORP มีค่าติดลบ

ตารางที่ 2 ค่าผลการศึกษาประสิทธิภาพของไบโอชาร์ 3 ชนิด จากน้ำตัวอย่างบริเวณจุดสำรวจที่ 1

	72 ชั่วโมง			
ค่าที่วัด	จุดสำรวจที่ 1 (Control)	BC1	BC2	BC3
อุณหภูมิใต้น้ำ (°C)	27.13±0.85	26.93±0.93	27.37±1.01	26.77±0.83
ค่า pH ของน้ำ	9.27±0.06	8.73±0.528	9.14±0.09	10.17±0.16
ออกซิเจนในน้ำ (DO) (mg/L)	4.87±1.96	5.40±0.36	5.77±1.05	5.97±1.10
ค่าเหนี่ยวนำกระแไฟฟ้า (Conductivity) uS/cm	591.67±44.77	683.33±91.90	810.00±10.63	1382.33±221.81
ค่า Total Dissolved Solid (TDS) (ppm)	297.67±22.48	350.00±3.74	409.00±60.23	697.67±98.33
ค่า ORP (mV)	-7±8.72	38.00±4.95	2.00±38.74	-22.67±35.81

หมายเหตุ ค่าทางสถิติที่ใช้ Mean ± Standard deviation

ตารางที่ 3 ค่าผลการศึกษาประสิทธิภาพของไบโอชาร์ 3 ชนิด จากน้ำตัวอย่างบริเวณจุดสำรวจที่ 2

	72 ชั่วโมง			
ค่าที่วัด	จุดสำรวจที่ 2 (control)	BC1	BC2	BC3
อุณหภูมิน้ำ (°C)	27.50±1.11	27.47±1.01	27.03±1.69	26.80±1.04
ค่า pH ของน้ำ	6.23±2.39	6.19±2.78	8.99±0.04	9.75±0.33
ออกซิเจนในน้ำ (DO) (mg/L)	5.13±0.58	5.47±0.47	5.63±0.91	5.83±0.21
ค่าเหนี่ยวนำกระแไฟฟ้า (Conductivity) uS/cm	761.00±16.00	902.33±136.70	1050.00±55.76	1562.0±129.90
ค่า Total Dissolved Solid (TDS) (ppm)	380.00±11.53	447.00±68.02	525.00±26.06	756.33±87.18
ค่า ORP (mV)	8.33±47.17	16.67±31.56	-26.33±14.29	-12.67±9.24

หมายเหตุ ค่าทางสถิติที่ใช้ Mean ± Standard deviation

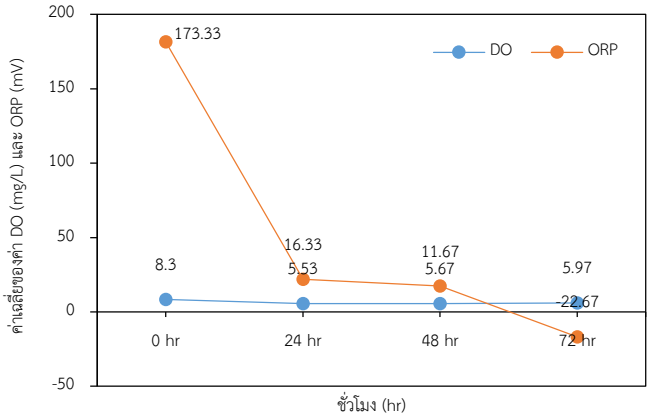
ตารางที่ 4 ค่าผลการศึกษาประสิทธิภาพของไบโอชาร์ 3 ชนิด จากน้ำตัวอย่างบริเวณจุดสำรวจที่ 3

	72 ชั่วโมง			
ค่าที่วัด	จุดสำรวจที่ 3 (control)	BC1	BC2	BC3
อุณหภูมิใต้น้ำ (°C)	27.50±1.45	27.53±1.11	25.90±0.56	26.87±1.21
ค่า pH ของน้ำ	9.05±0.08	8.78±0.14	9.37±0.69	9.67±0.30
ออกซิเจนในน้ำ (DO) (mg/L)	4.30±0.40	4.37±0.15	4.67±0.57	5.60±0.78
ค่าเนี่ยวนำกระแไฟฟ้า (Conductivity) uS/cm	831.67±2.89	1060.00±21.93	1082.00±515.01	1631.67±251.73
ค่า Total Dissolved Solid (TDS) (ppm)	410.00±1.00	524.67±9.29	822.67±305.73	844.00±73.32
ค่า ORP (mV)	14.67±25.03	-10.33±57.83	2.00±31.80	-20.67±31.01

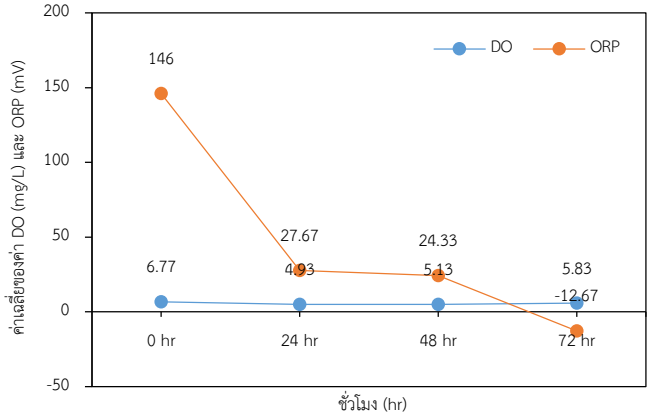
หมายเหตุ ค่าทางสถิติที่ใช้ Mean ± Standard deviation

5.4 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และค่า ORP จากการใช้ BC3 ของน้ำตัวอย่างแต่ละจุดสำรวจ

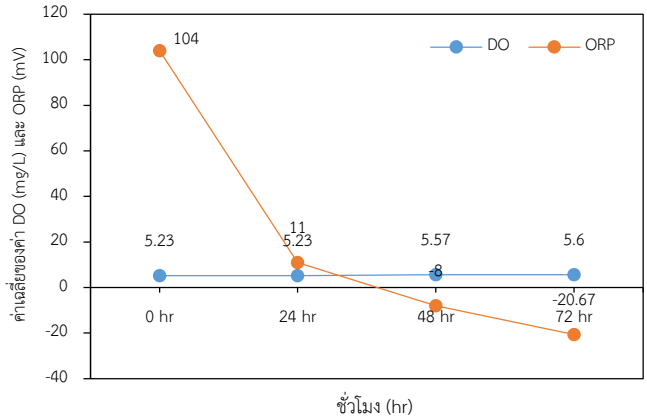
จากการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง DO และค่า ORP พบว่า หลังจากการใช้ BC3 ของตัวอย่างน้ำจากจุดสำรวจที่ 1 (รูปที่ 2), ตัวอย่างน้ำจากจุดสำรวจที่ 2 (รูปที่ 3) และตัวอย่างน้ำจากจุดสำรวจที่ 3 (รูปที่ 4) เมื่อเวลาผ่านไป พบว่าค่า DO ของน้ำตัวอย่างเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า ORP ณ 0 ชั่วโมง มีค่าสูงสุด และลดต่ำลงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง และลดต่ำลงจนค่าติดลบเมื่อเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมง จากความสัมพันธ์ค่า DO เมื่อเพิ่มสูงขึ้น ค่า ORP แปรผกผัน ให้ค่าลดลง



รูปที่ 2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และค่า ORP ของตัวอย่างน้ำจากจุดสำรวจที่ 1



รูปที่ 3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และค่า ORP ของตัวอย่างน้ำจากจุดสำรวจที่ 2



รูปที่ 4 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า DO และค่า ORP ของตัวอย่างน้ำจากจุดสำรวจที่ 3

6. อภิปรายผลการศึกษา

จากผลการศึกษาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม พบว่าน้ำจากทุกจุดสำรวจ ได้แก่ พื้นที่บ่อน้ำหน้าอาคารวิทยาศาสตร์ โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม พื้นที่บ่อน้ำสระมรกต และพื้นที่บ่อน้ำข้างอาคารเรียน A6 มีลักษณะน้ำที่ขุ่นเล็กน้อยและไม่มีพืชใต้น้ำ โดยที่ค่าพารามิเตอร์พื้นฐาน ได้แก่ค่า pH , DO , Conductivity และ TDS อยู่ในเกณฑ์คุณภาพของน้ำผิวดิน [1] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมยังสามารถรับรองระบบนิเวศได้ระดับหนึ่ง การศึกษาประสิทธิภาพของไบโอชาร์ 3 ชนิด ต่อการทดลองการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแหล่งน้ำ ได้แก่ ไบโอชาร์จากถ่านไม้, ไบโอชาร์จากถ่านไม้ไผ่, และไบโอชาร์จากจุลินทรีย์แสดงให้เห็นว่าไบโอชาร์ทุกชนิดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ในแต่ละน้ำจากจุดสำรวจ [4] จากการวัดค่าDO(Dissolved Oxygen) ไบโอชาร์จากจุลินทรีย์มีผลการเปลี่ยนแปลงดีที่สุดในการเพิ่มขึ้นของค่าDO ในทุกแหล่งน้ำ แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ที่อัดแท่งเป็นไบโอชาร์ มีบทบาทในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียและการเพิ่มขึ้นของออกซิเจน [5] โดยที่จากค่าเฉลี่ย DO ที่ต่ำที่สุดคือพื้นที่บ่อน้ำข้างอาคารเรียน A6 บ่งชี้ให้เห็นถึงการสะสมของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากหรือการไหลเวียนของน้ำต่ำ ส่งผลให้ค่าออกซิเจนในน้ำมีปริมาณต่ำ [6] ค่า ORP (Oxidation-Reduction Potential) ไบโอชาร์ชนิดที่ 3 มีผลต่อการลดลองของค่า ORP อย่างชัดเจน โดยค่าORP มีค่าติดลบในทุกตัวอย่างน้ำ หลังจากครบ 72 ชั่วโมง ซึ่งสะท้อนการเกิดสภาวะรีดิวซ์ในแหล่งน้ำ เป็นผลมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างสภาวะเหมาะสมต่อการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน[7] ค่า ORP ที่ลดลงสัมพันธ์กับค่า DO ที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงกระบวนการฟื้นฟูระบบนิเวศในแหล่งน้ำอย่างเป็นระบบ [8] ค่า pH ของไบโอชาร์จากจุลินทรีย์ มีผลทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในแหล่งน้ำบริเวณพื้นที่บ่อน้ำหน้าอาคารวิทยาศาสตร์ ร.ร. สาธิตฯ ซึ่งอาจมีผลต่อความสมดุลของระบบนิเวศในระยะยาว หากค่าสูงอาจมีผลกระทบสิ่งมีชีวิตที่ไวต่อความเป็นด่าง ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) และ TDS เพิ่มขึ้นหลังการใช้ไบโอชาร์จากจุลินทรีย์ เป็นผลมาจากการปล่อยแร่ธาตุหรือสารประกอบจากไบโอชาร์ [9]

7. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษา ไบโอชาร์ทั้งสามชนิดมีศักยภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยเฉพาะไบโอชาร์จากจุลินทรีย์ แสดงประสิทธิภาพสูงสุดในการเพิ่มค่า DO และลดค่า ORP ซึ่งเป็นดัชนีสำคัญที่สะท้อนถึงคุณภาพของน้ำที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามผลกระทบค่า pH และการเพิ่มขึ้นของ Conductivity และ TDS ต้องมีการติดตามการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวเพื่อประสิทธิภาพของไบโอชาร์ต่อการบำบัดน้ำเสีย

เอกสารอ้างอิง

[1] กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2562). *คู่มือการปฏิบัติงานการดำเนินการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน.* สืบค้น เมษายน 7, 2568 จาก https://www.pcd.go.th/water.

[2] Sustainable Development Goals. (2015). *The 17 Sustainable Development Goals (SDGs).* Retrieved from https://sdgs.un.org/goals.

[3] สุพิชญา เจนใจวิทย์, นนทิภา สุพรรณไชยมาตย์, Andrew J. Hunt, ยุวรัตน์ เงินเย็น, พงศธร ทวีธนวาณิชย์, และ สุมนา สิริพัฒนากุล-ราษฎร์ภักดี. (2563). การดูดซับและการย่อยสลายสารไตรโคลคาร์บานทางชีวภาพด้วยไบโอชาร์และไบโอชาร์ตรึงเซลล์ที่ผลิตจากไม้ไผ่และยูคาลิปตัส. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 14*(1), 58-70.

[4] Alshehri, M.A., & Pugazhendhi, A. (2024). Biochar for wastewater treatment: Addressing contaminants and enhancing sustainability: Challenges and solutions. *Journal of Hazardous Materials Advances, 16.* https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2024.100504

[5] Mukherjee, S., Sarkar, B., Aralappanavar, V.K., Mukhopadhyay, R., Basak, B.B., Srivastava, P., Mikolajczyk, O., Bhatnagar, A., Semple, K.T., & Bolan, N. (2022). Biochar-microorganism interactions for organic pollutant remediation: Challenges and perspectives. *Environmental Pollution, 308* .

[6] ธินัฐดา พิมพ์พวง. (2016). การศึกษาการใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพอัดแท่งเพื่อการบำบัดน้ำเสีย. *วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน , 12*(1), 82–97.

[7] Sun, H., Chen, T., Ji, L., Tian, D., Li, X., & Sun, C. (2024). Waste derived biochar for water purification: the roles of redox properties. *Waste Disposal&Sustainable Energy, 6,* 565-587.

[8] Wang, X., Wu, Y., Chen, N., Piao, H., Sun, D., Ratnaweera, H., Maletskyi, Z., & Bi, X. (2022). Characterization of Oxidation-Reduction Potential Variations in Biological Wastewater Treatment Processes: A Study from Mechanism to Application. *Processes,10*, 1-11.

[9] Ruangrit K, Phinyo K, Chailungka S, Duangjan K, Naree A, Thasana J, et al. (2025). Enhanced nitrate removal in aquatic systems using biochar immobilized with algicidal Bacillus sp. AK3 and denitrifying Alcaligenes sp. M3: A synergistic approach. *PLoS ONE*, *20*(3): e0318416. https://doi.org/10.1371/ journal.pone.0318416

อุปกรณ์บำบัดน้ำเสียโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงซิงค์ออกไซด์

ปุณยนุช สุระชัย[1*], ตุลยดา แย้มยิ่ง[1], นิรัชพร วรรณะ[1], ดวงแข ศรีคุณ[1], และ ดาราภรณ์ เตรียมโพธิ์[2]

[1]โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม
[2]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม
* Corresponding author: punyanuch.sur_g33@mwit.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบ AOP (Advance Oxidation Process) หรือกระบวนการออกซิเดชันชั้นสูง เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการกำจัดสารมลพิษที่ย่อยสลายได้ยาก ซึ่งหนึ่งในวิธีการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและไม่จำเป็นต้องมีการเติมสารออกซิไดซ์รุนแรง คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalyst) อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงแบบผงสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ยาก ในปัจจุบันมีการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงชนิดฟิล์มบางบนวัสดุยึดเกาะเพื่อความสะดวกต่อการใช้ซ้ำ งานวิจัยนี้สนใจศึกษาการสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสียต้นแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงประเภทฟิล์มบางของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) บนแผ่นกระจกสไลด์ โดยมีการบำบัดร่วมกับการใช้หลอดไฟยูวีแบบกันน้ำ เครื่องบำบัดน้ำต้นแบบประกอบด้วยสไลด์เคลือบ nano-ZnO จำนวน 32 แผ่น และ หลอดยูวีแบบกันน้ำ 4 หลอด สามารถบรรจุสารละลายปริมาตรสูงสุด 1.4 ลิตร การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดสารละลาย Methylene blue พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัด 31.2 % ในเวลา 60 นาที เครื่องบำบัดน้ำต้นแบบนี้อยู่ระหว่างการพัฒนาระบบอัตโนมัติโดยติดตั้งปั๊มน้ำเข้าและปั๊มน้ำออก เพื่อให้สามารถหมุนเวียนน้ำเข้าออกจากเครื่องบำบัดระหว่างการเปิดไฟยูวี เพื่อลดความเสี่ยงจากการสัมผัสกับแสงยูวี

คำสำคัญ: ซิงค์ออกไซด์ / กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง / ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงประเภทฟิล์มบาง / เครื่องบำบัดน้ำต้นแบบ / สารสีย้อม

ZnO – catalyzed photodegradation unit

Punyanuch Surachai[1*], Tulyada Yaemying[1], Niratchaporn Wanna[1], Duangkhae Srikun[1], and Darapond Triampo[2]

[1] *Mahidol Wittayanusorn, Mahidol University, Thailand*
[2] *Faculty of Science, Mahidol University, Thailand*
**Corresponding author:* punyanuch.sur_g33@mwit.ac.th

Abstract

The AOP (Advanced Oxidation Process) system is a technology used to remove hard-to-degrade pollutants. One environmentally friendly method that does not require the addition of harsh oxidizing agents is the oxidation reaction using a photocatalyst. However, the oxidation reaction using powdered photocatalysts is difficult to reuse. Currently, there has been development of thin-film photocatalysts on substrates for ease of reuse. This research is interested in studying the development of a prototype wastewater treatment device using a thin film photocatalyst of zinc oxide (ZnO) on a glass slide, combined with the use of waterproof UV lamps. The prototype water treatment device consists of 32 slides coated with nano-ZnO and 4 waterproof UV lamps, capable of holding a maximum solution volume of 1.4 liters. The efficiency test of Methylene blue solution treatment showed a treatment efficiency of 31.2% in 60 minutes. This prototype water treatment device is being developed into an automated system by installing inlet and outlet pumps to circulate water in and out of the treatment unit during UV light operation, reducing the risk of UV exposure.

Keywords: Zinc oxide / Advanced Oxidation Process / Thin – film photocatalyst / The prototype water treatment device / Dyes

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาการปนเปื้อนของสีย้อมตกค้างในน้ำจากแหล่งต่าง ๆ เช่น จากอุตสาหกรรมสีย้อม อุตสาหกรรมยา เกษตรกรรม เป็นต้น เป็นปัญหาที่สำคัญ เนื่องจากน้ำเสียจากแหล่งเหล่านี้มักมีสารมลพิษที่ย่อยสลายได้ยาก ซึ่งระบบ AOP (Advanced Oxidation Process) หรือกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง จึงถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียประเภทดังกล่าวอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งหนึ่งในวิธีการที่เป็นที่สนใจ คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalyst) เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้ง่ายและไม่จำเป็นต้องมีการเติมสารออกซิไดซ์รุนแรง โดยตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง เช่น ซิงค์ออกไซด์ (ZnO), ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2), ไอร์ออน(III) ออกไซด์ (Fe_2O_3) หรือเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ (ZrO) [1]

ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นวัสดุกึ่งตัวนำที่สามารถสังเคราะห์ให้อยู่ในรูปของวัสดุนาโน สมบัติทางแสงของผง ZnO ขึ้นกับลักษณะและขนาดของผลึก โดยทั่วไปซิงค์ออกไซด์จะมีโครงสร้างแบบเวอร์ตไซท์ (wurtzite) หรือเฮกซะโกนัล (hexagonal) มีช่องว่างพลังงาน (Band gap energy) กว้างประมาณ 3.37 eV ซึ่งมีความยาวคลื่นเท่ากับ 368 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงของรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) เมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยแสง ZnO สามารถถ่ายเทพลังงานให้กับแก๊สออกซิเจนและน้ำให้เกิด reactive oxygen species ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาเพื่อสลายพันธะเคมีในสารอินทรีย์

ข้อจำกัดของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทผง คือ การแยกผงของตัวเร่งออกจากน้ำที่บำบัดแล้ว วิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาคือการเคลือบตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงบนวัสดุยึดเกาะประเภทของแข็ง งานวิจัยโดยเปมิกาและคณะ [2] พบว่ากระจกสไลด์ที่มีการทำความสะอาดพื้นผิวด้วยพลาสมา เมื่อนำมาเคลือบด้วย nano-ZnO สามารถให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่สามารถบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนเมทิลีนบลูได้สูงถึง 86% ในเวลา 1 ชั่วโมง และสามารถใช้ซ้ำได้ไม่ต่ำกว่า 5 ครั้งโดยไม่สูญเสียประสิทธิภาพ

โครงงานนี้เป็นโครงงานวิจัยการประดิษฐ์เชิงต่อยอดเพื่อพัฒนาเครื่องบำบัดน้ำต้นแบบที่ใช้กระจกสไลด์เคลือบ ZnO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงร่วมกับการใช้หลอดไฟยูวีชนิดจุ่มน้ำขนาด 5W ซึ่งปกติมีการใช้หลอดไฟชนิดนี้เพื่อการกำจัดสาหร่ายในตู้ปลาสวยงาม ผู้วิจัยเลือกใช้หลอดไฟยูวีชนิดจุ่มน้ำเพื่อลดการสูญเสียพลังงานจากการเคลื่อนที่ของแสงผ่านตัวกลาง เครื่องปฏิกรณ์ต้นแบบประกอบด้วยระบบอัตโนมัติ ได้แก่ ระบบถ่ายเทน้ำเข้าและน้ำออกด้วยปั๊มแบบรีดสาย ระบบการปิดเปิดหลอดไฟยูวี และระบบการวัดค่าการดูดกลืนสีของน้ำเสียระหว่างการบำบัด ซึ่งในโครงงานได้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ข้อที่ 6 (การจัดการน้ำสะอาดและสุขาภิบาล) โดยเน้นการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อบำบัดน้ำเสียให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างปลอดภัย ข้อที่ 9 (อุตสาหกรรม นวัตกรรม และโครงสร้างพื้นฐาน) โดยมุ่งเน้นการพัฒนานวัตกรรมเครื่องบำบัดน้ำต้นแบบที่มีต้นทุนต่ำ ใช้งานง่าย และสามารถต่อยอดไปสู่การผลิตในระดับชุมชนหรืออุตสาหกรรมขนาดเล็กได้ในอนาคต รวมถึง ข้อที่ 12 (การบริโภคและการผลิตอย่างยั่งยืน) ด้วยการลดการใช้สารเคมีรุนแรงในการบำบัดน้ำเสีย และส่งเสริมการใช้วัสดุซ้ำอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO ที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้หลายรอบ

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาเครื่องบำบัดน้ำต้นแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงประเภทฟิล์มซิงค์ออกไซด์ (ZnO) บนกระจกสไลด์
2. เพื่อศึกษาสภาวะของการใช้งานเครื่องบำบัดน้ำต้นแบบที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด

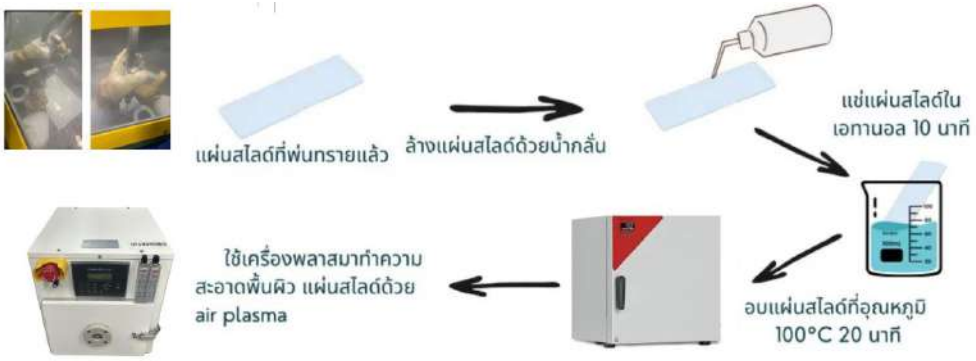
3. ขอบเขตของการศึกษา

งานนี้เป็นการพัฒนาเครื่องบำบัดน้ำต้นแบบที่ใช้บำบัดสารสีย้อม โดยใช้ Methylene blue เป็นสารตัวอย่างในการทดลอง และใช้หลอดไฟยูวีกันน้ำชนิด UV-C

4. วิธีการศึกษา

4.1 การเตรียมพื้นผิวกระจกสไลด์

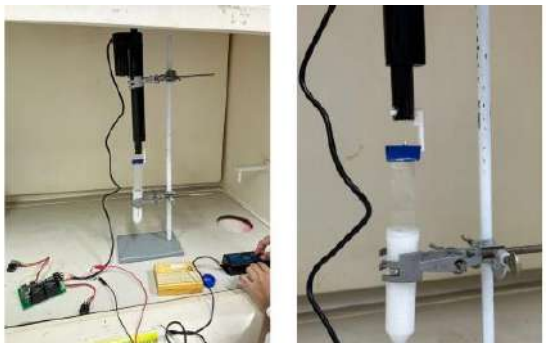
นำกระจกสไลด์ไปทำการเพิ่มพื้นที่ผิวด้วยการพ่นทราย ซึ่งใช้แรงดันอากาศเพื่อส่งเม็ดทรายจำนวนมากไปกระทบพื้นผิวของกระจกอย่างรวดเร็ว โดยกระจกสไลด์ที่พ่นทรายแล้วจะมีความขุ่นเล็กน้อย จากนั้นนำกระจกสไลด์ที่ผ่านการพ่นทรายล้างด้วยน้ำกลั่น แช่ในเอทานอลใน Ultrasonic bath เป็นเวลา 30 นาที อบให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิ 100°C 20 นาที แล้วนำไปทำความสะอาดพื้นผิวโดยใช้เครื่องพลาสมาชนิดความดันต่ำ (PE-50, Plasma Etch, USA) โปรแกรมการทำความสะอาดพื้นผิวโดยใช้ air plasma ตั้งค่า RF power 20 W เป็นเวลา 3 นาที (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 การทำความสะอาดพื้นผิวของกระจกสไลด์

4.2 การสังเคราะห์นาโนซิงออกไซด์ (nano-ZnO) บนกระจกสไลด์

ชุบกระจกสไลด์ในสารละลายสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ nano-ZnO [3] ซึ่งประกอบด้วย Zinc acetate 1 g, Ethanol 50 mL และ Ethanolamine 10 mL จากนั้นนำไปแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 400 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง การชุบเคลือบใช้เครื่อง DIY Dip coating ที่ประกอบขึ้นเองจาก 12 V Linear motor และ Motor voltage regulator (รูปที่ 2)



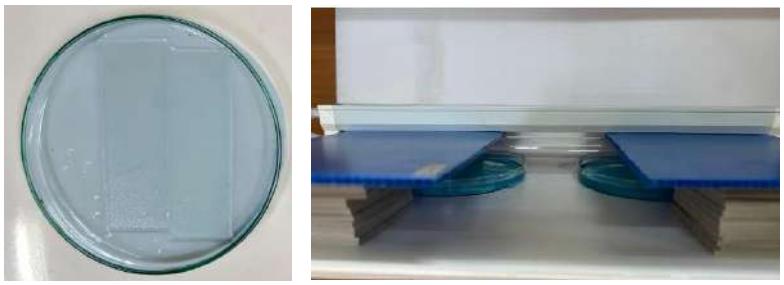
รูปที่ 2 การชุบเคลือบกระจกสไลด์ด้วยสารตั้งต้นของการสังเคราะห์ nano-ZnO

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

นำแผ่นกระจกสไลด์ 2 แผ่น วางเรียงในถาดแก้ว petri dish จากนั้นเติมสารละลาย methylene blue 5 ppm 25 mL วัดค่าดูดกลืนแสงเมื่อเวลาผ่านไป 30 และ 60 นาที เพื่อวิเคราะห์การดูดซับ methylene blue โดย nano-ZnO จากนั้นติดหลอดไฟ UV ให้ห่างจากกระจกสไลด์ 5 cm แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงต่อเมื่อเวลาผ่านไป 90 และ 120 นาที วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (รูปที่ 3)

ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาวิเคราะห์จากการบำบัดสารสี Methylene blue โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 664 nm ด้วยเครื่อง UV- Vis spectrometer (LabQuest2-SpectroVisPlus, Vernier Science Education, USA) คำนวณประสิทธิภาพการบำบัด (% degradation efficiency) โดยใช้สมการ

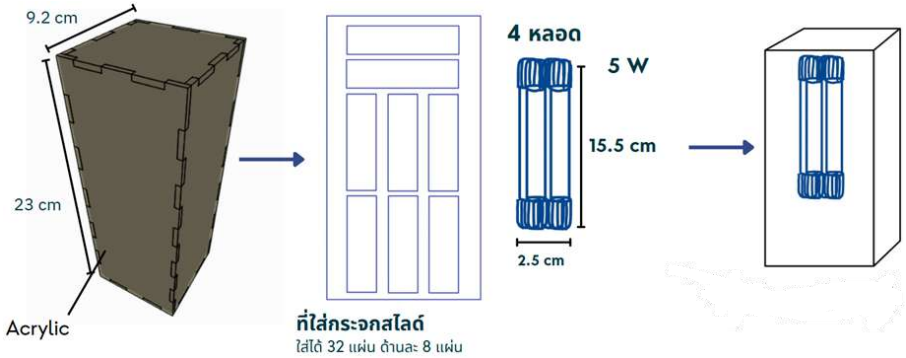
$$\text{Degradation Efficiency (\%)} = \frac{(\text{ค่าดูดกลืนแสงเริ่มต้น} - \text{ค่าดูดกลืนแสงสิ้นสุด})}{\text{ค่าดูดกลืนแสงเริ่มต้น}} \times 100\%$$



รูปที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพของกระจกสไลด์เคลือบ nano-ZnO

4.4 การออกแบบอุปกรณ์บำบัดน้ำต้นแบบ

อุปกรณ์มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมที่ทำจากแผ่นอะคริลิกหนา 4 mm พ่นสีดำ โดยมีขนาดกว้าง 9.2 cm ยาว 9.2 cm และสูง 23 cm มีฝาปิดที่สามารถติดกับหลอดไฟได้ และมีแท่นสำหรับเสียบกระจกสไลด์เพื่อยึดกระจกสไลด์ให้คงที่และสามารถเปลี่ยนกระจกสไลด์ที่ใช้ทดสอบ โดยสามารถใส่กระจกสไลด์ได้สูงสุด 32 แผ่น และบรรจุน้ำได้สูงสุด 1.5 L (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 การออกแบบอุปกรณ์บำบัดน้ำเพื่อใช้กับกระจกสไลด์เคลือบ nano-ZnO

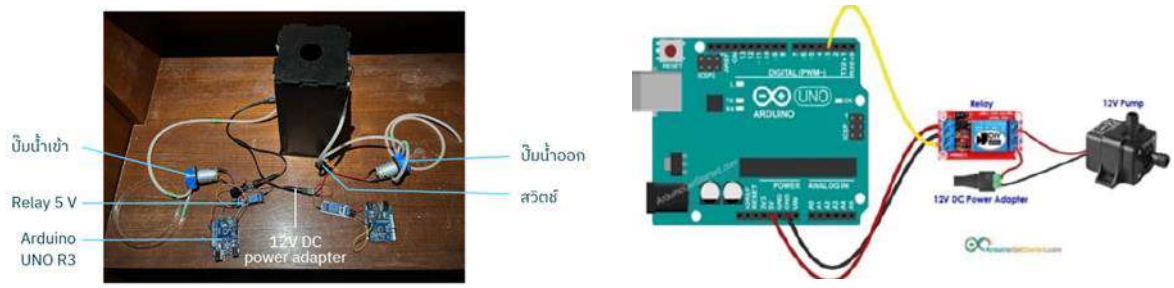
4.5 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำโดยอุปกรณ์ต้นแบบ

นำกระจกสไลด์ที่เคลือบด้วย nano-ZnO 32 แผ่น วางเรียงในแท่นเสียบ จากนั้นใส่ในเครื่องบำบัดน้ำต้นแบบ (รูปที่ 5) เติม methylene blue (MB) 5 ppm 1.4 L ปิดฝาพร้อมหลอดไฟ UV-C 4 หลอด วางเครื่องบำบัดน้ำต้นแบบในตู้กันยูวี วัดดูดกลืนแสงเมื่อเวลาผ่านไป 30 และ 60 นาที โดยมีชุดควบคุม คือ สารละลาย methylene blue 5 ppm ที่ไม่ได้ฉายแสงยูวี

รูปที่ 5 การบำบัดน้ำปนเปื้อนสีย้อมโดยอุปกรณ์ต้นแบบ

4.6 การติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำอัตโนมัติในอุปกรณ์บำบัดน้ำต้นแบบ

ระบบหมุนเวียนน้ำอัตโนมัติประกอบด้วยปั๊มน้ำ 2 ตัว เพื่อทำหน้าที่ถ่ายเทน้ำปนเปื้อนสีย้อมเข้าสู่อุปกรณ์บำบัด และถ่ายเทน้ำที่ผ่านการบำบัดออกจากอุปกรณ์ ปั๊มน้ำจะถูกควบคุมโดยบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino UNO ซึ่งเชื่อมต่อกับ Relay (รูปที่ 6) ปั๊มน้ำมีอัตราการทำงานที่คงที่ ดังนั้นจึงสามารถควบคุมปริมาตรน้ำโดยการกำหนดเวลาทำงานของปั๊ม



รูปที่ 6 วงจรสำหรับควบคุมปั๊มน้ำในอุปกรณ์บำบัดน้ำต้นแบบ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 การดูดซับและการบำบัด methylene blue โดยใช้กระจกสไลด์เคลือบ nano-ZnO

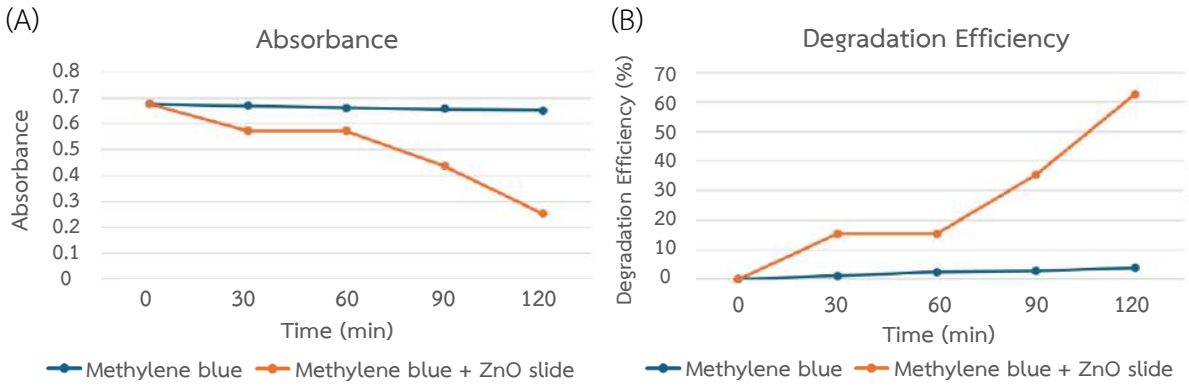
การบำบัดสารละลาย methylene blue 5 ppm 25 mL ในจานเลี้ยงเชื้อโดยใช้หลอดไฟยูวีส่องจากด้านบน มีการวิเคราะห์การกำจัดสารสีจากทั้งการดูดซับและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง การทดลองเก็บสารละลายในที่มืดเป็นเวลา 60 นาที พบว่า กระจกสไลด์เคลือบ nano-ZnO สามารถดูดซับ methylene blue ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของ

สารละลายลดลง คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด 15.5% สมดุลของการดูดซับเกิดขึ้นภายในเวลา 30 นาที ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้เมื่อเวลา 30 และ 60 นาที มีค่าไม่แตกต่างกัน (ตารางที่ 1, รูปที่ 7)

เมื่อนำสารละลาย methylene blue ไปทำการทดลองต่อในสภาวะที่มีแสงยูวีพบว่า การมีแสงยูวีกระตุ้นให้เกิดกระบวนการออกซิเดชันของ methylene blue ในชุดการทดลองที่มีกระจกสไลด์เคลือบด้วย nano-ZnO ทำให้มีค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายลดลงอย่างชัดเจนเทียบกับชุดควบคุม โดยมีประสิทธิภาพการบำบัด 62.8% หลังจากการฉายแสงยูวีเป็นเวลา 60 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระจกสไลด์เคลือบ nano-ZnO สามารถบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสีย้อมโดยกระบวนการออกซิเดชันด้วยปฏิกิริยาเชิงแสงเป็นหลัก ค่าประสิทธิภาพการบำบัดของกระจกสไลด์เคลือบ nano-ZnO ในงานวิจัยนี้มีค่าต่ำว่าผลการทดลองของเปมิกาและคณะที่ทำการทดลองโดยวิธีเดียวกันแต่ได้ค่าการบำบัดสูงถึง 86% ในเวลา 60 นาที [2] เนื่องจากสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ nano-ZnO ในงานวิจัยนี้ไม่ได้มีการเติมยูเรีย จึงทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่สังเคราะห์ได้มีประสิทธิภาพต่ำกว่า N-Dope ZnO ที่ใช้ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ [2, 4] นอกจากนี้ลักษณะของ nano-ZnO บนกระจกสไลด์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาเชิงแสง ปัจจุบันมีเทคนิคการสังเคราะห์ ZnO ที่สามารถควบคุมลักษณะและขนาดของอนุภาคได้แม่นยำขึ้น เช่น การสังเคราะห์ ZnO โดยใช้กระบวนการแบบ 2 ขั้นตอน เพื่อให้ได้ ZnO ในลักษณะแท่ง hexagonal rod ที่มีความหนาแน่นสูงขึ้น [5]

ตารางที่ 1 การบำบัด methylene blue โดยใช้หลอดไฟยูวีร่วมกับกระจกสไลด์เคลือบ nano- ZnO

การทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสง (ประสิทธิภาพการบำบัด %)				
	ในที่มืด			ใต้แสงยูวี	
	0 นาที	30 นาที	60 นาที	90 นาที	120 นาที
Methylene blue	0.678	0.670 (1.2 %)	0.661 (2.5 %)	0.658 (2.9 %)	0.652 (3.8 %)
Methylene blue และ กระจกสไลด์เคลือบ nano-ZnO	0.678	0.573 (15.5 %)	0.573 (15.5 %)	0.437 (35.5 %)	0.252 (62.8 %)



รูปที่ 7 การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสีย้อมโดยใช้กระจกสไลด์เคลือบ nano-ZnO เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง
(A) ค่าการดูดกลืนแสงต่อเวลา (B) ประสิทธิภาพการบำบัด

5.2 การบำบัดน้ำโดยใช้อุปกรณ์บำบัดน้ำต้นแบบ

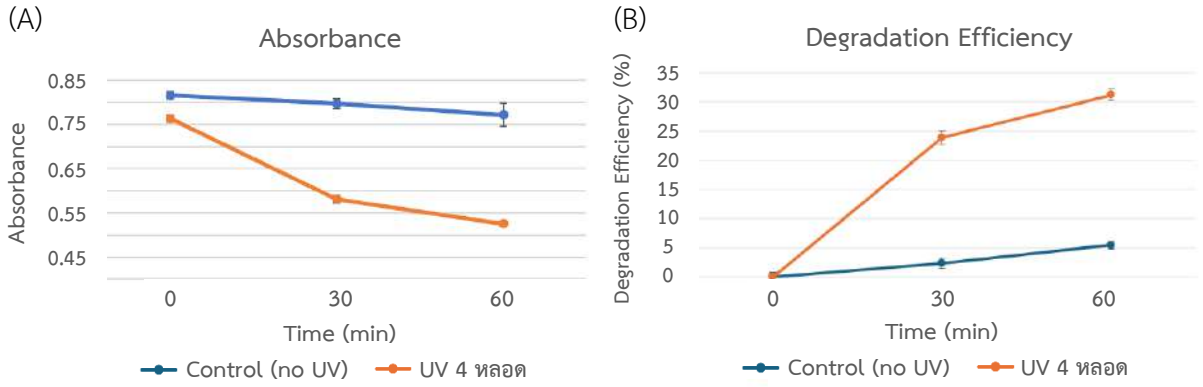
การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสีย้อม methylene blue ความเข้มข้น 5 ppm ปริมาตร 1.4 L โดยใช้อุปกรณ์บำบัดน้ำต้นแบบที่มีกระจกสไลด์เคลือบ nano-ZnO 32 แผ่น รวมกับการใช้หลอดไฟยูวีแบบกันน้ำจำนวน 4 หลอด พบว่า ชุดควบคุมที่ทำการบรรจุน้ำในอุปกรณ์บำบัด แต่ไม่มีการฉายแสงยูวี มีค่าการดูดกลืนแสงลดลงเพียง 5.4 % จากการดูดซับสารสี แต่เมื่อมีการฉายแสงยูวี ค่าการดูดกลืนแสงมีค่าลดลงแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างชัดเจน คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด 31.2% หลังการบำบัด 60 นาที (ตารางที่ 2, รูปที่ 8)

ค่าประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อม methylene blue ในอุปกรณ์บำบัดน้ำต้นแบบมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลองในถาดแก้ว เนื่องจากสัดส่วนปริมาตรน้ำต่อกระจกสไลด์มีค่าแตกต่างกัน การทดลองในถาดแก้วมีสัดส่วนปริมาตรน้ำ 12.5 mL ต่อกระจกสไลด์หนึ่งแผ่น ในขณะอุปกรณ์บำบัดน้ำต้นแบบมีสัดส่วนปริมาตรน้ำ 43.8 mL ต่อกระจกสไลด์หนึ่งแผ่น นอกจากสัดส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาต่อปริมาตรน้ำที่ต้องการบำบัดแล้ว ปัจจัยอื่น ๆ ที่ต้องพิจารณาในการพัฒนาประสิทธิภาพอุปกรณ์บำบัดน้ำได้แก่ การลดระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและตัวเร่งปฏิกิริยา และการอัตราการไหลของน้ำในกรณีที่เป็นระบบบำบัดแบบไหลต่อเนื่อง [6, 7] รวมถึงอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากแหล่งกำเนิดแสงยูวี

การเปลี่ยนถ่ายน้ำในเครื่องบำบัดน้ำแต่ละรอบจำเป็นต้องทำด้วยความระมัดระวัง เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อกระจกสไลด์ และไม่เกิดอันตรายจากการสัมผัสกับแสงยูวี ซึ่งอาจมีความเสี่ยงกรณีที่เปิดตู้กันแสงยูวีขณะที่ยังไม่ได้ปิดสวิตซ์หลอดไฟ ซึ่งอุปกรณ์บำบัดน้ำที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ได้มีการติดตั้งระบบหมุนเวียนน้ำอัตโนมัติจึงเป็นการเพิ่มความสะดวกในการใช้งานและเพิ่มความปลอดภัย

ตารางที่ 2 การบำบัด methylene blue โดยใช้เครื่องบำบัดน้ำต้นแบบร่วมกับกระจกสไลด์เคลือบ ZnO

การทดลอง	ค่าการดูดกลืนแสง (ประสิทธิภาพการบำบัด %)		
	0 นาที	30 นาที	60 นาที
ชุดควบคุม (ไม่เปิดไฟยูวี)	0.816	0.797 (2.3 %)	0.772 (5.4 %)
ฉายแสงด้วยไฟยูวีแบบกันน้ำ 4 หลอด	0.763	0.581 (23.9 %)	0.525 (31.2 %)



รูปที่ 8 การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสีย้อมโดยใช้อุปกรณ์บำบัดน้ำต้นแบบ
(A) ค่าการดูดกลืนแสงต่อเวลา (B) ประสิทธิภาพการบำบัด

6. สรุปผลการศึกษา

การประยุกต์ใช้กระจกสไลด์เคลือบ nano-ZnO เพื่อการบำบัดน้ำเสียในอุปกรณ์บำบัดน้ำต้นแบบ พบว่าสามารถกำจัด methylene blue ในสารละลายปริมาตร 1.4 L ได้ 31.2 % เมื่อใช้เวลาบำบัด 60 นาที อุปกรณ์บำบัดน้ำต้นแบบสามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น โดยการปรับลดสัดส่วนปริมาตรน้ำต่อจำนวนกระจกสไลด์ การปรับตำแหน่งของหลอดไฟยูวีให้อยู่ชิดกับกระจกสไลด์มากขึ้น และการปรับเปลี่ยนสูตรผสมของสารตั้งต้นและวิธีการการสังเคราะห์ nano-ZnO

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Joseph, A. & Vijayanandan, A. (2022). Review on support materials used for immobilization of nano-photocatalysts for water treatment applications. *Inorganica Chimica Acta*, *545*, 1-11.

[2] Na-Ranong, P., Sangsri, Y., Kongchanpat, W, Triampo, D. & Srikun, D. (2024). Improving photocatalytic efficiency of zinc oxide immobilized on glass slides by using plasma surface modification. *Proceeding of Pure and Applied Chemistry International Conference*, Bangkok, Thailand. https://paccon2024.kasetsart.org/FILES/PACCON2024_Proceedings.pdf

[3] Sumaya, M. U., Maria, K. H., Toma, F. T. Z., Zubair, M. A. & Chowdhury M. T. (2023). Effect of stabilizer content in different solvents on the synthesis of ZnO nanoparticles using the chemical precipitation method. *Heliyon*, *9*, e20871.

[4] Yodyingyong, S., Zhou, X., Zhang, Q., Triampo, D., Xi, J., Park, K., Limketkai, B., & Cao, G. (2010). Enhanced photovoltaic performance of nanostructured hybrid solar cell using highly oriented TiO_2 nanotubes. *Journal of Physical Chemistry. C*, *114*, 21851-21855.

[5] Elias, M., Uddin, M. N., Saha, J. K., Hossain, M. A., Sarker, D. R., Akter, S., Siddiquey, I. A., & Uddin, J. (2021). A highly efficient and stable photocatalyst; N-doped ZnO/CNT composite thin film synthesized via simple sol-gel drop coating method. *Molecules*, *26*, 1-19.

[6] Vaiano, V., & Iervolino, G. (2018). Facile method to immobilize ZnO particles on glass spheres for the photocatalytic treatment of tannery wastewater. *Journal of Colloid and Interface Science*, 192-199.

[7] Lampkin, P., Thompson, B., & Gellman, S. (2021). Versatile open-source photoreactor architecture for photocatalysis across the visible spectrum. *Organic Letters*, *23*, 5277-5281.

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยพิบัติ

Oral Presentation

การศึกษาศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนประเภทสวนสาธารณะ พื้นที่ขยายเมืองใหม่ : กรณีศึกษา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม

จีรกานต์ กวินธร, จิรทยา เริ่มมนตรี, อรันย์ ศรีรัตนา ทาบูกานอน และ มณฑิรา ยุติธรรม*

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม

* Corresponding author: monthira.yut@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในสวนสาธารณะภายในพื้นที่ขยายตัวของเมือง และความเพียงพอของขนาดพื้นที่สีเขียว อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม โดยวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา และวิเคราะห์ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่สีเขียวสาธารณะขนาดใหญ่ของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ สวนพุทธมณฑล โดยใช้พื้นที่สีเขียวของสวน คิดเป็นเกณฑ์พื้นที่สีเขียวที่เหมาะสมกับขนาดประชากรในพื้นที่ที่เหมาะสมกับเมืองตามองค์การอนามัยโลก (WHO)

จากการสำรวจข้อมูลพบว่า ต้นไม้ที่พบในแปลงสำรวจมีจำนวน 704 ต้น 34 ชนิด ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บได้ในแปลงสำรวจ 133,688.39 kgC ต่อขนาดพื้นที่ 12 แปลง คิดเป็นพื้นที่ 30,000 ตร.ม. (3 ไร่) ปริมาณคาร์บอนต่อพื้นที่ของสวนพุทธมณฑล (600 ไร่) เท่ากับ 4.25 ตันคาร์บอน/ไร่ จากขนาดพื้นที่ของ อ.พุทธมณฑล 52.30 ตร.กม. (130,750 ไร่) ตามเกณฑ์พื้นที่สีเขียวของ WHO อ.พุทธมณฑล ควรมีพื้นที่สีเขียวอย่างน้อย 373,158 ตร.ม. (933 ไร่) จากสถิติ อ.พุทธมณฑล มีจำนวนประชากร 41,462 คน ผลการศึกษาเมื่อใช้พื้นที่สวนพุทธมณฑลเป็นเกณฑ์ของขนาดพื้นที่สีเขียวสาธารณะ พบว่า อ.พุทธมณฑล มีพื้นที่สีเขียวให้ประชากรในพื้นที่ 5.79 ตร.ม./คน ซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่สีเขียวที่ยังไม่เพียงพอต่อประชากร นอกจากนี้ พื้นที่สวนยังต้องสามารถรองรับกิจกรรมของประชาชนได้อย่างเหมาะสม สะท้อนถึงบทบาทสำคัญของพื้นที่สีเขียวในการสนับสนุนการพัฒนาเมืองที่มีคุณภาพ โดยเฉพาะในพื้นที่ขยายเมือง ซึ่งการศึกษาความสามารถในการกักเก็บคาร์บอน สามารถนำไปใช้ในการวางแผนพัฒนาเมืองที่ยั่งยืนในอนาคต

คำสำคัญ: การกักเก็บคาร์บอน / พื้นที่สีเขียวสาธารณะ / พื้นที่เมืองขยาย / การใช้ประโยชน์ที่ดิน / อำเภอพุทธมณฑล

The Study of Carbon Stock in Expansion Development Area Focusing on Public Park: A Case Study in Phutthamonthon District, Nakhon Pathom Province

Jeerakan Kawinthon, Jirataya Roemmontri, Allan Sriratana Tabucanon and Monthira Yuttitham*

Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Salaya, Phutthamonthon District, Nakhon Pathom

* Corresponding author: monthira.yut@mahidol.ac.th

Abstract

This study examines the potential for carbon sequestration within public parks situated in urban expansion areas, as well as the adequacy of green space in Phutthamonthon District, Nakhon Pathom Province. The primary objectives are to analyze land use changes within the study area and to assess the carbon sequestration capacity of a major public green space, namely Phutthamonthon Park. The green area of the park is evaluated against the World Health Organization (WHO) standard for the appropriate ratio of green space per capita in urban environments.

Field surveys identified a total of 704 trees, comprising 34 species, across 12 sampling plots covering an area of 30,000 square meters (approximately 3 rai). The total amount of carbon sequestered within these plots was estimated at 133,688.39 kilograms of carbon (kgC), resulting in an average sequestration rate of 4.25 metric tons of carbon per rai for Phutthamonthon Park, which spans approximately 600 rai. Based on the total area of Phutthamonthon District (52.30 square kilometers or 130,750 rai) and its population of 41,462, the WHO's recommended green space provision suggests a minimum of 373,158 square meters (933 rai) of green space should be available. Using Phutthamonthon Park as a benchmark, the district currently offers approximately 5.79 square meters of green space per capita—an amount that remains insufficient according to international standards.

Furthermore, public parks must be capable of accommodating diverse recreational and social functions to adequately serve the community. The findings underscore the essential role of green spaces in enhancing urban quality of life and promoting sustainable urban development, particularly in areas undergoing rapid urban expansion. The assessment of carbon sequestration potential offers valuable insights for future urban planning and policy formulation aimed at achieving long-term environmental sustainability.

Keywords: Carbon Sequestration / Public Green Space / Urban Expansion / Land Use / Phutthamonthon District

1. บทนำ

พื้นที่ปริมณฑลรอบกรุงเทพฯ ได้มีการพัฒนา เพื่อรองรับการขยายตัวของเมืองหลวงในหลาย ๆ ด้าน ทั้งโครงสร้างพื้นฐาน หรือการขยายพื้นที่พาณิชยกรรมเพื่อประกอบธุรกิจ แนวโน้มส่วนใหญ่ก่อให้เกิดการลดลงของพื้นที่สีเขียว หรือเกิดการพัฒนาพื้นที่ที่มุ้งเน้นด้านเศรษฐกิจ และสังคม การศึกษาฉบับนี้จึงมีความสนใจศึกษาพื้นที่สีเขียวในพื้นที่ปริมณฑล จากเดิมเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ที่มีแนวทางการพัฒนาเพื่อให้เป็นพื้นที่อยู่อาศัย และเส้นทางคมนาคม โดยเฉพาะรถไฟฟ้าที่กำลังจะขยายตัวสู่พื้นที่ปริมณฑล หรือมีโครงการที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่มากมาย

งานวิจัยฉบับนี้จึงทำการศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดิน และศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ประเภทพื้นที่สีเขียวสาธารณะ ใน อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม ซึ่งเป็นพื้นที่ปริมณฑลที่เกิดการขยายตัวทางเศรษฐกิจจากกรุงเทพฯ ด้วยการมีศักยภาพทางกายภาพที่ติดต่อกับทิศตะวันตก เป็นพื้นที่ไร้รอยต่อจากเมืองหลวง โดยมีถนนหลัก และถนนตัดใหม่ที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดหมู่บ้านจัดสรรที่สามารถรองรับจำนวนประชากรจำนวนมาก ตามมาด้วยการพัฒนาพื้นที่ให้เป็นย่านการค้า ที่มีห้างสรรพสินค้ามากมายเกิดขึ้นในพื้นที่ และยังมีสถานศึกษาขนาดใหญ่อย่างมหาวิทยาลัยมหิดลฯ ที่ดึงดูดให้ผู้คนนอกพื้นที่เข้ามาอาศัยอยู่จำนวนมาก ทั้งนี้การศึกษาฉบับนี้ เพื่อหาแนวทางพัฒนา และยกระดับคุณภาพชีวิตในพื้นที่เมืองของประชากร ให้เป็นสังคมคาร์บอนต่ำ และเป็นการพัฒนาแบบยั่งยืน (Sustainability Urban Development)

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลง การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา (อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม)
2. ศึกษาศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนพื้นที่สวนพุทธมณฑล พื้นที่สีเขียวสาธารณะใน อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลด้านแนวคิด ทฤษฎีต่าง ๆ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวิจัย เช่น การกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่สีเขียว
2. ศึกษาสภาพทั่วไปของ อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม เช่น สภาพเศรษฐกิจ สังคม และเส้นทางคมนาคม เป็นต้น รวมไปถึงการศึกษาแผนงาน นโยบายยุทธศาสตร์
3. ศึกษาบทบาทของพื้นที่สีเขียวสวนสาธารณะที่มีผลต่อประชาชนในพื้นที่ศึกษา

4. วิธีการศึกษา

4.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา ได้แก่ อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินของเมือง และสวนพุทธมณฑล พื้นที่สีเขียวสาธารณะ (รูปที่ 1) ปัจจุบันการใช้ประโยชน์ของพื้นที่คือ สวนขนาดใหญ่ ที่เป็นพื้นที่ประกอบกิจกรรมทางพุทธศาสนาเป็นหลัก และเป็นสวนสาธารณะให้ประชาชนเพื่อพักผ่อนหย่อนใจ ภายในพื้นที่ประกอบด้วยการใช้ประโยชน์อย่างชัดเจน แบ่งเป็นพื้นที่อาคาร และสิ่งก่อสร้าง เส้นทางคมนาคม รวมองค์ประกอบที่จอดรถ และพื้นที่ธรรมชาติ อย่างพื้นที่น้ำ และพื้นที่สีเขียว ที่ประกอบไปด้วยสนามหญ้า และพื้นที่ปลูกต้นไม้ เป็นพื้นที่ศึกษาสำหรับงานวิจัยฉบับนี้ ในการศึกษาพื้นที่สีเขียวสาธารณะในการกักเก็บคาร์บอนของเมืองพุทธมณฑล

รูปที่ 1 แสดงพื้นที่ศึกษา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม และสวนพุทธมณฑล

4.2 รวบรวมข้อมูล

1. การศึกษาทบทวนงานวิจัย รวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่เคยประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ โดยอ้างอิงจากสวนสาธารณะในกรุงเทพฯ แผนพัฒนา และแนวทางการพัฒนาทั้งระดับอำเภอ และจังหวัด รวมถึงการรวบรวมข้อมูลประชากรในพื้นที่ศึกษา

2. ศึกษาข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน โครงข่ายคมนาคม เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพพื้นที่ศึกษาในภาพรวมของ อ.พุทธมณฑล ก่อนจะเข้าสู่พื้นที่สวนสาธารณะที่ต้องศึกษาศักยภาพการกักเก็บคาร์บอน

4.3 การสำรวจพื้นที่

1. เก็บข้อมูลต้นไม้ โดยแบ่งพื้นที่เป็นตาราง (Grid) เพื่อแบ่งโซนการเก็บข้อมูล โดยทำการสุ่มตัวอย่างการเก็บต้นไม้ ด้วยวิธีสุ่มตัวอย่างแบบสม่ำเสมอ (Systematic Sampling) ให้แต่ละกลุ่มมีระยะห่าง (Spacing) เท่ากัน จำนวน 12 แปลง โดยแต่ละแปลง มีขนาด 50 x 50 ม. (รูปที่ 2)

2. เก็บข้อมูลต้นไม้ในแปลงตัวอย่างทั้ง 12 แปลง (รูปที่ 2) โดยการเก็บรายละเอียดตำแหน่งต้นไม้เดิม, ชนิด, ความสูง, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทรงพุ่มของไม้ยืนต้นที่มีขนาด DBH มากกว่า 20 ซม. โดย DBH วัดที่ความสูง 1.30 ม. จากระดับดิน

3. วิเคราะห์ข้อมูลจากขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล และการสำรวจพื้นที่ เพื่อรวบรวมข้อมูลพืชพรรณของพื้นที่ศึกษาที่เน้นเป็นพื้นที่สีเขียวของสวนพุทธมณฑล เพื่อคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ที่ได้เก็บข้อมูลมา ในการศึกษาครั้งนี้

3.1 ใช้สมการแอลโลเมตรี [1] (ตารางที่1) เพื่อการประมาณค่ามวลชีวภาพของไม้ยืนต้น และหาค่าคาร์บอนที่สะสมอยู่ในมวลชีวภาพโดยคูณด้วยค่า Conversion factor ซึ่งมีค่า 0.47 [2]

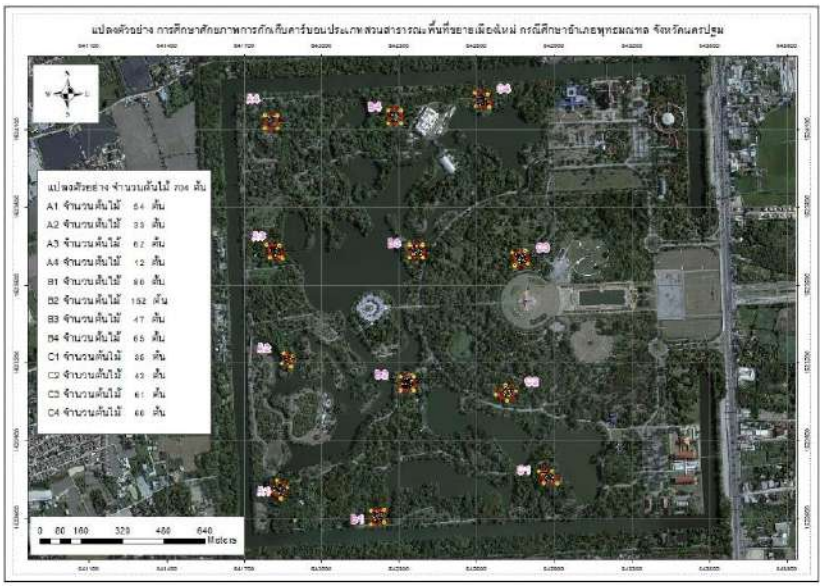
ตารางที่ 1 สมการแอลโลเมตรี [1]

ลักษณะของพื้นที่สีเขียว	สมการ	อ้างอิง
กลุ่มพรรณไม้ทั่วไป	$W_S = 0.0396\ (D^2H)^{0.933}$ $W_B = 0.00349\ (D^2H)^{1.030}$ $W_L = (28 / (W_S + W_B + 0.025))^{-1}$	Ogawa et al. (1965)

H_S = ความสูงลำต้นของต้นไม้ (ม.)

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้นมากกว่า 4.5 ซม. ขึ้นไป โดยวัดที่ระดับความสูง 1.30 ม. จากพื้นดิน

W_S W_B W_L = มวลชีวภาพ (กก.) ของลำต้น กิ่ง และใบ ตามลำดับ



รูปที่ 2 แสดงแปลงเก็บข้อมูลต้นไม้ 12 แปลง ในพื้นที่สวนพุทธมณฑล

3.2 สมการวิเคราะห์องค์ประกอบของมวลชีวมวลของพรรณไม้: $\mathbf{W_T = W_S + W_B + W_L}$ โดยที่ W_T คือ มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (กก.) และ W_S W_B W_L คือ มวลชีวภาพ (กก. ของต้นไม้ กิ่ง ใบ ตามลำดับ [1])

3.3 วิเคราะห์มวลชีวภาพรวมของพรรณไม้จากอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพเหนือดิน และมวลชีวภาพใต้ดิน [3] ได้กำหนดอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพใต้ดิน และมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (root/shoot ratio) ของพรรณไม้ที่ปลูกในเขตเมืองเท่ากับ 0.27: **มวลชีวภาพใต้ดิน = มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน x 0.27** โดยมวลชีวภาพรวม (กก./ต้น), มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (กก./ต้น) และ 0.27 คือ อัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพเหนือดินและมวลชีวภาพเหนือใต้ดิน

3.4 ประเมินการกักเก็บคาร์บอนใต้พื้นดิน และเหนือดินของต้นไม้ทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา โดยใช้ค่าสัดส่วนของคาร์บอนในมวลชีวภาพเฉลี่ย [2] โดย **การกักเก็บคาร์บอน (กก.) = มวลชีวภาพของต้นไม้ x 0.47 (สัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพเฉลี่ย)**

3.5 วิเคราะห์ขนาดของพื้นที่สีเขียวสาธารณะในสวนพุทธมณฑล กับขนาดประชากรของ อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม เพื่อเป็นพื้นที่ตัวอย่างในการประเมินพื้นที่สีเขียวสาธารณะขนาดใหญ่ ใน อ.พุทธมณฑล ว่าเพียงพอต่อจำนวนประชากรในพื้นที่มากน้อยเพียงใด โดยเกณฑ์การให้คะแนนขนาดพื้นที่สีเขียวที่ดี และเพียงพอต่อการดำรงชีวิตบนคุณภาพชีวิตที่ดี จากสัดส่วนพื้นที่สีเขียวที่เหมาะสมกับเมือง 9-15 ตร.ม./คน ตามองค์การอนามัยโลก (WHO) [4]

3.6 เปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในสวนสาธารณะระหว่างพื้นที่กรุงเทพฯ และพื้นที่ อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม โดยวิเคราะห์จากข้อมูลงานวิจัยฉบับนี้ที่วิเคราะห์ได้ และข้อมูลจากงานศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่สวนสาธารณะ

3.7 สรุปศักยภาพของพื้นที่สีเขียวในพื้นที่ศึกษา และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเสนอแนะแนวทางการเพิ่มขึ้นของพื้นที่สีเขียวในพื้นที่ศึกษา

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

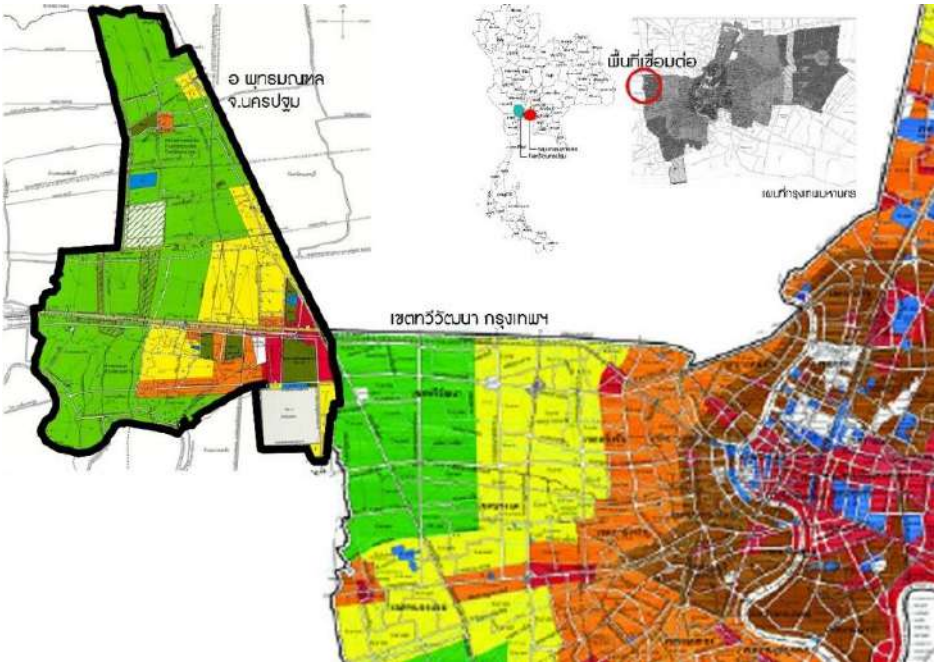
5.1 การวิเคราะห์พื้นที่ภาพรวมตามผังเมือง

การศึกษาการใช้ที่ดินระดับ อ.พุทธมณฑล นั้นเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นการวิเคราะห์แนวทางการพัฒนาพื้นที่เมืองขยายใน อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม ด้วยศักยภาพพื้นที่ศึกษานั้น อยู่ติดทางตะวันตกของกรุงเทพฯ แบบเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งมีการเชื่อมต่อด้วยเส้นทางคมนาคมอย่าง ถนนบรมราชชนนี และสะพานพระราม 8 ที่สามารถเข้าสู่พื้นที่ใจกลางเมืองอย่าง CBD ของกรุงเทพฯ ได้ มีถนนตัดใหม่หลายสายเพื่อรองรับการขยายตัวของประชากร และเศรษฐกิจของ อ.พุทธมณฑล มีศักยภาพในการรองรับการขยายตัวเมืองจากกรุงเทพฯ ทั้งสะดวกด้วยเส้นทางคมนาคมที่สามารถเข้าสู่พื้นที่เมืองหลวงได้ทันที อีกทั้งยังเป็นที่ตั้งของมหาวิทยาลัยขนาดใหญ่ที่ต้องรองรับนักศึกษา และบุคลากรมหาลัย หรือกลุ่มบุคคล ที่ประกอบกิจกรรมเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม ที่เข้ามาอาศัยอยู่ในพื้นที่ ด้วยเหตุนี้ ทางสำนักโยธาธิการและผังเมือง จ.นครปฐม ได้กำลังดำเนินการจัดทำผังเมืองรวมชุมชน อ.พุทธมณฑล โดยมีแนวคิดให้ อ.พุทธมณฑล เป็นย่านที่อยู่อาศัยชั้นดีที่เชื่อมต่อกับกรุงเทพฯ อย่างไร้รอยต่อ เป็นแนวทางการพัฒนาพื้นที่ และรองรับการเป็นอยู่ของประชาชน โดยกำหนดให้พื้นที่อยู่อาศัยใช้ FAR เหมือนกับกรุงเทพฯ เพื่อเป็นการวางแผนที่อยู่อาศัย หรือพื้นที่พาณิชยกรรมในอนาคต ให้เมืองโตไปตามแนวทางที่ถูกวางแผนไว้ นอกจากการกำหนดการใช้ประโยชน์ที่ดินที่อ้างอิงจากการจัดทำผังเมืองกรุงเทพฯ แล้วนั้น ในอนาคตเส้นทางรถไฟฟ้าหลายสายจะขยายเข้าสู่พื้นที่ อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม ทำให้เกิดแผนพัฒนากลุ่มเมืองเป็นกลุ่มพื้นที่พาณิชยกรรม หรือ Transit-Oriented Development (TOD) โดยมุ้งพัฒนาบริเวณพื้นที่มหาวิทยาลัยมหิดล โดยมีแผนพัฒนาให้เป็นรูปแบบเดียวกันกับแนวทางพัฒนาของพื้นที่ขยายที่ใช้ในบริเวณ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จังหวัดปทุมธานี ทั้งนี้ เพื่อเป็นการแก้ปัญหาการจราจรของพื้นที่ขยายตัวเมืองด้วยรถขนส่งสาธารณะ ลดการใช้พาหนะส่วนบุคคล ผลที่เกิดขึ้นคือการลดมลพิษในสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

การวางแผนพัฒนาพื้นที่ปริมณฑลนั้น ได้ใช้แนวทางจากการร่างผังเมืองรวมกรุงเทพมหานครฉบับปรับปรุงครั้งที่ 4 เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของประชากร เห็นได้จากพื้นที่กรุงเทพฯ ชั้นใน ซึ่งมีแผนพัฒนาที่เปลี่ยนสีผังเมืองจากการใช้ประโยชน์ที่ดินจากที่อยู่อาศัยระดับปานกลางเป็นที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก ทำให้พื้นที่กรุงเทพฯ ชั้นนอก หรือพื้นที่ที่ติดจังหวัดปริมณฑลมีแผนเปลี่ยนสีตามการพัฒนาเมือง (รูปที่ 3) โดยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบอนุรักษ์ชนบทและเกษตรกรรม แผนพัฒนาผังเมืองกรุงเทพฯ ฉบับใหม่ถูกเปลี่ยนจากการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบพื้นที่ชนบท และเกษตรกรรม

เมื่อทำการศึกษาผังเมืองของ อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม (รูปที่ 3) พบว่ามีการขยายตัวของที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นด้านอสังหาริมทรัพย์ที่ขยายตัวที่อยู่อาศัยจากกรุงเทพฯ ทั้งเป็นแหล่งท่องเที่ยวใกล้กรุงเทพฯ ทั้งเชิงเกษตร และเชิงวัฒนธรรม อีกทั้งยังเป็นที่ตั้งของสถานศึกษาหลายแห่ง ซึ่งต้องมีการขยายตัวของที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้นเพื่อรองรับนักเรียน นักศึกษา และบุคลากรของสถานศึกษา ส่วนพื้นที่อื่นของ จ.นครปฐม นั้นภาคอุตสาหกรรมขับเคลื่อนจังหวัดที่เป็นรายได้หลัก ทำให้มีโรงงานอุตสาหกรรมที่สำคัญมากมาย และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากแผนพัฒนาจังหวัดนครปฐม 5 ปี (พ.ศ.2566-2570) คาดว่าจะเกิดการ

เปลี่ยนแปลงด้วยการมีการขยายพื้นที่อยู่อาศัยอย่างต่อเนื่องภายในพื้นที่ อ.เมือง และอ.พุทธมณฑล ตลอดจนถึง อ.สามพราน ที่เป็นที่อยู่อาศัยควบคู่ไปกับโรงงานอุตสาหกรรม ด้านคมนาคม มีโครงข่ายระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนที่ต่อเนื่องจากกรุงเทพฯ และมีการขยายตัวของระบบโครงสร้างพื้นฐานคมนาคมขนส่งโลจิสติกส์ของภาคอุตสาหกรรม เป็นพื้นที่โครงการทางหลวงพิเศษสายบางใหญ่-กาญจนบุรี ซึ่งจะกระตุ้นการขยายเมือง การค้าและบริการ จากกรุงเทพฯ และจังหวัดปริมณฑล



รูปที่ 3 แสดงผังการใช้ที่ดินระหว่างผังการใช้ประโยชน์ที่ดินกรุงเทพมหานครและ อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม

ทั้งนี้ นัยยะสำคัญของการสีผังเมืองนั้น คือการใช้ประโยชน์ที่ดินได้หลากหลายมากยิ่งขึ้นตามการพัฒนาเมืองตามระบบเศรษฐกิจและสังคมที่เปลี่ยนแปลงไป ด้วยการศึกษาผังเมืองนั้น ประโยชน์การใช้ที่ดินมีผลกับพื้นที่สีเขียวของจังหวัดนั้น ๆ เนื่องจากนักลงทุน หรือเจ้าของกิจกรรมพาณิชยกรรม หรือโรงงานอุตสาหกรรมสามารถเข้ามาพัฒนาธุรกิจภายในพื้นที่ได้ จากการศึกษาผังเมือง และแนวทางการพัฒนาของจังหวัด จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการศึกษาพื้นที่สีเขียว และแนวทางการพัฒนาเมืองที่ควบคู่กับสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

5.2 ความหลากหลายชนิด และความหนาแน่นของต้นไม้

จากการเก็บตัวอย่างต้นไม้ในแปลงตัวอย่างทั้ง 12 แปลง ขนาดแปลง 50 x 50 ม. รวมพื้นที่แปลงตัวอย่างทั้งสิ้น 600 ตร.ม. (จากพื้นที่สวนพุทธมณฑล 600 ไร่ หรือ 2,400,000 ตร.ม.) พบว่ามีต้นไม้ที่นับจำนวนมีทั้งหมด 704 ต้น ต้นไม้ที่พบในแปลงสำรวจได้แก่ นนทรี 68 ต้น สาละ 56 ต้น สัก 53 ต้น หางนกยูง 48 ต้น พิกุล 49 ต้น ราชพฤกษ์ 41 ต้น พันขาติ 25 ต้น ไทร 22 ต้น ยางนา 21 ต้น ตะแบก 18 ต้นขี้เหล็ก 17 ต้น สะเดา 11 ต้น มะค่าโม่ง 10 ต้น พะยอม 8 ต้น มะกอกป่า 7 ต้น แคป่า 6 ต้น มะขามและกระถินณรงค์ 4 ต้น ยูคา, กระถิน, มะขามเทศ, พยูง, งิ้ว, ลำดวน, พัดชาด และถ่อน 3 ต้น มะขามป่า, มะหวด และสน 2 ต้น สัตบรรณ, ก้ามปู, ข่อย, ตะเคียนทอง และตาล 1 ต้น และต้นไม้ไม่ทราบชื่อจำนวน 8 ต้น (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้แต่ละชนิด

ต้นไม้	ปริมาณกักเก็บคาร์บอนของ 12 แปลง (kgC /ตร.ม.)	ปริมาณกักเก็บคาร์บอนต่อพื้นที่ (kgC /ตร.ม.)	ปริมาณกักเก็บคาร์บอนต่อพื้นที่ (ตันคาร์บอน/ไร่)
พิกุล	6,107.82	122.1564	0.19545024
นนทรี	1,5372.6	307.451	0.4919216
ขี้เหล็ก	1,721.06	34.4212	0.05507392
โพธิ์	3,910.83	78.2166	0.12514656
มะฮอกกะนี	6,999.27	139.9854	0.22397664
สะเดา	385.59	7.7118	0.01233888
ยูคา	2,567.49	51.3498	0.08215968
ประดู่	17,208.3	344.1668	0.55066688
สัตบรรณ	14.36	0.2872	0.00045952
กระถิ่น	186.97	3.7394	0.00598304
แคป่า	850.11	17.0022	0.02720352
สะเดา	204.77	4.0954	0.00655264
หางนกยูง	4,366.96	87.3392	0.13974272
ไทร	10,530.3	210.6056	0.33696896
พันชาด	16,270.1	325.4012	0.52064192
ขี้เหล็ก	325.46	6.5092	0.01041472
มะขาม	1,264.38	25.2876	0.04046016
ตะแบก	1,313.69	26.2738	0.04203808
มะขามเทศ	945.08	18.9016	0.03024256
ก้ามปู	521.71	10.4342	0.01669472
แคนา	242.54	4.8508	0.00776128
พยูง	182.2	3.644	0.0058304
พิกุล	136.58	2.7316	0.00437056
กระถินณรงค์	1,943.46	38.8692	0.06219072
สาละ	3,131.43	62.6286	0.10020576
สัก	1,989.58	39.7916	0.06366656
ข่อย	38.14	0.7628	0.00122048
หมาก	411.22	8.2244	0.01315904
ยางนา	963.99	19.2798	0.03084768
มะขามป่า	153.35	3.067	0.0049072
ตะเคียนทอง	25.42	0.5084	0.00081344
สะเดา	1,298.47	25.9694	0.04155104
มะขาม	46.01	0.9202	0.00147232
คูณ	1,655.57	33.1114	0.05297824

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้แต่ละชนิด (ต่อ)

ต้นไม้	ปริมาณกักเก็บคาร์บอนของ 12 แปลง (kgC /ตร.ม.)	ปริมาณกักเก็บคาร์บอนต่อพื้นที่ (kgC /ตร.ม.)	ปริมาณกักเก็บคาร์บอนต่อพื้นที่ (ตันคาร์บอน/ไร่)
มะค่าโม่ง	121.43	2.4286	0.00388576
ต้นไม้ไม่ทราบชื่อ	1,362.58	27.2516	0.04360256
จิ้ว	614.7	12.294	0.0196704
หว้า	117.22	2.3444	0.00375104
ถ่อน	553.22	11.0644	0.01770304
มะกอกป่า	412.25	8.245	0.013192
มะหวด	36.8	0.736	0.0011776
สน	106.71	2.1342	0.00341472
มะเดื่อ	328.05	6.561	0.0104976
ลำดวน	1,245.48	24.9096	0.03985536
ราชพฤกษ์	2,323.22	46.4644	0.07434304
ตาล	651.52	13.0304	0.02084864
พะยอม	1,741.35	34.827	0.0557232
เสลา	137.63	2.7526	0.00440416
รวม	113,037	2,260.738	3.618

จากการสำรวจพื้นที่สีเขียวของสวนพุทธมณฑล จำนวน 12 แปลงตัวอย่าง พบไม้ยืนต้นจำนวน 34 ชนิดพันธุ์ โดยมีการคำนวณปริมาณคาร์บอนที่สามารถกักเก็บได้จากแต่ละชนิดพันธุ์ไม้ในแต่ละแปลงรวมทั้งหมด จากทุกแปลงอยู่ที่ 113,037 kgC หรือเท่ากับ 3.618 ตันคาร์บอน/ไร่

5.3 พื้นที่สีเขียวที่เหมาะสมของประชากรในพื้นที่

ขนาดพื้นที่ของอำเภอพุทธมณฑลเท่ากับ 52.30 ตร.กม. จากการศึกษาพบว่าประชากรในพื้นที่ อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม พบว่ามีประชากรในพื้นที่ 41,462 คน โดยมีความหนาแน่นของประชากร 792.77 คน/ตร.กม.

ตามเกณฑ์ขององค์การอนามัยโลก (WHO) [4] แนะนำให้มีพื้นที่สีเขียวไม่น้อยกว่า 9 ตร.ม./คน เพื่อสุขภาพที่ดีของประชาชนในเขตเมือง โดยใช้เกณฑ์นี้ในการคำนวณพื้นที่สีเขียวที่เหมาะสมสำหรับ อ.พุทธมณฑล ดังนี้

1. จำนวนประชากรทั้งหมดคือ 41,462 คน
2. เกณฑ์พื้นที่สีเขียวที่แนะนำคือ 9 ตร.ม./ต่อคน

พื้นที่สีเขียวที่เหมาะสมคือ: 41,462 คน × 9 ตร.ม./คน = 373,158 ตร.ม. (หรือประมาณ 373.16 ไร่) อ.พุทธมณฑล ควรมีพื้นที่สีเขียวอย่างน้อย 373,158 ตร.ม. หรือ 373.16 ไร่ ตามเกณฑ์ WHO เพื่อสุขภาวะของประชาชน

ด้วยพื้นที่ศึกษา ได้แก่ สวนพุทธมณฑล ที่มีพื้นที่สีเขียวขนาด 600 ไร่ หรือประมาณ 960,000 ตร.ม. จำนวนพื้นที่สีเขียวที่ต้องการตามเกณฑ์ WHO สำหรับประชากรใน อ.พุทธมณฑล มีจำนวนประชากรประมาณ 41,462 คน ผลการศึกษาเมื่อใช้พื้นที่

สวนพุทธมณฑลเป็นเกณฑ์ของขนาดพื้นที่สีเขียวสาธารณะ พบว่า อ.พุทธมณฑล จำนวน 41,462 คน ซึ่งควรมีพื้นที่สีเขียวประมาณ 373,158 ตร.ม. ทั้งนี้ สวนพุทธมณฑลมีพื้นที่ 960,000 ตร.ม. ซึ่งเป็นขนาดพื้นที่สีเขียวที่มากกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ที่ WHO แนะนำต่อจำนวนประนวนประชากรของอำเภอพุทธมณฑล 586,842 ตร.ม. พื้นที่สีเขียวในสวนพุทธมณฑลเพียงพอและเกินมาตรฐานที่แนะนำโดย WHO (9 ตร.ม./คน) สำหรับประชากรทั้ง 41,462 คน โดยมีพื้นที่สีเขียวให้ประชากรในพื้นที่ 5.79 ตร.ม./คน ซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่สีเขียวที่ยังไม่เพียงพอต่อประชากร

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาว่าพื้นที่ อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม พบว่า การขยายตัวของกรุงเทพฯ ที่ทำให้ อ.นครปฐม เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีการเปลี่ยนสีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อรองรับการขยายตัวของเมืองหลวง โดยพื้นที่กรุงเทพฯ ในผังเมืองรวมกรุงเทพมหานคร พ.ศ.2565 ที่ติดกับ จ.นครปฐม จะเป็นสีเขียวทแยงซึ่งหมายถึงการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่ออนุรักษ์ชนบทและเกษตรกรรม ปัจจุบันการร่างผังเมืองกรุงเทพมหานครฉบับปรับปรุงครั้งที่ 4 บริเวณฝั่งตะวันตกของกรุงเทพฯ ถูกวางแผนให้เป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบที่อยู่อาศัยระดับปานกลางและที่อยู่อาศัยแบบหนาแน่นมาก (สีเหลือง และสีส้ม) และพื้นที่พาณิชยกรรม (รูปที่ 3) แสดงถึงการขยายตัวของการเพิ่มที่อยู่อาศัยจากพื้นที่ใจกลางเมือง และกิจกรรมประกอบอาชีพบางประเภท จากเดิมพื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นการประกอบอาชีพเกษตรกรรม และมีการกระจายตัวของที่อยู่อาศัยตามเส้นทางคมนาคมหลัก หรือการเป็นชุมชนบริเวณสถานที่ราชการ หรือสถานศึกษา ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ได้ถูกเปลี่ยนเป็นหมู่บ้านจัดสรร ที่อยู่อาศัยมากมายของประชากรจากเมืองหลวง ที่ภายในกรุงเทพฯ ที่ดินหายากมากยิ่งขึ้น และมีราคาสูงขึ้นในตลาดอสังหาริมทรัพย์ตามความต้องการของประชากร ทำให้ความสำคัญของการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่นั้นเป็นประเด็นสำคัญที่ทำให้ประชาชนมีคุณภาพชีวิตที่ดี โดยงานวิจัยทำการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่สีเขียวสาธารณะพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่ที่สุดใน อ.พุทธมณฑล ได้แก่ สวนพุทธมณฑล ด้วยวิธีการสุ่มเก็บตัวอย่างต้นไม้ในพื้นที่สวนพุทธมณฑล เพื่อศึกษาต้นไม้ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนให้เหมาะสมต่อจำนวนประชากร สอดคล้องกับงานวิจัย [5] ที่ว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากมนุษย์ ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซค์จากกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่ ทั้งนี้จะส่งผลต่อสุขภาวะที่ดีต่อประชากรที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ ดังนั้นแล้วการศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่สีเขียวจึงเป็นข้อดี ที่จะทำให้รู้แนวทางในการพัฒนาพื้นที่ ตัวอย่างเช่น การศึกษาพื้นทีสวนสาธารณะ Villa Torlonia ที่กรุงโรม ประเทศอิตาลี [6] แสดงให้ถึงความสำคัญของพื้นที่สีเขียวในเมืองที่ช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม และเพิ่มคุณภาพชีวิตของประชาชนในเมืองได้ โดยวิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอน และการลดอุณหภูมิในพื้นที่เมือง จากความสัมพันธ์ขององค์ประกอบในเมืองที่สำคัญ ได้แก่ ความต่างชนิดของพืชกับการลดความเข้มของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ และการปล่อยพลังงานความร้อนจากสิ่งปลูกสร้าง โดยผลการศึกษาพบว่า กลุ่มต้นไม้ที่มีพืชปกคลุมหนาแน่น สามารถกักเก็บคาร์บอน ได้เฉลี่ย 37.5 กก./วัน กลุ่มต้นไม้ที่มีพืชปกคลุมปานกลาง สามารถกักเก็บคาร์บอนได้เฉลี่ย 5.8 กก./วัน ทำให้พื้นที่บริเวณที่มีต้นไม้ หรือพืชอยู่นั้นอุณหภูมิจะลดลงประมาณ 6–8% เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ดาดแข็งหรือไม่มีพืช

การศึกษาพื้นที่สีเขียวขนาดใหญ่ของ อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม ด้วยการมีศักยภาพการเป็นเมืองขยายกรุงเทพฯ งานวิจัยจึงสุ่มเก็บตัวอย่างต้นไม้แบบแปลงในสวนพุทธมณฑลเพื่อทราบถึงปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ด้วยการเก็บแบบแปลง จำนวน 12 แปลง แต่ละแปลงมีขนาด 50 X 50 ม. พบว่า มีต้นไม้ที่นับจำนวนมีทั้งหมด 704 ต้น ต้นไม้ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่

นนทรี 68 ต้น สาละ 56 ต้น สัก 53 ต้น หางนกยูง 48 ต้น และพิกุล 49 ต้น ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่กักเก็บได้ของ 12 แปลงสำรวจ ได้แก่ 113,037 kgC โดยคิดเป็น 0.07% ของพื้นที่สีเขียวของสวนพุทธมณฑล

ความสัมพันธ์ของต้นไม้ ได้แก่ จำนวนต้นไม้ ค่าเฉลี่ยเส้นรอบวง ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ค่าเฉลี่ยส่วนสูงของต้นไม้ ต่อ %การกักเก็บคาร์บอนของแต่ละแปลง พบว่าจำนวนต้นไม้และความสูงของต้นไม้แปรผันตาม ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนโดยแปลงที่สามารถกักเก็บคาร์บอน (กก.) ได้สูงที่สุดในแปลงสำรวจ พบต้นไม้ 80 ต้น ประกอบไปด้วย ต้นนนทรี ต้นมะฮอกกานี และต้นหางนกยูง เป็นกลุ่มต้นไม้ที่มีจำนวนเยอะที่สุด ลำดับต่อมาคือ แปลงที่มีจำนวนต้นไม้ 54 ต้น ต้นไม้ที่มีจำนวนเยอะที่สุดในแปลง ได้แก่ ต้นนนทรี ต้นประดู่ และต้นขี้เหล็ก และลำดับที่สาม แปลงสำรวจมีต้นไม้จำนวน 62 ต้น ได้แก่ ต้นหางนกยูง ต้นประดู่ และต้นมะฮอกกะนี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [7] ที่ต้นไม้ที่สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ดี ได้แก่ ต้นนนทรี และต้นประดู่ โดยมีลักษณะเป็นต้นไม้ใหญ่ แผ่กิ่งก้านให้ร่มเงาในพื้นที่ โดยเป็นกลุ่มต้นไม้ที่ DBH สูง และการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของสวนสันติภาพ กรุงเทพฯ [8] พบว่า ต้นนนทรี มีปริมาณมวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนได้สูงสุด รองลงมา ได้แก่ ปีบ จามจุรี แคขาว และหว้า ตามลำดับ ต้นนนทรีมีขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลกับค่า DBH และ H ของต้นไม้ ที่ใช้คำนวนการกักเก็บคาร์บอน ทำให้พบว่า ขนาดของต้นไม้ มีผลต่อการกักเก็บคาร์บอนและปริมาณมวลชีวภาพ เนื่องจากในพื้นที่สวน ต้นนนทรีที่พบมีจำนวนน้อยกว่าต้นไม้ชนิดอื่น แต่สามารถกักเก็บคาร์บอนได้จำนวนมาก และงานวิจัยอื่น [9] ที่ได้ทำการเก็บข้อมูลต้นไม้ของพื้นที่ สีเขียวในเมืองในลักษณะหลากหลายประเภท เช่น สวนแนวเส้น (ริมทางเท้า และถนน) สวนสาธาณะ หรือสวนป่า ผลลัพธ์ที่แสดงออกมานั้น พบว่าต้นไม้ที่กักเก็บคาร์บอนได้มีประสิทธิภาพ คือต้นไม้สูง อีกทั้งผลการคำนวณการกักเก็บคาร์บอน พบว่าแปลงที่สำรวจพบว่าต้นนนทรี ต้นหางนกยูง ต้นมะฮอกกะนี และต้นประดู่ จะมีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนได้สูง ทั้งนี้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (DBH) และความสูงของต้นไม้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการกักเก็บคาร์บอน [10] อีกทั้ง พบว่าความสูงของต้นไม้เป็นตัวแปรสำคัญ โดยต้นไม้ที่มีความสูงมากจะกักเก็บคาร์บอนได้มากกว่าต้นไม้ที่มีลำต้นใหญ่ และพื้นที่สีเขียวอื่น ๆ นอกจากต้นไม้ เช่น ไม้พุ่ม ไม้คลุมดิน หรือสนามหญ้า สามารถกักเก็บคาร์บอนได้เช่นกัน แต่มีศักยภาพจะน้อยกว่าต้นไม้ใหญ่

งานวิจัยแสดงให้เห็นถึง ศักยภาพของพื้นที่สีเขียวในการกักเก็บคาร์บอน โดยเน้นศึกษาสวนพุทธมณฑลเป็นกรณีศึกษา พบว่า พื้นที่สีเขียวสาธารณะ มีบทบาทสำคัญ ในการพัฒนาคุณภาพสิ่งแวดล้อม เช่น ลดความร้อนในเมือง (Urban Heat Island) การกักเก็บคาร์บอนในดินและพืชพรรณ และช่วยปรับสมดุลอุณหภูมิในพื้นที่เมือง ระหว่างคน และสิ่งแวดล้อม โดยพื้นที่สีเขียวสาธารณะมีผลต่อการสร้างคุณภาพชีวิตของผู้คน และเป็นพื้นที่สำคัญที่ช่วยลดมลพิษทางอากาศ รวมไปถึงการส่งเสริมความหลากหลายทางชีวภาพทั้งพืชและสัตว์ มีบทบาทในการให้บริการระบบนิเวศ (Ecosystem Services) แก่สิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้น ประกอบกับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ขยายเมือง ช่วยให้เข้าใจผลกระทบของการขยายตัว ของเมืองที่จะส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เมืองหลวงสู่พื้นที่จังหวัดปริมณฑล การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Land Use Change) ในพื้นที่ขยายเมือง เช่น พื้นที่เกษตรกรรมที่ลดลงเมื่อพัฒนาเป็นที่อยู่อาศัยหรือโครงสร้างพื้นฐาน สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนในการวางแผนเมืองในอนาคตเพื่อให้เกิดการพัฒนาที่สมดุล โดยงานศึกษาและเก็บข้อมูลปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ผ่านมาของกรุงเทพฯ [11] ผ่านการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินระหว่างปี 1987 และ 2015 โดยทำการประเมินผลกระทบของการเติบโตของเมืองและการลดลงของพื้นที่สีเขียวต่อสมดุลของคาร์บอน พบว่า แหล่งคาร์บอน (Carbon Sources) เกิดจากการขนส่งซึ่งปล่อยคาร์บอนสูงสุดถึง 36% ในปี 1987 และ 39% ในปี 2015 การปล่อยคาร์บอนเพิ่มขึ้น 4 เท่าจากปี 1987 ถึง 2015 แหล่งกักเก็บคาร์บอน (Carbon Sinks) ในเมืองอย่างพื้นที่สีเขียว เช่น ต้นไม้ตามทางถนน หรือสวนสาธารณะ ลดลงครึ่งหนึ่งจากปี 1987 ถึง 2015 และมีแนวโน้มลดลงต่อเนื่องในอนาคต ซึ่งแปรผันตรงกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีพื้นที่เมืองเพิ่มขึ้นจาก

21% ในปี 1987 เป็น 58% ในปี 2015 พื้นที่เกษตรกรรมลดลงจาก 65% ในปี 1987 เหลือเพียง 35% ในปี 2015 และพื้นที่สีเขียว (ต้นไม้และหญ้า) ลดลงจาก 12% ในปี 1987 เหลือเพียง 6% ในปี 2015 งานวิจัยฉบับนี้ทำให้ทราบถึงความสำคัญของการวางแผนการขยายเมืองโดยวางแผนการพัฒนาเมืองที่สมดุลระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เช่น การใช้ระบบขนส่งสาธารณะหรือ ส่งเสริมการขยายพื้นที่สีเขียวและสวนสาธารณะ

เอกสารอ้างอิง

[1] Ogawa, H., Yoda, K. & Kira, T. (1965). Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand: II. Plant biomass. *Nature and Life in South East Asia, 4*, 49-80.

[2] IPCC. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. International Panel on Climate Change. IGES, Hayama, Japan

[3] Faculty of Forestry. (2010). Study of the Characteristics of Plants Greenhouse Gas Adsorption and Suitable Area Size for CDM. Final Report. *Thailand Greenhouse Gas Management Organization*, Bangkok, Thailand.

[4] WHO. (1992). Promoting Sustainable human settlement development, Agenda21 - Chapter7, *The World Health Organization*, Rio De Janerio, Brazil, 3-14 June 1992, Retrieved on 15 February 2017 from www.who.int/mediacentre/events/indicatorsChapter3.pdf

[5] Güneralp, B., Hutra, L. R., & Seto, K. (2012). Global forecast of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Science*, *109*, 16083–16088. https://research.fs.usda.gov/treesearch/download/60941.pdf

[6] Gratani, L., Catoni, R., Puglielli, G., Varone, L., Fiore, M. C., Sangiorgio, S. & Lucchetta, F. (2016) Carbon dioxide sequestration and air temperature amelioration provided by urban parks in Rome. *Energy Procedia*, *101*, P.408 – 415

[7] วีระ ปะทะขีนัง, สุรีย์พร นิพิฐวิทยา และ ปกรณ์ เมฆแสงสวย (2557). การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนสาธารณะในเมือง กรณีศึกษา: สวนลุมพินีกรุงเทพมหานคร. รวมบทความวิจัย การประชุมวิชาการระดับชาติ SMARTS ครั้งที่ 4: อัตลักษณ์แห่งเอเชีย 2014. *โครงการประชุมวิชาการระดับชาติ SMARTS ครั้งที่ 4: อัตลักษณ์แห่งเอเชีย 2014*. (หน้า 675-686). มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์.

[8] เกลี้ยงสะอาด และคณะ (2563). การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในสวนสันติภาพ กรุงเทพมหานคร. วารสารวนศาสตร์ไทย, 39(1), หน้า 86-96.

[9] Otman, R., Suid, S., Mohd Noor, N., Baharuddin, Z., Hashim, K. S. H., & Lukman, H. M. L. (2019). Estimation of carbon sequestration rate of urban park with linear and curvilinear design landscape setting. https://www.aloki.hu/pdf/1704_80898101.pdf

[10] Shadman, S., Ahanaf Khalid, P., Mohd Hanafiah, M., Krishna Koyande, A., Md. Atiqul Islam, Ali Bhuiyan, S., Sin Woon, K., & Pau-Loke Show (2022) The carbon sequestration potential of urban public parks of densely populated cities to improve environmental sustainability, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102064.

[11] Ali, G., Pumijumnong, N., & Cui, S. (2018). Valuation and validation of carbon sources and sinks through land cover/use change analysis: The case of Bangkok metropolitan area. *Land Use Policy*, *70*, P.471-478.

การศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดิน ในพื้นที่ปลูกยางพารา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ภาคตะวันออก และภาคใต้

อนุวัตร ปู่สันจร, จิรทยา เริ่มมนตรี, พิสุทธิ นาคหมื่นไวย, และมณฑิรา ยุติธรรม*

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม
* Corresponding author: monthira.yut@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินในพื้นที่ปลูกยางพาราภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ภาคตะวันออก และภาคใต้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ และเทคโนโลยี LiDAR เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินของยางพารา ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของยางพาราในพื้นที่ศึกษามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยกลุ่มอายุก่อนเปิดกรีดหน้ายางพบว่าจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยการกักเก็บคาร์บอนสูงที่สุด ในขณะที่กลุ่มอายุหลังเปิดกรีดหน้ายางจังหวัดจันทบุรีมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการสำรวจ พบว่าเทคโนโลยีการรังวัดภาคพื้นดินด้วยเลเซอร์สแกน (Terrestrial Laser Scan: TLS) มีค่า MAPE ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับวิธีดั้งเดิม โดยมีค่า 2.06% และ 2.66% สำหรับกลุ่มอายุก่อนและหลังเปิดกรีดหน้ายางตามลำดับ นอกจากนี้ ค่า RRMSE อยู่ที่ 2.57% และ 3.30% แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีการรังวัดภาคพื้นดินด้วยเลเซอร์สแกน (Terrestrial Laser Scan: TLS) มีความแม่นยำในการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางพาราสูงกว่าในกรณีของกลุ่มอายุก่อนเปิดกรีดหน้ายาง อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีการรังวัดภาคพื้นดินด้วยเลเซอร์สแกน (Terrestrial Laser Scan: TLS) ยังมีข้อจำกัดในต้นยางพาราที่มีลำต้นขรุขระหรือเอียง เนื่องจากการเก็บข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์รอบลำต้น

จากการศึกษานี้สรุปได้ว่า เทคโนโลยีการรังวัดภาคพื้นดินด้วยเลเซอร์สแกน (Terrestrial Laser Scan: TLS) เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพและลดเวลาในการสำรวจ โดยเหมาะสมสำหรับการประเมินศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ขนาดใหญ่ ทั้งนี้ควรมีการผสมผสานเทคโนโลยีการรังวัดภาคพื้นดินด้วยเลเซอร์สแกน (Terrestrial Laser Scan: TLS) กับวิธีการดั้งเดิมในบางกรณีเพื่อความถูกต้องของข้อมูล และควรพัฒนาเทคนิคหรืออัลกอริทึมเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความแม่นยำของการวิเคราะห์ในพื้นที่ที่มีสภาพลำต้นซับซ้อน

คำสำคัญ: ยางพารา / การกักเก็บคาร์บอน / เทคโนโลยี LiDAR / มวลชีวภาพ / ก๊าซเรือนกระจก

Quantification of Carbon Sequestration in Aboveground Biomass in Rubber Plantation Areas in the Upper Northern, Eastern, and Southern Regions

Anuwat Posonjon, Jirathaya Ruemmontree, Phisut Nakmuenwai, and Montira Yuttitham*

Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Thailand
* Corresponding author: monthira.yut@mahidol.ac.th

Abstract

This study investigates the aboveground biomass carbon sequestration in rubber plantations located in the upper northeastern, eastern, and southern regions of Thailand. The objective is to assess the amount of carbon sequestered in aboveground biomass using geoinformatics and LiDAR technologies, in order to analyze and compare the carbon sequestration potential of rubber plantations.

The results reveal that the carbon sequestration levels across the studied areas differ significantly ($p < 0.05$). Among immature rubber plantations (pre-tapping stage), Surat Thani Province recorded the highest average carbon sequestration, whereas among mature plantations (post-tapping stage), Chanthaburi Province showed the highest average. When comparing survey methods, the Terrestrial Laser Scanning (TLS) technology exhibited lower Mean Absolute Percentage Error (MAPE) values compared to traditional methods—2.06% and 2.66% for pre-tapping and post-tapping stages, respectively. Additionally, the Relative Root Mean Square Error (RRMSE) was 2.57% and 3.30%, respectively, indicating that TLS provides higher accuracy in measuring the diameter of rubber trees, particularly in the pre-tapping stage. However, limitations were noted in cases where tree trunks were irregular or leaning, leading to incomplete data collection around the stems.

In conclusion, Terrestrial Laser Scanning (TLS) is an efficient technique that reduces survey time and is suitable for assessing carbon sequestration potential over large areas. Nonetheless, integrating TLS with traditional methods is recommended in certain cases to enhance data accuracy. Further development of techniques or algorithms is also necessary to improve analysis accuracy in areas with complex tree trunk structures.

Keywords: Rubber tree / Carbon sequestration / Lidar technology / Biomass / Greenhouse gases

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทวีความรุนแรงยิ่งขึ้น ส่งผลให้เกิดความร่วมของประชาคมโลกเพื่อที่จะลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและดำเนินงานในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยประเทศไทยได้ลงนามความตกลงปารีส (Paris Agreement) เมื่อวันที่ 21 กันยายน 2559 และได้จัดทำแผนที่นำทางการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ ปี พ.ศ. 2564 – 2573 (Thailand's Nationally Determined Contribution Roadmap on Mitigation 2021-2030) โดยมีเป้าหมายที่จะลดปริมาณการดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสภาวะปกติ (Business as Usual: BAU) ในปีพ.ศ. 2543 ให้ได้อัตราร้อยละ 20 ภายในปี 2573 ส่งผลให้ผู้ประกอบการในสาขาต่าง ๆ เช่น ผู้ประกอบการสาขาพลังงานและผู้ประกอบการสาขากระบวนการอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุดในประเทศ ต้องทำการปรับตัวเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือซื้อคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit) ที่เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับนำมาหักลบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจการ โดยสามารถหาคาร์บอนเครดิตได้จากตลาดซื้อ-ขายคาร์บอนเครดิต หรือดำเนินโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจมาตรฐานของประเทศไทย (T-VER) ภายใต้การกำกับดูแลขององค์การบริหารก๊าซเรือนกระจกแห่งประเทศไทย (อบก.) ที่ประกอบด้วยโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจประเภทการพัฒนาพลังงานทดแทน การจัดการของเสีย การปลูกป่า การฟื้นฟูป่า และการเกษตร เป็นต้น

ยางพาราเป็นพืชเกษตรที่มีความสำคัญของประเทศไทยมาอย่างยาวนาน และมีการปลูกเป็นจำนวนมากในประเทศไทย จากรายงานผลการสำรวจยางพารา ปี พ.ศ. 2566 โดยศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่า ประเทศไทยมีพื้นที่สวนยางพารา จำนวนทั้งสิ้น 24,043,535 ไร่ โดยพื้นที่สวนยางพาราส่วนใหญ่อยู่ในภาคใต้ จำนวน 13,882,964 ไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 6,229,982ไร่ ภาคกลาง จำนวน 2,374,277 ไร่ และภาคเหนือ จำนวน 1,556,312 ไร่ [1] ซึ่งสวนยางพาราเหมาะแก่การดำเนินการโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจประเภทการเกษตร เพื่อสร้างคาร์บอนเครดิต เนื่องจากยางพาราเป็นการเกษตรที่ตรงตามเงื่อนไขของระเบียบวิธีลดก๊าซเรือนกระจกขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ซึ่งศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนสะสมของต้นยางพารามักขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านต่าง ๆ ของพื้นที่ เช่น สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ คุณภาพดิน และปริมาณน้ำฝน เป็นต้น

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่สวนยางพาราของประเทศไทย จึงมีความสำคัญอย่างมากในช่วงปีหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากการรักษาสวนยางพาราและการจัดการทรัพยากรป่าไม้ยังไม่ดีเท่าที่ควร อีกทั้งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศทั่วโลก นอกจากนี้การที่ได้ทราบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่สวนยางพารายังสามารถช่วยพัฒนากลยุทธ์การจัดการและการประเมินผลของมาตรการลดอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้ และสามารถเป็นการเตรียมความพร้อมในการเข้ารับโครงการรับมาตรการลดอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในอนาคต

ทั้งนี้ การประยุกต์เทคโนโลยี LiDAR (Light Detection and Ranging) มีบทบาทสำคัญในการเป็นเครื่องมือที่มีส่วนช่วยในการสำรวจและตรวจประเมินปริมาณคาร์บอนเครดิตในไม้ยางพารา เนื่องจากมีความแม่นยำในการวัดระยะทางและสร้างแผนที่สามมิติของพื้นที่ที่สวนยางพาราตั้งอยู่ ตลอดจนการใช้เทคโนโลยี LiDAR ในการช่วยสร้างแผนที่โครงสร้างพื้นที่แบบสามมิติซึ่งมีความละเอียดสูง ที่จะช่วยในการระบุพื้นที่ที่มีพืชพุ่มและต้นไม้ และช่วยในการวัดปริมาณคาร์บอนในพื้นที่นั้น ๆ ได้

การศึกษาครั้งนี้จึงมีเป้าหมายในดำเนินการศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินของต้นยางพาราใน 3 ภูมิภาคของประเทศไทย ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ ด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-information technology) และเทคโนโลยี LiDAR (Light Detection and Ranging) และวิเคราะห์และเปรียบเทียบศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินของต้นยางพาราทั้ง 3 ภูมิภาค

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดิน ของต้นยางพาราใน 3 ภูมิภาคของประเทศไทย ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ ด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-information technology) และเทคโนโลยี LiDAR (Light Detection and Ranging)

2. เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินของต้นยางพาราใน 3 ภูมิภาคของประเทศไทย ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นยางพารา 3 ภูมิภาค ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ พื้นที่ศึกษาประกอบด้วย 3 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเลย (ตัวแทนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) จังหวัดจันทบุรี (ตัวแทนภาคตะวันออก) จังหวัดสุราษฎร์ธานี (ตัวแทนภาคใต้) โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. โดยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นยางพาราในพื้นที่ศึกษา ด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-information technology) และเทคโนโลยี LiDAR (Light Detection and Ranging)

2. ดำเนินการเปรียบเทียบศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินของต้นยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้

4. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

4.1 วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา

สำรวจและรวบรวมข้อมูลเชิงกายภาพและข้อมูลภูมิสารสนเทศของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี (ตัวแทนภาคใต้) จังหวัดจันทบุรี (ตัวแทนภาคตะวันออก) จังหวัดเลย (ตัวแทนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ)

4.2 สำรวจ รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และความสูงของต้นไม้จากข้อมูล LiDAR (Light Detection and Ranging)

ดำเนินการจัดทำพอยคลาวน์ (Point Cloud) และสำรวจปริมาตรและขนาดของต้นยางพาราในแปลงตัวอย่างแต่ละแห่งของโครงการด้วยอุปกรณ์ TLS (Terrestrial Laser Scanning) ยี่ห้อ FOCUS รุ่น M70 มีมุมมองในการสแกน (แนวราบ,แนวดิ่ง) 360 องศาและ 300 องศา ตามลำดับ เป็นเซนเซอร์แบบบูรณาการ ประกอบด้วย GPS & GLONASS, Height sensor, Compass เพื่อศึกษาและตรวจวัดลักษณะทางกายภาพของต้นยางพาราของแปลงตัวอย่างแต่ละแห่งในรูปแบบข้อมูล 3 มิติ และรายงานค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (Diameter at Breast Height: DBH) ของต้นยางพาราในแปลงตัวอย่าง และ ความสูงของต้นยางพาราออกมาได้ (Height: H)

4.3 วิเคราะห์ข้อมูลปริมาณคาร์บอนสะสมและการปล่อยคาร์บอนในแปลงตัวอย่างและพื้นที่ศึกษา

ดำเนินการนำค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และความสูงของต้นไม้ที่ได้จากการสำรวจ คำนวณหามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นยางพาราในแปลงตัวอย่างนั้น ๆ (M) โดยอาศัยสมการแอลโลเมตรี [2]

ลำต้น (W_S)	$W_S = 0.0439\ (DBH^2H)^{0.8666}$	สมการที่ 1
กิ่ง (W_B)	$W_B = 0.0307\ (DBH^2H)^{0.8434}$	สมการที่ 2
ใบ (W_L)	$W_L = 0.0056\ (DBH^2H)^{0.9568}$	สมการที่ 3
มวลชีวภาพพื้นดินทั้งหมด (W_T)	$W_T = 0.0798\ (DBH^2H)^{0.8706}$	สมการที่ 4

สามารถคำนวณหาคาร์บอนสะสมและการปล่อยคาร์บอนในแปลงตัวอย่างและพื้นที่ศึกษา โดยใช้สมการนี้ 5-6

$$C_{ABG} = \sum_{i=1}^{n} C_{ABG,i}$$ สมการที่ 5

C_{ABG} คือ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินทั้งหมดของโครงการ (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี)

$$C_{ABG,i} = \left(\sum_{j=i}^{n} M_j \times CF \times \frac{44}{12} \right) \times \frac{A}{a}$$ สมการที่ 6

CF คือ สัดส่วนปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้ ในกลุ่มยางพาราร้อยละของน้ำหนักแห้งเท่ากับ 47

4.4 เปรียบเทียบศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนสะสมของต้นยางพาราใน 3 ภูมิภาคของประเทศไทย

ดำเนินการนำค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และ ความสูงของต้นยางพารา (H) ที่ได้จากการวัดด้วยวิธีดั้งเดิม และ จากอุปกรณ์ TLS (Terrestrial Laser Scanning) ไปคำนวณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นยางพาราในแปลงตัวอย่างนั้น ๆ (M) โดยอาศัยสมการแอลโลเมตรี และนำค่าที่ได้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ เพื่อหาความแม่นยำในการหาปริมาณคาร์บอนสะสมด้วยเทคโนโลยี TLS

4.5 จัดทำแผนที่โครงสร้างพื้นที่สวนยางพาราแบบสามมิติในพื้นที่ศึกษา โดยใช้ข้อมูลจาก LiDAR เพื่อสร้างแผนที่โครงสร้างสวนยางพาราที่มีความละเอียดสูง

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 การสำรวจและวางแปลงตัวอย่างสวนยางพาราในพื้นที่จังหวัดเลย จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดสุราษฎร์ธานี

การสำรวจและวางแปลงตัวอย่างสวนยางพาราในพื้นที่ 3 จังหวัด ในแต่ละจังหวัดมีแปลงตัวอย่างสวนยางพาราจำนวน 6 แปลง แบ่งเป็นกลุ่มก่อนเปิดกรีดหน้ายาง 3 แปลงและหลังเปิดกรีดหน้ายาง 3 แปลง โดยแต่ละแปลงมีพื้นที่ขนาด 40x40 เมตร ซึ่งแปลงตัวอย่างกลุ่มอายุยางพาราก่อนเปิดกรีดหน้ายางในพื้นที่จังหวัดเลย จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 81 ต้น, 80 ต้น และ 74 ต้น ตามลำดับ แปลงตัวอย่างกลุ่มอายุยางพาราหลังเปิดกรีดหน้ายางในพื้นที่จังหวัดเลย จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีจำนวนต้นไม้เฉลี่ย 74 ต้น, 83 ต้น และ 72 ต้น ตามลำดับ โดยจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางพารากลุ่มอายุยางพาราก่อนเปิดกรีดหน้ายางของทั้งสามแปลงตัวอย่างมากที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 11.65 เซนติเมตร รองลงมา คือ จังหวัดจันทบุรีมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 9.12 เซนติเมตร และจังหวัดเลยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 7.93 เซนติเมตร และจังหวัดจันทบุรีมีค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางพารากลุ่มอายุยางพาราหลังเปิดกรีดหน้ายางของทั้งสามแปลงตัวอย่างมากที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 21.96 เซนติเมตร รองลงมาคือจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 20.59 เซนติเมตร และจังหวัดเลยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 19.53 เซนติเมตร

5.2 การกักเก็บคาร์บอนในแปลงตัวอย่างสวนยางพาราในพื้นที่จังหวัดเลย จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดสุราษฎร์ธานี

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนของสวนยางพาราในพื้นที่จังหวัดเลย จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดสุราษฎร์ธานีจากการสำรวจและวางแปลงตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Stratified Random Sampling) โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงอายุ ได้แก่ กลุ่มอายุยางพาราก่อนเปิดกรีดหน้ายาง และกลุ่มอายุยางพาราหลังเปิดกรีดหน้ายาง แปลงตัวอย่างสวนยางพารากลุ่มอายุยางพาราก่อนเปิดกรีดหน้ายางทั้ง 3 แปลง ในพื้นที่จังหวัดเลย จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (CV) ได้แก่ ร้อยละ 20.69, ร้อยละ 17.52 และ ร้อยละ 15.33 และแปลงตัวอย่างสวนยางพารากลุ่มอายุยางพาราก่อนเปิดกรีดหน้ายางทั้ง 3 แปลง ในพื้นที่จังหวัดเลย จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (CV) ได้แก่ ร้อยละ 9.52, ร้อยละ 11.82 และ ร้อยละ 7.36 ตามลำดับ ซึ่งแปลงตัวอย่างสวนยางพาราที่ดำเนินการสำรวจแบบสุ่มในพื้นที่จังหวัดเลย จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (CV) น้อยกว่าร้อยละ 25 ซึ่งเป็นตัวแทนที่เหมาะสม ตามระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย ระเบียบวิธีการกักเก็บคาร์บอนและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการปลูกพืชเกษตรยืนต้น (Carbon Sequestration and Reducing Emission for Perennial Crop Plantation) (T-VER-METH-AGR-02) ซึ่งปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของสวนยางพารากลุ่มอายุยางพาราก่อนเปิดกรีดหน้ายางในพื้นที่จังหวัดเลย จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่า 1.95 ตันคาร์บอน/ไร่, 3.64 ตันคาร์บอน/ไร่ และ 4.58 ตันคาร์บอน/ไร่ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของสวนยางพารากลุ่มอายุยางพาราหลังเปิดกรีดหน้ายางในพื้นที่จังหวัดเลย จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่า 19.99 ตันคาร์บอน/ไร่, 31.17 ตันคาร์บอน/ไร่ และ 22.15 ตันคาร์บอน/ไร่

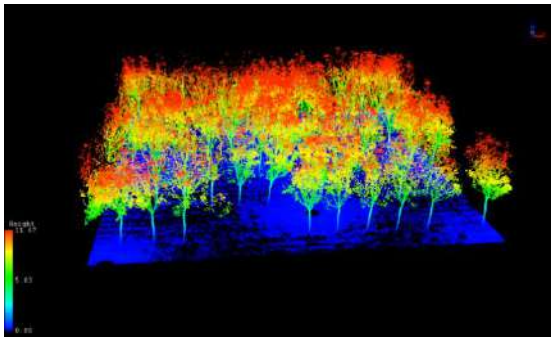
5.3 การวิเคราะห์ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในแปลงตัวอย่างสวนยางพาราในพื้นที่จังหวัดเลย จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดสุราษฎร์ธานี ด้วยวิธีทางสถิติ

จากการวิเคราะห์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของแปลงตัวอย่างสวนยางพาราในพื้นที่ 3 จังหวัด ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) โดยใช้ข้อมูลปริมาณการเก็บคาร์บอนในแปลงตัวอย่างสวนยางพาราแบ่งตามกลุ่มอายุยางพารา กลุ่มละ 9 แปลงตัวอย่าง ของพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 จังหวัด และมีการกำหนดค่านัยสำคัญในการวิเคราะห์ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในแปลงตัวอย่างสวนยางพารากลุ่มอายุก่อนเปิดกรีดหน้ายางและหลังเปิดกรีดหน้ายางในพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 จังหวัด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในกลุ่มอายุก่อนเปิดกรีดหน้ายางของทั้ง 3 จังหวัดมีค่า significant ที่ 0.005 มีค่าน้อยกว่าค่า P-value ที่ 0.05 แสดงว่าศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนของสวนยางพารากลุ่มอายุก่อนเปิดกรีดหน้ายางแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อย่างน้อยหนึ่งพื้นที่ศึกษา และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในกลุ่มอายุหลังเปิดกรีดหน้ายางของทั้ง 3 จังหวัดมีค่า significant ที่ 0.004 มีค่าน้อยกว่าค่า P-value ที่ 0.05 แสดงว่าศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนของสวนยางพารากลุ่มอายุหลังเปิดกรีดหน้ายางแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อย่างน้อยหนึ่งพื้นที่ศึกษา

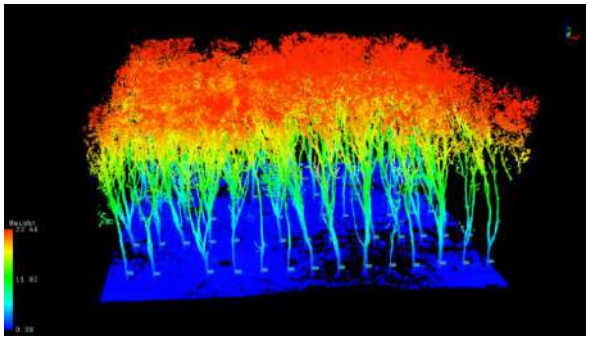
ในการเปรียบเทียบศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในสวนยางพาราของพื้นที่สามจังหวัดจากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการ Multiple Comparisons ศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในสวนยางพารากลุ่มอายุก่อนเปิดกรีดหน้ายางจังหวัดสุราษฎร์ธานีและจังหวัดเลยแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีค่าเฉลี่ยปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมากกว่าจังหวัดเลย 2.63 ตันคาร์บอน/ไร่ แต่ศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในสวนยางพารากลุ่มอายุก่อนเปิดกรีดหน้ายางจังหวัดสุราษฎร์ธานีและจังหวัดจันทบุรีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในสวนยางพารากลุ่มอายุก่อนเปิดกรีดหน้ายางจังหวัดจันทบุรีและจังหวัดเลยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยจังหวัดจันทบุรีมีค่าเฉลี่ยปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมากกว่าจังหวัดเลย 1.69 ตันคาร์บอน/ไร่ และในตารางที่ 4.15 ศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในสวนยางพารากลุ่มอายุหลังเปิดกรีดหน้ายางจังหวัดจันทบุรีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับจังหวัดเลยและจังหวัดสุราษฎร์ธานีที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยจังหวัดจันทบุรีมีค่าเฉลี่ยปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมากกว่าจังหวัดเลยและจังหวัดสุราษฎร์ธานี 12 ตันคาร์บอน/ไร่ และ 9.01 ตันคาร์บอน/ไร่ ตามลำดับ แต่ศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของจังหวัดสุราษฎร์ธานีและจังหวัดเลยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.4 การสำรวจและการประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินของต้นยางพาราด้วย TLS ในพื้นที่จังหวัดเลย จังหวัดจันทบุรี และจังหวัดสุราษฎร์ธานี

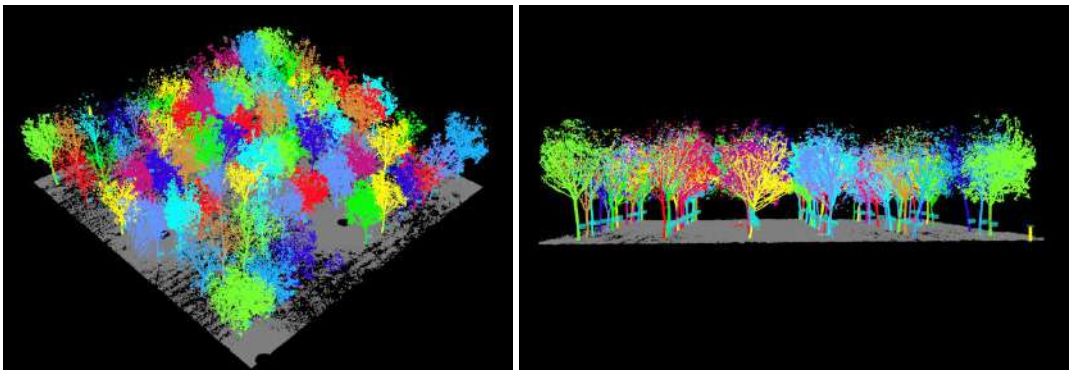
การประมวลผลแผนที่ 3 มิติ จากการสำรวจและการประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินของต้นยางพาราด้วย TLS LiDAR



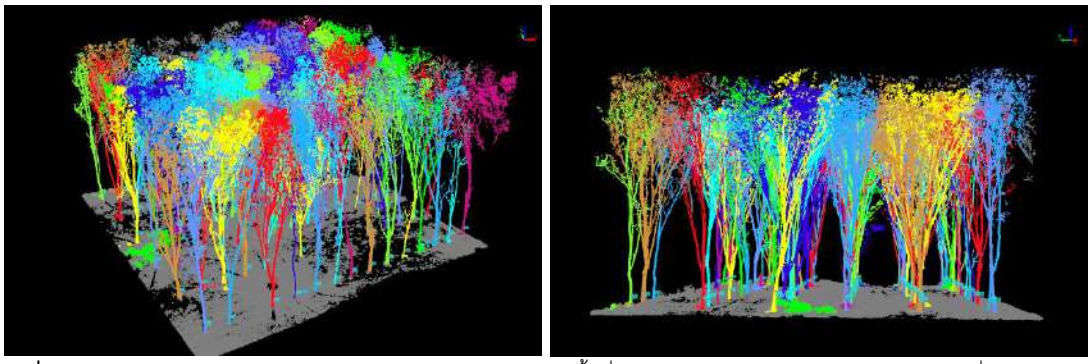
รูปที่ 1 การแสดงความสูงด้วยสีของ Point Cloud พื้นที่สวนยางพารากลุ่มอายุก่อนเปิดกรีดหน้ายางที่ทำการศึกษา



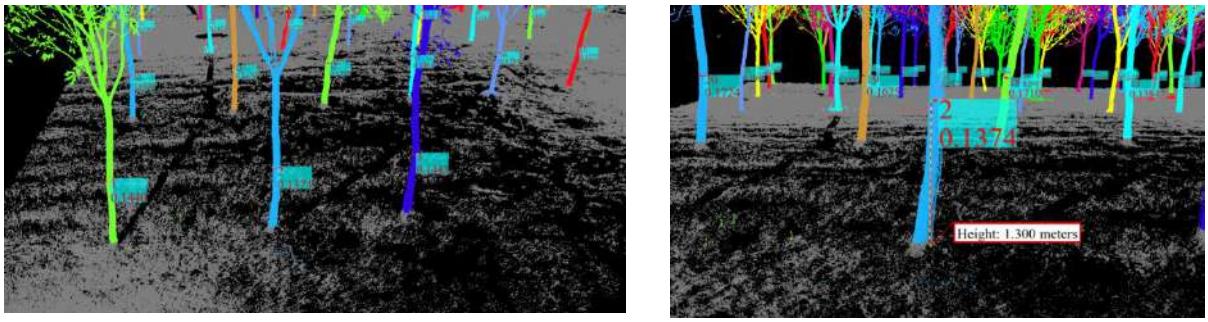
รูปที่ 2 การแสดงความสูงด้วยสีของ Point Cloud พื้นที่สวนยางพารากลุ่มอายุหลังเปิดกรีดหน้ายางที่ทำการศึกษา



รูปที่ 3 การแสดงลำดับต้นยางพารา (Tag) ด้วยสีของ Point Cloud พื้นที่สวนยางพารากลุ่มอายุก่อนเปิดกรีดหน้ายางที่ทำการศึกษา



รูปที่ 4 การแสดงลำดับต้นยางพารา (Tag) ด้วยสีของ Point Cloud พื้นที่สวนยางพารากลุ่มอายุหลังเปิดกรีดหน้ายางที่ทำการศึกษา



รูปที่ 5 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นยางพาราจาก Point Cloud ในพื้นที่สวนยางพารากลุ่มอายุก่อนเปิดกรีดหน้ายางที่ทำการศึกษา

5.5 การเปรียบเทียบการคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากวิธีการดั้งเดิมและ (Traditional method) และ การใช้อุปกรณ์ TLS (Terrestrial Laser Scanning)

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากวิธีการดั้งเดิมและ TLS (Terrestrial Laser Scanning) มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งจะคำนวณด้วยเทคนิคการหาค่า R2 จาก linear correlation ในการหาความสัมพันธ์ของการวัด และการวัดความคลาดเคลื่อนของการวัดด้วยเทคโนโลยี TLS กับการวัดด้วยวิธีการดั้งเดิม โดยใช้เทคนิค RRMSE (Relative Root Mean Squared Error) แปลงตัวอย่างในกลุ่มอายุยางพาราก่อนเปิดกรีดหน้ายางพาราในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 18 แปลงตัวอย่าง พบว่าแปลงตัวอย่างสวนยางพารามีค่า RRMSE น้อยที่สุดคือ แปลงตัวอย่างสวนยางพาราที่ 2 ของจังหวัดจันทบุรี มีค่า 2.01% และมีค่า R2 คือ 0.9930 และแปลงตัวอย่างสวนยางพาราที่มีค่า RRMSE สูงที่สุดคือ แปลงตัวอย่างที่ 3 จังหวัดเลย มีค่า 3.02% และค่า R2 มีค่า 0.9817 โดยกลุ่มอายุยางพาราก่อนเปิดกรีดหน้ายางพาราในพื้นที่ศึกษามีค่าเฉลี่ย RRMSE คือ 2.57% และมีค่า R2 เฉลี่ย คือ 0.9809 และ แปลงตัวอย่างในกลุ่มอายุยางพาราหลังเปิดกรีดหน้ายางพาราในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 18 แปลงตัวอย่าง พบว่าแปลงตัวอย่างสวนยางพาราที่มีค่า RRMSE น้อยที่สุดคือแปลงตัวอย่างที่ 4 ของจังหวัดเลย มีค่า 2.58% และมีค่า R2 คือ 0.9923 และแปลงตัวอย่างสวนยางพาราที่มีค่า RRMSE สูงที่สุดคือ แปลงตัวอย่างที่ 4 จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีค่า 5.49% และค่า R2 มีค่า 0.9520 โดยกลุ่มอายุยางพาราก่อนหลังกรีดหน้ายางพาราในพื้นที่ศึกษามีค่าเฉลี่ย RRMSE คือ 3.30% และมีค่า R2 เฉลี่ย คือ 0.9783

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจากวิธีการดั้งเดิมและ(Traditional method) และ การใช้อุปกรณ์ TLS (Terrestrial Laser Scanning)

พื้นที่	ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอน ก่อนเปิดหน้ายาง (ตันคาร์บอน/ไร่)		ค่าเฉลี่ยปริมาณคาร์บอน หลังเปิดหน้ายาง (ตันคาร์บอน/ไร่)		ปริมาณคาร์บอนรวม (ตันคาร์บอน/ไร่)	
	วิธีเดิม	TLS	วิธีเดิม	TLS	วิธีเดิม	TLS
เลย	1.95	1.99	19.99	19.77	21.94	21.76
จันทบุรี	3.65	3.75	31.18	30.51	34.83	31.26
สุราษฎร์ธานี	4.58	4.68	22.16	21.81	26.74	26.49

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินของต้นยางพารา (RRIM 600) ในจังหวัดเลย จันทบุรี และสุราษฎร์ธานี โดยใช้วิธีการวางแปลงตัวอย่างและเทคโนโลยี TLS (Terrestrial Laser Scanning) ผลการศึกษาพบว่าจังหวัดจันทบุรีมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนสูงสุด รองลงมาคือจังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดเลย มีศักยภาพกักเก็บคาร์บอนที่ต่ำสุด

การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการดั้งเดิมและ TLS พบว่า TLS มีความแม่นยำสูงในการวัดขนาดต้นยางพารา โดยมีค่า RRMSE ต่ำ (2.57%–3.30%) อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ยังมีข้อจำกัดสำหรับต้นที่มีลำต้นขรุขระหรือเอียง จึงแนะนำให้ใช้ TLS ควบคู่กับวิธีดั้งเดิมเพื่อเพิ่มความแม่นยำ

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความแตกต่างของการกักเก็บคาร์บอน ได้แก่ อายุของต้นยางพารา คุณภาพของดิน สภาพอากาศ และวิธีการจัดการสวนยาง หากมีการจัดการสวนยางที่เหมาะสม เช่น ปลูกพืชร่วมและการใส่ปุ๋ยที่เหมาะสม สามารถช่วยเพิ่มศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในภาคการเกษตรของประเทศไทย [3]

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2560). **รายงานผลการสำรวจยางพารา ปี 2566.** สืบค้น 23 กุมภาพันธ์ 2568, จาก https://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/para%20rubber%2066.pdf

[2] ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาวุสรรณ. (2557). **การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้บางชนิดที่ปลูก ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร.** กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

[3] กรมวิชาการเกษตร. (ม.ป.ป.). **ผลของการปลูกสร้างสวนยางพาราต่อการเก็บเกี่ยวก๊าซคาร์บอน.** สืบค้น 23 กุมภาพันธ์ 2568, จาก https://www.doa.go.th/research/showthread.php?tid=1504&pid=1522#pid1522

การประเมินสถานการณ์ CMIP6 ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิสูงสุดรายวันของประเทศไทย

ขวัญฤทัย เรณูหอม[1,2], ศิรพงศ์ สุขทวี[2], โสภา ชินเวชกิจวานิชย์[1], กมลวัฒน์ นาคะสรรค์[1], และสุวิสา มหาสันทนะ[1*]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมสุขภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร
[2]กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร
* Corresponding author: suwisa.mah@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

แนวโน้มอุณหภูมิในอนาคตเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมามุ่งเน้นศึกษาการเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิในอดีต (Historical Period) จากแบบจำลอง Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) กับข้อมูลตรวจวัด อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลภาพฉายที่คาดการณ์ในอนาคต (Projection Period) กับข้อมูลตรวจวัดในช่วงการฉายภาพในอนาคตที่ผ่านมาแล้ว (สำหรับ CMIP6 ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2015) ยังคงมีอยู่อย่างจำกัด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุว่า แบบจำลอง CMIP6 ภายใต้สถานการณ์การระบายก๊าซเรือนกระจก Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) โดยเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันจากแบบจำลอง CMIP6 (7 GCMs, 4 สถานการณ์) เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดอากาศกรมอุตุนิยมวิทยา 120 แห่งทั่วประเทศ ในช่วงปีค.ศ. 2015–2023 วิเคราะห์โดยใช้ Taylor diagram และสถิติต่างๆ ได้แก่ ค่าสหสัมพันธ์ (R value), MBE (Mean Bias Error), RMSE (Root Mean Square Error) และ MAE (Mean Absolute Error) ผลการศึกษาพบว่า MBE ส่วนใหญ่มีค่าติดลบ แสดงถึงแบบจำลองส่วนใหญ่มีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าค่าจริง ค่าความสัมพันธ์ (R) อยู่ในช่วง 0.40–0.57 โดยแบบจำลอง CanESM5 ภายใต้ SSP3-7.0 ให้ค่า R สูงสุด (0.57) RMSE ต่ำสุด (2.04°C) และ MAE ต่ำสุด (1.58°C) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า SSP3-7.0 เป็นสถานการณ์ที่สามารถจำลองแนวโน้มใกล้เคียงกับอุณหภูมิของประเทศไทยมากที่สุดในช่วงปีค.ศ. 2015–2023 อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ในประเทศไทยที่นำข้อมูล CMIP6 ไปศึกษามักมุ่งเน้นไปที่สถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 ดังนั้นควรมีการพิจารณา SSP3-7.0 ในการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต เพื่อเพิ่มความครอบคลุมการวิเคราะห์ในบริบทของประเทศไทย

คำสำคัญ: CMIP6 / ประเทศไทย / อุณหภูมิ / SSPs / ภาพฉายภูมิอากาศ

Suitable CMIP6 Scenario for Daily Maximum Temperature Projections of Thailand

Khwanruthai Renuhom[1,2] Sirapong Sooktawee[2] Sopa Chinwetkitvanich[1] Kamonwat Nakason[1] and Suwisa Mahasandana[1*]

[1]Department of Sanitary Engineering, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok, Thailand.
[2]Department of Climate Change and Environment, Ministry of Natural Resources and Environment, Bangkok, Thailand
** Corresponding author: suwisa.mah@mahidol.ac.th*

Abstract

Understanding future temperature projections is essential for assessing climate change impacts and devising effective mitigation strategies. In Thailand, although many studies have compared historical climate data from the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) with observations, direct evaluation of projected temperature data with observations remains limited. This study aimed to determine which CMIP6 scenario most closely represented the maximum temperature (Tmax) over Thailand. By comparing daily temperature data from 7 Global Climate Models (GCMs) and 4 Shared Socioeconomic Pathway (SSPs) scenarios with actual observations from 120 meteorological stations across Thailand during 2015–2023 using Taylor diagram technique and comparing statistical values including correlation coefficient (R value), Mean Bias Error (MBE), Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Error (MAE). The MBE results indicated that most values are underestimated. The R value range was found from 0.40 to 0.57. The highest correlation, R = 0.57, was found from SSP3-7.0 of CanESM5 with the lowest RMSE (2.04) and MAE (1.58). This study suggested that SSP3-7.0 provided the best suitable performance in capturing Thailand's temperature conditions for the projected period 2015-2023 and closely aligning with observed data. However, most previous studies in Thailand have mainly focused on SSP2-4.5 and SSP5-8.5. Therefore, future studies must be also considered on SSP3-7.0 to improve the coverage and accuracy of climate impact analysis, especially in the context of Thailand.

Keywords: CMIP6 / Thailand / Temperature / SSPs / Climate Projection

1. บทนำ

อุณหภูมิโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เร่งให้เกิดภาวะโลกร้อน ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและนำไปสู่ผลกระทบรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มมากขึ้น [1] ปรากฏการณ์นี้ส่งผลกระทบทั้งในด้านกายภาพ เศรษฐกิจ และสังคม ทั้งการละลายของธารน้ำแข็ง การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ความรุนแรงของสภาพอากาศที่สุดขั้ว และการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ สำหรับประเทศไทย การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้เกิดภัยแล้งที่ยาวนานมากขึ้น น้ำท่วมรุนแรงมากขึ้น และความเสี่ยงด้านสุขภาพที่เพิ่มสูงขึ้นจากคลื่นความร้อน [2] เพื่อประเมินผลกระทบและวางแผนการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต โครงการ Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) ได้รับการริเริ่มโดย World Climate Research Programme (WCRP) เพื่อศึกษาแบบจำลองภูมิอากาศหลายแบบจำลองจากสถาบันทั่วโลก โครงการเริ่มต้นตั้งแต่ระยะที่ 1 (CMIP1) และดำเนินการอย่างต่อเนื่องถึงระยะที่ 6 (CMIP6) ซึ่งเป็นการจำลองภาพฉายสภาพภูมิอากาศในอนาคตภายใต้เส้นทางการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสถานการณ์การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม (Shared Socioeconomic Pathways: SSPs) ที่แตกต่างกัน ผลจากแบบจำลองเหล่านี้ชี้ให้เห็นถึงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในศตวรรษที่ 21 และมีความจำเป็นในการวางแผนปรับตัวเพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ [3] มีการนำข้อมูลจากโครงการ CMIP ในระยะก่อนหน้าไปศึกษาวิจัยหลากหลายด้าน [4-6] รวมทั้งโครงการ CMIP6 เช่น การประเมินแนวโน้มฝนในอนาคต [7] การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวโลกในระดับภูมิภาค [8] การศึกษาความเสี่ยงด้านสุขภาพจากคลื่นความร้อน [9] และการวางแผนปรับตัวด้านการเกษตร [10] เป็นต้น ซึ่งสะท้อนถึงความสำคัญของชุดข้อมูล CMIP6 ในการสนับสนุนการวางนโยบายและการวิจัยเพื่อการรับมือกับสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง

แบบจำลอง CMIP6 มีการจัดแบ่งช่วงเวลาการศึกษาออกเป็น 2 ระยะหลัก ได้แก่ ช่วงเวลาในอดีต (historical) ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ปี ค.ศ. 1850 ถึง 2014 และ ช่วงภาพฉายอนาคต (projection) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2015 เป็นต้นไป อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่มักให้ความสำคัญกับการเปรียบเทียบแบบจำลองในช่วงเวลาในอดีต โดยมีเป้าหมายเพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของแบบจำลองจากการเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจริง โดยได้มีการศึกษาวิเคราะห์ความสามารถของแบบจำลอง CMIP6 ในการคาดการณ์ปริมาณฝนในภาคใต้ของประเทศไทย โดยเปรียบเทียบข้อมูลแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัดจริงในช่วงปี ค.ศ. 1985–2014 โดยพบว่าแบบจำลองส่วนใหญ่ยังมีความเบี่ยงเบนจากข้อมูลจริงในบางพื้นที่ [7] และการประเมินแบบจำลอง CMIP6 จำนวน 13 แบบจำลองในช่วงเวลาในอดีต (ค.ศ. 2000–2014) โดยใช้ตัวชี้วัดทางสถิติเพื่อประเมินความสามารถของแบบจำลองในการจำลองอุณหภูมิของประเทศไทย [8] รวมทั้งมีการศึกษาการเปรียบเทียบข้อมูลแบบจำลองจากโครงการ CMIP6 จำนวน 27 แบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัด ในการจำลองปริมาณฝนในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ครอบคลุมช่วงปี ค.ศ. 1975–2014 [11] ซึ่งยังคงเป็นช่วงเวลาในอดีต ในขณะที่การศึกษาในช่วง projection สำหรับช่วงเวลาที่ผ่านมาแล้ว สามารถนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงที่เกิดขึ้นแล้วบางส่วน เช่น ปี ค.ศ. 2015–2023 ยังคงมีอยู่อย่างจำกัด

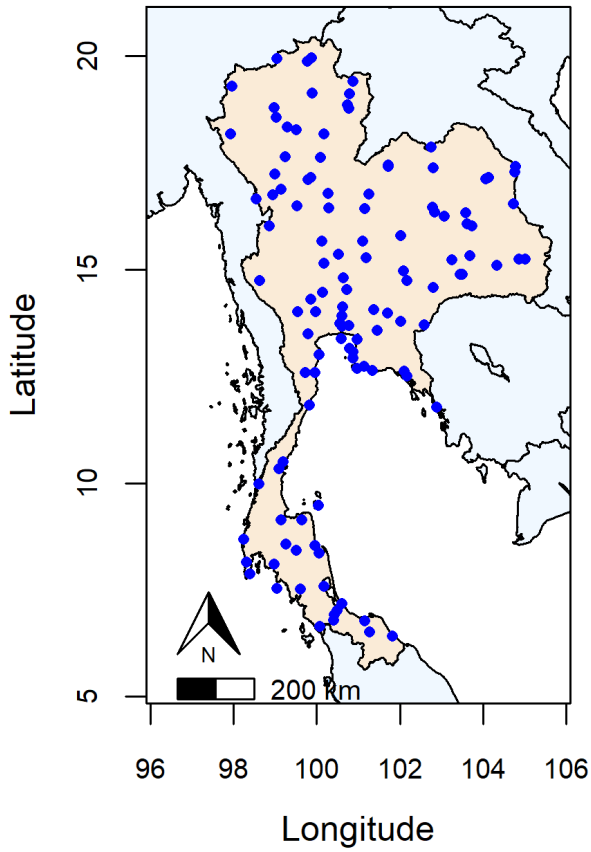
การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินสถานการณ์ภาพฉาย CMIP6 ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิสูงสุดรายวันของประเทศไทย โดยเปรียบเทียบข้อมูล 7 แบบจำลองจากโครงการ CMIP6 ภายใต้ 4 สถานการณ์ (SSPs) ได้แก่ SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 และ SSP5-8.5 กับข้อมูลตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา 120 สถานีทั่วประเทศในช่วงปี ค.ศ. 2015–2023 ซึ่งเป็นช่วงต้นของช่วงภาพฉาย (projection) ที่สามารถใช้ตรวจสอบกับข้อมูลจริงที่เกิดขึ้นแล้ว เพื่อระบุว่าแบบจำลองใดและสถานการณ์ใดที่สามารถจำลองแนวโน้มอุณหภูมิของประเทศไทยได้สอดคล้องกับสถานการณ์จริงมากที่สุด และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการคัดเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมในการศึกษาผลกระทบ การประเมินความเสี่ยง รวมถึงการวางแผนปรับตัวและนโยบายด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินสถานการณ์ภาพฉาย CMIP6 ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิสูงสุดรายวันของประเทศไทย ในช่วงปี ค.ศ. 2015–2023

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นการเปรียบเทียบข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันระหว่างข้อมูลตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 120 สถานี ที่กระจายตัวอย่างครอบคลุมในทุกภูมิภาคของประเทศไทย (แสดงในรูปที่ 1) กับข้อมูลภาพฉายอุณหภูมิสูงสุดรายวันจากแบบจำลองภูมิอากาศจากโครงการ CMIP6 จำนวน 7 แบบจำลอง ภายใต้ 4 สถานการณ์ในช่วงปี ค.ศ. 2015–2023



รูปที่ 1 แสดงขอบเขตการศึกษา

ข้อมูลภาพฉายจากแบบจำลอง CMIP6 ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นข้อมูลที่เพิ่มความละเอียดเชิงพื้นที่ (Statistical Downscaling) สำหรับประเทศไทย โดยสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) เพื่อให้เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่ประเทศไทยมากยิ่งขึ้น แบบจำลองจากโครงการ CMIP6 ที่ใช้ในการศึกษามีจำนวน 7 แบบจำลอง รายละเอียดแสดงในตารางที่ 1 [8,11] ภายใต้ภาพฉาย 4 สถานการณ์ (SSPs) ได้แก่ SSP1-2.6 (แนวทางการพัฒนาแบบยั่งยืนปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับต่ำ), SSP2-4.5 (แนวทางการพัฒนาแบบปานกลาง), SSP3-7.0 (แนวทางที่มีความขัดแย้งด้านภูมิรัฐศาสตร์และการพัฒนาอย่างไม่ทั่วถึง) และ SSP5-8.5 (แนวทางที่เน้นการเติบโตทางเศรษฐกิจและใช้พลังงานฟอสซิลเป็นหลัก)

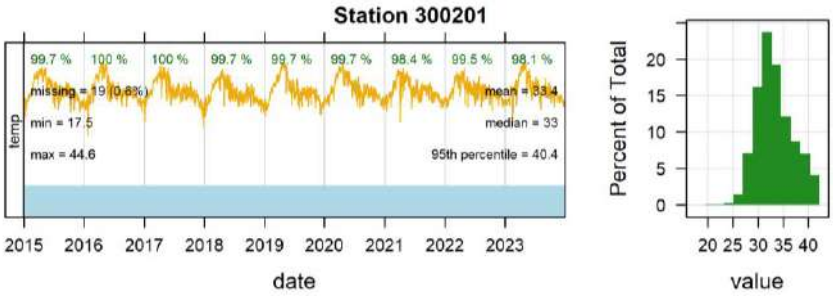
ตารางที่ 1 แบบจำลอง CMIP6 ที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับ	ชื่อแบบจำลอง	ชื่อเต็มแบบจำลอง	หน่วยงาน	ความละเอียดเชิงพื้นที่ (ลองจิจูด x ละติจูด)	การเพิ่มความละเอียดเชิงพื้นที่ (Statistic downscaling) (ลองจิจูด x ละติจูด)
1	CESM2	Community Earth System Model version2	National Center of Atmospheric Research (NCAR), USA	1.25 x 0.94	0.05 x 0.05
2	MRI-ESM2-0	The Meteorological Research Institute Earth System Model Version 2.0	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M), Germany	1.12 x 1.12	0.05 x 0.05
3	BCC-CSM2-MR	the Beijing Climate Center - Climate System Model version 2 - the medium-resolution version	Beijing Climate Center of China Meteorological Administration (BCC-CMA), China	1.12 x 1.12	0.05 x 0.05
4	CanESM2	The second-generation Canadian Earth System Model	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCMA), Canada	2.81 x 2.79	0.05 x 0.05
5	CMCC-ESM2	The Euro-Mediterranean Centre on Climate Change - Earth System Model	Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici, Italy	1.25 x 0.94	0.05 x 0.05
6	EC-Earth3	The Earth system model version3	EC-EARTH consortium, The Netherlands/Ireland	0.70 x 0.70	0.05 x 0.05
7	IPSL-CM6A-LR	the Institut Pierre-Simon Laplace - climate model Version 6A - low resolution	Institute Pierre Simon Laplace (IPSL), France	2.5 x 1.3	0.05 x 0.05

4. วิธีการศึกษา

4.1 ข้อมูลและการเตรียมข้อมูล

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันจากสองแหล่งหลัก ประกอบด้วย แหล่งที่หนึ่งคือ ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวัดที่ตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 120 สถานี ครอบคลุมช่วงปี ค.ศ. 2015–2023 โดยดำเนินการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากแต่ละสถานี ด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติเบื้องต้น [12] คือ เทคนิค Boxplot เพื่อแสดงการกระจายตัวของข้อมูลจาก 120 สถานี และเทคนิค Summary Plot เพื่อวิเคราะห์ค่าพื้นฐาน เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่ามัธยฐาน ของแต่ละสถานี แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2 และแหล่งที่สองคือ ข้อมูลภาพฉายอุณหภูมิสูงสุดรายวันจากแบบจำลองภูมิอากาศ CMIP6 ประกอบด้วยแบบจำลองจำนวน 7 แบบจำลอง ภายใต้ภาพฉาย 4 สถานการณ์ (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 และ SSP5-8.5) นำข้อมูลทั้งสองมาจัดเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สอดคล้องกัน เพื่อให้สามารถนำข้อมูลจริงและมาข้อมูลจากแบบจำลองเปรียบเทียบกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค summary plot

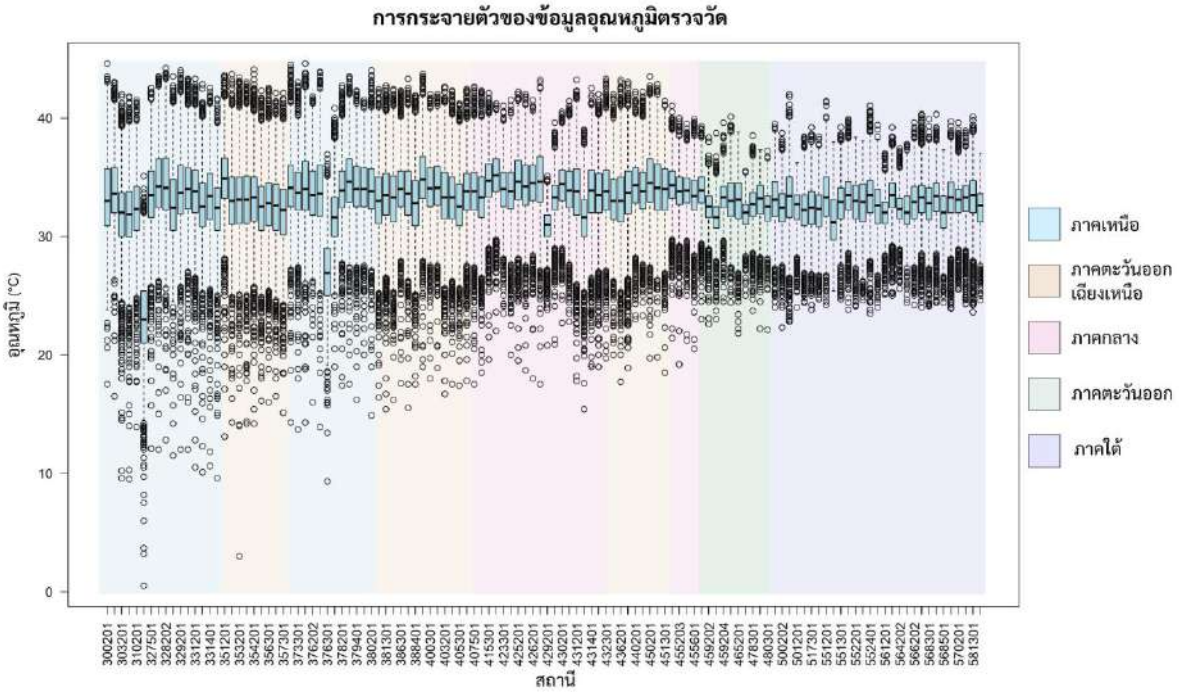
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จัดเตรียมแล้วโดยใช้โปรแกรม R [13] ในการคำนวณค่าทางสถิติเพื่อประเมินความแม่นยำของแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัด โดยใช้ตัวชี้วัดทางสถิติหลัก 4 รายการ ได้แก่ ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient: R) เพื่อวัดความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างข้อมูลตรวจวัดกับข้อมูลจากแบบจำลอง, ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Bias Error: MBE) เพื่อระบุว่าข้อมูลจากแบบจำลองมีแนวโน้มสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าจริง, ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error: MAE) เพื่อแสดงระดับความคลาดเคลื่อนโดยไม่พิจารณาทิศทาง และ ค่ารากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square Error: RMSE) เพื่อแสดงความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างค่าอุณหภูมิจากแบบจำลองกับค่าจริง โดยเทคนิค Taylor Diagram [14] ผลการวิเคราะห์จะถูกนำเสนอในรูปแบบกราฟและดำเนินการการเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ระหว่างข้อมูลตรวจวัดจริงและแบบจำลองที่ให้ค่าทางสถิติที่ดีที่สุด

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันจากสถานีตรวจวัด

จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันของสถานีตรวจวัดอากาศจำนวน 120 แห่งทั่วประเทศไทยในช่วงปี ค.ศ 2015 – 2023 ด้วยเทคนิค boxplot [12] แสดงดังรูปที่ 3 โดยหมายเลขสถานีส่วนใหญ่จากซ้ายไปขวาจะเรียงตามภูมิภาคของประเทศไทย ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกและภาคใต้ พบว่า ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงสุดรายวันทั่วประเทศอยู่ที่ประมาณ 33.12 องศาเซลเซียส โดยมีบางสถานีที่มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศอย่างชัดเจน ได้แก่ สถานีหมายเลข 327202 ดอยอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่ และสถานีหมายเลข 3673041 ดอยมูเซอ จังหวัดตาก ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่สูง ส่งผลให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นที่โดยรอบ เมื่อเปรียบเทียบตามภูมิภาค พบว่าพื้นที่ภาคตะวันออกและภาคใต้มีช่วงการกระจายตัวของอุณหภูมิแคบกว่าภาคอื่น ๆ ซึ่งอาจเกิดจากอิทธิพลของทะเลและความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง ช่วยลดความผันแปรของอุณหภูมิระหว่างวัน

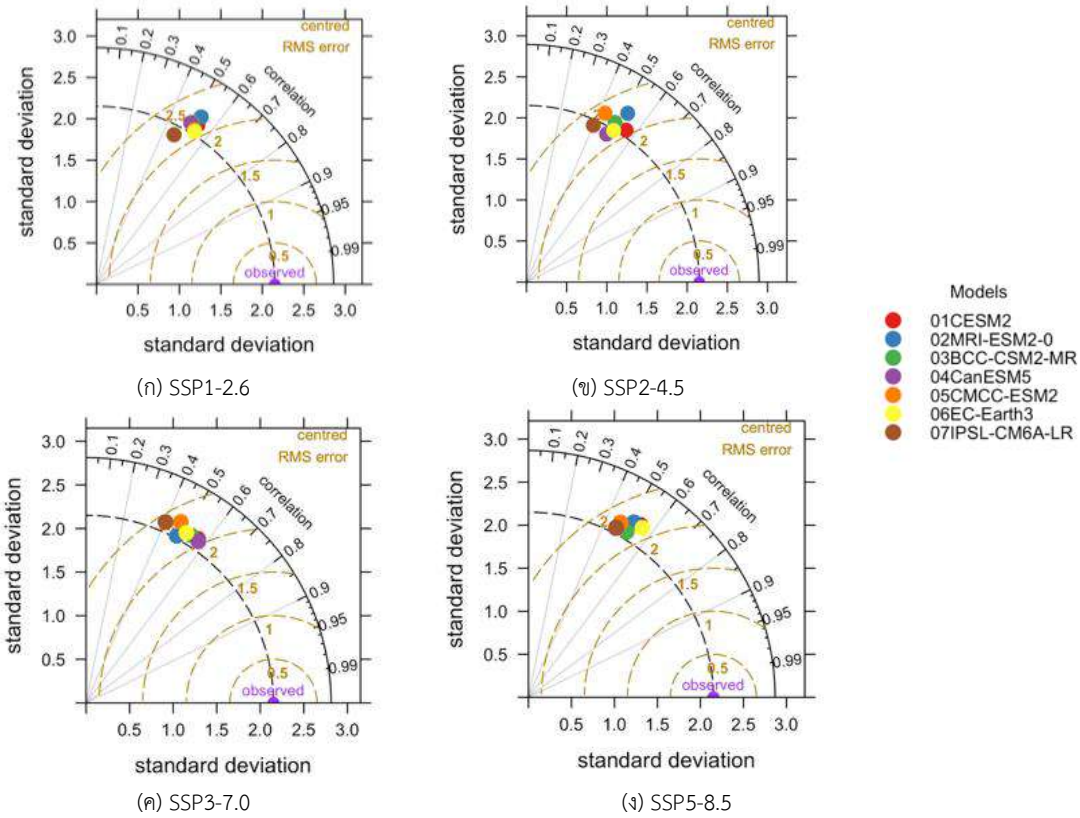


รูปที่ 3 แสดงการกรจายตัวของข้อมูลตรวจวัด

5.2 ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดรายวันจากแบบจำลอง CMIP6 ภายใต้แต่ละสถานการณ์

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง CMIP6 จำนวน 7 แบบจำลอง ภายใต้ 4 สถานการณ์ (SSPs) ได้แก่ SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 และ SSP5-8.5 ดำเนินการโดยใช้ Taylor Diagram เพื่อเปรียบเทียบค่าทางสถิติระหว่างแบบจำลองกับข้อมูลตรวจวัดจริง ได้แก่ ค่า R, ค่า RMSE และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) โดยจากรูปที่ 4 (ก) SSP1-2.6 พบว่าแบบจำลองส่วนใหญ่อยู่ในช่วงค่า R ประมาณ 0.5 ค่า RMSE ประมาณ 2.2 และค่า SD ส่วนใหญ่มากกว่าข้อมูลตรวจวัดจริง ซึ่งบ่งชี้ว่าแบบจำลองมีความแปรปรวนของอุณหภูมิสูงกว่าความเป็นจริง แบบจำลอง IPSL-CM6A-LR มีค่า R ต่ำที่สุด (0.46) และค่า SD ต่ำกว่าค่าจากข้อมูลจริง แสดงถึงความไม่สอดคล้องกับแนวโน้มอุณหภูมิจริงและความแปรปรวนที่ต่ำกว่าแบบจำลองอื่น รูปที่ 4 (ข) แสดง SSP2-4.5 พบว่า จุดข้อมูลของแบบจำลองมีการกระจายตัวมากขึ้นเมื่อเทียบกับ SSP1-2.6 แบบจำลอง CESM2 แสดงค่า R สูงสุดที่ 0.56 ซึ่งสื่อถึงความสัมพันธ์กับข้อมูลจริงที่ดีที่สุดในสถานการณ์นี้ ในขณะที่ IPSL-CM6A-LR ยังคงให้ค่า R ต่ำสุดที่ 0.40 รูปที่ 4 (ค) แสดง SSP3-7.0 พบว่า แบบจำลองทั้งหมดมีค่า SD สูงกว่าข้อมูลจริง โดยแบบจำลอง CanESM5 และ CESM2 แสดงค่า R สูงสุดที่ 0.57 และ 0.56 ตามลำดับ สะท้อนถึงความสามารถในการจำลองแนวโน้มอุณหภูมิสูงสุดรายวันได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากที่สุด ขณะที่ IPSL-CM6A-LR ยังคงแสดงผลต่ำสุดเช่นเดียวกับสถานการณ์อื่น และรูปที่ 4 (ง) แสดง SSP5-8.5 พบว่า แบบจำลองส่วนใหญ่มีค่า SD สูงกว่าค่าจริง และมีการกระจายตัวของค่าผลลัพธ์มากขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ SSP1-2.6 โดยแบบจำลอง EC-Earth3 (R = 0.56) และ CESM2 (R = 0.55) มีค่าความสัมพันธ์สูงที่สุด ขณะที่ IPSL-CM6A-LR ยังคงให้ค่า R ต่ำสุดที่ 0.46

โดยจากประเมินการจำลองปริมาณฝนในภาคใต้ของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 1985–2014 ยังพบว่าแบบจำลอง IPSL-CM6A-LR ให้ผลลัพธ์ที่คลาดเคลื่อนจากข้อมูลจริงสูง ซึ่งเป็นแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลการศึกษา [7] รวมทั้งมีการศึกษาการเปรียบเทียบแบบจำลอง CMIP6 จำนวน 27 แบบจำลองในการจำลองปริมาณฝนในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบว่าแบบจำลอง CESM2 และ EC-Earth3 มีค่าความแม่นยำสูงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา โดยเฉพาะในประเทศไทย ลาว และเวียดนาม [11] และในจากการศึกษานี้ได้แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลอง CESM2 และ EC-Earth3 ภายใต้ SSP5-8.5 ให้ค่าความสัมพันธ์สูงเช่นเดียวกันกับปริมาณฝน



(ก) SSP1-2.6 (ข) SSP2-4.5

(ค) SSP3-7.0 (ง) SSP5-8.5

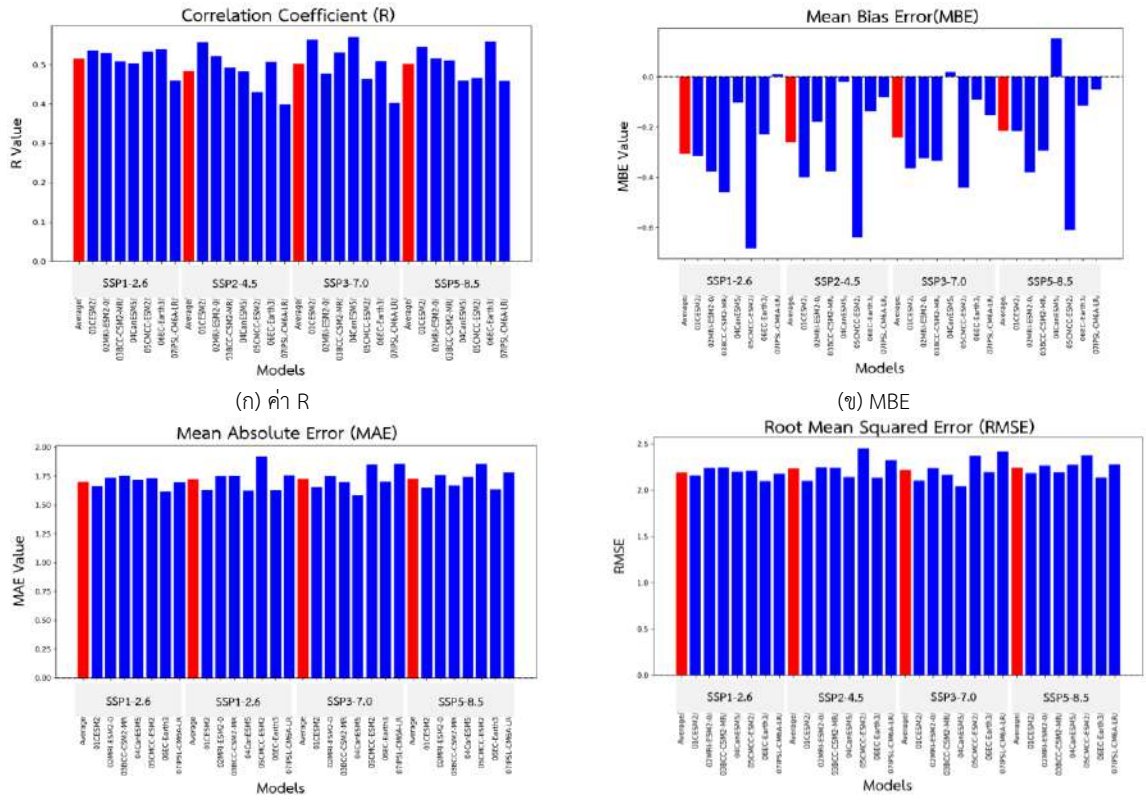
รูปที่ 4 แสดงการประเมินแบบจำลอง CMIP6 ภายใต้สถานการณ์ (ก) SSP1-2.6 (ข) SSP2-4.5 (ค) SSP3-7.0 และ (ง)SSP5-8.5

5.3 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติของแบบจำลอง CMIP6

จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของแบบจำลองภูมิอากาศ CMIP6 จำนวน 7 แบบจำลอง ภายใต้ 4 สถานการณ์ SSPs ได้แก่ SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 และ SSP5-8.5 โดยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่า R, ค่า MBE, ค่า MAE และค่า RMSE ดังรูปที่ 5 (ก) แสดง ค่า R พบว่า แบบจำลอง CESM2 แสดงค่าความสัมพันธ์กับข้อมูลจริงสูงที่สุดโดยรวมในหลายสถานการณ์ ขณะที่แบบจำลอง IPSL-CM6A-LR ให้ค่า R ต่ำที่สุดในทุกสถานการณ์ โดยสถานการณ์ SSP3-7.0 มีแบบจำลอง CanESM5 และ CESM2 ที่ให้ค่า R สูงสุดถึง 0.57 และ 0.56 ตามลำดับ รูปที่ 5 (ข) แสดงค่า MBE พบว่า โดยรวมแล้วแบบจำลองส่วนใหญ่มีค่า MBE ติดลบ ซึ่งสะท้อนถึงแนวโน้มในการประเมินอุณหภูมิต่ำกว่าค่าจริง สำหรับแบบจำลอง IPSL-CM6A-LR ภายใต้ SSP1-2.6 ให้ค่า MBE ต่ำที่สุด (ต่ำกว่า 0 อย่างชัดเจน) ในขณะที่แบบจำลอง CanESM5 ภายใต้ SSP2-4.5 และ SSP3-7.0 ให้ค่า MBE ใกล้เคียงศูนย์ที่สุด (ประมาณ ±0.02) ซึ่งแสดงถึงความแม่นยำสูง รูปที่ 5 (ค) แสดง ค่า MAE พบว่า แบบจำลอง CanESM5 ภายใต้ SSP3-7.0 มีค่า MAE ต่ำที่สุดที่ 1.58°C บ่งชี้ว่าเป็นแบบจำลองที่ให้ค่าคาดการณ์ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุดในภาพรวม และรูปที่ 5 (ง) แสดง ค่า RMSE พบว่า แบบจำลอง CanESM5 ภายใต้ SSP3-7.0 ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุดที่ 2.04°C แสดงถึงความแม่นยำสูงสุดในการจำลองแนวโน้มอุณหภูมิสูงสุดรายวันของประเทศไทยเมื่อเทียบกับแบบจำลองและสถานการณ์อื่น ๆ

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาแบบจำลอง CMIP6 ในการจำลองอุณหภูมิสุดขั้วในประเทศจีน โดยพบว่า CanESM5, CESM2 และ EC-Earth3 ให้ผลที่สอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดมากที่สุด ในขณะที่ IPSL-CM6A-LR แสดงผลที่เบี่ยงเบนสูงเช่นเดียวกับกรณีในประเทศไทย [12] และมีการเสนอว่าค่า RMSE และ MAE ที่ต่ำใน CanESM5 [13] อีกทั้งงานวิจัยภายในประเทศไทยที่ศึกษาแบบจำลอง CMIP6 ในการจำลองอุณหภูมิและปริมาณฝนในช่วง historical พบว่า CanESM5 และ CESM2 เป็นแบบจำลองที่ให้ค่า R สูงและมีค่า SD ต่ำที่สุด ขณะที่ IPSL-CM6A-LR ให้ผลที่เบี่ยงเบนจากข้อมูลจริงมากที่สุดในหลายตัวชี้วัดทางสถิติ [8] และศึกษาแบบจำลอง CMIP6 จำนวน 27 แบบจำลองในบริบทของเอเชีย

ตะวันออกเฉียงใต้ โดยพบว่า CESM2 และ EC-Earth3 เป็นแบบจำลองที่ให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากที่สุดในบริเวณประเทศไทย ลาว และเวียดนาม [11]



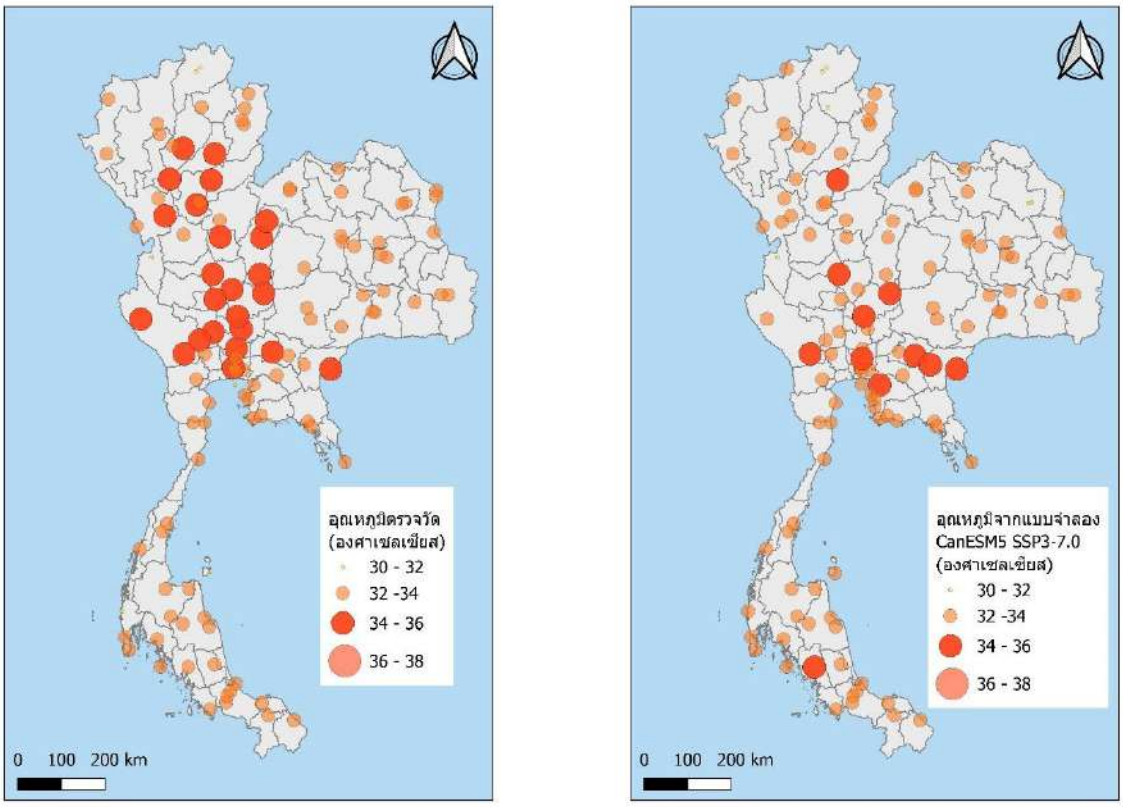
(ก) ค่า R (ข) MBE

(ค) ค่า MAE (ง) ค่า RMSE

รูปที่ 5 แสดงการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ (ก) ค่า R (ข) ค่า MBE (ค) ค่า MAE และ (ง) ค่า RMSE

5.4 การเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ระหว่างข้อมูลตรวจวัดจริงและแบบจำลอง CanESM5 (SSP3-7.0)

จากการทำแผนที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดรายวัน ช่วงปี ค.ศ. 2015 – 2022 (รูปที่ 6) โดยเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลตรวจวัดจริง จากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา กับ ข้อมูลจากแบบจำลอง CanESM5 ภายใต้สถานการณ์ SSP3-7.0 ซึ่งเป็นแบบจำลองและสถานการณ์ภาพฉายที่ให้ค่าทางสถิติที่ดีที่สุด พบว่า ภาพรวมของทั้งประเทศ ค่าจากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับค่าจากข้อมูลตรวจวัดจริง ทั้งในด้านช่วงค่าเฉลี่ยและรูปแบบการกระจายเชิงพื้นที่ และพบความแตกต่างในบางพื้นที่ โดยเฉพาะในพื้นที่บางส่วนของ ภาคเหนือ และ ภาคกลาง ของประเทศ ซึ่งข้อมูลตรวจวัดจริงมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าข้อมูลจากแบบจำลองประมาณ 1–2 องศาเซลเซียส แนวโน้มดังกล่าวอาจสะท้อนถึงผลกระทบจากลักษณะภูมิประเทศเฉพาะ เช่น พื้นที่ในหุบเขา หรือการสะสมความร้อนในเขตเมืองที่แบบจำลองยังมีความคาดเคลื่อน



(ก) อุณหภูมิตรวจวัดจริง (ข) อุณหภูมิจากแบบจำลอง CanESM5 SSP3-.70

รูปที่ 6 แสดงแผนที่ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดรายวันจาก (ก) อุณหภูมิตรวจวัดจริง และ (ข) อุณหภูมิจากแบบจำลอง CanESM5 SSP3-.70

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสถานการณ์ CMIP6 ที่สอดคล้องกับอุณหภูมิสูงสุดรายวันของประเทศไทย จำนวน 7 แบบจำลอง ภายใต้ 4 สถานการณ์ ในการจำลองอุณหภูมิสูงสุดรายวันของประเทศไทยในช่วงปี ค.ศ. 2015 - 2023 โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจริงจากสถานีอุตุนิยมวิทยา 120 แห่งทั่วประเทศ ผ่านการวิเคราะห์เชิงสถิติ ได้แก่ ค่าสหสัมพันธ์ (R), ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (MBE), ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE), ค่ารากของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (RMSE) และการแสดงผลด้วยเทคนิค Taylor Diagram กราฟ และแผนที่ ผลการศึกษาพบว่าเห็นว่าแบบจำลอง CanESM5 ภายใต้สถานการณ์ SSP3-7.0 ให้ผลการจำลองที่มีความสอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดมากที่สุด โดยมีค่า R สูงสุด (0.57) และค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดทั้ง RMSE (2.04°C) และ MAE (1.58°C) ในขณะที่แบบจำลอง IPSL-CM6A-LR แสดงค่า R ต่ำที่สุดในทุกสถานการณ์ที่ศึกษา นอกจากนี้ ยังได้มีการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงพื้นที่โดยใช้แผนที่แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดรายวันในช่วงปี ค.ศ. 2015–2022 พบว่า ภาพรวมของข้อมูลจากแบบจำลอง CanESM5 SSP3-7.0 มีแนวโน้มสอดคล้องกับข้อมูลตรวจวัดในเกือบทุกพื้นที่ของประเทศ อย่างไรก็ตาม มีบางพื้นที่โดยเฉพาะใน ภาคเหนือ และภาคกลาง ที่ข้อมูลตรวจวัดจริงมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าข้อมูลจากแบบจำลองประมาณ 1–2 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจเกิดจากลักษณะภูมิประเทศเฉพาะ หรือผลกระทบจากเกาะความร้อนในเขตเมืองที่แบบจำลองอาจยังไม่สามารถสะท้อนออกมาได้อย่างสมบูรณ์ และผลการศึกษาทั้งในเชิงสถิติและเชิงพื้นที่ สามารถสรุปได้ว่า แม้สถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 จะเป็นที่นิยมใช้ในการศึกษาผลกระทบจากข้อมูล CMIP6 ในประเทศไทย แต่สถานการณ์ SSP3-7.0 โดยเฉพาะแบบจำลอง CanESM5 ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าในช่วงเวลาที่ศึกษา

ดังนั้น การนำข้อมูลจากแบบจำลอง CanESM5 ภายใต้ SSP3-7.0 ไปใช้ในการ ประเมินผลกระทบ การวางแผนการปรับตัว และการจัดทำนโยบายด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย ถือเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูง และควรได้รับการส่งเสริมให้เป็นหนึ่งในตัวเลือกหลักในการศึกษาวิจัยและการตัดสินใจเชิงนโยบายในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] IPCC. (2018). Global warming of 1.5°C. Intergovernmental Panel on Climate Change.

[2] Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. (2024). Fourth Biennial Update Report: BUR4. Bangkok, Thailand.

[3] Meinshausen, M., Nicholls, Z. R. J., Lewis, J., et al. (2020). The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. Geoscientific Model Development, 13, 3571–3605.

[4] Supharatid, S. (2016). Skill of precipitation projection in the Chao Phraya river Basin by multi-model ensemble CMIP3-CMIP5. Weather and Climate Extremes, 12, 1–14.

[5] Pattnayak, K. C., Kar, S. C., Dalal, M., et al. (2017). Projections of annual rainfall and surface temperature from CMIP5 models over the BIMSTEC countries. Global and Planetary Change, 152, 152–166.

[6] Chotamonsak, C., Thanadolmethaphorn, P., & Lapyai, D. (2019). Evaluation and Projection of Changes in Temperature over Northern Thailand Based on CMIP5 Models. EnvironmentAsia, 12, 93–101.

[7] Humphries, W., Waqas, M., et al. (2024). A comprehensive assessment of CMIP6 General Circulation Models for precipitation projections in Southern Thailand. Climatic Change Journal, 160, 1–18.

[8] Kamworapan, S., Bich Thao, P. T., Gheewala, S. H., Pimonsree, S., & Prueksakorn, K. (2021). Evaluation of CMIP6 GCMs for simulations of temperature over Thailand and nearby areas in the early 21st century. Heliyon, 7(11), e08263. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08263

[9] Li, T., Horton, R. M., & Kinney, P. L. (2020). Projections of seasonal patterns in temperature-related deaths for Manhattan, New York. Nature Climate Change, 10, 1046–1051. https://doi.org/10.1038/s41558-020-00952-4

[10] Mbow, C., Rosenzweig, C., et al. (2019). Food Security. In Climate Change and Land: An IPCC Special Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/srccl/

[11] Pimonsree, S., Kamworapan, S., Gheewala, S. H., Thongbhakdi, A., & Prueksakorn, K. (2023). Evaluation of CMIP6 GCMs performance to simulate precipitation over Southeast Asia. Atmospheric Research, 282, 106522. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106522

[12] Wickham, H. (2016). ggplot2: Elegant graphics for data analysis. Springer. https://ggplot2.tidyverse.org

[13] R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

[14] Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 106(D7), 7183–7192. https://doi.org/10.1029/2000JD900719

[15] Liang, H., Wang, Y., Zhao, T., & Li, W. (2021). Evaluation of CMIP6 global climate models for simulation of temperature and precipitation in China. Climate Dynamics, 56(3–4), 869–886. https://doi.org/10.1007/s00382-020-05512-0

[16] Zhou, T., Zhang, W., Lin, A., Chen, X., & Xu, Y. (2022). Performance of CMIP6 models in simulating extreme temperature events over China. Theoretical and Applied Climatology, 147(1), 193–210. https://doi.org/10.1007/s00704-021-03720-3

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและเกษตรกรรม: มุมมองจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

ณัฐวุฒิ พิมพา[1*] และ ณพล อนุตตรังกูร[2]

[1]วิทยาลัยการจัดการ มหาวิทยาลัยมหิดล
[2]ศูนย์วิจัยและและบริการวิชาการมหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตนครสวรรค์
* Corresponding author: nattavud.pim@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญหาด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกำลังทวีความรุนแรงขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดภัยพิบัติที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศเพิ่มขึ้นทั่วโลก ภาคเกษตรกรรมของประเทศไทยซึ่งเป็นรากฐานสำคัญของเศรษฐกิจและความมั่นคงทางอาหาร กำลังเผชิญกับความเปราะบางอย่างยิ่งต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่การสร้างความเข้าใจถึงความท้าทายที่เกิดขึ้นกับกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในภาคเกษตรกรรมของไทยอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อวิถีชีวิตและการประกอบกิจการทางเกษตรกรรมของพวกเขา โดยผู้วิจัยเก็บข้อมูลผ่านการสัมภาษณ์กลุ่มเชิงลึกและการวิเคราะห์เชิงประเด็น (thematic analysis) งานวิจัยนี้ได้สำรวจประสบการณ์และมุมมองของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องหลักในชุมชนเกษตรกรรม ผลการวิจัยพบว่า ผลกระทบเชิงลบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศเกิดขึ้นกับ (๑) ความสามารถในการพัฒนาผลผลิตทางการเกษตร (๒) ความมั่นคงทางเศรษฐกิจ (๓) การขาดแคลนอาหาร และ (๔) การศึกษาและวิถีชีวิต ผลการศึกษายังพบว่าเราจำเป็นต้องส่งเสริมเกษตรกรในประเด็นความรู้เรื่องความมั่นคงทางอาหาร และความจำเป็นเร่งด่วนในการนำแนวทางเกษตรกรรมที่มีความยืดหยุ่นมาปรับใช้ เพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จำเป็นต้องบูรณาการความรู้เรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเข้าสู่ระบบการศึกษาไทย เพื่อเตรียมความพร้อมให้กับเกษตรกรรุ่นใหม่ในการปรับตัวต่อสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง และสามารถนำกลยุทธ์ทางการเกษตรที่ยั่งยืนมาปรับใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ / การเกษตร / ความมั่นคงทางอาหาร

Climate Change and Agriculture: Perspectives from Stakeholders

Nattavud Pimpa[1*] and Napon Anuttarunggoon[2]

[1] College of Management, Mahidol University, Thailand.
[2] Mahidol University, Nakhonsawan Campus
** Corresponding author: nattavud.pim@mahidol.ac.th*

Abstract

The problem of climate change is rapidly intensifying, leading to a growing number of climate-related disasters around the world. Thailand's agricultural sector, foundation of the country's economy and food security, is becoming increasingly vulnerable to the adverse effects of climate change. This study focuses on understanding the challenges faced by stakeholders in Thailand's agricultural sector due to climate change and how these challenges affect their livelihoods and agricultural practices. Data were collected through in-depth group interviews with stakeholders from Nakhon Sawan province. The research explored the experiences and perspectives of key stakeholders within agricultural communities. The findings reveal that climate change has had negative impacts on: (1) the capacity to improve agricultural productivity, (2) economic stability, (3) food shortages, and (4) education attainment and livelihoods. The study also highlights the urgent need to support farmers by enhancing their knowledge of food security and promoting the adoption of resilient agricultural practices to mitigate the impacts of climate change. Furthermore, it is essential to integrate climate change education into Thailand's education system to prepare future generations of farmers to adapt to changing climatic conditions and to implement sustainable agricultural strategies effectively.

Keywords: Climate Change / Agriculture / Food Security

1. Introduction

In Thailand, where agriculture constitutes a vital pillar of the national economy and serves as a primary source of livelihood for millions, the impacts of climate change are especially pronounced. The sector is increasingly threatened by extreme weather events, shifting rainfall patterns, and rising temperatures. At the same time, farmers must navigate complex socio-economic and cultural landscapes that influence their ability to adapt.

The impacts of climate change extend well beyond environmental and economic concerns, posing significant threats to public health, quality of life, and social equity. These effects are especially acute for vulnerable populations, including adolescents, the elderly, individuals with chronic illnesses, and those living in poverty. As climate change intensifies, so too does its influence on human health—manifesting in a range of direct and indirect consequences that disproportionately burden those least equipped to cope.

Rising global temperatures have been closely associated with an increase in heat-related illnesses, such as heatstroke, dehydration, and cardiovascular complications [1] and usually the exposure to extreme heat exacerbates existing health conditions and increases mortality rates, particularly among elderly populations and urban poor who may lack access to adequate cooling systems. Furthermore, shifting climate patterns and altered ecosystems contribute to the expanded geographic range and seasonal activity of disease vectors, leading to the resurgence and spread of vector-borne diseases such as dengue fever, malaria, and Zika virus.

In addition to communicable diseases, climate change significantly affects food and water systems, leading to increased food insecurity and water scarcity [2]. Crop failures due to drought, flooding, and unpredictable weather patterns result in rising food prices and reduced access to nutritious food—conditions that exacerbate malnutrition, especially among children and pregnant women. Contaminated or insufficient water supplies, exacerbated by droughts and overwhelmed infrastructure, compromise hygiene and increase the risk of waterborne illnesses, placing already marginalized communities at greater risk. The long-term health consequences of climate change ripple through societies, undermining overall well-being and threatening economic resilience. Climate-related health issues reduce labor productivity and increase absenteeism, while surging healthcare costs strain public health systems—particularly in low- and middle-income countries with limited resources. The combined effects contribute to a vicious cycle of vulnerability, where social inequalities are deepened, and national development goals are pushed further out of reach.

Addressing these challenges demands coordinated and cross-sectoral responses that integrate health into national climate adaptation strategies. Investing in climate-resilient health systems, expanding early-warning mechanisms for climate-sensitive diseases, and promoting equitable access to healthcare and essential services are all critical steps toward safeguarding public health in the face of a warming planet.

The growing imbalance caused by climate change continues to perpetuate cycles of poverty and inequality, severely undermining efforts to achieve sustainable development and social justice. The depletion of natural resources further exacerbates these issues. Climate-induced events—such as prolonged droughts and diminishing freshwater availability—heighten competition for essential resources, leading to conflict, displacement, and instability.

Agricultural productivity is declining as land becomes increasingly less arable, while fisheries suffer from ocean warming and acidification. These environmental changes trigger cascading effects across food systems and global trade networks, threatening livelihoods and food security worldwide.

Robust policy interventions and comprehensive mitigation strategies are urgently needed to address these interconnected challenges. Enhanced planning, targeted investments in resilient infrastructure, and proactive readiness for health-related consequences must become priorities. Lessons learned from crises such as the COVID-19 pandemic can guide nations in anticipating and managing the multifaceted impacts of climate change. Effective adaptation requires a holistic, systems-based approach—one that integrates public health, social equity, and sustainable resource management into broader climate strategies. Such efforts are vital to safeguarding the well-being of both current and future generations.

The Situation in Thailand

Thailand is currently confronting severe and far-reaching challenges linked to climate change—challenges that demand immediate and sustained action from all sectors of society. As one of the nations' most vulnerable to climate-related impacts, Thailand faces rising temperatures, erratic rainfall, and increasing incidences of drought and flooding that threaten agriculture, public health, and economic stability.

This vulnerability highlights the need for a coordinated response involving government agencies, the private sector, academia, and civil society. By acknowledging the sector-specific risks and impacts of climate change, Thailand can formulate and implement targeted adaptation strategies that build resilience at both community and national levels. Understanding these interlinked vulnerabilities is essential for shaping inclusive, effective climate responses. With collective effort and a clear vision, Thailand can mitigate the worst impacts of climate change and transition toward a more resilient, equitable, and sustainable future.

Thailand faces a wide range of climate-related challenges that affect its environment, economy, and society. The agricultural sector, central to the nation's socio-economic development and food security, is especially vulnerable to shifting rainfall patterns, temperature increases, and extreme weather events such as floods and droughts [3]. These disruptions have serious implications for crop yields, rural livelihoods, and national food security.

Studies consistently highlight Thailand's heightened exposure to climate-related risks, including rising temperatures, shifting precipitation patterns, frequent flooding, and prolonged droughts [4] [2]. Observational data over recent decades confirm a significant warming trend, which has contributed to increasingly frequent and severe weather extremes [5]. Future projections indicate that these climate hazards will escalate, posing growing threats to agriculture, infrastructure, water resources, and vulnerable populations [6].

In response, Thailand has launched adaptation initiatives across several key sectors, including agriculture, urban planning, and energy [1]. However, further integration of climate adaptation into national policy frameworks and development plans remains essential. Transitioning toward a low-carbon economy and strengthening institutional capacity and governance are also critical to effectively managing these interconnected risks and ensuring long-term resilience [7].

Given these vulnerabilities, it is imperative that Thailand prioritizes comprehensive adaptation strategies. These should include sustainable land and water management, coastal protection and ecosystem

restoration, climate-resilient urban design, and the promotion of adaptive agricultural practices. Successful implementation will depend on cross-sector collaboration involving government agencies, local communities, civil society, and the private sector. This study seeks to explore the following research questions:

- How do changing weather patterns and extreme climate events affect agricultural productivity, food security, and rural livelihoods in Thailand?
- What are the specific impacts of climate change on Thailand's agricultural business sector, and how are stakeholders responding?

2. Method

This study employs a phenomenological approach to explore the lived experiences and perceptions of key stakeholders within Thailand's agricultural sector regarding the impacts of climate change. This qualitative research design allows for an in-depth understanding of the subjective experiences and interpretations of participants

3. Data Collection

3.1 Selection of Key Informants

The selection of key informants for this study was guided by a purposive sampling strategy, aimed at capturing diverse perspectives on the impacts of climate change within the agricultural sector in Thailand. The key informants included:

Farmers (n=5): These participants were selected based on their direct experience with climate variability, shifts in agricultural productivity, and adaptive practices. Their insights are critical in understanding how climate change affects crop yields, soil health, and water availability at the grassroots level. The farmers represented different regions of Thailand to reflect geographical variability in climate impacts.

Agricultural Policymakers (n=3): Policymakers were chosen for their role in shaping climate adaptation strategies and agricultural policies. Their perspectives provided insights into governmental responses, policy gaps, and strategic planning aimed at enhancing climate resilience in the sector.

Industry Experts (n=3): This group included experts from agribusiness companies and agricultural research institutions. Their input helped to contextualize climate challenges within market dynamics, technological adaptation, and supply chain management, which are crucial for sustainable agricultural practices.

Representatives from Government Agencies and NGOs (n=2): These informants were selected to provide a macro-level view of climate change governance and support mechanisms available to farmers and agricultural communities. Their experiences reflected on the effectiveness of policy implementation, international cooperation, and community-based initiatives in mitigating climate risks.

Reflection on Climate Change Problems in Agriculture

Although it is not the aim of this study to generalize the concept of climate change impact on agriculture in Thailand, we selected the views from these selected groups to be instrumental in illustrating the multifaceted nature of climate change problems in Thailand's agricultural sector. Farmers' experiences highlight the immediate impacts of extreme weather events, shifting rainfall patterns, and soil degradation.

Policymakers contribute to understanding regulatory and institutional responses to these challenges, identifying both successes and barriers in adaptation policies [4] Industry experts provide a market-oriented perspective, identifying technological innovations and private sector initiatives that could enhance climate resilience. Finally, insights from government and NGO representatives underscore the role of community engagement, international partnerships, and sustainable development policies in supporting local farmers. Together, these perspectives create a holistic view of climate-related challenges and adaptive strategies in Thai agriculture, offering a robust foundation for policy recommendations and sustainable practice improvements.

3.2 Data Analysis

Thematic analysis was employed to identify recurring patterns, themes, and insights within the interview data. All interviews were transcribed and coded through an iterative process that allowed themes to emerge naturally from the data. This approach facilitated a deeper understanding of the complexities and nuances surrounding climate change impacts on Thailand's agricultural business sector. To enhance the credibility and rigor of the study, several strategies were implemented, including member checking, peer debriefing, and researcher reflexivity. Member checking involved sharing key findings with participants to validate interpretations and ensure accuracy. Peer debriefing provided opportunities to discuss emerging themes and interpretations with colleagues, while reflexivity helped the researcher critically examine their own positionality and potential biases throughout the research process.

4. Results

Theme 1: Climate Change and Agricultural Production

All participants agreed that climate change presents significant challenges to agriculture in Thailand. Rising temperatures and shifting rainfall patterns are directly impacting crop yields and overall agricultural productivity, threatening the livelihoods of farmers and their communities [2][8]. As one farmer noted,

"*We feel its impact throughout our farm and other production*."

The sector's sensitivity to extreme weather—such as droughts, floods, and temperature fluctuations—has led to increased crop failures and difficulties in planting cycles. Irregular rainfall was highlighted by nearly all participants as a primary concern, often alternating between prolonged droughts and sudden, intense downpours that result in flooding. These disruptions significantly undermine food production and rural economic stability.

"*Everything seems connected—heat, drought, flood, no rain, and poor yields*," said one respondent, capturing the compounding nature of these effects.

Rising temperatures also pose long-term threats to specific crops that struggle to adapt to new climatic conditions, reducing both yields and income. Studies suggest climate change may cause a 17% decline in crop yields across various types, with serious implications for food security and rural poverty [9]. One participant emphasized,

"*Unpredictable weather is disrupting everything—from planting schedules to harvests. Every farmer is feeling the strain*."

The intersection of climate change and agriculture in Thailand presents a pressing challenge, particularly due to the sector's high vulnerability to shifting climate patterns. Participants consistently reported declines in crop yields, attributing them to rising temperatures, irregular rainfall, and extreme weather events. These disruptions have already affected planting schedules, caused crop failures, and threatened farmers' livelihoods.

Unpredictable rainfall—marked by alternating periods of drought and heavy rain—was cited as a major concern, leading to flooding and further reducing productivity. Some crops are struggling to adapt to changing conditions, resulting in lower yields and income, especially for smallholder farmers. This contributes to deepening food insecurity and rural poverty.

"*Farmers can't do this alone. We need government policies—whether it's funding for new technologies or training programs to help us adapt*," one participant noted.

These findings underscore the need for targeted policies and sustainable agricultural strategies that enhance resilience and support farmers' adaptive capacity. Indeed, this theme underlines the action for adaptive agricultural strategies to protect livelihoods and ensure food security amid a changing climate.

Theme 2 Climate Change, Food Security, and Economic Stability

Climate change poses a significant threat to food security and local economic stability, particularly in regions dependent on subsistence and rainfed agriculture. Participants from the agricultural sector expressed concern over increasingly erratic weather patterns—such as altered rainfall and temperature fluctuations—that are reducing crop yields and undermining food supply. This vulnerability is especially acute in rural communities, where livelihoods depend heavily on consistent agricultural output.

"If we don't address these issues now, it's not just farmers who will suffer. Everyone will feel it—when food prices rise or supply runs short."

To address these challenges, participants emphasized the need for drought-resistant crop varieties and improved water management systems. Such strategies are essential to strengthen resilience and maintain agricultural productivity in a changing climate [10]. In addition, sustainable land use practices—including agroforestry—can help restore soil health, support biodiversity, and buffer against climate-related disruptions.

"We need practical solutions—drought-tolerant crops, better irrigation. Without them, surviving another season feels impossible."

Access to timely climate information, financing, and training in climate-smart agriculture is also vital for empowering farmers to adapt. For instance, projected declines in sugarcane production—a key economic crop in Thailand—highlight how local agricultural challenges can ripple into global food markets, reinforcing the urgency of proactive and inclusive adaptation measures [11].

Climate-smart agriculture (CSA) emerges as a promising approach to enhance food productivity, build resilience in agricultural systems, and reduce greenhouse gas emissions in response to climate change impacts [13]. CSA encompasses a range of practices and technologies that aim to improve agricultural productivity while simultaneously addressing climate change challenges. However, the adoption of these practices can be hindered by various barriers, including limited access to resources and insufficient knowledge among farmers [12]. Technological advancements play a crucial role in facilitating adaptation; however, the pace of these advancements must align with the rapid changes brought about by climate change to be effective [11]

The complex impacts of climate change on food security call for urgent and effective adaptation strategies. These must focus on protecting the agricultural sector and sustaining food systems amid rising temperatures, shifting rainfall, and extreme weather events [8]. Integrating traditional knowledge with innovative practices can strengthen farmers' adaptive capacity and help maintain both food production and livelihoods [2].

A coordinated effort among policymakers, agricultural experts, and local communities is essential to address these challenges and ensure long-term food security in Thailand's changing climate.

Theme 3: Education and Livelihood

Climate change remains poorly integrated into Thailand's education system, particularly in rural areas where agricultural education is most needed. Many teachers lack the training and resources to effectively convey the subject, resulting in a disconnect between theoretical instruction and practical knowledge for students. This gap leaves farmers ill-equipped to understand and respond to the realities of a changing climate.

Limited research funding and weak collaboration on climate change education—especially related to agricultural adaptation—further hinder preparedness. A widespread perception that climate and environmental issues are irrelevant contributes to apathy within the education sector, particularly regarding curriculum development and teacher capacity. As a result, Thai farmers often adopt reactive rather than proactive responses, lacking awareness of long-term preventative strategies.

Climate change is deeply affecting the lives of farmers in Thailand, disrupting traditional practices and increasing uncertainty. Irregular rainfall, rising temperatures, and more frequent pest and disease outbreaks have made crop cultivation more difficult, reducing yields and farmer incomes. The economic and emotional toll on farming communities is growing steadily.

"*We need more research on how to farm sustainably in this new reality. It's not just about growing crops—it's about protecting the land and the people who depend on it*," one participant emphasized.

All participants agree that, to address these challenges, the Thai government must prioritize comprehensive support for the agricultural sector. This includes providing climate-resilient seeds, modern farming technologies, and targeted training in sustainable agricultural practices. Additionally, financial assistance and insurance programs are critical to cushion farmers against the economic impacts of climate-related losses, helping ensure their livelihoods and long-term well-being.

All farmers in this study emphasizes the need to foster knowledge exchange and collaboration among themselves, research institutions, and agricultural experts in the area regarding climate change. It is essential for promoting climate-resilient agriculture and update the farmers with practical knowledge. Sharing best practices and innovative strategies can empower farmers with the tools and insights needed to adapt effectively to changing conditions. By creating an enabling environment that supports farmers with appropriate resources, training, and technologies, Thailand can enhance the resilience of its agricultural sector.

This holistic approach not only addresses the immediate challenges of climate change but also lays the foundation for long-term sustainability and prosperity. Prioritizing the well-being of farmers and the

strength of the agricultural system will enable Thailand to build a more secure and resilient future for its rural communities and national food systems.

5. Conclusions

This study highlights the complex and far-reaching impacts of climate change on Thailand's agricultural sector. Four key themes emerged from participants' insights, reflecting the deep interconnection between climate variability and rural livelihoods, food security, education, and farmer well-being.

First, irregular rainfall and rising temperatures were identified as major disruptions to crop productivity and economic stability. Droughts and floods were particularly damaging, contributing to reduced yields and increased food insecurity.

Second, food security emerged as a critical concern, especially in rural areas dependent on subsistence farming. Participants stressed the need for climate-resilient agricultural practices and support systems to protect local economies and food supplies.

The third theme revealed a gap in climate change education. Inadequate teacher preparation and the limited integration of climate topics into agricultural education leave farmers unprepared to respond to changing environmental conditions. Enhancing climate literacy is essential to bridge this gap.

Lastly, the impact on farmers' livelihoods was evident. Increased uncertainty, disrupted practices, and financial vulnerability underscore the urgent need for support—such as access to resilient seeds, sustainable technologies, financial aid, and platforms for knowledge exchange.

Addressing these challenges requires a holistic, multi-stakeholder approach that combines scientific research, policy reform, and community engagement. By investing in agricultural resilience and farmer well-being, Thailand can secure a more sustainable and climate-resilient future for its farming communities.

References

[1] Hess, J., Kelman, I. (2021). Vulnerability to climate change of coastal tourism dependent regions in Thailand. Annals of Tourism Research, 88, 103153.

[2] Limsakul, A., (2019). Assessment of future changes in temperature and precipitation in Thailand using statistical downscaling of CMIP5 global climate models. Theoretical and Applied Climatology, 138(3-4), 1419-1432.

[3] Shrestha, S., (2017). Climate change in Thailand: Impacts and adaptation strategies. Climate, 5(4), 69.

[4] Ober, K., & Sakdapolrak, P. (2019). Climate change adaptation in urban Thailand: Challenges and opportunities for local governments. Regional Environmental Change, 19(2), 349-360.

[5] Parkpoom, S., & Harrison, D. (2008). Climate change in Thailand: Impacts and adaptation strategies. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 15(3), 243-257.

[6] Shirakawa, H., & Suanpaga, W. (2022). Impact of climate change on flood risks in Thailand: evidence from projected future climate scenarios. Climatic Change, 173(1-2), 15

[7] Jaderojananont, P. (2019). Policy and law interventions for transitioning towards a low-carbon society in Thailand. Climate Policy, 19(1), 117-129.

[8] Shrestha, R. P., Chaweewan, N., & Arunyawat, S. (2017). Adaptation to Climate Change by Rural Ethnic Communities of Northern Thailand. Climate, 5(3), 57. https://doi.org/10.3390/cli5030057 .

[9] Pimpa, N. . (2024). Addressing Climate Change Challenges in Thailand's Agricultural Economy . Journal of Ecohumanism, 3(8), 5788 –. https://doi.org/10.62754/joe.v3i8.5182

[10] Supratid, S., & Aribarg, A. (2021). Climate change impacts on Thailand's agriculture: a comprehensive review. Regional Environmental Change, 21(4), 1-14.

[11] Davis, M. (2023). Qualities of effective climate change adaptation strategies. Journal of Climate Change Adaptation, 10(2), 145-158.

[12] Berger, L. (2022). Societal responses to climate change challenges: Insights from a qualitative study. Climate and Society Review, 7(3), 212-227

[13] Paudyal BR, Chanana N, Khatri-Chhetri A, Sherpa L, Kadariya I and Aggarwal P (2019) Gender Integration in Climate Change and Agricultural Policies: The Case of Nepal. Frontier in. Sustainable Food System, 3(66), 1-17. doi: 10.3389/fsufs.2019.00066.

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยพิบัติ

Poster Presentation

การศึกษาการรับรู้ภาวะสุขภาพและพฤติกรรมเสี่ยงด้านสุขภาพจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรที่ปลูกสับปะรดในตำบลทับใต้ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

พิสมัย คติชอบ* และ สยาม อรุณศรีมรกต

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม
* Corresponding author: pissmai_ae@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยและพฤติกรรมความเสี่ยงในการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรที่ปลูกสับปะรด เพื่อประเมินความเสี่ยงในการใช้สารเคมีทางการเกษตรที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกร โดยเป็นการวิจัยแบบพรรณนา มีวิธีการดำเนินการศึกษา โดยใช้กลุ่มตัวอย่าง คือ เกษตรกรที่ปลูกสัปปะรด 54 คน ในพื้นที่ตำบลทับใต้ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ การสัมภาษณ์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติบรรยาย ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรกลุ่มตัวอย่าง มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในระดับสูง โดยเฉพาะสารเคมีกลุ่มฟีนิลยูเรีย (ร้อยละ 31.6) ยูราซิล (ร้อยละ 28.4) และไบไพริดิเลียม (ร้อยละ 19.4) เป็นสารเคมีที่ใช้เพื่อกำจัดวัชพืช และมีผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม เกษตรกรจำนวนมากไม่เคยได้รับการอบรมเรื่องความปลอดภัยในการใช้สารเคมี ส่งผลให้พฤติกรรมการใช้สารเคมีหลายประการยังคงมีความเสี่ยง เช่น สวมเสื้อผ้าเปียกชุ่มสารเคมี รับประทานอาหารในพื้นที่ทำงาน ไม่สวมถุงมือยาง ไม่ล้างมือก่อนพัก และไม่อาบน้ำหรือเปลี่ยนเสื้อผ้าหลังใช้งานสารเคมี รวมถึงมีการเก็บสารเคมีไว้ในที่พักอาศัย ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้สารเคมีที่ไม่เหมาะสมยังคงเป็นปัญหาในกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกสับปะรด การส่งเสริมความรู้เรื่องการป้องกันอันตรายจากสารเคมี รวมถึงการใช้เครื่องมือป้องกัน เช่น หน้ากาก ถุงมือ และการอ่านฉลากก่อนใช้งาน มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อช่วยลดความเสี่ยงและป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว

สำคัญ: สับปะรด / การรับรู้ / ภาวะสุขภาพ / พฤติกรรมความเสี่ยง

A Study on the Perception of Health Conditions and Health Risk Behavior from the Use of agricultural chemicals among pineapple farmers in Thap Tai Subdistrict, Hua Hin District, Prachuap Khiri Khan Province.

Pissmai Katechob* **and Sayam Aroonsrimorakot**

Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Thailand.
**Corresponding author: pissmai_ae@hotmail.com*

Abstract

This study aims to examine the factors and risk behaviors related to the use of agricultural chemicals among pineapple farmers, in order to assess the health risks associated with chemical use. It is a descriptive research study conducted using a sample group of 54 pineapple farmers in Thap Tai Subdistrict, Hua Hin District, Prachuap Khiri Khan Province. The data collection tool used was interviews. Data were analyzed using descriptive statistics and hypothesis testing. The study found that the sample group of farmers used high levels of chemical pesticides, particularly those in the Phenylurea group (31.6%), Uracil group (28.4%), and Bipyridilium group (19.4%). These chemicals are used for weed control and have adverse effects on both health and the environment. However, many farmers had never received training on chemical safety, resulting in several risky chemical-use behaviors. These include wearing clothing soaked with chemicals, eating in the work area, not wearing rubber gloves, not washing hands before breaks, not showering or changing clothes after using chemicals, and storing chemicals in their living areas. The findings of this study indicate that improper use of agricultural chemicals remains a significant issue among pineapple farmers. Promoting knowledge on chemical hazard prevention, as well as encouraging the use of protective equipment such as masks and gloves, and reading labels before use, is essential to reduce risks and prevent long-term health impacts.

Keywords: Pineapple / Awareness / Health Condition / Risk Behavior

1. บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ทำการเกษตรประมาณ 153.18 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 47.77 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยมีการเพาะปลูกพืชหลากหลายชนิดเพื่อจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ [1] จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ถือเป็นแหล่งปลูกสับปะรดที่สำคัญของประเทศไทย โดยมีพื้นที่ปลูกสับปะรดประมาณ 242,057 ไร่ หรือร้อยละ 53 ของพื้นที่ปลูกสับปะรดทั้งหมดในประเทศ ข้อมูลจากรายงานของสำนักงานเกษตรจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ในปี 2556 ระบุว่าจังหวัดมีพื้นที่เพาะปลูกสับปะรด 570,648 ไร่ และพื้นที่เก็บเกี่ยว 361,688 ไร่ [2] อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีในการปลูกสับปะรดเชิงพาณิชย์ เช่น ยาฆ่าแมลง ปุ๋ยเคมี และสารกำจัดวัชพืช อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรและผู้ที่สัมผัสสารเคมีเหล่านี้ ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น ได้แก่ ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดกล้ามเนื้อ ท้องร่วง หายใจติดขัด ตาพร่า และในระยะยาวอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรัง เช่น มะเร็ง โรคระบบประสาท และโรคผิวหนังต่าง ๆ [3] จากข้อมูลขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ประเทศไทยมีการใช้สารเคมีทางการเกษตรในระดับสูงเมื่อเทียบกับประเทศอื่น ๆ โดยเฉพาะการใช้ยาฆ่าหญ้าและยาฆ่าแมลง ซึ่งข้อมูลจากรายงานของ FAO ในปี 2022 ระบุว่า ประเทศไทยมีการนำเข้าสารเคมีทางการเกษตรประเภทยาฆ่าหญ้า (Herbicides) 36,300.4 ตัน ประเภทยาฆ่าเชื้อรา (Fungicides) 12,513 ตัน และประเภทยาฆ่าแมลง (Insecticides) 10,294.3 ตัน [4]

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในประเทศไทย พบว่าเกษตรกรมีความรู้และพฤติกรรมการใช้สารเคมีในระดับที่หลากหลาย และส่งผลต่อสุขภาพทั้งทางกายและจิตใจอย่างมีนัยสำคัญ อาทิ การศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรไร่อ้อยในจังหวัดหนองบัวลำภู พบว่าเกษตรกรมีอาการ เช่น ปวดกล้ามเนื้อ ปวดหลัง และเป็นตะคริว จากการทำงานหนักถึงร้อยละ 78.4 และพบผลกระทบทางจิตใจเชิงบวกจากรายได้ที่เพิ่มขึ้น ร้อยละ 96.6 ขณะเดียวกันพบผลกระทบทางจิตเชิงลบร้อยละ 97.3 จากความวิตกกังวลเรื่องพิษสารเคมีและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [5] เกษตรกรชาวนาในจังหวัดอุบลราชธานี มีการใช้สารเคมีในกลุ่ม Neonicotinoid, EBDC และ Glyphosate สูงถึงร้อยละ 93 และมีอาการผิดปกติทางสุขภาพร้อยละ 48.95 โดยเฉพาะอาการระคายเคืองตา คอ และทางเดินหายใจ อย่างไรก็ตาม เกษตรกรมีพฤติกรรมป้องกันตนเองในระดับดีถึงร้อยละ 95.1 [6] เกษตรกรในจังหวัดหนองบัวลำภูมีความรู้เกี่ยวกับสารเคมีระดับปานกลางร้อยละ 44.34 และมีพฤติกรรมการใช้สารเคมีในระดับดีร้อยละ 57.98 แต่ยังพบปัญหาสุขภาพ เช่น คลื่นไส้ อาเจียน และอาการจากระบบประสาท ร้อยละ 38.25 [7] เกษตรกรไร่อ้อยในจังหวัดชัยนาท พบว่าความรู้ ความพร้อมของอุปกรณ์ป้องกัน และสิ่งแวดล้อมทางกายภาพและเคมีมีความสัมพันธ์กับภาวะสุขภาพของเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [8] รายงานว่าแม้เกษตรกรในจังหวัดหนองบัวลำภูจะมีความรู้และพฤติกรรมการใช้สารเคมีในระดับดี แต่ร้อยละ 78.7 มีผลกระทบด้านสุขภาพ เช่น เวียนศีรษะ ผิวหนังอักเสบ และอาการจากทางเดินหายใจ [9] เกษตรกรที่ปลูกผักในจังหวัดปทุมธานี มีการใช้สารเคมีมีพฤติกรรมหลีกเลี่ยงความเสี่ยงน้อยกว่ากลุ่มที่ปลูกผักปลอดภัย และค่าเฉลี่ยการใช้สารเคมีอยู่ที่ 576.20 กรัมของสารออกฤทธิ์ต่อไร่ ซึ่งเน้นใช้ในกลุ่มสารกำจัดแมลง [10]

อย่างไรก็ตามยังไม่พบการศึกษาพฤติกรรมเสี่ยงและผลต่อสุขภาพของเกษตรกรที่ปลูกสับปะรด จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาครั้งนี้เพื่อเป็นฐานข้อมูลด้านสุขภาพของเกษตรกร

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับสุขภาพการใช้สารเคมีทางการเกษตร พฤติกรรมเสี่ยงของเกษตรกรที่ปลูกสับปะรด
2. ประเมินความเสี่ยงด้านภาวะสุขภาพในการใช้สารเคมีทางการเกษตรที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรที่ปลูกสับปะรด

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบพรรณนา (Descriptive research) โดยใช้แนวคิดด้านอาชีวอนามัย ประกอบด้วย ปัจจัยเกี่ยวกับสุขภาพ การใช้สารเคมี และการรับรู้ภาวะสุขภาพ เป็นการรับรู้ความสามารถของร่างกายและจิตใจอันเนื่องมาจากการสัมผัสสารเคมีในการในการปลูกสับปะรด ซึ่งส่งผลต่อภาวะสุขภาพของเกษตรกรได้ มีการดำเนินงานวิจัยระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2563 – เดือนพฤษภาคม 2564 (15 เดือน)

ประชากร คือ เกษตรกรมีการปลูกสับปะรดและลงทะเบียนกับเกษตรอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่ปลูกสับปะรดในตำบลทับใต้ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวนทั้งหมด 2,797 คน

กลุ่มตัวอย่าง คือ เกษตรกร อายุ 20 ปีขึ้นไป ที่ทำงานสัมผัสกับสารเคมี กำหนดขนาดตัวอย่าง โดยอ้างอิงจากจำนวนประชากร 2,797 คน ค่าสัดส่วน (P) 0.5 ระดับนัยสำคัญ 0.1 ได้ตัวอย่าง 93 คน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเกิดการระบาดของโควิด-19 จึงได้ตัวอย่างที่มีข้อมูลสมบูรณ์เพียง 54 คน

การศึกษาครั้งนี้ได้ผ่านการรับรองของคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคนชุดกลาง มหาวิทยาลัยมหิดล เลขที่ อว 78.0130/01013 ลงวันที่ 21 ตุลาคม 2563 กลุ่มตัวอย่างตัดสินใจเข้าร่วมการศึกษาด้วยตนเองโดยการลงนาม ผู้วิจัยชี้แจงวัตถุประสงค์และขั้นตอนทั้งหมดของการศึกษาอย่างชัดเจน

4. วิธีการศึกษา

4.1 การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลดำเนินการโดยใช้แบบสอบถามด้วยวิธีการสัมภาษณ์ โดยลงพื้นที่สอบถามและจดบันทึก ใช้การเลือกตัวอย่างเป็นแบบสะดวก (Convenience sampling) ตามเกณฑ์คัดเข้า (Inclusion criteria) ดังนี้ (1) เป็นเกษตรที่ลงทะเบียนกับเกษตรอำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (2) ทำงานสัมผัสสารเคมีกำจัด และ (3) มีสติสัมปชัญญะสมบูรณ์ มีความเข้าใจภาษาไทย ไม่มีปัญหาการได้ยิน พูด อ่าน และเขียน

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยในใช้แบบสอบถามข้อมูลพฤติกรรมความเสี่ยงด้านสุขภาพเป็นเครื่องมือในการวิจัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล เป็นคำถามแบบเลือกตอบและเติมคำตอบ ได้แก่ เพศ อายุ การศึกษา อาชีพ รายได้ การเพาะปลูก

<u>ส่วนที่ 2</u> แบบสอบถามเกี่ยวกับการใช้สารเคมีทางการเกษตรและการปฏิบัติตัวในเวลาทำงานที่ต้องสัมผัสกับสารเคมีทางการเกษตร เป็นคำถามแบบเลือกตอบ

<u>ส่วนที่ 3</u> แบบสอบถามเกี่ยวกับปัจจัยที่เกี่ยวกับสุขภาพการเจ็บป่วย หรืออาการผิดปกติที่เกิดขึ้น หลังการใช้หรือสัมผัสสารเคมีทางการเกษตร เป็นคำถามแบบเลือกตอบ

<u>ส่วนที่ 4</u> แบบสอบถามข้อมูลการใช้สารเคมีทางการเกษตรในการปลูกสับปะรด

ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามนำมาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในการทำงาน โดยใช้ตารางเมททริกซ์ในการหาระดับความเสี่ยงต่อสุขภาพในการทำงานเบื้องต้น จาก Risk Assessment Matrix นำรายการความเสี่ยงของแต่ละระดับความเสี่ยงที่จัดเรียงลำดับไว้ (Risk Ranking) มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเกณฑ์ความสามารถในการยอมรับความเสี่ยง [11]

ส่วนที่ 5 แบบสอบถามอาการผิดปกติภายหลังการสัมผัสสารเคมีทางการเกษตร เป็นคำถามแบบเติมคำ

ข้อมูลส่วนนี้นำไปแบ่งกลุ่มอาการผิดปกติของเกษตรกร จำแนกตามลักษณะอาการและความรุนแรงเป็น 3 กลุ่ม [12] ได้แก่

กลุ่มอาการที่ 1 ได้แก่ ปวดแสบร้อน อ่อนเพลีย ไอ แสบจมูก เหงื่อออก เวียนศีรษะ แสบตา คันตามผิวหนัง ผื่นคัน เจ็บคอ คอแห้ง เพียงอย่างเดียว

กลุ่มอาการที่ 2 ได้แก่ แสบจมูก ปวดแสบร้อน เวียนศีรษะ ผื่นคัน กล้ามเนื้ออ่อนล้า คลื่นไส้อาเจียน เจ็บคอ ไอ คอแห้ง เดินโซเซ อาการชา ตาพร่ามัว เป็นตะคริว เหงื่อออก และอ่อนเพลีย

กลุ่มอาการที่ 3 คือ ไม่มีอาการใดๆ

4.3 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติบรรยาย

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเพศชาย (ร้อยละ 54.4) อายุระหว่าง 35-80 ปี อายุเฉลี่ย 50.7 ปี (SD 9.3) ศึกษาในระดับมัธยมปลาย (ร้อยละ 26.3) เกษตรกรส่วนใหญ่เป็นเจ้าของพื้นที่เกษตรกรรมและปลูกสับปะรดเอง (ร้อยละ 94.4) มีรายได้อยู่ระหว่าง 500 – 15,000 บาทต่อเดือน (ร้อยละ 51.9)

สารเคมีที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นกลุ่มฟีนิลยูเรีย (Phenylurea) (ร้อยละ 31.6) รองลงมา คือ กลุ่มยูราซิล (Uracil) (ร้อยละ 28.4) และกลุ่มไบไพริดิเลียม (Bipyridilium) (ร้อยละ 19.4) มีวัตถุประสงค์ในการใช้สารเคมีเพื่อกำจัดวัชพืช (ร้อยละ 90.7) ระยะเวลาในการใช้สารเคมีมากกว่า 10 ปี (ร้อยละ 85.2) ใช้สารเคมีมากที่สุดในช่วงที่สับปะรดออกผล (ร้อยละ 51.9) รองลงมา คือ ช่วงปลูกสับปะรด (ร้อยละ 27.8) มีความถี่ในการสัมผัสสารเคมี 2-4 ครั้งต่อสัปดาห์ (ร้อยละ 68.5) และส่วนใหญ่ไม่เคยได้รับการอบรมเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้สารเคมี (ร้อยละ 55.6)

พฤติกรรมเสี่ยงในการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรโดยทั่วไป คือ สวมเสื้อผ้าที่เปียกชุ่มสารเคมี (ร้อยละ 87.4) รองลงมา คือ รับประทานอาหารหรือดื่มน้ำในบริเวณที่ทำงานกับสารเคมี (ร้อยละ 9.3) แต่พฤติกรรมในขณะที่เกษตรกรใช้สารเคมีส่วนใหญ่มีการสวมรองเท้าที่ปิดมิดชิดกันสารเคมีทุกครั้ง (ร้อยละ 92.6) และหลังใช้สารเคมีเกษตรกรจะเก็บสารเคมีไว้ในบริเวณที่อยู่อาศัยหรือที่พัก (ร้อยละ 54.7) และล้างมือทุกครั้งก่อนพักรับประทานอาหาร/เครื่องดื่ม

ผลการประเมินความเสี่ยงด้านภาวะสุขภาพในการใช้สารเคมีทางการเกษตรที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรที่ปลูกสับปะรด จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมที่มีเกษตรกรกระทำบ่อย ในกลุ่มอาการที่ 1 ได้แก่ ไม่เปลี่ยนเสื้อผ้าทันทีหลังฉีดพ่น ไม่ล้างมือก่อนพัก ไม่สวมถุงมือยาง ไม่ใช้หน้ากากขณะฉีดพ่น อ่านฉลากไม่ครบถ้วน ใช้สารเคมีไม่ตรงตามฉลาก ส่วนกลุ่มอาการที่ 2 พบพฤติกรรมการใส่เสื้อผ้าเปียกชุ่มสารเคมี การไม่อาบน้ำหลังเลิกงาน การไม่แยกซักผ้า การไม่ดูทิศทางลม การเก็บสารเคมีไว้ในที่พัก พฤติกรรมหลายอย่างของเกษตรกรยังคงเป็น พฤติกรรมเสี่ยง ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการผิดปกติ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 พฤติกรรมเกี่ยวกับการใช้สารเคมีของเกษตรกร จำแนกตามกลุ่มอาการหลังการใช้หรือสัมผัสสารเคมี

พฤติกรรม	ระดับการปฏิบัติ	กลุ่มอาการ (คน)				กลุ่มอาการ (ร้อยละ)			
		กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	รวม	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	รวม
1. ใช้ถังบรรจุสารเคมีที่รั่วซึมในการฉีดพ่น	ไม่ใช่	35	7	3	45	64.8	13.0	5.6	83.3
	บางครั้ง	8	1	0	9	14.8	1.9	0.0	16.7
	รวม	**43**	**8**	**3**	**54**	**79.6**	**14.8**	**5.6**	**100.0**
2. ขณะทำงานพบว่าเสื้อผ้าเปียกชุ่มสารเคมีทางการเกษตร	ไม่ใช่	0	0	1	1	0.0	0.0	1.9	1.9
	บางครั้ง	4	2	0	6	7.4	3.7	0.0	11.1
	ทุกครั้ง	40	6	1	47	74.1	11.1	1.9	87.0
	รวม	**44**	**8**	**2**	**54**	**81.5**	**14.8**	**3.7**	**100.0**
3. มีอาการผิดปกติหลังจากการใช้สารเคมีทางการเกษตร	ไม่ใช่	3	2	1	6	5.6	3.7	1.9	11.1
	บางครั้ง	41	6	1	48	75.9	11.1	1.9	88.9
	รวม	**44**	**8**	**2**	**54**	**81.5**	**14.8**	**3.7**	**100.0**
4. สูบบุหรี่/ยาเส้น/ ขณะทำงาน	ไม่ใช่	34	4	2	40	63.0	7.4	3.7	74.1
	บางครั้ง	9	2	0	11	16.7	3.7	0.0	20.4
	ทุกครั้ง	1	2	0	3	1.9	3.7	0.0	5.6
	รวม	**44**	**8**	**2**	**54**	**81.5**	**14.8**	**3.7**	**100.0**
5. รับประทานอาหาร/ดื่มน้ำในบริเวณที่ทำงานกับสารเคมี	ไม่ใช่	21	1	1	23	38.9	1.9	1.9	42.6
	บางครั้ง	21	4	1	26	38.9	7.4	1.9	48.1
	ทุกครั้ง	2	3	0	5	3.7	5.6	0.0	9.3
	รวม	**44**	**8**	**2**	**54**	**81.5**	**14.8**	**3.7**	**100.0**
6. ดื่มเหล้า/เบียร์/เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ในบริเวณที่ทำงาน	ไม่ใช่	44	7	2	53	81.5	13.0	3.7	98.1
	ทุกครั้ง	0	1	0	1	0.0	1.9	0.0	1.9
	รวม	**44**	**8**	**2**	**54**	**81.5**	**14.8**	**3.7**	**100.0**
7. ใช้ปริมาณสารเคมีตรงตามที่ฉลากกำหนดไว้	ไม่ใช่	13	1	0	14	24.1	1.9	0.0	25.9
	บางครั้ง	28	7	1	36	51.9	13.0	1.9	66.7
	ทุกครั้ง	3	0	1	4	5.6	0.0	1.9	7.4
	รวม	**44**	**8**	**2**	**54**	**81.5**	**14.8**	**3.7**	**100.0**
8. อ่านฉลากบนภาชนะบรรจุก่อนใช้สารเคมี	ไม่ใช่	13	1	0	14	24.1	1.9	0.0	25.9
	บางครั้ง	28	5	1	34	51.9	9.3	1.9	63.0
	ทุกครั้ง	3	2	1	6	5.6	3.7	1.9	11.1
	รวม	**44**	**8**	**2**	**54**	**81.5**	**14.8**	**3.7**	**100.0**
9. สวมถุงมือยางในขณะทำงานเกี่ยวกับสารเคมี	ไม่ใช่	39	1	1	41	72.2	1.9	1.9	75.9
	บางครั้ง	5	5	0	10	9.3	9.3	0.0	18.5
	ทุกครั้ง	0	2	1	3	0.0	3.7	1.9	5.6
	รวม	**44**	**8**	**2**	**54**	**81.5**	**14.8**	**3.7**	**100.0**

ตารางที่ 1 พฤติกรรมเกี่ยวกับการใช้สารเคมีของเกษตรกร จำแนกตามกลุ่มอาการหลังการใช้หรือสัมผัสสารเคมี (ต่อ)

พฤติกรรม	ระดับการปฏิบัติ	กลุ่มอาการ (คน)				กลุ่มอาการ (ร้อยละ)			
		กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	รวม	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	รวม
10. สวมรองเท้าที่ปิดมิดชิดกันสารเคมี	ไม่ใช่	44	5	1	50	81.5	9.3	1.9	92.6
	บางครั้ง	0	2	1	3	0.0	3.7	1.9	5.6
	ทุกครั้ง	0	1	0	1	0.0	1.9	0.0	1.9
	รวม	**44**	**8**	**2**	**54**	**81.5**	**14.8**	**3.7**	**100.0**
11. ล้างมือก่อนพักทานอาหารหรือดื่มเครื่องดื่ม	ไม่ใช่	18	3	2	23	33.3	5.6	3.7	42.6
	บางครั้ง	22	4	1	27	40.7	7.4	1.9	50.0
	ทุกครั้ง	3	1	0	4	5.6	1.9	0.0	7.4
	รวม	**43**	**8**	**3**	**54**	**79.6**	**14.8**	**5.6**	**100.0**
12. เปลี่ยนเสื้อผ้าที่เปื้อนสารเคมีทันที ณ จุดทำงานหลังจากเลิกการฉีดพ่น	บางครั้ง	0	2	0	2	0.0	3.7	0.0	3.7
	ทุกครั้ง	44	6	2	52	81.5	11.1	3.7	96.3
	รวม	**44**	**8**	**2**	**54**	**81.5**	**14.8**	**3.7**	**100.0**
13. มีการแยกซักจากเสื้อผ้าที่ปนเปื้อนสารเคมีเสื้อผ้าทั่วไป	ไม่ใช่	16	3	1	20	29.6	5.6	1.9	37.0
	บางครั้ง	19	3	0	22	35.2	5.6	0.0	40.7
	ทุกครั้ง	9	2	1	12	16.7	3.7	1.9	22.2
	รวม	**44**	**8**	**2**	**54**	**81.5**	**14.8**	**3.7**	**100.0**
14. ดูทิศทางลมก่อนฉีดพ่นสารเคมี	ไม่ใช่	1	2	0	3	1.9	3.7	0.0	5.6
	บางครั้ง	3	1	0	4	5.6	1.9	0.0	7.4
	ทุกครั้ง	40	5	2	47	74.1	9.3	3.7	87.0
	รวม	**44**	**8**	**2**	**54**	**81.5**	**14.8**	**3.7**	**100.0**
15. ใช้หน้ากากป้องกันระบบทางเดินหายใจขณะฉีดพ่นสารเคมี	ไม่ใช่	24	1	1	26	44.4	1.9	1.9	48.1
	บางครั้ง	12	4	0	16	22.2	7.4	0.0	29.6
	ทุกครั้ง	7	3	1	11	13.0	5.6	1.9	20.4
	รวม	**44**	**8**	**2**	**54**	**81.5**	**14.8**	**3.7**	**100.0**
16. เก็บสารเคมีเก็บไว้บริเวณที่อยู่อาศัย หรือที่พัก	ไม่ใช่	24	3	3	30	44.4	5.6	5.6	55.6
	บางครั้ง	17	3	0	20	31.5	5.6	0.0	37.0
	ทุกครั้ง	2	2	0	4	3.7	3.7	0.0	7.4
	รวม	**43**	**8**	**3**	**54**	**79.6**	**14.8**	**5.6**	**100.0**

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับการรับรู้ภาวะสุขภาพ พฤติกรรมความเสี่ยงด้านสุขภาพในการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรกลุ่มตัวอย่าง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับสุขภาพ การรับรู้ภาวะสุขภาพที่ใช้สารเคมีทางการเกษตรในการปลูกสับปะรด เพื่อประเมินความเสี่ยงด้านภาวะสุขภาพในการใช้สารเคมีทางการเกษตรที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรที่ปลูกสับปะรดในพื้นที่ศึกษา ผลที่ได้จากการสุ่มเก็บข้อมูลตัวอย่างของเกษตรกรที่ปลูกสับปะรด พบว่ามีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในระดับสูง

โดยเฉพาะสารเคมีกลุ่มฟีนิลยูเรีย ยูราซิล และไบไพริดิเลียม ซึ่งเป็นใช้สารเคมีเพื่อกำจัดวัชพืช มีการใช้สารเคมีมายาวนานกว่า 10 ปี และความถี่ในการสัมผัสสารเคมีสัปดาห์ละ 2–4 ครั้ง อย่างไรก็ตาม เกษตรกรจำนวนมากไม่เคยได้รับการอบรมเรื่องความปลอดภัยในการใช้สารเคมี ส่งผลให้พฤติกรรมการใช้สารเคมีหลายประการยังคงเสี่ยง เช่น สวมเสื้อผ้าเปียกชุ่มสารเคมี รับประทานอาหารในพื้นที่ทำงาน ไม่สวมถุงมือยาง ไม่ล้างมือก่อนพัก และไม่อาบน้ำหรือเปลี่ยนเสื้อผ้าหลังใช้งานสารเคมี รวมถึงมีการเก็บสารเคมีไว้ในที่พักอาศัย

ผลกระทบต่อสุขภาพที่พบมากที่สุด คือ กลุ่มอาการที่ 1 ได้แก่ ปวดแสบร้อน แสบตา แสบจมูก เหงื่อออก เวียนศีรษะ และอ่อนเพลีย ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 79.63 ส่วนกลุ่มอาการที่ 2 ที่มีความรุนแรงมากขึ้น พบในเกษตรกรที่มีพฤติกรรมเสี่ยงสะสม เช่น ไม่อาบน้ำ ไม่แยกซักเสื้อผ้า และไม่ดูทิศทางลมก่อนฉีดพ่น อาการในกลุ่มนี้ ได้แก่ คลื่นไส้ อาเจียน เดินโซเซ ตาพร่ามัว และอาการชา ขณะที่กลุ่มที่ไม่มีอาการมีเพียงร้อยละ 3.7 เท่านั้น

ผลการประเมินนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้สารเคมีที่ไม่เหมาะสมยังคงเป็นปัญหาในกลุ่มเกษตรกรที่ปลูกสับปะรด การส่งเสริมความรู้เรื่องการป้องกันอันตรายจากสารเคมี รวมถึงการใช้เครื่องมือป้องกัน เช่น หน้ากาก ถุงมือ และการอ่านฉลากก่อนใช้งาน มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อช่วยลดความเสี่ยงและป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาที่ดิน. (2562). แผนการใช้ที่ดินของประเทศไทย Land Use Plan of Thailand กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

[2] สำนักงานเกษตรจังหวัดประจวบคีรีขันธ์. (2556). *สับปะรด: พืชเศรษฐกิจสำคัญของจังหวัดประจวบคีรีขันธ์*. สืบค้นจาก https://www.opsmoac.go.th/phrachuapkhirikhan-download-430791791943

[3] สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.). (ม.ป.ป.). *โรคพิษจากสารกำจัดศัตรูพืช*. สืบค้นจาก https://www.thaihealth.or.th/โรคพิษจากสารกำจัดศัตรู-2/

[4] Frontiers in Public Health. (2023). *Thailand's pesticide imports and the need for regulatory reform*. สืบค้นจาก https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2023.1141142/full

[5] นิภาพร *ศรีวงษ์* และอุไรวรรณ *อินทร์ม่วง* (2556). ผลกระทบต่อสุขภาพจากการทำไร่อ้อยของเกษตรกรชาวไร่อ้อย ตำบลหนองกุงแก้ว อำเภอศรีบุญเรือง จังหวัดหนองบัวลำภู. วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

[6] สิทธิชัย ใจขาน. (2562). ผลกระทบสุขภาพจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรชาวนา บ้านเตย ตำบลนากระแซง อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

[7] นัสพงษ์ กลิ่นจำปา. (2562). พฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร ตำบลป่าไม้งาม อำเภอเมือง จังหวัดหนองบัวลำภู. วารสารสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 นครราชสีมา.

[8] รัตนาภรณ์ อาษา, กฤติเดช มิ่งไม้, จิตสุภา พาแกด, อภิสรา มุสิกาวัล, และนิตยาวรรณ เจริญขำ . (2560). ภาวะสุขภาพของเกษตรกรไร่อ้อยในตำบลเนินขาม อำเภอเนินขาม จังหวัดชัยนาท. ผลงานวิจัยที่นำเสนอในที่ประชุมวิชาการ การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏ มหาสารคาม ปี 2560, 1823-1829.

[9] Kudting, W., & Kanato, M. (2015). Farmers' knowledge, behavior and health effects from chemical pesticide use in Suksamran Tambon Health Promotion Hospital, Na Dan Subdistrict, Suwannakhuha District, Nong Bua Lam Phu Province. In 34th National Graduate Research Conference (pp. 1281-1292). Khon Kaen: Khon Kaen University.

[10] Miangmuk, P., Praneetvatakul, S., & Potchanasin, C. (2016). Pesticide Use Behavior and Risk Attitude of Vegetable Farmers in Pathum Thani. Khon Kaen Agriculture Journal 44(3) (pp. 417-426).

[11] International Organization for Standardization. (2018). Risk management -- Guidelines [ISO 31000:2018].

[12] สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ. (2560). ผลกระทบของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชต่อสุขภาพของเกษตรกรในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ

นิเวศวิทยาเมืองและอุตสาหกรรม

Oral Presentation

การขยายบทบาทฉลากเขียวสู่ความยั่งยืนระดับโลก: การพัฒนา MRA และการสนับสนุน SDGs

ถนอมลาภ รัชวัตร์[1*], ฉัตรตรี ภูรัต[1*]และ วิจารย์ สิมาฉายา[2]

[1]ฝ่ายฉลากเขียวและฉลากสิ่งแวดล้อม สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย นนทบุรี
[2]ฝ่ายอำนวยการสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย นททบุรี
* Corresponding author: tanomlap@tei.or.th

บทคัดย่อ

ฉลากเขียวเป็นเครื่องมือสำคัญในการส่งเสริมการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืนในประเทศไทย ซึ่งมีบทบาททั้งในระดับประเทศและนานาชาติ ปัจจุบัน มีความพยายามพัฒนาแนวทางใหม่ๆ เพื่อเสริมสร้างความเชื่อมั่นและขยายการยอมรับของฉลากเขียวในระดับสากล หนึ่งในเป้าหมายสำคัญคือการพัฒนา Mutual Recognition Arrangements (MRA) ร่วมกับประเทศพันธมิตร เช่น มาเลเซียและศรีลังกา รวมถึงการเรียนรู้จากกรณีศึกษาที่ประสบความสำเร็จ เช่น ฉลาก Blue Angel ของเยอรมนี เพื่อสร้างความร่วมมือในเกณฑ์การรับรองและเพิ่มโอกาสทางการค้าในผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ฉลากเขียวกำหนดเกณฑ์โดยอิงแนวคิดการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA) เพื่อให้ครอบคลุมทุกขั้นตอน ตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การใช้งาน ไปจนถึงการกำจัดสิ่งของเหลือใช้ แนวทางนี้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 12: การบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน และเป้าหมายที่ 13: การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ นอกจากนี้ ฉลากเขียวยังแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการช่วยลดมลพิษทางอากาศ เช่น PM2.5 โดยการสนับสนุนผู้ประกอบการให้ใช้เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด และเลือกใช้วัตถุดิบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ฉลากเขียวมุ่งเน้นการขยายกลุ่มผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ได้รับการรับรอง และการสนับสนุนธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) เพื่อเพิ่มการเข้าถึงและสร้างความตระหนักในกลุ่มผู้ประกอบการ โดยใช้แนวทางการลดต้นทุนและพัฒนากลยุทธ์การสื่อสารที่ตอบโจทย์ผู้บริโภคยุคใหม่ การพัฒนานโยบายที่เชื่อมโยงกับเป้าหมาย SDGs และการสร้างเครือข่ายความร่วมมือในระดับนานาชาติ จะช่วยเพิ่มบทบาทของฉลากเขียวในฐานะกลไกสำคัญในการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืน และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับโลก

คำสำคัญ: ฉลากเขียว / เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) / Life Cycle Assessment (LCA) / การจัดซื้อจัดจ้างที่ยั่งยืน / การผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน

Expanding the Role of Green Label Towards Global Sustainability: Developing MRAs and Advancing the SDGs

Tanomlap Rachawat[1]*, Chuttree Phurat[1] and Wijarn Simachaya[2]

[1]Green Label and Environmental Label Department, Thailand Environment Institute, Nonthaburi, Thailand
[2]Executive Office, Thailand Environment Institute, Nonthaburi, Thailand
*Corresponding author: tanomlap@tei.or.th

Abstract

The Green Label serves as a crucial instrument in promoting sustainable production and consumption in Thailand, playing a significant role at both national and international levels. Ongoing efforts are being made to develop innovative approaches to enhance credibility and expand the global recognition of the Green Label. A primary objective is the establishment of Mutual Recognition Arrangements (MRA) with partner countries such as Malaysia and Sri Lanka, alongside the examination of successful case studies such as Germany's Blue Angel Label to foster collaboration on certification criteria and facilitate trade in environmentally friendly products.

The Green Label framework is grounded in the principles of Life Cycle Assessment (LCA), ensuring a comprehensive evaluation of environmental impact across all stages of a product's life cycle, from raw material acquisition and manufacturing to utilization and disposal. This approach aligns with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), particularly Goal 12: Responsible Consumption and Production and Goal 13: Climate Action. Moreover, the Green Label demonstrates substantial potential in mitigating air pollution, such as PM2.5, by incentivizing manufacturers to adopt cleaner production technologies and select environmentally sustainable raw materials, thereby contributing to a significant reduction in greenhouse gas emissions.

The current strategic direction of the Green Label emphasizes the expansion of certified product categories and the facilitation of accessibility for Small and Medium Enterprises (SMEs) through cost-reduction measures and consumer-centric communication strategies. The integration of policies aligned with the SDGs, coupled with the establishment of international cooperative networks, will further reinforce the Green Label's role as a pivotal mechanism for sustainable national development and global environmental impact mitigation.

Keywords: Green Label / Sustainable Development Goals (SDGs) / Life Cycle Assessment (LCA) / Sustainable Public Procurement / Sustainable Production and Consumption

1. บทนำ

ในยุคปัจจุบัน การพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ การใช้ทรัพยากรอย่างฟุ่มเฟือยและการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ องค์การสหประชาชาติจึงได้กำหนด เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) เพื่อเป็นแนวทางให้ประเทศต่าง ๆ ปรับปรุงแนวทางการพัฒนาโดยคำนึงถึงความสมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

หนึ่งในกลไกสำคัญที่ช่วยส่งเสริมการพัฒนาที่ยั่งยืนคือ ฉลากเขียว (Green Label) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้รับรองผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นให้ภาคอุตสาหกรรมปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต และส่งเสริมให้ผู้บริโภคเลือกใช้สินค้าที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แนวทางของฉลากเขียวในประเทศไทยได้รับการพัฒนาตามหลัก Life Cycle Assessment (LCA) ซึ่งเป็นกระบวนการประเมินผลกระทบของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต ตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน และการกำจัดซากผลิตภัณฑ์

อย่างไรก็ตาม การยกระดับมาตรฐานของฉลากเขียวให้ได้รับการยอมรับในระดับสากลยังคงเป็นความท้าทายที่สำคัญ ประเทศไทยจึงมุ่งเน้นการพัฒนา Mutual Recognition Arrangements (MRA) เพื่อสร้างความร่วมมือกับประเทศพันธมิตร เช่น มาเลเซียและศรีลังกา รวมถึงการศึกษาตัวอย่างความสำเร็จจากฉลากสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่น Blue Angel ของเยอรมนี เพื่อนำมาปรับใช้ให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศ นอกจากนี้ ยังมีการสนับสนุนให้ ธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) สามารถเข้าถึงกระบวนการรับรองฉลากเขียวได้ง่ายขึ้น ลดต้นทุน และเพิ่มโอกาสทางการค้าในตลาดโลก

จากความสำคัญของฉลากเขียวในการช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เช่น การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และมลพิษทางอากาศ (PM2.5) งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์แนวทางพัฒนาและขยายบทบาทของฉลากเขียวในประเทศไทย เพื่อเชื่อมโยงกับนโยบายการพัฒนาที่ยั่งยืน และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ การจัดซื้อจัดจ้างที่ยั่งยืน (Sustainable Public Procurement: SPP) ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการกระตุ้นให้ภาครัฐและภาคเอกชนหันมาใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์

1.พัฒนาแนวทางการขยายบทบาทของฉลากเขียวในประเทศไทย โดยการปรับปรุงเกณฑ์การรับรองให้สอดคล้องกับหลัก Life Cycle Assessment (LCA) และแนวทาง การพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

2.ศึกษากรณีตัวอย่างของประเทศที่ประสบความสำเร็จ เช่น Blue Angel ของเยอรมนี และ Mutual Recognition Arrangements (MRA) กับประเทศพันธมิตร เพื่อหาแนวทางปรับใช้ในประเทศไทย

3.วิเคราะห์แนวทางการสนับสนุนการขยายกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรองฉลากเขียว และการเข้าถึงของธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) โดยพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อการรับรองและการนำไปใช้จริง

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการ วิเคราะห์ผลงานวิชาการ ที่เกี่ยวข้องกับฉลากเขียวและฉลากสิ่งแวดล้อมของ สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (TEI) โดยเน้นศึกษา แนวทางการพัฒนา การขยายบทบาท และการยอมรับฉลากเขียวในระดับประเทศและสากล เพื่อสนับสนุนการพัฒนาที่ยั่งยืน งานวิจัยนี้มีขอบเขตของการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1 ขอบเขตเนื้อหา

งานวิจัยนี้ครอบคลุมประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้องกับฉลากเขียวในบริบทของไทยและสากล โดยศึกษาใน 4 ด้านหลัก ดังนี้

1. ศึกษาหลักการและแนวทางของฉลากเขียวในประเทศไทย

วิเคราะห์ กรอบการดำเนินงานของฉลากเขียวในประเทศไทย ซึ่งดำเนินการโดย สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (TEI) ศึกษา หลักเกณฑ์และมาตรฐานของฉลากเขียว ที่ใช้ในการรับรองผลิตภัณฑ์ว่ามีความสอดคล้องกับมาตรฐานสากลอย่างไร และวิเคราะห์แนวคิด Life Cycle Assessment (LCA) ที่ใช้ในการประเมินผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์

2. การพัฒนาและขยายบทบาทของฉลากเขียวให้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

ศึกษาความเชื่อมโยงระหว่าง ฉลากเขียวกับ SDGs โดยเฉพาะ SDG 12: การผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน และ SDG 13: การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ วิเคราะห์ว่าฉลากเขียวช่วย ลดมลพิษทางอากาศ (เช่น PM2.5) และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG Emissions) ได้อย่างไร และศึกษาแนวทางที่ฉลากเขียวสามารถช่วยผลักดัน การจัดซื้อจัดจ้างที่ยั่งยืน (Sustainable Public Procurement: SPP) ในภาครัฐ

3. ศึกษาความร่วมมือระดับสากลและกรณีศึกษาจากต่างประเทศ

วิเคราะห์แนวทาง Mutual Recognition Arrangements (MRA) ซึ่งเป็นการสร้างความร่วมมือด้านฉลากสิ่งแวดล้อมระหว่างประเทศ ศึกษากรณีของ Blue Angel ของเยอรมนี และฉลากสิ่งแวดล้อมของประเทศต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบจุดแข็งและแนวทางที่สามารถนำมาปรับใช้ในไทย วิเคราะห์บทบาทของ ฉลากเขียวไทยในการแข่งขันในตลาดโลก และโอกาสในการพัฒนา ความร่วมมือกับประเทศอาเซียน

4. วิเคราะห์แนวทางการสนับสนุนธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs)

ศึกษาปัจจัยที่เป็นอุปสรรคต่อการรับรองฉลากเขียวสำหรับ SMEs เช่น ต้นทุน กระบวนการรับรอง และข้อจำกัดด้านเทคนิค วิเคราะห์แนวทางที่ ฉลากเขียวสามารถช่วยเพิ่มโอกาสทางการตลาดให้กับ SMEs

3.2 ขอบเขตเชิงพื้นที่

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับฉลากเขียวภายในประเทศไทย วิเคราะห์ นโยบายและมาตรฐานฉลากเขียวของไทย
2. เปรียบเทียบกับมาตรฐานฉลากสิ่งแวดล้อมระดับนานาชาติ ศึกษา มาตรฐานของฉลากสิ่งแวดล้อมในภูมิภาคอาเซียน

3.3 ขอบเขตด้านระยะเวลา

ช่วงเวลาของข้อมูลที่ใช้ศึกษา ใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ ฉลากเขียวและฉลากสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่ปี 2024-2025 พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ นโยบายฉลากเขียวในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา และแนวโน้มอนาคต ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของมาตรฐานและการรับรองในช่วงเวลาดังกล่าว วิเคราะห์แนวโน้มการพัฒนาฉลากเขียวในอดีต ศึกษานโยบายที่ถูกนำมาใช้และแนวทางการปรับปรุงของ TEI เพื่อให้ฉลากเขียวมีความทันสมัยและสอดคล้องกับมาตรฐานสากล

3.4 ขอบเขตของแหล่งข้อมูล

1. แหล่งข้อมูลภายในประเทศ

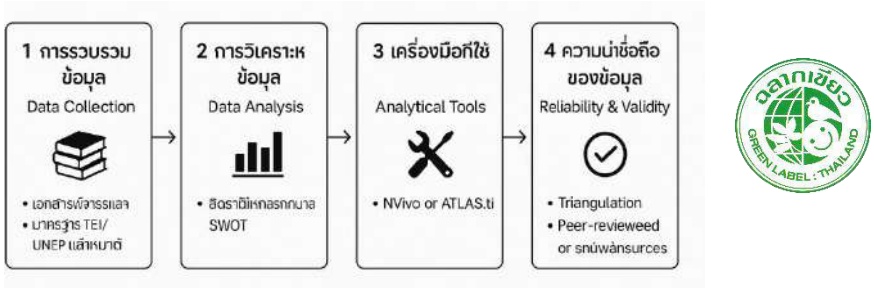
รายงานและเอกสารทางวิชาการจาก สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (TEI), กรมควบคุมมลพิษ (PCD), กระทรวงอุตสาหกรรม และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ฐานข้อมูลเกี่ยวกับฉลากเขียวไทยและผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรอง

2. แหล่งข้อมูลระดับนานาชาติ

งานวิจัยเกี่ยวกับ Mutual Recognition Arrangements (MRA) และการพัฒนา Green Labels ในประเทศอื่น ๆ รายงานจากองค์กรนานาชาติ

4. วิธีการศึกษา (Methodology)

งานวิจัยนี้ใช้ การวิจัยเชิงสำรวจ (Exploratory Research) และการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content Analysis) เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาและยกระดับฉลากเขียวของประเทศไทย โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์เอกสารทางวิชาการ บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับฉลากสิ่งแวดล้อมในระดับสากล การศึกษาแบ่งออกเป็น สองส่วนหลัก ได้แก่ (1) การรวบรวมข้อมูลเอกสาร และ (2) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ทั้งนี้ สามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัยตามแผนภาพใน รูปที่ 1 เพื่อความชัดเจนในกระบวนการศึกษา



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนและกระบวนการวิจัยที่ใช้ในงาน ได้แก่ การรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การเลือกใช้เครื่องมือ และการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล

แผนภาพนี้สรุปลำดับขั้นของกระบวนการวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ตั้งแต่การรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การใช้เครื่องมือวิจัย จนถึงการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล เพื่อให้เห็นภาพรวมของแนวทางการศึกษาอย่างเป็นระบบและชัดเจน ในลำดับต่อไป

4.1 การรวบรวมข้อมูล (Data Collection) ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้มาจากแหล่งข้อมูลหลัก 3 ประเภท ได้แก่

1. เอกสารวิชาการและบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ บทความวิจัยเกี่ยวกับ ฉลากเขียวและฉลากสิ่งแวดล้อม วิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจาก ฐานข้อมูลทางวิชาการ (Scopus, Web of Science, และ Google Scholar)

2. มาตรฐานและนโยบายด้านฉลากเขียวและสิ่งแวดล้อม ที่พัฒนาโดย สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (TEI) มาตรฐานฉลากสิ่งแวดล้อมระดับนานาชาติ เช่น EU Ecolabel (สหภาพยุโรป) Blue Angel (เยอรมนี) Singapore Green Label (สิงคโปร์) นโยบายเกี่ยวกับ Mutual Recognition Arrangements (MRA) และ Life Cycle Assessment (LCA) จากแหล่งข้อมูลของ UNEP, UNIDO และ Global Ecolabelling Network (GEN)

3. รายงานและข้อมูลจากรายงานของกรมควบคุมมลพิษ (PCD), กระทรวงอุตสาหกรรม และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) รายงานที่เกี่ยวข้องกับ Sustainable Public Procurement (SPP) และ เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

4. เกณฑ์การคัดเลือกข้อมูล เอกสารที่ถูกเลือกจะต้อง เป็นข้อมูลที่เผยแพร่ระหว่างปี 2015 - 2025 เพื่อให้ครอบคลุมข้อมูลที่ทันสมัย ต้องเป็น แหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ เช่น วารสารวิชาการ รายงานของหน่วยงานภาครัฐ และเอกสารขององค์กรระหว่างประเทศ

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) การวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการใน สองแนวทางหลัก ได้แก่ (1) การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) และ (2) การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Analysis)

4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ (Analytical Tools) เพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความแม่นยำ งานวิจัยนี้ใช้ซอฟต์แวร์และเครื่องมือทางสถิติ เช่น NVivo หรือ ATLAS.ti สำหรับการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา

4.4 ความน่าเชื่อถือของข้อมูล (Reliability & Validity) ใช้วิธี Triangulation เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ให้เกิดความน่าเชื่อถือ คัดเลือกเอกสารจาก แหล่งที่มีการรับรองคุณภาพ เช่น วารสารที่ผ่านการตรวจสอบโดยผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer-reviewed Journals) มีการ ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยเปรียบเทียบกับรายงานจากหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมที่เป็นที่ยอมรับ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล (Results and Discussion)

จากการศึกษาข้อมูลผลงานวิชาการที่เผยแพร่ในวารสารจากฐานข้อมูล พบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับ ฉลากเขียวและมาตรฐานสิ่งแวดล้อม ในหลากหลายแง่มุม ผลการศึกษาสามารถแบ่งออกเป็น (1) ประเภทและแนวโน้มของผลงานวิจัย และ (2) การวิเคราะห์เชิงลึกเกี่ยวกับประเด็นสำคัญของฉลากเขียว ซึ่งจะช่วยให้เห็นภาพรวมของความก้าวหน้าทางวิชาการ และข้อค้นพบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงนโยบายและอุตสาหกรรม

ประเภทและแนวโน้มของผลงานวิจัย (Types and Trends of Academic Research) จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าผลงานที่เกี่ยวข้องกับ ฉลากเขียว สามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ (1) บทความวิจัยเชิงนโยบาย, (2) บทความที่ใช้แนวคิด Life Cycle Assessment (LCA), และ (3) บทความที่ศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคและตลาดของฉลากเขียว ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงทิศทางของการศึกษาเกี่ยวกับฉลากเขียวที่มีความหลากหลายและเชื่อมโยงกับนโยบายสิ่งแวดล้อม

เชิงนโยบาย (Policy-Oriented Research Articles) มุ่งเน้นการศึกษานโยบาย การกำหนดมาตรฐานฉลากเขียวในประเทศไทย และแนวทางการพัฒนาระบบการรับรองที่สอดคล้องกับมาตรฐานสากล ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า มาตรฐานฉลากเขียวของไทยมีความคล้ายคลึงกับมาตรฐานสากล เช่น EU Ecolabel และ Blue Angel แต่ยังขาดมาตรการกำกับดูแลที่เป็นข้อบังคับในภาครัฐ

การศึกษาในกลุ่มนี้ยังพบว่า Mutual Recognition Arrangements (MRA) มีความสำคัญต่อการทำให้ฉลากเขียวไทยเป็นที่ยอมรับในระดับสากล อย่างไรก็ตาม ความท้าทายหลักคือการปรับมาตรฐานให้สามารถสอดคล้องกับข้อกำหนดของประเทศคู่ค้า

ทางเศรษฐกิจ เช่น สิงคโปร์และสหภาพยุโรป ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับ การบูรณาการมาตรฐานฉลากสิ่งแวดล้อมระหว่างประเทศ

แนวคิด Life Cycle Assessment (LCA) ในการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม การศึกษาที่ใช้แนวคิด Life Cycle Assessment (LCA) พบว่า ฉลากเขียวสามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานและทรัพยากรสูง เช่น อุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างและผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์

ผลการศึกษายังพบว่า การนำแนวคิด LCA มาใช้ในกระบวนการออกฉลากเขียวสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับมาตรฐานได้ เนื่องจากสามารถประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ในทุกขั้นตอน ตั้งแต่ การจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน จนถึงการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยบางส่วนระบุว่า ประเทศไทยยังขาดฐานข้อมูลด้าน LCA ที่เป็นมาตรฐานกลาง ซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำในการประเมินผล

พฤติกรรมผู้บริโภคและตลาดของฉลากเขียว

งานวิจัยนี้เน้นศึกษาความเข้าใจของ ผู้บริโภคเกี่ยวกับฉลากเขียว และปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้รับฉลากสิ่งแวดล้อม พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ มีแนวโน้มที่จะเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้รับฉลากเขียวหากมีความเข้าใจเกี่ยวกับมาตรฐานและข้อดีของผลิตภัณฑ์

อย่างไรก็ตาม อุปสรรคสำคัญที่พบคือการขาดการประชาสัมพันธ์ที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ผู้บริโภคบางส่วนยังไม่ทราบถึงความหมายและความสำคัญของฉลากเขียว นอกจากนี้ งานวิจัยบางฉบับยังพบว่า ธุรกิจ SMEs ประสบปัญหาในการขอรับรองฉลากเขียว เนื่องจากต้นทุนที่สูงและข้อกำหนดที่ซับซ้อน

อภิปรายผล (Discussion)

จากการศึกษาผลงานวิชาการเกี่ยวกับ ฉลากเขียว พบว่ามี 4 ประเด็นสำคัญ ที่สามารถนำไปใช้พัฒนาและปรับปรุงมาตรฐานฉลากเขียวของประเทศไทย ได้แก่ (1) การขาดมาตรการบังคับใช้ในภาครัฐ, (2) ความสำคัญของ Life Cycle Assessment (LCA), (3) การสร้างความตระหนักรู้ของผู้บริโภค, และ (4) อุปสรรคของ SMEs ในการขอรับรองฉลากเขียว ซึ่งแต่ละประเด็นมีรายละเอียดดังนี้

1. ฉลากเขียวไทยยังขาดมาตรการบังคับใช้ในภาครัฐ แม้ว่าฉลากเขียวจะเป็นหนึ่งในมาตรฐานสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของประเทศไทย แต่ยังขาดมาตรการบังคับใช้ที่เป็นรูปธรรมในภาครัฐ ทำให้การนำฉลากเขียวมาใช้ในระดับอุตสาหกรรมและภาคการผลิตยังคงเป็นทางเลือก ไม่ใช่ข้อบังคับ งานวิจัยหลายชิ้นเสนอให้มีการผลักดัน "ฉลากเขียว" ให้เป็นมาตรฐานภาคบังคับสำหรับการจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐ (Sustainable Public Procurement: SPP) ในหลายประเทศที่ประสบความสำเร็จ เช่น สหภาพยุโรป มีการกำหนด Green Public Procurement (GPP) ที่บังคับให้หน่วยงานภาครัฐต้องเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการรับรองมาตรฐานฉลากสิ่งแวดล้อม

การศึกษาพบว่า หากประเทศไทยบังคับใช้ฉลากเขียวใน SPP จะช่วยให้ภาคอุตสาหกรรมมีแรงจูงใจมากขึ้นในการปรับเปลี่ยนมาตรฐานการผลิต เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนา SPP ในประเทศไทย ควรกำหนดให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับฉลากเขียว เป็นมาตรฐานขั้นต่ำสำหรับการจัดซื้อจัดจ้างของภาครัฐ จัดทำ นโยบายจูงใจ เช่น สิทธิประโยชน์ทางภาษี หรือเงินสนับสนุนให้กับหน่วยงานรัฐที่เลือกใช้ผลิตภัณฑ์ฉลากเขียว

2. ความสำคัญของการใช้แนวคิด Life Cycle Assessment (LCA)

การศึกษาพบว่าไทยขาดฐานข้อมูล LCA กลางที่ได้มาตรฐาน ส่งผลให้ธุรกิจขาดข้อมูลที่แม่นยำในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จึงควรสร้างแพลตฟอร์มฐานข้อมูล LCA กลาง พร้อมพัฒนามาตรฐาน LCA-Based Certificationเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและสนับสนุนฉลากเขียวของไทยในอนาคต

3. การสร้างความตระหนักรู้เกี่ยวกับฉลากเขียวในหมู่ผู้บริโภค แม้ว่าผู้บริโภคทั่วโลกจะให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่พบว่าในประเทศไทยยังมีข้อจำกัดด้านการรับรู้เกี่ยวกับฉลากเขียว

สาเหตุที่ทำให้ผู้บริโภคไม่คุ้นเคยกับฉลากเขียว การศึกษาพบว่า ประชาชนบางกลุ่มยังไม่เข้าใจถึงความหมายของฉลากเขียวและวิธีการเลือกซื้อสินค้าจากฉลากสิ่งแวดล้อม การประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับฉลากเขียว ยังจำกัดเฉพาะกลุ่มผู้ผลิตและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง แต่ยังไม่เข้าถึงผู้บริโภคในวงกว้าง

ข้อเสนอแนะในการสร้างการรับรู้เกี่ยวกับฉลากเขียว จัดทำ แคมเปญประชาสัมพันธ์ผ่านช่องทางดิจิทัล เช่น Social Media, YouTube, และแอปพลิเคชันมือถือ สร้างระบบ Eco-Label Rating App ที่ช่วยให้ผู้บริโภคสามารถสแกนฉลากเขียวและดูข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ได้ทันที จัดทำ โครงการให้ความรู้ในสถานศึกษา เพื่อปลูกฝังแนวคิดด้านการบริโภคที่ยั่งยืนตั้งแต่ระดับเยาวชน

4. อุปสรรคของ SMEs ในการขอรับรองฉลากเขียวแม้ว่าฉลากเขียวจะช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของธุรกิจที่ได้รับการรับรอง แต่พบว่า SMEs ในประเทศไทยยังประสบปัญหาหลายประการในการขอรับรองฉลากเขียวอุปสรรคหลักที่ SMEs ต้องเผชิญ ต้นทุนการขอรับรองที่สูง ค่าธรรมเนียมในการขอรับรองฉลากเขียวเป็นอุปสรรคสำคัญสำหรับ SMEs ที่มีงบประมาณจำกัด ขั้นตอนการขอรับรองที่ซับซ้อน หลายธุรกิจต้องใช้เวลานานในการดำเนินการ และอาจขาดความเข้าใจเกี่ยวกับข้อกำหนดของฉลากเขียวข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีการผลิต SMEs บางรายไม่มีเทคโนโลยีที่ทันสมัยพอที่จะปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ผ่านเกณฑ์ฉลากเขียว

ข้อเสนอแนะเพื่อช่วยเหลือ SMEs ในการขอรับรองฉลากเขียว ออกมาตรการลดหย่อนภาษีให้กับ SMEs ที่ได้รับฉลากเขียวเพื่อลดภาระต้นทุนจัดตั้งกองทุนสนับสนุนการขอรับรองฉลากเขียว สำหรับธุรกิจขนาดเล็กที่ต้องการเข้าสู่ตลาดสินค้าสิ่งแวดล้อม พัฒนาหลักสูตรอบรมสำหรับ SMEs เกี่ยวกับแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ผ่านมาตรฐานฉลากเขียว จากการวิเคราะห์เนื้อหาและข้อมูลที่ศึกษา สามารถสรุปจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรคของระบบฉลากเขียวในประเทศไทยในรูปแบบตาราง SWOT ได้ดังรูปที่ 2

จุดแข็ง (Strengths)

- มีกรอบแนวคิดจาก LCA ที่ชัดเจนและสอดคล้อง SDGs
- มีการสนับสนุนจากหน่วยงานรัฐ เช่น TEI กรมควบคุมมลพิษ สมอ.

จุดอ่อน (Weaknesses)

- ขาดฐานข้อมูล LCA กลางของประเทศ
- ยังไม่มีมาตรการภาคบังคับในภาครัฐ (SPP)

โอกาส (Opportunities)

- ความร่วมมือระหว่างประเทศ (MRA)
- แนวโน้มตลาดโลกสนใจสินค้า eco-friendly

อุปสรรค (Threats)

- ต้นทุนสูงสำหรับ SMEs
- การรับรู้ของผู้บริโภคยังจำกัด

รูปที่ 2 แสดงการวิเคราะห์ SWOT ของระบบฉลากเขียวในประเทศไทย โดยพิจารณาจากจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรคที่ส่งผลต่อการพัฒนาระบบในเชิงนโยบายและการนำไปใช้ในภาคปฏิบัติ

การวิเคราะห์จุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค (SWOT) ของระบบฉลากเขียวในประเทศไทย ได้สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพที่สำคัญของฉลากเขียวในฐานะกลไกผลักดันนโยบายสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน พร้อมทั้งชี้ให้เห็นข้อจำกัดเชิงโครงสร้างที่ต้องได้รับการปรับปรุง ทั้งในด้านการสนับสนุนข้อมูล LCA การออกแบบนโยบาย SPP ที่มีผลผูกพัน และการเข้าถึงของผู้ประกอบการ SMEs **หากสามารถเสริมจุดแข็ง ลดข้อจำกัด และใช้โอกาสจากกระแสความร่วมมือระดับโลกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบฉลากเขียวไทยจะสามารถก้าวสู่การยอมรับในระดับสากล และมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจควบคู่กับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้อย่างแท้จริง**

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่า ฉลากเขียวเป็นกลไกสำคัญในการส่งเสริมการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน โดยช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสนับสนุนเป้าหมาย Sustainable Development Goals (SDGs) โดยเฉพาะ SDG 12 (การบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน) และ SDG 13 (การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ) อย่างไรก็ตาม การนำฉลากเขียวไปใช้ในประเทศไทยยังเผชิญกับอุปสรรคหลายด้าน ทำให้การขยายบทบาทของฉลากเขียวในภาคอุตสาหกรรมและตลาดผู้บริโภคยังมีข้อจำกัด

ประเด็นสำคัญที่ได้จากการศึกษา

1. การขาดมาตรการบังคับใช้ในภาครัฐ

การศึกษาพบว่า มาตรฐานฉลากเขียวของไทยยังไม่มีข้อกำหนดที่เป็นภาคบังคับในระบบการจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐ (Sustainable Public Procurement: SPP) ส่งผลให้การนำฉลากเขียวไปใช้ในโครงการภาครัฐยังอยู่ในระดับสมัครใจ ประเทศที่ประสบความสำเร็จ เช่น สหภาพยุโรปและญี่ปุ่น มีการบังคับใช้ Green Public Procurement (GPP) ซึ่งกำหนดให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับรองฉลากเขียวต้องถูกใช้ในหน่วยงานรัฐ หากประเทศไทยต้องการเพิ่มอัตราการใช้ฉลากเขียวในอุตสาหกรรม รัฐบาลควรมีมาตรการเชิงนโยบายที่กำหนดให้ฉลากเขียวเป็นเงื่อนไขในการจัดซื้อจัดจ้างของหน่วยงานภาครัฐ

2. ความสำคัญของ Life Cycle Assessment (LCA)

งานวิจัยพบว่า การนำแนวคิด Life Cycle Assessment (LCA) มาใช้ในการประเมินมาตรฐานฉลากเขียวจะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของฉลาก และเป็นที่ยอมรับในระดับสากล อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยยังขาดฐานข้อมูล LCA กลางที่สามารถใช้เป็นมาตรฐาน ทำให้ธุรกิจที่ต้องการขอรับรองฉลากเขียวไม่สามารถประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ได้อย่างแม่นยำ

3. การรับรู้ของผู้บริโภคและการเข้าถึงข้อมูลเกี่ยวกับฉลากเขียว

พบว่าแม้ผู้บริโภคบางกลุ่มให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่การรับรู้เกี่ยวกับฉลากเขียวในประเทศไทยยังมีข้อจำกัด โดยเฉพาะความเข้าใจเกี่ยวกับ มาตรฐานของฉลากเขียวและข้อดีของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรอง

งานวิจัยพบว่าประเทศที่มีการใช้ฉลากเขียวอย่างแพร่หลาย เช่น เยอรมนี (Blue Angel) และสิงคโปร์ (Singapore Green Label) ได้มีการดำเนิน แคมเปญประชาสัมพันธ์ที่มีประสิทธิภาพ และสร้างช่องทางให้ผู้บริโภคสามารถตรวจสอบข้อมูลเกี่ยวกับฉลากเขียวได้ง่ายขึ้น

ดังนั้น ประเทศไทยควรพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัล เช่น แอปพลิเคชันหรือเว็บไซต์ที่ช่วยให้ผู้บริโภคสามารถสแกนฉลากและเข้าถึงข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่ได้รับรองได้ทันที

4. ข้อจำกัดของ SMEs ในการขอรับรองฉลากเขียว

งานวิจัยพบว่า SMEs ไทยมีข้อจำกัดในการขอฉลากเขียวจากต้นทุนสูงและเงื่อนไขซับซ้อนรัฐจึงควรพิจารณาลดหย่อนภาษีหรือจัดตั้งกองทุนสนับสนุนเพื่อช่วยให้ SMEs เข้าถึงการรับรองฉลากเขียวได้ง่ายขึ้น

ข้อเสนอแนะจากผลการศึกษา

จากข้อค้นพบที่ได้จากการศึกษา สามารถเสนอแนวทางพัฒนา ฉลากเขียวในประเทศไทย ได้ดังนี้

1. ผลักดันฉลากเขียวให้เป็นมาตรฐานบังคับในภาครัฐ – ควรกำหนดให้หน่วยงานภาครัฐต้องเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับฉลากเขียวในการจัดซื้อจัดจ้าง

2. พัฒนาแพลตฟอร์มฐานข้อมูล LCA – เพื่อให้ภาคอุตสาหกรรมสามารถเข้าถึงข้อมูลวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์และปรับปรุงมาตรฐานของตนให้ผ่านเกณฑ์ฉลากเขียว

3. ปรับปรุงการประชาสัมพันธ์ฉลากเขียวในตลาดผู้บริโภค – ควรใช้ Social Media, Mobile Apps หรือ QR Code บนผลิตภัณฑ์ เพื่อช่วยให้ผู้บริโภคเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายขึ้น

4. สนับสนุน SMEs ในการขอรับรองฉลากเขียว – ออกมาตรการช่วยเหลือ เช่น เงินอุดหนุน หรือสิทธิประโยชน์ทางภาษีเพื่อเพิ่มจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการรับรอง

เอกสารอ้างอิง

[1] T. Smith, J. Brown, and L. Green, "*Sustainable Procurement and Eco-labeling: An Analysis of Green Certification Standards*," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 25, no. 3, pp. 245-260, 2023.

[2] S. Wang and K. Lee, "*The Role of Life Cycle Assessment in Green Labeling: A Comparative Study*," *Sustainable Development Journal*, vol. 30, no. 1, pp. 55-70, 2022.

[3] United Nations Environment Programme (UNEP), "*Green Public Procurement: Trends and Best Practices*," *UNEP Report*, Geneva, Switzerland, 2021.

[4] European Commission, "*EU Ecolabel and Sustainable Public Procurement: Guidelines for Member States*," Brussels, Belgium, 2020.

[5] Global Ecolabelling Network (GEN), "*The Future of Ecolabels: Trends and Policy Recommendations*," *GEN Annual Report*, Washington, D.C., 2021.

[6] สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (TEI), "*การพัฒนามาตรฐานฉลากเขียวในประเทศไทย*," *รายงานสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย*, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย, 2019.

[7] กรมควบคุมมลพิษ (PCD), "แนวทางการจัดซื้อจัดจ้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในหน่วยงานภาครัฐ," *รายงานกรมควบคุมมลพิษ*, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย, 2020.

[8] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.), "*มาตรฐานฉลากสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย และแนวทางเปรียบเทียบกับมาตรฐานสากล*," *รายงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม*, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย, 2021.

[9] มหาวิทยาลัยมหิดล, "*การวิเคราะห์ผลกระทบของฉลากเขียวต่อการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ในประเทศไทย*," *วารสารสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรไทย*, ปีที่ 28, ฉบับที่ 2, หน้า 134-152, 2022.

[10] กระทรวงอุตสาหกรรม, "*การส่งเสริมอุตสาหกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมผ่านมาตรฐานฉลากเขียว*," *รายงานกระทรวงอุตสาหกรรม*, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย, 2021.

[11] สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI), "*นโยบายสนับสนุนธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ในการขอรับรองฉลากเขียว*," *รายงาน BOI*, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย, 2020

[12] ศูนย์วิจัยเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม (TDRI), "*แนวทางการปรับปรุงมาตรฐานฉลากเขียวของไทยให้สอดคล้องกับแนวทางสากล*," *รายงานวิจัย TDRI*, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย, 2019.

การปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในห้องเรียนอนุบาลด้วยหลักการห้องอากาศสะอาดความดันบวก

กมลชัย ยงประพัฒน์[1*], เจนจิรา เอกดำรงค์[1], และมณีรัตน์ องค์วรรณดี[2]

[1]ศูนย์บริการวิชาการด้านศาสตร์เขตเมือง มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต จังหวัดกรุงเทพมหานคร
[2]วิทยาลัยพัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต จังหวัดกรุงเทพมหานคร
* Corresponding author: kamonchai@nmu.ac.th

บทคัดย่อ

การปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในห้องเรียนอนุบาล ณ โรงเรียนวัดราชผาติการาม แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร เพื่อเป็นห้องเรียนต้นแบบอากาศสะอาดความดันบวก (Positive Pressure Fresh Air System) ด้วยหลักการนำอากาศจากภายนอกอาคารเข้าสู่ห้องภายในอาคาร (Outdoor air unit หรือ OAU) ผ่านแผ่นกรอง PRE Filter และแผ่นกรอง HEPA Filter เพื่อกรองให้อากาศสะอาดก่อนที่จะปล่อยเข้าไปในห้อง โดยใช้อัตราการเติมอากาศประมาณ 3 เท่า ของปริมาตรห้อง อากาศสะอาดที่เติมเข้ามายังช่วยรักษาระดับปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจากการหายใจของเด็ก ๆ ไม่ให้สูงเกิน 1,000 พีพีเอ็ม การปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในห้องเรียนอนุบาลในครั้งนี้ ดำเนินการติดตั้งเครื่องเติมอากาศสะอาดเป็นระบบพัดลมแบบหมุนเหวี่ยงปริมาณลม 500 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และระบบออโตเมชั่นตรวจติดตามคุณภาพอากาศด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่สามารถเก็บข้อมูลคุณภาพอากาศไว้บนคลาวน์ได้ จากการศึกษา พบว่า การใช้งานห้องเรียนโดยไม่เปิดเครื่องปรับอากาศและระบายอากาศด้วยการเปิดประตูหน้าต่างทำให้ค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในห้องเรียนมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าภายนอกห้องเรียน และการใช้งานห้องเรียนโดยเปิดเครื่องปรับอากาศ (เวลานอนกลางวัน) ทำให้ค่าอุณหภูมิลดลงอยู่ในช่วง 22 - 23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ลดลงอยู่ในช่วง 50 – 70 เปอร์เซ็นต์ และอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ลดลงอยู่ในช่วง 9-10 มคก./ลบ.ม. ในส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นเกือบถึง 1,000 พีพีเอ็ม และเมื่อเปิดเครื่องเติมอากาศสะอาดความดันบวกควบคู่กับเครื่องปรับอากาศ ทำให้อนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ลดลงอยู่ในช่วงประมาณ 2 มคก./ลบ.ม. และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอยู่ในช่วงประมาณ 700 พีพีเอ็ม

คำสำคัญ: ห้องอากาศสะอาดความดันบวก/ มลพิษอากาศ / พีเอ็ม2.5 / คุณภาพอากาศภายในอาคาร / การระบายอากาศ

Improvement Indoor Air Quality in Kindergarten Classrooms Using the Clean Air Room Principle with Positive Pressure

Kamonchai Yongprapat[1*], Janejira Ekdamrong[1] and Maneerat Ongwandee[2]

[1]*Academic Service Center of Urbanology, Navamindradhiraj University, Wachira Phayaban, Dusit District, Bangkok*
[2]*Institute of Metropolitan Development, Navamindradhiraj University, Wachira Phayaban, Dusit District, Bangkok*
* Corresponding author: kamonchai@nmu.ac.th

Abstract

The improvement of indoor air quality in the kindergarten classroom at Wat Rajaphatthikaram School, Wachiraphayaban Subdistrict, Dusit District, Bangkok, aims to create a model classroom with clean air using the Positive Pressure Fresh Air System. The system works by adding air through a PRE Filter and a HEPA Filter to clean the air (Outdoor air unit or OAU) before releasing it into the room. The air supply rate is about three times the room's volume, so the air entering will be greater than the air being drawn out. If the door is open or there is any activity that allows air to flow in, it will be pushed out by the clean, positive pressure air inside the room. Additionally, the positive pressure clean air helps maintain the CO_2 level from children's breathing, ensuring it doesn't exceed 1,000 ppm. The improvement process included installing a clean air supply system with a centrifugal fan that delivers 500 cubic meters per hour and an automation system to monitor air quality with a wireless sensor network that stores data on the cloud. The study found that when the classroom is used without the air conditioner and ventilation is done by opening the windows and doors, the temperature, humidity, CO_2 levels, and particulate matter with diameter less than 2.5 micrometers inside the classroom are similar to the levels outside the room. When the air conditioner is used during nap time, the temperature decreases to 22-23°C, the humidity decreases to 50-70%, and the particulate matter with diameter less than 2.5 micrometers decreases to 9-10 μg/m³. CO2 levels increase to nearly 1,000 ppm. When the clean air system is used alongside the air conditioner, particulate matter with diameter less than 2.5 micrometers decreases to around 2 μg/m³, and CO_2 decreases to around 700 ppm.

Keyword: Positive Pressure Fresh Air System / Air pollution / $PM_{2.5}$ / Indoor air quality / Ventilation

1. บทนำ

ปัญหามลพิษทางอากาศนับเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยเฉพาะกลุ่มผู้สูงอายุ เด็กเล็ก ผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจ และผู้ที่มีโรคประจำตัวอื่น ๆ ซึ่งจัดเป็นกลุ่มคนเปราะบาง หากคนกลุ่มนี้ได้รับหรือสัมผัสกับมลพิษทางอากาศจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจจะมีความรุนแรงมากกว่ากลุ่มคนทั่วไป จากข้อมูลแนวทางการป้องกันและดูแลสุขภาพจากฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน สำหรับสถานพัฒนาเด็กปฐมวัยพบว่าเด็กจะมีอัตราการหายใจสูงกว่าผู้ใหญ่ จึงทำให้มีโอกาสการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน จากการหายใจเพิ่มขึ้นได้ อีกทั้งยังมีผลกระทบต่อพัฒนาการของระบบประสาท ทำให้ลดระดับสติปัญญา และมีแนวโน้มให้เกิดโรคที่เกี่ยวกับพัฒนาการด้านพฤติกรรม เช่น ออติสติก และโรคสมาธิสั้น รวมทั้งการพัฒนาด้านจิตใจ และกล้ามเนื้อของเด็ก [1] จากนโยบายกรุงเทพมหานคร 9 ด้าน 9 ดี ด้านสิ่งแวดล้อมมีนโยบายพัฒนาพื้นที่ปลอดฝุ่น (BKK Clean air area) ด้วยต้นไม้สำหรับพื้นที่เปิด และเครื่องฟอกอากาศสำหรับพื้นที่ปิด เพื่อที่จะได้มีพื้นที่อากาศสะอาดไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ กรุงเทพมหานครได้ร่วมมือกับกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) และภาคีเครือข่าย ในระยะที่ 1 ได้สร้างองค์ความรู้ด้านสุขภาพในพื้นที่เสี่ยงผ่านการเรียนการสอนจากครูสู่เด็กและเยาวชน ใน 32 โรงเรียน ส่งต่อไปยังครอบครัว ชุมชน และสังคมทำให้เกิดสถานศึกษาต้นแบบรับมือฝุ่น PM2.5 ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และในปี 2567 ได้เดินหน้าโครงการห้องเรียนสู้ฝุ่นในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ระยะที่ 2 เพื่อส่งต่อแนวทางการจัดกิจกรรมเรียนรู้เพื่อเสริมทักษะให้แก่นักเรียน เตรียมพร้อมรับมือสถานการณ์ฝุ่น $PM_{2.5}$ กระทบสุขภาพ มีโรงเรียนในสังกัดกรุงเทพมหานครเข้าร่วม 437 โรงเรียน [2]

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในห้องเรียนอนุบาล เพื่อเป็นห้องเรียนต้นแบบอากาศสะอาดความดันบวก (Positive Pressure Fresh air System) มีหลักการทำงานโดยการนำอากาศจากภายนอกห้องเข้าสู่ภายในห้อง (Outdoor air unit หรือ OAU) อากาศที่เข้าภายในห้องต้องผ่านแผงกรองอากาศ จำนวน 2 ชั้น คือ แผงกรองขั้นต้น (Pre Filter) ที่ได้รับการรับรองมาตรฐานจาก ASHRAE 52.1 และผ่านแผงกรองอากาศขั้นสุดท้าย (HEPA Filter) มีประสิทธิภาพที่ได้รับการรับรองมาตรฐานจาก ASHRAE 52.1 โดยมีประสิทธิภาพในการกรองไม่ต่ำกว่า 99 % โดยอากาศที่เข้ามาเป็นอากาศสะอาดจะทำหน้าที่สร้างความดันที่เป็นบวกภายในห้อง เพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่นไหลเข้ามาในห้อง โดยการใช้อากาศที่เติมเข้ามาจาก OAU ไปดันฝุ่นที่เข้ามาตามรอยรั่วทุกรอย และขอบประตู หน้าต่างของห้อง ทำให้ฝุ่นจากภายนอกไม่สามารถเข้ามาในห้องได้ [3] และสามารถช่วยลดการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ หากมีการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นจำนวนมากจะแสดงถึงการระบายอากาศที่ไม่มีประสิทธิภาพจะทำให้เกิดความรู้สึกอึดอัด ไม่สบาย ง่วงซึม ขาดสมาธิในการเรียนรู้ หรือหากอากาศในห้องนั้นมีสารปนเปื้อนที่เป็นอันตรายหรือมีเชื้อก่อโรค ก็อาจเกิดการแพร่กระจายภายในห้องจนเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่ในห้องนั้นได้โดยง่าย [4] ณัชจารีย์กร สวัสดิ์มงคลกุล และ ชุมพร มูรพันธุ์ ศึกษาการรับรู้คุณภาพอากาศภายในอาคารสาธารณะ พบว่าองค์ประกอบของปัจจัยสภาพแวดล้อมทางกายภาพ ทำให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ความชื้น และคาร์บอนไดออกไซด์ มีความแตกต่างกัน โดยที่ห้องเรียนนั้นมีคุณภาพอากาศที่ดีกว่ามาตรฐาน ผลการเปรียบเทียบกับการรับรู้ของผู้ใช้กลับไม่สามารถรับรู้ถึงมลพิษทางอากาศ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษาเป็นผู้ใหญ่ [5] จิตวิสุทธิ์ ทองสัมฤทธิ์ ศึกษาคุณภาพอากาศภายในอาคาร รวมทั้งการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ และการระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศภายในอาคารเพื่อพัฒนาระบบการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคารของศูนย์พัฒนาเด็กเล็กทั้ง 5 แห่ง ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าความเข้มข้นของอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และอนุภาคขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ของอาคารศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก (ศพด.) ทุกแห่งมีค่าเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด นอกจากนี้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน ใน ศพด. บางแห่งมีค่าเกินกว่ามาตรฐานกำหนด [6] ปรียนิตย์ ใหม่เจริญศรี, ศิริลักษ์ กลิ่นมาลี และสุนิสา แวงชัยภูมิ ศึกษารูปแบบการจัดการมลภาวะอากาศภายในอาคารในพื้นที่เขตเมือง กรณีศึกษาอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัยและหน่วยบริการสุขภาพ

ปฐมภูมิ จากการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคาร พบว่าอาคารทุกแห่งมีปริมาณอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และอนุภาคขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน สูงเกินมาตรฐาน ส่วนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัยและหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ สูงเกินมาตรฐาน [7]

โดยจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นนั้น เป็นกรณีศึกษาในสถานที่ต่าง ๆ ที่จัดอยู่ในกลุ่มของอาคารสาธารณะตามประกาศกรมอนามัย เรื่อง ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคารสาธารณะ พ.ศ. 2565 [8] พบว่ามีค่าคุณภาพอากาศภายในอาคารสูงเกินมาตรฐานกำหนดหลายแห่ง ซึ่งโรงเรียนหรือศูนย์พัฒนาเด็กก็จัดอยู่ในกลุ่มอาคารสาธารณะ ดังนั้นการปรับปรุงห้องเรียนให้กลายเป็นห้องอากาศสะอาดความดันบวกในครั้งนี้จึงมีความสำคัญ เพราะเด็กไม่สามารถรับรู้ถึงมลพิษอากาศภายในอาคารได้เทียบเท่าผู้ใหญ่ และเป็นการสร้างแนวทางเพื่อนำไปประยุกต์ในด้านการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคาร ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในห้องเรียนอนุบาล เพื่อเป็นห้องเรียนต้นแบบอากาศสะอาดความดันบวก (Positive Pressure Fresh air System) ณ โรงเรียนวัดราชผาติการาม ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่กลางเมืองติดกับถนนใหญ่มีการสัญจรไปมาของยานพาหนะจำนวนมากตลอดทั้งวัน เป็นปัจจัยทำให้เกิดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของนักเรียน โดยห้องเรียนอากาศสะอาดความดันบวกหรือห้องเรียนปลอดฝุ่น มีความสำคัญต่อเด็กเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเด็กต้องอยู่ในโรงเรียนไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นการสร้างสภาพแวดล้อมให้ห้องเรียนปลอดภัยจากฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และมลพิษในอากาศนั้นนอกจากจะช่วยป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ ที่เกิดจากมลพิษอากาศแล้ว ยังเป็นการช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ และพัฒนาการที่ดีของเด็กอีกทั้งการจัดทำโครงการห้องเรียนต้นแบบอากาศสะอาดความดันบวก (Positive Pressure Fresh air System) ในครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งในการตอบสนองนโยบาย 9 ด้าน 9 ดี ของกรุงเทพมหานคร และสามารถเป็นแนวทางให้นำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารได้

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อปรับปรุงกายภาพของห้องเรียนอนุบาลให้เป็นห้องต้นแบบห้องเรียนอากาศสะอาดด้วยหลักการเติมอากาศสะอาด
2. สร้างแนวทางการเฝ้าระวังมลพิษอากาศภายในห้องเรียนอนุบาลด้วยระบบออโตเมชั่นสำหรับตรวจติดตามคุณภาพอากาศด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. ปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารของห้องเรียนอนุบาลจำนวน 2 ห้อง ณ โรงเรียนวัดราชผาติการาม
2. ติดตั้งระบบออโตเมชั่นสำหรับตรวจติดตามคุณภาพอากาศด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย จำนวน 3 จุด ภายในห้องเรียนอนุบาล และนอกห้องเรียนอนุบาล

4. วิธีการศึกษา

4.1 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารของห้องเรียนอนุบาล

1. สำรวจเก็บข้อมูล และวัดขนาดพื้นที่ห้องเรียนอนุบาล ณ โรงเรียนวัดราชผาติการาม แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร
2. ออกแบบเครื่องเติมอากาศใช้อัตราการเติมอากาศที่ 3 เท่าของปริมาตรห้อง

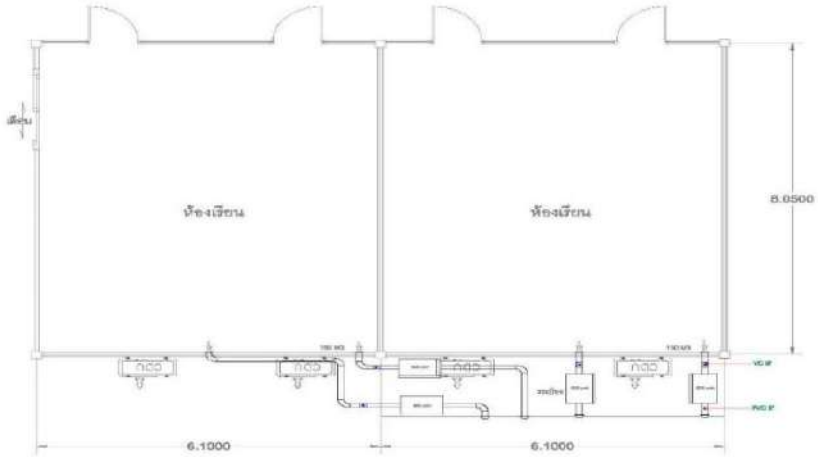
3. ดำเนินการเข้าติดตั้งเครื่องเติมอากาศสะอาดด้วยระบบ (Outdoor air unit หรือ OAU) โดยแผนผังการติดตั้งเครื่องเติมอากาศสะอาดแสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานได้ดังนี้ หมายเลข 1 และ 3 เป็นตัวเติมอากาศเพียงอย่างเดียวผ่านหัวจ่ายลมเข้าภายในห้อง และหมายเลข 2 เป็นเครื่องเติมอากาศพร้อมวาล์วดูดลมกลับซึ่งเมื่อเปิดวาล์วดูดลมกลับสามารถเป็นเครื่องฟอกอากาศโดยดูดเอาอากาศภายในห้องมาผ่านเครื่องอีกครั้ง โดยห้องเรียนต้นแบบอากาศสะอาดความดันบวก (Positive Pressure Fresh air System) มีคุณสมบัติ ดังนี้

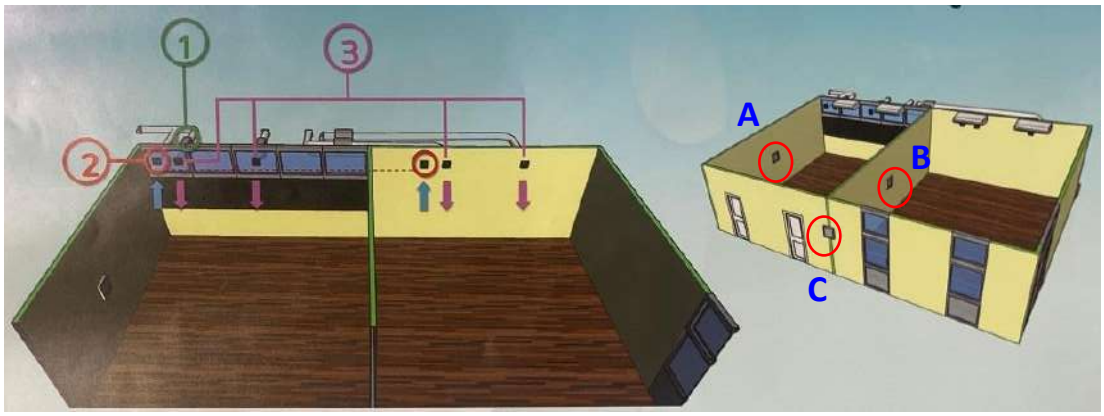
3.1. แผงกรองขั้นต้น PRE Filter สามารถกรองฝุ่นได้ 80 เปอร์เซ็นต์ พร้อม Activated Carbons ช่วยดักจับกลิ่น

3.2. แผงกรองขั้นสุดท้าย HEPA Filter Class 13 สามารถกรองฝุ่น $PM_{2.5}$ ได้ 99.95 เปอร์เซ็นต์

3.3. เติมอากาศใหม่เข้าห้องเรียน เพิ่มออกซิเจน ลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

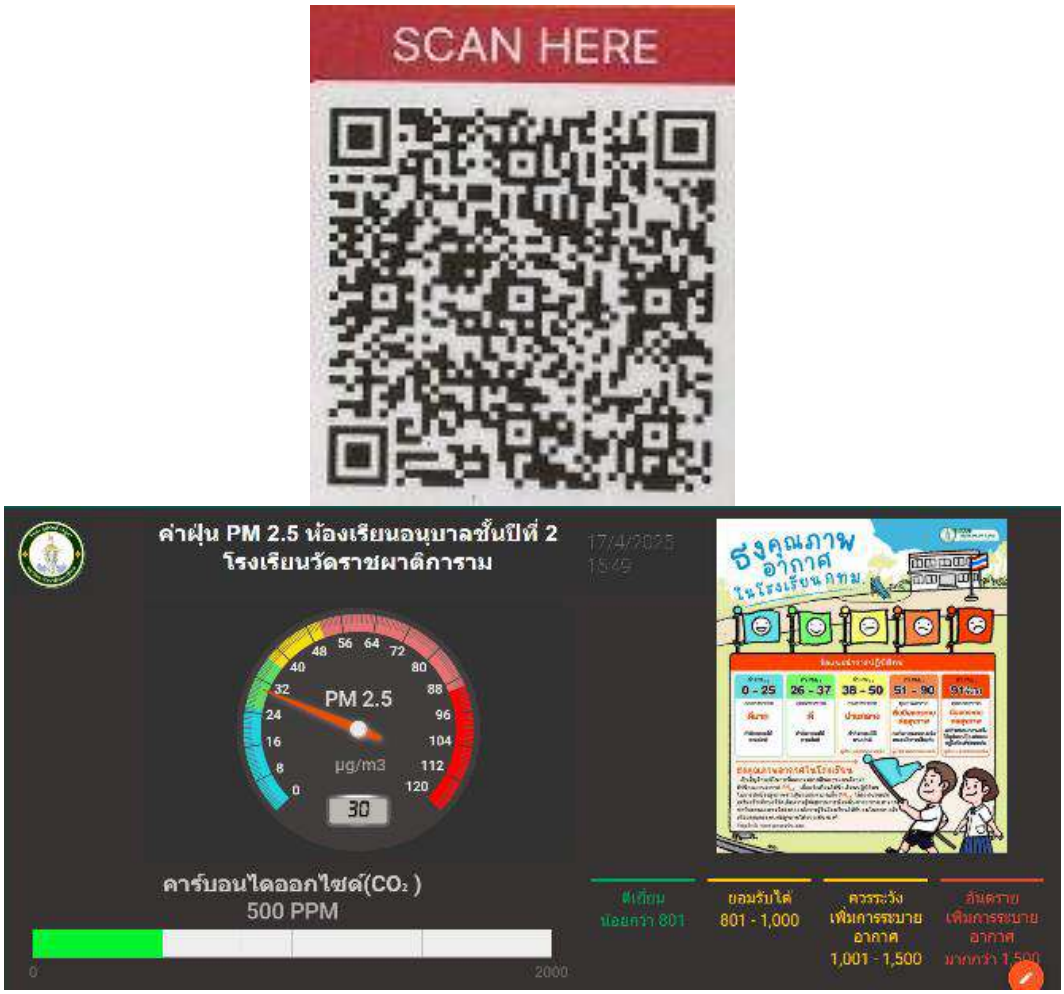
3.4. สามารถกรองเชื้อโรคแบคทีเรีย ไวรัส ได้ 99 เปอร์เซ็นต์





รูปที่ 1 แผนผังการติดตั้งเครื่องเติมอากาศของห้องเรียนต้นแบบอากาศสะอาดความดันบวก และติดตั้งระบบออโตเมชั่นตรวจติดตามคุณภาพอากาศด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

4. ติดตั้งระบบออโตเมชั่นตรวจติดตามคุณภาพอากาศด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจำนวน 3 ตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 1 ตำแหน่ง A บริเวณภายในห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 2 ตำแหน่ง B ภายในห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 3 และตำแหน่ง C บริเวณระหว่างหน้าห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 2 และ 3 โดยเซ็นเซอร์สามารถตรวจวัดพารามิเตอร์ได้ ดังนี้ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน พร้อมทั้งบันทึกเก็บข้อมูลไว้บนคลาวน์ และสามารถติดตามคุณภาพอากาศได้โดยสแกน QR CODE แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 QR CODE สำหรับตรวจติดตามคุณภพาอากาศทั้ง3 ตำแหน่ง และแดชบอร์ดแสดงคุณภาพอากาศ

4.2 สถานที่ติดตั้งอุปกรณ์

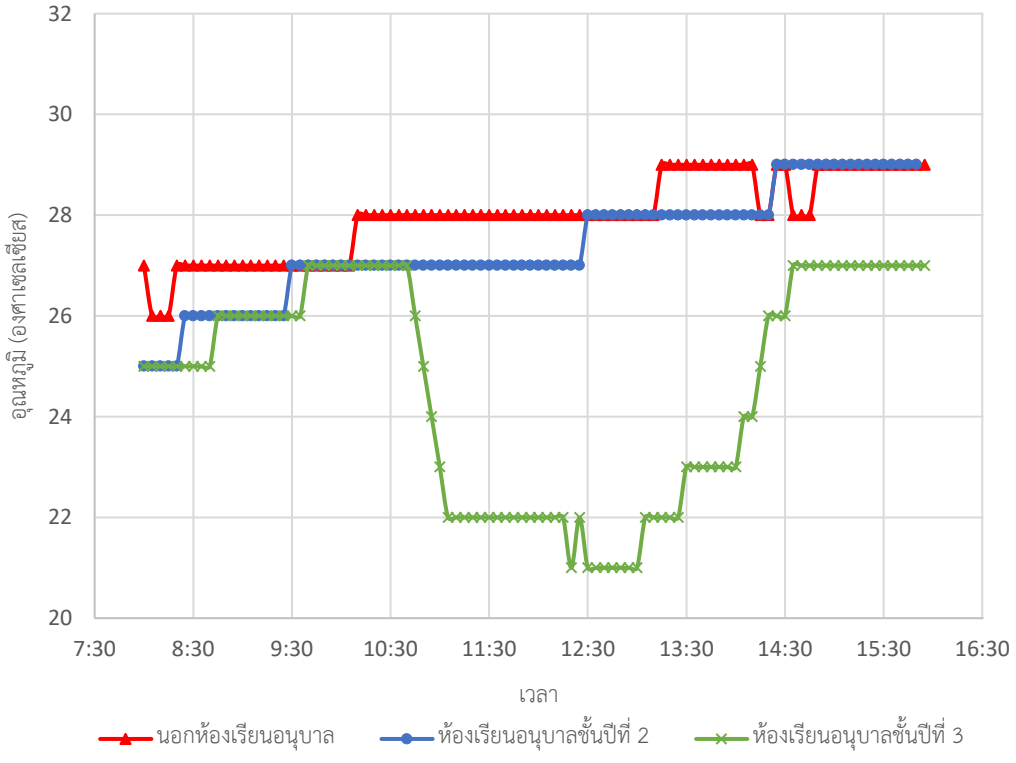
ณ โรงเรียนวัดราชผาติการาม ติดตั้งเครื่องเติมอากาศสะอาดความดันบวก จำนวน 2 ห้อง คือ ห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 2 และห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 3

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ห้องอากาศสะอาดความดันบวก (Positive Pressure Fresh air System) ณ โรงเรียนวัดราชผาติการาม ได้มีการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดคุณภาพอากาศทั้งหมด 3 ตำแหน่ง คือ (1) ห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 2 (2) ห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 3 และ (3) นอกห้องเรียน ในบริเวณโรงเรียนวัดราชผาติการาม ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลคุณภาพอากาศไว้บนคลาวน์ และข้อมูลคุณภาพอากาศที่นำมาแสดงเป็นของวันที่ 16 กันยายน 2567 ตั้งแต่เวลา 8:00 น. ถึง 16:00 น.

5.1 อุณหภูมิ

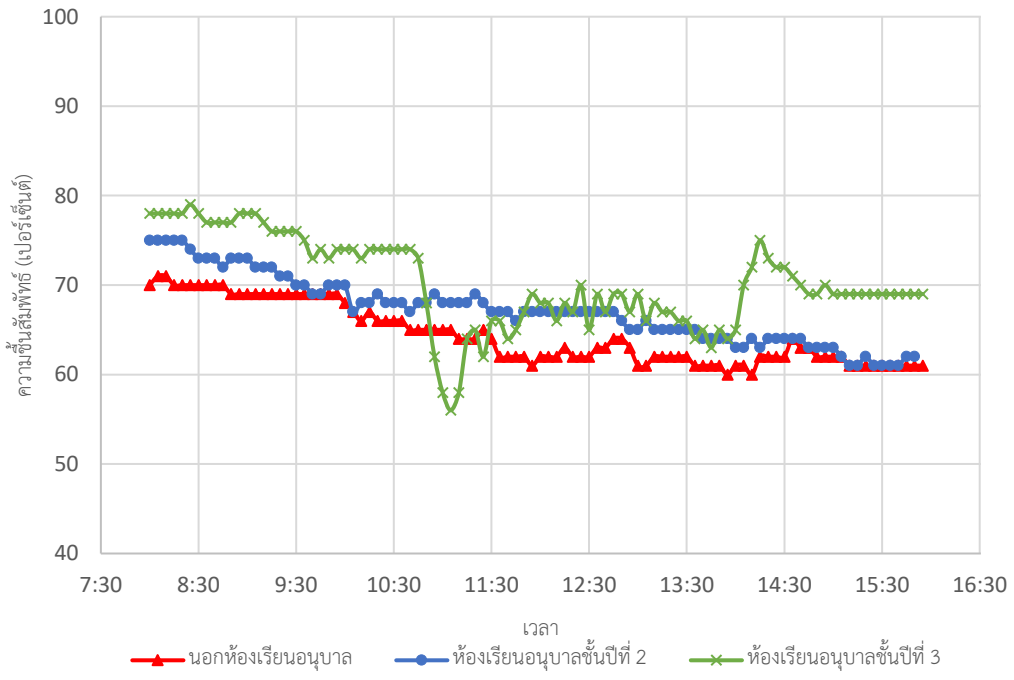
โดยลักษณะการใช้งานห้องเรียนของโรงเรียนวัดราชผาติการาม แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเรียนในตอนเช้ายังไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ และช่วงนอนกลางวันเป็นช่วงที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ โดยวันที่ 16 กันยายน 2567 ห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 3 ได้ถูกกำหนดให้เป็นห้องที่ใช้นอนกลางวันของเด็กอนุบาล จึงมีการเปิดเครื่องปรับอากาศ ในช่วงเวลาประมาณ 10:30 น. ถึง 14:00 น. อุณหภูมิลดลงจาก 26-27 องศาเซลเซียส อยู่ที่ประมาณ 22-23 องศาเซลเซียส โดยเด็กอนุบาลชั้นปีที่ 2 จะเข้ามานอนรวมกับเด็กอนุบาลชั้นปีที่ 3 ดังนั้นห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 2 ที่ไม่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศ ใช้การเปิดประตูหน้าต่างเพื่อการระบายอากาศ อุณหภูมิอยู่ที่ 27-29 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของอากาศภายนอกห้องเรียน แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภูมิการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในห้องอากาศสะอาดความดันบวก

5.2 ความชื้นสัมพัทธ์

ห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 3 ช่วงก่อนเปิดเครื่องปรับอากาศช่วงเวลา 08:00 น. ถึง 10:30 น. มีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 73-79 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นช่วงที่ใช้การระบายอากาศโดยการใช้การเปิดประตูหน้าต่าง และเมื่อมีการปิดประตูหน้าต่างแล้วเปิดเครื่องปรับอากาศทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงอยู่ในช่วง 55-70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 3 กับความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 2 และนอกห้องเรียน พบว่า ห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 3 มีระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 2 และบริเวณนอกห้องเรียนที่มีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วงประมาณ 60-75 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงเวลา 14:00 น. ห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 3 เมื่อปิดเครื่องปรับอากาศความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้นถึง 73 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นภายในห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 3 อาจมีแหล่งกำเนิดที่ทำให้มีความชื้นเพิ่มสูงขึ้น หรือมาจากการล้างหน้าล้างมือของเด็กแล้วกลับเข้ามาในห้องเรียน แสดงดังรูปที่ 4

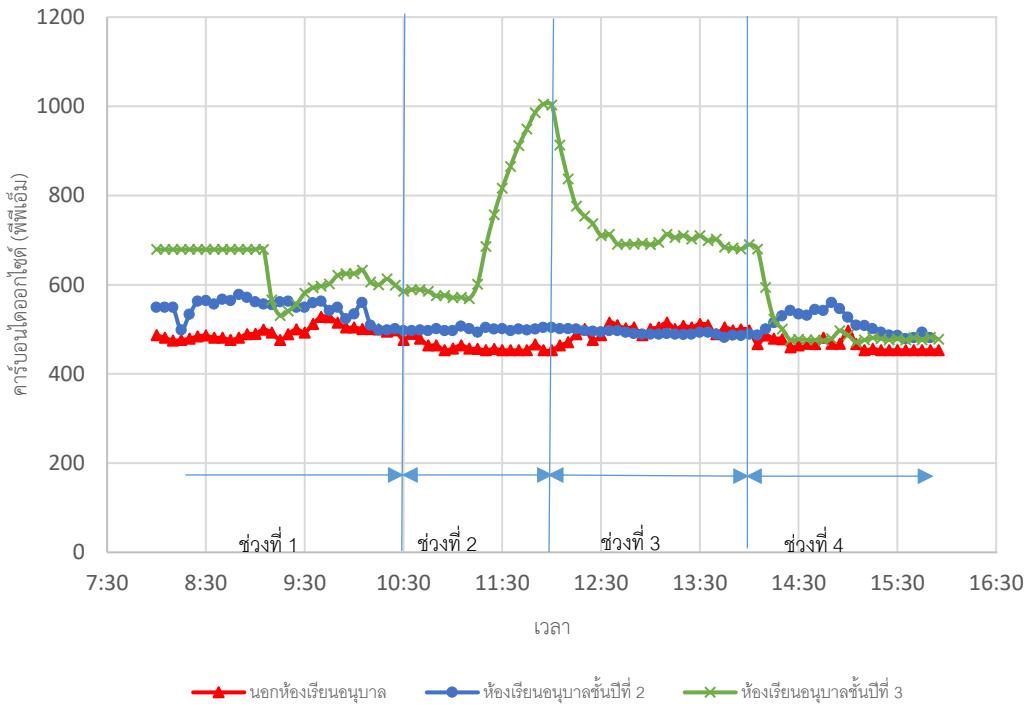


รูปที่ 4 แผนภูมิการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอากาศสะอาดความดันบวก

5.3 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

สามารถแบ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 4 ช่วง โดยจุดตรวจวัดที่ห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 2 และจุดตรวจวัดที่นอกห้องเรียน พบว่าทั้ง 4 ช่วง มีค่าความก๊าซเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์คงที่อยู่ในช่วง 400 – 600 พีพีเอ็ม และในส่วนของห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้ง 4 ช่วง ดังนี้ ช่วงที่ 1 เวลา 8:00 - 10:30 น. เป็นช่วงที่ใช้การเปิดประตูหน้าต่างในการระบายอากาศ มีค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คงที่อยู่ในช่วงประมาณ 400 - 600 พีพีเอ็ม โดยเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงที่ 2 เวลา 10:30 - 12:00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศแต่ยังไม่มีการใช้งานเครื่องเติมอากาศสะอาด หลังจากที่เด็ก

เข้าห้องในเวลา 11:15 น. เพื่อเตรียมตัวนอนกลางวัน ทำให้มีค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงเกิน 1000 พีพีเอ็ม เมื่อถึงช่วงที่ 3 เวลา 12:00 น. เป็นช่วงที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศร่วมกับเครื่องเติมอากาศสะอาด ทำให้มีค่าความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงอยู่ในช่วงประมาณ 700 พีพีเอ็ม และช่วงที่ 4 เวลา 14:00 น. เป็นช่วงที่ปิดเครื่องปรับอากาศและกลับมาเปิดประตูหน้าต่างทำให้ค่าความเข้มข้นคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลงมาอยู่ในระดับใกล้เคียงกับห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 2 และนอกห้องเรียน ซึ่งการเติมอากาศสะอาดมีระบบที่เมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องถึง 1000 พีพีเอ็ม จะมีการเพิ่มระดับพัดลมเพื่อเติมอากาศสะอาดให้มากขึ้นเพื่อช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงดังรูปที่ 5

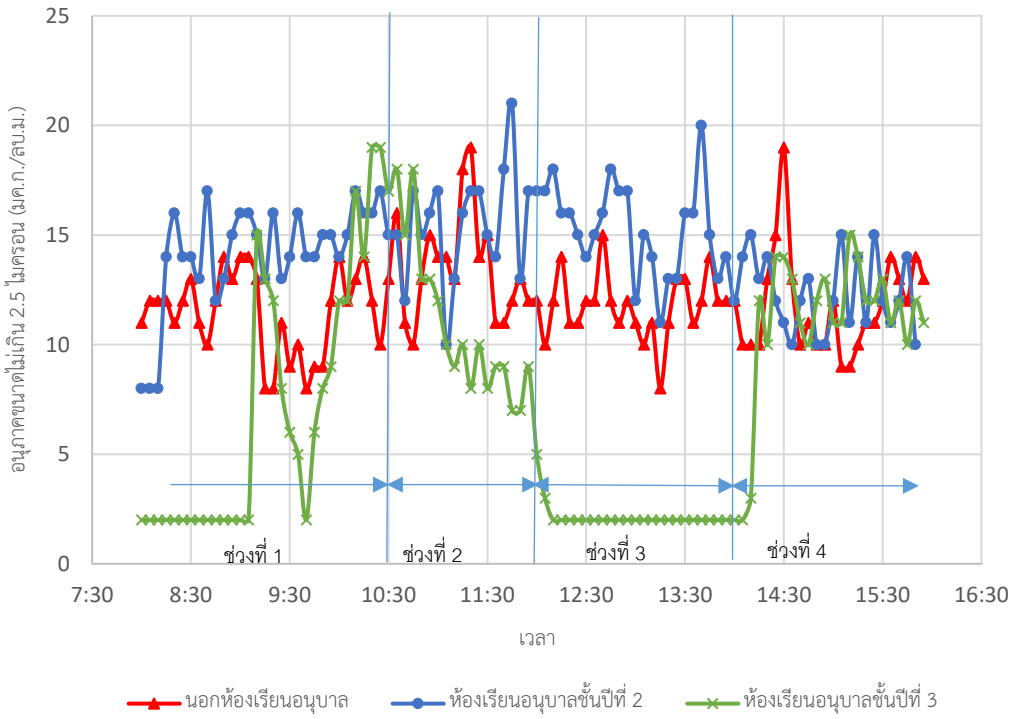


รูปที่ 5 แผนภูมิการเปลี่ยนแปลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องอากาศสะอาดความดันบวก

5.4 อนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน

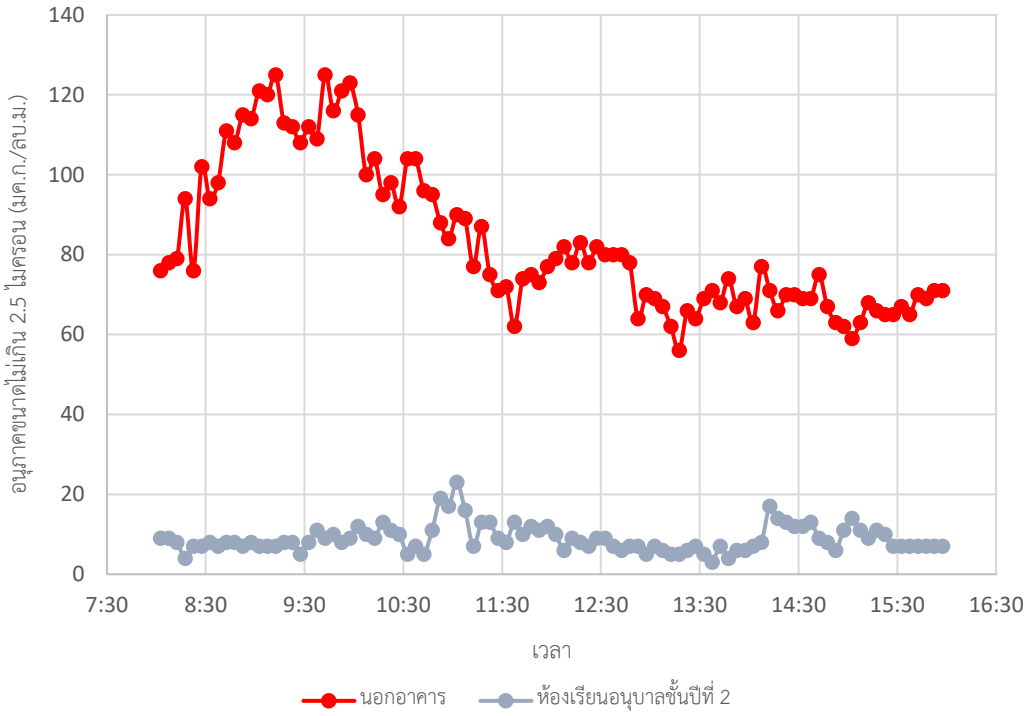
สามารถแบ่งการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มข้นอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ได้ 4 ช่วง โดยห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 2 และนอกห้องเรียน พบว่า ทั้ง 4 ช่วงมีค่าความเข้มข้นอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน อยู่ในช่วง 10-20 มคก./ลบ.ม. และในส่วนของห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 3 มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ทั้ง 4 ช่วง ดังนี้ ช่วงที่ 1 เวลา 8:00 - 10:30 น. เป็นช่วงที่ใช้การเปิดประตูหน้าต่างในการระบายอากาศ มีค่าความเข้มข้นอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ใกล้เคียงกับห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 2 และนอกห้องเรียนอนุบาล โดยห้องเรียนอนุบาลชั้นปีที่ 3 เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในช่วงที่ 2 เวลา 10:30 - 12:00 น เป็นช่วงที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศแต่ยังไม่มีการใช้งานเครื่องเติมอากาศสะอาด ทำให้ค่าความเข้มข้นอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ลดลงที่อยู่ในช่วง 9-10 มคก./ลบ.ม. เมื่อถึงช่วงที่ 3 เวลา 12:00 น. เป็นช่วงที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศร่วมกับเครื่องเติมอากาศสะอาด ทำให้ค่าความเข้มข้น

อนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ลดลงอยู่ในช่วงประมาณ 2 มคก./ลบ.ม. และช่วงที่ 4 เวลา 14:00 น. เป็นช่วงที่ปิดเครื่องปรับอากาศกลับมาเปิดประตูหน้าต่างทำให้ค่าความเข้มข้นอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เพิ่มขึ้นอยู่ในระดับใกล้เคียงกับห้องเรียนอนุบาลชั้นปี 2 และนอกห้องเรียน ดังนั้นช่วงที่ใช้การระบายอากาศด้วยการเปิดประตูและหน้าต่างจะทำให้ค่าความเข้มข้นอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ใกล้เคียงหรือเท่ากับบรรยากาศภายนอกอาคาร ถึงแม้ว่าการใช้เครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียวจะสามารถช่วยลดอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนได้ แต่หากมีการเปิดใช้งานเครื่องเติมอากาศสะอาดร่วมด้วยจะทำให้ค่าความเข้มข้นอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ลดลงได้เร็วกว่า แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภูมิการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในห้องอากาศสะอาดความดันบวก วันที่ 16 กันยายน 2567

จากสถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเขตพื้นที่ดุสิต กรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 23 มกราคม 2568 จากข้อมูลของ Air4thai (สถานีริมสวนหย่อมตรงข้ามสำนักงานเขตดุสิต) พบว่าค่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน มีค่าสูงสุด 129 มคก./ลบ.ม. ซึ่งสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด โดยโรงเรียนวัดราชผาติการามตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ดุสิต ซึ่งจากสถานการณ์ดังกล่าวทางโรงเรียนวัดราชผาติการรามได้มีการใช้งานห้องอากาศสะอาดความดันบวก (Positive Pressure Fresh air System) พบว่าค่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณโรงเรียนมีค่าสูงสุด 125 มคก./ลบ.ม. ในส่วนห้องเรียนอากาศสะอาดความดันบวก สามารถลดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ให้อยู่ในช่วง 3-5 มคก./ลบ.ม. แสดงดังรูปที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าฝุ่นละอองบริเวณโรงเรียน พบว่าห้องเรียนอากาศสะอาดความดันบวกสามารถป้องกันฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนได้ 93 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 7 แผนภูมิการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ภายในห้องอากาศสะอาดความดันบวก วันที่ 23 มกราคม 2568

6. สรุปผลการศึกษา

การใช้งานห้องอากาศสะอาดความดันบวก (Positive Pressure Fresh air System) ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดนั้น จำเป็นต้องมีการปิดประตูหน้าหน้าต่าง ซึ่งการปิดประตูหน้าต่างนั้นอาจทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นมีการเปิดเครื่องปรับอากาศร่วมกับเครื่องเติมอากาศสะอาด ซึ่งลักษณะการใช้งาน ห้องเรียนอนุบาลของโรงเรียนวัดราชผาติการรามนั้น แบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเรียนตอนเช้าเป็นช่วงที่ไม่ใช้งาน เครื่องปรับอากาศโดยจะเป็นการเปิดประตูหน้าต่างเพื่อถ่ายเทอากาศ และช่วงนอนกลางวันจึงจะมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศกับเครื่องเติมอากาศสะอาด

ในปัจจุบันผู้คนส่วนใหญ่อาจจะยังไม่เห็นความสำคัญของคุณภาพอากาศภายในอาคาร อาจเนื่องมาจากการขาดองค์ความรู้หรือการได้รับความรู้/ข้อมูล ที่ไม่ชัดเจนเกี่ยวกับคุณภาพอากาศ ภายในอาคารหรือห้องเรียนอากาศสะอาด ทำให้มักคิดว่าการอยู่ในบ้านหรือในอาคารจะช่วยป้องกันมลพิษจาก ภายนอกได้ แต่เมื่ออยู่ในบ้านหรือในอาคารที่มีระบบการถ่ายเทอากาศไม่ดีพอนานๆ กลับพบกลุ่มอาการที่เรียกว่า Sick Building Syndrome เช่น มีการมึนหัว ปวดหัว การระคายเคืองผิวหนังและตา การหายใจไม่สะดวก ไอ หรือจาม เป็นต้น ดังนั้นการอบรมให้ความรู้ สร้างความเข้าใจ และความตระหนักรู้เกี่ยวกับความสำคัญของคุณภาพอากาศภายในอาคาร ให้กับบุคลากร หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับบุคคลในกลุ่มเปราะบาง และประชาชนทั่วไปเพื่อคุณภาพชีวิตและคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่ดี มีความจำเป็นอย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมอนามัย (2563, ธันวาคม). แนวทางป้องกันและดูแลสุขภาพจากฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน สำหรับ สถานพัฒนาเด็กปฐมวัย. https://hia.anamai.moph.go.th/web-upload/12xb1c83353535e43f224a05e184d8fd75a/m_magazine/35644/2924/file_download/afa9e7cdcb54dd9be0b2cb3d7bb1abfe.pdf

[2] Phongsulee Jeerawattanarak. (2567, 21 มีนาคม). สสส. สานพลังภาคีเครือข่าย เดินหน้าโครงการ "ห้องเรียนสู้ฝุ่น" ระยะที่ 2 มุ่งสร้างนโยบายรับมือวิกฤต PM2.5 พร้อมขยายผล 437 โรงเรียนทั่ว กทม. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ: https://www.thaihealth.or.th/?p=359015

[3] ตุลย์ มณีวัฒนา. (2563, 3 กุมภาพันธ์). OAU คืออะไร เกี่ยวอะไรกับฝุ่น PM2.5. [รูปภาพ]. Facebook. https://www.facebook.com/tul2562/posts/oau-คืออะไร-เกี่ยวอะไรกับฝุ่น-pm25oau-ย่อมาจาก-outside-air-unit-จริงๆ-ผมน่าจะเรี/488106482080833/

[4] อริสา กาญจนากระจ่าง และ ภารดี ช่วยบำรุง. (2560). การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการระบายอากาศภายในห้องเรียน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 25(6), 960-974.

[5] ณัชจารีย์กร สวัสดิ์มงคลกุล และ ชุมพร มูรพันธุ์. (2558). การรับรู้คุณภาพอากาศภายในอาคารสาธารณะ. *Veridian E-Journal Slipakorn University,* 8(2), 158 -1594.

[6] จิตวิสุทธิ์ ทองสัมฤทธิ์. (2567). *การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพของการพัฒนาห้องอากาศสะอาดและระบบการจัดการคุณภาพอากาศภายในอาคารศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก ในจังหวัดเชียงใหม่.* [ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่]. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,เชียงใหม่. https://cmudc.library.cmu.ac.th/frontend/Info/item/dc:180366

[7] ปรีย์นิต ใหม่เจริญศรี, ศิริลักษ์ กลิ่นมาลี และสุนิสา แวงชัยภูมิ. (2567). การศึกษารูปแบบการจัดการมลภาวะอากาศภายในอาคารในพื้นที่เขตเมือง กรณีศึกษาอาคารศูนย์พัฒนาเด็กปฐมวัยและหน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ. *วารสารศูนย์อนามัยที่ 7 ขอนแก่น*, 16(3), 29-46.

[8] กรมอนามัย. (2565). ประกาศกรมอนามัย เรื่อง ค่าเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคารสาธารณะ พ.ศ.2565. https://laws.anamai.moph.go.th/th/practices/download/?did=211864&id=99012&reload=

กระบวนทัศน์ของเศรษฐกิจเมืองสู่นวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนและการรักษาสมดุลระบบนิเวศ

ชนาธิป สารีผล* และประจวบ ทองศรี

สาขาการศึกษาตลอดชีวิต คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร
* Corresponding author: chanathip.sareephol@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้มุ่งศึกษากระบวนทัศน์ของเศรษฐกิจเมืองที่ปรับเปลี่ยนสู่แนวทางนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนและการรักษาสมดุลของระบบนิเวศ โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจกับการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนในบริบทของเมือง โดยทำการศึกษา วิเคราะห์ สังเคราะห์ ทบทวนวรรณกรรม และศึกษากรณีตัวอย่างจากเมืองที่ประสบความสำเร็จในการนำนวัตกรรมมาใช้เพื่อความยั่งยืนควบคู่กับการพัฒนาเศรษฐกิจ ของเมือง ประกอบด้วย 1) โคเปนเฮเกน ประเทศเดนมาร์ก 2) ประเทศสิงคโปร์ และ 3) อัมสเตอร์ดัม ประเทศเนเธอร์แลนด์ และ เกี่ยวกับการพัฒนาเศรษฐกิจเมืองที่สามารถดำเนินไปควบคู่กับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้

ผลการศึกษา พบว่า กระบวนทัศน์ใหม่ของเศรษฐกิจเมือง คือการประยุกต์ใช้แนวคิด การพัฒนาอย่างยั่งยืน เศรษฐกิจหมุนเวียน เศรษฐกิจสีเขียว และแนวคิดเรื่องนวัตกรรมและเทคโนโลยีอัจฉริยะ แล้วนำมาสังเคราะห์เพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อแนวทางในการออกแบบนโยบายสาธารณะสำหรับลดปัญหาความไม่สมดุลระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจและสมดุลระบบนิเวศ โดยสามารถดำเนินการให้เป็นรูปธรรมได้ ดังนี้ (1) กำหนดนโยบายและแผนกลยุทธ์ที่เป็นรูปธรรม (2) สร้างการจัดการขยะและมลพิษทางอากาศอย่างเป็นระบบ (3) พัฒนาระบบขนส่งมวลชนที่เชื่อมโยงและอย่างครบวงจร (4) ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของภาคประชาชน ภาครัฐ และภาคเอกชน และ (5) สนับสนุนการใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เศรษฐกิจเมือง / นวัตกรรมเพื่อความยั่งยืน / สมดุลระบบนิเวศ / เศรษฐกิจหมุนเวียน

Urban Economy Paradigm to Innovation for Sustainability and Ecological Balance

Chanathip Sareephol* and Prachuab Tongsri

Department of Lifelong Education, Faculty of Education, Srinakharinwirot University, Bangkok
* Corresponding author: chanathip.sareephol@g.swu.ac.th

Abstract

This academic article aims to study the paradigm of urban economy that has been transformed into an innovation-based approach for sustainability and ecological balance by analyzing the relationship between economic growth and sustainable environmental management in the context of the city. The study, analysis, synthesis, literature review, and case studies from cities that have successfully applied innovation for sustainability along with their economic development are conducted: 1) Copenhagen, Denmark 2) Singapore and 3) Amsterdam, Netherlands. The study also examines the development of urban economy that can be carried out alongside environmental conservation.

The results of the study found that the new paradigm of urban economy is the application of the concepts of sustainable development, circular economy, green economy, and the concept of innovation and smart technology. These concepts are then synthesized to be useful for public policy design guidelines to reduce the imbalance between economic development and ecological balance. These can be implemented in the following ways: (1) Establish concrete policies and strategies; (2) Create systematic waste and air pollution management; (3) Develop a mass transit system that is connected and comprehensive; (4) Promote the participation of the public, government, and private sectors and (5) Support the efficient use of technology and innovation.

Keywords: Urban economy / Innovation for sustainability / Ecological balance / Circular economy

1. บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของการพัฒนาเศรษฐกิจเมืองในบริบทของการเปลี่ยนแปลงทางสิ่งแวดล้อม ในศตวรรษที่ 21 การเติบโตของเศรษฐกิจเมืองมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาสังคมและคุณภาพชีวิตของประชากร เมืองเป็นศูนย์กลางของกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยอุตสาหกรรม เทคโนโลยี และนวัตกรรมทางธุรกิจ [1] อย่างไรก็ตาม การขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็วทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เช่น มลพิษทางอากาศ น้ำเสีย ปัญหาขยะ และการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างสิ้นเปลือง [2] ปัจจุบันมีแนวคิดมากมาย ได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากสามารถช่วยลดผลกระทบของการพัฒนาเมืองต่อระบบนิเวศและส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน ปัญหาและความท้าทายในการเติบโตทางเศรษฐกิจของเมืองอุตสาหกรรมที่ส่งผลต่อระบบนิเวศ แม้ว่าการพัฒนาเศรษฐกิจเมืองจะนำไปสู่การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและโอกาสทางอาชีพ แต่ในขณะเดียวกันก็สร้างแรงกดดันต่อระบบนิเวศอย่างมีนัยสำคัญ เมืองเผชิญกับความท้าทายด้านมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตพลังงานและการขนส่ง ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพของประชาชนและทำให้เกิดภาวะโลกร้อน [3] นอกจากนี้ ความต้องการใช้ทรัพยากรที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำสะอาดและพื้นที่สีเขียวในเมือง ส่งผลให้ระบบนิเวศเมืองขาดความสมดุลและเกิดผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพ [4]

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้มุ่งศึกษากระบวนทัศน์ใหม่ของเศรษฐกิจเมืองที่เปลี่ยนแปลงไปสู่แนวทางนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนและการรักษาสมดุลระบบนิเวศ โดบทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้ วิเคราะห์แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับเศรษฐกิจเมืองที่ยั่งยืนและความสัมพันธ์กับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ศึกษาแนวคิด ผลกระทบของการเติบโตทางเศรษฐกิจเมืองต่อระบบนิเวศและแนวทางการบรรเทาผลกระทบดังกล่าว สำรวจกรณีศึกษาของเมืองและประเทศที่ประสบความสำเร็จในการนำนวัตกรรมมาใช้เพื่อสร้างความสมดุลระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม และเสนอแนวทางเชิงนโยบายสำหรับการพัฒนาเศรษฐกิจเมืองที่สามารถเติบโตควบคู่ไปกับการรักษาสมดุลของระบบนิเวศ การศึกษานี้คาดหวังว่าจะช่วยส่งเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับแนวทางการพัฒนาเมืองที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการด้านเศรษฐกิจโดยไม่ทำลายสมดุลของระบบนิเวศ และสามารถนำไปใช้เป็นกรอบแนวทางในการกำหนดนโยบายเพื่อพัฒนาเมืองที่ยั่งยืนในอนาคต

2. กรอบแนวคิดและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีเศรษฐกิจเมืองและความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจเมือง (Urban Economics) เป็นสาขาที่ศึกษาการพัฒนาเมืองในแง่ของการจัดสรรทรัพยากร โครงสร้างพื้นฐาน และปัจจัยทางเศรษฐกิจที่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของประชาชน [5] ทฤษฎีเศรษฐกิจเมืองมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการขยายตัวของเมืองนำไปสู่การใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ หากไม่มีมาตรการควบคุมที่เหมาะสม [4] ระบุว่าการขยายตัวของเมืองทั่วโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยภายในปี 2030 พื้นที่เมืองจะเพิ่มขึ้นกว่า 1.2 ล้านตารางกิโลเมตร ซึ่งอาจนำไปสู่การทำลายระบบนิเวศและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงขึ้น ในขณะเดียวกัน การแก้ไขปัญหาดังกล่าวการใช้แนวคิด การพัฒนาอย่างยั่งยืน เศรษฐกิจสีเขียว เศรษฐกิจหมุนเวียน และนวัตกรรมและเทคโนโลยีอัจฉริยะในการบริหารทรัพยากรเมือง สามารถช่วยแก้ไข บรรเทา และป้องกันปัญหา เพื่อความสมดุลระหว่างการพัฒนาเมืองสู่นวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนและการรักษาสมดุลระบบนิเวศได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development) เป็นแนวคิดที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง โดยมีเป้าหมายหลักคือการตอบสนองความต้องการของคนรุ่นปัจจุบันโดยไม่กระทบต่อความสามารถของคนรุ่นหลังในการใช้ทรัพยากร องค์การสหประชาชาติได้กำหนด เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ซึ่งรวมถึงประเด็นเกี่ยวกับเมืองที่ยั่งยืนและการใช้พลังงานสะอาด [6]

2) แนวคิดเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้เมืองสามารถเติบโตทางเศรษฐกิจโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม [7] ระบุว่าเศรษฐกิจสีเขียวมุ่งเน้นการลดคาร์บอน ลดของเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร เช่น การใช้พลังงานหมุนเวียนและการพัฒนาระบบขนส่งที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เมืองต่าง ๆ ทั่วโลก เช่น โคเปนเฮเกน และสิงคโปร์ ได้นำแนวทางนี้มาใช้ผ่านนโยบายการลดก๊าซเรือนกระจกและการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่ยั่งยืน [8]

3) แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) เป็นแนวคิดที่ได้รับความสนใจอย่างมากในการพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน โดยมีหลักการสำคัญคือ การลดของเสีย (Reduce), การนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) และการรีไซเคิล (Recycle) หรือที่เรียกว่า 3R [9] แทนที่ระบบเศรษฐกิจแบบดั้งเดิมที่ใช้รูปแบบ "ผลิต-ใช้-ทิ้ง" (Linear Economy) ในภาคเมือง การนำเศรษฐกิจหมุนเวียนมาใช้สามารถช่วยลดปริมาณขยะ ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และสร้างระบบนิเวศที่ยั่งยืน

4) แนวคิดเรื่องนวัตกรรมและเทคโนโลยีอัจฉริยะในการบริหารทรัพยากรเมือง ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา แนวคิดเมืองอัจฉริยะ (Smart City) ได้กลายเป็นแนวทางสำคัญในการบริหารทรัพยากรเมืองให้มีประสิทธิภาพ เมืองอัจฉริยะใช้เทคโนโลยีดิจิทัล เช่น Internet of Things (IoT), ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และ Big Data เพื่อช่วยจัดการพลังงาน การขนส่ง และของเสียอย่างมีประสิทธิภาพ [10]

จากการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า กระบวนทัศน์ของเศรษฐกิจเมืองในปัจจุบันต้องปรับเปลี่ยนไปสู่แนวทางที่เน้นความยั่งยืนและการรักษาสมดุลของระบบนิเวศ การพัฒนาเมืองไม่สามารถดำเนินไปโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม การใช้แนวทาง เศรษฐกิจสีเขียว เมืองอัจฉริยะ และเศรษฐกิจหมุนเวียน เป็นแนวทางที่ช่วยให้เมืองสามารถเติบโตทางเศรษฐกิจได้โดยไม่สร้างภาระต่อระบบนิเวศ ทั้งนี้ ความร่วมมือระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาชนเป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างความยั่งยืนให้กับเมืองในอนาคต

3. กรณีศึกษาเมืองที่ประสบความสำเร็จเรื่องเศรษฐกิจเมืองสู่นวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนและการรักษาสมดุลระบบนิเวศ

การพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืนเป็นเป้าหมายที่สำคัญของศตวรรษที่ 21 หลายเมืองทั่วโลกได้ดำเนินมาตรการที่ช่วยให้เศรษฐกิจเติบโตควบคู่ไปกับการรักษาสมดุลของระบบนิเวศ บทนี้นำเสนอกรณีศึกษาของ 3 เมืองที่ประสบความสำเร็จ ได้แก่ โคเปนเฮเกน สิงคโปร์ และอัมสเตอร์ดัม โดยอ้างอิงจาก Global Smart City Index คือ ดัชนีจัดอันดับเมืองอัจฉริยะระดับโลก ซึ่งจัดทำโดย IMD (International Institute for Management Development) ร่วมกับ Singapore University of Technology and Design (SUTD) โดยจากการจัดอันดับ IMD Smart City Index 2025 [11] ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้วัดความสามารถของเมืองต่าง ๆ ทั่วโลกในการนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชน โดยอิงจากความคิดเห็นของประชาชนในแต่ละเมืองเกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐานและบริการดิจิทัล เช่น ด้านสุขภาพ การเดินทาง โอกาสทางเศรษฐกิจ และการบริหารจัดการ มีเมืองทั้งหมด 146 แห่งจะถูกจัดอันดับจากผลสำรวจประชาชนเมืองละ 120 คน โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 3 ปี ในผลการจัดอันดับปี 2025 พบว่า ได้แก่ โคเปนเฮเกน สิงคโปร์ และอัมสเตอร์ดัม เมืองเหล่านี้เป็นเมืองที่อยู่ในกลุ่มที่มีคะแนนสูงสุด 20 ประเทศแรก โดยสามารถวิเคราะห์กลยุทธ์ นโยบาย ปัจจัยความสำเร็จ และบทเรียนที่ได้รับ ดังนี้

3.1 เมืองโคเปนเฮเกน ประเทศเดนมาร์ก เมืองคาร์บอนต่ำและระบบขนส่งสีเขียว การพัฒนาเศรษฐกิจควบคู่ไปกับการรักษาสมดุลระบบนิเวศ โคเปนเฮเกนเป็นหนึ่งในเมืองที่ยั่งยืนที่สุดของโลก โดยมีเป้าหมายที่จะเป็นเมือง Carbon Neutral ภายในปี 2025 เมืองนี้ลงทุนในพลังงานหมุนเวียนและโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [12]

กลยุทธ์และนโยบายที่ถูกนำมาใช้ คือ ส่งเสริมการใช้จักรยาน โดยสร้างโครงข่ายจักรยานมากกว่า 400 กิโลเมตร และออกนโยบายภาษีเพื่อจำกัดการใช้รถยนต์ พัฒนาโรงงานพลังงานขยะ เช่น โรงไฟฟ้า Amager Bakke ซึ่งสามารถผลิตพลังงานสะอาดจากขยะในเมือง รวมถึงขยายพลังงานลมและพลังงานความร้อนใต้พิภพ แทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล [13] ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จและบทเรียนที่ได้รับ คือ ความร่วมมือระหว่างภาครัฐ เอกชน และประชาชน โครงสร้างพื้นฐานที่ส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาด และการออกแบบนโยบายที่สนับสนุนพฤติกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

3.2 ประเทศสิงคโปร์ เมืองอัจฉริยะที่บริหารจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ การพัฒนาเศรษฐกิจควบคู่ไปกับการรักษาสมดุลระบบนิเวศ สิงคโปร์เป็นเมืองที่มีทรัพยากรจำกัด แต่สามารถพัฒนาเศรษฐกิจควบคู่ไปกับการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้ผ่านเทคโนโลยีอัจฉริยะและการวางผังเมืองที่มีประสิทธิภาพ [1]

กลยุทธ์และนโยบายที่ถูกนำมาใช้ คือ Smart Nation Initiative ใช้เทคโนโลยี Big Data และ IoT บริหารพลังงาน น้ำ และการขนส่ง โครงการ NEWater รีไซเคิลน้ำเสียให้กลายเป็นน้ำดื่มคุณภาพสูง [14] และ Green Mark Scheme ระบบการรับรองอาคารสีเขียวเพื่อลดการใช้พลังงานและน้ำ ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จและบทเรียนที่ได้รับ คือ การสนับสนุนจากภาครัฐและการบังคับใช้กฎหมายสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดเพื่อกำกับดูแลการปล่อยมลพิษที่จริงจัง มีการลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวและเทคโนโลยี อีกทั้งยังมีการสร้างแรงจูงใจให้ภาคธุรกิจและประชาชนเข้าร่วมโครงการ

3.3 เมืองอัมสเตอร์ดัม ประเทศเนเธอร์แลนด์ เป็นเมืองแรก ๆ ในโลกที่นำแนวคิด เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) มาใช้ในระดับเมืองอย่างจริงจังเพื่อลดขยะและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า [15]

กลยุทธ์และนโยบายที่ถูกนำมาใช้ คือ นโยบาย "Amsterdam Circular 2025" สนับสนุนการรีไซเคิลและใช้ทรัพยากรซ้ำ Zero Waste Policy ลดขยะพลาสติกและส่งเสริมการใช้วัสดุชีวภาพ รวมถึงระบบการขนส่งคาร์บอนต่ำ ส่งเสริมการใช้จักรยาน รถไฟฟ้า และเรือพลังงานไฟฟ้าในคลองเมือง ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จและบทเรียนที่ได้รับ คือ นโยบายภาครัฐที่ส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียน เทคโนโลยีรีไซเคิลและการจัดการขยะที่มีประสิทธิภาพ ความร่วมมือระหว่างรัฐบาลและภาคเอกชน

ตารางสรุปข้อมูลการวิเคราะห์กรณีศึกษาจากเมืองที่ประสบความสำเร็จเรื่องเศรษฐกิจเมืองสู่นวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนและการรักษาสมดุลระบบนิเวศ

เมือง	แนวทางการพัฒนา	กลยุทธ์และนโยบายหลัก	ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จ
โคเปนเฮเกน (เดนมาร์ก)	เมืองคาร์บอนต่ำและระบบขนส่งสีเขียว	- ส่งเสริมการใช้จักรยานและระบบขนส่งสาธารณะ - ใช้พลังงานหมุนเวียนและโครงสร้างพื้นฐานสีเขียว	- การมีส่วนร่วมของประชาชน - การลงทุนของรัฐด้านพลังงานสะอาด
สิงคโปร์	เมืองอัจฉริยะและระบบนิเวศสมดุล	- โครงการ "Green Plan 2030" - นโยบายอนุรักษ์พื้นที่สีเขียว	- ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี - การวางแผนเมืองที่มีประสิทธิภาพ
อัมสเตอร์ดัม (เนเธอร์แลนด์)	เศรษฐกิจหมุนเวียนและเมืองยั่งยืน	- การส่งเสริมการใช้วัสดุรีไซเคิลในอุตสาหกรรม - นโยบายลดขยะและการบริโภคที่ยั่งยืน	- การสนับสนุนจากรัฐบาล - ความร่วมมือของภาคธุรกิจและชุมชน

ที่มา: การสังเคราะห์ข้อมูลของผู้จัดทำ

4. สรุปผลการศึกษากระบวนทัศน์ของเศรษฐกิจเมืองสู่นวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนและการรักษาสมดุลระบบนิเวศ

การพัฒนาเศรษฐกิจเมืองในศตวรรษที่ 21 กำลังเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ จากกระบวนทัศน์เดิมที่การเติบโตด้าน

อุตสาหกรรมที่เน้นการขยายตัวทางเศรษฐกิจโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สู่กระบวนทัศน์ใหม่ที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสร้างความยั่งยืนในระยะยาว ได้แก่ แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development) แนวคิดเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) แนวคิดเรื่องนวัตกรรมและเทคโนโลยีอัจฉริยะในการบริหารทรัพยากรเมือง และสามารถทำกระบวนทัศน์ใหม่ให้เป็นรูปธรรมได้โดยใช้วิธีการ ดังนี้

4.1 กำหนดนโยบายและแผนกลยุทธ์ที่เป็นรูปธรรม แม้ว่าประเทศไทยมีแผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) ซึ่งให้ความสำคัญกับการพัฒนาเมืองอัจฉริยะและเศรษฐกิจหมุนเวียน แต่การดำเนินงานยังขาดความต่อเนื่องและไม่มีกรอบการ

ปฏิบัติที่ชัดเจนในการบูรณาการนวัตกรรมเข้ากับการพัฒนาเมือง [16] การกำหนดนโยบายเชิงกลยุทธ์เป็นจุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนผ่านสู่เศรษฐกิจเมืองที่ยั่งยืน ซึ่งควรมีการกำหนดวิสัยทัศน์ เป้าหมาย และตัวชี้วัดที่ชัดเจน โดยมุ่งเน้นการบูรณาการมิติทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมเข้าด้วยกัน นโยบายต้องถูกแปลงเป็นแผนปฏิบัติการที่สามารถนำไปใช้จริง มีงบประมาณรองรับ และมีระบบติดตามประเมินผลอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดผลสัมฤทธิ์ที่เป็นรูปธรรมต่อคุณภาพชีวิตประชาชนและความยั่งยืนของเมือง

4.2 สร้างการจัดการขยะและมลพิษทางอากาศอย่างเป็นระบบ เมืองในยุคใหม่ต้องมีระบบจัดการขยะที่ทันสมัยและครอบคลุม ตั้งแต่ต้นทาง เช่น การลดใช้วัสดุ การแยกขยะในครัวเรือน ไปจนถึงปลายทาง เช่น การรีไซเคิลและกำจัดขยะอย่างปลอดภัย ควบคู่กับการบริหารคุณภาพอากาศโดยใช้เทคโนโลยีตรวจวัดแบบเรียลไทม์ เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อปัญหามลพิษได้อย่างทันท่วงที ลดผลกระทบต่อสุขภาพประชาชน และสนับสนุนเป้าหมายคาร์บอนต่ำของเมือง

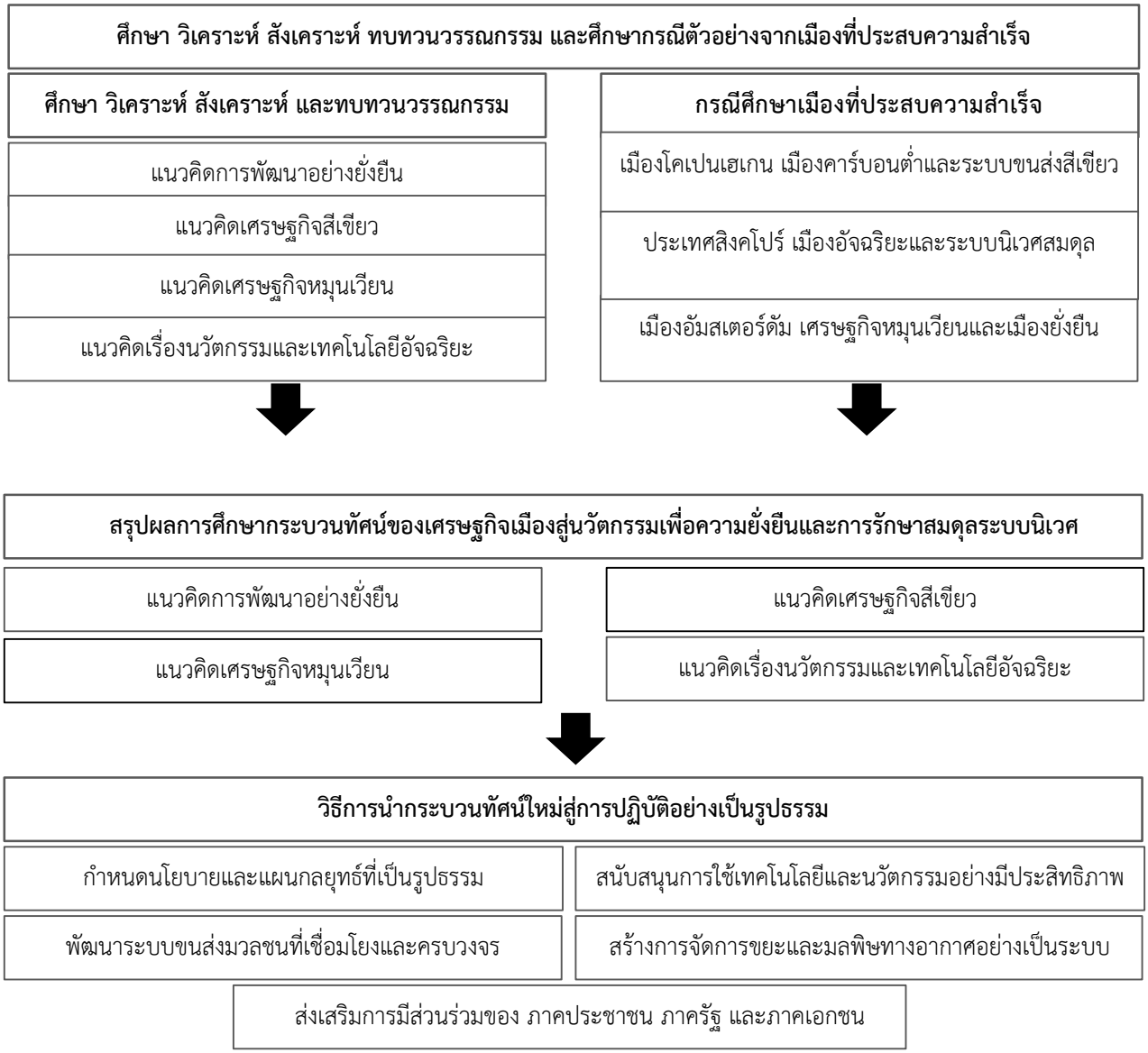
4.3 พัฒนาระบบขนส่งมวลชนที่เชื่อมโยงและครบวงจร การพัฒนาระบบขนส่งมวลชนเป็นหัวใจของการลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิง ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และลดความแออัดในเมือง ควรมีการวางผังระบบขนส่งที่ครอบคลุมทุกพื้นที่ และเชื่อมโยงระหว่างระบบต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น รถไฟฟ้า รถเมล์ ทางเดินเท้า และทางจักรยาน เพื่อส่งเสริมการเดินทางอย่างยั่งยืน โดยให้ความสำคัญกับการเข้าถึงได้ของทุกกลุ่มประชากร

4.4. ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของภาคประชาชน ภาครัฐ และภาคเอกชน การพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืนไม่สามารถเกิดขึ้นได้จากภาครัฐเพียงฝ่ายเดียว แต่ต้องอาศัยความร่วมมือจากภาคเอกชน ชุมชนท้องถิ่น และประชาชนทุกกลุ่มในสังคม ควรมีการจัดพื้นที่และกระบวนการรับฟังความคิดเห็น การเปิดเผยข้อมูลอย่างโปร่งใส และการสร้างกลไกความร่วมมือแบบภาคี (Partnership) เพื่อให้เกิดการวางแผน การดำเนินงาน และการรับผลประโยชน์ร่วมกันอย่างแท้จริง

4.5 สนับสนุนการใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าประเทศไทยจะมีโครงการพัฒนาเมืองอัจฉริยะ (Smart City) ในบางจังหวัด เช่น ภูเก็ต ขอนแก่น และเชียงใหม่ แต่การนำเทคโนโลยีมาใช้ในการจัดการเมืองยังคงอยู่ในช่วงเริ่มต้นและขาดความต่อเนื่อง [17] เทคโนโลยีและนวัตกรรมควรมีบทบาทสำคัญมากว่านี้ในการขับเคลื่อนเมืองให้เข้าสู่ความยั่งยืน ทั้งในด้านการบริหารจัดการ เช่น Smart Grid, ระบบตรวจวัดอัตโนมัติ และการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ในการตัดสินใจ รวมถึงนวัตกรรมทางธุรกิจและบริการสาธารณะที่ลดทรัพยากรและพลังงาน เมืองควรมีการลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานด้านดิจิทัล ส่งเสริมนวัตกรรมจากภาคเอกชน และพัฒนาทักษะของคนในเมืองให้สามารถใช้งานเทคโนโลยีเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตและความยั่งยืนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สรุปได้ว่าเพื่อสร้างเครือข่ายการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและส่งเสริมคุณภาพชีวิตของประชาชน ทั้งนี้การส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียนและการพัฒนาเมืองอัจฉริยะเป็นกลยุทธ์สำคัญที่ช่วยสร้างสมดุลระหว่างการพัฒนาเศรษฐกิจกับการรักษาสมดุลของระบบนิเวศ ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายและวางแผนพัฒนาเมืองที่ยั่งยืนควบคู่กับการพัฒนาเศรษฐกิจของเมืองในอนาคต

แผนผังสรุปความคิดรวบยอด กระบวนทัศน์ของเศรษฐกิจเมืองสู่นวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนและการรักษาสมดุลระบบนิเวศ



ที่มา: การสังเคราะห์ข้อมูลของผู้จัดทำ

5. ข้อเสนอแนะเพื่อให้กระบวนทัศน์เศรษฐกิจเมืองสู่นวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนเกิดขึ้นจริง

การเปลี่ยนผ่านของเศรษฐกิจเมืองสู่แนวทางที่ยั่งยืนจำเป็นต้องอาศัยนโยบายที่ชัดเจน การใช้เทคโนโลยี และความร่วมมือจากทุกภาคส่วน เมืองชั้นนำของโลก เช่น โคเปนเฮเกน สิงคโปร์ และอัมสเตอร์ดัม ได้พิสูจน์แล้วว่าการเติบโตทางเศรษฐกิจสามารถดำเนินไปควบคู่กับการรักษาสมดุลของระบบนิเวศ อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยยังเผชิญข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ นโยบายที่ไม่ต่อเนื่อง ระบบขนส่งมวลชนที่ขาดการเชื่อมโยง การจัดการขยะและมลพิษที่ไม่มีประสิทธิภาพ การใช้เทคโนโลยีที่ยังจำกัด และการมีส่วนร่วมของประชาชนที่ไม่เพียงพอ หากต้องการให้แนวทางเศรษฐกิจเมืองสู่นวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนเกิดขึ้นจริง ประเทศไทยควรมุ่งเน้นการพัฒนาใน 5 ด้านหลัก ได้แก่

1) **การกำหนดนโยบายที่เป็นรูปธรรมและต่อเนื่อง** – จัดทำแผนแม่บทระยะยาวที่กำหนดเป้าหมายการพัฒนาเมืองสีเขียว พร้อมมาตรการจูงใจทางเศรษฐกิจและข้อกำหนดทางกฎหมาย
2) **สร้างการจัดการขยะและมลพิษทางอากาศอย่างเป็นระบบ** – ส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียน ลดขยะและของเสียผ่านมาตรการ 3R และลงทุนในโรงไฟฟ้าพลังงานจากขยะ
3) **การพัฒนาระบบขนส่งมวลชนที่เชื่อมโยงและครบวงจร** – ขยายโครงข่ายรถไฟฟ้า ส่งเสริมการใช้พาหนะพลังงานสะอาด และนำเทคโนโลยีมาบริหารจัดการจราจร
4) **การสร้างการมีส่วนร่วมจากภาคประชาชน ภาครัฐ และภาคเอกชน** – ส่งเสริมความร่วมมือในโครงการพัฒนาเมืองสีเขียว และให้ประชาชนมีบทบาทในการออกแบบนโยบายเมือง
5) **สนับสนุนการใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ** พัฒนา Smart City ผ่าน Big Data, IoT และระบบโครงข่ายดิจิทัลที่เชื่อมโยงกัน

หากประเทศไทยสามารถดำเนินการตามแนวทางดังกล่าวได้อย่างเป็นรูปธรรมและต่อเนื่อง การพัฒนาเศรษฐกิจเมืองสู่นวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนจะสามารถเกิดขึ้นได้จริง นำไปสู่เมืองที่สมดุลทั้งด้านเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และคุณภาพชีวิตของประชาชน

เอกสารอ้างอิง

[1] United Nations. (2019)1. *The Sustainable Development Goals Report*. United Nations Publications.
[2] World Bank. (2021)1. *Thailand: Environmental Sustainability and Waste Management*. Retrieved from https://www.worldbank.org
[3] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
[4] Seto, K. C., Guneralp, B., & Hutyra, L. R. (2017). *Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools*. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 114*(34), 8939-8944.
[5] Glaeser, E. (2011). *Triumph of the City*. Penguin Press.
[6] United Nations. (2019)2. *World Urbanization Prospects 2019*. United Nations Department of Economic and Social Affairs.
[7] United Nations Environment Programme. (2011). Towards a green economy: Pathways to sustainable development and poverty eradication. UNEP. https://www.unep.org/resources/green-economy
[8] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2020). Smart Cities and Inclusive Growth. OECD Publishing.
[9] Ellen MacArthur Foundation. (2020). *Amsterdam Circular: Vision and roadmap for the city*. Retrieved from https://www.ellenmacarthurfoundation.org
[10] Batty, M. (2018). *Inventing Future Cities*. MIT Press.
[11] IMD Business School. (2025). *Smart City Index 2025 Report*. IMD World Competitiveness Center. https://www.imd.org/smart-city-observatory/home/
[12] C40 Cities. (2020). *Copenhagen: Carbon neutral by 2025*. Retrieved from https://www.c40.org
[13] World Economic Forum. (2021). *How Copenhagen plans to become the world's first carbon-neutral city*. Retrieved from https://www.weforum.org
[14] PUB Singapore. (2020). *NEWater: Singapore's answer to water sustainability*. Retrieved from https://www.pub.gov.sg
[15] Ellen MacArthur Foundation. (2020). *Circular Economy in Cities*. Retrieved from https://www.ellenmacarthurfoundation.org
[16] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2563). *ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580)*. กรุงเทพฯ: สำนักงาน สภาพัฒน์.
[17] สำนักงานส่งเสริมเศรษฐกิจดิจิทัล. (2565). *การพัฒนาเมืองอัจฉริยะในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม.

เกษตรกรรมที่ยั่งยืน และความมั่นคงทางอาหาร

Oral Presentation

ผลของการเสริมเอนไซม์ช่วยย่อยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งในวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลอง

ศศิกานต์ นันแก้ว[1*], ณัฐปภัสร์ ธนพิมพาวงศ์[2], และดรุณี ศรีชนะ[1]

[1]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
[2]ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์ บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ตำบลคลองกิ่ว อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี
* Corresponding author: sasikan.nunk@dome.tu.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีเยื่อใยสูงมักมีโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (NSP) ซึ่งอาจลดประสิทธิภาพการย่อยและการดูดซึมสารอาหารในไก่เนื้อ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ย่อย NSP สองชนิด ได้แก่ เอนไซม์ไซลาเนสและเอนไซม์รวม (ไซลาเนส เบต้า-กลูคาเนส เซลลูเลส และไซโลกลูคาเนส) ต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลองของวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อ 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม การทดลองเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มเสริมและไม่เสริมเอนไซม์ วิเคราะห์ด้วย t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลการทดลองพบว่า การเสริมเอนไซม์ไซลาเนสไม่ส่งผลต่อค่าการย่อยได้อย่างมีนัยสำคัญในทุกวัตถุดิบ ($P>0.05$) ขณะที่การเสริมเอนไซม์รวมช่วยเพิ่มค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในข้าวเปลือกอย่างมีนัยสำคัญ (61.58% เทียบกับ 60.53%; $P<0.05$) แต่ไม่มีผลในวัตถุดิบอื่น โดยสรุป การเสริมเอนไซม์รวมสามารถช่วยปรับปรุงการย่อยได้ของวัตถุแห้งในข้าวเปลือก ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการใช้แทนวัตถุดิบหลักที่มีราคาสูงในสูตรอาหารสัตว์ การใช้เอนไซม์ในอาหารที่มีวัตถุดิบท้องถิ่นหรือวัตถุดิบรองอย่างข้าวเปลือกจึงเป็นแนวทางที่ช่วยลดต้นทุนการผลิตอาหารสัตว์และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรในประเทศอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังมีแนวโน้มส่งผลดีต่อการผลิตสัตว์ปีกในเชิงอุตสาหกรรม โดยเฉพาะด้านการจัดการต้นทุน การเพิ่มอัตราการเปลี่ยนอาหาร และความยั่งยืนของระบบการผลิต

คำสำคัญ: วัตถุดิบอาหารสัตว์ / ไก่เนื้อ / เอนไซม์ย่อยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง / อุตสาหกรรมอาหารสัตว์

Effect of Supplementing Non-Starch Polysaccharide-Degrading Enzymes in Broiler Feed Ingredients on *In Vitro* Dry Matter Digestibility

Sasikan Nunkaew[1*], Natpaphat Thanapimpawong[2], and Darunee Srichana[1]

[1]*Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani 12120, Thailand*
[2]*Feed Innovation and Research Center 1 (FRIC), Charoen Pokphand Group Cp., Ltd, Chonbri 20220, Thailand*
* Corresponding author: sasikan.nunk@dome.tu.ac.th

Abstract

Feed ingredients with high fiber content are typically rich in non-starch polysaccharides (NSPs), which are known to adversely affect nutrient digestibility and absorption in broiler chickens. This study aimed to evaluate the effects of supplementing two types of NSP-degrading enzymes xylanase and multi-enzyme complex comprising xylanase, beta-glucanase, cellulase, and xyloglucanase on the in vitro dry matter digestibility (IVDMD) of five broiler feed ingredients: corn, soybean meal, rice bran, paddy rice, and palm kernel meal. A two-treatment comparison (with and without enzyme supplementation) was conducted for each ingredient. IVDMD was determined using a standardized in vitro digestion method, and data were analyzed using independent samples t-tests at a 95% confidence level. The results indicated that xylanase supplementation alone had no significant effect on IVDMD across all ingredients ($P>0.05$). However, the multi-enzyme complex significantly improved the IVDMD of paddy rice (61.58% vs. 60.53%; $P<0.05$), while no significant differences were observed for the other ingredients. In conclusion, the inclusion of a multi-enzyme complex improved the digestibility of paddy rice a locally available, NSP-rich feedstuff with the potential to replace more expensive conventional ingredients in broiler diets. The use of exogenous enzymes in diets containing alternative or non-conventional feed ingredients such as paddy rice may offer a cost-effective strategy to enhance nutrient utilization, reduce feed costs, and promote sustainability in commercial poultry production systems.

Keywords: Feed ingredients / Broiler / Non-starch polysaccharide-degrading enzymes / Poultry feed industry

1. บทนำ

การผลิตปศุสัตว์นั้นมีต้นทุนการผลิตที่ผันผวนตามราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่คิดเป็น 60 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด โดยต้นทุนค่าอาหารสัตว์ปีกประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ มาจากแหล่งของวัตถุดิบที่ให้พลังงาน [1] ปัจจุบันราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์มีการปรับตัวสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากภาวะเศรษฐกิจโลก ราคาน้ำมันดิบ การเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ และสงครามรัสเซีย-ยูเครน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องใช้วัตถุดิบจากพืชที่มีราคาไม่แพงมาเป็นส่วนประกอบในอาหารสัตว์มากขึ้น เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต โดยวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่มีเยื่อใยสูงซึ่งมีส่วนประกอบของโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (Non-Starch Polysaccharides: NSP) ถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารไก่เนื้อ อย่างไรก็ตามการใช้วัตถุดิบดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการย่อยอาหารและการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ เนื่องจากสัตว์ปีกขาดเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลาย NSP [2] แต่หากสามารถปรับปรุงความสามารถในการย่อยและการดูดซึมสารอาหารต่างๆ ในระบบทางเดินอาหารของไก่เนื้อให้ดีขึ้น วัตถุดิบอาหารจากพืชที่มีเยื่อใยสูงที่กล่าวมานี้จะกลายมาเป็นแหล่งของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ในอาหารสัตว์ที่มีราคาไม่แพง

การเสริมเอนไซม์ในอาหารสัตว์เป็นหนึ่งในวิธีที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยอาหาร เนื่องจากเอนไซม์สามารถย่อยสลายโครงสร้างของ NSP ซึ่งช่วยให้สัตว์สามารถย่อยและดูดซึมสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากการศึกษาพบว่าการเสริมเอนไซม์ช่วยย่อยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งในอาหารสัตว์ปีก เช่น ไซลาเนส [3] เบต้าแมนนาเนส เบต้ากลูคาเนส แอลฟาอะไมเลส และไฟเตส [4] สามารถช่วยลดความหนืดในระบบทางเดินอาหารและเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหารของสัตว์ปีกได้ อย่างไรก็ตามเอนไซม์ที่ใช้จะมีการทำงานที่เฉพาะเจาะจงกับสารตั้งต้นหรือวัตถุดิบซึ่งเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ การตอบสนองต่อการเสริมเอนไซม์ในไก่เนื้อจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น กิจกรรมของเอนไซม์ ความเฉพาะเจาะจงกับสารตั้งต้น ปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์ คุณภาพของวัตถุดิบ และอายุของไก่เนื้อ [5]

ในอุตสาหกรรมการเลี้ยงไก่เนื้อ อาหารส่วนใหญ่ประกอบด้วยวัตถุดิบหลักคือข้าวโพดและกากถั่วเหลือง โดยข้าวโพดมีอะราบิโนไซแลนเป็นส่วนประกอบหลักประมาณ 48.65 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณ NSP ทั้งหมด [6] แม้ว่าการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส ซึ่งมีหน้าที่เร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายโครงสร้างหลักของไซแลน [7] จะถูกนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ แต่การตอบสนองของเอนไซม์ไซลาเนสต่อข้าวโพดนั้นยังคงต่ำกว่าวัตถุดิบอื่นๆ เช่น ข้าวสาลี ข้าวไรย์ และข้าวบาร์เลย์ เนื่องจากข้าวโพดมีปริมาณ NSP ทั้งหมดต่ำกว่า [8] ปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในการเลือกใช้วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่หาได้ภายในประเทศ เช่น รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและมีปริมาณมาก แต่มีข้อจำกัดในการใช้เนื่องจากวัตถุดิบเหล่านี้มีปริมาณ NSP สูง เช่น รำข้าวมีปริมาณเบต้ากลูแคน [9] เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสในระดับสูง [10] พบว่าการเสริมเอนไซม์รวม (ไซลาเนส เบต้ากลูคาเนส อินเวอร์เทส โปรตีเอส เซลลูเลส อะไมเลส และแมนนาเนส) ในอาหารไก่เนื้อที่มีรำข้าวเป็นส่วนประกอบทำให้ไก่เนื้อมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวสูงกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมเอนไซม์ [11] ข้าวเปลือกมีปริมาณ NSP สูงเช่นกัน พบว่าการเสริมเอนไซม์รวม (ไซลาเนส เบต้ากลูคาเนส และเซลลูเลส) ในอาหารที่มีส่วนประกอบของโพด ข้าวเปลือก และกากถั่วเหลือง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยอาหารของเป็ด [12] กากเนื้อในเมล็ดปาล์มประกอบด้วยแมนแนนเป็นส่วนประกอบหลัก และพบเซลลูโลส กลูคูโรโนไซแลน และอาราบิโนไซแลนประกอบอยู่ด้วย [13,14] พบว่าการเสริมเอนไซม์รวม (เบตาแมนนาเนส ไซลาเนส อะไมเลส โปรตีเอส เซลลูเลส และเบต้ากลูคาเนส) ในอาหารไก่เนื้อที่มีส่วนประกอบของกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม 16 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ [15] จากความซับซ้อนของโครงสร้าง NSP ที่พบในวัตถุดิบอาหารสัตว์ต่างๆ การใช้เอนไซม์หลายชนิดร่วมกันจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อย NSP และการดูดซึมสารอาหารในสัตว์ปีก ดังนั้นการศึกษาความเฉพาะเจาะจงของเอนไซม์กับวัตถุดิบอาหารสัตว์จะนำไปสู่การใช้งานของเอนไซม์ในอาหารสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ย่อยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (NSP) สองชนิด ได้แก่ เอนไซม์ไซลาเนส และเอนไซม์รวม (ไซลาเนส เบต้า-กลูคาเนส เซลลูเลส และไซโลกลูคาเนส) ต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลองของวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อ 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการในระดับห้องปฏิบัติการ โดยมุ่งเน้นการประเมินค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลอง (in vitro dry matter digestibility) ของวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อ 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่เสริมเอนไซม์ย่อยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (เอนไซม์ไซลาเนส และเอนไซม์รวม) กับกลุ่มที่ไม่เสริมเอนไซม์ การทดลองใช้ตัวอย่างจำนวน 8 ซ้ำต่อชุดการทดลอง และวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4. วิธีการศึกษา

4.1 การวางแผนการทดลอง

การทดลองครั้งนี้เป็นการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ (in vitro) โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ การเปรียบเทียบ 2 กลุ่ม (Two-group comparison) ได้แก่ กลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์ และกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมเอนไซม์ เพื่อประเมินผลของเอนไซม์ช่วยย่อยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (NSP) ต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อ 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ชุด ได้แก่

1. ชุดการทดลองที่เสริมเอนไซม์ไซลาเนส
2. ชุดการทดลองที่เสริมเอนไซม์รวม (ประกอบด้วยไซลาเนส เบต้า-กลูคาเนส เซลลูเลส และไซโลกลูคาเนส)

แต่ละชุดการทดลองประกอบด้วยวัตถุดิบ 5 ชนิด x 2 กลุ่ม (เสริมเอนไซม์/ไม่เสริมเอนไซม์) x 8 ซ้ำ รวมทั้งสิ้น 80 หน่วยทดลองในแต่ละชุด (40 หน่วย/กลุ่ม)

การวิเคราะห์ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งดำเนินการตามวิธีมาตรฐานในหลอดทดลอง และใช้การวิเคราะห์ทางสถิติแบบ t-test แบบอิสระ (independent samples t-test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าการย่อยได้ระหว่างกลุ่มที่เสริมและไม่เสริมเอนไซม์ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติไว้ที่ $P < 0.05$

4.2 การเตรียมวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ศึกษาและการวิเคราะห์ทางเคมี

นำวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ที่ได้จากโรงงานอาหารสัตว์มาบดผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร และนำตัวอย่างวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้ในการทดลองส่งตรวจวิเคราะห์หาส่วนประกอบของน้ำตาลในรูปที่ไม่สามารถละลายน้ำ สามารถละลายน้ำ และน้ำตาลทั้งหมด โดยห้องปฏิบัติการผลิตภัณฑ์อาหารกรุงเทพฯ (ถนนบางนา-ตราด กม.21 สมุทรปราการ) ตามวิธีของ [16] ดังแสดงในตารางที่ 1, 2 และ 3

4.3 การเตรียมเอนไซม์

นำเอนไซม์ทางการค้าทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์ไซลาเนสและเอนไซม์รวม (ไซลาเนส เบต้า-กลูคาเนส เซลลูเลส และไซโลกลูคาเนส) ซึ่งเป็นเอนไซม์ทางการค้าของบริษัท DSM Nutritional Products (Thailand) Ltd. มาผสมในวัตถุดิบอาหารสัตว์ทั้ง 5 ชนิด ที่เตรียมจากข้อ 4.2 ที่ระดับ 0 และ 1 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของน้ำตาลที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ในวัตถุดิบอาหารสัตว์

วัตถุดิบอาหาร	อะราบิโนส	ฟรุกโตส	ฟูโคส	กาแล็กโทส	กลูโคส	แมนโนส	แรมโนส	ไรโบส	ไซโลส
ข้าวโพด	1.650	0.000	0.000	0.389	2.590	0.059	0.023	0.000	2.030
กากถั่วเหลือง	1.560	0.000	0.210	2.500	2.870	0.212	0.137	0.000	0.845
รำข้าว	2.250	0.000	0.018	0.637	3.780	0.180	0.048	0.000	2.630
ข้าวเปลือก	0.740	0.000	0.000	0.205	6.100	0.041	0.019	0.000	3.150
กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม	0.698	0.000	0.000	1.290	6.540	26.100	0.000	0.000	2.380

ปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิดมีหน่วย คือ กรัม/100 กรัม

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบของน้ำตาลที่สามารถละลายน้ำได้ในวัตถุดิบอาหารสัตว์

วัตถุดิบอาหาร	อะราบิโนส	ฟรุกโตส	ฟูโคส	กาแล็กโทส	กลูโคส	แมนโนส	แรมโนส	ไรโบส	ไซโลส
ข้าวโพด	0.140	0.000	0.000	0.073	1.120	0.017	0.001	0.000	0.133
กากถั่วเหลือง	0.262	0.000	0.041	0.493	0.040	0.153	0.074	0.000	0.029
รำข้าว	0.116	0.000	0.003	0.020	0.034	0.023	0.008	0.000	0.041
ข้าวเปลือก	0.001	0.000	0.000	0.063	0.096	0.005	0.008	0.000	0.039
กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม	0.192	0.000	0.000	0.127	0.172	1.220	0.000	0.000	0.220

ปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิดมีหน่วย คือ กรัม/100 กรัม

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของน้ำตาลทั้งหมดในวัตถุดิบอาหารสัตว์

วัตถุดิบอาหาร	อะราบิโนส	ฟรุกโตส	ฟูโคส	กาแล็กโทส	กลูโคส	แมนโนส	แรมโนส	ไรโบส	ไซโลส
ข้าวโพด	1.790	0.000	0.000	0.463	3.700	0.076	0.024	0.000	2.160
กากถั่วเหลือง	1.820	0.000	0.251	2.990	2.910	0.365	0.211	0.000	0.874
รำข้าว	2.360	0.000	0.021	0.657	3.820	0.202	0.056	0.000	2.670
ข้าวเปลือก	0.742	0.000	0.000	0.268	6.190	0.046	0.027	0.000	3.190
กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม	0.889	0.000	0.000	1.420	6.710	27.400	0.000	0.000	2.600

ปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิดมีหน่วย คือ กรัม/100 กรัม

4.4 การวิเคราะห์ค่าการย่อยได้ในหลอดทดลอง

แบ่งระยะในการจำลองสภาวะการย่อยอาหารในระบบทางเดินอาหารของไก่เนื้อในหลอดทดลองออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะการย่อยอาหารในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก ซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ [17] โดยทำการชั่งตัวอย่างอาหาร 0.5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และเติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ 25 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) 0.2 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร และทำการปรับ pH ให้มีค่าเท่ากับ 2 หลังจากนั้นเติมเอนไซม์เปปซิน (pepsin) 1 มิลลิลิตร และเติมคลอแรมเฟนิคอล (chloramphenicol) 0.5 มิลลิลิตร และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส ที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ขั้นตอนนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อจำลองระยะการย่อยอาหารในกระเพาะอาหาร

หลังจากครบเวลาในการบ่มทำการเติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.2 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร และ NaOH 0.6 โมลาร์ 5 มิลลิลิตร และทำการปรับ pH ให้มีค่าเท่ากับ 6.8 หลังจากนั้นเติมเอนไซม์แพนคริเอติน (pancreatin) 1 มิลลิลิตร และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 41 องศาเซลเซียส ที่ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ขั้นตอนนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อจำลองระยะการย่อยอาหารในลำไส้เล็ก และทำการเติมกรดซัลโฟซาลิไซลิก 20 เปอร์เซ็นต์ 5 มิลลิลิตร เพื่อยุติกิจกรรมเอนไซม์ โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที

หลังจากนั้นนำไปกรองและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 108 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และทำการบันทึกน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณหาค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลองตามสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลอง} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งก่อนย่อย} - \text{น้ำหนักแห้งหลังย่อย}}{\text{น้ำหนักแห้งก่อนย่อย}} \times 100$$

4.5 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษาการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสในวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อ

จากการศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสในวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อ 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลอง พบว่าการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสไม่ได้ช่วยปรับปรุงค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ของกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสเทียบกับกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส เท่ากับ 72.16 เทียบกับ 72.11, 72.12 เทียบกับ 72.47, 76.91 เทียบกับ 77.47, 61.81 เทียบกับ 62.20 และ 30.62 เทียบกับ 31.22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (P>0.05) อาจเนื่องมาจากในข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว ข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม มีปริมาณของน้ำตาลอะราบิโนสและไซโลส (arabinose และ xylose) ที่เป็นสารตั้งต้นของอะราบิโนไซแลน (arabinoxylan) เป็นส่วนประกอบอยู่เพียงเล็กน้อย เท่ากับ 1.79 และ 2.16, 1.82 และ 0.87, 2.36 และ 2.67, 0.74 และ 3.19 และ 0.89 และ 2.60 กรัม/100 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3) จึงทำให้การเสริมเอนไซม์ไซลาเนสที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายโครงสร้างของไซแลนในวัตถุดิบเหล่านี้ไม่ได้ช่วยปรับปรุงค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลอง อันเนื่องมาจากการไฮโดรไลซิสไซแลนที่อยู่ในรูปของอะราบิโนไซแลนที่มีโครงสร้างซับซ้อนและต้องการเอนไซม์ที่มีความเฉพาะเจาะจงสูง โดยอะราบิโนไซแลนมีคุณสมบัติหนืดและสามารถกักเก็บน้ำได้ ซึ่งจะทำให้เกิดสารละลายน้ำที่มีความหนืดสูง [18] ซึ่งความหนืดที่เกิดขึ้นจะไปยับยั้งการไฮโดรไลซิสของเอนไซม์กับสารอาหารต่างๆ [19] ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ [20] พบว่าการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสไม่ได้ช่วยปรับปรุงค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลองของข้าวโพดและกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม เนื่องมาจากข้าวโพดมีอะราบิโนไซแลนเป็นส่วนประกอบเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ [21] และกากเนื้อในเมล็ดปาล์มมีอะราบิโนไซแลนเป็นส่วนประกอบต่ำเพียง 3 เปอร์เซ็นต์ [22] และจากงานทดลองของ [23] พบว่าการเสริมเอนไซม์ไซลาเนสไม่ได้ช่วยปรับปรุงค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลองของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเช่นกัน

ตารางที่ 4 ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลองของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เสริมด้วยเอนไซม์ไซลาเนส

ค่าการย่อยได้	เอนไซม์ไซลาเนส (เปอร์เซ็นต์)		P-value
	0	1	
ข้าวโพด	72.16±1.70	72.11±1.66	.897
กากถั่วเหลือง	72.12±1.42	72.47±1.61	.854
รำข้าว	76.91±0.51	77.47±0.36	.339
ข้าวเปลือก	61.81±1.46	62.20±2.36	.243
กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม	30.62±0.34	31.22±0.65	.192

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±S.D.)

5.2 ผลการศึกษาการเสริมเอนไซม์รวมในวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อ

จากการศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์รวมในวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อ 5 ชนิด ได้แก่ ข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าวข้าวเปลือก และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ต่อค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลอง พบว่าการเสริมเอนไซม์รวมสามารถช่วยปรับปรุงค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในข้าวเปลือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในข้าวเปลือกของกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมเอนไซม์รวมเทียบกับกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์รวม เท่ากับ 60.53 เทียบกับ 61.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (P<0.05) ดังแสดงในตารางที่ 5 อาจเนื่องมาจากส่วนประกอบของ NSP ในข้าวเปลือกประกอบไปด้วยน้ำตาลกลูโคสและไซโลสเป็นส่วนใหญ่ (ตารางที่ 3) เมื่อเสริมเอนไซม์รวมที่ประกอบไปด้วยเอนไซม์ไซลาเนสที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายไซโลส, เบต้า-กลูคาเนสที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายเบต้ากลูแคนที่เกิดจากโมโนเมอร์ของกลูโคส, เซลลูเลสที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายกลูโคส และไซโลกลูคาเนสที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายกลูโคสและไซโลส จึงทำให้การเสริมเอนไซม์รวมสามารช่วยปรับปรุงค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในข้าวเปลือกให้ดีขึ้น ดังนั้นการเสริมเอนไซม์หลายชนิดร่วมกันอาจมีประสิทธิภาพในการปรับปรุงการย่อยได้ของอาหารสัตว์ที่มีส่วนประกอบของ NSP ที่ซับซ้อน ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากเอนไซม์แต่ละชนิดสามารถทำงานร่วมกันในการย่อยสลายโครงสร้างที่ซับซ้อนของ NSP พบว่าการใช้ไซลาเนสร่วมกับเบต้า-กลูคาเนสช่วยลดความหนืดในวัตถุดิบอาหาร เช่น ข้าวบาร์เลย์ มากกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ไซลาเนสหรือเบต้า-กลูคาเนสเพียงอย่างเดียว [24] และไม่พบความแตกต่างของการเสริมเอนไซม์รวมในข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในข้าวโพด กากถั่วเหลือง รำข้าว และกากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ของกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมเอนไซม์รวมเทียบกับกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์รวม เท่ากับ 72.34 เทียบกับ 72.82, 74.30 เทียบกับ 74.99, 77.06 เทียบกับ 77.40 และ 30.00 เทียบกับ 31.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (P>0.05) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้งในหลอดทดลองของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่เสริมด้วยเอนไซม์รวม

ค่าการย่อยได้	เอนไซม์รวม (เปอร์เซ็นต์)		P-value
	0	1	
ข้าวโพด	72.34±1.36	72.82±1.26	.810
กากถั่วเหลือง	74.30±1.46	74.99±0.95	.459
รำข้าว	77.06±0.39	77.40±0.52	.634
ข้าวเปลือก	60.53±1.68[b]	61.58±0.92[a]	.047
กากเนื้อในเมล็ดปาล์ม	30.00±0.30	30.69±0.59	.179

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean±S.D.)
[a,b] อักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การเสริมเอนไซม์ช่วยย่อยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (NSP) มีผลต่อการย่อยได้ของวัตถุแห้งในวัตถุดิบอาหารไก่เนื้อที่แตกต่างกัน การค้นพบนี้สะท้อนว่าการใช้เอนไซม์หลายชนิดร่วมกันอาจมีประสิทธิภาพมากกว่าในการปรับปรุงการย่อยวัตถุดิบที่มีเส้นใยสูง เช่น ข้าวเปลือก ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพทางเศรษฐกิจในท้องถิ่น โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้ 1.ควรขยายการศึกษาไปสู่การทดลองในสัตว์จริง (in vivo) เพื่อยืนยันผลการเพิ่มการย่อยและดูดซึมสารอาหาร รวมถึงผลต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ 2.ควรศึกษาระดับการใช้เอนไซม์ที่เหมาะสมในแต่ละชนิดวัตถุดิบ เพื่อความคุ้มค่าเชิงเศรษฐกิจในการผลิตอาหารสัตว์ 3.พิจารณาทดสอบเอนไซม์ชนิดใหม่หรือเทคโนโลยีเอนไซม์เข้มข้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยวัตถุดิบที่มีใยอาหารสูงอื่นๆ 4.ส่งเสริมความร่วมมือระหว่างนักวิจัย ผู้ผลิตอาหารสัตว์ และภาคอุตสาหกรรมเอนไซม์ เพื่อพัฒนาแนวทางการใช้เอนไซม์ที่เหมาะสมและยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จและสมบูรณ์ได้เนื่องมาจากได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ตำบลคลองกิ่ว อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี ในการใช้สถานที่ทำการทดลอง รวมทั้งขอขอบคุณบุคลากรในบริษัทที่ได้ให้คำปรึกษาในการทำการทดลอง ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดรุณี ศรีชนะ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษาและดูแลในการทำวิจัยนี้จนทำให้งานวิจัยนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ และสุดท้ายผลงานนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนบัณฑิตเรียนดีเพื่อศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ตามสัญญาเลขที่ ทบ41/2565) ที่สนับสนุนทุนการศึกษาและวิจัยงานชิ้นนี้จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Donohue, M., & Cunningham, D. L. (2009). Effects of grain and oilseed prices on the costs of US poultry production. The Journal of Applied Poultry Research, 18(2), 325–337.

[2] Raza, A., Bashir, S., & Tabassum, R. (2019). An update on carbohydrases: growth performance and intestinal health of poultry. Heliyon, 5(4), e01437.

[3] Silversides, F. G., & Bedford, M. R. (1999). Effect of pelleting temperature on the recovery and efficacy of a xylanase enzyme in wheat-based diets. Poultry science, 78(8), 1184–1190.

[4] Valente Junior, D. T., Genova, J. L., Kim, S. W., Saraiva, A., & Rocha, G. C. (2024). Carbohydrases and phytase in poultry and pig nutrition: A review beyond the nutrients and energy matrix. Animals, 14(2), 226.

[5] Cowieson, A. J., & Ravindran, V. (2008). Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: growth performance and digestibility of energy, minerals and amino acids. British poultry science, 49(1), 37-44.

[6] Baker, J. T., Duarte, M. E., Holanda, D. M., & Kim, S. W. (2021). Friend or foe? impacts of dietary xylans, xylooligosaccharides, and xylanases on intestinal health and growth performance of monogastric animals. Animals, 11(3), 609.

[7] Moreira, L. R., & Filho, E. X. (2016). Insights into the mechanism of enzymatic hydrolysis of xylan. Applied microbiology and biotechnology, 100(12), 5205–5214.

[8] Kiarie, E., Romero, L. F., & Ravindran, V. (2014). Growth performance, nutrient utilization, and digesta characteristics in broiler chickens fed corn or wheat diets without or with supplemental xylanase. Poultry science, 93(5), 1186–1196.

[9] Kaur, S., Savita, S., & Nagi, H. P. S. (2011). Functional properties and anti-nutritional factors in cereal bran. Asian J. Food Agro Industr, 4(2), 122-131.

[10] Shaheen, M., Ahmad, I., Anjum, F.M., Saeed, M.K., & Mills, R. R. (2015). Effect of processed rice bran on growth performance of broiler chicks from Pakistan. J. Agri. Sci, 21(2), 440-445.

[11] Sanchez, J., Thanabalan, A., Khanal, T., Patterson, R., Slominski, B. A., & Kiarie, E. (2019). Growth performance, gastrointestinal weight, microbial metabolites and apparent retention of components in broiler chickens fed up to 11% rice bran in a corn-soybean meal diet without or with a multi-enzyme supplement. Animal nutrition, 5(1), 41–48.

[12] Kang, P., Hou, Y. Q., Toms, D., Yan, N. D., Ding, B. Y., & Gong, J. (2013). Effects of enzyme complex supplementation to a paddy-based diet on performance and nutrient digestibility of meat-type ducks. Asian-Australasian journal of animal sciences, 26(2), 253–259.

[13] Dusterhoft, E. M., Voragen, A. G. J., & Engles, F. M. (1991). Nonstarch polysaccharides from sunflower (Helianthus annuus) meal and palm kernel (Elaeis guineensis) meal-preparation of cell wall material and extraction of polysaccharide fractions. J. Sci. Food Agric, 55(3), 411-422.

[14] Knudsen, K. E. B. (1997). Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. Anim. Feed Sci. Technol, 67(4), 319-338.

[15] Abdollahi, M. R., Hosking, B. J., Ning, D., & Ravindran, V. (2016). Influence of Palm Kernel Meal Inclusion and Exogenous Enzyme Supplementation on Growth Performance, Energy Utilization, and Nutrient Digestibility in Young Broilers. Asian-Australasian journal of animal sciences, 29(4), 539–548.

[16] Englyst, H. N., Quigley, M. E., & Hudson, G. J. (1994). Determination of dietary fibre as non-starch polysaccharides with gas-liquid chromatographic, high-performance liquid chromatographic or spectrophotometric measurement of constituent sugars. The Analyst, 119(7), 1497–1509.

[17] Yegani, M., Swift, M.L., Zijlstra, R.T., & Korver, D.R. (2013). Prediction of energetic value of wheat and triticale in broiler chicks: A chick bioassay and an in vitro digestibility technique. Animal Feed Science and Technology, 183, 40-50.

[18] Izydorczyk, M. S., & Biliaderis, C. G. (1995). Cereal arabinoxylans: advances in structure and physicochemical properties. Carbohydrate Polymers, 28(1), 33–48.

[19] Fabek, H., Messerschmidt, S., Brulport, V., & Goff, H.D. (2014). The effect of in vitro digestive processes on the viscosity of dietary fibres and their influence on glucose diffusion. Food Hydrocolloids, 35, 718-726.

[20] Jo, H., Sung, J. Y., & Kim, B. G. (2021). Effects of supplemental xylanase on in vitro disappearance of dry matter in feed ingredients for swine. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 34, 316-323.

[21] Masey O'Neill, H. V., Smith, J. A., & Bedford, M. R. (2014). Multicarbohydrase Enzymes for Non-ruminants. Asian-Australasian journal of animal sciences, 27(2), 290-301.

[22] Alshelmani, M. I., Loh, T. C., Foo, H. L., Lau, W. H., & Sazili, A. Q. (2014). Biodegradation of palm kernel cake by cellulolytic and hemicellulolytic bacterial cultures through solid state fermentation. The Scientific World Journal, 2014, 729852.

[23] Kim, H. Y., Moon, J. O., & Kim, S. W. (2024). Development and application of a multi-step porcine in vitro system to evaluate feedstuffs and feed additives for their efficacy in nutrient digestion, digesta characteristics, and intestinal immune responses. Animal nutrition, 265–282.

[24] Mathlouthi, N., Saulnier, L., Quemener, B., & Larbier, M. (2002). Xylanase, beta-glucanase, and other side enzymatic activities have greater effects on the viscosity of several feedstuffs than xylanase and beta-glucanase used alone or in combination. Journal of agricultural and food chemistry, 50(18), 5121–5127.

ผลของการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกทางการค้าในอาหารที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อ

หยก ฤทธิ์อนันต์ชัย[1*], ณัฐปภัสร์ ธนพิมพาวงศ์[2], และ ดรุณี ศรีชนะ[1]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120
[2]ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์ บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) จังหวัดชลบุรี 20220
** Corresponding author: yok.rida@dome.tu.ac.th*

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมเอนไซม์รวมและโปรไบโอติกทางการค้าในอาหารที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบ ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ ดำเนินการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) แบ่งกลุ่มการทดลองเป็นดังนี้ กลุ่มควบคุมอาหารพื้นฐานที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบ 20% (T1) อาหารกลุ่มควบคุมที่เสริมด้วยเอนไซม์รวม 100 กรัม/ตัน (T2) อาหารกลุ่มควบคุมที่เสริมด้วยโปรไบโอติก 50 กรัม/ตัน (T3) และอาหารกลุ่มควบคุมที่เสริมด้วยเอนไซม์รวมและโปรไบโอติก ที่ 100 และ 50 กรัม/ตัน (T4) ตามลำดับ พบว่าที่อายุ 0-14 วัน ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในด้านประสิทธิภาพการเจริญเติบโต (P>0.05) และพบว่าที่อายุ 15-28 วัน ไก่เนื้อในกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียวมีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นดีกว่า (P<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว (1,213.36 และ 1,152.70 กรัม ตามลำดับ) และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์ร่วมกับโปรไบโอติก (1,213.36 และ 1,097.89 กรัม ตามลำดับ) และมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันเพิ่มขึ้น (P<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติก เพียงอย่างเดียว (86.67 และ 82.33 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์ร่วมกับโปรไบโอติก (86.67 และ 78.42 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ) นอกจากนี้พบว่า กลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียวมีอัตราการแลกเนื้อที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เท่ากับ 1.36 และ 1.45 ตามลำดับ (P<0.05) นอกจากนี้ยังช่วยลดต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตเนื้อลง (23.68 บาท/กิโลกรัม) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (25.21 บาท/กิโลกรัม; P<0.05) และที่อายุ 29-35 วัน พบว่าไก่เนื้อในกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์รวมและโปรไบโอติก มีปริมาณการกินได้สูงที่สุดในทุกกลุ่มการทดลอง เท่ากับ 1,414.23 กรัม/ตัว (P<0.05) นอกจากนี้พบว่าการเสริมเอนไซม์ร่วมกับโปรไบโอติกช่วยลดต้นทุนค่าอาหารต่อการผลิตเนื้อได้ดีที่สุด เท่ากับ 23.25 บาท/กิโลกรัม (P<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับทุกกลุ่มการทดลอง โดยสรุปการเสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียวในอาหารที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบช่วยให้ไก่เนื้ออายุ 15-28 วัน มีประสิทธิภาพการผลิตที่ดีขึ้น และการเสริมเอนไซม์ร่วมกับโปรไบโอติกช่วยลดต้นทุนค่าอาหารไก่เนื้อที่อายุ 29-35 วัน

คำสำคัญ: ข้าวเปลือก / เอนไซม์ / โปรไบโอติก / ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต / ไก่เนื้อ

Effects of Supplementing a Commercial Multi Enzyme and Probiotics in Broiler Diets Containing Paddy Rice on Growth Performance

Yok Ridananchai[1*], Natpaphat Thanapimpapawong[2], and Darunee Srichana[1]

[1]Faculty of Science and Technology, Thammasat University, Pathum Thani 12120, Thailand
[2]Feed Innovation and Research Center 1 (FRIC), Charoen Pokphand Group Cp., Ltd, Chonburi 20220, Thailand
** Corresponding author: yok.rida@dome.tu.ac.th*

Abstract

The objective of this experiment was to study the effects of supplementing a commercial multi enzyme and probiotics in a broiler diet containing paddy rice on growth performance. This experiment was carried out by completely randomized design (CRD). The experimental groups were as follows: the control group with a basal diet containing 20% paddy rice (T1), the control group supplemented with a commercial multi enzyme at 100 g/ton (T2), the control group supplemented with commercial probiotics at 50 g/ton (T3), and the control group supplement with commercial multi enzyme and probiotics at 100 and 50 g/ton, respectively (T4). The results showed that between 0-14 days of age, there were no significant differences in growth performance ($P>0.05$). However, between 15-28 days of age, broiler in the group receiving only the enzyme supplement had higher weight gain compare to the group receiving only probiotics (1,213.36 and 1,152.70 g, respectively), and compared to the group receiving both enzyme and probiotics (1,213.36 and 1,097.89 g, respectively) with a higher average daily growth rate ($P<0.05$) compared to the probiotics-only group (86.67 and 82.33 g/bird/day, respectively) and the enzyme + probiotic group (86.67 and 78.42 g/bird/day, respectively). Additionally, the enzyme group had a better feed conversion ratio compared to the control group (1.36 and 1.45, respectively; $P<0.05$). It also reduced feed cost (23.68 THB/kg) compared to the control group (25.21 THB/kg; $P<0.05$). Between 29-35 days of age, broilers in the group receiving both the enzyme and probiotics had the highest feed intake across all groups (1,414.23 g/bird, $P<0.05$). Furthermore, the combination of enzyme and probiotics significantly reduced feed cost (23.25 THB/kg, $P<0.05$) compared to all experimental groups. In conclusion, supplementing the enzyme in a paddy rice based diet improved growth performance in broiler chickens aged 15-28 days, while supplementing both the enzyme and probiotics reduced feed costs in broilers aged 29-35 days.

Keyword: Paddy Rice / Enzyme / Probiotic / Growth Performance / Broiler

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันประชากรโลกขยายตัวอย่างรวดเร็วและความต้องการบริโภคอาหารกำลังเปลี่ยนแปลงไป สัตว์ปีกจึงกลายเป็นส่วนสำคัญของอาหารเนื่องจากมีราคาไม่แพง มีประโยชน์หลากหลาย และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งเนื้อสัตว์อื่นๆ [1] ในขณะที่ความต้องการในการผลิตสัตว์ปีกสูงขึ้น ทำให้ราคาวัตถุดิบอาหารสัตว์สูงขึ้นตามด้วย เนื่องจากต้นทุนค่าอาหารสัตว์มีสัดส่วน 70-80% ของต้นทุนการผลิตทั้งหมดในการเลี้ยงสัตว์ปีก [2] การหาวัตถุดิบทางเลือกที่สามารถทดแทนแหล่งพลังงานได้จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ ข้าวเปลือกถือเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในประเทศ ไม่ต้องนำเข้าและสามารถใช้ทดแทนข้าวโพดได้ โดยไม่ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต [1] แต่ในข้าวเปลือกมีปริมาณเส้นใยและสารต้านโภชนะที่ส่งผลกระทบต่อการย่อยและนำไปใช้ประโยชน์ได้ของสัตว์ปีก [3] ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาอาหารเสริมทางเลือก เช่น โปรไบโอติก และเอนไซม์ จึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ปัจจุบันมีการใช้เอนไซม์เสริมในอาหารสัตว์เพื่อลดต้นทุนอาหารสัตว์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และลดการขับถ่ายสารอาหารให้เหลือน้อยที่สุด และโปรไบโอติกแสดงคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงภูมิคุ้มกัน โครงสร้างลำไส้ และการทำงานของลำไส้ในไก่เนื้อ ปัจจัยเหล่านี้สามารถปรับปรุงการย่อยอาหารและช่วยเพิ่มการดูดซึมสารอาหาร [4] ทั้งนี้ยังช่วยเพิ่มแนวทางการใช้ข้าวเปลือกซึ่งเป็นผลผลิตจากเกษตรกรไทย และลดการพึ่งพาการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ รวมถึงช่วยรักษาสมดุลและลดการเกิดจุลินทรีย์ดื้อยาตัวใหม่ที่อาจเกิดจากการใช้ยาต้านจุลชีพในอุตสาหกรรมสัตว์ปีก นำไปสู่การพัฒนากลยุทธ์สำหรับการผลิตไก่เนื้อที่ยั่งยืนในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลการใช้เอนไซม์ และโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว หรือการเสริมฤทธิ์กันระหว่างการใช้เอนไซม์ร่วมกับ โปรไบโอติกในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลการใช้เอนไซม์ และโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว หรือการเสริมฤทธิ์กันระหว่างการใช้เอนไซม์ร่วมกับโปรไบโอติกในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต

4. วิธีการศึกษา

4.1 การวางแผนการทดลอง

ดำเนินแผนการทดลองในรูปแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) แบ่งเป็น 4 กลุ่มการทดลอง กลุ่มการทดลองละ 6 ซ้ำ โดยมีกลุ่มการทดลอง ดังนี้ อาหารพื้นฐานที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบ 20% (T1) อาหารกลุ่มควบคุมที่เสริมด้วยเอนไซม์รวม 100 กรัม/ตัน (T2) อาหารกลุ่มควบคุมที่เสริมด้วยโปรไบโอติก 50 กรัม/ตัน (T3) และอาหารกลุ่มควบคุมที่เสริมด้วยเอนไซม์รวมและโปรไบโอติกที่ 100 และ 50 กรัม/ตัน (T4) ตามลำดับ

4.2 การจัดการโรงเรือนและสัตว์ทดลอง

4.2.1 สัตว์ทดลอง

การทดลองนี้ดำเนินการอย่างมีจริยธรรมตามแนวทางการดูแลสัตว์และการใช้สัตว์ทดลองในการวิจัยโดยได้รับการอนุมัติโดยคณะกรรมการการดูแลและการใช้สัตว์ FRIC-ACUP หมายเลข 2508002 โดยใช้ไก่เนื้อเพศผู้พันธุ์ ROSS 308 อายุ 1 วัน จำนวน 504 ตัว แบ่งกลุ่มการทดลองเป็น 4 กลุ่มการทดลอง กลุ่มการทดลองละ 6 ซ้ำ ชั่งน้ำหนักและสุ่มเข้าสู่หน่วยทดลองจำนวน 21 ตัวต่อกรง ทำการเลี้ยงตั้งแต่อายุ 1-35 วัน ไก่เนื้อได้รับวัคซีนตามมาตรฐานจากโรงฟัก FRIC1

4.2.2 การจัดการอาหารและน้ำ

ไก่เนื้อได้รับน้ำและอาหารโดยให้กินแบบเต็มที่ตลอดเวลา (*ad libitum*) โดยช่วง 1-14 วันไก่เนื้อได้รับอาหารแบบเม็ดบี้ (crumble) และตั้งแต่อายุ 15-35 วันจะเปลี่ยนเป็นอาหารแบบเม็ดใหญ่ (pellet)

4.2.3 สารเสริมสำหรับการทดลอง

สารเสริมที่ใช้ในการทดลองนี้คือ 1) เอนไซม์ทางการค้า ที่ประกอบไปด้วย เอนไซม์ไซลาเนส เบต้า-กลูคาเนส เซลลูเลส และไซโลกลูคาเนส 100 กรัม/ตัน และ 2) โปรไบโอติกทางการค้าชนิดผง ที่ประกอบไปด้วย B. *subtitilis* DSM32325, B. *subtilis* DSM32324 และ B. *amyloliquefaciens* DSM25840 50 กรัม/ตัน ผสมลงในสูตรอาหาร โดยใช้ในระดับที่บริษัทแนะนำ

4.2.4 การจัดการโรงเรือน

ไก่เนื้อเลี้ยงในโรงเรือนระบบปิด (EVAP) ได้รับแสงตามระบบโรงเรือน โดยในวันแรกจะเปิดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และค่อยๆลดเวลาลงวันละ 1 ชั่วโมงจนเมื่ออายุ 7 วัน แสงจะเปิดเป็น 16 ชั่วโมงจนถึงอายุ 35 วัน อุณหภูมิภายในโรงเรือนในช่วงกกอยู่ที่ 36 องศาเซลเซียส และค่อยๆลดลงเป็น 25 องศาเซลเซียสเมื่ออายุ 14-35 วัน ระดับความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 60-70% ตามคำแนะนำของ Aviagen (2018) [5]

4.2.5 การวิเคราะห์ทางเคมีของอาหารทดลอง

ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของอาหารทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 โดยค่าพลังงานรวมถูกวิเคราะห์ด้วยวิธี bomb calorimeter ตามวิธีของ AOAC (2000) [6] และการตรวจสอบค่าโภชนะ ได้แก่ ความชื้น โปรตีนหยาบ ไขมัน เยื่อใย NDF ADF และเถ้า โดยวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการผลิตภัณฑ์อาหารกรุงเทพ (ถนนบางนา-ตราด กม.21 สมุทรปราการ)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองในแต่ละช่วงอายุของไก่เนื้อ

รายการ	T1	T2	T3	T4
อายุ 1-14 วัน				
ความชื้น (%)	11.60	11.20	11.10	11.20
โปรตีนหยาบ (%)	20.70	21.30	21.50	21.30
ไขมัน (%)	4.34	5.45	5.34	5.25
เยื่อใย (%)	4.37	4.32	4.71	3.98
ADF (%)	5.03	5.33	5.11	4.81
NDF (%)	9.14	10.10	9.51	8.43
เถ้า (%)	5.85	5.85	5.83	5.81
พลังงานรวม (kcal/kg)	4059.05	4053.27	4059.66	4055.70

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองในแต่ละช่วงอายุของไก่เนื้อ (ต่อ)

รายการ	T1	T2	T3	T4
อายุ 15-28 วัน				
ความชื้น (%)	10.80	10.80	9.80	9.90
ไขมัน (%)	7.43	7.48	7.57	7.71
โปรตีนหยาบ (%)	19.40	20.00	20.20	19.90
เยื่อใย (%)	4.57	4.53	4.70	4.43
ADF (%)	5.27	5.19	5.24	5.01
NDF (%)	10.40	10.40	10.30	10.00
เถ้า (%)	5.90	5.90	5.90	5.93
พลังงานรวม (kcal/kg)	4225.64	4213.88	4268.29	4264.42
อายุ 29-35 วัน				
ความชื้น (%)	11.40	10.60	10.40	11.20
โปรตีนหยาบ (%)	17.60	17.80	18.30	18.00
ไขมัน (%)	7.69	7.93	8.13	7.91
เยื่อใย (%)	4.54	4.78	4.59	4.75
ADF (%)	5.45	5.98	5.82	5.21
NDF (%)	10.30	11.20	9.53	10.70
เถ้า (%)	5.82	5.71	5.67	5.76
พลังงานรวม (kcal/kg)	4194.18	4254.14	4258.38	4219.42

4.3 การบันทึกข้อมูล

บันทึกอัตราการเจริญเติบโต โดยทำการบันทึกน้ำหนักในวันที่ 0, 14, 28 และ 35 วัน เพื่อนำมาคำนวณหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโต และบันทึกปริมาณอาหารที่กินทุกสัปดาห์เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณการกินได้ และอัตราแลกเนื้อ

4.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยการทดลองด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

4.5 สถานที่ทำการทดลอง

ศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์ บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ตำบลคลองกิ่ว อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ พบว่าน้ำหนักตัวในช่วงอายุ 1-14 วัน (ตารางที่ 2) ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกพารามิเตอร์ ($P>0.05$) อาจเนื่องจากในข้าวเปลือกมีโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง ที่ไม่ละลายน้ำ ที่จัดเป็นสารต้านโภชนะ ซึ่งอาจส่งผลต่อระยะเวลาในการเคลื่อนตัวของอาหารในทางเดินอาหาร และขัดขวางความสามารถ

ของเอนไซม์ในร่างกายในไก่ที่อายุน้อย [7] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Seyedoshohadaei et al. (2024) [8] รายงานว่าการเสริมเอนไซม์รวมที่ 0.2 กรัม/กิโลกรัม ในอาหารที่มีข้าวสาลีเป็นองค์ประกอบในไก่เนื้อพันธุ์ Ross308 ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักตัวและอัตราแลกเนื้อในช่วง อายุ 1-14 วัน (P>0.05) พบว่าในช่วงอายุ 1-28 วันกลุ่มที่ได้รับเอนไซม์เพียงอย่างเดียวและโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียวมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มที่ได้รับเอนไซม์ร่วมกับโปรไบโอติก เท่ากับ 1,615.53 1583.95 และ 1511.45 ตามลำดับ (P<0.05) และในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 1-35 วัน (P>0.05) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Cardoso et al. (2018) [9] ศึกษาการเสริมเอนไซม์ 1,4-β-xylanase ที่ระดับ 62.5 กรัม/ตัน ในอาหารที่มีข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลีเป็นองค์ประกอบ พบว่าการเสริมเอนไซม์ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น (P<0.001) ในไก่เนื้อพันธุ์ Ross308 อายุ 0-35 วัน

ตารางที่ 2 น้ำหนักตัวเฉลี่ยของไก่เนื้อในแต่ละช่วงอายุ (กรัม)

BW (g)	กลุ่มการทดลอง				P-value
	T1	T2	T3	T4	
อายุ 1-14 วัน	407.47±15.09	402.17±11.38	406.72±7.84	413.56±9.89	0.405
อายุ 1-28 วัน	1572.46^{ab}±30.57	1615.53^{a}±29.75	1583.95^{a}±74.83	1511.45^{b}±56.35	0.017
อายุ 1-35 วัน	2466.23±58.34	2512.96±56.18	2470.23±162.43	2520.86±198.50	0.849

$^{a, b, c}$ Mean values in the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

ในช่วงอายุ 15-28 วัน (ตารางที่ 3) พบว่าไก่เนื้อในกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียว มีน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นสูงกว่า (P<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 1,213.36 และ 1,152.70 กรัม ตามลำดับ และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์ร่วมกับโปรไบโอติก เท่ากับ 1,213.36 และ 1,097.89 กรัม ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Kiarie et al. (2014) [10] ศึกษาการเสริมเอนไซม์ไซลาเนส 1,250 XU/กิโลกรัม ในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวสาลีเป็นองค์ประกอบ พบว่าในช่วงอายุ 22-42 วันไก่เนื้อที่ได้รับการเสริมเอนไซม์มีน้ำหนักตัวดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม (P<0.05) ไม่พบความแตกต่างของน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 29-35 วัน

ตารางที่ 3 น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยของไก่เนื้อในแต่ละช่วงอายุ (กรัม)

BWG (g)	กลุ่มการทดลอง				P-value
	T1	T2	T3	T4	
อายุ 15-28 วัน	1164.99^{ab}±34.34	1213.36^{a}±36.67	1152.70^{b}±35.06	1097.89^{c}±55.08	0.001
อายุ 29-35 วัน	875.60±38.34	897.43±53.60	885.40±88.88	932.91±41.48	0.512

$^{a, b, c}$ Mean values in the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

จากตารางที่ 4 ประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้ออายุ 29-35 วัน พบว่า การเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติก ส่งผลให้ไก่เนื้อมีการกินได้สูงที่สุด (P<0.05) และไม่พบความแตกต่างของน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงอายุ 29-35 วัน (P>0.05) ซึ่งการตอบสนองของเอนไซม์ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตอาจขึ้นอยู่กับระดับของเยื่อใย และสารต้านโภชนะในอาหารสัตว์ เนื่องจากในข้าวเปลือกมีเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งส่งผลให้เอนไซม์ไม่สามารถเข้าถึงสารตั้งต้นได้อย่างเต็มที่ ส่งผลให้การใช้สารอาหาร และการเจริญเติบโตลดลง [7]

ตารางที่ 4 ปริมาณการกินได้เฉลี่ยของไก่เนื้อแต่ละช่วงอายุ (กรัม)

FI (g)	กลุ่มการทดลอง				P-value
	T1	T2	T3	T4	
อายุ 1-14 วัน	435.54±16.03	434.79±7.54	428.53±11.24	437.21±11.83	0.625
อายุ 15-28 วัน	1698.04±45.98	1657.41±21.96	1650.61±17.16	1673.28±81.20	0.363
อายุ 29-35 วัน	1309.05^{b}±92.84	1288.60^{b}±51.62	1250.87^{b}±50.31	1414.23^{a}±64.86	0.015
อายุ 1-35 วัน	3746.68±34	3725.96±50.60	3615.67±111.79	3725.18±124.75	0.076

$^{a, b, c}$ Mean values in the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

ตารางที่ 5 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของไก่เนื้อแต่ละช่วงอายุ (กรัม/ตัว/วัน)

ADG (g/b/d)	กลุ่มการทดลอง				P-value
	T1	T2	T3	T4	
อายุ 1-14 วัน	29.11±1.08	28.73±0.81	29.05±0.56	29.54±0.71	0.405
อายุ 15-28 วัน	83.21^{ab}±2.45	86.67^{a}±2.62	82.33^{b}±2.50	78.42^{c}±3.93	0.001
อายุ 29-35 วัน	125.08±5.48	128.20±7.66	126.48±12.69	138.29±6.26	0.146
อายุ 1-35 วัน	70.46±1.67	71.80±1.61	71.60±4.40	71.97±3.14	0.810

$^{a, b, c}$ Mean values in the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

ในช่วงอายุ 15-28 วัน (ตารางที่ 5) พบว่าไก่เนื้อในกลุ่มที่ได้รับการเสริมเอนไซม์รวมเพียงอย่างเดียวมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันเพิ่มขึ้น (P<0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เสริมโปรไบโอติกเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 86.67 และ 82.33 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ และกลุ่มที่เสริมเอนไซม์ร่วมกับโปรไบโอติก เท่ากับ 86.67 และ 78.42 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วงอายุอื่นๆ (P>0.05) สอดคล้องกับการศึกษาของ Bao et al. (2022) [11] ศึกษาการเสริม *Bacillus amyloliquefaciens* TL106 ที่ 7.5×10^{8}, 2.5×10^{9} และ 7.5×10^{9} CFU/kg ในอาหารไก่เนื้อพื้นฐาน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันไม่แตกต่างกันในทุกระดับที่เสริม (P>0.05) และจากตารางที่ 6 พบว่าในช่วงอายุ 15-28 วันกลุ่มที่เสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียวมีอัตราการแลกเนื้อที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เท่ากับ 1.36 และ 1.45 ตามลำดับ (P<0.05) ในขณะที่ช่วงอายุอื่นๆไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) สอดคล้องกับการศึกษาของ Sanchez et al. (2019) [12] ศึกษาการเสริมเอนไซม์รวมในอาหารไก่เนื้อที่มีรำข้าวเป็นองค์ประกอบ 11% พบว่าน้ำหนักตัว และอัตราการแลกเนื้อในไก่อายุ 25-35 วัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 6 อัตราการแลกเนื้อของไก่เนื้อในแต่ละช่วงอายุ

1-35 วัน	กลุ่มการทดลอง				P-value
	T1	T2	T3	T4	
อายุ 1-14 วัน	1.07±0.04	1.08±0.03	1.06±0.02	1.06±0.03	0.426
อายุ 15-28 วัน	1.45^{ab}±0.07	1.36^{c}±0.03	1.40^{bc}±0.07	1.53^{a}±0.06	0.001
อายุ 29-35 วัน	1.43±0.03	1.40±0.11	1.50±0.06	1.35±0.03	0.059
อายุ 1-35 วัน	1.52±0.03	1.48±0.04	1.46±0.06	1.48±0.04	0.226

$^{a, b, c}$ Mean values in the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

ตารางที่ 7 ตารางต้นทุนอาหารต่อการผลิตเนื้อในแต่ละช่วงอายุ (บาท/กิโลกรัม)

FCG (บาท/กิโลกรัม)	กลุ่มการทดลอง				P-value
	T1	T2	T3	T4	
อายุ 1-14 วัน	18.76±0.68	19.03±0.44	18.58±0.37	18.70±0.56	0.521
อายุ 15-28 วัน	25.21^{b}±1.24	23.68^{a}±0.54	24.41^{ab}±1.16	26.58^{c}±1.08	<0.001
อายุ 29-35 วัน	25.14^{b}±1.18	24.13^{b}±1.80	25.91^{b}±0.96	23.25^{a}±0.45	0.049
อายุ 1-35 วัน	79.00±1.51	77.32±1.90	76.65±3.28	77.54±2.10	0.367

$^{a, b, c}$ Mean values in the same row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

การเสริมเอนไซม์ในอาหารไก่เนื้อที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบในช่วงอายุ 15-28 วัน ส่งผลให้ต้นทุนอาหารถูกลง ที่ 23.68 บาท/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ 25.21 บาท/กิโลกรัม (P<0.05) และที่อายุ 29-35 วัน พบว่าการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกในอาหารไก่เนื้อส่งผลให้มีค่าต้นทุนอาหารต่อการผลิตเนื้อถูกที่สุด เท่ากับ 23.25 บาท/กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับทุกกลุ่มการทดลอง (P<0.05) ดังแสดงในตารางที่ 6 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโปรไบโอติกมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ย่อยสลายเส้นใย ซึ่งอาจเสริมการทำงานของเอนไซม์จากภายนอก นอกจากนี้เอนไซม์ย่อยอาหารจากภายนอกช่วยเพิ่มความพร้อมของสารตั้งต้นที่เหมาะสมสำหรับโปรไบโอติก [13]

6. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาการเสริมเอนไซม์รวม และโปรไบโอติกทางการค้าในอาหารที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของไก่เนื้อสรุปได้ว่า การเสริมเอนไซม์เพียงอย่างเดียวในอาหารที่มีข้าวเปลือกเป็นองค์ประกอบช่วยให้ไก่เนื้ออายุ 15-28 วัน มีต้นทุนการผลิตลดลง และประสิทธิภาพการผลิตในด้าน น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และอัตราการแลกเนื้อดีขึ้น และการเสริมเอนไซม์รวมร่วมกับโปรไบโอติกช่วยลดต้นทุนค่าอาหารไก่เนื้อที่อายุ 29-35 วัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จและสมบูรณ์ได้เนื่องจากได้รับการอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยและนวัตกรรมอาหารสัตว์บริษัท ซีพีเอฟ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ตำบลคลองกิ่ว อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี ขอขอบคุณบุคลากรทุกท่านที่ช่วยชี้แนะให้คำปรึกษาและอนุเคราะห์สถานที่ในการทดลอง ขอขอบพระคุณทุนบัณฑิตเรียนดีเพื่อศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปีงบประมาณ 2566 (ตามสัญญาเลขที่ ทบ42/2565) ที่สนับสนุนทุนการศึกษาและทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดรุณี ศรีชนะ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยชี้แนะและให้คำปรึกษาจนงานวิจัยชิ้นนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Li, Z., Li, J., Liu, X. L., Liu, D. D. Li, H. H., Li, Z. J., Han, R. L., Wang, Y. B., Liu, X. J., Kang, X. T., Yan, F. B. and Tian, Y. D. 2019. Effects of different starch sources on glucose and fat metabolism in broiler chickens. Br. Poult Sci. 60(4): 449-456.

[2] Nath, P.C., Ojha, A. and Debnath, S. 2023. Valorization of food waste as animal feed: A step towards sustainable food waste management and circular bioeconomy. Animals 13: 1366.

[3] Yu, J., Zhang, H., Yang, H. M. and Wang, Z. Y. 2022. Effects of dietary paddy rice on growth performance, carcass traits, bare skin color, and nutrient digestibility in geese. Poultry Science. 101: 1-4.

[4] Abd El-Hack, M. E., Abdelnour, S. A., Taha, A. E., Khafaga, A. F., Arif, M., Ayasan, T., Swelum, A. A., Abukhalil, M. H., Alkahtani, S., Aleya, L., & Abdel-Daim, M. M. (2020). Probiotics in poultry feed: A comprehensive review. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 104(6): 1835-1850.

[5] Aviagen, 2018.Ross broiler Management Handbook. Aviagen, Inc, Huntsville, AL. Retrieved from. https://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross-Bro ilerHandbook2018-EN.pdf.

[6] AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17thed. Association of official analytical chemists, Arlington, V. A.

[7] Bedford, MR and Schulze, H 1998. Exogenous enzymes for pigs and poultry. Nutr Res Rev. 11: 91–114.

[8] Seyedoshohadaei, S., Torki, M., Yaghoubfar, A. and Abdolmohammadi, A. 2024. Interactions of wheat cultivars and supplemental enzyme in diet of broiler chickens on growth performance, carcass characteristics, intestinal morphometric features, and blood parameters. Journal of Agriculture and Food Research. 18: 101291.

[9] Cardoso, V., Fernandes, E.A., Santos, H.M., Maças, B., Lordelo, M.M., Telo da Gama, L., Ferreira, L.M., Fontes, C.M. and Ribeiro, T. 2018. Variation in levels of non-starch polysaccharides and endogenous endo-1, 4-β-xylanases affects the nutritive value of wheat for poultry, Br. Poultry Sci. 59(2): 218–226.

[10] Kiarie, E., Romero, L.F. and Ravindran, V. 2014. Growth performance, nutrient utilization, and digesta characteristics in broiler chickens fed corn or wheat diets without or with supplemental xylanase. Poultry Science. 93(5): 1186-1196.

[11] Bao, C., Zhang, W., Wang, J., Liu, Y., Cao, H., Li, F., Liu, S., Shang, Z., Cao, Y. and Dong, B. 2022. The effects of dietary *Bacillus amyloliquefaciens* TL106 supplementation, as an alternative to antibiotics, on growth performance, intestinal immunity, epithelial barrier integrity, and intestinal microbiota in broilers. Animals (Basel). 12(22): 3085.

[12] Sanchez, J., Thanabalan, A., Khanal, T., Patterson, R., Slominski B.A. and Kiarie, E. 2019. Growth performance, gastrointestinal weight, microbial metabolites and apparent retention of components in broiler chickens fed up to 11% rice bran in a corn-soybean meal diet without or with a multi-enzyme supplement. Animal Nutrition. 5(1): 41-48.

[13] Adeoye, A.A., Yomla, R., Jaramillo-Torres, A., Rodiles, A. Merrifield, D.L. and Davies, S.J. 2016. Combined effects of exogenous enzymes and probiotic on Nile tilapia (Oreochromis niloticus) growth, intestinal morphology and microbiome. Aquaculture. 463: 61-70.

การศึกษาประสิทธิภาพดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหาร ต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวัน

ฐิตานันท์ ห้วงทรัพย์[1], ภควัต แอบฉิมพลี[1*], อาภากร ขัดสาย[1], นพพล อรุณรัตน์[1], สุกัญญา เสรีนนท์ชัย[1], ชนานันท์ พิริยเลิศศักดิ์[2] และบุณยวีร์ พิริยเลิศศักดิ์[2]

[1]คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม
[2]โรงเรียนนานาชาติโซรส์เบอรี กรุงเทพ แขวงวัดพระยาไกร เขตบางคอแหลม กรุงเทพมหานคร
* Corresponding author: pakkawat.aep@student.mahidol.edu

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของดินอินทรีย์ที่ผลิตจากขยะเศษอาหารของร้านอาหารเชน (บ้านสวนพุด) อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและปริมาณการสะสมโลหะหนักในดินอินทรีย์จากเศษอาหาร รวมถึงในต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกในดินดังกล่าว นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกในดินปลูกชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ดินใบก้ามปู ดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหาร และดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหารผสมไบโอชาร์ โดยแต่ละชุดทดลองปลูกซ้ำกัน 3 ครั้ง ผลการทดลองพบว่า ดินใบก้ามปูมีคุณสมบัติทางเคมีบางประการต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ขณะที่ดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหาร และดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหารผสมไบโอชาร์ มีคุณสมบัติทางเคมีและระดับการสะสมโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์สำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวัน พบว่า ต้นอ่อนที่ปลูกในดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหารมีน้ำหนักสดเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือ ดินใบก้ามปู และดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหารผสมไบโอชาร์ ตามลำดับ ในส่วนของการสะสมโลหะหนักในต้นอ่อนทานตะวัน พบว่า ต้นอ่อนที่ปลูกในดินใบก้ามปู ดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหาร และดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหารผสมไบโอชาร์ มีปริมาณแคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) และสารหนู (As) ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกในดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหารผสมไบโอชาร์มีการสะสมโลหะหนักในพืชลดลง เมื่อเทียบกับต้นอ่อนที่ปลูกในดินชนิดอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างคุณสมบัติทางเคมีหรือปริมาณการสะสมโลหะหนักของดินกับการเจริญเติบโตและน้ำหนักสดของต้นอ่อนทานตะวัน

คำสำคัญ: ขยะเศษอาหาร / ดินอินทรีย์ / ต้นอ่อนทานตะวัน / ไบโอชาร์ / โลหะหนัก

A Study on the Efficiency of Organic Soil from Food Waste in the Growth of Sunflower Sprouts

Thitanun Huangsup[1], Pakkawat Aepchimphli[1*], Aphakorn Khatsai[1], Noppol Arunrat[1], Sukanya Sereenonchai[1], Chananan Piriyalertsak[2] and Boonyawee Piriyalersak[2]

[1]Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Salaya, Phutthamonthon, Nakhon Pathom
[2]Shrewsbury International School Bangkok, Wat Phraya Krai, Bang Kho Laem, Bangkok
* Corresponding author: pakkawat.aep@student.mahidol.edu

Abstract

This study aimed to evaluate the efficiency of organic soil produced from food waste generated by Shane Restaurant (Baan Suan Phud Restaurant) located in Phutthamonthon District, Nakhon Pathom Province. The chemical properties and heavy metal accumulation levels in the organic soil derived from food waste, as well as in sunflower sprouts grown in the soil, were analyzed. Additionally, the growth performance of sunflower sprouts cultivated in different soil types was compared, including Rain tree leaf compost, organic soil from food waste, and organic soil from food waste mixed with biochar. Each treatment was conducted in three replications. The results showed that Rain tree leaf compost exhibited lower levels of certain chemical properties compared to the organic fertilizer standards, including organic matter content, total nitrogen, available phosphorus, and available potassium. In contrast, both the organic soil from food waste and the organic soil from food waste mixed with biochar met the organic fertilizer standards for chemical properties and heavy metal accumulation levels. Regarding the growth of sunflower sprouts, those grown in the organic soil from food waste had the highest average fresh weight, followed by those grown in Rain tree leaf compost, and finally, those grown in the organic soil from food waste mixed with biochar. In terms of heavy metal accumulation in the sunflower sprouts, it was found that sprouts grown in all three soil types contained cadmium (Cd), lead (Pb), and arsenic (As) levels below the permissible standards. Notably, sunflower sprouts cultivated in the organic soil from food waste mixed with biochar exhibited reduced heavy metal accumulation compared to those grown in the other soil types. However, no statistically significant relationship was observed between the chemical properties or the heavy metal accumulation levels in the soil and the growth performance or fresh weight of the sunflower sprouts.

Keywords: Food Waste / Organic Soil / Sunflower Sprouts / Biochar / Heavy Metals

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการเพิ่มขึ้นของประชากรทั่วโลก โดยประเทศไทยมีการคาดการณ์ว่า ประชากรไทยจะเพิ่มขึ้นสูงสุดเกือบ 70 ล้านคน ในปี 2568 จากแนวโน้มของประชากรที่เพิ่มสูงขึ้นก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะจำนวนมหาศาล โดยเฉพาะขยะอาหาร โดยขยะอาหารในประเทศไทยใน ปี 2565 จากรายงานสถานการณ์มลพิษ พบมีปริมาณ 9.68 ล้านตัน คิดเป็น 38 % ของขยะมูลฝอยชุมชน ที่เกิดขึ้นทั้งหมด 26 ล้านตัน โดย 1 คน ผลิตขยะอาหาร 146 กิโลกรัมต่อปี [1] เศษอาหารเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของปัญหาการจัดการขยะที่ไม่ยั่งยืนและก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น การปล่อยก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบที่มีผลต่อภาวะโลกร้อน การเผาขยะที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ และการสิ้นเปลืองทรัพยากรธรรมชาติในการกำจัดขยะ เพื่อลดปัญหาดังกล่าว แนวทางหนึ่งที่ได้รับความสนใจมากขึ้น คือการนำเศษอาหารมาผลิตเป็นดินอินทรีย์จากเศษอาหาร โดยการแปรรูปขยะอินทรีย์เหล่านี้ให้เป็นดินอินทรีย์ที่สามารถลดปริมาณขยะในครัวเรือนและสร้างประโยชน์ทางเกษตรกรรมในครัวเรือนได้ การนำเศษอาหารที่เหลือทิ้งมาผลิตเป็นดินอินทรีย์จึงเป็นหนึ่งในวิธีที่สามารถช่วยลดปริมาณขยะ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และยังเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์อย่างยั่งยืน และสำหรับประชาชน การทำสวนผักในพื้นที่จำกัดของบ้านหรือคอนโดมิเนียมเป็นกิจกรรมที่เริ่มได้รับความนิยมมากขึ้น ไม่เพียงเพราะเป็นการผลิตอาหารปลอดภัยสำหรับครอบครัว แต่ยังช่วยส่งเสริมสุขภาพกายและใจ อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญที่พบคือ การใช้ปุ๋ยเคมีในสวนผักเมือง ไม่เพียงแต่มีผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคเท่านั้น แต่ยังมีผลเสียต่อดินและสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

ด้วยเหตุนี้การใช้ดินอินทรีย์จากเศษอาหารจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการทำสวนผักในเมือง ดินอินทรีย์ที่ผลิตจากเศษอาหารมีคุณสมบัติที่ดีในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากมีสารอาหารที่จำเป็นต่อพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งเหมาะสมกับการปลูกพืชผักที่ต้องการการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เช่น ต้นอ่อนทานตะวัน หรือแม้กระทั่งต้นอ่อนต่าง ๆ ที่เป็นที่นิยมสำหรับผู้ที่ต้องการปลูกผักบริโภคเอง นอกจากนี้ ดินอินทรีย์ยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน เช่น การอุ้มน้ำ การระบายอากาศ และการกระจายธาตุอาหารที่สม่ำเสมอ ทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดีแม้ในพื้นที่จำกัดหรือดินที่คุณภาพไม่ดี จากปัญหาที่กล่าวมานี้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การนำเศษอาหารที่เป็นขยะจากครัวเรือนของประชาชน มาผลิตเป็นดินอินทรีย์จากเศษอาหารเพื่อนำไปใช้ในการปลูกพืชผักพื้นฐานสำหรับการบริโภคในครัวเรือน โดยเฉพาะการปลูกในพื้นที่คอนโดเนียมที่มีพื้นที่จำกัด การทดลองนี้จึงเป็นการศึกษาคุณสมบัติของดินอินทรีย์ที่ผลิตจากเศษอาหาร และประเมินประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ดังกล่าวกับพืชที่เจริญเติบโตเร็วและปลูกง่าย ร่วมกับการใช้ไบโอชาร์ (Biochar) ที่ใช้สำหรับการปรับปรุงคุณภาพดิน ในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารในดิน ซึ่งเหมาะสมกับการทำสวนครัว ปัญหาของขยะเศษอาหารและโอกาสในการนำขยะเหล่านี้มาสร้างมูลค่าใหม่ โดยการปลูกพืชผักในครัวเรือนสำหรับประชาชนที่มีพื้นที่จำกัด

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและปริมาณการสะสมโลหะหนักของดินอินทรีย์ที่ผลิตจากขยะเศษอาหาร
2. เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวันเมื่อใช้ดินใบก้ามปู ดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหาร และ ดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหารผสมร่วมกับไบโอชาร์ (Biochar)
3. เพื่อศึกษาปริมาณการสะสมโลหะหนักในต้นอ่อนทานตะวัน เมื่อเทียบกับมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้การศึกษาประสิทธิภาพของดินอินทรีย์จากเศษอาหาร โดยศึกษาดินอินทรีย์จาก ร้านอาหารเชน (บ้านสวนพุด) อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. สร้างแหล่งกำเนิดของขยะอินทรีย์ คือ ร้านอาหารเชน (บ้านสวนพุด) อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม
2. ช่วงเวลาการวิจัย คือ ตุลาคม 2567 - มีนาคม 2568
3. เมล็ดที่ทำการเพาะทดลอง คือ เมล็ดต้นอ่อนทานตะวัน

3.1 การเตรียมดินอินทรีย์

3.1.1 การเตรียมภาชนะสำหรับหมักดินโบกาชิ วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอน

ถังหมักที่มีฝาปิดสนิท (ขนาดขึ้นอยู่กับปริมาณเศษอาหารที่ต้องการหมัก) กระดาษหรือเศษกระดาษหนังสือพิมพ์สำหรับรองพื้นถังผงโบกาชิ ซึ่งเป็นสารเร่งจุลินทรีย์ที่ช่วยให้การหมักเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น และมีดหรือเขียงสำหรับหั่นเศษอาหารให้มีขนาดเล็ก

วิธีดำเนินการ ล้างทำความสะอาดถังหมักให้เรียบร้อย เพื่อลดการปนเปื้อนจากเชื้อโรคหรือสิ่งสกปรกที่อาจมีอยู่ รองพื้นด้านล่างของถังหมักด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์หรือกระดาษอื่น ๆ เพื่อช่วยดูดซับความชื้นจากเศษอาหารที่ถูกหมัก จากนั้นโรยผงโบกาชิชั้นแรกลงบนกระดาษ เพื่อเตรียมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

3.1.2 การหมักเศษอาหารและการเติมผงโบกาชิ

ใส่เศษอาหารลงในถังหมักกระจายให้ทั่วพื้นผิวของถัง โรยผงโบกาชิให้ทั่วบนเศษอาหารแต่ละชั้น เพื่อให้จุลินทรีย์ทำงานได้เต็มที่ จากนั้นใช้ภาชนะหรือมือกดเศษอาหารให้แน่น เพื่อลดปริมาณอากาศภายในถังหมัก ช่วยป้องกันการเกิดกลิ่นเหม็นจากการเน่าเสีย ทำการปิดฝาถังให้สนิททุกครั้งหลังจากเติมเศษอาหารลงไป เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากอากาศภายนอก และทำซ้ำขั้นตอนนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าถังหมักจะเต็มระยะเวลาการหมัก เมื่อถังหมักเต็มแล้ว ให้ปิดฝาและปล่อยให้เศษอาหารหมักต่อไปเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 2 สัปดาห์ ในช่วงเวลานี้ จุลินทรีย์ในผงโบกาชิจะทำหน้าที่ย่อยสลายอินทรียวัตถุ ทำให้เศษอาหารเปลี่ยนเป็นดินโบกาชิที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการเพาะปลูก

3.1.3 การหมักดินจากดินโบกาชิ

ขุดหลุมในดินให้ลึกประมาณ 20-30 เซนติเมตร แล้วนำเศษอาหารที่หมักเสร็จแล้วไปฝังลงไป และใช้ดินกลบด้านบนให้มิดชิด แล้วปล่อยให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นต่อไปเป็นเวลา ประมาณ 2 สัปดาห์ หากไม่มีพื้นที่สำหรับฝังดิน สามารถใช้กล่องหมักดิน แทนได้ โดยการใส่ดินธรรมดาและเศษอาหารหมักเป็นชั้น ๆ สลับกัน แล้วรอให้ย่อยสลายจนกลายเป็นดินสมบูรณ์ [2]

3.2 การเตรียมดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์ (อัตราส่วนการผสม ดินโบกาชิ 5 ส่วน กับ ถ่านไบโอชาร์ 1 ส่วน) ขั้นตอนการใช้มีดังนี้

1. เตรียมถ่านไบโอชาร์ ใช้ถ่านไบโอชาร์ที่ผ่านการกระตุ้นแล้ว (Activated Biochar) โดยนำไปแช่ในน้ำหรือสารละลายที่มีจุลินทรีย์ เช่น น้ำหมักชีวภาพ หรือน้ำหมักจากดินโบกาชิ เป็นเวลา 1-2 วัน เพื่อให้ถ่านดูดซับจุลินทรีย์และสารอาหาร

2. ผสมดินโบกาชิกับถ่านไบโอชาร์ นำดินโบกาชิ 5 ส่วน มาผสมกับถ่านไบโอชาร์ 1 ส่วนคลุกเคล้าให้เข้ากัน เพื่อให้ถ่านไบโอชาร์กระจายตัวทั่วดิน

3.หลังจากผสมแล้ว สามารถหมักทิ้งไว้ ประมาณ 1-2 สัปดาห์ เพื่อให้จุลินทรีย์จากดินโบกาชิเริ่มทำงานร่วมกับถ่านไบโอชาร์ ซึ่งจะช่วยให้ดินมีความสมดุลมากขึ้น

3.3 การเตรียมดินใบก้ามปู

3.3.1 วัตถุดิบในการเตรียม

เริ่มด้วยการเตรียมใบก้ามปูแห้งหรือสด (ใบจามจุรี) ซึ่งเป็นแหล่งอินทรียวัตถุและธาตุอาหารที่สำคัญ จากนั้นเตรียมดินร่วนหรือดินปลูกทั่วไปเพื่อเป็นฐานของดินผสม และเตรียมปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักจะช่วยเพิ่มจุลินทรีย์และสารอาหารให้กับดิน ในส่วนของการเตรียมน้ำหมักชีวภาพหรือน้ำเปล่าจะใช้ช่วยกระตุ้นการย่อยสลาย การเตรียมเศษใบไม้หรือฟางข้าวช่วยปรับโครงสร้างดินและเพิ่มอินทรียวัตถุ และแกลบดำหรือถ่านไบโอชาร์ช่วยรักษาความชื้นและเพิ่มช่องอากาศในดิน

3.3.2 ขั้นตอนการทำดิน

เริ่มจากการนำใบก้ามปู มาเทเป็นชั้น ๆ ลงในก้ามู โดยแต่ละชั้นควรราดน้ำหมักชีวภาพเพื่อช่วยในการย่อยสลาย จากนั้นคลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วหมักไว้ประมาณ 1 เดือน พร้อมกลับกองทุก 1-2 สัปดาห์เพื่อเติมอากาศและเร่งกระบวนการย่อยสลาย เมื่อตักดินออกมาแล้ว ควรพักดินไว้อีก 1-2 สัปดาห์ก่อนนำไปใช้ เพื่อให้จุลินทรีย์ในดินคงตัวและพร้อมสำหรับการปลูกพืช [3]

3.4 สูตรดินในการปลูก

การทดลองทำทั้งหมด 3 ชุดการทดลอง : ทำ 3 ซ้ำ รวมเป็น 9 การทดลอง การทดลองที่ 1 ปลูกต้นอ่อนทานตะวัน โดย "ดินใบก้ามปู" การทดลองที่ 2 ปลูกต้นอ่อนทานตะวัน โดย "ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร" และการทดลองที่ 3 ปลูกต้นอ่อนทานตะวัน โดย "ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ (Biochar)" ด้วยอัตราส่วน "ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร : ไบโอชาร์" เท่ากับ 5:1

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental design) เป็นรูปแบบการวิจัยที่มุ่งเน้นทดลองประเด็นที่ยังไม่ชัดเจนหรือหัวข้อที่ยังไม่มีข้อมูลเพียงพอ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับปัญหา ซึ่งในการวิจัยนี้มุ่งเน้นทดลองประสิทธิภาพของดินอินทรีย์ของร้านอาหารเชน (บ้านสวนพุด) โดยทำการปลูกต้นอ่อนทานตะวันกับ 3 สูตรดิน สูตรละ 3 ซ้ำ รวมเป็น 9 กระถาง กระถางละ 100 เมล็ด ใช้ระยะเวลาในการปลูกต้นอ่อนทานตะวัน 15 วัน และจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1.แช่เมล็ด 2.บ่มเมล็ด และ 3.ปลูกต้นอ่อนทานตะวัน ซึ่งจะแบ่งไปอีก 2 ขั้นตอนย่อย คือ ปลูกในที่ที่มีอากาศน้อยและทึบแสง และปลูกในที่โล่งแจ้ง และการวัดค่าพารามิเตอร์ดินต่าง ๆ และประสิทธิภาพในการปลูกของดินอินทรีย์ โดยวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืชในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ด้วยวิธี Electrometric ค่าการนำไฟฟ้า ด้วยวิธี ดิน : เท่ากับ 1:5 ความเค็มของดิน ด้วยวิธี ดิน : น้ำ เท่ากับ 1 : 5 ปริมาณอินทรียวัตถุ วิธีวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ด้วยวิธีวิเคราะห์ของ Bray II ปริมาณค่าโพแทสเซียมเป็นประโยชน์ต่อพืช ด้วยการใช้แอมโมเนียมอะซิเตท 1 N pH 7ปริมาณค่าแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ด้วยการใช้แอมโมเนียมอะซิเตท 1 N pH 7 ปริมาณค่าแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ด้วยการใช้แอมโมเนียมอะซิเตท 1 N pH 7 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ด้วยการใช้แอมโมโมเนียมอะซิเตท 1 N pH 7 และ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ด้วยวิธี Kjeldahl รวมถึง โลหะหนักได้แก่ แคดเมียม ปรอท และ สารหนู ด้วยเทคนิค ICP-OES แล้วนำมาคำนวณหาค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ แล้วทำการวัดการเจริญเติบโตของพืช คือ น้ำหนักสด ของในทุกตัวอย่างดิน

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

โดยวิเคราะห์ข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวัน โดยนำข้อมูล น้ำหนักสดของต้นอ่อนทานตะวัน (กรัม) มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว (One-way analysis of variance: ANOVA) หากพบว่ามีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 กลุ่ม จะใช้ การเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparison) ด้วย การทดสอบพหุพิสัยของดันแคน (Duncan's multiple range test) เพื่อหาว่าประชากรกลุ่มใดที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและปริมาณการสะสมของโลหะหนักของดินทั้ง 3 สูตร ได้แก่ 1.ดินใบก้ามปู 2.ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร และ 3.ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ (Biochar) โดยมีรายละเอียดผลการศึกษา ได้แก่

5.1 คุณสมบัติทางเคมีและปริมาณการสะสมของโลหะหนักของดิน

ผลการศึกษาพบว่าพบว่าในพารามิเตอร์ที่มีค่ามาตรฐาน ได้แก่ 1).ค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินใบก้ามปู จะมีค่าเท่ากับ 6.39 ของดินอินทรีย์จากเศษอาหาร จะที่ค่าเท่ากับ 7.27 และ ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ (Biochar) จะมีค่าเท่ากับ 7.59 ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินทั้ง 3 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [4] 2).ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า (EC) ของดินใบก้ามปู จะมีค่าเท่ากับ 0.48 dS/m ของดินอินทรีย์จากเศษอาหาร จะที่ค่าเท่ากับ 6.48 dS/m และ ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ (Biochar) จะมีค่าเท่ากับ 9.20 dS/m ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้า (EC) ของดินทั้ง 3 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [5] 3). ค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ของดินใบก้ามปู จะมีค่าเท่ากับ 15.61% ของดินอินทรีย์จากเศษอาหาร จะที่ค่าเท่ากับ 22.90% และ ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ (Biochar) จะมีค่าเท่ากับ 24.44% ซึ่งจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยปริมาณอินทรียวัตถุ (OM) ของดินใบก้ามปู จะไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [5] กำหนด ส่วนดินอินทรีย์จากเศษอาหาร และ ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบ

โอชาร์ (Biochar) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [5] 4).ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ของดินใบก้ามปู จะมีค่าเท่ากับ 0.39% ของดินอินทรีย์จากเศษอาหาร จะที่ค่าเท่ากับ 1.09% และ ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ (Biochar) จะมีค่าเท่ากับ 1.25% ซึ่งจะเห็นว่าหากพิจารณาแค่ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ค่าเฉลี่ยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ของดินใบก้ามปู จะไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [5] กำหนด ส่วนดินอินทรีย์จากเศษอาหาร และ ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ (Biochar) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [5] 5).ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. P) ของดินใบก้ามปู จะมีค่าเท่ากับ 0.07 % ของดินอินทรีย์จากเศษอาหาร จะที่ค่าเท่ากับ 0.25% และ ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ (Biochar) จะมีค่าเท่ากับ 0.27% ซึ่งจะเห็นว่าหากพิจารณาแค่ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. P) จะไม่มีค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. P) ของดินสูตรไหนเลยที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [5] 6).ค่าเฉลี่ยปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. K) ของดินใบก้ามปู จะมีค่าเท่ากับ 0.04% ของดินอินทรีย์จากเศษอาหาร จะที่ค่าเท่ากับ 1.95% และ ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ (Biochar) จะมีค่าเท่ากับ 1.52% ซึ่งจะเห็นว่าหากพิจารณาแค่ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. K) ค่าเฉลี่ยปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. K) ของดินใบก้ามปู จะไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [5] กำหนด ส่วนดินอินทรีย์จากเศษอาหาร และ ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ (Biochar) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [5]

แต่ในเกณฑ์มาตรฐาน [5] ได้กำหนดว่าหากค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) หรือ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. P) หรือ ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. K) ไม่ได้มีปริมาณที่มาตรฐานกำหนด คือ 1.0% 0.5% และ 0.5% ตามลำดับ ก็ต้องมีปริมาณธาตุอาหารหลักรวมกันไม่ต่ำกว่า 2 % ซึ่งใน ดินใบก้ามปู จะมีค่ารวมกันเท่ากับ 0.5% ของดินอินทรีย์จากเศษอาหาร จะที่ค่ารวมกันเท่ากับ 3.29% และ ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ (Biochar) จะมีรวมกันค่าเท่ากับ 3.04% ซึ่งจะพบว่าปริมาณธาตุอาหารหลักรวมของดินใบก้ามปู จะไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [5] กำหนด ส่วนดินอินทรีย์จากเศษอาหาร และ ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ (Biochar) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน [5] ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินที่ทำการปลูก

พารามิเตอร์	**หน่วย**	**ตัวอย่างดิน**			**มาตรฐาน**
		ดินใบก้ามปู	ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร	ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์	
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)		6.39	7.27	7.59	5.5-8.5 [4]
ค่าการนำไฟฟ้า (EC)	dS/m	0.48	6.48	9.20	≤10 [5]
ความเค็ม (Salinity)	ppt	0.30	4.38	5.89	
ปริมาณอินทรียวัตถุ (OM)	%	15.61	22.90	24.44	≥20 [5]
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	cmol/kg	8.89	29.92	21.65	
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N)	%	0.39	1.09	1.25	≥1.0 [5]
ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. P)	mg/kg	697	2,539	2,730	
	%	0.07	0.25	0.27	≥0.5 [5]
ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. K)	mg/kg	426	19,457	15,175	
	%	0.04	1.95	1.52	≥0.5 [5]
ปริมาณธาตุอาหารหลัก	%	0.5	3.29	3.04	≥2.0 [5]
ปริมาณแคลเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. Ca)	mg/kg	8,694	11,165	7,185	
ปริมาณแมกนีเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. Mg)	mg/kg	746	2,583	1,664	

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินที่ทำการปลูก (ต่อ)

พารามิเตอร์	**หน่วย**	**ตัวอย่างดิน**			**มาตรฐาน**
		ดินใบก้ามปู	ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร	ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับไบโอชาร์	
โลหะหนัก					
แคดเมียม (Cd)	mg/kg	1.38	1.16	1.07	≤726 [6]
ปรอท (Pb)	mg/kg	8.79	5.67	4.10	≤800 [6]
สารหนู (As)	mg/kg	3.67	3.12	3.07	≤25 [6]

[4] ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548
[5] ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง การขอขึ้นทะเบียน การออกใบสำคัญการขึ้นทะเบียน การขอแก้ไขรายการทะเบียนและการแก้ไขรายการทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2555
[6] ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน (ประกาศ ณ วันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2564)

5.2 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวัน

จากผลการศึกษาพบว่าหากเฉลี่ย 1).อัตราการรอดของพืชที่ปลูกในแต่ละตัวอย่างดิน ดินใบก้ามปู จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 67.0% ดินอินทรีย์ จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 82.7% และ ดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์ จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 71.0% ซึ่งจะพบว่าค่าเฉลี่ยอัตราการรอดของพืชจากดินอินทรีย์จะมีค่ามากที่สุด 2).จำนวนใบของพืชที่ปลูกในแต่ละตัวอย่างดิน ดินใบก้ามปู จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.1 ใบ ดินอินทรีย์ จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.7 ใบ และ ดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์ จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.6 ใบ ซึ่งจะพบว่าค่าเฉลี่ยจำนวนใบของพืชจากดินใบก้ามปูจะมีค่ามากที่สุด 3).ความสูงลำต้นของพืชที่ปลูกในแต่ละตัวอย่างดิน ดินใบก้ามปู จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.4 ซม. ดินอินทรีย์ จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.4 ซม. และ ดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์ จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.0 ซม. ซึ่งจะพบว่าค่าเฉลี่ยความสูงลำต้นของพืชจากดินใบก้ามปูจะมีค่ามากที่สุด 4).ความกว้างใบของพืชที่ปลูกในแต่ละตัวอย่างดิน ดินใบก้ามปู จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.1 ซม. ดินอินทรีย์ จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.2 ซม. และ ดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์ จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.3 ซม. ซึ่งจะพบว่าค่าเฉลี่ยจำนวนใบของพืชจากดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์ จะมีค่ามากที่สุด 5).ความยาวใบของพืชที่ปลูกในแต่ละตัวอย่างดิน ดินใบก้ามปู จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.3 ซม. ดินอินทรีย์ จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.0 ซม. และ ดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์ จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.1 ซม. ซึ่งจะพบว่าค่าเฉลี่ยจำนวนใบของพืชจากดินใบก้ามปูจะมีค่ามากที่สุด 6).น้ำหนักสดต่อต้นของพืชที่ปลูกในแต่ละตัวอย่างดิน ดินใบก้ามปู จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.57 กรัม ดินอินทรีย์ จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.60 กรัม และ ดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์ จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.53 กรัม ซึ่งจะพบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดของดินอินทรีย์จะมีค่ามากที่สุด

ตารางที่ 2 รูปภาพการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวัน

ขั้นตอน	แช่เมล็ด		ป่มเมล็ด		ลงดิน
วัน/เดือน/ปี	16 มกราคม 2568	17 มกราคม 2568	17 มกราคม 2568	19 มกราคม 2568	
รูปภาพ ขั้นตอน ต่าง ๆ			 	 	 

ขั้นตอน	ปลูกในที่ที่มีอากาศน้อยและแสงน้อย			ปลูกกลางแจ้ง	
วัน/เดือน/ปี	วันที่ 1 19 มกราคม 2568	วันที่ 2 20 มกราคม 2568	วันที่ 3 21 มกราคม 2568	วันที่ 4 22 มกราคม 2568	วันที่ 5 23 มกราคม 2568
ดินก้ามปู					
ดินอินทรีย์					
ดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์					

ตารางที่ 2 รูปภาพการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวัน (ต่อ)

ขั้นตอน	ปลูกกลางแจ้ง				
วัน/เดือน/ปี	วันที่ 6 24 มกราคม 2568	วันที่ 7 25 มกราคม 2568	วันที่ 8 26 มกราคม 2568	วันที่ 9 27 มกราคม 2568	วันที่ 10 28 มกราคม 2568
ดินก้ามปู					
ดินอินทรีย์					
ดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์					

ขั้นตอน	ปลูกกลางแจ้ง				
วัน/เดือน/ปี	วันที่ 11 29 มกราคม 2568	วันที่ 12 30 มกราคม 2568	วันที่ 13 31 มกราคม 2568	วันที่ 14 1 กุมภาพันธ์ 2568	วันที่ 15 2 กุมภาพันธ์ 2568
ดินก้ามปู					
ดินอินทรีย์					
ดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์					

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยผลการตรวจวัดการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวันในแต่ละตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดิน	**ค่าเฉลี่ย**					
	อัตราการรอด (%)	จำนวนใบ (ใบ)	ความสูงลำต้น (ซม.)	ความกว้างใบ (ซม.)	ความยาวใบ (ซม.)	น้ำหนักสดต่อต้น (กรัม)
ดินใบก้ามปู 1	64	3.8 ± 0.9	8.4 ± 3.4	1.1 ± 0.4	2.2 ± 0.7	0.5 ± 0.2
ดินใบก้ามปู 2	67	4.2 ± 1.1	8.8 ± 4.2	1.1 ± 0.4	2.3 ± 0.8	0.5 ± 0.2
ดินใบก้ามปู 3	73	4.2 ± 1.0	8.1 ± 3.4	1.2 ± 0.3	2.5 ± 0.7	0.7 ± 0.3
ดินอินทรีย์ 1	81	3.5 ± 1.0	6.2 ± 2.6	1.1 ± 0.2	1.9 ± 0.3	0.5 ± 0.2
ดินอินทรีย์ 2	85	3.9 ± 0.8	7.6 ± 3.1	1.2 ± 0.2	1.9 ± 0.4	0.6 ± 0.3
ดินอินทรีย์ 3	82	3.6 ± 0.9	5.4 ± 2.4	1.2 ± 0.4	2.0 ± 0.5	0.6 ± 0.3
ดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์ 1	69	3.8 ± 0.8	9.0 ± 6.0	1.3 ± 0.3	2.0 ± 0.3	0.5 ± 0.2
ดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์ 2	67	3.1 ± 1.0	5.3 ± 2.9	1.2 ± 0.3	2.1 ± 0.3	0.5 ± 0.2
ดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์ 3	75	3.8 ± 0.6	6.7 ± 2.0	1.2 ± 0.2	2.2 ± 0.3	0.6 ± 0.2
F-test		9.66	12.20	4.54	10.94	4.31

มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) ในทุกผลการตรวจวัด

5.3 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวันโดยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

น้ำหนักสดของต้นอ่อนทานตะวัน

วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว (One-way analysis of variance: ANOVA)

สมมติฐาน H_0 : สูตรดินทั้ง 3 สูตร ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักของต้นอ่อนทานตะวัน

H_1 : สูตรดินทั้ง 3 สูตร มีอย่างน้อย 1 สูตรที่ส่งผลต่อน้ำหนักของต้นอ่อนทานตะวัน

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักสดต้นอ่อนทานตะวัน (ที่นัยสำคัญ .05) พบว่ามี Sum of Square ใน Between Groups มีเท่ากับ 1.967 Within Groups มีเท่ากับ 37.279 และ Total มีเท่ากับ 39.246 มี df ใน Between Groups มีเท่ากับ 8 Within Groups มีเท่ากับ 654 และ Total มีเท่ากับ 662 มี Mean Square ใน Between Groups มีเท่ากับ 0.246 และ Within Groups มีเท่ากับ 0.057 มี F เท่ากับ 4.313 และมี Sig. น้อยกว่า 0.01

ความแปรปรวนของน้ำหนักของต้นอ่อนทานตะวัน ในการทดสอบ One-way analysis of variance พบว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกใน ดินใบก้ามปู ดินอินทรีย์ และ ดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์ มีน้ำหนักของต้นอ่อนทานตะวัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ .05 หมายความว่า ยอมรับ H_1 : สูตรดินทั้ง 3 สูตร มีอย่างน้อย 1 สูตรที่ส่งผลต่อน้ำหนักของต้นอ่อนทานตะวัน

เมื่อน้ำหนักของต้นอ่อนทานตะวัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ วิเคราะห์ต่อด้วยการทดสอบการเปรียบเทียบพหุคูณด้วยการทดสอบพหุพิสัยของดันแคน พบว่า กลุ่มที่ 1 มี ดินอินทรีย์ผสมร่วมไบโอชาร์ 1 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.48 ดินใบก้ามปู 2 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.510 ดินใบก้ามปู 1 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.513 ดินอินทรีย์ 1 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.537 และ ดินอินทรีย์ผสมร่วมไบโอชาร์ 2 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.547 ที่ Sig. เท่ากับ 0.135 กลุ่มที่ 2 มี ดินใบก้ามปู 2 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.510 ดินใบก้ามปู 1 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.513 ดินอินทรีย์ 1 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.537 ดินอินทรีย์ผสมร่วมไบโอชาร์ 2 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.547 ดินอินทรีย์ผสมร่วมไบโอชาร์ 3 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.578 และ ดินอินทรีย์ 2 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.588 ที่ Sig. เท่ากับ 0.112 กลุ่มที่ 3 มี ดินอินทรีย์ 1 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.537 ดินอินทรีย์ผสมร่วมไบโอชาร์ 2 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.547 ดินอินทรีย์ผสมร่วมไบโอชาร์ 3 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.578 ดินอินทรีย์ 2 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.588 และ ดินอินทรีย์ 3 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.601 ที่ Sig. เท่ากับ 0.156 และกลุ่มที่ 4 มี ดินอินทรีย์ 3 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.601 และ ดินใบก้ามปู 3 ที่มีค่าเฉลี่ย 0.675 ที่ Sig. เท่ากับ 0.062 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร 3 และ ดินใบก้ามปู 3 เป็นกลุ่มที่ทำให้ต้นอ่อนทานตะวันมีน้ำหนักสดมากที่สุด คือ 0.601 กรัม และ 0.675 กรัม ตามลำดับ ที่นัยสำคัญ .05

แต่หากนำน้ำหนักของต้นอ่อนทานตะวัน มาคิดค่าเฉลี่ยในแต่ละวัสดุปลูกดินใบก้ามปู จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.57 กรัม ดินอินทรีย์ จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.60 กรัม และ ดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์ จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.53 กรัม ซึ่งจะพบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดของดินอินทรีย์จะมีค่ามากที่สุด

5.4 ปริมาณการสะสมโลหะหนักในต้นอ่อนทานตะวัน

จากผลการศึกษาพบว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกจากดินใบก้ามปู มีปริมาณแคดเมียม 0.01 mg/kg ซึ่งเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ที่ ไม่เกิน 0.2 mg/kg มีปริมาณตะกั่ว 0.08 mg/kg ซึ่งเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ที่ ไม่เกิน 0.3 mg/kg และมีปริมาณสารหนู 0.10 mg/kg ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดไว้ที่ ไม่เกิน 2 mg/kg ต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกจากดินอินทรีย์ มีปริมาณแคดเมียม 0.01 mg/kg ซึ่งเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ที่ ไม่เกิน 0.2 mg/kg มีปริมาณตะกั่ว 0.03 mg/kg ซึ่งเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ที่ ไม่เกิน 0.3 mg/kg และมีปริมาณสารหนู 0.08 mg/kg ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดไว้ที่ ไม่เกิน 2 mg/kg และต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกจากดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์ มีปริมาณแคดเมียม 0.00 mg/kg ซึ่งเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ที่ ไม่เกิน 0.2 mg/kg มีปริมาณตะกั่ว 0.01 mg/kg ซึ่งเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ที่ ไม่เกิน 0.3 mg/kg และมีปริมาณสารหนู 0.00 mg/kg ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดไว้ที่ ไม่เกิน 2 mg/kg

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์ปริมาณการสะสมของโลหะหนักในต้นอ่อนทานตะวัน

ตัวอย่างต้นอ่อนทานตะวันจาก	**พารามิเตอร์**		
	แคดเมียม (Cd) (mg/kg)	ตะกั่ว (Pb) (mg/kg)	สารหนู (As) (mg/kg)
มาตรฐาน [7]	ไม่เกิน 0.2	ไม่เกิน 0.3	ไม่เกิน 2
ดินใบก้ามปู	0.01	0.08	0.10
ดินอินทรีย์	0.01	0.03	0.08
ดินอินทรีย์ กับ ไบโอชาร์	0.00	0.01	0.00

[7] ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 414) พ.ศ. 2563 ออกตามความในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 เรื่องมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาประสิทธิภาพดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหารต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวันที่จะศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและปริมาณการสะสมของโลหะหนักในดิน พบว่าดินใบก้ามปูจะมี มีคุณสมบัติทางเคมีบางอย่างที่ต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด ได้แก่ ค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ที่มีค่าเท่ากับ 15.61% ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ มากกว่า 20% ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ที่มีค่าเท่ากับ 0.39% ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ มากกว่า 1.0% ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. P) ที่มีค่าเท่ากับ 0.07% ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ มากกว่า 0.5% และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (avail. K) ที่มีค่าเท่ากับ 0.04% ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ มากกว่า 0.5% ส่วนดินอินทรีย์จากเศษอาหาร และ ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ (Biochar) จะมีคุณสมบัติทางเคมีและปริมาณการสะสมของโลหะหนัก เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดทุกพารามิเตอร์

การเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวันเมื่อใช้ดินใบก้ามปู ดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหาร และ ดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ (Biochar) พบว่าเจริญเติบโตของต้นอ่อนทานตะวัน คือ น้ำหนักสดของต้นอ่อนทานตะวัน ซึ่งต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกจาก ดินใบก้ามปู มีน้ำหนักสดเฉลี่ยอยู่ 0.566 กรัม ดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหาร มีน้ำหนักสดเฉลี่ยอยู่ 0.575 กรัม และ ดินอินทรีย์จากขยะเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ (Biochar) มีน้ำหนักสดเฉลี่ยอยู่ 0.535 กรัม จะเห็นได้ว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกจาก ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร มีน้ำหนักสดเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาเป็น ดินใบก้ามปู และ ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ (Biochar) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร มีประสิทธิภาพที่จะปลูกต้นอ่อนทานตะวันได้มีน้ำหนักสดของต้นอ่อนทานตะวันมากที่สุด

ปริมาณการสะสมโลหะหนักในต้นอ่อนทานตะวัน พบว่าต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกจาก ดินก้ามปู ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร และดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ มีค่าปริมาณโลหะหนักที่ไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด ได้แก่ แคดเมียม (Cd) มีค่ามาตรฐานไม่เกิน 0.2 mg/kg ซึ่งต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกจากดินก้ามปูมีปริมาณแคดเมียม (Cd) สะสมเฉลี่ยอยู่ที่ 0.01 mg/kg ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร มีปริมาณแคดเมียม (Cd) สะสมเฉลี่ยอยู่ที่ 0.01 mg/kg ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ มีปริมาณแคดเมียม (Cd) สะสมเฉลี่ยอยู่ที่ 0.00 mg/kg ตะกั่ว (Pb) มีค่ามาตรฐานไม่เกิน 0.3 mg/kg ซึ่งต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกจากดินก้ามปูมีปริมาณตะกั่ว (Pb) สะสมเฉลี่ยอยู่ที่ 0.08 mg/kg ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร มีปริมาณตะกั่ว (Pb) สะสมเฉลี่ยอยู่ที่ 0.03 mg/kg ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ มีปริมาณตะกั่ว (Pb) สะสมเฉลี่ยอยู่ที่ 0.01 mg/kg สารหนู (As) มีค่ามาตรฐานไม่เกิน 2.0 mg/kg ซึ่งต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกจากดินก้ามปูมีปริมาณสารหนู (As) สะสมเฉลี่ยอยู่ที่ 0.10 mg/kg ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร มีปริมาณสารหนู (As) สะสมเฉลี่ยอยู่ที่ 0.08 mg/kg ดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ มีปริมาณสารหนู (As) สะสมเฉลี่ยอยู่ที่ 0.00 mg/kg ต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกจากดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ มีปริมาณการสะสมโลหะหนักในต้นอ่อนทานตะวันลดลงเมื่อเทียบกับต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกจากดินอินทรีย์จากเศษอาหาร และต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกจากดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ มีค่าโลหะหนักต่ำที่สุดในทุกพารามิเตอร์ ซึ่งการปลูกต้นอ่อนทานตะวันที่ปลูกจากดินอินทรีย์จากเศษอาหาร กับ ไบโอชาร์ จะช่วยลดปริมาณโลหะหนักที่สะสมในต้นอ่อนทานตะวันได้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2547). *มาตรฐานคุณภาพดินในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[2] ร้านอาหารเชน (บ้านสวนพุด). (ม.ป.ป.). *ขั้นตอนการทำดินโบกาชิ การนำดินโบกาชิผสมดินเพื่อเตรียมปลูก*. Baan Suan Phud Restaurant. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2568, จาก https://www.bspfood.com/copy-of-set-menu

[3] ลักกี้วอร์มเน็ต. (30 มกราคม 2567). *วิธีทำใบก้ามปูหมักก่อนนำไปใช้*. https://www.luckyworm.net/category/%e0%b8%84%e0%b8%a5%e0%b8%b1%e0%% 87%e0%b8%9a%e0%b8%97%e0%b8%84%e0%b8%a7%e0%b8%b2%e0%b8%a1/

[4] ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548. (30 กันยายน 2548). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 122 ตอนพิเศษ 109 ง. หน้า 9.

[5] ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง การขอขึ้นทะเบียน การออกใบสำคัญการขึ้นทะเบียน การขอแก้ไขรายการทะเบียนและการแก้ไขรายการทะเบียนปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2555. (29 มีนาคม 2555). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 129 ตอนพิเศษ 59 ง. หน้า 12.

[6] ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน. (11 มีนาคม 2564). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 138 ตอนพิเศษ 54 ง. หน้า 20-24.

[7] ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน พ.ศ. 2563. (20 พฤษภาคม 2563). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 137 ตอนพิเศษ 118 ง. หน้า1, 3 และ 6.

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด

พัชรพรรณ จิตไพศาลโสภณ[1] และ พิมพ์มณี รัตนวิชา[1*]

[1]คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
* Corresponding author: pimmanee@cbs.chula.ac.th

บทคัดย่อ

อาหารเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต อย่างไรก็ตาม องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติระบุว่า หนึ่งในสามของอาหารที่ผลิตทั่วโลกถูกทิ้งแม้จะยังบริโภคได้ ส่งผลให้เกิดขยะอาหารจำนวนมาก ในขณะที่ยังมีประชากรจำนวนไม่น้อยที่ประสบภาวะขาดแคลนอาหาร จากบริบทดังกล่าว แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมดจึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดปริมาณขยะอาหาร โดยการนำอาหารส่วนเกินมาจัดจำหน่ายในราคาลดพิเศษ ซึ่งเป็นทางเลือกที่ช่วยให้ผู้บริโภคเข้าถึงอาหารคุณภาพดีในราคาย่อมเยา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจใช้งานแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด โดยอิงจากกรอบแนวคิดทฤษฎีรวมของการยอมรับและการใช้เทคโนโลยี 2 และพฤติกรรมรักษ์สิ่งแวดล้อม กลุ่มตัวอย่างคือบุคคลที่เกิดระหว่างปี พ.ศ. 2524–2539 ที่มีรายชื่อทะเบียนบ้านอยู่ในประเทศไทย และไม่เคยใช้งานแอปพลิเคชันดังกล่าวจำนวน 160 คน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือแบบสอบถามออนไลน์ และทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน

ผลการศึกษาพบว่าตัวแปรต้น ได้แก่ ความคาดหวังในประสิทธิภาพ ความคาดหวังในความพยายามใช้งาน อิทธิพลทางสังคม สภาพแวดล้อมที่สนับสนุน ความคาดหวังในความสนุกสนาน ความคาดหวังในคุณค่าด้านราคา ความเคยชิน และพฤติกรรมรักษ์สิ่งแวดล้อม ล้วนมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้งานแอปพลิเคชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันให้ตอบโจทย์ผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น และส่งเสริมการลดขยะอาหารอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะในปัจจุบันที่ผู้บริโภคใส่ใจสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: อาหารส่วนเกิน / ขยะอาหาร / แอปพลิเคชันสั่งอาหาร / พฤติกรรมรักษ์สิ่งแวดล้อม / ทฤษฎีรวมของการยอมรับและการใช้เทคโนโลยี 2 (UTAUT2)

Factors Affecting Intention to Use Unsold Food Ordering Application

Phatcharaphan Jitpaisansopon[1] and Pimmanee Rattanawicha[1*]

[1]Chulalongkorn Business School, Chulalongkorn University, Wang Mai Subdistrict, Pathum Wan District, Bangkok,
** Corresponding author: pimmanee@cbs.chula.ac.th*

Abstract

Food is an essential component of human life. However, the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations reports that approximately one-third of the food produced globally is discarded, despite being safe for consumption. This issue contributes significantly to food waste while many people still suffer from food insecurity. To address this challenge, Unsold Food Ordering Applications have been developed, enabling restaurants to offer surplus or unsold food at discounted prices. These applications aim to reduce food waste and provide consumers with affordable, quality food options.

This research investigates the factors influencing users' intention to adopt Unsold Food Ordering Applications, based on the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology 2 (UTAUT2), integrated with constructs of pro-environmental behavior. The study focuses on individuals born between 1981 and 1996, residing in Thailand, who have never used such applications. A total of 160 respondents were surveyed through an online questionnaire, and the data were analyzed using Spearman's rank correlation coefficient.

The findings reveal that performance expectancy, effort expectancy, social influence, facilitating conditions, hedonic motivation, price value, habit, and pro-environmental behavior all have significant positive relationships with the intention to use Unsold Food Ordering Applications, at a 99% confidence level. These results offer valuable insights for developers and stakeholders seeking to improve application functionality and user engagement. Moreover, the study supports efforts to reduce food waste and promote sustainable consumption, aligning with global environmental goals and the growing environmental consciousness of modern consumers.

Keywords: Surplus Food / Food Waste / Food Delivery Application / Pro-Environmental Behavior / Unified Theory of Acceptance and Use of Technology 2 (UTAUT2)

1. บทนำ

อาหารเป็นหนึ่งในปัจจัย 4 ของการดำรงชีวิตของมนุษย์ เอกสาร Food Wastage Footprint: Impacts on Natural Resources ในปี ค.ศ. 2013 โดย องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ [10] กล่าวว่าหนึ่งในสามของอาหารที่ผลิตออกมาในโลกถูกทิ้งทั้งที่ยังสามารถรับประทานต่อได้ ทำให้กลายเป็นขยะอาหาร ซึ่งหมายถึงเศษอาหารที่ไม่สามารถนำมารับประทานได้ องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ได้ให้คำนิยามของ ขยะอาหาร (Food Waste) ว่า คือการสูญเสียอาหารในตอนปลายของห่วงโซ่อาหาร ซึ่งเป็นขั้นตอนการขายปลีกและการบริโภค มีความเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของผู้ค้าปลีก ผู้บริโภคและการบริโภค และจากการรายงานของ Food Waste Index Report ในปี ค.ศ. 2021 [11] ยังระบุว่า ทั่วโลกมีปริมาณขยะอาหารกว่า 931 ล้านตัน ทั้งที่ยังมีประชากรอีก 87 ล้านคนต้องเผชิญกับความหิวโหย

นอกจากนี้ องค์การสหประชาชาติยังได้กำหนดเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ทั้งหมด 17 ข้อ โดยในเป้าหมายข้อที่ 12 เน้นย้ำถึงความสำคัญของการบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน (Responsible Consumption and Production) โดยเฉพาะเป้าหมายย่อยข้อที่ 12.3 ที่กำหนดให้ภายในปี ค.ศ. 2030 ว่าต้องลดปริมาณอาหารที่ถูกทิ้งต่อหัวประชากรลงครึ่งหนึ่ง ทั้งในระดับผู้บริโภค รวมถึงการลดการสูญเสียอาหารในขั้นตอนการผลิตและการกระจายสินค้า [3]

ปัจจุบัน การเลือกรับประทานอาหารของผู้บริโภคเปลี่ยนแปลงไป เกิดจากอิทธิพลภายนอก สภาพแวดล้อม ข้อจำกัดของที่อยู่อาศัย การดำเนินชีวิตที่เร่งรีบ ความต้องการที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางสังคม ความต้องการความสะดวกสบายที่เพิ่มขึ้น ทำให้พฤติกรรมการบริโภคที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก การเตรียมอาหารเพื่อรับประทานด้วยตนเองกลายเป็นความยุ่งยากและกลายเป็นสิ่งที่ใช้เวลานาน ในขณะเดียวกันการเดินทางออกนอกบ้านหรือออกนอกสถานที่ทำงานก็ต้องพบกับปัญหาการจราจรที่ติดขัด และยังต้องเสียเวลาในการรอคิวตามร้านอาหารต่าง ๆ ทำให้ไม่ทันเวลาที่มีอย่างจำกัดในแต่ละวัน [4] ประกอบกับความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสารสนเทศ ทำให้ผู้คนผูกพันกับการใช้แอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือมากขึ้น การดำเนินการต่าง ๆ สามารถทำได้ง่ายยิ่งขึ้น ทำให้เกิดพฤติกรรมการบริโภคอาหารเปลี่ยนแปลงไปเป็นความนิยมในการสั่งอาหารทางออนไลน์กันมากขึ้น [1] และปัจจุบันมีแอปพลิเคชันที่ให้บริการจัดส่งอาหารมากยิ่งขึ้น เช่น แอปพลิเคชันสั่งอาหารแกร็บ (Grab) แอปพลิเคชันไลน์แมน (LINE MAN)

ธุรกิจบริการจัดส่งอาหารในตลาดโลกมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่องในอนาคต โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ที่มีประชากรหนาแน่น ผู้บริโภคยอมเสียเงินเพื่อแลกกับความสะดวกสบายในการใช้ชีวิตประจำวัน บรรดาธุรกิจ Startup ต่างหันมาสนใจโมเดลธุรกิจจัดส่งอาหารหรือ Food on Demand กันมากขึ้น ในปัจจุบัน ธุรกิจจัดส่งอาหารแบบ Food on Demand กำลังได้รับความนิยมอย่างมากในประเทศไทย เนื่องจากผู้บริโภคต้องการความสะดวกสบายในการสั่งอาหาร ทั้งการสั่งอาหารกลับบ้าน การสั่งวัตถุดิบสำเร็จรูปสำหรับปรุงอาหาร หรือแม้แต่การสั่งซื้อสินค้าในซูเปอร์มาร์เก็ตออนไลน์ สำหรับพฤติกรรมผู้บริโภคในประเทศไทยก็มีแนวโน้มที่จะใช้บริการดิลิเวอรีมากขึ้น เนื่องจากสะดวกและไม่ต้องเสียเวลาในการเดินทาง นอกจากนี้ผู้ประกอบการส่วนใหญ่จัดโพรโมชันผ่านช่องทางดิลิเวอรีเป็นหลัก เช่น ส่วนลดราคาอาหาร หรือไม่คิดค่าบริการจัดส่ง ทำให้ผู้บริโภคประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าการไปซื้ออาหารที่หน้าร้านด้วยตนเอง [8]

วิกฤตการแพร่ระบาดของเชื้อโรคโควิด-19 เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้พฤติกรรมของผู้บริโภคเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากผู้บริโภคไม่สะดวกในการออกจากบ้าน และหลายคนทำงานที่บ้าน (Work From Home) เพื่อหลีกเลี่ยงการติดเชื้อในขณะเดินทาง ปริมาณการใช้แอปพลิเคชันจัดส่งอาหารจึงเพิ่มขึ้นทั้งในด้านของผู้บริโภคและร้านค้า [5] จากผลการสำรวจการใช้บริการจัดส่งอาหารของคนไทย จำนวน 376 คน โดยสำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ใน ปี พ.ศ. 2563 พบว่าผู้ที่ใช้บริการสั่งอาหารออนไลน์มีจำนวนสูงถึง 85% เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์พบว่ากลุ่มผู้ใช้บริการหลักคือกลุ่มเจเนอเรชันวายโดยมีสัดส่วนสูงถึง 51.09% รองลงมาเป็นกลุ่มเจเนอเรชันเอกซ์ ตามด้วยกลุ่มเบบี้บูมเมอร์ และเจเนอเรชันแซดตามลำดับ ในส่วนของค่าใช้จ่ายในการสั่งอาหารแต่ละครั้ง พบว่ากลุ่มคนเจเนอเรชันเอกซ์ใช้จ่ายมากที่สุดถึง 501-1,000 บาทต่อครั้ง รองลงมาคือ กลุ่มเบบี้บูมเมอร์ส่วนใหญ่ใช้จ่าย 301-500 บาท ขณะที่กลุ่มเจเนอเรชันวายและเจเนอเรชันแซดมีค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่อยู่ที่ 101-300 บาท ซึ่งการใช้จ่ายในการสั่งอาหารที่สูงในแต่ละครั้งที่มาจากการสั่งเพื่อมาแชร์ร่วมกับเพื่อน หรือรับประทานทั้งครอบครัว รวมถึงการสั่งเพื่อรับประทานหลายมื้อเพื่อประหยัดค่าส่งในแต่ละครั้ง [7]

พฤติกรรมของผู้บริโภคที่เปลี่ยนไป ทำให้ธุรกิจบริการจัดส่งอาหารเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีการแข่งขันกันสูงมากขึ้น ผู้ประกอบการแต่ละรายจึงต้องมีกลยุทธ์ทางการตลาดที่หลากหลาย เพื่อดึงดูดลูกค้าและสร้างความแตกต่างให้กับแบรนด์ของตน การสื่อสารทางการตลาดดิจิทัลมีบทบาทสำคัญในการสร้างการรับรู้และเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายได้อย่างรวดเร็วและกว้างขวาง เนื่องจากผู้บริโภคในปัจจุบันใช้ชีวิตอยู่กับเทคโนโลยี ทำให้สามารถเข้าถึงข้อมูลข่าวสารได้อย่างง่ายดาย และสามารถเผยแพร่ข้อมูลไปสู่กลุ่มเพื่อนได้อย่างรวดเร็ว [2] การศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภค จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำความเข้าใจว่าผู้บริโภคมีปัจจัยอะไรบ้างที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการจัดส่งอาหารและการพยากรณ์พฤติกรรมของผู้บริโภคจะช่วยให้ธุรกิจสามารถวางแผนกลยุทธ์ทางการตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6]

จากเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจในการใช้งานแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์การยอมรับเทคโนโลยีว่ามีผลต่อความตั้งใจใช้งานแอปพลิเคชันดังกล่าวหรือไม่ เนื่องจากปัจจุบันมีงานวิจัยในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับการยอมรับเทคโนโลยีและการใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมดอยู่ในจำนวนจำกัด ทั้งในด้านปริมาณและขอบเขตของการศึกษา นอกจากนี้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมดยังไม่ได้รับความนิยม และการใช้งานยังไม่แพร่หลายในประเทศไทย งานวิจัยส่วนใหญ่มักมุ่งเน้นศึกษากลุ่มตัวอย่างเฉพาะกลุ่ม ซึ่งอาจส่งผลให้ผลการวิจัยไม่สามารถสะท้อนพฤติกรรมของประชากรในวงกว้างได้ ดังนั้น ผลการศึกษานี้อาจเป็นประโยชน์ต่อผู้พัฒนาแอปพลิเคชัน เพื่อนำไปปรับปรุงให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยส่งเสริมการลดปริมาณขยะอาหาร ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น ภาวะโลกร้อนและความอดอยาก ตลอดจนการใช้ทรัพยากรอาหารให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยสอดรับกับแนวคิดและพฤติกรรมของผู้บริโภคยุคใหม่ที่ให้ความสำคัญกับประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจใช้งานแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1.ขอบเขตของกลุ่มเป้าหมาย คือ บุคคลที่มีรายชื่ออยู่ในทะเบียนบ้านในประเทศไทย และไม่เคยมีประสบการณ์ในการสั่งอาหารผ่านแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด โดยกลุ่มตัวอย่างครอบคลุมผู้ที่เกิดระหว่างปี พ.ศ. 2524 ถึง พ.ศ. 2539 หรือที่เรียกว่ากลุ่มเจเนอเรชันวาย ผู้วิจัยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างโดยไม่ใช้หลักความน่าจะเป็น (Non-Probability Sampling) โดยมีกลุ่มตัวอย่างไม่น้อยกว่า 115 คน ซึ่งได้จากการคำนวณขนาดตัวอย่างด้วยโปรแกรม G*Power สำหรับการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation) ที่ระบุค่าขนาดอิทธิพลขนาดกลาง (Medium Effect Size) กำหนดระดับนัยสำคัญ มีค่าเท่ากับ 0.05 และอำนาจการทดสอบเท่ากับ 0.95

2.ขอบเขตของระยะเวลาศึกษาเริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคม ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2568

3.ขอบเขตพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของงานวิจัยนี้ คือ ประเทศไทย เนื่องจากเป็นประชากรและกลุ่มตัวอย่างหลักของงานวิจัยนี้ โดยมีการเก็บข้อมูลผ่านสื่อสังคมออนไลน์ เช่น LINE Facebook หรือ Instagram เป็นต้น

4.ตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ใช้กรอบแนวคิดจากทฤษฎีรวมของการยอมรับและการใช้เทคโนโลยี 2 (Extending Unified Theory of Acceptance and Use of Technology: UTAUT2) โดยมีการปรับตัวแปร แรงจูงใจด้านความบันเทิง (Hedonic Motivation) เป็นความคาดหวังในความสนุกสนาน (Playfulness Expectancy) เพื่อให้เหมาะสมกับบริบทของการศึกษา นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้นำแนวคิดเกี่ยวกับพฤติกรรมรักษ์สิ่งแวดล้อม (Pro-environmental Behavior) มาเป็นปัจจัยที่ศึกษาเพิ่มเติม เพราะผู้วิจัยคาดว่าพฤติกรรมดังกล่าวอาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการใช้แอปพลิเคชันประเภทนี้ ตามที่กล่าวข้างต้น ทำให้มีตัวแปรที่ต้องการศึกษาจำนวน 8 ตัว ได้แก่ 1) ความคาดหวังในประสิทธิภาพ (Performance Expectancy) 2) ความคาดหวังในความพยายามใช้งาน (Effort Expectancy) 3) อิทธิพลทางสังคม (Social Influence) 4) สภาพแวดล้อมที่สนับสนุน (Facilitating Conditions) 5) การรับรู้ถึงความสนุกสนาน (Perceived

Playfulness) 6) ความคาดหวังในคุณค่าด้านราคา (Price Value Expectancy) 7) ความเคยชิน (Habit) และ 8) พฤติกรรมรักษ์สิ่งแวดล้อม (Pro-environmental Behavior) และมีตัวแปรตาม คือ ความตั้งใจใช้งานแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด (Behavioral Intention to Use Unsold Food Ordering Application)

5.ผู้วิจัยเลือกแอปพลิเคชันยินดี (Yindii) เป็นตัวแทนแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด โดย ยินดี (https://www.yindii.co) เป็นแอปพลิเคชันที่เชื่อมต่อผู้บริโภคกับร้านอาหาร โรงแรม ซูเปอร์มาร์เก็ต หรือผู้ผลิตอาหารที่มีอาหารส่วนเกิน เช่น เบเกอรี่ ขนมปัง หรืออาหารสำเร็จรูปที่ใกล้หมดอายุ ผู้ใช้งานสามารถสั่งซื้ออาหารได้ในราคาที่ถูกกว่าปกติ เนื่องจากมีส่วนลดตั้งแต่ 40-80% ทำให้ผู้ใช้งานได้รับประทานอาหารในราคาที่ประหยัด และยังช่วยลดปริมาณขยะอาหารไปพร้อมกัน ผู้ใช้งานสามารถจองอาหารล่วงหน้าหรือเข้าไปซื้อในเวลาที่กำหนดได้ มีทั้งแบบจัดส่งถึงบ้านและไปรับที่ร้านด้วยตัวเอง Yindii มีพื้นที่ให้บริการในประเทศไทยและฮ่องกง

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ โดยมีการแบ่งการศึกษาเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การศึกษาเบื้องต้น และการศึกษาเพื่อทดสอบสมมติฐาน โดย

1.การศึกษาเบื้องต้น ผู้วิจัยมีการออกแบบแบบสอบถาม โดยใช้ข้อถามจากงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง และทดสอบคุณภาพแบบสอบถาม โดยหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค (Cronbach's Alpha Coefficient) เพื่อวัดคุณภาพของแบบสอบถามก่อนนำแบบสอบถามไปเก็บข้อมูลจริงในขั้นของการทดสอบสมมติฐานงานวิจัย ผู้วิจัยทำการศึกษาเบื้องต้น โดยใช้แบบสอบถามบน Google Forms เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวนไม่น้อยกว่า 30 คน ผ่านช่องทางออนไลน์ เช่น LINE Facebook และ Instagram เป็นต้น พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัคของทุกตัวแปร มีค่าเกิน 0.7

2.การศึกษาเพื่อทดสอบสมมติฐาน ผู้วิจัยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างโดยไม่ใช้หลักความน่าจะเป็น (Non-Probability Sampling) แบบเฉพาะเจาะจง (Purposive) เพื่อให้ได้หน่วยตัวอย่างที่มีลักษณะตามความต้องการของผู้วิจัย ได้แก่ คนไทยที่เกิดระหว่างปี พ.ศ. 2524 ถึง พ.ศ. 2539 (เจเนอเรชันวาย) และไม่เคยมีประสบการณ์ในการสั่งอาหารผ่านแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด โดยใช้แบบสอบถามออนไลน์บน Google Forms เก็บข้อมูลผ่านช่องทางออนไลน์ เช่น LINE Facebook และ Instagram เป็นต้น หน่วยตัวอย่างจะตอบคำถามคัดกรองว่า เป็นคนไทยในเจเนอเรชันวาย ที่ไม่เคยใช้งานแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมดมาก่อน หลังจากนั้นหน่วยตัวอย่างจะได้รับชมวิดีโอแนะนำแอปพลิเคชันยินดี (Yindii) ซึ่งเป็นตัวแทนแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด ทำแบบสอบถามเพื่อทดสอบความเข้าใจเกี่ยวกับแอปพลิเคชันยินดี และแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับแอปพลิชันยินดี ในประเด็นต่าง ๆ ของตัวแปรต้น ทั้ง 8 ตัว ได้แก่ 1) ความคาดหวังในประสิทธิภาพ (ข้อคำถาม 4 ข้อ) 2) ความคาดหวังในความพยายามใช้งาน (ข้อคำถาม 4 ข้อ) 3) อิทธิพลทางสังคม (ข้อคำถาม 3 ข้อ) 4) สภาพแวดล้อมที่สนับสนุน (ข้อคำถาม 4 ข้อ) 5) การรับรู้ถึงความสนุกสนาน (ข้อคำถาม 4 ข้อ) 6) ความคาดหวังในคุณค่าด้านราคา (ข้อคำถาม 3 ข้อ) 7) ความเคยชิน (ข้อคำถาม 4 ข้อ) และ 8) พฤติกรรมรักษ์สิ่งแวดล้อม (ข้อคำถาม 5 ข้อ) และตัวแปรตาม 1 ตัว คือ ความตั้งใจใช้งานแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด (ข้อคำถาม 3 ข้อ) โดยแต่ละข้อคำถาม ผู้ตอบแบบสอบถามจะแสดงความคิดเห็นด้วยการระบุค่า 1 – 5 ซึ่ง 1 หมายถึงไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง จนถึง 5 หมายถึงเห็นด้วยอย่างยิ่ง ยกเว้นตัวแปรพฤติกรรมรักษ์สิ่งแวดล้อม ซึ่ง 1 หมายถึงไม่เคยทำพฤติกรรมรักษ์สิ่งแวดล้อมที่ระบุ จนถึง 5 หมายถึงทำพฤติกรรมรักษ์สิ่งแวดล้อมที่ระบุเป็นประจำ และตอบคำถามเบื้องต้นเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม เช่น เพศ ระดับการศึกษา รายได้

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

เพื่อตอบคำถามงานวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจใช้งานแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด ผู้วิจัยจะใช้การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม ด้วยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการเก็บรวบรวมข้อมูล มีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

5.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลประชากรศาสตร์

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลจากหน่วยตัวอย่าง ระหว่างเดือนมีนาคม – เมษายน พ.ศ. 2568 จำนวนทั้งสิ้น 310 คน และตัดออกจำนวน 150 ชุด เนื่องจากผู้ตอบแบบสอบถามไม่ใช่คนในเจเนอเรชันวาย หรือเคยสั่งอาหารผ่านแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด หรือตอบแบบสอบถามเพื่อวัดความเข้าใจเกี่ยวกับแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด ไม่ถูกต้องตามที่กำหนด ทำให้เหลือแบบสอบถามที่สามารถนำไปวิเคราะห์ผลการศึกษารวม 160 ชุด มีลักษณะเชิงประชากรศาสตร์ ดังตารางที่ 1 โดยหน่วยตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นผู้หญิง (65.63%) มีรายได้อยู่ในช่วง 10,001 – 20,000 บาท (36.87%) รายได้อยู่ในช่วง 20,001 – 30,000 บาท (25.63%) และมีการศึกษาในระดับปริญญาตรี (81.25%)

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านประชากรศาสตร์ของหน่วยตัวอย่างในภาพรวม

ข้อมูลลักษณะประชากรศาสตร์	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศโดยกำเนิด		
1) ชาย	55	34.37
2) หญิง	105	65.63
รวม	160	100.00
ปี พ.ศ. ที่เกิด		
1) พ.ศ. 2524 ถึง พ.ศ. 2539	160	100.00
2) อื่น ๆ	0	0.00
รวม	160	100.00
รายได้ต่อเดือน		
1) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท	3	18.13
2) 10,001 – 20,000 บาท	29	36.87
3) 20,001 – 30,000 บาท	59	25.63
4) 30,001 – 40,000 บาท	41	6.25
5) 40,001 – 50,000 บาท	10	11.25
6) 50,001 บาทขึ้นไป	18	1.87
รวม	160	100.00
ระดับการศึกษา		
1) ต่ำกว่าระดับปริญญาตรี	8	5.00
2) ระดับปริญญาตรี	130	81.25
3) สูงกว่าระดับปริญญาตรี	22	13.75
รวม	160	100

5.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความคิดเห็นเกี่ยวกับแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด

ข้อมูลความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับตัวแปรต่าง ๆ ได้จากข้อมูลลักษณะ Likert Scale (1 ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง – 5 เห็นด้วยอย่างยิ่ง) แต่เนื่องจากการวัดค่าสำหรับตัวแปรแต่ละตัว ใช้ข้อถามหลายข้อ (ดังที่ระบุในข้อ 4.1) และนำค่าที่ได้จากข้อคำถามทุกข้อมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นค่าของแต่ตัวแปรแต่ละตัว จึงสามารถนำข้อมูลที่ได้สำหรับแต่ละตัวแปรมาวิเคราะห์ในลักษณะข้อมูลเชิงปริมาณ [9] ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวแปรต้นทั้ง 8 ตัว และตัวแปรตามจำนวน 1 ตัว ของงานวิจัยนี้ แสดงในตารางที่ 2 โดยค่าเฉลี่ยของตัวแปรส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำ (ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.81 - 2.60)

ยกเว้น ตัวแปรความคาดหวังในความพยายามใช้งาน และสภาพแวดล้อมที่สนับสนุนการใช้งาน ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง (ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.61 - 3.40)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างในภาพรวม

ตัวแปรที่ศึกษา	$\bar{x}$	S.D.
ความคาดหวังในประสิทธิภาพ	2.34	1.19
ความคาดหวังในความพยายามใช้งาน	2.63	1.40
อิทธิพลทางสังคม	2.39	1.14
สภาพแวดล้อมที่สนับสนุน	2.61	1.42
ความคาดหวังในความสนุกสนาน	2.47	1.21
ความคาดหวังในคุณค่าด้านราคา	2.44	1.25
ความเคยชิน	2.48	1.30
พฤติกรรมรักษ์สิ่งแวดล้อม	2.39	1.18
ความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด	2.43	1.25

เนื่องจากข้อมูลตัวแปรต้น และตัวแปรตาม ในงานวิจัยนี้ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ผู้วิจัยจึงใช้การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่าตัวแปรต้นทั้ง 8 ตัวแปรส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% แสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรต้น ที่มีต่อตัวแปรตาม

สมมติฐาน	Correlation Coefficient	Sig.
H1: ความคาดหวังในประสิทธิภาพส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด	0.840 (ยอมรับ H1)	<0.001
H2: ความคาดหวังในความพยายามใช้งานส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด	0.821 (ยอมรับ H2)	<0.001
H3: อิทธิพลทางสังคมส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด	0.807 (ยอมรับ H3)	<0.001
H4: สภาพแวดล้อมที่สนับสนุนส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด	0.839 (ยอมรับ H4)	<0.001
H5: ความคาดหวังในความสนุกสนานส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด	0.779 (ยอมรับ H5)	<0.001
H6: ความคาดหวังในคุณค่าด้านราคาส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด	0.843 (ยอมรับ H6)	<0.001
H7: ความเคยชินส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด	0.760 (ยอมรับ H7)	<0.001
H8: พฤติกรรมรักษ์สิ่งแวดล้อมส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด	0.808 (ยอมรับ H8)	<0.001

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจใช้งานแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด โดยศึกษาคนไทย เจเนอเรชันวาย หรือผู้ที่เกิดระหว่างปี พ.ศ. 2524 ถึง พ.ศ. 2539 และไม่เคยมีประสบการณ์ในการสั่งอาหารผ่านแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด โดยใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 160 คน ด้วยการสุ่มตัวอย่างแบบไม่ใช้หลักความน่าจะเป็น (Non-Probability Sampling) แบบเฉพาะเจาะจง (Purposive) โดยใช้เครื่องมือสำหรับรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถามออนไลน์บน Google Forms แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS

ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนพบว่าตัวแปรต้น คือ ความคาดหวังในประสิทธิภาพ ความคาดหวังในความพยายามใช้งาน อิทธิพลทางสังคม สภาพแวดล้อมที่สนับสนุน ความคาดหวังในความสนุกสนาน ความคาดหวังในคุณค่าด้านราคา ความเคยชิน และพฤติกรรมรักษ์สิ่งแวดล้อมส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดยตัวแปรที่ส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด ในระดับสูงมาก (ค่า r เกินกว่า 0.80) ได้แก่ ความคาดหวังในคุณค่าด้านราคา (r = 0.843) ความคาดหวังในประสิทธิภาพ (r = 0.840) สภาพแวดล้อมที่สนับสนุนการใช้งาน (r = 0.839) ความคาดหวังในความพยายามใช้งาน (r = 0.821) พฤติกรรมรักษ์สิ่งแวดล้อม (r = 0.808) และอิทธิพลทางสังคม (r = 0.807) ส่วนตัวแปรที่ส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด ในระดับสูง (ค่า r เกินกว่า 0.60) ได้แก่ การรับรู้ถึงความสนุกสนาน (r = 0.779) และความเคยชิน (r = 0.760)

ผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันให้ตอบโจทย์ผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น เช่น เน้นเรื่องของความประหยัดและความคุ้มค่าด้านราคาในการสั่งอาหารจากแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด ความมีประโยชน์และการเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินชีวิตของผู้ใช้ การเตรียมความพร้อมสำหรับการให้ความช่วยเหลือเมื่อผู้ใช้เกิดปัญหาการใช้งานแอปพลิเคชัน การออกแบบให้แอปพลิเคชันมีความง่ายในการใช้งาน เน้นให้ผู้ใช้เห็นความสำคัญของการเป็นส่วนหนึ่งในการรักษาสิ่งแวดล้อมเมื่อใช้งานแอปพลิเคชัน และรณรงค์ให้สังคมส่วนรวมสนับสนุนการใช้งานแอปพลิเคชัน เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้ส่งผลบวกในระดับสูงมากต่อความตั้งใจใช้งานแอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมด รวมถึงออกแบบให้แอปพลิเคชันมีความน่าใช้ใช้งานแล้วสนุกสนาน หรือส่งเสริมการสั่งอาหารผ่านแอปพลิเคชันให้มากขึ้น เนื่องจากปัจจัยทั้งสองนี้ ก็สามารถส่งผลให้ผู้ใช้มีความตั้งใจในการใช้แอปพลิเคชันสั่งอาหารที่ขายไม่หมดได้เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] เกตุวดี สมบูรณ์ทวี. (2561). ปัจจัยด้านคุณภาพการบริการที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อซ้ำผลิตภัณฑ์อาหารผ่านผู้ให้บริการ "Food Panda Application". วารสารจัดการสมัยใหม่, 16(1), 153-162.

[2] เกวรินทร์ ละเอียดดีนันท์. (2559). การยอมรับเทคโนโลยีและพฤติกรรมผู้บริโภคออนไลน์ที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร [การค้นคว้าอิสระปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ].

[3] ชัยนันต์ ไชยเสน. (2563). การจัดการขยะอาหารในครัวของโรงแรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการวัตถุดิบและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม. วารสารหาดใหญ่วิชาการ, 19(2), 371–387.

[4] เทพรัตน์ เอื้อธรรมถาวร, ปริญญา โกวิทย์วิวัฒน์, & กิติพงศ์ รัตนวงกต. (2561). พฤติกรรมการบริโภคอาหารจานด่วนกลุ่มวัยทำงาน. วารสารวิทยาลัยนครราชสีมา, 12(1), 339–348.

[5] รัตนา มณีชาติ. (2564). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อซ้ำอาหารเดลิเวอรี่ของผู้บริโภคภายใต้วิถีชีวิตปกติใหม่ (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ).

[6] สิงหะ ฉวีสุข และสุนันทา วงศ์จตุรภัทร. (2555). ทฤษฎีการยอมรับการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศลาดกระบัง, 1(1), 1–21.

[7] สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์. (2563). ผลสำรวจการใช้บริการสั่งอาหารออนไลน์ ปี 2563. https://www.etda.or.th/en/newsevents/pr-news/ETDA/Online-Food-Delivery-Survey-2020.aspx

[8] สุนิษฐา เศรษฐีธร. (2560). Thailand Food Market Report: ธุรกิจอาหารเดลิเวอรี่ในประเทศไทย. ศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร สถาบันอาหาร.

[9] Analysing Likert Scale/Type Data. Available online: www.st-andrews.ac.uk/media/ceed/students/mathssupport/Likert.pdf (access on 10 April 2025).

[10] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). Food wastage footprint: Impacts on natural resources – Technical report. FAO. Retrieved from https://www.fao.org/3/ar429e/ar429e.pdf

[11] United Nations Environment Programme. (2021). Food waste index report 2021. Nairobi: United Nations Environment Programme. https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021

โฟมชีวภาพต้นแบบจากเส้นใยเห็ดผสมผสานกับกากกาแฟ กากชา และเปลือกไข่

ธนะพัฒน์ จันทร์เด่นดวง[1*], ปภาวิชญ์ กลิ่นสุวรรณ[1], ทิพย์ไหมทอง จันทร์เด่นดวง[1], นัฐวุฒิ บุญยืน[2], หนึ่งนิตย์ วัฒนวิเชียร[3], และภัทรญา กลิ่นทอง[1]

[1] โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม
[2] ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ไบโอเทค) ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
[3]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม
* Corresponding author: thanapat.cha_g33@mwit.ac.th

บทคัดย่อ

เศษของเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั่วโลก กาแฟและชาเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร และเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน ส่งผลให้เกิดของเสียประเภทกากกาแฟและกากชาในปริมาณมาก งานวิจัยนี้ได้พัฒนาโฟมชีวภาพจากเส้นใยเห็ด (Mycelium-based Bio foams) โดยใช้กากกาแฟ (C) กากชา (T) และเปลือกไข่บด (E) เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรผสานกับเส้นใยไมซีเลียมของเห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*, *PO*) และเห็ดนางฟ้าภูฏาน (*Pleurotus pulmonarius*, *PP*) ทำหน้าที่เป็นกาวชีวภาพยึดวัสดุชีวมวลเข้าด้วยกัน โดยทำการทดลองปรับอัตราส่วนเชื้อเห็ดที่ 10%, 25% และ 35% และเติมเปลือกไข่บดที่ 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่าอัตราส่วนเชื้อเห็ดที่ 25% ทำให้โครงข่ายเส้นใยหนาแน่นและมีความหนาสูงสุด โดยสูตรกากชาผสมเปลือกไข่บด 10% มีความหนาเฉลี่ยสูงสุด คือ 2.70±0.19 μm เมื่อใช้เชื้อเห็ดนางรมและ 2.63±0.12 μm เมื่อใช้เชื้อนางฟ้า การเติมเปลือกไข่บด 10% ช่วยเร่งการเจริญของเส้นใย ขณะที่ระดับ 20–30% กระตุ้นการออกดอกเห็ด แต่ทำให้เส้นใยเห็ดหยุดการเจริญเติบโต เส้นใยเห็ดทั้ง 2 ชนิดเจริญได้ดีในกากชามากกว่ากากกาแฟ การเลือกสูตรที่เหมาะสมทำให้ได้โฟมชีวภาพต้นแบบที่มีน้ำหนักเบา แข็งแรง ขึ้นรูปง่าย และย่อยสลายได้ในดินและในคอมโพสท์ สามารถประยุกต์ใช้เป็นวัสดุเพื่อสิ่งแวดล้อมในอนาคตเช่น แผ่นโฟม บรรจุภัณฑ์ และวัสดุกันกระแทก ทดแทนการใช้โฟมหรือพลาสติกทั่วไป สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals : SDGs) ด้านการผลิตและบริโภคที่ยั่งยืน

คำสำคัญ: ไมซีเลียม / โฟมชีวภาพ / กากกาแฟ / กากชา / เปลือกไข่

Prototype Bio foams from Mushroom Mycelium Integrated with Spent Coffee Grounds, Tea Waste, and Eggshells

Thanapat Chandenduang[1*], Paphawich Klinsuwan[1], Tipmhaithong Chandenduang[1], Nattawut Boonyuen[2], Nungnit Wattanavichean[3], and Pattaraya Klinthong[1]

[1] *Mahidol Wittayanusorn School,* Nakhon Pathom, *Thailand*
[2] *The National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC), Thailand Science Park, Thailand*
[3] *Faculty of Science, Mahidol University, Thailand*
* Corresponding author: thanapat.cha_g33@mwit.ac.th

Abstract

Agricultural waste has become a critical environmental concern worldwide. Coffee and tea, as widely consumed beverages, generate substantial amounts of organic residues, specifically spent coffee grounds and tea waste. This study aims to develop bio foams using mushroom mycelium as a natural binder to consolidate biomass materials derived from agricultural waste: spent coffee grounds (C), tea waste (T), and ground eggshells (E). Two mushroom species, *Pleurotus ostreatus* (*PO*) and *Pleurotus pulmonarius* (*PP*), were used as biological binders. The study investigated the effects of varying mycelium inoculation rates (10%, 25%, and 35%) and eggshell content (10%, 20%, and 30% by weight) on Bio foam structural development. Results indicated that a 25% mycelium inoculation led to denser mycelial networks with the greatest thickness. The tea waste formulation with 10% eggshell content yielded the highest average thickness: 2.70±0.19 μm for *PO* and 2.63±0.12 μm for *PP*. The addition of 10% ground eggshell enhanced mycelial growth, while higher concentrations (20–30%) promoted premature fruiting, which in turn inhibited further mycelial development. Both mushroom species exhibited better growth in tea waste compared to coffee grounds. The optimal formulations produced lightweight, durable, moldable, and biodegradable bio foams, suitable for use in eco-friendly applications such as foam panels, packaging materials, and cushioning products. This development aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly in promoting sustainable production and consumption practices.

Keywords: Mycelium / Bio foams / Coffee Grounds / Tea Waste / Eggshells

1. บทนำ

ปัญหาของเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นประเด็นสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจในระดับโลก รวมถึงประเทศไทย เนื่องจากการเพิ่มของประชากรอย่างต่อเนื่องทำให้มีความต้องการบริโภคสินค้าเกษตรสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดของเสียจากภาคการเกษตรในปริมาณมาก มีงานวิจัยระบุว่าปริมาณของเสียทางการเกษตรเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 5-10% ต่อปีและคาดการณ์ว่าภายในปี พ.ศ. 2568 ปริมาณของเสียดังกล่าวจะสูงถึง 2.2 ล้านล้านตันต่อปี [1] หากไม่มีการจัดการที่เหมาะสมของเสียเหล่านี้อาจส่งผลกระทบร้ายแรงต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะเมื่อมีการกำจัดด้วยวิธีการเผา ซึ่งทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลพิษทางอากาศ เช่นฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน เพื่อลดผลกระทบดังกล่าวจึงต้องพัฒนานวัตกรรมที่สามารถนำของเสียทางการเกษตรกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด หนึ่งในแนวทางที่ได้รับความสนใจคือ การพัฒนาโฟมชีวภาพจากเส้นใยไมซีเลียมของเห็ด (Mushroom Mycelium-based Bio foams) ซึ่งเป็นวัสดุไมซีเลียมคอมโพสิทโดยใช้วัสดุชีวมวลเหลือทิ้งเป็นวัสดุรองรับ (substrate) และใช้เส้นใยไมซีเลียมของเห็ดทำหน้าที่เป็นกาวประสานอนุภาคของวัสดุเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรง และมีสมบัติทางกลที่เหมาะสม โฟมชีวภาพจากเส้นใยไมซีเลียมของเห็ดมีข้อดีหลายประการคือ น้ำหนักเบา มีความทนทานสูง เป็นฉนวนกันความร้อนและเสียง ต้นทุนการผลิตต่ำและย่อยสลายทางชีวภาพได้เร็วกว่าวัสดุสังเคราะห์ เช่น โฟมโพลีสไตรีนหรือพลาสติกทั่วไป เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น บรรจุภัณฑ์ แผ่นฉนวนกันความร้อน-เย็น วัสดุกันกระแทก อิฐมวลเบา แผ่นบอร์ด เฟอร์นิเจอร์ และโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม [2] Kohphaisansombat และคณะ ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยสับปะรดต่อสมบัติทางกายภาพ ทางกล และทางเคมีของวัสดุไมซีเลียมคอมโพสิทโดยใช้กากกาแฟเป็นวัสดุรองรับ และเสริมเส้นใยสับปะรดในสัดส่วน 10%, 20%, และ 30% ผลการศึกษาพบว่าวัสดุที่มีเส้นใยสับปะรด 10% มีความหนาแน่นและทนแรงอัดสูงสุด ขณะที่วัสดุที่มีเส้นใยสับปะรด 30% มีความสามารถในการทนแรงดัด ดูดซับน้ำ และกันเสียงได้ดีที่สุด [3] การพัฒนาโฟมชีวภาพจากเส้นใยเห็ดจึงเป็นแนวทางที่ยั่งยืนเนื่องจากกระบวนการผลิตใช้พลังงานต่ำและจัดเป็นการนำของเสียทางการเกษตรมาใช้ทำวัสดุใหม่ที่มีมูลค่าและสามารถใช้ทดแทนวัสดุแบบดั้งเดิม เช่น โฟม พลาสติก และไม้ ในงานด้านฉนวนกันความร้อนและเสียง

กาแฟและชาเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั่วโลก โดยมีแนวโน้มการบริโภคเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปี มีรายงานว่าทั่วโลกมีปริมาณกากกาแฟที่ถูกทิ้งมากถึงประมาณ 54 ล้านตันต่อปี และกากชาประมาณ 5.82 ล้านตันต่อปี [4,5] สำหรับประเทศไทย ความนิยมในการบริโภคกาแฟและชาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยคนไทยบริโภคกาแฟเฉลี่ยปีละ 90,000 ตัน หรือประมาณ 1.5 แก้วต่อวัน และบริโภคชาเฉลี่ย 0.93 กิโลกรัมต่อคนต่อปี [6,7] การบริโภคที่เพิ่มขึ้นนี้นำไปสู่การสะสมของกากกาแฟและกากชาในปริมาณมาก ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากโรงงานแปรรูปและร้านจำหน่ายเครื่องดื่ม นอกจากของเสียจากกากกาแฟและกากชาแล้ว เปลือกไข่ยังจัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งอีกประเภทหนึ่งที่เกิดขึ้นในปริมาณมากทั่วโลก เนื่องจากไข่เป็นแหล่งโปรตีนราคาย่อมเยาและบริโภคได้ง่าย โดยไข่ไก่หนึ่งฟองมีน้ำหนักเฉลี่ย 40–60 กรัม ซึ่งเปลือกไข่คิดเป็นประมาณ 9–12% ของน้ำหนักทั้งหมด หรือประมาณ 4–6 กรัมต่อฟอง ในปี พ.ศ. 2562 มีรายงานว่าทั่วโลกมีการบริโภคไข่สูงถึง 95,421.6 ล้านฟอง ส่งผลให้เกิดเปลือกไข่มากถึง 382–573 ล้านกิโลกรัมต่อปี และคาดว่าปริมาณการบริโภคจะเพิ่มขึ้นเป็น 107,004 ล้านฟองภายในปี พ.ศ. 2571 เปลือกไข่มีองค์ประกอบหลักคือแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) คิดเป็นสัดส่วน 94–97% ซึ่งแคลเซียม (Ca) เป็นธาตุอาหารสำคัญที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ด โดยมีบทบาทในการสร้างโครงสร้างของผนังเซลล์ และการควบคุมกระบวนการทางชีวภาพต่าง ๆ เช่น การดูดซึมสารอาหารและการผลิตเอนไซม์ [8] องค์ประกอบดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเปลือกไข่ในฐานะวัสดุเสริมที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ร่วมกับของเสียจากการแปรรูปกาแฟและชาเพื่อพัฒนาวัสดุชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เห็ดเป็นเซลล์ยูคาริโอตที่ไม่สามารถสังเคราะห์อาหารได้เอง (Heterotroph) ดำรงชีวิตด้วยการย่อยสลายอินทรียวัตถุ (Saprophytism) โดยปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์ในสิ่งแวดล้อมและดูดซึมสารอาหารเข้าสู่เซลล์ เห็ดเจริญเติบโตในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง อุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-40 °C และต้องการออกซิเจนสำหรับการเจริญเติบโต กระบวนการเจริญเติบโตของเห็ดเริ่มต้นจากสปอร์ที่ถูกปลดปล่อยจากดอกเห็ด เมื่อสปอร์ตกลงในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจะงอกเป็นเส้นใยระยะแรก หรือไฮฟา (Hypha) ซึ่งเรียกว่าเส้นใยขั้นที่ 1 (Primary Mycelium) ต่อมาเส้นใยจากสปอร์ที่มีเพศต่างกันจะรวมตัวกัน

เป็นเส้นใยขั้นที่ 2 (Secondary Mycelium) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการยึดเกาะวัสดุและปล่อยเอนไซม์เพื่อย่อยสลายสารอาหารภายนอกเซลล์ เมื่อเส้นใยเหล่านี้รวมเป็นกลุ่มหนาแน่นเรียกว่าไมซีเลียม (Mycelium) และสามารถพัฒนาเป็นเส้นใยขั้นที่ 3 (Tertiary Mycelium) เพื่อสร้างดอกเห็ด โดยกระบวนการเจริญของเส้นใยเห็ดได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความชื้นประมาณ 70% การถ่ายเทอากาศที่เหมาะสม มีแสงในปริมาณต่ำ และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ในช่วง 5-7 ปัจจุบันมีการใช้เส้นใยไมซีเลียมจากเห็ดหลายชนิดในการพัฒนาวัสดุชีวภาพ ได้แก่ เห็ดในสกุลเห็ดนางรม (*Pleurotus*) เห็ดหลินจือ (*Ganoderma*) เห็ดกาบหอย (*Trametes*) เห็ดขอนแดง (*Pycnoporus*) เห็ดหางไก่งวง (*Polyporus*) เห็ดแชมปิยอง (*Agaricus*) เห็ดหอม (*Lentinula*) เห็ดในสกุลเห็ดนางรม 2 ชนิดคือเห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*) และเห็ดนางฟ้าภูฏาน (*Pleurotus Pulmonarius*) เป็นเห็ดที่นิยมเพาะเลี้ยงในประเทศไทยเนื่องจากสามารถเติบโตได้ดีในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น เส้นใยของเห็ดทั้งสองชนิดนี้สามารถเจริญได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 24-32 °C และ 28-38 °C ตามลำดับ โดยเส้นใยของเห็ดนางรมมีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานได้ดี ในขณะที่เส้นใยของเห็ดนางฟ้าภูฏานสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโฟมชีวภาพต้นแบบจากเส้นใยเห็ด โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรม ได้แก่ กากกาแฟและกากชา ซึ่งยังมีการศึกษาในลักษณะนี้อย่างจำกัด โดยเฉพาะในกรณีของกากชาซึ่งยังไม่มีรายงานการศึกษาที่ครอบคลุมถึงศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัสดุรองรับในงานวัสดุชีวภาพ ข้อได้เปรียบของกากกาแฟและกากชาคือ เป็นชีวมวลที่มีอนุภาคขนาดเล็กสามารถนำมาใช้ได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการบด จึงช่วยลดการใช้พลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรชนิดอื่น นอกจากนี้งานวิจัยยังมุ่งเน้นการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการเติมเปลือกไข่บด เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของโฟมชีวภาพและเพิ่มปริมาณแคลเซียม (Ca) ซึ่งเป็นธาตุอาหารสำคัญที่มีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*) และเห็ดนางฟ้าภูฏาน (*Pleurotus pulmonarius*) ผลจากการศึกษานี้จะนำไปสู่การพัฒนาสูตรวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโฟมชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้เป็นวัสดุทางเลือกในการทดแทนโฟมและพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยาก อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับวัสดุบรรจุภัณฑ์ การออกแบบเชิงนิเวศ (eco-design) และสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ด้านการผลิตและบริโภคอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาสูตรและกระบวนการที่เหมาะสมในการผลิตโฟมชีวภาพต้นแบบจากเส้นใยเห็ด โดยใช้กากกาแฟ กากชา และเปลือกไข่เป็นวัสดุรองรับ
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติในเบื้องต้นทางกายภาพ ทางกล และการย่อยสลายของโฟมชีวภาพต้นแบบที่ผลิตโดยใช้เชื้อเห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*) และเห็ดนางฟ้าภูฏาน (*Pleurotus pulmonarius*)

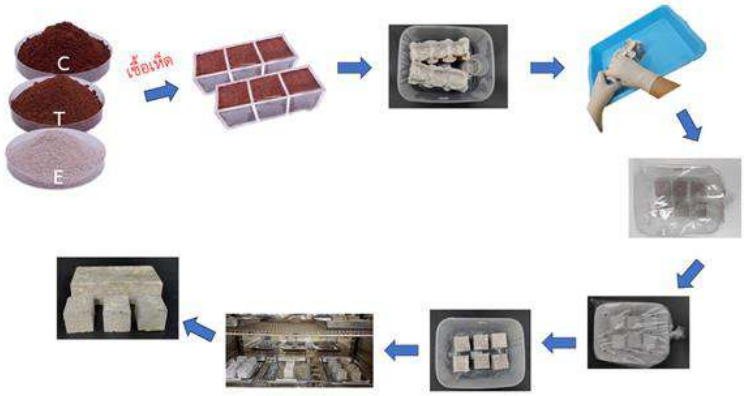
3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสูตรการผลิตและศึกษาคุณสมบัติของโฟมชีวภาพต้นแบบจากเส้นใยเห็ดโดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. ใช้กากกาแฟ กากชา และเปลือกไข่เป็นวัสดุรองรับ ใช้เส้นใยเห็ดนางรมและนางฟ้าเป็นกาวชีวภาพประสานอนุภาคของวัสดุรองรับเข้าด้วยกัน ทำการผสม ขึ้นรูป และบ่มในห้องปฏิบัติการที่ควบคุมอุณหภูมิ 25-30°C
2. การผลิตตัวอย่างทดสอบใช้แม่พิมพ์ขนาด 5x5x5 cm^3 สำหรับขึ้นรูปตัวอย่างเพื่อทดสอบ SEM ความหนาแน่น ความทนแรงอัด และการย่อยสลายในดินและในคอมโพสท์ และใช้แม่พิมพ์ขนาด 5x10x20 cm^3 สำหรับขึ้นรูปตัวอย่างเพื่อใช้ทดสอบความทนแรงดัด

4. วิธีการศึกษา

4.1 การศึกษาเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโฟมชีวภาพต้นแบบจากเส้นใยเห็ด



รูปที่ 1 แสดงกระบวนการผลิตโฟมชีวภาพย่อยสลายได้จากเส้นใยเห็ด

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนและกระบวนการผลิตโฟมชีวภาพจากเส้นใยเห็ดเริ่มต้นด้วยการเตรียมวัสดุรองรับ (substrate) ซึ่งประกอบด้วยกากกาแฟ (C) หรือกากชา (T) ผสมกับเปลือกไข่บด (E) และสารอาหารตามสูตรที่กำหนด จากนั้นทำการฆ่าเชื้อวัสดุรองรับโดยนึ่งที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 20 นาที ก่อนนำมาใช้งาน เตรียมเชื้อเห็ดด้วยการนำออกจากถุงเพาะเห็ด บี้ให้แตกและชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่กำหนด อุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมดถูกทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ 70% ทำการผสมวัสดุรองรับที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วกับเชื้อเห็ดในภาชนะที่เตรียมไว้ ค่อย ๆ เติมน้ำปราศจากไอออน (deionized water, DI) เพื่อเพิ่มความชื้นจนกระทั่งวัสดุสามารถจับตัวเป็นก้อนได้จึงอัดส่วนผสมเข้าแม่พิมพ์และวางลงในกระบะบ่ม วางถ้วยน้ำขนาดเล็กเพื่อรักษาระดับความชื้นภายในกระบะบ่ม คลุมด้วยถุงพลาสติกและรัดปากถุงให้แน่น เจาะรูขนาดเล็กด้านบน 10-15 รูเพื่อให้เกิดการถ่ายเทอากาศ บ่มที่อุณหภูมิ 25–30°C จนกระทั่งเส้นใยไมซีเลียมเจริญเต็มที่บนพื้นผิวด้านบน จากนั้นแกะวัสดุออกจากแม่พิมพ์และกลับด้านวางลงในกระบะบ่มเดิม คลุมด้วยถุงพลาสติกอีกครั้งและดำเนินการบ่มต่อไปจนกระทั่งเส้นใยไมซีเลียมกระจายตัวเต็มที่ทั่วทุกด้าน หรือเริ่มมีการเกิดปุ่มดอกเห็ดขนาดเล็กจึงนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 65°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมงจนกระทั่งน้ำหนักคงที่

การศึกษาสัดส่วนของเส้นใยไมซีเลียมที่เหมาะสมทำโดยเตรียมวัสดุผสมในแต่ละรอบน้ำหนักรวม 400 กรัม โดยแบ่งออกเป็นดังนี้: (i) วัสดุรองรับ ประกอบด้วยกากชาผสมกับเปลือกไข่บด 10% (T90E10) และสารอาหาร 45 กรัมและ (ii) เชื้อเห็ดโดยปรับสัดส่วนการใช้เชื้อเห็ดที่ระดับ 10%, 25% และ 35% โดยน้ำหนักของวัสดุรองรับ ทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างและขนาดของเส้นใยไมซีเลียมในตัวอย่างโฟมชีวภาพที่ผลิตได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM; JOEL, JSM-7800F) เลือกสัดส่วนเชื้อเห็ดที่เหมาะสมมาทำการทดลองเพิ่มเติมโดยปรับสัดส่วนของเปลือกไข่บดเป็น 10%, 20% และ 30% โดยน้ำหนักของวัสดุรองรับ ในขั้นตอนสุดท้ายทำการผลิตตัวอย่างโฟมชีวภาพต้นแบบจากกากกาแฟ และกากชา โดยเลือกสัดส่วนเชื้อเห็ดและเปลือกไข่บดที่เหมาะสมสำหรับผลิตตัวอย่างโฟมชีวภาพเพื่อใช้ในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกลและการย่อยสลายต่อไป

4.2 ทดสอบคุณสมบัติของโฟมชีวภาพต้นแบบจากเส้นใยเห็ด

4.2.1 ลักษณะโครงสร้างและขนาดเส้นใยไมซีเลียม (Mycelium structure and thickness)

ทำการอบตัวอย่างโฟมชีวภาพต้นแบบให้แห้งก่อนตัดตัวอย่างให้เป็นชิ้นขนาดเล็กประมาณ 0.5x0.5 cm^2 วางบนแท่นสำหรับติดตัวอย่าง ติดด้วยเทปคาร์บอน ฉาบผิวตัวอย่างด้วยทองคำเพื่อทำให้ตัวอย่างนำไฟฟ้าที่สภาวะสุญญากาศ ส่องดูลักษณะ

โครงสร้างของเส้นใยเห็ดด้วยกล้อง SEM ถ่ายภาพที่กำลังขยาย 500 เท่า ทำการวัดขนาดของเส้นใยเห็ดจากภาพ SEM กำลังขยาย 500 เท่าด้วยโปรแกรม ImageJ

4.2.2 ค่าความหนาแน่น (Density)

ทำการอบตัวอย่างโฟมชีวภาพให้แห้ง วัดมิติ (กว้าง ยาว สูง) ด้วยเวอร์เนียร์ดิจิตอล (ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น 500-738-10) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง คำนวณความหนาแน่น โดยใช้สูตร $\rho = m/v$ (เมื่อ ρ = ความหนาแน่น หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) m = มวล หน่วยเป็นกรัม (g) V = ปริมาตร หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3))

4.2.3 ความทนแรงอัด (Compression strength)

ทำการอบตัวอย่างโฟมชีวภาพให้แห้ง วัดมิติ (กว้าง ยาว สูง) ด้วยเวอร์เนียร์ดิจิตอล ทดสอบความทนแรงอัดด้วยเครื่อง Universal Testing Machine คำนวนค่าความทนแรงอัด โดยใช้สูตร $\sigma_C = \frac{F_{max}}{A}$ (เมื่อ σ_C = ความทนแรงอัด หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2) แล้ว x100 เพื่อเปลี่ยนหน่วยเป็น KPa (เมื่อ F_{max} = แรงอัดสูงสุดที่ตัวอย่างรับได้จนกระทั่งแตกหัก หน่วยเป็นนิวตัน (N) A = พื้นที่รับแรงอัดของตัวอย่าง หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร (cm^2)

4.2.4 ความทนแรงดัด (Flexural strength) แบบ 3 จุด (Three-point bending)

ทำการอบตัวอย่างโฟมชีวภาพให้แห้ง วัดมิติ (กว้าง ยาว สูง) ด้วยเวอร์เนียร์ดิจิตอล ทดสอบความทนแรงดัดโดยใช้เครื่อง Universal testing machines (ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AGX-V) คำนวณค่าความทนแรงดัดโดยใช้สูตร $\mathrm{F} = \frac{3\mathrm{FL}}{2\mathrm{Wh}^2}$ (เมื่อ F = น้ำหนักที่ทำเกิดการแตก หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2) L = ระยะห่างระหว่างบ่ารองรับตัวอย่าง หน่วยเป็นเซนติเมตร (cm) W = ความกว้างของตัวอย่าง หน่วยเป็นเซนติเมตร (cm) h = ความสูงหรือความหนาของตัวอย่าง หน่วยเป็นเซนติเมตร (cm))

4.2.5 การย่อยสลายทางชีวภาพในดิน (Biodegradation in soil)

ทำการอบตัวอย่างโฟมชีวภาพให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก ฝังตัวอย่างโฟมชีวภาพที่ทราบน้ำหนักตั้งต้นลงในกล่องพลาสติกที่ใส่ดินธรรมชาติ ปรับให้มีความชื้นประมาณ 50-55% ใช้ดิน 2 กิโลกรัมต่อโฟมชีวภาพ 1 ก้อน ปิดฝากล่องพลาสติกแล้ววางในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25±5 °C สภาวะการทดสอบอ้างอิงมาตรฐาน ISO 17556 [9] ติดตามผลการย่อยสลายของตัวอย่างทดสอบในดินทุก 2 สัปดาห์ คลุกดินและเติมน้ำเล็กน้อยเพื่อปรับความชื้นหากดินแห้งเกินไป ติดตามผลการย่อยสลายเป็นเวลา 6 เดือน หากมีชิ้นตัวอย่างเหลือนำออกมาทำความสะอาดแล้วอบตัวอย่างที่ 65 °C จนแห้งสนิท ชั่งน้ำหนัก และคำนวน % การย่อยสลายในดินจากน้ำหนักที่หายไปโดยใช้สูตร %การย่อยสลายในดิน = $\left(\frac{W_1 - W_2}{W_1}\right)$ x100 (เมื่อ W_1 = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นก่อนทดสอบ หน่วยเป็นกรัม (g) W_2 = น้ำหนักหลังการทดสอบ หน่วยเป็นกรัม (g))

4.2.6 การย่อยสลายทางชีวภาพในสภาวะคอมโพสท์ (Biodegradable in compost)

เตรียมขยะอินทรีย์สังเคราะห์ประกอบด้วย กะหล่ำปลี 25% ผักกาดขาว 25% กิ่งไม้ 15% ขุยมะพร้าว 15% ปุ๋ยหมัก 20% ใส่ลงในกล่องพลาสติกมีฝาปิด ฝังตัวอย่างโฟมชีวภาพที่ทราบน้ำหนักตั้งต้นลงในขยะอินทรีย์สังเคราะห์ ใช้ขยะอินทรีย์ 2 กิโลกรัมต่อโฟมชีวภาพ 1 ก้อน ปิดฝากล่องแล้ววางไว้ในตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิอ้างอิงมาตรฐาน ISO 16929 ดังนี้ วันที่ 2-7 อุณหภูมิ 60-75°C วันที่ 8-28 อุณหภูมิระหว่าง 55 และ 65±5°C วันที่ 29-56 อุณหภูมิระหว่าง 50±5 และ 60±5°C วันที่ 57-70 อุณหภูมิต่ำกว่า 50°C วันที่ 71-84 อุณหภูมิต่ำกว่า 45°C เพื่อเลียนแบบสภาวะของระบบหมักขยะอินทรีย์ [10] ทำการทดสอบต่อเนื่อง 2 รอบ เพื่อติดตามผลการย่อยสลายเป็นเวลา 6 เดือน ทำการคลุกส่วนผสมทุก 2 สัปดาห์ เติมน้ำเล็กน้อยเพื่อปรับความชื้นหากปุ๋ยหมักแห้งเกินไป หากมีชิ้นตัวอย่างเหลือให้เก็บออกมาทำความสะอาด แล้วอบตัวอย่างที่ 65°C จนแห้งสนิท ชั่งน้ำหนัก และคำนวน % การย่อยสลายในคอมโพสท์จากน้ำหนักที่หายไปโดยใช้สูตร % การย่อยสลายในคอมโพสท์ = $\left(\frac{W_1 - W_2}{W_1}\right)$ x100 เมื่อ W_1 = น้ำหนักเริ่มต้นก่อนทดสอบ หน่วยเป็นกรัม (g) W_2 = น้ำหนักหลังการทดสอบ หน่วยเป็นกรัม (g))

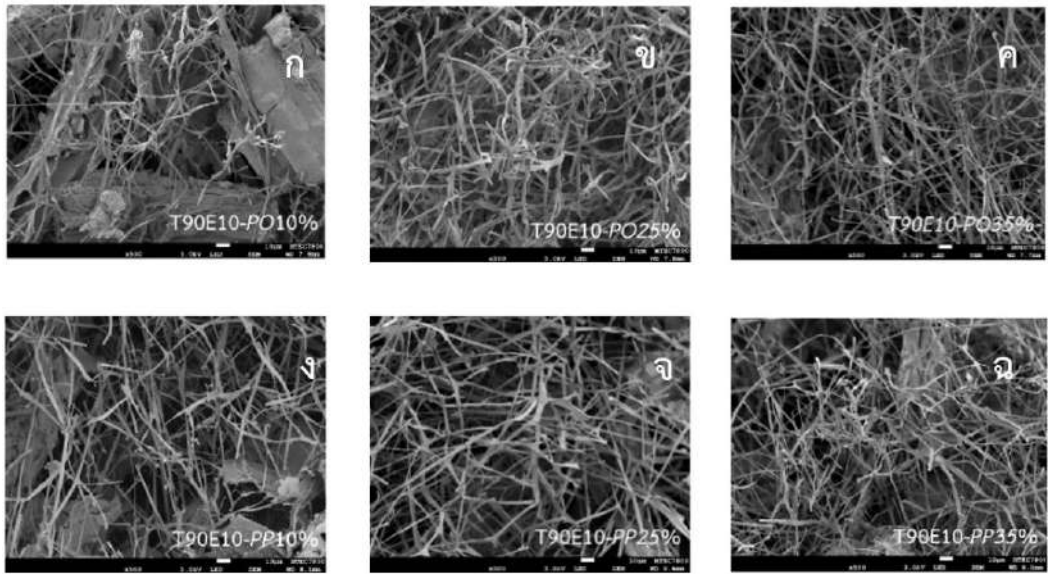
4.3 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ผลการทดลองถูกนำเสนอในรูปแบบ ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD) ดำเนินการในโปรแกรม Microsoft Excel 2019 โดยใช้ฟังก์ชัน AVERAGE และ STDEV การแสดงผลข้อมูลในรูปกราฟใช้ ค่าเฉลี่ย และมีแถบค่าคลาดเคลื่อน (Error bars) ซึ่งแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มทดลอง ได้ทำการทดสอบสมมติฐานโดยใช้ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ผ่านเครื่องมือ Data Analysis/ ANOVA: Single Factor ในโปรแกรม Microsoft Excel 2019 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 ($p \leq .05$)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษาเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโฟมชีวภาพต้นแบบจากเส้นใยเห็ด

รูปที่ 2 แสดงภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า ของตัวอย่างโฟมชีวภาพที่ผลิตจากเชื้อเห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*) และเห็ดนางฟ้าภูฏาน (*Pleurotus pulmonarius*) ในระดับความเข้มข้นของเชื้อเห็ด 10%, 25% และ 35% โดยใช้กากชา (T) ร่วมกับเปลือกไข่บด (E) 10% เป็นวัสดุรองรับ พบว่าเส้นใยไมซีเลียมของเห็ดทั้งสองชนิดเจริญเป็นโครงสร้างร่างแห ครอบคลุมอนุภาควัสดุรองรับอย่างทั่วถึง ในระดับความเข้มข้นเชื้อเห็ดที่ 10% (รูปที่ 2 ก และ ง) พบเส้นใยมีโครงสร้างตาข่ายที่ค่อนข้างบางและมีความหนาแน่นต่ำกว่าอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบกับระดับความเข้มข้นเชื้อเห็ดที่ 25% (รูปที่ 2 ข และ จ) และ 35% (รูปที่ 2 ค และ ฉ) ตามลำดับ ผลการวัดขนาดเส้นใยไมซีเลียมแบบสุ่มจำนวน 10 จุด ด้วยโปรแกรม ImageJ พบว่าการใช้เชื้อเห็ดที่ระดับความเข้มข้น 25% ให้เส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยสูงสุด โดยมีค่าความหนาเส้นใยเฉลี่ย 2.70±0.19 μm สำหรับเชื้อเห็ดนางรม และ 2.63±0.12 μm สำหรับเชื้อเห็ดนางฟ้าภูฏาน ตามที่แสดงในตารางที่ 1



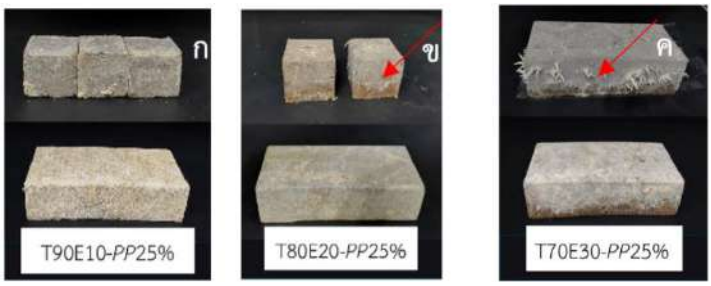
รูปที่ 2 แสดง SEM แสดงโครงสร้างเส้นใยในกากชาผสมเปลือกไข่บด 10% (T90E10) ปรับสัดส่วนเชื้อเห็ดนางรม (*PO*) (ก) 10% (ข) 25% (ค) 35% และเชื้อเห็ดนางฟ้า (*PP*) (ง) 10% (จ) 25% (ฉ) 35%

ตารางที่ 1 ผลของสัดส่วนเชื้อเห็ดต่อความหนาของเส้นใยไมซีเลียม

สัดส่วนเชื้อเห็ด	ความหนาของเส้นใยไมซีเลียม (μm)	
	เชื้อเห็ดนางรม	เชื้อเห็ดนางฟ้า
10%	1.73^{e} ±0.10	2.15^{c} ±0.19
25%	2.70^{a} ±0.19	2.63^{a} ±0.12
35%	1.89^{d} ±0.13	2.35^{b} ±0.29

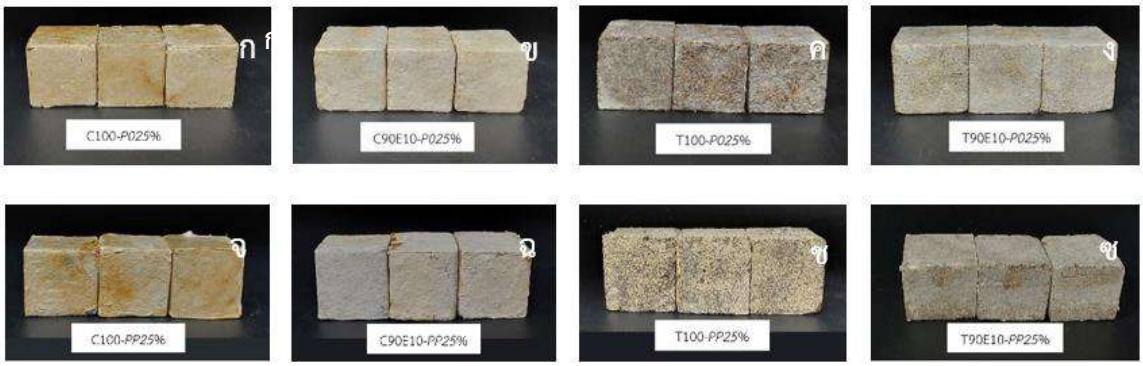
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวสดมภ์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ในการทดลองที่มีการปรับสัดส่วนของเปลือกไข่บดเป็น 10%, 20% และ 30% ร่วมกับกากชาเป็นวัสดุรองรับ พบว่าการเติมเปลือกไข่บดมีผลต่อการปรับค่า pH ของวัสดุให้เป็นกลางมากขึ้น โดยเดิมกากชามีค่า pH เท่ากับ 5.56 และเพิ่มขึ้นเป็น 6.59, 6.76 และ 6.84 เมื่อเติมเปลือกไข่บดในสัดส่วน 10%, 20% และ 30% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมเปลือกไข่บดในสัดส่วน 10% สามารถกระตุ้นการเจริญของเส้นใยไมซีเลียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เส้นใยแผ่ขยายและครอบคลุมทั่วทั้งวัสดุรองรับอย่างสมบูรณ์ (รูปที่ 3 ก) ในขณะที่การเพิ่มสัดส่วนของเปลือกไข่บดเป็น 20% และ 30% มีแนวโน้มกระตุ้นให้เส้นใยเห็ดเข้าสู่ระยะการสร้างดอกส่งผลให้เส้นใยหยุดเจริญและไม่สามารถแผ่ขยายจนเต็มแม่พิมพ์เกิดเป็นโครงสร้างของเส้นใยที่มีการเจริญไม่สม่ำเสมอ (รูปที่ 3 ข และ ค)



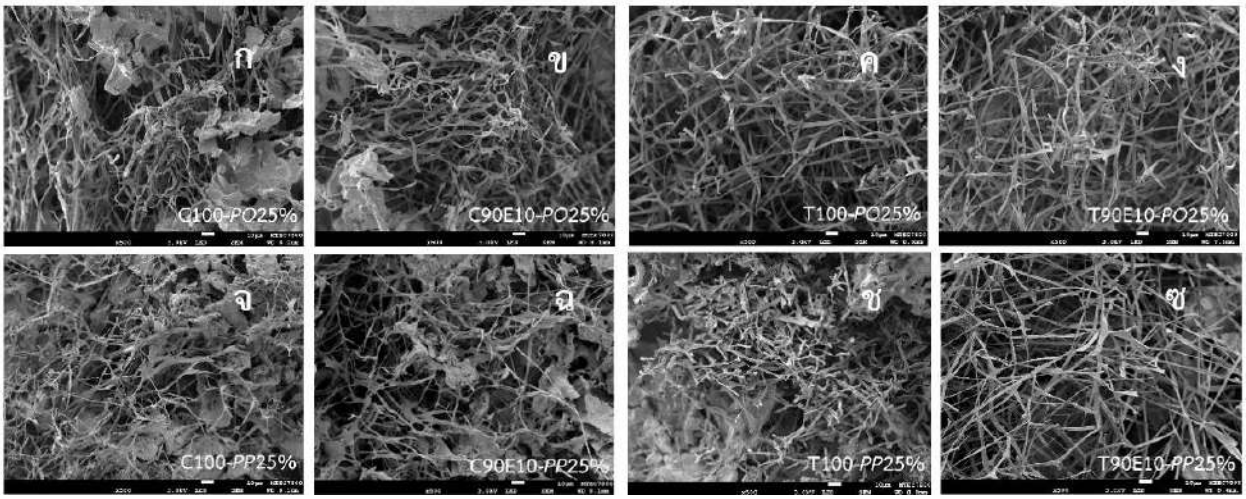
รูปที่ 3 แสดงโฟมชีวภาพต้นแบบจากกากชา (T) ผสมเปลือกไข่บด (E) ที่ระดับ (ก) 10% (ข) 20% และ (ค) 30%

5.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของโฟมชีวภาพจากเส้นใยเห็ด



รูปที่ 4 แสดงผลิตภัณฑ์โฟมชีวภาพต้นแบบใช้เชื้อเห็ดนางรม (*PO*) 25% ปรับวัสดุรองรับ (ก) C100 (ข) C90E10 (ค) T100 (ง) T90E10 และใช้เห็ดนางฟ้า (*PP*) 25% ปรับวัสดุรองรับ (จ) C100 (ฉ) C90E10 (ช) T100 (ซ) T90E10

ผลจากการติดตามการเจริญเติบโตของเส้นใยเห็ดนางรม (*Pleurotus ostreatus*) และเห็ดนางฟ้าภูฏาน (*Pleurotus pulmonarius*) ในวัสดุรองรับสูตรต่าง ๆ ที่ถูกอัดขึ้นรูปในแม่พิมพ์ขนาด 5 × 5 × 5 cm^3 พบว่าการใช้กากกาแฟ (C) เป็นวัสดุรองรับต้องใช้ระยะเวลาการบ่มประมาณ 45–60 วันเพื่อให้เส้นใยเจริญครอบคลุมวัสดุได้อย่างสมบูรณ์ในขณะที่วัสดุรองรับที่ใช้กากชา (T) ใช้เวลาน้อยกว่าอยู่ที่ประมาณ 35–40 วัน อย่างไรก็ตามการเติมเปลือกไข่บด (E) ในสัดส่วน 10% ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของเส้นใยไมซีเลียมของเห็ดทั้งสองชนิดให้เร็วขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถลดระยะเวลาการบ่มให้เหลือเพียง 30–33 วัน ทั้งนี้ลักษณะของการเจริญของเส้นใยไมซีเลียมในวัสดุรองรับแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน กล่าวคือ เส้นใยที่เจริญในกากกาแฟมีลักษณะการรวมตัวเป็นโครงข่ายที่หนาแน่นบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดชั้นไมซีเลียมที่เด่นชัดบนผิวภายนอก (รูปที่ 4 ก, ข, จ และ ฉ) ขณะที่เส้นใยไมซีเลียมที่เจริญในกากชามีแนวโน้มกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่ววัสดุรองรับโดยไม่พบการก่อตัวของชั้นไมซีเลียมหนาบริเวณผิวหน้า (รูปที่ 4 ค, ง, ช และ ซ)



รูปที่ 5 แสดง SEM แสดงโครงสร้างเส้นใยในตัวอย่างโฟมชีวภาพใช้เชื้อเห็ดนางรม (*PO*) 25% ปรับวัสดุรองรับ (ก) C100 (ข) C90E10 (ค) T100 (ง) T90E10 และใช้เห็ดนางฟ้า (*PP*) 25% ปรับวัสดุรองรับ (จ) C100 (ฉ) C90E10 (ช) T100 (ซ) T90E10

รูปที่ 5 แสดงลักษณะโครงสร้างเส้นใยไมซีเลียมภายในตัวอย่างโฟมชีวภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ซึ่งพบว่าชนิดของวัสดุรองรับมีอิทธิพลอย่างชัดเจนต่อความหนาแน่นของเส้นใยไมซีเลียม โดยเส้นใยของเห็ดทั้งสองชนิดที่เจริญบนกากกาแฟ (รูปที่ 5 ก และ จ) มีความหนาแน่นของโครงข่ายเส้นใยน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุรองรับที่เป็นกากชา (รูปที่ 5 ค และ ช) การเติมเปลือกไข่บดในสัดส่วน 10% ลงในกากกาแฟ (รูปที่ 5 ข และ ฉ) และกากชา (รูปที่ 5 ง และ ซ) ส่งผลให้เส้นใยไมซีเลียมสามารถเจริญและประสานกันเป็นโครงสร้างร่างแหที่มีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้โฟมชีวภาพที่ได้จากทุกสูตรมีน้ำหนักเบา โดยมีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.26–0.45 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) ดังแสดงในตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักของวัสดุรองรับพบว่ากากกาแฟมีน้ำหนักมากกว่ากากชาประมาณ 35% อย่างไรก็ตามการเติมเปลือกไข่บด 10% ลงในกากกาแฟไม่ได้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อน้ำหนักรวมของวัสดุ ทำให้โฟมชีวภาพที่ผลิตจากกากกาแฟ 100% (C100) และสูตรผสมเปลือกไข่บด 10% (C90E10) มีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกัน ขณะที่การเติมเปลือกไข่บดในกากชาในสูตร T90E10 ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับสูตรที่ใช้กากชา 100% (T100)

ตารางที่ 2 ผลของวัสดุรองรับต่อความหนาแน่นของตัวอย่างโฟมชีวภาพ

วัสดุรองรับ	ความหนาแน่น (g/cm^3)	
	เชื้อเห็ดนางรม	เชื้อเห็ดนางฟ้า
C100	0.44^{a} ±0.01	0.37^{b} ±0.00
C90E10	$0.44^{a,c}$ ±0.01	$0.37^{b,c}$ ±0.01
T100	0.27^{f} ±0.02	0.29^{e} ±0.02
T90E10	0.32^{d} ±0.01	0.35^{d} ±0.00

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวสดมภ์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของโฟมชีวภาพแสดงไว้ในตารางที่ 3 ชี้ให้เห็นว่าโฟมชีวภาพสูตร T90E10 มีค่าความทนแรงอัดและแรงดัดสูงสุด โดยมีค่าทนแรงอัดอยู่ในช่วง 193-222 KPa ขณะที่สูตร C100 และ T100 มีค่าความทนแรงอัดอยู่ในช่วง 124-155 KPa และสูตร C90E10 มีค่าความทนแรงอัดต่ำสุดอยู่ที่ 92.3-94.2 KPa ในการทดสอบความทนแรงดัดใช้ตัวอย่างขนาด 5x5x20 cm^3 จึงต้องตัดตัวอย่างขนาด 5x10x20 cm^3 พบว่าโฟมชีวภาพที่ใช้กากกาแฟเป็นวัสดุรองรับ (C100 และ C90E10) มีความเปราะและแตกหักระหว่างการตัดด้วยเลื่อยไฟฟ้า ในขณะที่โฟมชีวภาพที่ใช้กากชาเป็นวัสดุรองรับ (T100 และ T90E10) สามารถตัดได้โดยไม่แตกหักจึงใช้เป็นตัวอย่างทดสอบได้และพบว่า T90E10 มีค่าความทนแรงดัดสูงกว่า T100 ประมาณ 2 เท่า

ตารางที่ 3 ผลของวัสดุรองรับต่อค่าความทนแรงอัด (Compression strength) และความทนแรงดัด (Flexural strength)

วัสดุรองรับ	ความทนแรงอัด (KPa)		ความทนแรงดัด (KPa)	
	เชื้อเห็ดนางรม	เชื้อเห็ดนางฟ้า	เชื้อเห็ดนางรม	เชื้อเห็ดนางฟ้า
C100	155.5 ±19.1	146.0 ±13.5	-*	-*
C90E10	92.3 ±4.0	94.2 ±10.3	-*	-*
T100	146.8 ±5.6	124.6 ±39.0	31.7 ±1.2	34.8 ±0.9
T90E10	193.2 ±9.3	221.9 ±11.9	63.9 ±2.2	63.1 ±4.0

* ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากตัวอย่างแตกเมื่อถูกตัดด้วยเลื่อยไฟฟ้า

ตารางที่ 4 แสดงผลการย่อยสลายพบว่าโฟมชีวภาพทุกสูตรย่อยสลายได้ในทั้งสองสภาวะ โดยมีแนวโน้มของอัตราการย่อยสลายขึ้นอยู่กับวัสดุรองรับเรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ C100 > T100 ≈ C90E10 > T90E10 และพบว่าตัวอย่างโฟมชีวภาพต้นแบบมีอัตราการย่อยสลายในดินอยู่ในช่วง 48–62% ที่ระยะเวลาทดสอบ 168 วัน ในขณะที่ตัวอย่างโฟมชีวภาพต้นแบบย่อยสลายได้ 81–94% ในระบบคอมโพสท์ซึ่งเป็นสภาวะเลียนแบบการหมักขยะอินทรีย์มีอุณหภูมิทดสอบอยู่ในช่วง 50–75°C

ตารางที่ 4 เปอร์เซนต์การย่อยสลายในดินและในคอมโพสท์ของตัวอย่างโฟมชีวภาพต้นแบบสูตรต่างๆ

วัสดุรองรับ	อัตราการการย่อยสลายในดิน			อัตราการย่อยสลายในคอมโพสท์		
	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ 168 วัน	% การย่อยสลาย	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ 168 วัน	%การย่อยสลาย
C100			61.39			93.49
C90E10			54.45			85.39
T100			52.61			89.11
T90E10			48.45			81.01

6. สรุปผลการศึกษา

ผลจากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าสูตรที่เหมาะสมสำหรับการผลิตโฟมชีวภาพจากเส้นใยไมซีเลียมของเห็ดนางรมและเห็ดนางฟ้าคือการใช้สัดส่วนเชื้อเห็ดที่ระดับ 25% ซึ่งส่งผลให้เกิดโครงสร้างร่างแหที่มีความหนาแน่นสูงและได้เส้นใยมีความหนาสูงสุด การเติมเปลือกไข่บดในระดับ 10% สามารถเร่งการเจริญของเส้นใยไมซีเลียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณเปลือกไข่บดเป็น 20% และ 30% ส่งผลให้เกิดการกระตุ้นการสร้างดอกเห็ด แต่ทำให้เส้นใยไมซีเลียมลดอัตราการเจริญเติบโตและเข้าไปสู่ระยะการสร้างดอกเห็ดแทน ผลการวิเคราะห์ค่า pH (ความเป็นกรด-ด่าง) แสดงให้เห็นว่าเปลือกไข่บดสามารถปรับค่า pH ของวัสดุรองรับให้อยู่ในช่วงที่เป็นกลางมากขึ้น โดยกากชามีค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 5.56 เป็น 6.59 เมื่อเติมเปลือกไข่บด 10% ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้าที่ระบุว่าช่วง pH ใกล้เคียงกับ 7.0 เป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของไมซีเลียมในสกุลเห็ดนางรมเนื่องจากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมธาตุอาหาร [11] นอกจากนี้เปลือกไข่บดยังเป็นแหล่งแคลเซียม (Ca) ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญและเสริมสร้างโครงสร้างเส้นใย อย่างไรก็ตามการเติมในปริมาณที่มากเกินไปอาจส่งผลให้เส้นใยเข้าสู่ระยะสร้างดอกเห็ดเร็วขึ้น [8] ซึ่งเป็นปัจจัยที่ควรพิจารณาในการออกแบบสูตรของวัสดุรองรับ ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าเส้นใยไมซีเลียมของเห็ดนางรมและเห็ดนางฟ้าสามารถเจริญเติบโตบนวัสดุรองรับที่ทำจากกากกาแฟและกากชาได้ โดยโฟมชีวภาพจากเส้นใยไมซีเลียมผสมกากกาแฟใช้ระยะเวลาการบ่มนานกว่าโฟมชีวภาพจากเส้นใยไมซีเลียมผสมกากชาและเส้นใยมักเจริญหนาแน่นบริเวณพื้นผิวของวัสดุรองรับมากกว่า เนื่องจากกากกาแฟมีอนุภาคขนาดเล็กและละเอียดส่งผลให้เกิดการอัดตัวแน่นเมื่อถูดอัดลงแม่พิมพ์ขณะขึ้นรูปซึ่งลดช่องว่างระหว่างอนุภาคและจำกัดปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อการเจริญของเส้นใย ส่วนกากชาประกอบ ด้วยอนุภาคที่มีขนาดหลากหลายทั้งแบบผงละเอียดและท่อนหยาบที่มีรูพรุน ส่งผลให้มีช่องว่าง

ระหว่างเพื่อการแลกเปลี่ยนก๊าซได้ดี ทำให้มีออกซิเจนเพียงพอที่สนับสนุนให้เส้นใยไมซีเลียมเจริญเติบโตได้ดีกว่ากากกาแฟ การเติมเปลือกไข่บด 10% ส่งผลให้น้ำหนักและความหนาแน่นของโฟมชีวภาพต้นแบบที่ใช้กากชาเป็นวัสดุรองรับเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โฟมชีวภาพต้นแบบจากกากชาทั้งแบบที่ผสมและไม่ผสมเปลือกไข่มีโครงสร้างเส้นใยไมซีเลียมที่รัดอนุภาคของวัสดุรองรับไว้อย่างหนาแน่น ทำให้สามารถตัดได้ด้วยเลื่อยไฟฟ้า โฟมชีวภาพต้นแบบสูตรกากชาผสมเปลือกไข่ 10% (T90E10) มีค่าความทนต่อแรงอัดและแรงดัดสูงสุด อย่างไรก็ตามโฟมชีวภาพสูตรนี้มีอัตราการย่อยสลายในดินและในระบบคอมโพสต์ต่ำที่สุด คือ 48.45% และ 81.01% (ที่ระยะเวลา 168 วัน) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างร่างแหของเส้นใยไมซีเลียมของเห็ดทั้งสองชนิดในสูตร T90E10 ประสานกันอย่างหนาแน่นส่งผลให้โฟมชีวภาพที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดีและมีความแข็งแรงสูงแต่ใช้เวลาย่อยสลายนานกว่า

ผลการศึกษานี้นำเสนอข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับการปรับองค์ประกอบของวัสดุรองรับ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโฟมชีวภาพจากเส้นใยไมซีเลียมของเห็ดที่มีสมบัติเชิงกลดีเยี่ยมควบคู่ไปกับความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการลดปริมาณของเสียทางการเกษตรและสนับสนุนการพัฒนาอุตสาหกรรมวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามเพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างรอบด้านควรมีการศึกษาปัจจัยเพิ่มเติม เช่นองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุรองรับและผลิตภัณฑ์ ค่าการดูดซึมน้ำและความชื้น ตลอดจนสมบัติเชิงความร้อน เพื่อยกระดับประสิทธิภาพและความเหมาะสมของวัสดุสำหรับการใช้งานเชิงพาณิชย์ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] Aiduang, W., Chanthaluck, A., Kumla, J., Jatuwong, K., Srinuanpan, S., Waroonkun, T., Oranratmanee, R., Lumyong, S., & Suwannarach, N. (2022). Amazing Fungi for Eco-Friendly Composite Materials: A Comprehensive Review. J. Fungi, 8(8), 842. https://doi.org/10.3390/jof8080842.

[2] Alemu, D., Tafesse, M., & Mondal A. K. (2022). Mycelium-based composite: The future sustainable biomaterial. International Journal of Biomater, 2022, 8401528. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2022/8401528.

[3] Kohphaisansombat, Jongpipitaporna, Y., Laoratanakulb, P., Tantipaibulvuta, S., Euanorasetra, J., Rungjindamai, N., Chuaseeharonnachaid, C., Kwantongd, P., Somrithipold, S., & Nattawut B. (2024). Fabrication of mycelium (oyster mushroom)-based composites derived from spent coffee grounds with pineapple fibre reinforcement. Mycology, 15 (4), 665–682. https://doi.org/10.1080/21501203.2023.2273355.

[4] McClure, P. (2023). Waste coffee grounds make concrete 30% stronger. New Atlas. https://newatlas.com/materials/waste-coffee-grounds-make-concrete-30-percent-stronger.

[5] Negi, P., Kumar, Y., Sirohi, R., Singh, S., Tarafdar, A., Pareek, S., Awasthi, M. K., & Sagar, N. A. (2022). Advance in bioconversion of spent tea leaves to value-added products. Bioresource Technology, 346, 126409.

[6] มติชนออนไลน์. (ม.ป.ป.). คนไทยกินกาแฟปีละ 9 หมื่นตัน แต่ตลาดมีไม่พอ โลกร้อนเป็นเหตุ ผลิตได้น้อย ราคาพุ่ง. https://www.matichon.co.th/economy/news_4664373.

[7] ข่าวสด ออนไลน์. (ม.ป.ป.). "รายงานพิเศษ - หนุนชาไทยเจาะตลาดโลก พาณิชย์กระตุ้นใช้เอฟทีเอ". https://www.khaosod.co.th/economics/news_4989568.

[8] Tang, Z. -X., Shi L. -E., Jiang Z. -B., Bai, X. -L. & Ying R.-F. (2023). Calcium Enrichment in Edible Mushrooms: A Review. J. Fungi, 9, 338. https://doi.org/10.3390/jof9030338.

[9] ISO 17556:2019-Plastics-Determination of the Ultimate Aerobic Biodegradability in Soil.

[10] ISO 20200 Plastics — Determination of the degree of disintegration of plastic materials under composting conditions in a laboratory-scale test.

[11] Aditya, R.S., Neeraj, Jarial, R.S., Jarial, K. & Bhatia J.N. (2024). Comprehensive Review on Oyster Mushroom Species (Agaricomycetes): Morphology, Nutrition, Cultivation and Future Aspects. Heliyon,10, e26539.

การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารพิษตกค้างโดยใช้ $CaCO_3$ จากเปลือกหอยแครง เสริมสารสกัดซิตริกจากมะนาว

ณัฐฌา แซ่หลี[1], ซีรีน สาเต๊าะ[1], ฐิติชญา อินมณเฑียร[1], สุธี จุ้งลก[1*], อดุลย์สมาน สุขแก้ว[2,3], สิรินาถ ทองทวี[1], และ รุสนานี ซียง[1]

[1]โรงเรียนเบตง"วีระราษฎร์ประสาน" 19 ถนนรวมวิทย์ อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[2]สมาคมนักวิจัยชายแดนใต้ ตำบลสะเตง อำเภอเมืองยะลา จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[3]คณะวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ตำบลสะเตง อำเภอเมืองยะลา จังหวัดยะลา ประเทศไทย
** Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

บทคัดย่อ

เนื่องจากความกังวลด้านสิ่งแวดล้อมทั่วโลกทวีความรุนแรงขึ้น ความต้องการวัสดุเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงกลายเป็นสิ่งสำคัญ ไม่เพียงแต่ช่วยแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังให้ประโยชน์ทางเศรษฐกิจอีกด้วย นอกจากนี้ของเสียจากกระบวนการดูดซับตามธรรมชาตินั้น ยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่และใช้เป็นเป็นปุ๋ยสำหรับดินที่มีสภาวะเป็นกรด

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารพิษตกค้างโดยใช้ $CaCO_3$ จากเปลือกหอยแครง เสริมสารสกัดซิตริกจากมะนาว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดสารตกค้างในผักและผลไม้ ซึ่งสามารถทดสอบได้จากการใช้ชุดทดสอบสารเคมียาฆ่าแมลงเบื้องต้น MJPK Testkit

$CaCO_3$ จากเปลือกหอยแครงสามารถพัฒนาเป็นตัวดูดซับได้มีประสิทธิภาพในระดับหนึ่ง เนื่องจากผงเปลือกหอยแครงที่อยู่ในรูปของอะราโกไนต์มีพื้นที่ผิว และรูพรุนสูง ซึ่งค่านี้จะแปรผันตรงกับค่าการดูดซับสารตกค้าง ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดี

ผลการทดลองพบว่า ปริมาณเปลือกหอยแครง 5 กรัมเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด และนำไปเสริมสารสกัดซิตริกจากมะนาวด้วยอัตราส่วน 1:1 , 1:2 และ 1:3 พบว่าอัตราส่วน 1:3 เป็นอัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพในการชะล้างมากที่สุด ตามด้วย 1:2 และอัตราส่วน 1:1 เป็นอัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด

คำสำคัญ: กรดซิตริก / แคลเซียมคาร์บอเนต / ชุดทดสอบสารเคมียาฆ่าแมลงเบื้องต้น / เปลือกหอยแครง / อะราโกไนต์

Study on the Efficiency of Pesticide Adsorption using $CaCO_3$ from Cockle Shells Enhanced with Citric Extract from Lime

Natcha Sae-Lee[1], Sirin Satoh[1], Thitichaya Inmontian[1], Suthee Junglok[1*], Adulsman Sukkaew[2,3], Sirinat thongtawee[1], and Rusnanie Seeyong[1]

[1]Betong Wiraratprasan School, 19 Ruamwit Road , Betong District, Betong District, Yala Province, Thailand.
[2]Southern Border Researchers Association, Sateng Subdistrict, Mueang District, Yala Province, Thailand.
[3]Faculty of Science, Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Yala, Sateng Subdistrict, Mueang District, Yala Province, Thailand.
**Corresponding Author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

Abstract

Given the escalating global environmental concerns, the demand for eco-friendly materials has become crucial. These materials not only help address environmental issues but also offer economic benefits. Furthermore, waste from natural adsorption processes can be repurposed and used as fertilizer for acidic soils.

This research aims to investigate the efficiency of residual pesticide adsorption using calcium carbonate ($CaCO_3$) derived from cockle shells, enhanced with citric extract from lime, to improve the reduction of pesticide residues in fruits and vegetables. The effectiveness of this method was evaluated using the MJPK Testkit, a preliminary pesticide residue detection kit.

$CaCO_3$ derived from cockle shells demonstrates potential as an effective adsorbent due to the aragonite form of the shell powder, which exhibits high surface area and porosity. These properties directly correlate with the adsorption capacity of pesticide residues, resulting in enhanced adsorption efficiency.

The experimental results revealed that 5 grams of cockle shell powder exhibited the highest adsorption efficiency. Furthermore, the addition of citric extract from lime at ratios of 1:1, 1:2, and 1:3 demonstrated that the 1:3 ratio yielded the most effective washing performance, followed by 1:2, while the 1:1 ratio exhibited the least effectiveness.

Keywords: Aragonite / $CaCO_3$ / Citric acid / Cockle shells / MJPK Testkit

1. บทนำ

องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติระบุว่า ไทยใช้ยาฆ่าแมลงมากเป็นอันดับ 5 และยาฆ่าหญ้าเป็นอันดับ 4 ของโลก โดยในปี 2525 มีการนำเข้าสารเคมี 7,650 ตัน และเพิ่มขึ้นเป็น 70,156 ตันในปี 2555 หรือเพิ่มขึ้น 9 เท่า โดยมีสัดส่วนการนำเข้า ได้แก่ สารกำจัดวัชพืช 86% สารกำจัดแมลง 6% สารป้องกันกำจัดโรคพืช 6% และอื่นๆ 2% ทั้งนี้ การใช้สารเคมีในการเกษตรอยู่ที่ 99% และเกษตรอินทรีย์เพียง 1% [1]

จากการสำรวจพบสารเคมีตกค้างในผักและผลไม้ที่จำหน่ายในห้างสรรพสินค้าและตลาดสด โดยสุ่มเก็บตัวอย่างผัก 15 ชนิด (178 ตัวอย่าง) และผลไม้ 9 ชนิด (108 ตัวอย่าง) ส่งตรวจที่ห้องปฏิบัติการมาตรฐาน ISO-17025 พบว่าผัก 40% และผลไม้ 43% มีสารตกค้างเกินมาตรฐาน [2]

แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารอนินทรีย์ที่พบในธรรมชาติ มีโครงสร้างผลึก 3 แบบ ได้แก่ แคลไซต์ (เสถียรที่สุด) อะราโกไนต์ และวาเทอไรต์ (เสถียรน้อยที่สุด) พบมากในปะการัง เปลือกไข่ และเปลือกหอย ซึ่งในเปลือกหอยพบว่ามีแคลเซียมคาร์บอเนต 95-99% และโปรตีน 0.1-5% แคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยมีลักษณะรูพรุนและพื้นที่ผิวสัมผัสสูง เหมาะสำหรับดูดซับสารเคมีตกค้าง เช่น สารในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต [3] ซึ่งสะสมในร่างกายและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ จากรายงานผู้ป่วยที่ได้รับสารเคมีเหล่านี้มีจำนวน 3,067 ราย และเสียชีวิต 407 ราย [4] โดยฟอสเฟตถูกดูดซับทางเคมีบนผิวของแร่อะราโกไนต์ ในกรณีที่มีความเข้มข้นของฟอสเฟตต่ำ ผงเปลือกหอยแครงจะสามารถดูดซับฟอสเฟตได้ประมาณ 88% ของประสิทธิภาพการดูดซับ [5]

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาลดสารตกค้างในผักและผลไม้โดยใช้เปลือกหอยแครงที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องประดับ นำมาเสริมด้วยสารสกัดซิตริกจากมะนาว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสารเคมีตกค้างกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต และพัฒนาแนวทางเลือกใหม่ที่ปลอดภัยสำหรับผู้บริโภคในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของเปลือกหอยและซิตริกในการดูดซับสารเคมีตกค้างจากผักกาด เพื่อลดความเสี่ยงต่อสุขภาพ
2. เพื่อพัฒนาวิธีลดสารเคมีตกค้างโดยใช้ของเสียจากธรรมชาติให้เกิดมูลค่า และพัฒนาเศรษฐกิจในท้องถิ่น
3. เพื่อเปรียบเทียบอัตราการลดลงของสารพิษตกค้างในผักกาด หลังการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต เสริมซิตริกในสัดส่วนต่างๆ

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารพิษตกค้างโดยใช้ $CaCO_3$ จากเปลือกหอยแครง เสริมสารสกัดซิตริกจากมะนาว โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. แปรรูปแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครง [6]
2. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับออกาโนฟอสเฟตของแคลเซียมคาร์บอเนตเสริมสารสกัดจากเปลือกมะนาว
3. ศึกษาคุณสมบัติการดูดซับออกาโนฟอสเฟตของเปลือกหอยแครงในรูปอะราโกไนต์

4. วิธีการศึกษา

4.1 ขั้นตอนแปรรูปเปลือกหอย

1. ล้าง คัดเลือกเปลือกหอยแครง

2. แช่เปลือกหอยใน 1M KOH เป็นเวลา 7 วัน เพื่อกำจัดชั้นอินทรีย์

3. อบเปลือกหอยที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดชั้นโปรตีน

4. แช่เปลือกหอยใน 10% v/v H_2O_2 3 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่เหลือจากการสลายโปรตีน และฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

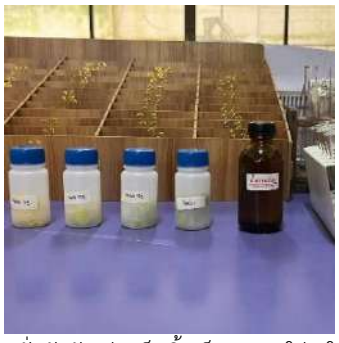
5. ล้างและตากเปลือกหอยให้แห้ง

6. บดให้เป็นผงละเอียด

4.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างผักเพื่อใช้ในการทดสอบ

1. เตรียมสารกำจัดศัตรูพืชกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต 8 มิลลิลิตรลงในกะละมัง จากนั้นนำผักลงไปแช่เป็นเวลา 30 นาที

2. เตรียมผงเปลือกหอยแครงในปริมาณ 5, 10 และ 15 กรัม จากนั้นนำผักมาล้างด้วยน้ำเปลือกหอย และแช่ไว้เป็นเวลา 30 นาที



3. หั่นผักตัวอย่างเป็นชิ้นเล็ก ๆ และใส่ลงในขวดจนถึงระดับที่กำหนด เติมสารละลายสกัด

4.3 ขั้นตอนการทดสอบหาสารพิษในผักด้วยชุดทดสอบ

1. ทดสอบด้วยชุดทดสอบสารตกค้าง MJPK ผลิตโดย ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็มแอนด์พี อิมเป๊กซ์

2. เทสารละลายสกัดลงในหลอดแก้ว จากนั้นนำไปแกว่งในน้ำอุ่นเพื่อให้ระเหยจนเหลือ 1 หยด

3. เติมสารละลายทดสอบ 2 จำนวน 3 ml จากนั้นเติมสารละลายทดสอบ 1 และ 3 อย่างละ 2 หยด ตามลำดับ

4. สังเกตสีที่เกิดขึ้นและบันทึกผลลัพธ์

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสารพิษตกค้าง โดยใช้ $CaCO_3$ จากเปลือกหอยแครง เสริมสารสกัดซิตริกจากมะนาว ได้ทำการทดสอบ โดยใช้การสังเกตค่าระดับสีจากชุดทดสอบสารตกค้างของยาฆ่าแมลง MJPK Testkit ซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงความปลอดภัยจากระดับสี ถูกกำหนดไว้ดังต่อไปนี้

- ระดับ 3 สีชมพู: แสดงถึงระดับอันตราย
- ระดับ 2 สีชมพู-ส้ม: แสดงถึงระดับที่ไม่ปลอดภัย
- ระดับ 1 สีส้ม: แสดงระดับที่ปลอดภัย

ตารางที่ 1 แสดงระดับสีของหลอดควบคุมที่ 1 และ 2

หลอดควบคุม	ระดับสี
1	1
2	3

กำหนดให้: หลอดควบคุมที่ 1 แสดงผลการทดสอบชุดทดสอบ MJPK Testkit; หลอดควบคุมที่ 2 แสดงผลการทดสอบระดับค่าสีของสารเคมีในกลุ่มออกาโนฟอสเฟต

ตารางที่ 2 แสดงระดับสีก่อนและหลังแช่เปลือกหอยในปริมาณที่ต่างกัน

ปริมาณเปลือกหอยแครง (g)	ระดับสี	
	ก่อนล้าง	หลังล้าง
5	3	2
10	3	2
15	3	2

จากตารางที่ 2 เมื่อนำผักกาดที่แช่ออกาโนฟอสเฟตมาล้างด้วยน้ำแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากเปลือกหอยแครง ในปริมาณ 5, 10 และ 15 กรัม พบว่าเมื่อตรวจระดับสีหลังล้าง มีค่าระดับสีอยู่ที่ 2 ซึ่งยังคงไม่ปลอดภัย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ในปริมาณเปลือกหอยแครงทั้ง 3 เปลือกหอยแครงในปริมาณ 5 กรัมมีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าแต่มีประสิทธิภาพเทียบเท่าปริมาณที่มากกว่า 10 และ 15 กรัมตามลำดับ

ตารางที่ 3 แสดงระดับสีก่อนและหลังแช่เปลือกหอย เสริมสารสกัดซิตริกในปริมาณที่ต่างกัน

ปริมาณเปลือกหอยแครง (g)	ปริมาณสารสกัดซิตริก (g)	ระดับสี	
		ก่อนล้าง	หลังล้าง
5	5	3	2
	10	3	2
	15	3	1

จากตารางที่ 3 เมื่อนำผักกาดที่แช่ออกาโนฟอสเฟตมาล้างด้วยน้ำซิตริก ปริมาณ 5, 10 และ 15 กรัม โดยนำผงแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครง ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด จากตารางที่ 2 จำนวน 5 กรัมมาผสม เพื่อหาอัตราส่วนปริมาณระหว่างผงแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครงและสารสกัดซิตริกจากมะนาวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เมื่อตรวจวัดระดับสีหลังล้างพบว่าอัตราส่วน 1:1 และ 1:2 มีระดับสีอยู่ที่ 2 ซึ่งจัดอยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัย และพบว่าอัตราส่วน 1:3 มีระดับสีอยู่ที่ 1 ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัย ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า อัตราส่วน 1:3 เป็นอัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ตามด้วย 1:2 และอัตราส่วน 1:1 เป็นอัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด

5.2 อภิปรายผล

จากข้อมูลข้างต้น ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการดูดซับออกาโนฟอสเฟตโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนต จากเปลือกหอยแครง พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จากการสังเคราะห์เปลือกหอยแครง และนำมาบดละเอียดสามารถกำจัดได้สูงถึง 52.27% เมื่อเทียบกับผงเปลือกหอยหยาบที่กำจัดได้เพียง 16.67% [7] ได้รายงานไว้ จึงสามารถพัฒนาเป็นตัวดูดซับได้มีประสิทธิภาพในระดับหนึ่ง เนื่องจากผงเปลือกหอยแครงที่อยู่ในรูปของอะราโกไนต์มีพื้นที่ผิว และรูพรุนสูง ซึ่งค่านี้จะแปรผันตรงกับค่าการดูดซับสารตกค้าง และเมื่อนำมาเสริมด้วยสารสกัดซิตริกจากเปลือกมะนาวที่ช่วยในการชะล้างสารตกค้าง ก็สามารถเสริมประสิทธิภาพในการดูดซับได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากสารสกัดซิตริกนั้นมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อน จึงสามารถละลายแคลเซียมได้ในระดับผิว ซึ่งทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตนั้นมีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น และสารในกลุ่มออกาโนฟอสเฟตถูกชะล้างได้ดีในสภาวะเป็นด่าง

6. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อทดสอบหลอดควบคุมที่ 1 หลังทดสอบมีระดับสีอยู่ที่ 1 ซึ่งเป็นระดับปลอดภัย และหลอดควบคุมที่ 2 มีระดับสีอยู่ที่ 3 ซึ่งเป็นระดับอันตราย โดยทั้งสองหลอดควบคุมเป็นไปตามค่ามาตรฐานที่ชุดทดสอบได้กำหนดค่าไว้ เมื่อนำมาทดลองจริงเพื่อสังเกตุดูค่าระดับสีความปลอดภัย

ในการทดลองที่ 1 เมื่อตรวจระดับสีหลังล้าง ปริมาณเปลือกหอยแครง ทั้ง 3 ปริมาณ 5 กรัมเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าแต่มีประสิทธิภาพเทียบเท่าปริมาณที่มากกว่า 10 และ 15 กรัมตามลำดับ

ในการทดลองที่ 2 เมื่อตรวจระดับสีหลังล้างเพื่อหาอัตราส่วนปริมาณระหว่างผงแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยแครงที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด และสารสกัดซิตริกจากมะนาว ในอัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า อัตราส่วน 1:3 เป็นอัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพในการชะล้างมากที่สุด ตามด้วย 1:2 และอัตราส่วน 1:1 เป็นอัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. ขยายการทดลองโดยมีการทดสอบให้มากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความแม่นยำ
2. ทดลองด้วยเครื่องตรวจที่มีความแม่นยำสูง และละเอียดมากยิ่งขึ้น เนื่องจากชุดทดสอบที่ใช้เป็นเพียงเบื้องต้นจึงมีข้อจำกัดซึ่งตรวจวัดได้เพียง 3 ระดับ
3. พัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สามารถดูดซับสารเคมีตกค้างกลุ่มอื่นๆ
4. ศึกษาการดูดซับโดยใช้ตัวดูดซับเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้มาจากแหล่งอื่น

เอกสารอ้างอิง

[1] Thaipan. (2014). การนำเข้าสารเคมียาฆ่าแมลง.

[2] กรุงเทพธุรกิจ. (2020). ภัยเงียบจากสารพิษตกค้างในผักผลไม้ แค่ล้างน้ำเปล่า ทำไมยังไม่สะอาดพอ. https://www.bangkokbiznews.com/news/897527

[3] สุภกร บุญยืน และคณะ. (2558).การสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอย. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tjst/article/download/35520/29518/

[4] Hfocus. (2019). เปิดข้อมูลผู้ป่วยบัตรทอง ปี 62 พบผู้ป่วยพิษสารเคมีปราบศัตรูพืชกว่า 3 พันราย เสียชีวิต 407ราย. https://www.hfocus.org/content/2019/08/17468

[5] Youngjung Kim et al. (2018). Use of Powdered Cockle Shell as a Bio-Sorbent Material for Phosphate Removal from Water. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/bkcs.11606

[6] ชุติพันธ์ เลิศวชิรไพบูลย์ และคณะ. (ม.ป.ป.).ไบโอแคลเซียมคาร์บอเนตผลิตจากเปลือกหอยแมลงภู่เหลือทิ้ง. https://www.nstda.or.th/ nac/2023/exhibitions/ex38/

[7] Abdullah et al. (2013). Utilization of cockle shell powder as an adsorbent to remove phosphorus-containing wastewater. https://scholar.google.com

สภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรตีนของพืชตระกูลถั่ว ด้วยการปรับค่าpH และวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือ

วงศกร วงชารี[1*], ชโยดม คงสมศักดิ์[1], พลอยแหวน สิงหาสาร[1], ศศิกาญณ์ ภูงามเขียว[1], และคคนางค์ รัตนานิคม[2*]

[1]ห้องเรียนพิเศษ โปรแกรมแอล เอ็ม เอส โรงเรียนอนุกูลนารี
[2]สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
* Corresponding author: Wongsakonchow@gmail.com; khakhanang_r@yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรตีนของพืชตระกูลถั่ว ด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยการปรับค่า pH และวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือ พบว่าการใช้ค่า pH ที่ 4.1 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนโปรตีนจากพืชตระกูลถั่ว ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการตกตะกอนโปรตีนของถั่วเขียว ถั่วดำ และถั่วแดง สูงที่สุดและแตกต่างกับสภาวะอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 71.49±0.11, 67.05±0.25 และ 63.76±0.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และพบว่าวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือ โดยใช้ $CaSO_4$ ที่ความเข้มข้น 10% ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการตกตะกอนโปรตีนของถั่วเขียวและถั่วดำสูงที่สุดและแตกต่างกับสภาวะอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 15.79±0.24 และ 13.22±0.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่การใช้เกลือ $CaSO_4$ ทุกระดับความเข้มข้นไม่มีผลต่อความสามารถในการตกตะกอนโปรตีนของถั่วแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่การใช้เกลือ $MgCl_2$ ที่ความเข้มข้น 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ความสามารถในการตกตะกอนโปรตีนของถั่วแดงสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างในการตกตะกอนโปรตีนจากถั่วเขียวและถั่วดำในทุกระดับความเข้มข้น ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่แตกต่างกันของการตกตะกอนโปรตีนทำให้ได้ปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกันและศักยภาพในการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยเฉพาะการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร

คำสำคัญ: การตกตะกอนโปรตีน / พืชตระกูลถั่ว / พีเอช / เกลือ

Optimization of Protein Precipitation from Legume Extracts Using pH Adjustment and Salt-Induced Precipitation

Wongsakon Wongcharee[1*], Chayodom Khongsomsak[1], Ploywan Singhasarn[1], Sasikan PhoongamKhiew[1], and Khakhanang Ratananikom[2*]

[1]LMS Program, Anukoolnaree School.
[2]Department of Public Health, Faculty of Science and Health Technology, Kalasin University.
** Corresponding author: Wongsakonchow@gmail.com; khakhanang_r@yahoo.com*

Abstract

This study aims to determine the optimal conditions for protein precipitation from legume extracts through pH adjustment and salt-induced precipitation methods. It was found that adjusting the pH to 4.1 provided the most suitable condition for protein precipitation from green pea extract. The highest protein yield was obtained from green pea, followed by red kidney bean and black bean, with statistically significant differences. The yields were 71.49±0.11%, 67.05±0.25%, and 63.76±0.51%, respectively. Furthermore, using 10% $CaSO_4$ concentration for salt-induced precipitation was found to yield the highest protein precipitation from green pea and red kidney bean extracts, with statistically significant differences, yielding 15.79±0.24% and 13.22±0.14%, respectively. However, increasing $CaSO_4$ concentrations showed no significant effect on protein precipitation from black bean extract. In contrast, using $MgCl_2$ at concentrations of 20% and 30% did not improve protein precipitation efficiency in any of the legume extracts. Although salt concentration significantly affected precipitation yield, differences in protein precipitation efficiency among green pea, red kidney bean, and black bean extracts were also observed. The results suggest that optimizing these parameters can enhance protein yield, which can be beneficial for applications in food industry's protein production.

Keywords: Protein precipitation / Legume / pH / Salt

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่มีความหลากหลายทางชีวภาพและมีความอุดมสมบูรณ์ทางการเกษตรสูง เช่น ข้าว มันสำปะหลัง ยาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชตระกูลถั่วที่ได้รับความนิยมในการเพาะปลูกอย่างแพร่หลายในทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นถั่วเขียว ถั่วแดง หรือถั่วดำ ซึ่งพืชตระกูลถั่วเหล่านี้เป็นแหล่งของโปรตีนที่ดีเยี่ยม ส่งผลให้มีศักยภาพในการส่งออกไปยังตลาดทางการค้าเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารและผลิตภัณฑ์โปรตีนทางเลือก ซึ่งกำลังเป็นที่ต้องการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในระดับสากล [1]

โปรตีนจากพืช เช่น โปรตีนจากเมล็ดพืชตระกูลถั่ว มักถูกใช้เป็นโปรตีนทางเลือกเพื่อทดแทนโปรตีนจากสัตว์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีราคาถูก มีปริมาณโปรตีนสูง และมีสมบัติเชิงหน้าที่ที่ดี ดังนั้นในปัจจุบันนี้จึงได้มีการนำเอาพืชโปรตีนสูง เช่น พืชตระกูลถั่ว มาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดโปรตีน เพื่อใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนสำหรับผู้ที่แพ้นมวัว และรับประทานมังสวิรัติ นอกจากนี้โปรตีนที่สกัดได้ยังนิยมนำไปเติมผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ อาหารขบเคี้ยว และเครื่องดื่ม เพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการให้สูงขึ้น [2, 3]

การตกตะกอนโปรตีนเป็นกระบวนการแยกโปรตีนให้ออกจากสารละลายในรูปของของแข็ง ซึ่งมักเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมของสารละลาย เช่น การตกตะกอนด้วยเกลือ หรือการปรับค่า pH โดยในระบบของโปรตีนการตกตะกอนเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลโปรตีนสูญเสียความสามารถในการละลายในสารละลาย ส่งผลให้เกิดการรวมตัว และแยกออกมาในรูปแบบของของแข็ง [4, 5]

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีแนวความคิดในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรตีนจากพืชตระกูลถั่ว เพื่อพัฒนาแนวทางใหม่ในการใช้ประโยชน์จากพืชเกษตรกรรมที่มีศักยภาพ ซึ่งยังสามารถช่วยให้พืชตระกูลถั่วเป็นพืชทางการเกษตรในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างมั่นคงและยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรตีนของพืชตระกูลถั่วด้วยวิธีการปรับค่า pH
2. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรตีนของพืชตระกูลถั่วด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือ

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาสภาพวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรตีนจากพืชตระกูลถั่วโดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. พืชตระกูลถั่ว ได้แก่ ถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วดำ
2. การตกตะกอนโปรตีน โดยวิธีการปรับค่า pH และวิธีการตกตะกอนด้วยเกลือ

4. วิธีการศึกษา

4.1 การสกัดพืชตระกูลถั่ว

การสกัดพืชตระกูลถั่ว ซึ่งได้แก่ ถั่วเขียว ถั่วแดง และถั่วดำ โดยสกัดพืชตระกูลถั่วที่ผ่านการแช่น้ำในอัตราส่วน 1:5 (ถั่ว:น้ำ) เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำพืชตระกูลถั่วที่ได้ไปปั่นรวมกับน้ำในอัตราส่วน 1:3 (ถั่ว:น้ำ) แยกสารที่ได้โดยวิธีการกรองเพื่อทำการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

1. การตกตะกอนโปรตีนด้วยเกลือ

เตรียมสารเกลือชนิด $CaSO_4$ และ $MgCl_2$ ที่มีระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 5, 10, 15, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำมาผสมกับสารสละลายถั่วที่เตรียมไว้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ตั้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที ปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนโปรตีน

2. การตกตะกอนด้วยการปรับค่า pH

เตรียมบัฟเฟอร์ pH ที่มีระดับแตกต่างกัน 6 ระดับ คือ 4.1, 4.4, 4.7, 5.1, 5.4 และ 5.7 จากนั้นนำมาผสมกับสารละลายถั่วที่เตรียมไว้ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ตั้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที ปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนโปรตีน

3. วิเคราะห์การตกตะกอนโปรตีนจากพืชตระกูลถั่ว

การวัดปริมาณโปรตีนในส่วนใส เพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การตกตะกอนโดยโปรตีน โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างส่วนใสที่ได้จากการปั่นตกตะกอนกับสารละลาย Coomasie brilliant blue วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโนเมตร คำนวณเปอร์เซ็นต์การตกตะกอนโปรตีน จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์การตกตะกอนโปรตีน} = \frac{(\text{ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง} - \text{ค่าการดูดกลืนแสงของส่วนใสของสารละลายตัวอย่าง})}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง}} \; x\,100$$

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

สถิติที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง รายงานผลที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way analysis of variance, one-way ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistix ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรตีนจากพืชตระกูลถั่ว ได้แก่ ถั่วเขียว ถั่วดำ และถั่วแดง โดยใช้สองวิธีหลัก ได้แก่ การปรับค่า pH และการเติมเกลืออนินทรีย์ ($MgCl_2$ และ $CaSO_4$) ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความเหมาะสมของแต่ละวิธีในการประยุกต์ใช้กับการสกัดโปรตีนพืช

5.1 การตกตะกอนโปรตีนด้วยการปรับค่า pH

ผลการทดลองพบว่า pH ที่ 4.1 เป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนโปรตีนจากถั่วทั้งสามชนิด โดยเฉพาะถั่วเขียวซึ่งให้เปอร์เซ็นต์การตกตะกอนสูงสุดถึง 71.49 ตามด้วยถั่วดำ 67.05 และถั่วแดง 63.76 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยกลไกทางเคมีว่า ณ pH นี้ โปรตีนจะอยู่ในสภาวะ สวิทเทอร์ไอออน ซึ่งมีทั้งประจุบวกและประจุลบ ทำให้ประจุรวมของโปรตีนเป็นศูนย์ โมเลกุลโปรตีนจึงความเป็นกลาง (neutral molecule) ส่งผลให้ไม่สามารถละลายสารละลายได้ดีเช่นเคย จึงเกิดการแยกตัวตกตะกอนออกมาจากสารละลาย หรืออยู่ในภาวะไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point) ซึ่งลดแรงผลักทางไฟฟ้าระหว่างโมเลกุลของโปรตีน ทำให้เกิดการรวมกลุ่มและตกตะกอนออกจากสารละลาย [6, 7]

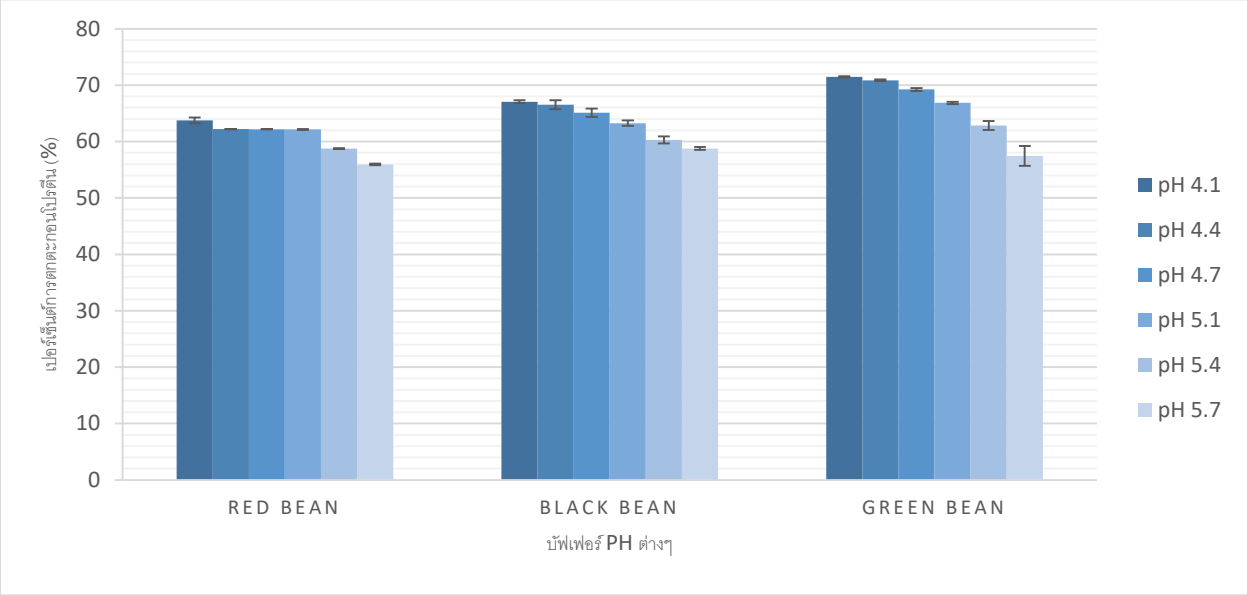
การใช้วิธีปรับ pH ในการตกตะกอนโปรตีนนับว่าเป็นเทคนิคพื้นฐานที่มีข้อดีในแง่ของความเรียบง่าย ประหยัดต้นทุนและไม่ต้องเติมสารเคมีมากนัก อย่างไรก็ตาม จุดอ่อนคือการควบคุมความเสถียรของโปรตีนบางชนิดที่อาจสลายหรือเสียคุณภาพภายใต้สภาวะกรด–ด่างเฉพาะเจาะจง อีกทั้งเทคนิคนี้เหมาะกับโปรตีนที่มีพฤติกรรมทางประจุชัดเจนเท่านั้น

ผลจากงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาที่ครอบคลุมโปรตีนจากพืชท้องถิ่น โดยเฉพาะถั่วในกลุ่มที่ยังมีการศึกษาน้อย และแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้วิธีปรับ pH เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนโปรตีนได้อย่างชัดเจน ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นฐานในการพัฒนาเทคโนโลยีการสกัดโปรตีนพืชอย่างยั่งยืนต่อไปในอุตสาหกรรมอาหาร หรือโปรตีนทางเลือก

รูปที่ 1 แสดงการตกตะกอนของถั่วแดงด้วยการใช้ pH

รูปที่ 2 แสดงการตกตะกอนของถั่วดำด้วยการใช้ pH

รูปที่ 3 แสดงการตกตะกอนของถั่วเขียวด้วยการใช้ pH



รูปที่ 4 แสดงแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการตกตะกอนโปรตีนในค่า pH

5.2 การตกตะกอนโปรตีนด้วยเกลือ

ในการทดลองใช้เกลือ $MgCl_2$ พบว่าถั่วแดงมีการตอบสนองต่อการตกตะกอนมากที่สุด โดยเฉพาะที่ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ และ 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งให้ค่าการตกตะกอนสูงสุดที่ 16.30 และ 17.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ถั่วเขียวและถั่วดำไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับความเข้มข้นของเกลือชนิดนี้ ส่วนการใช้ $CaSO_4$ พบว่าที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถตกตะกอนโปรตีนจากถั่วเขียวและถั่วดำได้ดีที่สุด โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับสภาวะอื่น แต่ไม่มีผลชัดเจนต่อถั่วแดง

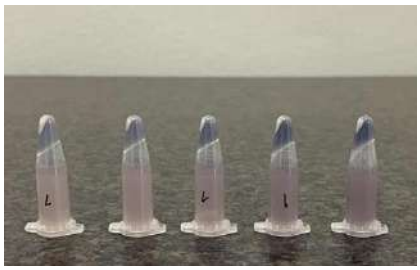
กลไกของการตกตะกอนในกรณีนี้เกิดจากปรากฏการณ์ salting out ซึ่งการเติมเกลือจะลดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic repulsion) และเสริมแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของโปรตีน โดยเฉพาะแรงไม่ชอบน้ำ (hydrophobic interaction) ส่งผลให้โปรตีนรวมตัวและตกตะกอนออกมาได้ [8, 9] เทคนิคการใช้เกลือในการตกตะกอนมีข้อดีในแง่ของการ

ควบคุมได้ละเอียดและเหมาะสมกับโปรตีนบางชนิดที่ตอบสนองต่อไอออนโลหะ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดที่สำคัญคือปริมาณไอออนตกค้างในระบบ ซึ่งอาจต้องการกระบวนการบำบัดเพิ่มเติม และมีผลต่อคุณภาพของโปรตีนในผลิตภัณฑ์สุดท้าย

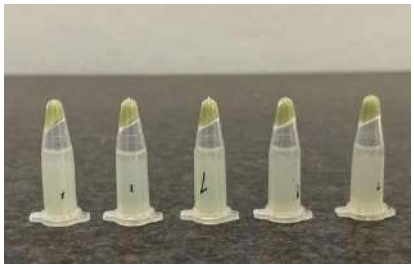
เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่น เช่น การตกตะกอนด้วยเอทานอล (ethanol precipitation) ซึ่งแม้จะสามารถตกตะกอนได้รวดเร็วและมีความบริสุทธิ์สูง แต่มีต้นทุนการผลิตและความเสี่ยงทางด้านความปลอดภัยสูงกว่าการใช้เกลือหรือการปรับ pH การตกตะกอนด้วยโพลีอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte precipitation) แม้จะมีประสิทธิภาพดีในระบบบางชนิด แต่ยังมีข้อจำกัดเรื่องการควบคุมคุณสมบัติของโปรตีนหลังตกตะกอน

การศึกษานี้จึงแสดงให้เห็นว่า การเลือกเทคนิคตกตะกอนโปรตีนที่เหมาะสมควรพิจารณาร่วมกันทั้งชนิดของโปรตีน พฤติกรรมทางเคมี ความสามารถในการละลาย และความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ผลจากการศึกษาเบื้องต้นนี้สามารถนำไปต่อยอดสู่การออกแบบระบบแยกโปรตีนที่เหมาะสมกับการผลิตจริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มโปรตีนจากพืชพื้นถิ่นซึ่งยังขาดงานวิจัยเชิงลึก [10, 11]

รูปที่ 5 แสดงการตกตะกอนของโปรตีนจากถั่วแดงในเกลือ $MgCl_2$

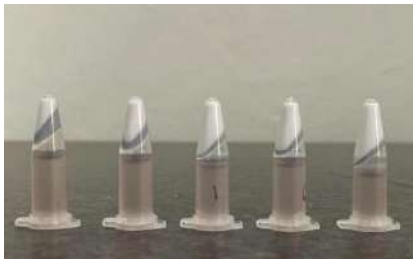


รูปที่ 6 แสดงการตกตะกอนของโปรตีนจากถั่วดำในเกลือ $MgCl_2$



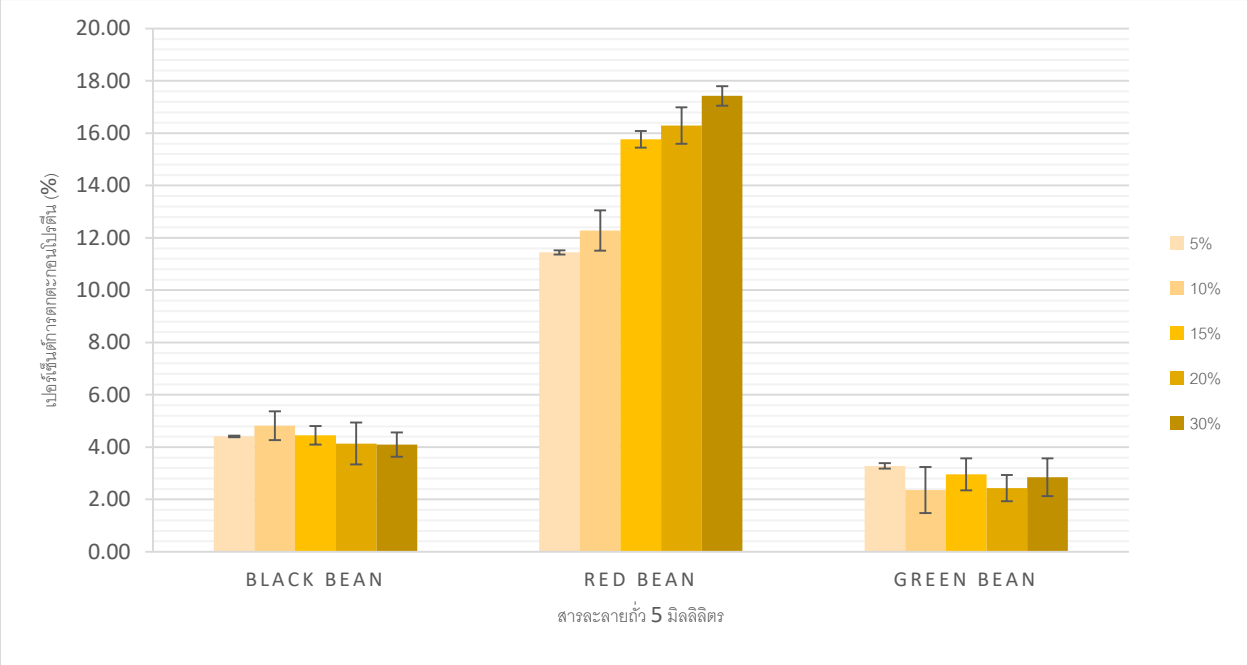
รูปที่ 7 แสดงการตกตะกอนของโปรตีนจากถั่วเขียวในเกลือ $MgCl_2$

รูปที่ 8 แสดงการตกตะกอนของโปรตีนจากถั่วแดงในเกลือ $CaSO_4$

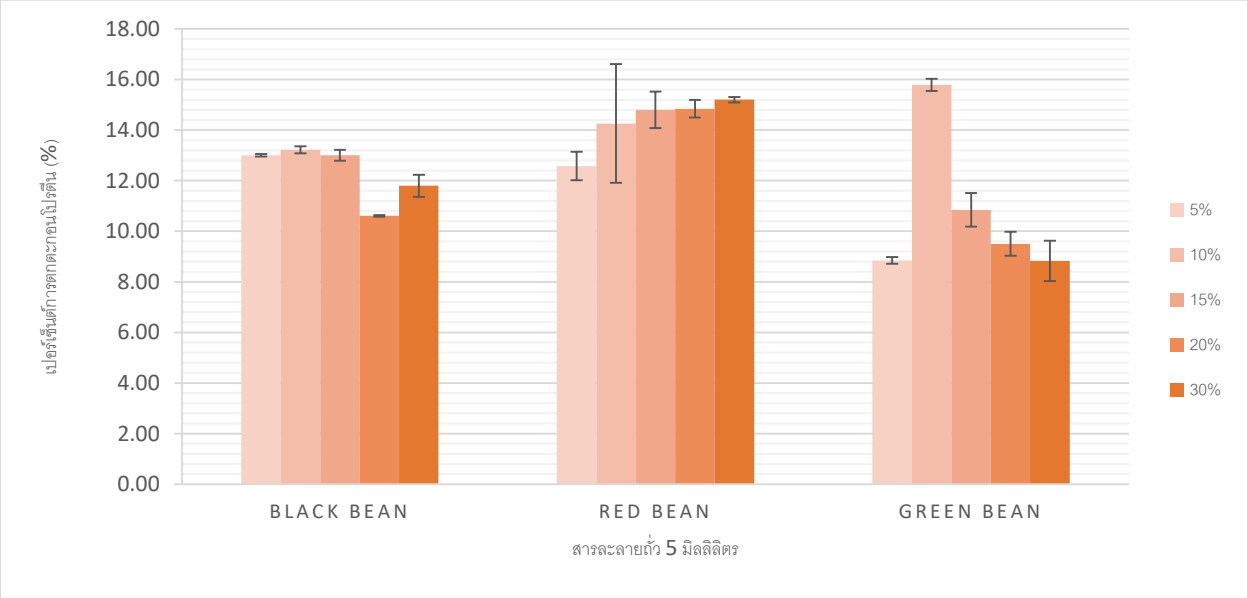


รูปที่ 9 แสดงการตกตะกอนของโปรตีนจากถั่วดำในเกลือ $CaSO_4$

รูปที่ 10 แสดงการตกตะกอนของโปรตีนจากถั่วเขียวในเกลือ $CaSO_4$



รูปที่ 11 แสดงแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการตกตะกอนโปรตีนในเกลือ $MgCl_2$



รูปที่ 12 แสดงแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการตกตะกอนโปรตีนในเกลือ $CaSO_4$

6. สรุปผลการศึกษา

การใช้ค่า pH ที่ 4.1 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนโปรตีนจากพืชตระกูลถั่ว ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการตกตะกอนโปรตีนของถั่วเขียว ถั่วดำ และถั่วแดง สูงที่สุดและแตกต่างกับสภาวะอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 71.49±0.11, 67.05±0.25 และ 63.76±0.51 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เกลือ $CaSO_4$ ที่ความเข้มข้น 10% ทำให้มีเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการตกตะกอนโปรตีนของถั่วเขียวและถั่วดำสูงที่สุดแตกต่างกับสภาวะอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 15.79±0.24 และ 13.22±0.14 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างการตกตะกอนโปรตีนจากถั่วแดง การใช้ $MgCl_2$ ที่ความเข้มข้น 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ความสามารถในการตกตะกอนโปรตีนของถั่วแดงสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างในการตกตะกอนโปรตีนจากถั่วเขียวและถั่วดำในทุกระดับความเข้มข้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Panyadee, P., Wangpakapattanawong, P., Inta, A., & Balslev, H. (2023). Very High Food Plant Diversity among Ethnic Groups in Northern Thailand. Diversity, 15(1), 120. https://doi.org/10.3390/d15010120

[2] Sahasakul, Y., Aursalung, A., Thangsiri, S., Wongchang, P., Sangkasa-ad, P., Wongpia, A., Polpanit, A., Inthachat, W., Temviriyanukul, P., & Suttisansanee, U. (2022). Nutritional Compositions, Phenolic Contents, and Antioxidant Potentials of Ten Original Lineage Beans in Thailand. Foods, 11(14), 2062. https://doi.org/10.3390/foods11142062

[3] Mangmeechai, A. (2014). Environmental externalities in relation to agricultural sector in Thailand with trade-linked analysis. Environment, Development and Sustainability, 16(5), 1031–1040. https://doi.org/10.1007/S10668-013-9509-2

[4] Kim, S. G., & Bae, Y. C. (2003). Salt-induced protein precipitation in aqueous solution: Single and binary protein systems. Macromolecular Research, 11(1), 53–61. https://doi.org/10.1007/BF03218278

[5] Li, J., Janssen, F. W., Verfaillie, D., Brijs, K., Delcour, J. A., Royen, G. V., & Wouters, A. G. B. (2024). Varying precipitation conditions allow directing the composition and physical properties of soy protein concentrates. Journal of Food Science. https://doi.org/10.1111/1750-3841.16907

[6] Shan, H., Guo, Y., Xu, X., McClements, D. J., Cao, C., & Yuan, B. (2023). Impact of pH on the Formation and Properties of Whey Protein Coronas around TiO2 Nanoparticles. Journal of Agricultural and Food Chemistry. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c00073

[7] Hadinoto, K., Jiang, L., Pu, S., & Tran, T.-T. (2024). Effects of Alkaline Extraction pH on Amino Acid Compositions, Protein Secondary Structures, Thermal Stability, and Functionalities of Brewer's Spent Grain Proteins. International Journal of Molecular Sciences, 25(12), 6369. https://doi.org/10.3390/ijms25126369

[8] Duan, C., & Wang, R. (2024). A Unified Description of Salt Effects on the Liquid–Liquid Phase Separation of Proteins. ACS Central Science. https://doi.org/10.1021/acscentsci.3c01372

[9] Ghazaan, I. (2022). Effect of salt ions on mixed gels of wheat gluten protein and potato isolate protein. Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie, 154, 112564. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112564

[10] Yamanaka, M., Inaka, K., Furubayashi, N., Matsushima, M., Takahashi, S., Tanaka, H., Sano, S., Sato, M., Kobayashi, T., & Tanaka, T. (2011). Optimization of salt concentration in PEG-based crystallization solutions. Journal of Synchrotron Radiation, 18(1), 84–87. https://doi.org/10.1107/S0909049510035995

[11] Shih, Y.-C., Prausnitz, J. M., & Blanch, H. W. (1992). Some characteristics of protein precipitation by salts. Biotechnology and Bioengineering, 40(10), 1155–1164. https://doi.org/10.1002/BIT.260401004

[12] Sirilert, T., Sri-inkum, M., & Silalai, N. (2023). Study on extraction methods and physicochemical properties of plant-based proteins in application of meat imitation products. Burapha Science Journal, 28(3), 1424–1444. https://shorturl.asia/CpHKA

[13] Joopawang, P., & Sompongse, W. (2021). Physicochemical and functional properties of silkworm pupae protein extract. Thai Journal of Science and Technology, 10(3), 365–377. https://shorturl.asia/qF2JA

[14] Marinova, D., & Bogueva, D.J.S.E. (2019). Planetary health and reduction in meat consumption. Sustainable Earth, 2(3), 1-12 https://shorturl.asia/4aJIE .

เกษตรกรรมที่ยั่งยืน และความมั่นคงทางอาหาร

Poster Presentation

การคาดการณ์พื้นที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจในอนาคต ภายใต้ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ณัฐพล เย็นสกุลสุข* และปริเวท วรรณโกวิท

ศูนย์วิศวกรรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ และนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ
* Corresponding author: nuttapon.ysk@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและคาดการณ์ความเปลี่ยนแปลงระดับความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ในสภาวะที่ได้รับผลกระทบจากสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย โดยการสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของพืชพันธุ์ ด้วยเทคนิคทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านภูมิอากาศกับพื้นที่ปลูกพืชในช่วงอดีตที่ผ่านมา ผลจากการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองพบว่าแบบจำลองป่าสุ่มให้ค่าทดสอบที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองอื่นๆ โดยมีค่า AUC อยู่ในช่วงร้อยละ 0.92 – 0.95 และ TSS มีค่าช่วงร้อยละ 0.78 – 0.85 โดยตัวแปรข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลอง ได้แก่ BIO2, BIO8, BIO10, BIO12, BIO14, BIO15, BIO17, BIO18 และ BIO19

ผลการศึกษาคาดการณ์ความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ปลูกพืชในอนาคต (ค.ศ. 2021-2040) พบว่า พื้นที่ที่มีความเหมาะสมปลูกพืชมากกว่าร้อยละ 50 ได้แก่ พื้นที่เพาะปลูกข้าว 240,970.52 ตร.กม., อ้อย 39,063.60 ตร.กม., มันสำปะหลัง 5,498.83 ตร.กม., และข้าวโพด 93,294.44 ตร.กม. โดยพื้นที่ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงเฉลี่ยร้อยละ -5.06, -7.85, -7.10 และ 1.01 ตามลำดับเมื่อเทียบกับผลคาดการณ์ในช่วง ค.ศ. 2021-2100 พื้นที่ที่มีความเหมาะสมสูงพบมากในภาคเหนือ กลาง ตะวันตก และตะวันออกเฉียงเหนือฝั่งตะวันตก ในขณะที่พื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่ำพบในภาคใต้ ตะวันออก และตะวันออกเฉียงเหนือฝั่งตะวันออก ซึ่งได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ โดยเฉพาะพื้นที่ภาคใต้และตะวันออกตอนล่าง ที่มีปริมาณน้ำฝนสูงเกินความต้องการ (1,500-4,500 มม.) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและน้ำฝนมีผลโดยตรงต่อการเกษตร ซึ่งอาจแตกต่างกันตามความอ่อนไหวของพืชแต่ละชนิดต่อสภาพอากาศ

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ / แบบจำลองสภาพภูมิอากาศ / แบบจำลองการกระจายพันธุ์ / พืชเศรษฐกิจ

Forecasting Suitable Areas for Future Economic Crop Cultivation Under Climate Change Impacts

Nuttapon Yensakunsuk* and Pariwate Varnakovida

The KMUTT Geospatial Engineering and Innovation Center, Faculty of Science,
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand
* Corresponding author: nuttapon.ysk@gmail.com

Abstract

This article presents a study that aims to investigate and predict changes in the suitability of agricultural land for key economic crops, including rice, sugarcane, cassava, and maize, in Thailand under the impact of climate change. A species distribution model was developed using statistical techniques to examine the relationship between climate variables and crop cultivation areas in the past. The performance evaluation of the model revealed that the Random Forest model provided the highest efficiency compared to other models, with an AUC value ranging from 0.92 to 0.95 and a TSS value between 0.78 and 0.85. The climate variables identified as most suitable for the model included BIO2, BIO8, BIO10, BIO12, BIO14, BIO15, BIO17, BIO18, and BIO19.

The future prediction (2021-2040) of crop cultivation suitability indicated that areas with more than 50% suitability include rice (240,970.52 km²), sugarcane (39,063.60 km²), cassava (5,498.83 km²), and maize (93,294.44 km²). However, all areas are expected to decrease on average by -5.06%, -7.85%, -7.10%, and 1.01% respectively when compared to predictions for the period 2021-2100. Areas of high suitability were mostly found in the northern, central, western, and western northeastern regions, while areas with low suitability were located in the southern, eastern, and eastern northeastern regions, mainly due to variations in rainfall and temperature. The southern and southeastern regions, which receive excess rainfall (1,500-4,500 mm), are particularly affected. Temperature and rainfall changes directly impact agriculture, with effects varying depending on the sensitivity of each crop to climate conditions.

Keywords: Climate Change / Climate Model / Species Distribution Model / Economic Crops

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ตามนิยามของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) คือการเปลี่ยนแปลงในสถานะของสภาพภูมิอากาศที่สามารถระบุได้จากการทดสอบทางสถิติ เช่น การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยหรือความแปรปรวนของคุณสมบัติภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถเกิดได้ทั้งจากกระบวนการทางธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ [1] หากไม่มีการดำเนินการแก้ไขอย่างทันท่วงที อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกอาจเพิ่มขึ้นเกิน 2 องศาเซลเซียส ภายในปี 2050 ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อเศรษฐกิจและสังคม โดยเฉพาะภาคเกษตรกรรม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยเชื่อมโยงกับหลายปัจจัยระดับโลก เช่น การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล ความแปรปรวนของระบบมหาสมุทร และปรากฏการณ์เอลนีโญ ซึ่งมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิในประเทศไทย การทำความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับโลกและภูมิภาคเป็นสิ่งสำคัญในการวางแผนรับมือปัญหาที่เกิดขึ้น ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีภาคเกษตรกรรมเป็นส่วนสำคัญของเศรษฐกิจ โดยภาคเกษตรกรรมคิดเป็นร้อยละ 8.4 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ [2] การเกษตรมีความอ่อนไหวสูงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะปัจจัยสภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้น และการระเหย ซึ่งส่งผลต่อการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจที่พึ่งพาสภาพอากาศอย่างมาก (IPCC, 2014) พืชเศรษฐกิจหลักของไทย ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ซึ่งเป็นแหล่งรายได้สำคัญและช่วยเสริมความมั่นคงทางอาหารทั้งในประเทศและต่างประเทศ [3]

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีผลกระทบโดยตรงต่อการมีการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ ซึ่งอาจนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในระบบเกษตรกรรมและมีผลกระทบต่อเสถียรภาพทางเศรษฐกิจของประเทศในระยะยาว การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจหลัก 4 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ภายใต้สถานการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองการกระจายพันธุ์พืช (Species Distribution Model) ในการศึกษาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างตัวแปรภูมิอากาศกับพื้นที่เพาะปลูกในอดีต และคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เกษตรกรรมที่อาจได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงความน่าจะเป็นของพื้นที่ที่เหมาะสมของพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจหลัก 4 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ในประเทศไทย โดยใช้ตัวแปร Bioclimatic เป็นปัจจัยในการประเมินความเหมาะสมของพื้นที่ปลูกพืชในอนาคต

2. เพื่อระบุพื้นที่ที่มีศักยภาพในการปลูกพืชเศรษฐกิจทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ในสภาวะที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. ขอบเขตเชิงพื้นที่

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมทั้งประเทศไทย โดยศึกษาพื้นที่เกษตรกรรมที่ใช้ในการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจหลัก 4 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด การเลือกพื้นที่เกษตรกรรมจะอ้างอิงจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากกรมพัฒนาที่ดิน เพื่อระบุพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกพืช

2. ขอบเขตเชิงเวลา

งานวิจัยนี้กำหนดขอบเขตเชิงเวลาออกเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ 1) การศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่เกษตรกรรม 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ค.ศ. 2000-2001, ค.ศ. 2010-2012 และ ค.ศ. 2018-2019 และ 2) การวิเคราะห์

พื้นที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชในอนาคตโดยใช้ข้อมูลจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) ภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ใช้แบ่งออกเป็น 4 ช่วงเวลา ได้แก่ ค.ศ. 2021-2040, ค.ศ. 2041-2060, ค.ศ. 2061-2080 และ ค.ศ. 2081-2100 โดยทั้ง 4 ช่วงเวลาที่เลือกจาก CMIP6 ถูกกำหนดตามขอบเขตการจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 เพื่อให้ครอบคลุมช่วงเวลาที่สำคัญสำหรับการประเมินผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว โดยเฉพาะผลกระทบต่อพื้นที่เกษตรกรรม

3. ขอบเขตการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ดำเนินการวิเคราะห์ใน 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การรวบรวมและเตรียมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศ 2) การสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของพืชพันธุ์และการคาดการณ์พื้นที่เพาะปลูกในอนาคตโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ ได้แก่ Generalized Additive Model (GAM), Generalized Linear Model (GLM), Maximum Entropy (MaxEnt), Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), และ Classification And Regression Trees (CART) และ 3) การประเมินความถูกต้องของแบบจำลองโดย Area Under the Curve (AUC) และ True Skill Statistic (TSS) และแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบแผนที่

4. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ดำเนินการโดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจในอดีตและคาดการณ์ความน่าจะเป็นของพื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูกในอนาคต ภายใต้ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เกษตรกรรม และประเมินความเหมาะสมของพื้นที่เพาะปลูกผ่านแบบจำลองการกระจายตัวของพืชพันธุ์ ซึ่งอาศัยตัวแปร Bioclimatic จากชุดข้อมูลภูมิอากาศ CMIP6 ภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับความเหมาะสมของพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจในอนาคต

4.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษามีพิกัด ละติจูดที่ 5° 36' 45.86" ถึง 20° 27' 53.73" เหนือ และลองจิจูดที่ 97° 20' 37.32" ถึง 105° 38' 13.29" ตะวันออก ตั้งอยู่บริเวณพื้นที่ประเทศไทย มีจังหวัดทั้งหมด 77 จังหวัด มีเนื้อที่ประมาณ 517,633 ตารางกิโลเมตร ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการขอบเขตตัดพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่อุทยานแห่งชาติ และพื้นที่ชลประทานออกไป เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่อุทยานแห่งชาติเป็นพื้นที่ควบคุมเฉพาะ ไม่สามารถทำการเกษตรใด ๆ โดยศึกษาพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ 4 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด โดยพื้นที่ปลูกข้าว มีพื้นที่ประมาณ 108,524.29 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ปลูกอ้อย มีพื้นที่ประมาณ 31,863.87 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง มีพื้นที่ประมาณ 23,595.66 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ปลูกข้าวโพด มีพื้นที่ประมาณ 13,551.50 ตารางกิโลเมตร อ้างอิงจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ปี ค.ศ. 2018-2019

4.2 ข้อมูลที่ใช้การศึกษา

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากสามช่วงเวลา ได้แก่ ค.ศ. 2000–2001, ค.ศ. 2010–2012 และ ค.ศ. 2018–2019 โดยข้อมูลดังกล่าวมีความละเอียดเชิงพื้นที่ระดับที่ 3 ซึ่งได้รับจากกรมพัฒนาที่ดิน นอกจากนี้ ยังใช้ข้อมูลปัจจัยภูมิอากาศด้านชีววิทยา (Bioclimatic variables) จำนวน 19 ตัวแปร ซึ่งถูกจัดแบ่งออกเป็นสองชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูลภูมิอากาศเฉลี่ยในช่วง 30 ปี (ค.ศ. 1970–2000) สำหรับการวิเคราะห์แบบจำลอง และชุดข้อมูลจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศในอนาคตภายใต้โครงการ Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) ซึ่งครอบคลุมช่วงเวลา

ตั้งแต่ ค.ศ. 2021–2040, ค.ศ. 2041–2060, ค.ศ. 2061–2080 และ ค.ศ. 2081–2100 โดยใช้ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งคำนึงถึงมิติทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งประกอบด้วยสองสถานการณ์หลัก ได้แก่ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยใช้แบบจำลอง MRI-ESM2-0 เป็นหนึ่งในแบบจำลองภูมิอากาศที่ใช้ในการจำลองแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับโลก ซึ่งภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 จาก CMIP6 จะช่วยในการประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศภายใต้เงื่อนไขการพัฒนาเศรษฐกิจที่แตกต่างกัน

โดยสถานการณ์ SSP2-4.5 สะท้อนถึงสถานการณ์การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมที่สมดุล โดยมีการควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับปานกลาง ซึ่งตั้งเป้าหมายให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีค่าเท่ากับ 4.5 W/m² ภายในปี 2100 โดยมีกระบวนการพัฒนาเศรษฐกิจรวมกับมาตรการด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อให้เกิดการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับหนึ่ง ซึ่งเป็นการจำลองที่ไม่รุนแรงมากนัก แต่ยังคำนึงถึงความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม ในทางตรงกันข้าม SSP5-8.5 เป็นสถานการณ์ที่แสดงถึงการขยายตัวของเศรษฐกิจในระดับสูง โดยไม่มีการควบคุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเพียงพอ ส่งผลให้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์ที่รุนแรงที่สุด เนื่องจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะสูงขึ้นถึง 8.5 W/m² ภายในปี 2100 ทำให้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีความรุนแรง และอาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสังคมในระยะยาว

การเลือกใช้สถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 เป็นการศึกษาที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน โดย SSP2-4.5 ถูกเลือกเพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับปานกลางที่สมดุลและไม่รุนแรง ส่วน SSP5-8.5 ถูกเลือกเพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงที่สุดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงสุด การเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลกระทบจากสองสถานการณ์นี้จะช่วยให้สามารถประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชในอนาคต โดยพิจารณาภายใต้เงื่อนไขภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการวางแผนการเกษตรที่สามารถปรับตัวได้ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว

ข้อมูลภูมิอากาศที่ใช้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 0.04177 องศา หรือประมาณ 4,625 เมตรต่อหนึ่งพิกเซล โดยอ้างอิงระบบพิกัดภูมิศาสตร์ WGS 1984 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลสำหรับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ในการศึกษาด้านภูมิศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

4.3 กระบวนการก่อนการประมวลผล

ทำการเตรียมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น เพื่อใช้สำหรับนำไปวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองในขั้นตอนต่อไป โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และข้อมูลสภาพภูมิอากาศของในอดีตและข้อมูลสภาพภูมิอากาศในอนาคต แสดงรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

4.3.1 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การจัดเตรียมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่อยู่จัดเก็บอยู่รูปแบบฐานข้อมูล GIS เนื่องจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้รับมาจากกรมพัฒนาที่ดินถูกแบ่งออกเป็นหลายไฟล์แยกตามภูมิภาค ดังนั้นจึงต้องทำการรวมข้อมูลทั้งหมด ให้อยู่ใน 1 ไฟล์ และทำการคัดเลือกข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเฉพาะพื้นที่เพาะปลูกพืชข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพดออกมา คัดกรองข้อมูลจากฐานข้อมูล GIS โดยอ้างอิงค่า LU_CODE ในตารางข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute Table)

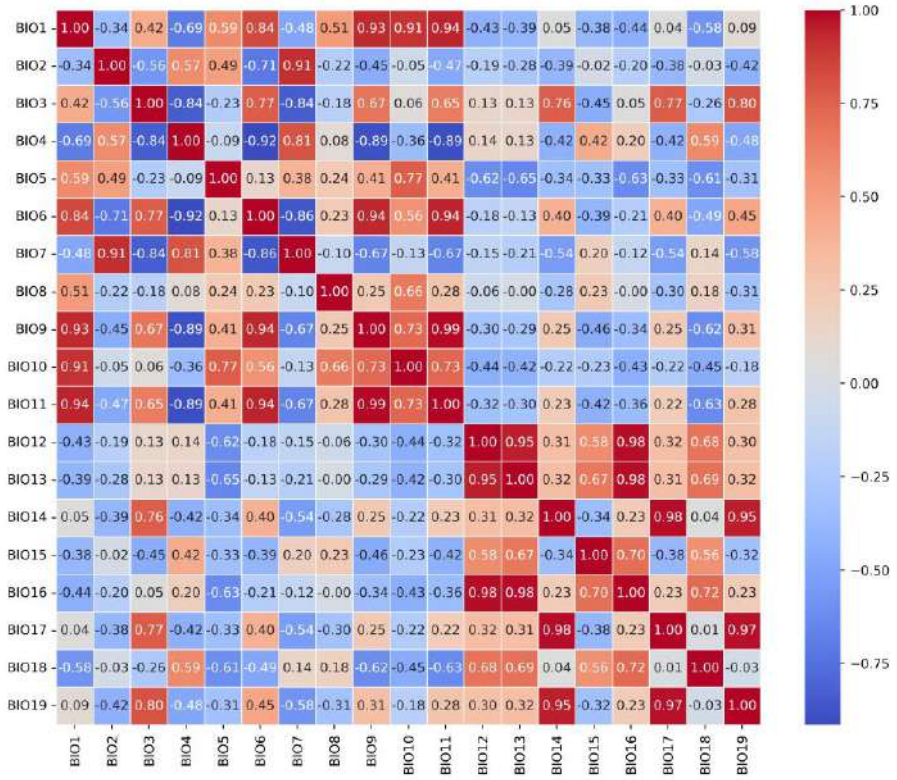
4.3.2 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

เตรียมข้อมูล Bioclimatic 19 ตัวแปรโดยดึงค่าจากพื้นที่เพาะปลูกพืช โดยอ้างอิงตำแหน่งของพื้นที่เพาะปลูกพืชจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลแรสเตอร์ถูกแปลงเป็นโครงสร้างตัวเลข (Array) เพื่อการวิเคราะห์ จากนั้นคัดเลือกตัวแปร Bioclimatic ที่เหมาะสมโดยลดปัญหา multi-collinearity โดยพิจารณาจาก variance inflation factor (VIF) < 10 และ

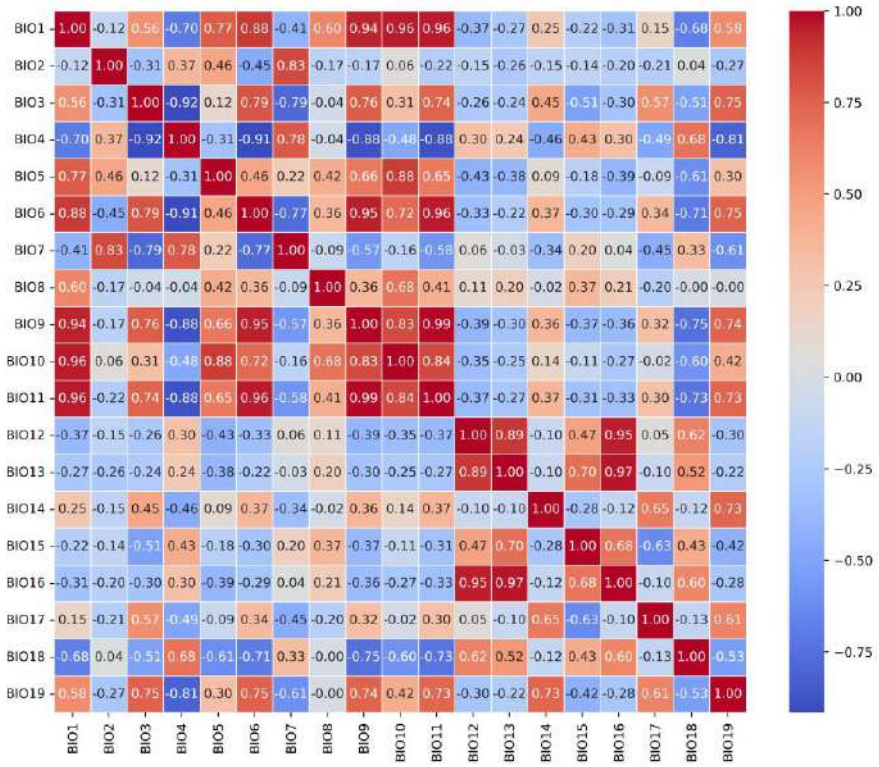
Pearson Correlation Coefficient < 0.7 [4-6] ตัวแปร Bioclimatic ที่คัดเลือกถูกนำไปใช้สร้างแบบจำลองและคาดการณ์พื้นที่เพาะปลูกที่เหมาะสมในอนาคต

ตารางที่ 1 ตัวแปร Bioclimatic ที่ผ่านการคัดเลือกสำหรับการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากค่า VIF

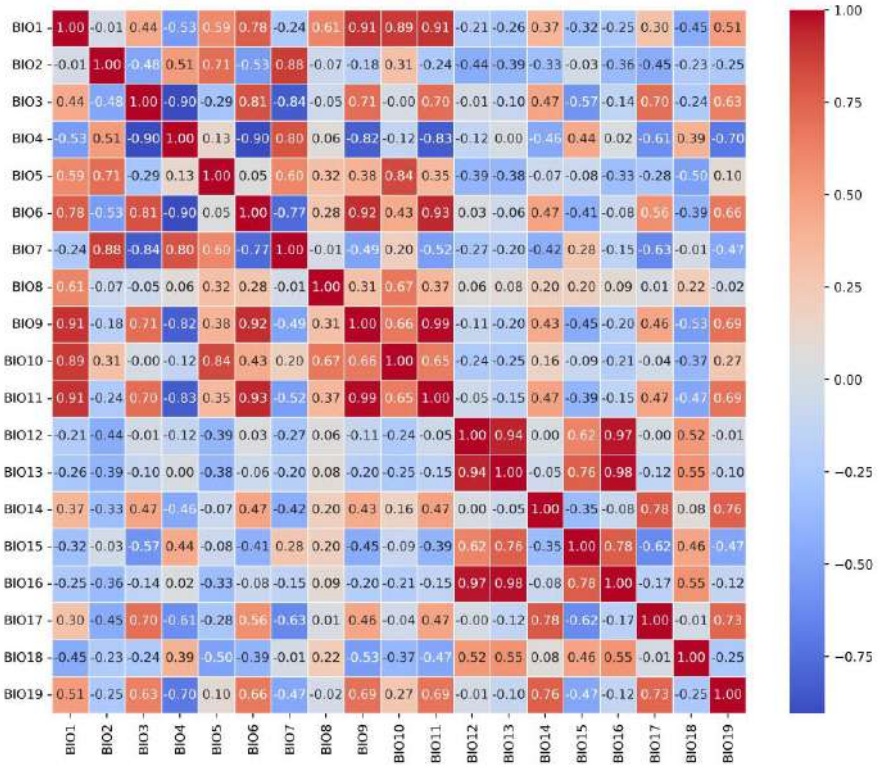
พืช	ตัวแปร Bioclimatic	VIF
ข้าว	BIO2 (Mean Diurnal Range)	1.53
	BIO8 (Mean Temperature of Wettest Quarter)	4.71
	BIO10 (Mean Temperature of Warmest Quarter)	4.78
	BIO12 (Annual Precipitation)	3.74
	BIO14 (Precipitation of Driest Month)	2.51
	BIO15 (Precipitation Seasonality)	3.12
	BIO18 (Precipitation of Warmest Quarter)	3.93
อ้อย	BIO2 (Mean Diurnal Range)	1.36
	BIO8 (Mean Temperature of Wettest Quarter)	1.27
	BIO12 (Annual Precipitation)	8.95
	BIO14 (Precipitation of Driest Month)	3.72
	BIO15 (Precipitation Seasonality)	8.71
	BIO17 (Precipitation of Driest Quarter)	5.78
	BIO18 (Precipitation of Warmest Quarter)	2.70
	BIO19 (Precipitation of Coldest Quarter)	4.93
มันสำปะหลัง	BIO2 (Mean Diurnal Range)	1.52
	BIO8 (Mean Temperature of Wettest Quarter)	1.21
	BIO12 (Annual Precipitation)	3.08
	BIO14 (Precipitation of Driest Month)	3.45
	BIO15 (Precipitation Seasonality)	2.87
	BIO18 (Precipitation of Warmest Quarter)	1.97
ข้าวโพด	BIO2 (Mean Diurnal Range)	1.32
	BIO8 (Mean Temperature of Wettest Quarter)	1.06
	BIO12 (Annual Precipitation)	2.86
	BIO14 (Precipitation of Driest Month)	4.42
	BIO15 (Precipitation Seasonality)	3.65
	BIO18 (Precipitation of Warmest Quarter)	1.66
	BIO19 (Precipitation of Coldest Quarter)	1.75



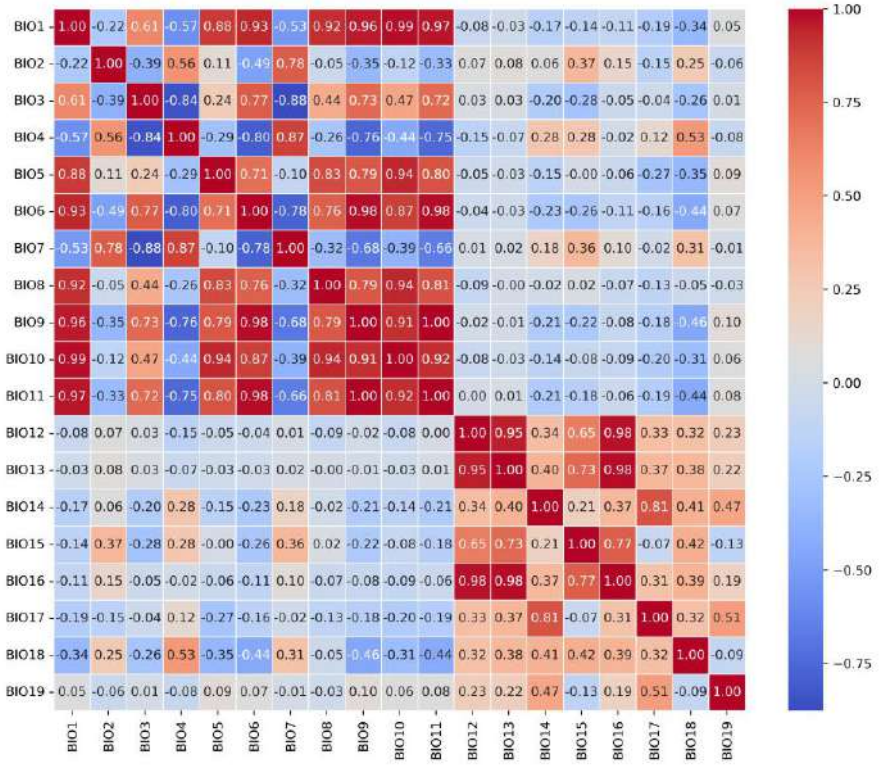
รูปที่ 1 Pearson Correlation Matrix ตัวแปร Bioclimatic ของข้าว



รูปที่ 2 Pearson Correlation Matrix ตัวแปร Bioclimatic ของอ้อย



รูปที่ 3 Pearson Correlation Matrix ตัวแปร Bioclimatic ของสำปะหลัง



รูปที่ 4 Pearson Correlation Matrix ตัวแปร Bioclimatic ของข้าวโพด

4.4 การประมวลผลข้อมูล

4.4.1 การวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน

ในขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่เพาะปลูกพืช 4 ชนิดใน 3 ช่วงเวลา โดยใช้วิธีการซ้อนทับ (Overlay Analysis) เพื่อศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทในแต่ละช่วงเวลา

4.4.2 การสร้างแบบจำลองและการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองการกระจายตัวของพืชพันธุ์เพื่อคาดการณ์ในอนาคตโดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภูมิอากาศและพื้นที่เพาะปลูก ใช้ข้อมูลภูมิอากาศในอดีตในการสร้างแบบจำลอง และข้อมูลในอนาคตจากแบบจำลอง MRI-ESM2-0 ภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 เพื่อคาดการณ์พื้นที่เหมาะสมในการเพาะปลูกพืชในอนาคต

ใช้แบบจำลองทางสถิติที่นิยม ได้แก่ Generalized Additive Model (GAM), Generalized Linear Model (GLM), Maximum Entropy (MaxEnt), Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), และ Classification And Regression Trees (CART) [7,8,6] โดยใช้โปรแกรม R และฟังก์ชันจากแพ็กเกจ biomod2 สำหรับการสร้างแบบจำลอง โดยชุดข้อมูลแบ่งเป็น 2 ชุด ได้แก่ training set (70%) สำหรับฝึกสอน และ test set (30%) สำหรับทดสอบ โดยใช้วิธี K-Fold Cross Validation (K=10) เพื่อลดความเสี่ยงของการเลือกข้อมูลชุดทดสอบไม่เหมาะสม [9] การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองใช้ AUC และ TSS เพื่อเลือกแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการคาดการณ์การกระจายตัวของพืชพันธุ์ [10,11]

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษา

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

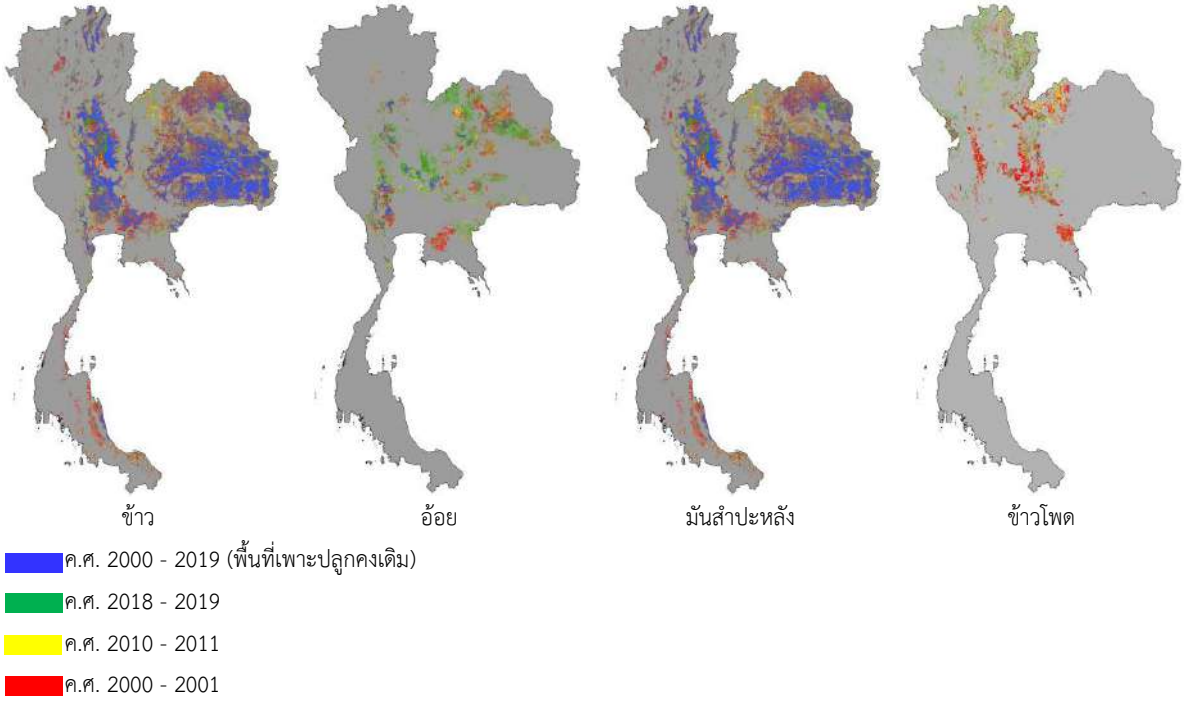
ผลการศึกษาความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เพาะปลูกพืชทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ในอดีตระหว่างปี ค.ศ. 2000–2001, ค.ศ. 2010–2012, และ ค.ศ. 2018–2019

พบว่า พื้นที่ปลูกข้าวมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในปี ค.ศ. 2000–2001 มีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 140,224.23 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 27.09 ของพื้นที่ทั้งหมด ในปี ค.ศ. 2010–2012 มีพื้นที่ปลูกข้าวลดลงเหลือประมาณ 119,104.58 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 23.01 และในปี ค.ศ. 2018–2019 ลดลงเหลือ 108,524.29 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 20.97 เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระหว่างปี ค.ศ. 2000–2001 ถึง ค.ศ. 2018–2019 พบว่ามีแนวโน้มลดลงร้อยละ 22.61

สำหรับพื้นที่ปลูกอ้อย พบว่าในปี ค.ศ. 2000–2001 มีพื้นที่ปลูกประมาณ 23,323.55 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 4.51 ของพื้นที่ทั้งหมด ในขณะที่ในปี ค.ศ. 2010–2012 มีพื้นที่ปลูกอ้อยลดลงเล็กน้อยเป็น 22,993.66 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 4.44 และในปี ค.ศ. 2018–2019 พื้นที่ปลูกอ้อยเพิ่มขึ้นเป็น 31,863.87 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 6.16 เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระหว่างปี ค.ศ. 2000–2001 ถึง ค.ศ. 2018–2019 พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 36.62

ในส่วนของพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง พบว่าในปี ค.ศ. 2000–2001 มีพื้นที่ปลูก 17,406.41 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 3.36 ของพื้นที่ทั้งหมด และในปี ค.ศ. 2010–2012 เพิ่มขึ้นเป็น 20,097.17 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 3.88 และในปี ค.ศ. 2018–2019 เพิ่มขึ้นเป็น 23,595.66 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 4.56 ซึ่งแสดงถึงการเพิ่มขึ้นร้อยละ 35.56 ของพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างปี ค.ศ. 2000–2001 ถึง ค.ศ. 2018–2019

และพื้นที่ปลูกข้าวโพดในปี ค.ศ. 2000–2001 มีพื้นที่ปลูกประมาณ 22,751.62 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 4.40 ของพื้นที่ทั้งหมด แต่ในปี ค.ศ. 2010–2012 ลดลงเป็น 16,551.71 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 3.20 และในปี ค.ศ. 2018–2019 ลดลงเหลือ 13,551.50 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 2.62 ซึ่งแสดงการลดลงร้อยละ 40.44 ของพื้นที่ปลูกข้าวโพด เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่างปี ค.ศ. 2000–2001 ถึง ค.ศ. 2018–2019



รูปที่ 5 แผนที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เพาะปลูกพืช 4 ชนิด

5.1.2 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ดำเนินการสร้างแบบจำลองการกระจายตัวพืชพันธุ์ เพื่อคาดการณ์พื้นที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชในอนาคต โดยการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภูมิอากาศในอดีตกับพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ 4 ชนิด ผลจากการใช้แบบจำลองต่างๆ จำนวน 6 แบบ ได้แก่ Generalized Additive Model (GAM), Generalized Linear Model (GLM), Maximum Entropy (MaxEnt), Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM) และ Classification And Regression Trees (CART) การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ AUC และ TSS ค่าที่เข้าใกล้ 1 แสดงถึงแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูง ในขณะที่ค่าที่เข้าใกล้ 0 แสดงถึงแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพต่ำ ผลการประเมินประสิทธิภาพจากการทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทำนายพื้นที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชในอนาคตที่แตกต่างกันไปตามแต่ละแบบจำลอง

ตารางที่ 2 ค่า AUC จากการฝึกอบรมของแบบจำลอง (สำหรับ Training)

แบบจำลอง	ข้าว	อ้อย	มันสำปะหลัง	ข้าวโพด
Generalized Additive Mode (GAM)	0.92	0.93	0.91	0.95
Generalized Linear Model (GLM)	0.91	0.88	0.83	0.85
Maximum Entropy (Max Ent)	0.92	0.92	0.90	0.94
Random Forest (RF)	0.99	0.99	0.99	0.99
Support Vector Machine (SVM)	0.94	0.94	0.93	0.95
Classification And Regression Trees (CART)	0.89	0.89	0.89	0.89

ตารางที่ 3 ค่า AUC จากการฝึกอบรมของแบบจำลอง (สำหรับ Test)

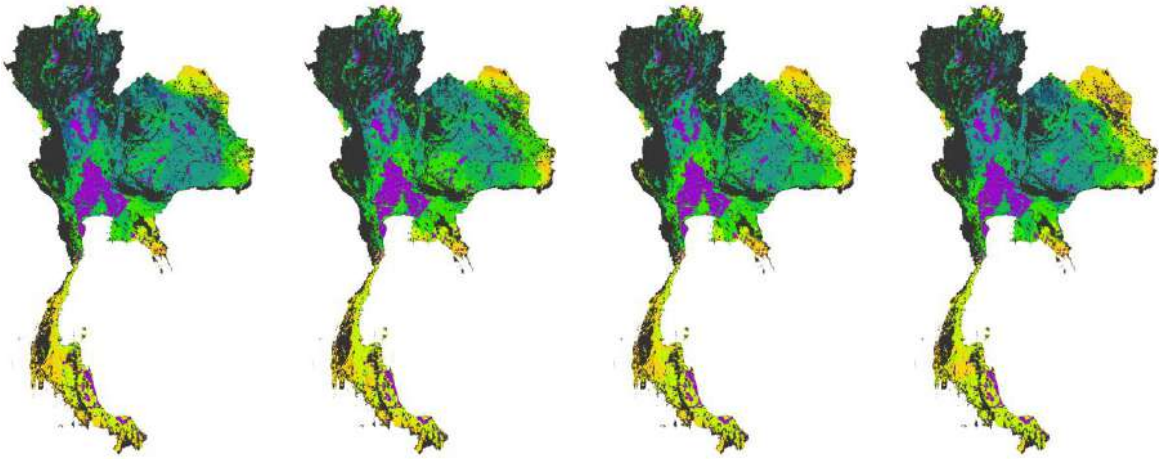
แบบจำลอง	ข้าว	อ้อย	มันสำปะหลัง	ข้าวโพด
Generalized Additive Mode (GAM)	0.91	0.92	0.90	0.92
Generalized Linear Model (GLM)	0.90	0.88	0.83	0.84
Maximum Entropy (Max Ent)	0.91	0.91	0.89	0.92
Random Forest (RF)	0.93	0.93	0.92	0.95
Support Vector Machine (SVM)	0.92	0.92	0.92	0.91
Classification And Regression Trees (CART)	0.87	0.88	0.87	0.84

ตารางที่ 4 ค่าทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองโดยวิธี True Skill Statistic (TSS)

แบบจำลอง	ข้าว	อ้อย	มันสำปะหลัง	ข้าวโพด
Generalized Additive Mode (GAM)	0.75	0.76	0.70	0.78
Generalized Linear Model (GLM)	0.74	0.69	0.62	0.64
Maximum Entropy (Max Ent)	0.75	0.75	0.70	0.79
Random Forest (RF)	0.78	0.85	0.79	0.82
Support Vector Machine (SVM)	0.76	0.79	0.74	0.78
Classification And Regression Trees (CART)	0.70	0.71	0.67	0.65

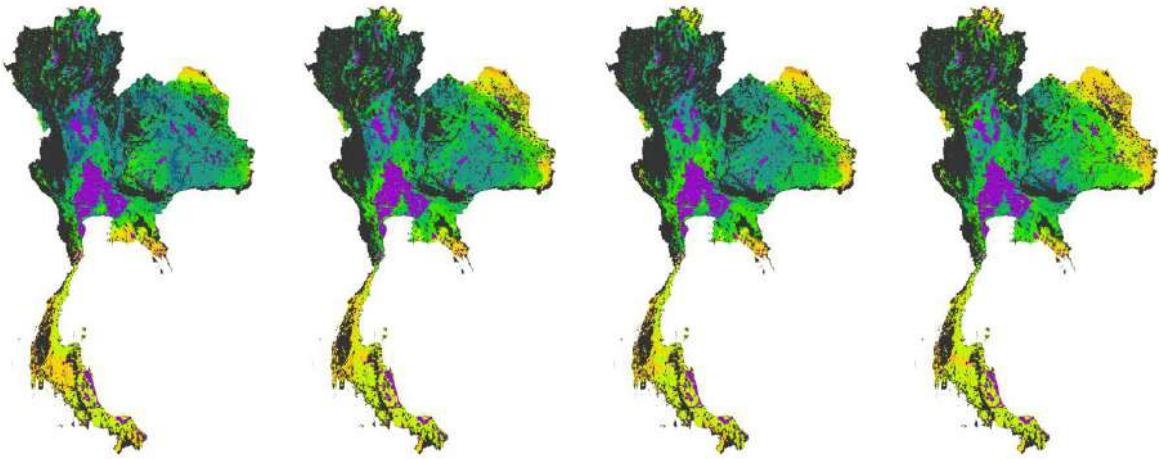
5.1.3 ผลการคาดการณ์ระดับความเหมาะสมของพื้นที่เพาะปลูกพืชในอนาคต

ผลการศึกษาการคาดการณ์พื้นที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืชทั้ง 4 ชนิดในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในสถานการณ์ SSP2-4.5 และ SSP5-8.5 โดยใช้แบบจำลอง Random Forest แบ่งช่วงเวลาการศึกษาเป็น 4 ช่วงระยะเวลา 20 ปี ได้แก่ ปี ค.ศ. 2021-2040, ค.ศ. 2041-2060, ค.ศ. 2061-2080, และ ค.ศ. 2081-2100 และทำการตัดพื้นที่ป่าไม้ พื้นที่อุทยานแห่งชาติ รวมถึงพื้นที่เขตชลประทานออกจากการวิเคราะห์ เนื่องจากพื้นที่เหล่านี้ไม่สามารถใช้ในการเกษตรได้ ซึ่งผลการศึกษาถูกนำเสนอในรูปแบบเชิงพื้นที่ โดยค่าความเหมาะสมที่ใกล้เคียง 1 แสดงถึงพื้นที่ที่มีความเหมาะสมสูงสำหรับการเพาะปลูก ขณะที่ค่าที่ใกล้เคียง 0 แสดงถึงความเหมาะสมที่ต่ำ



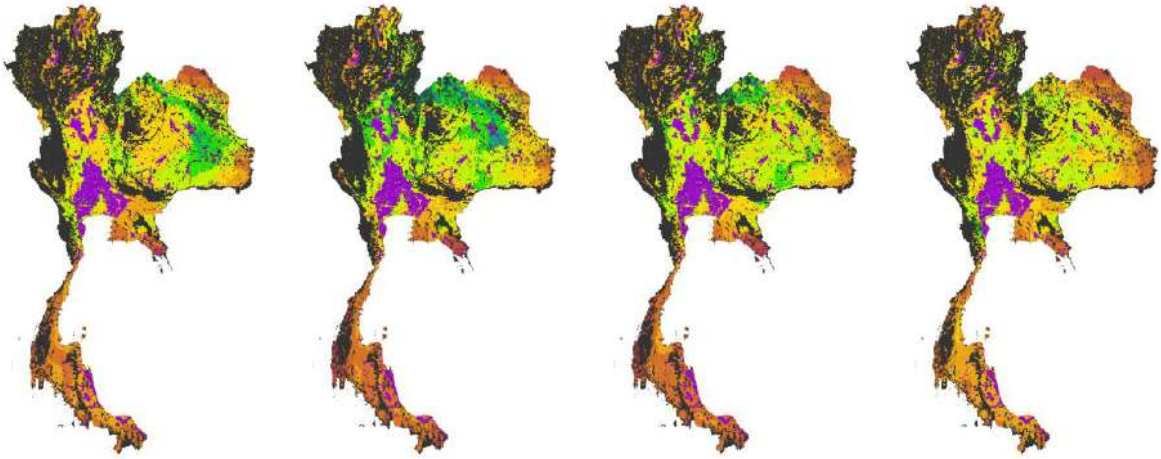
ค.ศ. 2021 – 2040 ค.ศ. 2041 – 2060 ค.ศ. 2061 – 2080 ค.ศ. 2081 – 2100

รูปที่ 6 แผนที่การคาดการณ์พื้นที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกข้าวภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5



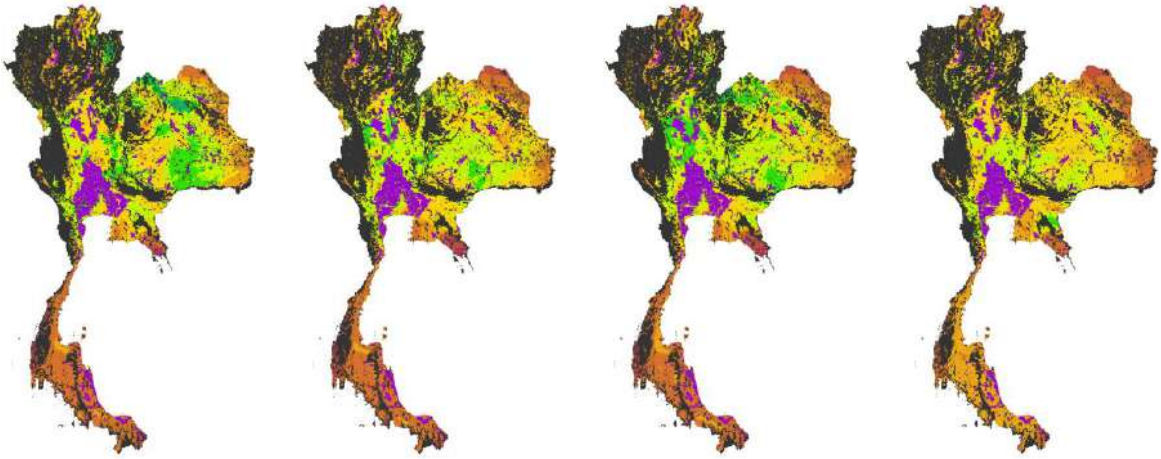
ค.ศ. 2021 – 2040 ค.ศ. 2041 – 2060 ค.ศ. 2061 – 2080 ค.ศ. 2081 – 2100

รูปที่ 7 แผนที่การคาดการณ์พื้นที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกข้าวภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5



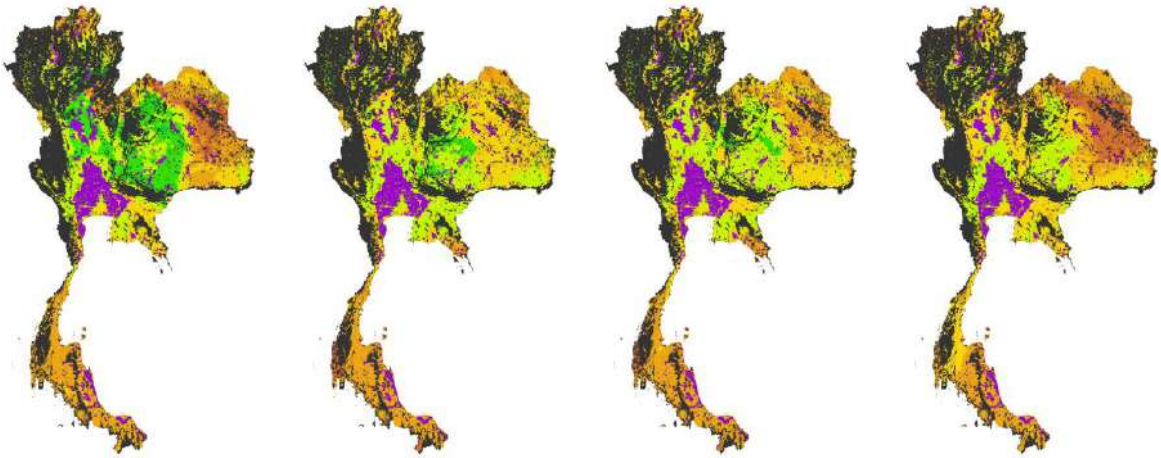
ค.ศ. 2021 – 2040 ค.ศ. 2041 – 2060 ค.ศ. 2061 – 2080 ค.ศ. 2081 – 2100

รูปที่ 8 แผนที่การคาดการณ์พื้นที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกอ้อยภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5



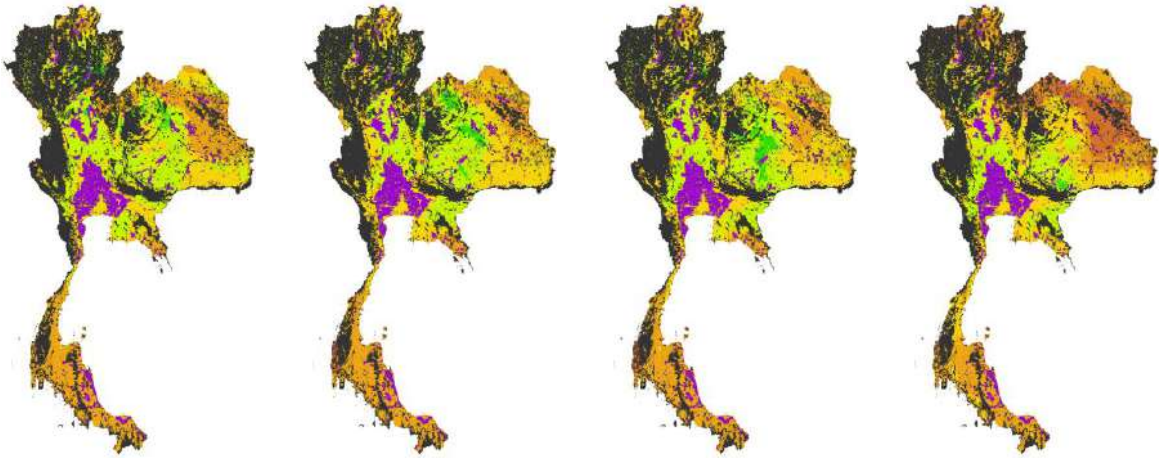
ค.ศ. 2021 – 2040 ค.ศ. 2041 – 2060 ค.ศ. 2061 – 2080 ค.ศ. 2081 – 2100

รูปที่ 9 แผนที่การคาดการณ์พื้นที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกอ้อยภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5



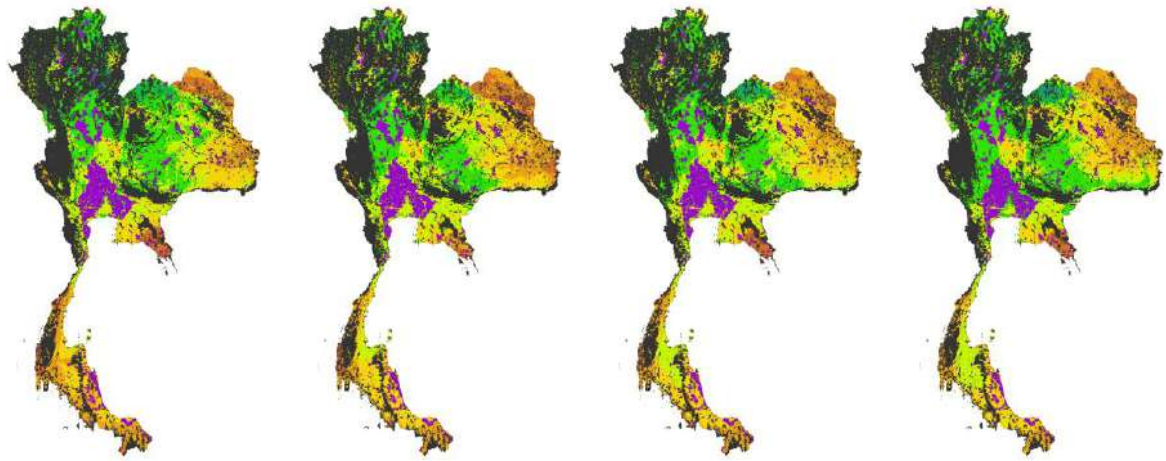
ค.ศ. 2021 – 2040 ค.ศ. 2041 – 2060 ค.ศ. 2061 – 2080 ค.ศ. 2081 – 2100

รูปที่ 10 แผนที่การคาดการณ์พื้นที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกมันสำปะหลังภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5



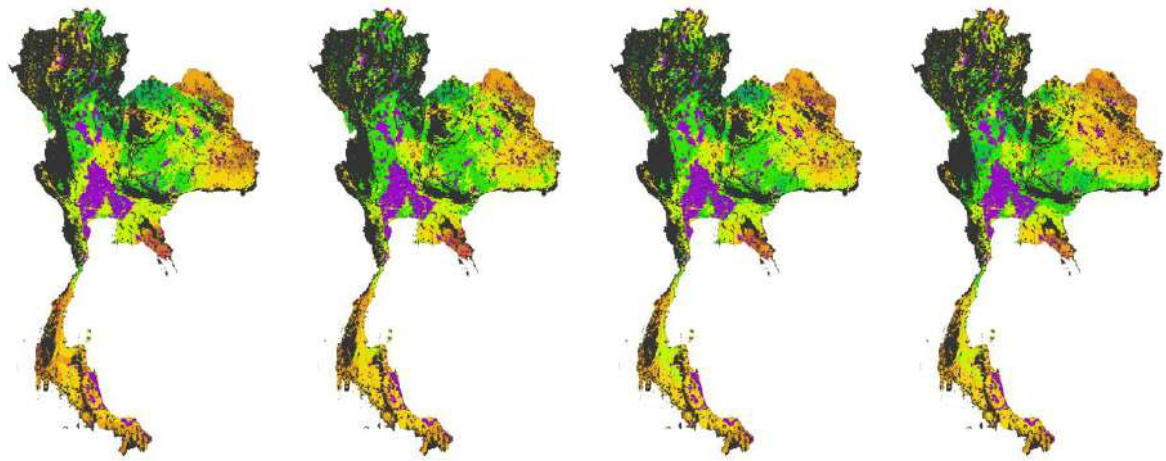
ค.ศ. 2021 – 2040 ค.ศ. 2041 – 2060 ค.ศ. 2061 – 2080 ค.ศ. 2081 – 2100

รูปที่ 11 แผนที่การคาดการณ์พื้นที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกมันสำปะหลังภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5



ค.ศ. 2021 – 2040 ค.ศ. 2041 – 2060 ค.ศ. 2061 – 2080 ค.ศ. 2081 – 2100

รูปที่ 12 แผนที่การคาดการณ์พื้นที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกข้าวโพดภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5



ค.ศ. 2021 – 2040 ค.ศ. 2041 – 2060 ค.ศ. 2061 – 2080 ค.ศ. 2081 – 2100

รูปที่ 13 แผนที่การคาดการณ์พื้นที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกข้าวโพดภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5

- ขอบเขตพื้นที่ป่าไม้และอุทยานแห่งชาติ
- ขอบเขตโครงการชลประทาน
- 0.9 – 1 (ระดับความเหมาะสมสูงสุด)
- 0.8 – 0.9
- 0.7 – 0.8
- 0.6 – 0.7
- 0.5 – 0.6
- 0.4 – 0.5
- 0.3 – 0.4
- 0.2 – 0.3
- 0.1 – 0.2
- 0 – 0.1 (ระดับความเหมาะสมต่ำสุด)

5.2 อภิปรายผล

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นถึงความสามารถของการบูรณาการเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศร่วมกับข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลก (CMIP6) ในการศึกษาวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต เพื่อคาดการณ์สถานการณ์ด้านภูมิอากาศทั้งระยะสั้นและระยะยาว การศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อคาดการณ์พื้นที่ที่มีศักยภาพในการปลูกพืชเศรษฐกิจ

4 ชนิด ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด ภายใต้ภาวะภัยแล้งและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยอาศัยเทคนิคทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภูมิอากาศและพื้นที่เพาะปลูกในอดีต

ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา (ค.ศ. 2000–2001, ค.ศ. 2010–2012, และ ค.ศ. 2018–2019) พบว่าพื้นที่เพาะปลูกข้าวและข้าวโพดมีแนวโน้มลดลง โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงร้อยละ -22.61 และ -40.44 ตามลำดับ พื้นที่ที่ยังคงปลูกข้าวอย่างต่อเนื่องอยู่ในภาคกลางและภาคเหนือตอนล่าง ซึ่งอยู่ในเขตชลประทานทำให้สามารถเพาะปลูกได้ตลอดปี ขณะที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นพื้นที่นอกเขตชลประทานต้องอาศัยน้ำฝนตามฤดูกาล พื้นที่เพาะปลูกข้าวโพดส่วนใหญ่อยู่ในภาคเหนือ ซึ่งเป็นข้าวโพดไร่ที่อาศัยน้ำฝน โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้พื้นที่เพาะปลูกลดลงคือภัยแล้ง ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝน และต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น [12-14] ในทางกลับกัน พื้นที่เพาะปลูกอ้อยและมันสำปะหลังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงร้อยละ 36.62 และ 35.56 ตามลำดับ โดยพื้นที่การเพาะปลูกอ้อยและมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นอย่างมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคตะวันตก ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการขยายพื้นที่เพาะปลูกคือความต้องการของภาคอุตสาหกรรม ทั้งในระดับประเทศและระดับโลก โรงงานแปรรูปอ้อยและมันสำปะหลังมีบทบาทสำคัญในการรับซื้อผลผลิตจากเกษตรกร ซึ่งส่งผลให้การเพาะปลูกพืชทั้งสองชนิดขยายตัวอย่างต่อเนื่อง [15-17]

การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองพบว่า Random Forest เป็นแบบจำลองที่ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่นๆ โดยมีค่าความถูกต้องของ AUC ในช่วงร้อยละ 0.92-0.95 และ TSS ในช่วงร้อยละ 0.78-0.85 ตัวแปร Bioclimatic ที่มีความสำคัญต่อแบบจำลอง ได้แก่ BIO2, BIO8, BIO10, BIO12, BIO14, BIO15, BIO17, BIO18 และ BIO19

ผลการคาดการณ์พื้นที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชเศรษฐกิจในช่วงเวลาอนาคต 4 ช่วง (ค.ศ. 2021-2040, ค.ศ. 2041-2060, ค.ศ. 2061-2080, และ ค.ศ. 2081-2100) พบว่าพื้นที่เหมาะสมในการปลูกข้าวกระจายตัวมากในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันตก แต่มีแนวโน้มลดลง โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยร้อยละ -3.16 ภายใต้สถานการณ์ SSP2-4.5 และร้อยละ -5.06 ภายใต้ SSP5-8.5 สำหรับอ้อย พื้นที่ที่เหมาะสมมากกว่าร้อยละ 50 พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนกลาง ภาคตะวันตก ภาคเหนือ และภาคกลาง อย่างไรก็ตาม แนวโน้มพื้นที่เพาะปลูกอ้อยมีการลดลงในอนาคตเช่นกัน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยที่ลดลง โดยเฉพาะภายใต้สถานการณ์ SSP5-8.5 ที่แสดงให้เห็นความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนมากกว่าสถานการณ์ SSP2-4.5 ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการเกษตรที่เหมาะสมในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทั้งในแง่ของการเลือกพืชที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง และการกำหนดพื้นที่เพาะปลูกที่มีศักยภาพเพื่อรองรับความต้องการในอนาคต

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาพัฒนาแบบจำลองคาดการณ์พื้นที่เหมาะสมสำหรับเพาะปลูกพืชข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพดในอนาคตภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศ ผลการประเมินประสิทธิภาพจากตัวชี้วัด AUC และ TSS แสดงถึงความน่าเชื่อถือที่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลมีข้อจำกัดด้านความละเอียดเชิงพื้นที่ เนื่องจากการวัดความละเอียดเชิงพื้นที่อยู่ที่ 0.04177 องศา หรือประมาณ 4,625 เมตร ซึ่งเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ในระดับภูมิภาคหรือระดับประเทศขึ้นไป อาจไม่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ในระดับจังหวัดหรือชุมชน

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตมีแนวโน้มที่จะมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อพื้นที่การเกษตร โดยอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนที่มีการเปลี่ยนแปลงจะมีผลโดยตรงต่อผลผลิตทางการเกษตร การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในช่วงกลางวันและกลางคืน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงในปริมาณและการกระจายตัวของฝน ล้วนส่งผลต่อผลผลิตที่อาจแตกต่างกันไป

ตามความอ่อนไหวของพืชแต่ละชนิด การลดลงของผลผลิตการเกษตรอาจทำให้เกิดความจำเป็นในการวางแผนและเตรียมความพร้อมในการปรับตัว เพื่อให้การผลิตการเกษตรเพียงพอต่อความต้องการในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] IPCC. (2007). Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, R.K. Pachauri & A. Reisinger, Eds.). IPCC.

[2] สำนักงานคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก. (2561). อุตสาหกรรมการเกษตรและเทคโนโลยีชีวภาพ.

[3] Attavanich, W. (2016). Did the Thai rice-pledging program improve the economic performance and viability of rice farming? Applied Economics, 48(24), 2253–2265.

[4] Chatterjee, S., & Hadi, A. S. (2013). Regression analysis by example.

[5] Babak Naimi, Nicholas A. S. Hamm, Thomas A. Groen, Andrew K. Skidmore & Albertus G. Toxopeus. (2014). Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling. Ecography, 37, 191–203.

[6] Trisurat, Y., Kanchanasaka, B., & Kreft, H. (2014). Assessing potential effects of land use and climate change on mammal distribution in Northern Thailand. Wildlife Research, 41, 522–536.

[7] Iqbal, Z., Shahid, S., Ahmed, K., Ismail, T., Ziarh, G. F., Chung, E.-S., & Wang, X. (2021). Evaluation of CMIP6 GCM rainfall in mainland Southeast Asia. Atmospheric Research, 254, 105525. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105525

[8] Pecchi, M., Marchi, M., Burton, V., Giannetti, F., Moriondo, M., Bernetti, I., Bindi, M., & Chirici, G. (2019). Species distribution modelling to support forest management: A literature review. Ecological Modelling, 411, 108817. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108817

[9] นิเวศ จิระวิชิตชัย. (2553). การค้นหาเทคนิคเหมืองข้อมูลเพื่อสร้างโมเดลการวิเคราะห์โรคอัตโนมัติ.

[10] Fielding, A. H., & Bell, J. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. Environmental Conservation, 24(1), 38–49.

[11] Allouche, O., Tsoar, A., & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: Prevalence, kappa, and the true skill statistic (TSS). Journal of Applied Ecology, 43, 1223–1232.

[12] กนกพร ภาคีฉาย, นิโรจน์ สินณรงค์, กฤตวิทย์ อัจฉริยะพานิชกุล, และ พัชรินทร์ สุภาพันธ์. (2560). ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตข้าวในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย. วารสารเศรษฐศาสตร์และกลยุทธ์การจัดการ, 7(2).

[13] กัมปนาท วิจิตรศรีกมล, และ เอื้อ สิริจินดา. (2562). ศักยภาพและการปรับตัวของเกษตรกรผู้ผลิตข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้ความแปรปรวนสภาพภูมิอากาศ. แก่นเกษตร, 47(6), 1227-1242. https://doi.org/10.14456/kaj.2019.112

[14] National Science and Technology Development Agency. (2018). การจัดการวันปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เพื่อลดผลกระทบจากภัยแล้ง. สืบค้นจาก https://nsfcrc-news.blogspot.com/2018/_03/blog-post_6.html

[15] วิโรจน์ ณ ระนอง. (2556). การศึกษาเพื่อปรับโครงสร้างอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลของไทย. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย.

[16] ธัญชนก ขันศิลา และ วิรงรอง มงคลธรรม. (2557). ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกปลูกอ้อยของเกษตรกรในอำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 9 (The 9th Graduate Research Conference 2014).

[17] จักรกฤษณ์ พจนศิลป์, ธนาภรณ์ อธิปัญญากุล, และ ชมพูนุช นันทจิต. (2566). ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงนโยบาย และราคาต่อการผลิตอ้อยในพื้นที่ภาคกลางของไทย. วารสารเศรษฐศาสตร์และกลยุทธ์การจัดการ, 10(1), 1-20.

การศึกษาการยับยั้ง *Cercospora lactucae-sativae* ด้วย *Bacillus amyloliquefaciens* และ *Trichoderma* sp. สำหรับต้นกรีนคอส (*Lactuca sativa var. longifolia*) ในวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมต่างกัน

กชพรรณ รู้รัก* และปัณณพร พรมแจ่ม

โรงเรียนนวมินทราชูทิศ มัชฌิม ตำบลนครสวรรค์ตก อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์
* Corresponding author: scitech@nmm.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาความเหมาะสมของอัตราส่วนผสมวัสดุปลูกสำหรับการเจริญของกรีนคอสและการใช้ *Bacillus amyloliquefaciens* และ *Trichoderma* sp. ในการยับยั้ง *Cercospora lactucae-sativae* สาเหตุของโรคใบจุดตากบ การทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกศึกษาส่วนผสมดินกับแกลบดำในอัตราส่วนต่าง ๆ (0 : 1, 1 : 0, 1 : 0.5, 1 : 1, 1 : 1.5, 1 : 2) โดยใช้กรีนคอส 3 ต้นในแต่ละชุด รดน้ำวันละ 200 mL/ต้น และวัดความชื้น pH ในดิน ความเข้มแสง ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ พบว่าอัตราส่วนดิน : แกลบดำ 1 : 1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการรักษาความชื้นและค่า pH โดยมีความชื้นเฉลี่ยก่อนรดน้ำที่ 80.20% ± 2.83 และหลังรดน้ำเพิ่มเป็น 99.5% ± 0.34 ค่า pH ลดลงจาก 6.58 ± 0.90 เป็น 6.37 ± 0.25 และความสูงเฉลี่ยของกรีนคอส 10.84 cm ± 2.78 ส่วนที่สองทดสอบประสิทธิภาพของ *B. amyloliquefaciens* และ *Trichoderma* sp. ในการยับยั้งการเจริญของ *C. lactucae-sativae* พบว่า PIRG ของ *B. amyloliquefaciens* = 30.16% และ *Trichoderma* sp. = 20.63% โดย *B. amyloliquefaciens* สามารถทำลาย *Trichoderma* sp. ในดินได้

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าอัตราส่วนดิน : แกลบดำ 1 : 1 เหมาะสมที่สุดในการปลูกกรีนคอส เนื่องจากสามารถรักษาความชื้นและค่า pH ได้ดี ส่งผลให้กรีนคอสมีการเจริญเติบโตสูงที่สุด

คำสำคัญ : การรักษาความชื้นในดิน / การยับยั้งเชื้อก่อโรคใบจุดตากบ / *B. amyloliquefaciens* / *Trichoderma* sp. / *Cercospora lactucae-sativae*

The Studies on the Inhibition of *Cercospora lactucae-sativae* by *Bacillus amyloliquefaciens* and *Trichoderma* sp. in Green Cos Lettuce (*Lactuca sativa var. longifolia*) Grown in Different Growing Media Mixtures

Kodchaphan Rourak* and Pannaporn Phromjam

Navamindarajudis Matchim School, Nakhon Sawan Tok Subdistrict, Mueang Nakhon Sawan District, Nakhon Sawan Province
* Corresponding author: scitech@nmm.ac.th

Abstract

This study was conducted to investigate the suitability of planting medium ratios for the growth of green cos and the use of *Bacillus amyloliquefaciens* and Trichoderma sp. in inhibiting *Cercospora lactucae-sativae*, the causative agent of frog-eye leaf spot. The experiment was divided into two parts: In the first part, six soil-to-rice husk charcoal ratios (0:1, 1:0, 1:0.5, 1:1, 1:1.5, 1:2) were tested using three green cos plants per ratio. Watering was done daily with 200 mL per plant, and soil moisture, pH, light intensity, relative humidity, and temperature were measured daily. The results showed that the 1:1 soil-to-rice husk ratio was the most suitable for maintaining moisture and pH. The average moisture content before watering was 80.20% ± 2.83, and after watering, it increased to 99.5% ± 0.34. The pH decreased from 6.58 ± 0.90 to 6.37 ± 0.25, and the average plant height was 10.84 cm ± 2.78. In the second part, the effectiveness of *B. amyloliquefaciens* and *Trichoderma* sp. in inhibiting *C. lactucae-sativae* was tested. The percent inhibition of radial growth (PIRG) was 30.16% for *B. amyloliquefaciens* and 20.63% for *Trichoderma* sp., with *B. amyloliquefaciens* found to suppress *Trichoderma* sp. in the soil.

The study concluded that the 1:1 soil-to-rice husk charcoal ratio was optimal for growing green cos, as it effectively maintained moisture and pH levels, resulting in the highest plant growth.

Keywords: Soil moisture retention / Frog-eye leaf spot suppression / *Bacillus amyloliquefaciens* / *Trichoderma* sp. / *Cercospora lactucae-sativae*

1. บทนำ

เกษตรอินทรีย์ ได้รับความสนใจจากประชาชนทั่วโลก รวมทั้งผู้ประกอบการ โดยมีแรงขับเคลื่อนมาจากกระแสความตื่นตัวในการบริโภคอาหารที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีที่สนับสนุนเกษตรอินทรีย์และมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในประเทศไทย ภาครัฐและเอกชนต่างให้ความสำคัญกับเกษตรอินทรีย์ โดยกำหนดให้เป็นทางเลือกที่ยั่งยืนสำหรับทั้งเกษตรกรและผู้บริโภค [1]

โรคใบจุดตากบ มีสาเหตุจากเชื้อรา *C. lactucae-sativa* พบในผักสลัด โดยเฉพาะชนิดที่มีใบกว้าง เช่น กรีนคอส และบัตเตอร์เฮด [2] โรคนี้ระบาดหนักในช่วงที่อากาศร้อนและมีความชื้นสูง เกษตรกรจึงต้องพ่นสารเคมีหลายครั้งเพื่อควบคุมและกำจัดเชื้อรา ซึ่งส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของเกษตรกรและสิ่งแวดล้อมโดยรวม

ผักกรีนคอส เป็นพืชที่ต้องการน้ำอย่างเพียงพอเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ โดยเฉลี่ยแล้วผักกรีนคอสต้องการน้ำประมาณ 300-350 mL/ต้น/วัน [3] เพื่อให้เจริญเติบโตสมบูรณ์และมีคุณภาพตามมาตรฐาน เกษตรกรมักใช้วัสดุปลูกหลากหลาย ทั้งแบบอินทรีย์และอนินทรีย์ เช่น ทราย กรวด ขี้เลื่อย พีท ขุยมะพร้าว และร็อควูลล์ ซึ่งแต่ละชนิดต้องใช้เทคนิคในการให้น้ำและสารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกันเพื่อเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน และลดการสูญเสียความชื้น โดยเฉพาะในฤดูแล้งที่มักประสบปัญหาขาดแคลนน้ำ เกษตรกรต้องรดน้ำบ่อยขึ้นเพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้ดี อย่างไรก็ตาม ความชื้นที่มากเกินไปในดินจะส่งเสริมการเติบโตของเชื้อรา ทำให้โรคใบจุดตากบระบาดได้อย่างรวดเร็วและก่อให้เกิดความเสียหายอย่างกว้างขวาง ส่งผลให้เกษตรกรต้องใช้สารเคมีจำนวนมาก ซึ่งเพิ่มต้นทุนในการผลิต [4]

คณะผู้จัดทำจึงมีความสนใจศึกษาการยับยั้ง *Cercospora lactucae-sativae* ราก่อโรคใบจุดตากบในต้นกรีนคอส ด้วย *Bacillus amyloliquefaciens* และ *Trichoderma* sp. ร่วมกับวัสดุปลูกที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างแกลบดำกับดินต่างกันในการรักษาความชื้นให้กับต้นกรีนคอส

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างดินกับแกลบดำที่เหมาะสมต่อการรักษาความชื้นในแปลงปลูก
2. ศึกษาความสามารถของ *B. amyloliquefaciens* และ *Trichoderma* sp. ในการควบคุม *C. lactucae-sativae*
3. ศึกษาความคงทนของ *B. amyloliquefaciens* และ *Trichoderma* sp.ในดิน

3. ขอบเขตของการศึกษา

สถานที่ทำการทดลอง

โรงเรียนนวมินทราชูทิศ มัชฌิม และบ้านเลขที่ 37/4 หมู่ 11 ตำบลวัดไทร อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์

สิ่งมีชีวิตที่ใช้ในการทดลอง

1) ผักกรีนคอส (*Lactuca sativa* L. *var. longifolia*) ชนิดเดียวที่ใช้ในการทดลองภาคสนาม
2) *B. amyloliquefaciens*
3) *Trichoderma* sp.
4) *C. lactucae-sativae* ราสาเหตุของโรคใบจุดตากบ

ระยะเวลาศึกษา

ตั้งแต่วันที่ 24 เมษายน 2567 - วันที่ 15 กรกฎาคม 2567

4. วิธีการศึกษา

ตอนที่ 1 การศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างดินกับแกลบเหมาะสมต่อการรักษาความชื้นในแปลงปลูก

1. ในการทดลอง กำหนดอัตราส่วนดินต่อแกลบดำเป็น 0 : 1, 1 : 0, 1 : 0.5, 1 : 1, 1 : 1.5 และ 1 : 2 โดยเตรียมวัสดุปลูกดังตารางที่ 1 คลุกเคล้าวัสดุปลูกให้กระจายตัวสม่ำเสมอและเข้ากันดีก่อนตักบรรจุในกระถางพลาสติก และควรเตรียมวัสดุปลูกให้เพียงพอต่อการบรรจุในกระถางปลูก 50 cm x 21 cm x 16 cm (ปริมาตร 1.68×10^4 cm³) ตามที่กำหนดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเตรียมวัสดุปลูกในอัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วน	ปริมาตร (cm³)			
	ดิน	แกลบดำ	รวม	ดินในกระถางปลูก
0 : 1	0	1×10^3	1×10^3	9×10^3
1 : 0	1×10^3	0	1×10^3	9×10^3
1 : 0.5	1×10^3	5×10^2	1.5×10^3	9×10^3
1 : 1	1×10^3	1×10^3	2×10^3	9×10^3
1 : 1.5	1×10^3	1.5×10^3	2.5×10^3	9×10^3
1 : 2	1×10^3	2×10^3	3×10^3	9×10^3

2. การวัดความชื้นในดินโดยจิ้ม Soil moisture meter ลงในดินลึก 5 cm ตรวจวัดทุกวัน วันละ 2 ครั้ง รดน้ำ 200 mL/1 ต้น แล้ววัดค่าความชื้นก่อนทำการรดน้ำและหลังรดน้ำ 1 ชั่วโมง

3. ตรวจวัดค่า pH และความชื้นในดินและในน้ำที่ใช้รดด้วย pH meter วัดความเข้มของแสงด้วย Lux meter ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิด้วย Thermo - Hygrometer ทุกวัน แต่ละชุดการทดลองจะทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ และวัดความสูง

ตอนที่ 2 การศึกษาความสามารถของ *B. amyloliquefaciens* และ *Trichoderma* sp. ในการควบคุม *C. lactucae-sativae*

2.1 การเตรียม *B. amyloliquefaciens*, *Trichoderma* sp. และเชื้อรา *C. lactucae-sativae* [5]

1. เลี้ยงแบคทีเรีย *B. amyloliquefaciens* ในอาหาร Luria Bertani
2. บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 30°C
3. เจือจางแบคทีเรียบริสุทธิ์ด้วยเทคนิค serial dilution ให้ได้ 10^{-4} เท่า ปริมาณ 0.5 mL ใส่อาหาร Luria Bertani Agar หลังจากนั้น pour plate และปิดฝาจานเพาะเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิ 30°C
4. นับจำนวน colony เพื่อเทียบกับความเข้มข้นที่ 10^{-4} และบันทึกผล

การเตรียม *Trichoderma* sp. โดยนำสปอร์ของ *Trichoderma* sp. เจือจางในน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้วมาเกลี่ยให้ทั่วผิวหน้าอาหาร PDA รอให้เจริญ ทำ subculture เพื่อให้ได้ *Trichoderma* sp. ที่บริสุทธิ์

การเตรียมเชื้อรา *C. lactucae-sativae* โดยแยกเลี้ยงเชื้อราก่อโรคพืช *C. lactucae-sativae* โดยใช้วิธี tissue transplanting method บนอาหาร PDA ทำ slide culture และนับ spore/mL

2.2 การศึกษาประสิทธิภาพของ *B. amyloliquefaciens* และ*Trichoderma* sp. ในการควบคุม *C. lactucae-sativae*

ทำการศึกษาปฏิปักษ์ตามเทคนิค dual culture bioassay โดยใช้ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm เจาะวุ้นบริเวณที่มีเชื้อ *B. amyloliquefaciens* เจริญอยู่บนอาหาร Luria Bertani Agar *Trichoderma* sp. เจริญอยู่บนอาหาร

PDA และ *C. lactucae-sativae* ที่เจริญอยู่บนอาหาร PDA นำไปวางบนอาหาร PDA โดยวางให้ห่างจากขอบจานเลี้ยงเชื้อ 2 cm ด้านตรงข้ามกับเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์วางห่างกัน 4 cm เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่วางเฉพาะชิ้นเชื้อรา *C. lactucae-sativae* บ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน บันทึกผลโดยวัดขนาดรัศมีเชื้อราสาเหตุก่อโรคแล้วนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญ (Percent Inhibition of Radial Growth ; PIRG) ตามสูตรการคำนวณ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ

เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญ (Percent Inhibition of Radial Growth ; PIRG) [6]

PIRG = (R1-R2)/R1x100

โดย R1 = รัศมีโคโลนีของเชื้อรา *C. lactucae-sativae* ในชุดควบคุม

R2 = รัศมีโคโลนีของเชื้อรา *C. lactucae-sativae* ในชุดทดสอบปฏิปักษ์

2.3 ขั้นตอนการศึกษาภาคสนาม

1. ปลูกกรีนคอสในกระถางจนครบ 10 วัน
2. ใช้ borer cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm เจาะวุ้นอาหารที่มี *C. lactucae-sativae* เจริญใส่ในวัสดุปลูกทั้งชุดการทดลอง A และ B อัตราส่วนละ 1 ชิ้น ห่างจากโคนต้นกรีนคอส 4 cm รอระยะเวลา 4 วันให้ *C. lactucae-sativae* เจริญในดิน
3. เมื่อครบเวลา 14 วันหลังจากปลูกกรีนคอส ใส่เชื้อ *B. amyloliquefaciens* และ *Trichoderma* sp. ตามชุดการทดลองที่กำหนดไว้ รอระยะเวลา 4 วัน สังเกตอาการโรคใบจุดตากบ

ตอนที่ 3 เพื่อศึกษาความคงทนของ *B. amyloliquefaciens* และ *Trichoderma* sp. ในดิน

1. นำดินจากการทดลองภาคสนามทุกชุดการทดลองและทุกอัตราส่วนมาเจือจางด้วยเทคนิค serial dilution ให้ได้ 10^{-4} เท่า ปริมาณ 0.5 mL ใส่อาหาร Luria Bertani Agar หลังจากนั้น spread plate และปิดฝาจานเพาะเชื้อ บ่มที่อุณหภูมิ 30°C
2. นับจำนวนโคโลนีของ *B. amyloliquefaciens* และ *Trichoderma* sp.
3. ทำตามข้อ 1 และ 2 ทุก 5 วัน รวม 30 วัน

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 การศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างดินกับแกลบเหมาะสมต่อการรักษาความชื้นในแปลงปลูก

สภาพแวดล้อมแปลงปลูก ได้ดังนี้

pH ของน้ำที่ใช้ 7.01 ± 0.06

ความเข้มแสงเฉลี่ย 68 ± 19.18 Lux

ความชื้นสัมพัทธ์ 71.12% ± 6.11

อุณหภูมิอากาศ 32.0°C ± 2.45

ทำการทดลองโดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดการทดลอง A ใส่ *B. amyloliquefaciens* และชุดการทดลอง B ใส่ *Trichoderma* sp. ตามอัตราส่วนที่กำหนด วัดความชื้นในดินก่อนรดน้ำและหลังรดน้ำ โดยอัตราส่วน 0 : 1 และ 1 : 0 เป็นชุดควบคุม มีผลการทดลองตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบความชื้นในดินระหว่างชุดการทดลอง A ใส่ *B. amyloliquefaciens* และชุดการทดลอง B ใส่ *Trichoderma* sp. แต่ละอัตราส่วนของวัสดุปลูก

อัตราส่วน	ชุดการทดลอง A (ความชื้น)		ชุดการทดลอง B (ความชื้น)	
	ก่อนรดน้ำ	หลังรดน้ำ	ก่อนรดน้ำ	หลังรดน้ำ
0 : 1	60.65% ± 12.17	80.20% ± 6.50	55.19% ± 8.17	80.80% ± 10.29
1 : 0	76.61% ± 15.00	104.50% ± 4.00	79.13% ± 8.02	100.00% ± 0.00
1 : 0.5	74.30% ± 15.20	95.30% ± 3.20	81.29% ± 5.38	100.00% ± 0.00
1 : 1	74.00% ± 14.20	91.30% ± 4.40	79.15% ± 7.47	98.03% ± 2.59
1 : 1.5	76.30% ± 13.10	94.70% ± 5.70	71.10% ± 22.18	98.16% ± 4.24
1 : 2	72.20% ± 13.20	92.00% ± 6.10	69.28% ± 22.67	98.33% ± 4.02

ผลการวัด pH ของวัสดุปลูกก่อน-หลังรดน้ำ และการเจริญของกรีนคอสที่วัดจากความสูงของกรีนคอส (cm) เปรียบเทียบระหว่างชุดการทดลอง A ใส่ *B. amyloliquefaciens* และชุดการทดลอง B ใส่ *Trichoderma* sp. แต่ละอัตราส่วนของวัสดุปลูก พบว่ามีค่า pH และความสูงของกรีนคอสดังตารางที่ 3 พบว่า กรีนคอสไม่สามารถเจริญได้ในวัสดุปลูกที่มีแกลบดำเพียงชนิดเดียว (0 : 1) และชุดการทดลอง A ที่อัตราส่วน 1 : 0.5 กับ 1 : 1 กรีนคอสมีการเจริญมากที่สุด เช่นเดียวกับชุดการทดลอง B ที่อัตราส่วน 1 : 1 กรีนคอสมีการเจริญมากที่สุดแต่น้อยกว่าชุดการทดลอง A ที่อัตราส่วนเดียวกัน

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบ pH ของดินก่อน-หลังรดน้ำและความสูงของกรีนคอส ระหว่างชุดการทดลอง A ใส่ *B. amyloliquefaciens* และชุดการทดลอง B ใส่ *Trichoderma* sp. แต่ละอัตราส่วนของวัสดุปลูก

อัตราส่วน	ชุดการทดลอง A			ชุดการทดลอง B		
	pH ของดิน		ความสูง	pH ของดิน		ความสูง
	ก่อนรดน้ำ	หลังรดน้ำ	(cm)	ก่อนรดน้ำ	หลังรดน้ำ	(cm)
0 : 1	6.3 ± 0.7	6.8 ± 0.5	-	7.12 ± 0.89	6.85 ± 0.36	-
1 : 0	6.5 ± 0.5	6.6 ± 0.3	10.00 ± 0.50	6.75 ± 0.30	6.61 ± 0.43	11.90±0.20
1 : 0.5	6.2 ± 0.6	6.4 ± 0.4	14.00±0.50	6.66 ± 0.63	6.52 ± 0.34	12.30±0.20
1 : 1	6.6 ± 0.7	6.6 ± 0.4	14.00±0.50	6.52 ± 0.88	6.34 ± 0.21	13.20±0.20
1 : 1.5	6.6 ± 0.7	6.6 ± 0.4	12.00± 0.50	7.04 ± 0.57	6.18 ± 0.57	10.00±0.30
1 : 2	6.3 ± 0.7	6.7 ± 0.3	10.00± 0.50	6.79 ± 0.84	6.28 ± 0.56	9.30±0.20

ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ ปิยาภัทร์ เข็มวิชัย (2565) [4] ที่ศึกษาการใช้วัสดุเพาะเพื่อทดแทนการใช้พีทมอสในการเพาะกล้าผักสลัดที่พบว่าการใช้แกลบดำผสมกับปุ๋ยคอกในอัตราส่วน 1 : 1 มีเปอร์เซ็นต์การงอก ดัชนีการงอก และระยะเวลาเฉลี่ยในการงอกดีที่สุดและต้นทุนต่ำที่สุด และเกศวดี พึ่งเกษมและคณะ (2561) [7] ที่ศึกษาผลของขี้เถ้าแกลบและโพแทสเซียมต่อสมบัติดิน และมันสำปะหลัง พันธุ์ห้วยบง 80 ที่ปลูกในชุดดินสตึก พบว่า การใส่ขี้เถ้าแกลบอัตรา 2 t/ไร่ ให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด และผลผลิตแป้งสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเท่ากับ 4.69 และ 1.01 t/ไร่ตามลำดับ ขณะที่การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 20 kg/ไร่ (1.25 เท่าของอัตราแนะนำ) ทำให้ได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด และผลผลิตแป้งสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 4.91 และ 1.06 t/ไร่ตามลำดับแต่ไม่แตกต่างกับการใส่ในปริมาณ 0.75 เท่าของอัตราแนะนำ ซึ่งได้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสด และผลผลิตแป้งเท่ากับ 4.36 และ 0.97 t/ไร่ตามลำดับ สมบัติดินหลังจากปลูกมันสำปะหลังไป 1 ฤดูกาล พบว่า การใส่ขี้เถ้าแกลบส่งผลให้ค่า pH ดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ พร้อมด้วยปริมาณเหล็ก แมงกานีส และสังกะสีที่เป็นประโยชน์สูงกว่าตำรับควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยส่วนใหญ่เพิ่มขึ้นตามอัตราของขี้เถ้าแกลบที่ใส่เพิ่มขึ้น

ขณะที่การใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ซึ่งหลงเหลืออยู่ในดินเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราที่ใส่อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ทางสถิติโดยมีปริมาณสูงสุดเท่ากับ 47.24 mg/kg

นอกจากนี้พบว่าอัตราส่วน 0 : 1 ไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด เนื่องจากพืชได้รับสารอาหารที่ไม่เพียงพอ โดยพืชแสดงอาการใบเหลืองและตายในที่สุด [8] ดังรูปที่ 1 ซึ่งแกลบดำเมื่อใช้ในอัตราส่วนที่มากเกินไปทำให้พืชแสดงอาการดังกล่าวจากการทดลองก่อนรดน้ำวัดได้เพียง 50.1±1.52% และหลังรดน้ำวัดได้ 70.97±0.84% ดังนั้นซึ่งแกลบดำเพียงอย่างเดียวไม่สามารถรักษาความชื้นได้เท่าอัตราส่วนที่มีดินผสมอยู่ได้

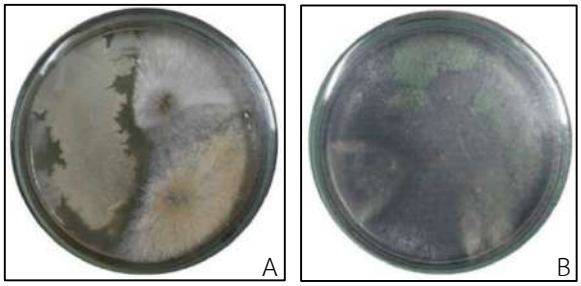
รูปที่ 1 แสดงอาการของกรีนคอสที่ปลูกในวัสดุปลูกอัตราส่วน 0 : 1

ตอนที่ 2 การศึกษาความสามารถของ *B. amyloliquefaciens* และ *Trichoderma* sp. ในการควบคุม *C. lactucae-sativae*

ผู้วิจัยทำการทดสอบปฏิปักษ์ระหว่าง *B. amyloliquefaciens* กับ *C. lactucae-sativae* และ *Trichoderma* sp. กับ *C. lactucae-sativae* พบว่า *B. amyloliquefaciens* และ *Trichoderma* sp. ยับยั้งการเจริญเติบโตของ *C. lactucae-sativae* โดยที่ *B. amyloliquefaciens* มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญ 30.16 ซึ่งมากกว่า *Trichoderma* sp. ที่มีเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญ 20.63 ดังตารางที่ 4 และรูปที่ 2

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบปฏิปักษ์ระหว่าง *B. amyloliquefaciens* กับ *C. lactucae-sativae* และ *Trichoderma* sp. กับ *C. lactucae-sativae*

Treatment	ความยาวรัศมี (cm) ของ *C. lactucae-sativae*		PIRG
	R1	R2	
B. amyloliquefaciens	3.15	2.20	30.16
Trichoderma sp.		2.50	20.63



รูปที่ 2 การทดสอบปฏิปักษ์ **A** : การทำจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ระหว่าง *B. amyloliquefaciens* และ *C. lactucae- sativae* ร่วมกับ*Trichoderma* sp.
B : การทำจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ระหว่าง *Trichoderma* sp. และ *C. lactucae-sativa*

การทดลองภาคสนาม

ใช้ borer cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 cm เจาะวุ้นอาหารที่มี *C. lactucae-sativae* เจริญอยู่ใส่ในวัสดุปลูกทั้งชุดการทดลอง A และ B ในอัตราส่วนวัสดุปลูก 1 : 0, 1 : 0.5, 1 : 1, 1 : 1.5 และ 1 : 2 ดังปรากฏในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 วันที่แสดงอาการใบจุดตากบของกรีนคอสหลังใส่เชื้อ *C. lactucae-sativae* ในแต่ละชุดการทดลอง

อัตราส่วน	ชุดการทดลอง A	ชุดการทดลอง B
1 : 0	Day 3	Day 3
1 : 0.5	Day 2	Day 2
1 : 1	Day 4	Day 3
1 : 1.5	Day 3	Day 2
1 : 2	Day 3	Day 3

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ บุญสม บุษบรรณ์, ศรัญญู ใคลคลาย, สุธาศินี นนทจักร์ และ สุริยนท์ รินบุตร (2559) [9] เกี่ยวกับการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืชโดยจุลินทรีย์เอนโดไฟท์และจุลินทรีย์ประจำถิ่นในดินเขตรากพืชที่ผลิตสารออกฤทธิ์ชีวภาพ พบว่าแบคทีเรีย *B. amyloliquefaciens* CRP4, *B. amyloliquefaciens* PBT2, *B. subtilis* CRP3, *B. subtilis* CRP9 , *B. subtilis* PBT1 , *B. subtilis* PBT9 , *Pseudomonas* sp. ZB2 และ *Pseudomonas* sp. ZB3 สำหรับ *Bacillus* ทุกไอโซเลทสามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิ 25–50 °C ส่วน *Pseudomonas* เจริญได้ที่ 25°C หรือต่ำกว่า 37°C แบคทีเรียทั้ง 8 ไอโซเลทนี้ยังเจริญได้ดีแม้ได้รับแสง UV นาน 15–60 นาที ก่อนนำไปบ่มเชื้อ แม้ว่าแบคทีเรียเหล่านี้ไม่สามารถเจริญในอาหารที่มีสารเคมีกำจัดศัตรูพืชชนิด copper hydroxide แต่เจริญได้ดีในอาหารที่มี benomyl และ macozeb นอกจากนี้ยังพบว่า cell-free culture filtrate ของ *B. amyloliquefaciens* PBT2 ยับยั้งการงอกสปอร์ของ *Alternaria brassicicola* ได้มากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งใกล้เคียงกับ mancozeb และดีกว่า benomyl อีกทั้งสารออกฤทธิ์ยังคงยับยั้งการเจริญของ *A. brassicicola* ได้แม้เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 100°C นาน 15 นาที เมื่อนำ *B. amyloliquefaciens* CRP4, *B. amyloliquefaciens* PBT2, *Pseudomonas* sp. ZB2 และ *Pseudomonas* sp. ZB3 ไปทำชีวภัณฑ์และทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมโรคใบจุด *Alternaria* ในคะน้า พบว่าการฉีดพ่นด้วย cell-free culture filtrate ของ *B. amyloliquefaciens* PBT2 จำนวน 3 ครั้ง (หลังการปลูกเชื้อ 1, 7 และ 14 วัน) ทำให้ต้นคะน้าแสดงอาการของโรคใบจุดน้อยที่สุด รวมถึงมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นและรากมากที่สุด สำหรับการควบคุมโรคเน่าในผักกาดหอมห่อ พบว่า การรดชีวภัณฑ์ *Pseudomonas* sp. ZB3 ในโดโลไมท์ทันที และรดอีกครั้งในวันที่ 5 หลังการปลูกเชื้อ *Rhizoctonia solani* ทำให้พบการเกิดโรคน้อยที่สุด และต้นผักกาดหอมห่อที่รดด้วยชีวภัณฑ์ *Pseudomonas* sp. ZB3 ในโดโลไมท์นี้ และที่ฉีดพ่นด้วยชีวภัณฑ์ *B. amyloliquefaciens* CRP4 ในโดโลไมท์ หลังการปลูกเชื้อ 1, 7 และ 14 วัน

ให้น้ำหนักสดของต้นมากที่สุด เมื่อเก็บรักษาชีวภัณฑ์ในรูปแบบผงไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 15 เดือน พบว่ามีปริมาณเชื้อที่มีชีวิตเหลืออยู่ประมาณครึ่งหนึ่งจากปริมาณเชื้อเริ่มต้น (43.77–63.04% คิดจากค่า log CFU/g) จะเห็นได้ว่า แบคทีเรียที่คัดเลือกเหล่านี้สามารถผลิตสารที่ออกฤทธิ์ได้หลายชนิด และสารที่มีฤทธิ์กว้าง ตัวแบคทีเรียสามารถทนต่อสภาวะเครียดได้หลายอย่าง และยังสามารถเตรียมเป็นชีวภัณฑ์ในรูปแบบที่นำไปใช้ได้สะดวกและมีครึ่งชีวิตที่นานพอควร ซึ่งอาจพัฒนาไปใช้ให้เป็นประโยชน์ในทางการเกษตรต่อไปได้

ตอนที่ 3 เพื่อศึกษาความคงทนของ *B. amyloliquefaciens* และ *Trichoderma* sp. ในดิน

จากการศึกษาความคงทนของ *B. amyliquefaciens* และ *Trichoderma* sp. ในดินจากชุดการทดลอง A และชุดการทดลอง B ทุกอัตราส่วนของวัสดุปลูกพบว่าชุดการทดลอง A ที่อัตราส่วน 1 : 1 ตรวจพบการเจริญของ *B. amyliquefaciens* มากที่สุด ขณะที่ *Trichoderma* sp. เจริญในวัสดุปลูกทุกอัตราส่วนได้ดีใน 15 วัน หลังจากนั้นการเจริญลดลงและไม่พบเมื่อ 30 วัน ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลศึกษาความคงทนของ *B. amyloliquefaciens* และ *Trichoderma* sp. ในดิน

อัตราส่วน	ชุดการทดลอง A						ชุดการทดลอง B					
	Day 5	Day 10	Day 15	Day 20	Day 25	Day 30	Day 5	Day 10	Day 15	Day 20	Day 25	Day 30
0 : 1	✓✓	-	-	-	-	-	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓	-
1 : 0	✓✓	-	✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓	-
1 : 0.5	✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓	-
1 : 1	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓	-
1 : 1.5	✓✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓	-
1 : 2	✓✓	✓	✓	✓	✓	-	✓✓	✓✓	✓✓	✓	✓	-

6. สรุปผลการศึกษา

ตอนที่ 1 การศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างดินกับแกลบเหมาะสมต่อการรักษาความชื้นในแปลงปลูก

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมของดินและแกลบที่มีผลต่อการรักษาความชื้นและค่า pH ในแปลงปลูก พบว่าอัตราส่วน 1 : 1 ให้ผลการรักษาความชื้นดีที่สุดทั้งก่อนและหลังการรดน้ำ โดยในภาวะก่อนรดน้ำ อัตราส่วนดังกล่าวสามารถรักษาความชื้นได้สูงถึง 79.15% ± 7.47 พร้อมกับค่า pH ที่ 6.52 ± 0.88 ซึ่งสูงกว่าอัตราส่วนอื่น หลังการรดน้ำ อัตราส่วน 1 : 1 ยังคงรักษาความชื้นได้ดีที่สุดที่ 98.03% ± 2.59 และมีค่า pH ที่ 6.34 ± 0.21 ขณะที่อัตราส่วน 0 : 1 ซึ่งมีสัดส่วนของแกลบสูงที่สุด พบว่าเก็บรักษาความชื้นได้ต่ำสุดที่ 79.13% ± 8.02 ก่อนรดน้ำ และ 80.80% ± 10.29 หลังรดน้ำ โดยมีค่า pH ที่ 7.12 ± 0.89 และ 6.85 ± 0.36 ตามลำดับ ทั้งนี้ค่า pH ของน้ำในทุกอัตราส่วนมีแนวโน้มที่จะอยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งค่า pH น้ำอยู่ที่ 7.00 ± 0.05

เมื่อวัดความสูงกรีนคอส (cm) ชุดการทดลอง A อัตราส่วน 1 : 0 = 10.00 cm ± 0.50 อัตราส่วน 1 : 0.5 = 14.00 cm ± 0.50 อัตราส่วน 1 : 1 = 14.00 cm ± 0.50 อัตราส่วน 1 : 1.5 = 12.00 ± 0.50 อัตราส่วน 1 : 2 = 10.00 cm ± 0.50 ชุดการทดลอง B อัตราส่วน 1 : 0 = 11.90 cm ± 0.20 อัตราส่วน 1 : 0.5 = 12.30 cm ± 0.20 อัตราส่วน 1 : 1 = 13.20 cm ± 0.20 อัตราส่วน 1 : 1.5 = 10.00 cm ± 0.30 อัตราส่วน 1 : 2 = 9.30 cm ± 0.20

ดังนั้นอัตราส่วน 1 : 1 ทั้งชุดการทดลอง A และ B มีความเหมาะสมต่อการเจริญของกรีนคอสมากที่สุด

ตอนที่ 2 การศึกษาความสามารถของ *B. amyloliquefaciens* และ *Trichoderma* sp. ในการควบคุม *C.lactucae-sativae*

B. amyloliquefaciens มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเส้นใยและการสร้างสปอร์ของเชื้อรา โดยการทำลาย *C. lactucae- sativae* สาเหตุโรคเชื้อราใบจุดตากบได้ 30.16% *Trichoderma* sp. มีประสิทธิภาพในการครองพื้นที่เป็นภาวะปรสิตเพื่อแย่งอาหารกับ *C. lactucae-sativae* ได้ 20.63% และ *B. amyloliquefaciens* ทำลาย *Trichoderma* sp.

ตอนที่ 3 เพื่อศึกษาความคงทนของ *B. amyloliquefaciens* และ *Trichoderma* sp. ในดิน

B. amyloliquefaciens เจริญในวัสดุปลูกอัตราส่วน 1 : 1 ดีที่สุดตลอดเวลาการทดลอง 30 วัน และ *Trichoderma* sp. เจริญได้ดีวัสดุปลูกทุกอัตราส่วนแต่มีระยะเวลาน้อยกว่า *B. amyloliquefaciens* คือเจริญดีในระยะเวลา 15 วัน หลังจากนั้นการเจริญลดลงและตรวจไม่พบเมื่อ 30 วัน

ดังนั้นการใช้วัสดุปลูกกรีนคอสที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างดินกับแกลบดำ 1 : 1 ทำให้ *B. amyloliquefaciens* มีความคงทนในวัสดุปลูกมากที่สุดและเหมาะสมต่อการใช้ปลูกกรีนคอสมากที่สุด

จากการศึกษาครั้งนี้ทำให้ทราบว่าวัสดุปลูกที่เหมาะสมในการปลูกกรีนคอสคือดินผสมแกลบดำอัตราส่วน 1 : 1 เนื่องจากมีสามารถรักษาความชื้นให้เหมาะสมต่อการเจริญของกรีนคอสมากที่สุด ค่า pH ของน้ำเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดส่งผลให้กรีนคอสมีการเจริญ (ความสูง) มากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. [ออนไลน์]. แผนปฏิบัติการด้านเกษตรอินทรีย์ พ.ศ. 2566-2570. เข้าถึงได้จาก http://www.pad.moi.go.th/images/form-download. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม พ.ศ. 2567.

[2] กองส่งเสริมการอารักขาพืชและจัดการดินปุ๋ย. [ออนไลน์]. โรคใบจุดผักสลัด. เข้าถึงได้จาก https://pmc03.doae.go.th/ wp-content/uploads/2024/06. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม พ.ศ. 2567.

[3] ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2563). การใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพในการปลูกผักสลัดในโรงเรือน. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์.

[4] ปิยาภัทร์ เข็มวิชัย. (2565). การศึกษาวัสดุเพาะเพื่อทดแทนการใช้พีทมอสในการเพาะกล้าผักสลัด. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานพิพิธภัณฑ์เกษตรเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว (องค์การมหาชน).

[5] นฤมล มาแทน (2560). FTH-212 ปฏิบัติการจุลชีววิทยาอาหาร. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

[6] Kabir, L., W. K. Sang., S.K. Yun and S.L. Youn. (2012). Application of Rhizobacteria for Plant Growth Promoion Effect and Biocontrol of Anthracnose Caused by *Colletotrichum acutatum* on Pepper. Mycobiology 40: 244-251.

[7] เกศวดี พึ่งเกษมและคณะ. (2561). ผลของขี้เถ้าแกลบและโพแทสเซียมต่อสมบัติดิน และมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 80 ที่ปลูกในชุดดินสตึก. เข้าถึงได้จาก : https://ag2.kku.ac.th/kaj/PDF.cfm?filename= 8_142_60_Khetwadee.pdf&id= 3312&keeptrack=6. สืบค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2567.

[8] สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดอุบลราชธานี. [ออนไลน์]. การใช้แกลบปรับปรุงดินให้ถูกวิธี. เข้าถึงได้จาก https://www.opsmoac.go.th/ubonratchathani-article_prov-preview-431291791869. สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2567.

[9] บุญสม บุษบรรณ์, ศรัญญู ใคลคลาย, สุธาศินี นนทจักร และสุริยนต์ รินบุตร. (2559). การควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืชโดยจุลินทรีย์ประจำถิ่นในดินเขตรากพืชที่ผลิตสารออกฤทธิ์ชีวภาพ. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. มูลนิธิโครงการหลวง.

Biodegradable Chitosan Coating Gel from *Agaricus bisporus*: A Natural Alternative to Chemical Preservatives

Kunlanatta Wisukhowong

Mahidol University International Demonstration School, Salaya, Nakhon Pathom
* Corresponding author: tanyakunlanatta@gmail.com

Abstract

Chitosan is a degradable biopolymer with effective antimicrobial property, having a potential to be a promising alternative to chemical preservatives that cause health and environmental issues. Traditionally, chitosan is sourced from crustacean shells which lead to environmental problems such as unsustainable fishing practices, strong chemical usage, and marine pollution. This study extracted chitosan from *Agaricus bisporus* (champignon mushroom) which is an environmentally friendly alternative due to its rapid production, ability to grow on the agricultural waste, and less hazardous extraction methods. The mushroom derived chitosan was formulated into a edible coating gel by cross linking with glycerol. Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis revealed a degree of deacetylation of 79.09%, surpassing commercial chitosan from crustaceans at 72.19%. Scanning electron microscopy (SEM) of fruits coated chitosan gel shows a smooth surface, reflecting adhesion properties, and shelf-life evaluations on banana samples indicated that the application of the mushroom-based chitosan gel nearly doubled the preservation period. These results highlights the potential of mushroom derived chitosan as an alternative of chemical preservatives that can benefit health and environment, while also reduce the reliance of marine-derived sources.

Keywords: Mushroom-derived chitosan / Biodegradable edible coating / Food preservation / Marine-derived source / Environmental friendly alternatives

1. Introduction

The value of the global food preservatives market was 2.98 billion dollars in 2023, and is expected to be 4.65 billion dollars in 2030 [1]. These preservatives are widespread in versatile food products, from foods to snacks or drinks, due to the preferences for convenience and the industrial expansion [2]. Nevertheless, these chemical substances, such as benzoates and sorbates, which are widely known for notorious effects on health, including allergic reactions, endocrine distributions, microbiome imbalances, and proteinase inhibitions [3]. Surveillance reports from 2012 revealed that the amount of nitrate in food products were exceedingly

detected in Thailand, which can lead to formation of nitrosamines that are carcinogenic to the body. Consequently, consumers are at risk from gastric and esophageal cancer and other diseases such as asthma, ADHD, cardiovascular diseases, mental health disorders, and obesity [4][5][6]. Given the growing concerns over food safety and sustainable consumption, biomaterials become potential choices [7].

Chitosan is a biomaterial derived from saccharides that are components in several organisms, including crustaceans, insects, and mushrooms [8]. It has unique properties such as inert nature, hydrophilicity, biocompatibility, biodegradability, and non-toxicity [9]. Multiple studies confirmed its multifunctional benefits, including efficiency to increase antioxidant enzymes, prevent lipid oxidation, and inhibit microorganisms such as bacteria and yeast in food [10]. Additionally, chitosan can form durable and edible films which can be used for food packaging [11].

Traditionally, chitosan is extracted from crustaceans shells such as shrimp and crabs. However, this causes environmental concerns such as unsustainable fishing practices, strong chemical usage, generation of wastes, and marine pollution. Over 1.5 million hectares of coastal lowlands, including salt flat, marshes, and agricultural lands, have been converted into shrimp farms, significantly affecting biodiversity and marine ecosystem [12]. Moreover, crustaceans chitosan can be contaminated with proteins, making it challenging to be on food products for seafood-allergic consumers, particularly in Asia where approximately 7% of the population in several countries are seafood allergic [13][14].

Agaricus bisporus (Champignon mushrooms) is an edible mushroom belongs to the Basidiomycetes group and is responsible for 32% of the world's mushroom production [15]. It presents a promising alternative source of chitosan due to their rapid cultivation cycles, ability to grow on agricultural waste substrates, and flexibility to be produced worldwide [16][17].

Currently, most research focuses on the investigation of chitosan from crustaceans, and their application as films. [18] However, chitosan-based films have several limitations such as moisture sensitivity, poor elasticity, and difficulty to maintain in shapes with different food surfaces [19]. This study aims to extract chitosan from *Agaricus bisporus* and compare it with commercial chitosan from crustaceans source. The chitosan then further developed into a coating gel to investigate the effectiveness in extending shelf life and developing as an alternative of food preservatives to promote quality consumption and sustainable environment

2. Objectives

1. To extract and characterize chitosan from *Agaricus bisporus* as an alternative to crustaceans-derived chitosan
2. To develop a chitosan-based dipping gel for the assessment and effectiveness in extending shelf life
3. To compare the physical chemical properties between commercial and extracted chitosan

4. To assess sustainability and feasibility of *Agaricus bisporus* chitosan as an environmentally friendly food preservation solution

3. Scope of Study

This study focuses on the extraction of chitosan from *Agaricus bisporus* and its application in extending shelf life. The scope of the research includes the following:

1. Extraction and characterization of *Agaricus bisporus*-derived chitosan
2. Development of chitosan-based food preservation coating
3. Evaluation of characteristics and preservation efficiency
4. Promotion of sustainable and environmental impacts by reducing harmful preservatives, promoting sustainable agriculture, and improving health qualities.

4. Methodology

4.1 Material Preparation

750 grams of *Agaricus bisporus* were cut into smaller pieces, frozen at -80 degree Celsius for 16 hours, and lyophilized for 32 hours. The freeze-dried samples were stored at -40 degree Celsius for 48 hours. Moisture content was calculated by the initial weight (W1) and final weight after freeze-dry (W2), using the following formula:

$$\text{Moisture content (\%)} = 100 * (W1-W2)/W1 \quad (1)$$

4.2 Chitosan Extraction

Chitosan extraction followed the protocol from Abdelghani et al. (2020), with several adjustments. [16] 50 grams of samples were ground and soaked in 4% sodium hydroxide (NaOH) at a 1:30 (w/v) ratio on a hot plate for 2 hours to remove protein. The sample was then centrifuged, washed until the pH reached 7, and freezed at -80 Celsius for 48 hours before lyophilized again. To separate chitin, the sample was treated with 2% acetic acid (CH_3COOH) at 1:100 (w/v) ratio at 95 degree Celsius. The chitin was neutralized and deacetylated by using 60% NaOH at 1:50 (w/v) ratio for an hour at 95 degree Celsius to obtain chitosan. Chitin and chitosan yields were calculated by the following formulas:

$$\text{Chitin yield (\%)} = 100* (W3-W4)/W3 \quad (2)$$

$$\text{Chitosan yield (\%)} = 100 * (W4-W5)/W4 \quad (3)$$

(initial dry weight (W3), chitin weight (W4), and chitosan weight (W5))

4.3 Fourier transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Analysis

The extracted chitin and chitosan, and commercial chitosan from shrimp (Sigma-Aldrich, USA) were analyzed using Tensor 27 FTIR (Bruker Optik GmbH, Germany). Spectra used were over 400-500 cm^{-1} of the range with a resolution of 4 cm^{-1}. The degree of acetylation (DA) of chitin and degree of deacetylation (DD) of chitosan were calculated using absorbance at ~1,655 cm^{-1} (amide I) and ~3,450 cm^{-1} (hydroxyl -OH) positions according to the equation:

$$DA (\%) = (A1655 - A3450) *115 \quad (4)$$

$$DD(\%) = (100 - (A1655-A3450))*100 \quad (5)$$

4.4 Coating Gel Formation

The coating gel was prepared according to Sanchez-Gonzalez el at. (2010) with some modifications. [20] The gel is formed by mixing 1% (w/v) chitosan solution in 0.5% (v/v) acetic acid (v/v) at 40 degree Celsius for an hour. The plasticizer was added using 0.3% (v/v) glycerol and continued to stir at 40 degree Celsius for another hour. Then, the gel solution was poured into a petri dish and dried in an oven at 45 degrees Celsius for 2 hours.

4.5 Scanning Electron Microscope (SEM) Analysis

The surface morphologies of chitosan gel films and their adhesion on fruit peels were studied using Quanta 450 SEM (Fei, USA) with 5 to 15 kV tension, the samples were coated with a thin layer of gold to enhance the electrical conductivity. The pictures were captured with magnification of 400x and 100x.

4.6 Preservation Evaluation

Bananas from an identical comb were coated with chitosan gel and stored at 5°C for 24 hours before being transferred to a room temperature and observed for changes in color and texture compared to uncoated samples. The ripeness was evaluated using a standardized scale. (Figure 1)

Figure 1 standardized bananas ripeness scale [21]

5. Results and discussion

The moisture content of *Agaricus bisporus* was 91.2%. From an initial weight of 750 grams, the final weight after freeze-drying was reduced to 66 grams. This result aligns with other studies, where the moisture contents were examined with the average of 76.4±0.92 (Table 1) [23] [24]. The high moisture content can be due to the cell walls of *Agaricus bisporus* that are composed with hydrophilic chitin, glucans, and proteins that enhance the ability to absorb large amounts of water [25]. Additionally, its thin tissue structures increase the surface area to volume ratios, promoting water absorption and minimizing water loss [26].

The chitin yielded from *Agaricus bisporus* is 9.7% from its dry weight, while chitosan yielded is 4% of the extracted chitin. In comparison, traditional sources of crustacean-derived chitosan yield significantly higher chitin (averaging 27.5±12.5%) and chitosan (Table 1) (averaging 75±15% of the chitin weight) [27] [28] [29]. Theoretically, the difference is because of the exoskeleton of crustaceans shells that has chitin as the primary composition, whereas *Agaricus bisporus* has other additional components such as beta-glucans for their cell walls [30]. Nevertheless, chitin and chitosan yields are largely dependent on extraction methods and conditions. Some parts of the sample loss likely occurred during washing and neutralizing, making the measured weight slightly vary.

Table 1 Crustaceans shells extraction of the previous studies [27][28][29][36], compared to *Agaricus bisporus* extracted chitosan

Sources	Moisture Contents (%)	Chitin yield (%)	Chitosan yield (%)
Agaricus bisporus	91.2	9.7	4
Crustacean shells (shrimps)	76.4±0.92	27.5±12.5	75±15

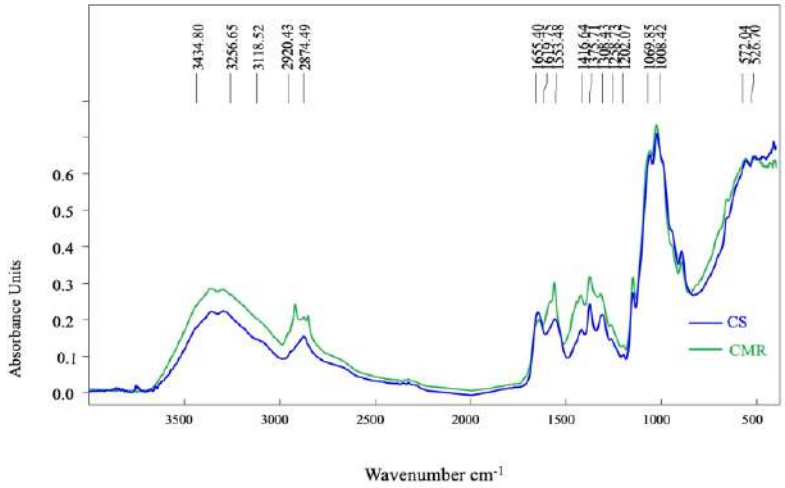


Figure 2 FTIR result (CS) Commercial Chitosan (CMR) *Agaricus bisporus* Chitosan

From Figure 2, both the commercial and extracted chitosan samples have similar shift on the 3,434-3,118 cm^{-1} range, indicating hydroxyl (-OH) and amine (-NH) groups that are typical for chitosan. There were additional peaks in 2,920-2,874 cm^{-1}, which is for C-H stretching that is common found in polysaccharides. The peak between 1,655 to 1,533 cm^{-1} suggest the presence of carbonyl (C=O) and residue acetyl groups. Based on the FTIR results, the composition of both samples are comparable, confirming purification of the extracted chitosan.

The FTIR results reported that the degree of deacetylation (DD) of *agaricus bisporus* chitosan was 79.09%, while commercial chitosan from shrimp was 72.20%. According to previous studies, moderate DD of shrimp-derived chitosan were also reported for around 70-75% [31]. The 6.89% higher DD in *Agaricus bisporus* chitosan shows a potential as an alternative chitosan source. Higher DD indicates a greater removal of acetyl groups, meaning they become more chitosan-like and have higher free amino groups. This enhances chitosan properties, including solubility, antimicrobial properties, biodegradability and film-forming ability [32] [33] [34] [35].

At 400x magnification (Figure 3), the uncoated sample of fruit peel showed roughness, porosity and natural wax. When there was the presence of coating gel, the surface became smoother with the reduction of scratching textures, indicating the gel's ability to improve surface uniformity. However, small residues were observed around the coated surface, suggesting that some part of chitosan might not completely dissolved and blended with the gel.

At 100x magnification (Figure 4), the uncoated sample has many scratches with a plain and thin surface. On the other hand, the coated sample exhibits a thick and smoother texture, though there were some inconsistencies in coverage. The observations point out chitosan gel's effective adhesion and protective capabilities, though some improvements in solubility and uniformity can be further improved.

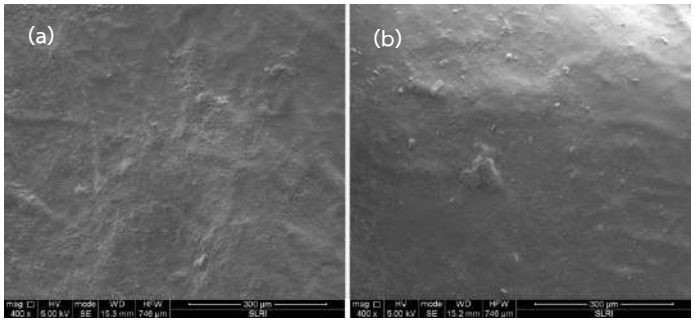


Figure 3 Surface Morphologies from 400X SEM (a) uncoated fruit sample (b) coated fruit sample

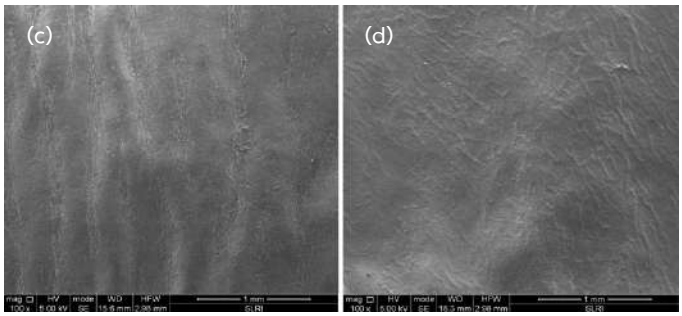


Figure 4 Surface Morphologies from 100X SEM (c) uncoated fruit sample (d) coated fruit sample

During the one-week evaluation (Table 2), uncoated bananas show a faster progression in ripening with significant changes in colors in day 5 and 7 that indicate browning. On the other hand, the coated sample exhibits a slower ripeness process with the fresh that still continues even after seven days.
By day 5, the uncoated banana showed a significant sign of ripening as they started to turn brown and soften. The coated one, however, remains firm and yellow.

By day 7 (Figure 5), the uncoated sample was over ripened and spoiled, whereas the coated one is still consumable. This is because the chitosan gel acts as a barrier and protection for the samples in order to avoid oxygen and ethylene gas which are two main factors of ripening. Moreover, due to its antimicrobial property, they effectively helped to delay the spoilage of the tested bananas.

Table 2 daily ripeness records in coated and uncoated bananas

Day	Ripeness scale of coated sample	Ripeness scale of uncoated sample
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	1	4
5	2	5
6	2	6 (blacken)
7	3	6 (blacken)

Day 1 Day 5 Day 7

Figure 5 Coated (left) and uncoated (right) banana sample

6. Conclusion

Despite its higher moisture content and lower chitin and chitosan yields, chitosan extracted from *Agaricus Bisporus* has a higher degree of deacetylation (79.09%) than commercial chitosan from crustaceans (72.19%). SEM results show smoother and thicker surfaces of the samples which highlight adhesion and protection properties, yet there was some residue that stuck with the gel and the surface, causing some uneven textures. The evaluation of the shelf life demonstrates the efficiency to extend the freshness of bananas, delaying ripening by up to four scales.

Future studies should focus on optimizing extraction methods to provide higher *Agaricus bisporus* chitosan yield, and increase solubility of the chitosan gel for more uniform coating. These findings highlight the potential of coating gels from chitosan, derived from *Agaricus bisporus* source as a sustainable alternative to conventional crustaceans-derived extraction and usage of chemical preservatives in food products.

Reference

[1] Food Preservatives Market Size, Share & Trends Analysis Report by label (Clean label, conventional), by type (Natural, Synthetic), by function (Anti-microbial, Anti-oxidant), by application, and segment Forecasts, 2024 - 2030. (n.d.). https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/food-preservatives-market

[2] Zouaoui, F. S., Boukhari, R., Heroual, N., Djemouai, N., Redouane, D., Saidi, D., Addou, S., & Kheroua, O. (2024). Estimation of dietary exposure to sodium benzoate (E211) and potassium sorbate (E202) of children and adolescents in the Oran region, Algeria. Foods, 13(23), 3880.

[3] Ravichandran, G., Lakshmanan, D. K., Arunachalam, A., & Thilagar, S. (2021). Food obesogens as emerging metabolic disruptors: A toxicological insight. The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology, 217, 106042.

[4] ศิริพร ตันจอ. (2560). ในโตรซามีน สารก่อมะเร็งใน อาหาร. อาหาร. 47(1), 20-28. http://158.108.94.117/Public/PUB0867.pdf

[5] Sambu, S., Hemaram, U., Murugan, R., & Alsofi, A. A. (2022). Toxicological and teratogenic effect of various food additives: an updated review. BioMed Research International, 2022, 1–11.

[6] Warner, J. O. (2024). Artificial food additives: hazardous to long-term health? Archives of Disease in Childhood, 109(11), 882–885.

[7] Wan, C., Rengasamy, K. R. R., & Chen, C. (2022). Biomaterials for food preservation. Journal of Food Quality, 2022, 1–3.

[8] Crini G. (2019) Historical review on chitin and chitosan biopolymers. Environ Chem Lett. 17:1623-43.

[9] Bravo-Anaya. L. M., Fernández-Solis. K. G., Rosselgong. J., Nano-Rodriguez. J. L. E., Carvajal. F., & Rinauo. M. (2019). Chitosan-DNA polyelectrolyte complex: Influence of chitosan characteristics and mechanism of complex formation. Int. J. Biol. Macromol. 126:1037-49.

[10] Ivanova, D. G., & Yaneva, Z. L. (2020). Antioxidant Properties and Redox-Modulating Activity of Chitosan and Its Derivatives: Biomaterials with Application in Cancer Therapy. BioResearch Open Access, 9(1), 64–72.

[11] Borgohain. R., Pattnaik. U., Prasad. B., & Mandal. B. (2021) A review on chitosan-based membranes for sustainable CO_2 separation applications: Mechanism, issues, and the way forward. Carbohydr. Polym. 267:118178.

[12] Paez-Osuna, F. (2001). The environmental impact of shrimp aquaculture: Causes, effects, and mitigating alternatives. Environmental Management, 28(1), 131–140.

[13] Nadarajah, K., Kader, J., Mazmira, M., Paul, D. (2001). Production of chitosan by fungi. Pakistan Journal of Biological Sciences, 4(3), 263-265.

[14] Wai, C. Y. Y., Leung, N. Y. H., Leung, A. S. Y., Wong, G. W. K., & Leung, T. F. (2021). Seafood allergy in Asia: geographical specificity and beyond. Frontiers in Allergy, 2.

[15] Fraga, S. M., & Nunes, F. M. (2020). *Agaricus bisporus* By-Products as a Source of Chitin-Glucan Complex Enriched Dietary Fibre with Potential Bioactivity. Applied Sciences, 10(7), 2232.

[16] Abdelghani. H., & Satha. H. (2020). Two routes to produce Chitosan from *Agaricus biporus*. Journal of Renewable Materiales, 8(1), 101-111.

[17] Yen, M., Mau, J. (2007). Physico-chemical characterization of fungal chitosan from shiitake stipes. LWT 40. 472-479.

[18] Ngasotter. S., Xavier. K. A. M., Meitei. M. M., Waikhom. D., madhulika., Pathak. J., & Singh. S. K.(2023). Crustacean shell waste derived chitin and chitin nanomaterials for application in agriculture, food, and health - A review. Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. 6: 100349. https://eurekamag.com/research/095/125/095125837.php?srsltid=AfmBOoqvZaOXRv4YChvErRI8RjHiGKDBrlkgEoIWxliVjmrlWMBuQ_PK

[19] Silue, Y., & Fawole, O. A. (2024). Global Research Network Analysis of Edible Coatings and Films for Preserving Perishable Fruit Crops: Current status and Future Directions. Foods, 13(15), 2321.

[20] Baxter, A., Dillon, M., Taylor, K. A., & Roberts, G. A. (1992). Improved method for i.r. determination of the degree of N-acetylation of chitosan. International Journal of Biological Macromolecules, 14(3), 166–169.

[21] Sánchez-González, L., Pastor, C., Vargas, M., Chiralt, A., González-Martínez, C., & Cháfer, M. (2010). Effect of hydroxypropylmethyl cellulose and chitosan coatings with and without bergamot essential oil on quality and safety of cold-stored grapes. Postharvest Biology and Technology, 60(1), 57–63.

[22] FreshPoint. (n.d.). Bananas ripeness scales [Photograph]. FreshPoint. https://www.freshpoint.com

[23] Taghizadeh, M., Gowen, A., & O'Donnell, C. P. (2009). Prediction of white button mushroom (*Agaricus bisporus*) moisture content using hyperspectral imaging. Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety, 3(4), 219–226.

[24] Van Loon, Peter & Swinkels, H.A.T.I. & Van Griensven, Leo. (2000). Dry matter content in mushrooms (*Agaricus bisporus*) as an indicator for mushroom quality. Science and Cultivation of Edible Fungi. 507-513.

[25] Yuan, Y., et al. (2018). "Cell Wall Composition and Water-Holding Properties of Edible Mushrooms." Carbohydrate Polymers, 194, 146-153.

[26] Huang, S., et al. (2019). "Postharvest Physiology and Quality of Mushrooms." Journal of Food Science and Technology, 56(5), 2211-2220.

[27] Aranaz, I., et al. (2009). Functional Characterization of Chitin and Chitosan. Current Chemical Biology, 3(2), 203-230.

[28] Synowiecki, J., & Al-Khateeb, N. A. (2003). Production, properties, and some new applications of chitin and its derivatives. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 43(2), 145-171.

[29] No, H. K., & Meyers, S. P. (1995). Preparation and characterization of chitin and chitosan. Journal of Aquatic Food Product Technology, 4(2), 27-52.

[30]. Ramos-De-La-Peña, A. M., et al. (2019). Chitin and chitosan production from *Agaricus bisporus*: Optimization and physicochemical characterization. Carbohydrate Polymers, 221, 168-175.

[31] Hamed, I., et al. (2016). Characterization and application of chitosan extracted from shrimp shells. Food Hydrocolloids, 58, 7-16.

[32] Prasad, K., & Sreerama, Y. N. (2019). Chitosan: A potential bioactive polymer. Carbohydrate Polymers, 218, 133-147.

[33] Rabea, E. I., Badawy, M. E. I., & Steurbaut, W. (2003). Chitosan as antimicrobial agent: Applications and mode of action. Carbohydrate Polymers, 54(4), 532-541.

[34] Sánchez-González, L., González-Martínez, C., Chiralt, A., & Cháfer, M. (2011). Chitosan-based edible films and coatings: A review. Food Research International, 44(4), 1097-1106.

[35] Muzzarelli, R. A. A., & Muzzarelli, C. (2008). Chitosan chemistry: Relevance to the biomedical sciences. Macromolecular Symposia, 262(1), 33-46.

[36] Sathyaruban, Sutharshiny & Shivatharsiny, Yohi & Kuganathan, Sivashanthini. (2019). Determination of Proximate Composition and Crude Yeild of Shrimp Shells (Peneaus Semisulcatus). 10.33422/2nd.icrset.2019.11.777.

Antioxidant Compounds from Spent Coffee Grounds (SCGs)

Packapong Thuthaisong[1], Apivich Likitlersuang[2], Sarana Vanichchinchai[3], Anyapat Tamarree[4], Yuwajuk Pinnakbud[5], Konchanok Sriyuttakrai[6], Vearraya Kamtarad[7], Kronghathai Raomanachai[8], Yanisa Kanongsri[9], Karantharat Sukata[10], Prinyasawad Techasombooranakit[4], Phanthiwa Khongharat[11], Chanpen Chanchao[11], and Preecha Phuwapraisirisan[1*]

[1]Center of Excellence in Natural Products, Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand
[2]King Mongkut's International Demonstration School
[3]Harrow International School Bangkok
[4]Mahidol University International School Demonstration School
[5]Saengthong Vitthaya School
[6]Little Lamb International Christian School
[7]Debsirinphukhaesaraburi School
[8]Ratwinit Bangkaeo School
[9]Montfort College Secondary School
[10]Kornpitacksuksa School
[11]Department of Biology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, 254 Phayathai Road, Bangkok, 10330, Thailand
** Corresponding author: preecha.p@chula.ac.th*

Abstract

Spent coffee grounds (SCGs) are a rich source of several bioactive compounds. In this study, we applied bioassay-guided isolation and successed in identifying the active components. All 7 subfractions isolated from ethyl acetate extract were evaluated for antioxidants against DPPH and ABTS. Subfraction SCG-EA2 potentially inhibited against DPPH and ABTS with IC_{50} values of 1.76 ± 0.14 and 1.56 ± 0.06 (mg/mL), tentative characterization of subfraction SCG-EA2 by ^{1}H-NMR analysis suggested that terpenoids are the major content in this subfraction.

Keywords: Spent Coffee Grounds / Bioassay Guided Isolation / Antioxidant Potential / Bioactive Compounds/ Solvent Extraction

1. Introduction

Coffee is one of the most consumed beverages worldwide aside from water being only after tea, with over billions of cups being brewed every day. This no doubt increases the presence of waste with over 15

million tons of spent coffee grounds (SCGs) generated annually from the brewing process alone. The sheer volume of SCGs produced presents a significant waste stream that often ends up in landfills and further contributes to the influx of waste in the world [4],[5]. The occupancy of these SCGs in landfills leads to the production of the greenhouse gas, methane gas which is several times more potent than even carbon dioxide. The emission of greenhouse gases along with the increase in waste means that an effective method of waste management is absolutely crucial for the mitigation of any negative impacts given off by this abundant by-product [1],[5].

Aside from SCGs, the other by-products of coffee such as coffee skins, pulp, and chaff are already being progressively recycled into value-added and useful products such as green packaging, bio-composites, and even car parts. In contrast, the by-product SCGs remains largely underutilized by companies despite their similar amounts of abundance and high chemical potential. SCGs have been known to retain high levels of antioxidants, terpenoids as well as residual caffeine even after brewing; these bioactive compounds have a heightened potential for high-value applications [1],[2].

These compounds in SCGs can be used for eco-friendly biofuels, natural cosmetics, nutraceuticals along with food additives as well. Research on the topic of coffee recycling has predominantly focused on recycling coffee skins and pulp, resulting in there being a significant gap in the recovery of SCGs and its utilization in a formal scientific scenario [4],[5].

This study aims to develop and bridge the gap and optimize sustainable extraction methods to isolate, study and prove the potency of antioxidant compounds resting inside of these untapped SCGs sources to find out which specific chemical compounds are responsible for their antioxidant properties. The research seeks to reduce environmental waste, greenhouse gas emissions and to utilize specific compounds derived from SCGs in the pharmaceutical field while generating new revenue streams for companies that pile up a lot of SCG waste. The findings of this research will support the integration of SCG upcycling into a more modern bio economy further incentivizing collaboration between many spheres of economy as well.

2. Objective

1. To elucidate the bioactive components from the spent coffee grounds

3. Scope of study

1. To extract and isolate constituents from the spent coffee grounds to evaluate the antioxidants and anti-tyrosinase inhibition.

4. Experiment

4.1 Plant Material

The spent coffee grounds (SCGs) were obtained from Nestle Thailand. A voucher specimen was deposited at the Natural Products Research Laboratory of Center of Excellence in Natural Products, Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

4.2 Extraction and Isolation

The spent coffee grounds (SCGs) (1.5 kg) were extracted with methanol (2 × 6 L, for 2 days) at room temperature and concentrated under reduced pressure to give an methanol extract (25.6g). The crude extract was subjected to liquid–liquid partition of the MeOH crude extract using hexane and ethyl acetate to give three fractions SCG-H, SCG-EA and SCG-MeOH, respectively. The silica gel column chromatographic fractionation of the SCG-EA fraction (18.2 g) was performed with hexanes/EtOAc (80: 20) to obtain fractions (EA1-EA7) Figure 1.

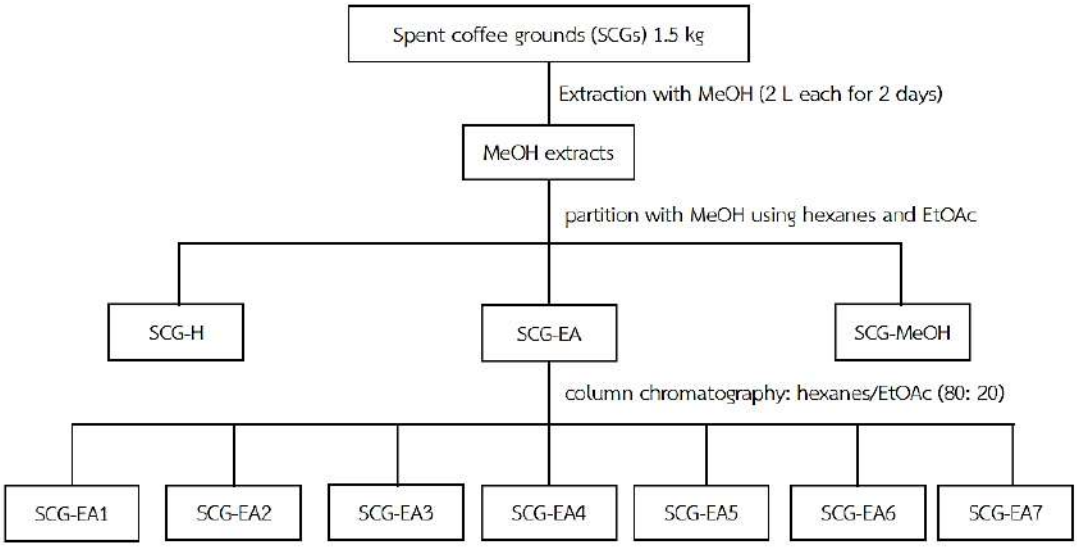


Figure 1 Chromatographic separation of spent coffee grounds extract.

4.3 General Experimental section

^{1}H NMR spectra were recorded on 500 MHz NMR spectrometers. The chemical shifts were reported in ppm as referenced to solvent residues ($CDCl_3$, δ_H 7.26 ppm). Chromatography was performed on a Sephadex LH-20, Merck silica gel (70-230 mesh) and TLC was performed on precoated Merck silica gel 60 F_{254} plates (0.25 mm thick layer).

4.4 Determination of the antioxidant capacity

4.4.1 The DPPH free radical scavenging activity assay

Described the potential of the partitioned extracts was determined as previously (Khongkarat et al., 2022). The sample were prepared with DMSO and dilute five different concentrations, 20 µL of the sample was mixed with 80 µL of 0.15 mM DPPH in MeOH for each concentration and incubated at room temperature for 30 min. Then, the absorbance was measured at a wavelength of 517 nm (A517) using a microplate reader. Ascorbic acid (vitamin C) was used as the positive control. Each assay was performed in triplicate. The free radical scavenging activity was calculated from Equation (1):

$$\% \text{ DPPH radical scavenging activity} = [(A-B)/(A)] \times 100, \quad (1)$$

Where; A is the A_{517} of the negative control and B is the A_{517} of the treatment. The % inhibition (Y axis) was plotted against the extract concentrations (X axis) and the effective concentration at 50% (EC_{50}) was obtained from the graph.

4.4.2 Determination of the trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC)

The TEAC assay followed the described method [6]. The stock solution of $ABTS^{\bullet+}$ was prepared via reacting 7 mM ABTS solution mixed 2.45 mM potassium persulphate solution in distilled water at a 1:1 (v/v) ratio in the dark at room temperature for 16 h before use. The $ABTS^{\bullet+}$radical solution was prepared by diluting the stock $ABTS^{\bullet+}$ solution (1 mL) mixed ethanol (35 mL) to get an absorbance at 734 nm (A734) of 0.700 ± 0.025 and further performed with, 0.3 mL of each partitioned extract at different concentrations dissolved in DMSO was mixed with 2.7 mL of the prepared $ABTS^{\bullet+}$ solution, keep in the dark 6 min and then the A734 was read. The percentage of inhibition was calculated according to Equation (2),

$$\% \text{ ABTS radical scavenging activity} = [(A-B)/(A)] \times 100, \quad (2)$$

Where; A is the A734 of the negative control and B is the A734of the treatment. The % inhibition (X axis) and the EC_{50} value was obtained from the graph and (Y axis) was plotted against the respective extract concentration the results were then compared with the Trolox standard curve (0-0.2 mM) and the results are expressed as mg/mL Trolox equivalents (TE)/g partitioned extract.

4.4.3 Determination of the total phenolic compounds (TPC)

The TPC of each partitioned extract was evaluated as previously reported [6]. First of all, Folin-Ciocalteu reagent was added 125 µL of 0.2 N with 25 µL of the diluted partitioned extract or gallic acid solution

in dimethyl sulfoxide (DMSO) and mixed for 5 min. The sodium carbonate solution 7.5% (w/v) 100 µL was added per well and incubated at room temperature for 2 h. in a 96-well plate.

4.4.4 Determination of the total flavonoids compounds (TFC)

The TFC of each partitioned extract was measured as previously described [6] based on the aluminium chloride ($AlCl_3$) colorimetric method but with adaptation for use in a 96 well microplate reader. In brief, the diluted partitioned extract solution dissolved with DMSO 25 µL was mixed with 100 µL of distilled water. Then, 7.5 µL of 5% (w/v) sodium nitrite solution was added and incubated at room temperature for 5 min. After that addition of 7.5 µL of 10% (w/v) $AlCl_3$. After 6 min of incubation at room temperature used 50 µL of 1 M sodium hydroxide was added and the absorbance at wavelength of 510 nm was measured. Each assay was performed in triplicate and The FC was expressed as mg of quercetin equivalents (QE)/g of partitioned extract using a standard graph for quercetin (0.1-1.0 mg/mL).

5. Result and discussion

5.1 The partitioned extracts of spent coffee grounds (SCGs)

After extraction spent coffee grounds (SCGs) with organic solvents from the lowest to the highest in polarity (hexane, ethyl acetate, and methanol) were obtained three crude extract and seven subfractions from ethyl acetate extract. These fractions were then under reduced pressure and weighed. The ethyl acetate extracts had the highest % inhibition of antioxidants and anti-tyrosinase. The ethyl acetate showed highest of TPC and TFC and exhibited strong antioxidants and ant-tyrosinase.

The fractions EA1-EA7 were obtained as dark brown gum. ^{1}H NMR spectrum of (SCG-EA1)-(SCG-EA7) displayed signals range upfield 0.5-2.7 ppm Figure 2. The above ^{1}H-NMR data suggested that the components of EA1 shown signals of olefinic proton at δ_H 4.2 (1H, d, J=2.0 Hz) δ_H 4.4 (1H, d, J=2.0 Hz) and δ_H 5.4 (m). The NMR spectrum showed that EA1 and EA2 were shown signals of significant components 0.5-5.4 ppm. Based on comparison with NMR spectrum EA1 compared with the spectrum EA2 observer the signals EA2 showed δ_H 5.6 (m) δ_H 6.0 (m), δ_H 6.1 (m), and δ_H 6.5 (m).

5.2 Determination of the TPC and FC

The TPC and TFC were determined from the calibration curves of gallic acid ($y = 7.5447x - 0.004$; $R^2 = 0.9975$) and quercetin ($y = 0.4651x + 0.0519$; $R^2 = 0.9781$), respectively, with the TPC and TFC of each extract shown in Tables 1 The effect of fractions on the TPC and TFC was significantly evident. The Fraction of ethyl acetate showed highest TPC and TFC of all fractions then followed extract of ethyl acetate, while the extract of hexanes had not showed amount of TPC and TFC. The fraction of EA reveals total phenolic compound between (273.55 ± 2.15 mg GAE/g extract) and total flavonoids displayed (374 ± 14.86 mg QE/g extract).

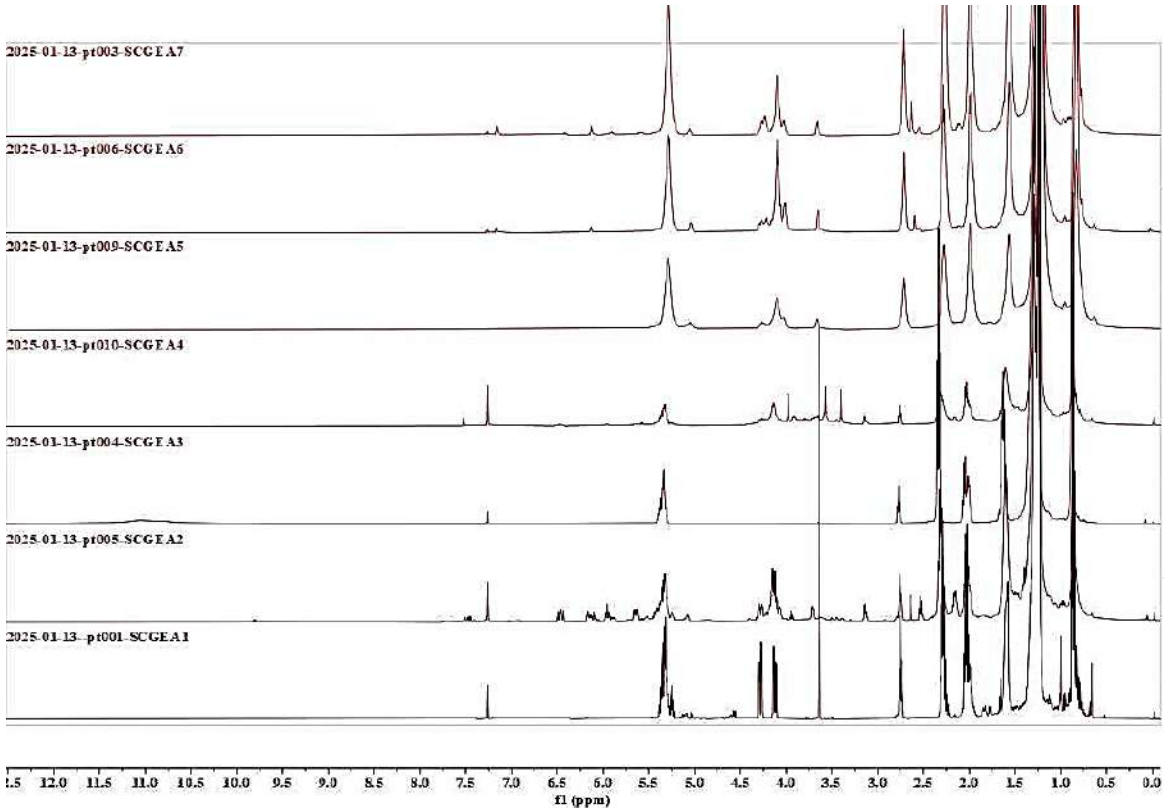


Figure 2 ^{1}H NMR spectra (500 MHz, $CDCl_3$) of fractions (SCG-EA1) –(SCG-EA7)

Table 1 The TPC and FC of the spent coffee grounds extracts

Sample	Total phenolic (mg GAE/ g extract)	Total flavonoids (mg QE/ g extract)
Hexanes extract from SCGs	ND	ND
EtOAc extract from SCGs	273.55 ± 2.15	374 ± 14.86
MeOH extract from SCGs	72.58 ± 0.60	248.41 ± 6.76

Notes. Data are shown as the mean ± 1SD derived from three replicates.

5.3 Antioxidant activity of the fractionation

The results of three fractions from hexanes, ethyl acetate and methanol with antioxidant assays shown in Table 2 along with that for ascorbic acid as the positive control for the DPPH and Trolox as the standard reference for the ABTS assays. The EC_{50} values ranged from 2.15 ± 1.00 to 0.14 ± 0.02 mg/mL. The fraction ethyl acetate showed a significantly strong DPPH radical scavenging ability (EC_{50} of 0.14 ± 0.02 mg/mL), while faction of ethyl acetate had the weakest DPPH scavenging capacity. Subfractions SCG-EA1 and SCG-EA2 of ethyl acetate extract reveals with EC_{50} values 1.87 ± 0.11 and 1.76 ± 0.14 mg/mL, respectively Figure 3.

For the ABTS assay, shown EC_{50} values Figure 3 ranged from > 1 to 0.20±0.01 mg/mL. The fraction of ethyl acetate showed a significantly strong ABTS radical scavenging ability (EC_{50} of 0.20±0.01 mg/mL). The subfractions SCG-EA1 and SCG-EA2 of ethyl acetate extract reveals with EC_{50} values 1.25 ± 0.25 and 1.56 ± 0.06, respectively.

Table 2 Antioxidant activity of the spent coffee grounds extracts.

Sample	DPPH EC_{50} (mg/mL)	ABTS EC_{50} (mg/mL)
Hexanes extract from SCGs	1.25 ± 1.00	> 1
EtOAc extract from SCGs	0.14 ± 0.02	0.20 ± 0.01
MeOH extract from SCGs	0.48 ± 0.05	0.63 ± 0.06

Notes. Data are shown as the mean ± 1SD derived from three replicates.

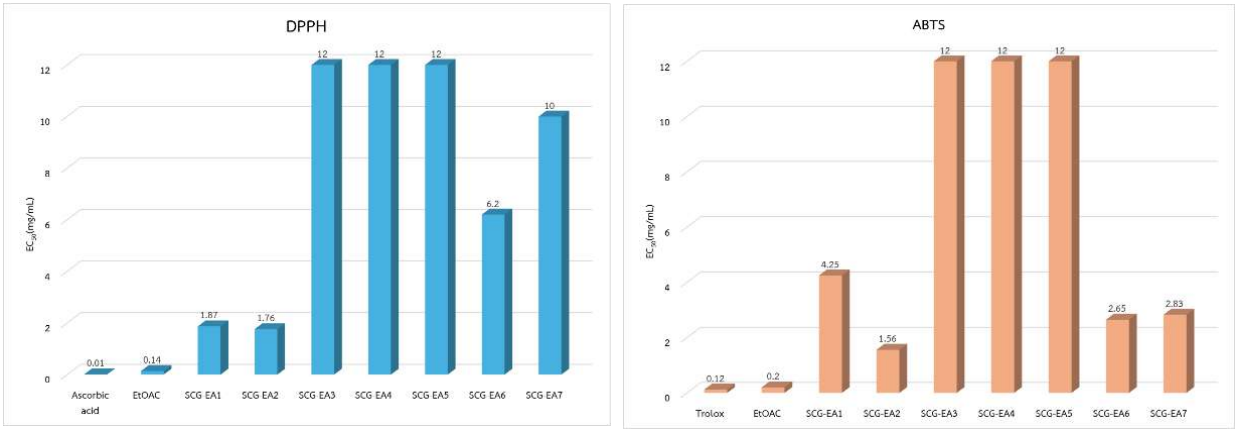


Figure 3 Antioxidant activity of the EtOAc and subfractions

5.4 Determination of chemical components by NMR

To gain insight into chemical components in 7 subfractions obtained after chromatographic separation of EtOAc extract, ^{1}H NMR spectra of (SCG-EA1)-(SCG-EA7) were recorded (Figure 2). All subfractions showed similar spectra pattern, except for subfractions SCG-EA1 and SCG-EA2. ^{1}H NMR spectra of SCG-EA1 and SCG-EA2 revealed the signals essentially typical to fatty acid containing unsaturations (δ_H 5.3-5.5 ppm). In addition to unsaturated fatty acid, subfraction SCG-EA2 also contained phenolic compounds as minor components, which can be observed from a series of multiple signals in range of 5.6-6.5 ppm.

6. Conclusion

Spent coffee grounds (SCGs) had promising antioxidant activity, which were correlated to the highest TPC and TFC. Bioassay-guided fractionation of ethyl acetate extract, the highest active extract, led to 7 subfractions (SCG-EA1) -(SCG-EA7); two of them SCG-EA1 and SCG-EA2 were identified as the most active antioxidant subfractions. 1H NMR analysis demonstrated that unsaturated fatty acids are likely to be the major components.

Reference

[1] Lee, Y.-G.; Cho, E.; Maskey, S.; Nguyen, D.-T.; Bae, H.-J. Value-Added Products from Coffee Waste: A Review. *Molecules* 2023, *28* (8), 3562–3562. https://doi.org/10.3390/molecules28083562.

[2] Markos Makiso Urugo; Tola, Y. B.; Onwuchekwa Ogah; Fitsum Liben Endale. Bioactive Compounds in Coffee and Their Role in Lowering the Risk of Major Public Health Consequences: A Review. *Food Science and Nutrition* 2023. https://doi.org/10.1002/fsn3.3848.

[3] Kanokwan, K.; Thananya, N.; Pimporn, L. Evaluation of Antioxidant and Anti-Tyrosinase Activities as Well as Stability of Green and Roasted Coffee Bean Extracts from Coffea Arabica and Coffea Canephora Grown in Thailand. *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy* 2016, *8* (10), 182–192. https://doi.org/10.5897/jpp2016.0413.

[4] Engel, D. *Coffee Waste and the Environment: Grounds for Concern*. STiR Coffee and Tea Magazine | Global Business Insight on Coffee and Tea. https://stir-tea-coffee.com/tea-coffee-news/coffee-waste-and-the-environment-grounds-for-concern/.

[5] Johnson, K.; Liu, Y.; Lu, M. A Review of Recent Advances in Spent Coffee Grounds Upcycle Technologies and Practices. *Frontiers in Chemical Engineering* 2022, *4*. https://doi.org/10.3389/fceng.2022.838605.

[6] Phanthiwa Khongkarat; Preecha Phuwapraisirisan; Chanpen Chanchao. Phytochemical Content, Especially Spermidine Derivatives, Presenting Antioxidant and Antilipoxygenase Activities in Thai Bee Pollens. *PeerJ* 2022, *10*, e13506–e13506. https://doi.org/10.7717/peerj.13506.

ศึกษาประสิทธิภาพของยีสต์ธรรมชาติจากหัวเชื้อหมักพืชสมุนไพรต่อคุณภาพแป้งพิซซา

วิชญมาส ด่านกุล*, ธนพิชฌน์ จันทร์เด่นดวง, และสราวีย์ เมธาพิทักษ์นนท์

โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รังสิต ตำบลคลองสี่ อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
* Corresponding author: wichayamastkate@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของน้ำหมักสมุนไพรในการพัฒนาเชื้อยีสต์ธรรมชาติ สำหรับใช้เป็น sourdough starter ในการผลิตแป้งพิซซาเพื่อสุขภาพ เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ โดยเลือกใช้พืชสมุนไพรที่หาได้ง่าย มีทุกฤดูกาล ได้แก่ เหง้าขิง เหง้าข่า ใบตะไคร้ ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และดอกเก๊กฮวย หมักร่วมกับน้ำและน้ำผึ้งภายใต้สภาวะควบคุมเป็นเวลา 3, 5 และ 7 วัน และวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทุก 24 ชั่วโมง พบว่าค่า pH ลดลงตามระยะเวลาหมัก น้ำหมักที่ได้ถูกนำมาเลี้ยงยีสต์ธรรมชาติร่วมกับแป้งสาลีไม่ฟอกสีในอัตราส่วน 1:1 และนำมาเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อยีสต์ในอัตราส่วน 1:1:1 วัดความสูงของเนื้อแป้งในช่วง 7 วัน พบว่าน้ำหมักจากดอกเก๊กฮวยที่หมัก 3 วันให้ผลการพองตัวของแป้งสูงสุด และถูกเลือกเป็น sourdough starter เพื่อพัฒนาแป้งพิซซา โดยศึกษาสัดส่วนการใช้ในระดับ 5, 10, 15, 20 และ 25 กรัม ต่อแป้งขนมปัง 30 กรัม พบว่า ปริมาณ 15 กรัมให้การกระจายตัวของฟองอากาศในแป้งสมดุลที่สุด และความสูงของเนื้อแป้งใกล้เคียงชุดควบคุมมากที่สุด เมื่อปรับสูตรแป้งพิซซาโดยใช้แป้งสาลีไม่ฟอกสีชนิดปราศจากกลูเตนร่วมกับแป้งโฮลวีทในอัตราส่วน 4:1 พบว่า สูตร T1 ซึ่งใช้ส่วนผสมเดิมให้ค่าความยืดหยุ่นสูงสุดคือ 16.29 MPa ใกล้เคียงกับชุดควบคุม (19.41 MPa) แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของการใช้ sourdough starter จากน้ำหมักสมุนไพรในการผลิตแป้งพิซซาเพื่อสุขภาพและเพิ่มมูลค่าสมุนไพรไทย

คำสำคัญ: ยีสต์ธรรมชาติ / น้ำหมัก / กลูเตน / Sourdough starter / แป้งโฮลวีท

The Effectiveness of natural Yeast from Fermented Herbal Starters on the Quality of Pizza Dough

Wichayamast Dankul*, Thanapit Chandenduang, and Sarawee Methapitaknon

Suankularbwittayalai Rangsit School, Khlong Luang, Pathum Thani, Thailand.
* Corresponding author: wichayamastkate@gmail.com

Abstract

The purpose of this study is to explore the potential of herbal fermented extracts in developing natural yeast for used as a sourdough starter in the production of healthy pizza dough. Readily available herbs and available in every season were selected, including ginger rhizomes, galangal rhizomes, lemongrass leaves, butterfly pea flowers, roselle flowers, and chrysanthemum flowers. These herbs were fermented with water and honey under controlled conditions for 3, 5, and 7 days, with pH levels measured every 24 hours. The results showed a decrease in pH over the fermentation period. The fermented extracts were then used to culture natural yeast with unbleached wheat flour in a 1:1 ratio and served as a yeast nutrient in a 1:1:1 ratio. The dough height was measured over a 7-day period. Among all samples, the extract from chrysanthemum flowers fermented for 3 days yielded the highest dough rise and was selected as the sourdough starter for further development. Different amounts of the starter (5, 10, 15, 20, and 25 grams per 30 grams of bread flour) were tested. The 15 grams proportion provided the most balanced air bubble distribution and the dough height closest to the control group. When the pizza dough formula was adjusted using a gluten-free unbleached wheat flour mixed with whole wheat flour in a 4:1 ratio, it was found that formula T1, which used the original starter, achieved the highest elasticity value of 16.29 MPa, which was close to the control group (19.41 MPa)

These findings demonstrate the suitability of using herbal fermented extract as a sourdough starter for healthy pizza dough production and highlight its potential to add value to Thai herbs.

Keywords: Natural yeast / Fermented extract / Gluten / Sourdough starter / Whole wheat flour

1. บทนำ

ด้วยสถานการณ์ที่เร่งรีบในปัจจุบันทำให้เวลาในแต่ละวันหมดไปกับการทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน เช่น การเรียน การทำงานและเดินทาง เป็นต้น ดังนั้นอาหารที่รับประทานจึงเป็นประเภทที่มีความสะดวกและรวดเร็ว อาหารประเภทฟาสต์ฟู้ดจึงได้รับความนิยมมากขึ้นและหนึ่งในอาหารเหล่านั้นคือ พิซซา การทำพิซซาในปัจจุบันมีการนำแป้งพิซซาสำเร็จรูปมาใช้มากขึ้น เสี่ยงต่อการปนเปื้อนของวัตถุกันเสียส่งผลต่อการเกิดโรคต่าง ๆ ได้ อีกทั้งแป้งที่ใช้ผ่านการปรุงแต่งให้ขาวโดยการฟอกสีทำให้วิตามินและเกลือแร่ถูกกำจัดออกไป [1] การทำแป้งพิซซาเพื่อสุขภาพเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ลดความเสี่ยงในการก่อโรค เป็นผลดีต่อสุขภาพมากขึ้นจะสามารถตอบสนองผู้บริโภคในยุคปัจจุบันได้

พิซซาจัดอยู่ในหมวดเดียวกับขนมปังแบบ flat bread หรือขนมปังที่มีลักษณะเนื้อแน่นแผ่นแบน ตกแต่งหน้าด้วยชีส เนื้อสัตว์ ซอสมะเขือเทศและเครื่องเคียงต่าง ๆ มีส่วนประกอบหลักคือ แป้งสาลีหรือแป้งขนมปังที่ให้ความเหนียวนุ่มยืดหยุ่น น้ำตาลเพิ่มความหวานและเก็บความชื้น เกลือช่วยให้รสชาติและกลิ่นของแป้งเด่นชัดแต่ใส่ปริมาณมากจะชะลอการทำงานของยีสต์ น้ำมันพืชช่วยให้เกิดความอ่อนนุ่ม ให้กลิ่นและรสที่ดีและช่วยในการกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้น โดยทำให้กลูเตนมีความแน่นจนอากาศเข้าไม่ได้ ก้อนแป้งจะยอมให้ก๊าซแพร่กระจายและขยายตัวได้ดี ทำให้ขนมปังมีปริมาตรเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้เนื้อไม่แน่นและไม่ขึ้นฟู น้ำช่วยในการรวมตัวของโปรตีนในแป้งสาลีเกิดเป็นกลูเตน ที่จะเปลี่ยนเป็นโดที่มีความนุ่ม ยืดหยุ่นดี ช่วยควบคุมความหนืดและอุณหภูมิของโดให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้เกิดก๊าซในกระบวนการหมัก ช่วยละลายส่วนผสมอื่น ๆ เช่น เกลือ น้ำตาล เมื่อเข้าอบ น้ำมีส่วนทำให้กลูเตนเกิดการขยายตัว และเปลี่ยนสภาพจากดิบเป็นสุกทำให้แป้งเกิดโครงร่าง และคงรูปไว้ได้ ยีสต์ทำให้เกิดการสร้างก๊าซภายในโด ปรับสภาพโดให้เหมาะสมและให้กลิ่นรส ยีสต์จะเริ่มเจริญเติบโตเมื่อ มีน้ำและอากาศจากการผสม มีอาหารคือน้ำตาลและสารอาหารอื่น ๆ จากโด ทำให้ยีสต์เพิ่มจำนวนมากขึ้น เอนไซม์ต่าง ๆ ในยีสต์จะแปรสภาพสารอาหารโดยเฉพาะน้ำตาลให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์ [2]

ยีสต์ (Yeast) เป็นจุลินทรีย์ที่มีมนุษย์นำมาใช้ประโยชน์มานานตั้งแต่ปลายศตวรรษที่ 18 จากคุณสมบัติที่ยีสต์สามารถเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างรวดเร็ว [3] ยีสต์เป็นโปรตีนเซลล์เดียวที่มีคุณภาพสำหรับใช้เป็นแหล่งโปรตีนทั้งในอาหารคนและอาหารสัตว์ [4] พบทั่วไปในธรรมชาติทั้งในดิน น้ำ หรือในส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยเฉพาะแหล่งที่มีน้ำตาลเข้มข้นสูง เช่น น้ำผลไม้ที่มีรสหวาน ยีสต์ต้องการสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันตามแต่ละชนิด ยีสต์พวก Saccharomyces เจริญได้ดีในที่ที่มีน้ำตาล เช่น น้ำหวานของดอกไม้ ตามผิวของผลไม้ ผลไม้สุกงอม ในน้ำผลไม้ที่เกิดการหมัก เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถพบยีสต์ได้ในผักดอง ผลไม้ดอง และอาหารหมัก โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ได้แก่ สารอาหาร อุณหภูมิ พีเอช ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ [5] ยีสต์สามารถเติบโตได้โดยการย่อยอาหารและเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการหมัก เนื่องจากชอบอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตหรือน้ำตาลในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ขนมปัง และแอลกอฮอล์ โดยการย่อยน้ำตาล และเปลี่ยนอาหารนั้น ๆ ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และสามารถเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ได้หากใช้เวลาที่มากเพียงพอ ดังนั้นเมื่อเราอบขนมปังที่มีการใส่ยีสต์เป็นส่วนผสมลงไป ยีสต์จะหมักน้ำตาลในแป้งและปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา [6] เนื่องจากแป้งมีความยืดหยุ่นสูงทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถหลบหนีได้ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จึงทำให้เกิดการขยายตัว หรือทำให้แป้งพองตัวมีขนาดขยายใหญ่ขึ้นนั่นเอง

ยีสต์ธรรมชาติ (Natural Yeast) เกิดจากกระบวนการหมักบ่มผักผลไม้ รวมถึงปฏิกิริยาของแป้งดิบที่ถูกทิ้งค้างไว้ในอุณหภูมิห้อง ซึ่งมักเกิดฟองอากาศเล็ก ๆ ทำให้เนื้อแป้งที่ผ่านความร้อนนิ่มฟูขึ้น สมัยก่อนจะเลี้ยงยีสต์ด้วยแป้งและน้ำ หลังกระบวนการเพาะเลี้ยงยีสต์จะได้แป้งข้นเหลวที่เต็มไปด้วยฟองอากาศ ใช้สำหรับเป็นสตาร์ทเตอร์ในการทำขนมปัง หรืออาจใช้ผลไม้แทนแป้งในการหมักเพาะเลี้ยงยีสต์ ยีสต์ธรรมชาติมีคุณสมบัติต่างจากยีสต์สกัด ด้วยกระบวนการหมักยีสต์ธรรมชาติ ช่วยสลายโครงสร้างกลูเตนในแป้งให้น้อยลง ดีต่อกระบวนการย่อยอาหาร นอกจากนั้น อาหารที่ทำจากยีสต์ธรรมชาติยังอุดมด้วยพรีไบโอติก ซึ่งช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่ายกาย ช่วยให้ระบบเผาผลาญทำงานได้ดี และในระยะยาวยังช่วยป้องกันโรคมะเร็งโรคทางสมอง และอีกหลายโรค [7]

ชาวโดวจ์ (Sourdough) เป็นทั้งชื่อขนมปังและเป็นทั้งหัวเชื้อตั้งต้นทำขนมปังอื่น ๆ หรือ Sauerteig ในภาษาเยอรมัน แปลว่า แป้งเปรี้ยว หรือ Leavain ในภาษาฝรั่งเศส แปลว่า หัวเชื้อ ชาวโดวจ์ เป็นขนมปังแบบโบราณที่ให้รสชาติและเนื้อสัมผัสเป็น

เอกลักษณ์ต่างจากขนมปังแบบธรรมดา [8] การทำขนมปังซาวโดวจ์ใช้หัวเชื้อที่เป็นยีสต์ธรรมชาติซึ่งพบได้แทบทุกที่ โดยผสมแป้งและน้ำเข้าด้วยกัน จากนั้นบ่มประมาณหนึ่งสัปดาห์ หรือมากกว่านั้น โดยการตักแป้งบางส่วนที่ยีสต์ใช้แล้วออกแล้วเติมแป้งเพิ่มเข้าไปใหม่เป็นระยะ [9] เพื่อเป็นอาหารสำหรับยีสต์ที่เพิ่มจำนวนขึ้น บางสูตรมีการนำส่วนผสมอื่นมาหมักเป็นหัวเชื้อแทนแป้ง รายงานจาก One Nielsen พบว่ายอดขาย sourdough ในอเมริกาสูงถึง 325.9 ล้านดอลลาร์ในปี 2019 ประโยชน์ของขนมปังซาวโดวจ์ ที่ดีต่อสุขภาพมากกว่าขนมปังขาวทั่วไปที่ก่อให้เกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ ขนมปังซาวโดวจ์เป็นหนึ่งในขนมปังที่แปรรูปน้อยที่สุดชนิดหนึ่งสามารถรับประทานแล้วเป็นแหล่งพรีไบโอติกลำไส้ทำให้ขับถ่ายได้สะดวก ย่อยง่ายกว่าขนมปังทั่วไป ร่างกายดูดซึมสารอาหารได้มากขึ้น ขนมปังซาวโดวจ์มีสารต้านอนุมูลอิสระช่วยส่งเสริมสุขภาพผู้บริโภคได้ เช่น มีแบคทีเรียบางชนิดในหัวเชื้อผลิตเปปไทด์ลูนาซิน (Lunasin) ซึ่งมีคุณสมบัติยับยั้งเซลล์มะเร็งแม้ว่าจุลินทรีย์จะตายด้วยความร้อนระหว่างการอบแต่สิ่งที่จุลินทรีย์ในซาวโดวจ์ผลิตคือสารพรีไบโอติกส์ (Prebiotics) ทำให้ระบบการย่อยอาหารและการขับถ่ายดีขึ้น [10]

การหมัก (Fermentation) คือ กระบวนการแปลงสภาพทางชีวเคมี เพื่อให้วัตถุดิบเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยอาศัยการทำงานของเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมัก เช่น ไวน์ เบียร์ ซีอิ้ว เต้าเจี้ยว ยาปฏิชีวนะ เอทานอล กรดซิตริก เป็นต้น ในกระบวนการหมักต้องอาศัยสิ่งมีชีวิตซึ่งเรียกว่า จุลินทรีย์ (Microorganisms) ซึ่งมีมากมายหลายชนิด อาศัยอยู่ทั่วไปทั้งในดิน น้ำ อากาศ [11]

แป้งโฮลวีท (Whole Wheat) คือ แป้งสาลีไม่ขัดขาว โม่จากข้าวสาลีทั้งเมล็ด เนื้อแป้งเป็นสีน้ำตาลมีเยื่อหุ้มเมล็ดและจมูกข้าวครบถ้วน จับแล้วสากมือ ไม่เนียนเหมือนแป้งขัดขาว มักพบแป้งโฮลวีทในรูปของขนมปังสีน้ำตาลที่เรียกว่า 'ขนมปังธัญพืช' หรือพาสต้าบางชนิดที่มีสีน้ำตาล แป้งโฮลวีทมีคุณค่ากว่าแป้งสาลีขัดขาว อุดมด้วยวิตามิน แร่ธาตุ และเส้นใย (Fiber) เมื่อรับประทานจะทำให้อิ่มนาน เหมาะกับผู้เป็นโรคอ้วน หรือผู้ที่กำลังควบคุมน้ำหนัก ช่วยให้ขับถ่ายสะดวก และดีต่อระบบต่าง ๆ ในลำไส้ [12]

กลูเตน (Gluten) เป็นโปรตีนหลักที่มีอยู่ในแป้งสาลีและมีส่วนสำคัญในการกักเก็บก๊าซเอาไว้ภายในโครงสร้างของขนมปัง ทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมปังมีการพองตัวและมีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค กลูเตนคือส่วนประกอบที่สำคัญในกระบวนการผลิตขนมอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ขนมปัง ซึ่งจำเป็นต้องใช้แป้งสาลีที่มีกลูเตนสูงในการผลิต ในปัจจุบัน พบว่ามีผู้บริโภคที่เป็นโรคภูมิแพ้กลูเตน (Celiac Disease) จำนวนมากซึ่งเป็นโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบการย่อยที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้น จึงมีแนวโน้มที่ผู้บริโภค ต้องการผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากกลูเตนหรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งชนิดอื่นทดแทนการใช้แป้งสาลีมากยิ่งขึ้น [13]

ขิง (*Zingiber officinale* Roscoe) เป็นที่รู้จักทั่วไปว่าเป็นพืชที่สำคัญในครัวเรือน ซึ่งมีกลิ่นฉุนและรสเผ็ด สมัยโบราณมีการนำขิงมาใช้ในการรักษาโรค เช่น อาการข้ออักเสบ รูมาตอย ปวดกล้ามเนื้อ ไอเจ็บคอ ความดันโลหิตสูง โรคติดเชื้อ โรคทางระบบประสาท โรคเหงือกอักเสบ ปวดฟัน หอบหืด เบาหวาน และขิงยังเป็นยาสามัญประจำบ้านในการรักษาโรคกระเพาะเช่น อาหารไม่ย่อย ท้องอืด ท้องเฟ้อ คลื่นไส้ อาเจียน [14]

ข่า (*Alpinia galanga* (L.) Willd) เป็นไม้ล้มลุก สูงประมาณ 1.5 – 2 เมตร มีลำต้นใต้ดินเรียกว่าเหง้า มีข้อและปล้องชัดเจน เลื้อยขนานพื้นดินและแตกแขนงเป็นแง่ง เหง้าหัวมีขนาดใหญ่สีขาว ลำต้นเทียมเหนือดินคือส่วนของกาบใบที่หุ้มซ้อนทับกันเนื้อในสีเหลืองและมีกลิ่นหอมเฉพาะ เหง้าหรือลำต้นใต้ดิน รสเผ็ดร้อนขม แก้อาการท้องอืด ท้องเฟ้อ ขับลมในลำไส้ แก้มวนท้อง ขับลมในสตรีหลังคลอดบุตร ใช้ภายนอกรักษาอาการคันในโรคลมพิษ ช่วยย่อยอาหาร แก้บิด แก้ลมพิษ แก้โรคปวดบวมตามข้อ หลอดลมอักเสบ มีฤทธิ์กดหัวใจ กระตุ้นการหายใจ กดการหายใจ กระตุ้นการหายใจในเด็กและเป็นยาธาตุ [15]

ตะไคร้ (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) เป็นไม้ล้มลุกประเภทหญ้า สูงประมาณ 0.7 – 1.0 เมตร เหง้าใต้ดิน มีกลิ่นเฉพาะ ลำต้นเป็นกอ มีข้อเห็นชัดเจน ข้อและปล้องสั้นมาก ใบ เป็นใบเดี่ยวแคบยาว กว้าง 1 - 2 ซม. ยาว 70 - 100 ซม. ลักษณะใบรูปใบหอกแกมรูปไข่หรือรูปขอบขนาน ขอบใบเรียบสากคม มีขนเล็กน้อย ปลายใบเรียวยาว แหลม โคนใบสอบเรียวเป็นกาบซ้อนกัน กาบใบสีขาวนวลหรือขาวปนม่วง แผ่นใบสีเขียว มีเส้นใบขนานตามยาว มีกลิ่นหอมเฉพาะใช้เป็นยาขับลม แก้ท้องอืดเฟ้อ แน่นจุกเสียดใบสดใช้เป็นยาช่วยลดความดันโลหิต และแก้ไข้ [15]

กระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa* L.) เป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก สูง 1 - 2 เมตร ดอกเป็นดอกเดี่ยวเกิดตามซอกใบ โคนกลีบด้านในมีสีม่วงแดง กลีบเลี้ยงขยายใหญ่ หนาและแข็ง สีแดงเข้ม สามารถบริโภคได้ทั้งใบและกลีบเลี้ยง ใบมีรสเปรี้ยว ละลายเสมหะ

กระตุ้นการไหลเวียนโลหิต แก้ไอ มีเบต้าแคโรทีนช่วยบำรุงสายตา กลีบเลี้ยงมีสรรพคุณแก้ความดันโลหิตสูง ขับปัสสาวะ แก้ไออุดมไปด้วยวิตามินเอและซี แคลเซียม เหล็ก riboflavin niacin sabdaretine และสารแอนโทไซยานิน ช่วยลดโอกาสการเกิดมะเร็งและยับยั้งเนื้องอก สามารถช่วยส่งเสริมการทำงานของเม็ดเลือดแดง ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในผู้ป่วยโรคเบาหวาน ช่วยชะลอการอุดตันในหลอดเลือด ลดภาวะเสี่ยงในการเป็นโรคหัวใจ เสริมภูมิคุ้มกันในร่างกายและชะลอความเสื่อมของเซลล์ [14]

อัญชัน (*Clitoria ternatea* L.) เป็นไม้ล้มลุกพันเลื้อย กลีบดอกมีสีน้ำเงินเข้ม กลางดอกมีสีเหลือง รูปทรงคล้ายหอยเชลล์ มีปริมาณสารแอนโทไซยานินรวมสูง ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารสกัดจากดอกอัญชัน เช่น กระตุ้นการไหลเวียนโลหิต ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านเชื้อแบคทีเรีย ลดระดับน้ำตาลในเลือด ต้านการเกาะกลุ่มของเกล็ดเลือด กระตุ้นการงอกของเส้นผม [16]

เก๊กฮวย (*Chrysanthemum indicum* L.) เป็นดอกไม้ตระกูลเดียวกับเบญจมาศ ที่มีสรรพคุณในการต้านการอักเสบ ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ [17] สารสำคัญที่พบในดอกเก๊กฮวยมักเป็นสารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ และเทอร์พีนอยด์ เป็นต้น ดอกเก๊กฮวย มีสารพวกฟลาโวนอยด์, สารไครแซนทีมิน, สารอดีนีน, สตาไคดวีน, โคลีน, กรดอะมิโน และน้ำมันหอมระเหยที่ช่วยรักษาและป้องกันโรคเส้นเลือดหัวใจตีบ ช่วยขยายหลอดเลือด ลดการเกิดภาวะหัวใจล้มเหลว [18]

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยสนใจทดลองหมักพืชสมุนไพรแทนผลไม้เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อในการเลี้ยงยีสต์ธรรมชาติสำหรับทำแป้งพิซซา โดยใช้พืชสมุนไพรที่มีในทุกฤดูกาล หาง่าย สี กลิ่นเป็นที่น่าดึงดูดเหมาะกับการทำอาหารประเภทพิซซาได้ และปรับสูตรส่วนผสมของแป้งพิซซาให้มีคุณสมบัติด้านกายภาพคือค่าสี ความยืดหยุ่น ฟองอากาศในเนื้อขนมปัง ใกล้เคียงกับแผ่นสำเร็จรูปทั่วไปได้มากที่สุดและปรับส่วนผสมที่มีคุณสมบัติส่งผลดีต่อสุขภาพเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการ ส่งเสริมมูลค่าของสมุนไพรใกล้ตัวและเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ด้านอาหารให้แก่ผู้บริโภคได้ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหาค่า pH ในน้ำหมักสมุนไพรทั้ง 6 ชนิดที่ส่งผลต่อการการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ธรรมชาติ (ยีสต์)
2. ผลิตยีสต์ธรรมชาติจากพืชสมุนไพรสำหรับทำแป้งพิซซาเพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการและเพิ่มมูลค่าพืชสมุนไพร
3. หาสูตรที่เหมาะสมสำหรับทำแป้งพิซซาเพื่อสุขภาพด้วยยีสต์ธรรมชาติจากพืชสมุนไพร

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาประสิทธิภาพของยีสต์ธรรมชาติจากหัวเชื้อหมักพืชสมุนไพรต่อคุณภาพแป้งพิซซามีขอบเขตของการศึกษาดังนี้ ใช้สมุนไพร 6 ชนิด ได้แก่ เหง้าขิง เหง้าข่า ใบตะไคร้ ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และดอกเก๊กฮวย ในกระบวกการหมัก ศึกษากระบวนการเกิดยีสต์ธรรมชาติที่ใช้แป้งแป้งสาลีไม่ฟอกขาวดำเนินการร่วมกับน้ำหมักจากพืชสมุนไพร ศึกษากระบวนการทำแป้งพิซซาแบบเนื้อแป้งหนานุ่มและคุณภาพของแป้งพิซซา

4. วิธีการศึกษา

4.1 ศึกษาประสิทธิภาพของยีสต์ธรรมชาติที่ได้จากการหมักพืชสมุนไพร

การเพาะเลี้ยงยีสต์ธรรมชาติ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ (i) ทำน้ำหมักสมุนไพรจากพืชสมุนไพรจากพืช 6 ชนิดได้แก่ เหง้าขิง เหง้าข่า ใบตะไคร้ ดอกอัญชัน ดอกกระเจี๊ยบ และดอกเก๊กฮวย ใช้น้ำร่วมกับน้ำผึ้ง อัตราส่วน น้ำ 500 มิลลิลิตรต่อน้ำผึ้ง 30 กรัม พืชสมุนไพร 1 ถ้วยตวง ระยะการหมัก 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน วัดค่า pH ทุก 24 ชั่วโมง บันทึกผล (ii) เพาะเลี้ยงยีสต์ในขวดแก้ว ใช้น้ำและน้ำหมักจากพืชสมุนไพร 6 ชนิดระยะเวลา 3 วัน 5 วัน และ 7 วัน โดยทำการเพาะเลี้ยงยีสต์ร่วมกับแป้งสาลีไม่ฟอกสี ในอัตรา 1: 1 โดยน้ำหนัก หลัง 24 ชั่วโมง เพาะเลี้ยงยีสต์ต่อด้วยเชื้อยีสต์เดิม น้ำหรือน้ำหมัก และแป้งสาลีไม่ฟอกสี อัตรา 1: 1 :1 โดยน้ำหนัก ให้อาหารยีสต์ทุก 24 ชั่วโมง วัดระดับความสูงของเนื้อแป้งหลังให้อาหารยีสต์ 12 ชั่วโมง บันทึกผล ระยะเพาะเลี้ยง 172 ชั่วโมง ทำการเลือกยีสต์โดยพิจารณาจากชุดการทดลองที่มีระดับความสูงของเนื้อแป้งมากที่สุด เกิดการขยายตัวของเนื้อแป้งได้ดี รวดเร็ว นำมาปรับปริมาณยีสต์ใช้ทำแป้งพิซซาโดยผสมแป้งขนมปัง 30 กรัม น้ำอุ่น 10 มิลลิลิตร น้ำมันพืช 3 มิลลิลิตร น้ำตาลทราย 1.75 กรัม เกลือ 0.25 กรัม ยีสต์ 5,10,15,20,25 กรัม รวม 5 ชุดการทดลอง ใช้ความร้อนในการอบที่ 180

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที เลือกปริมาณยีสต์ที่มีผลต่อขนาดและการกระจายของฟองอากาศได้อย่างสมดุลใกล้เคียงกับแผ่นแป้งพิซซาสำเร็จรูปทั่วไปมากที่สุด ในขั้นตอนสุดท้ายทดลองปรับส่วนผสมในการทำแป้งพิซซาเพื่อสุขภาพ สูตรที่ 1 (T1) ใช้แป้งสาลีไม่ฟอกสีชนิดปราศจากกลูเตน 22.5 กรัม แป้งโฮลวีท 7.5 กรัม น้ำอุ่น 10 มิลลิลิตร น้ำมันพืช 3 มิลลิลิตร น้ำตาลทราย 1.75 กรัม เกลือ 0.25 กรัม สูตรที่ 2 (T2) ใช้แป้งสาลีไม่ฟอกสีชนิดปราศจากกลูเตน 22.5 กรัม แป้งโฮลวีท 7.5 กรัม นมจืด 10 มิลลิลิตร น้ำมันพืช 3 มิลลิลิตร น้ำตาลทราย 1.75 กรัม เกลือ 0.25 กรัม และสูตรที่ 3 (T3) ใช้แป้งสาลีไม่ฟอกสีชนิดปราศจากกลูเตน 22.5 กรัม แป้งโฮลวีท 7.5 กรัม น้ำอุ่น 10 มิลลิลิตร น้ำมันพืช 3 มิลลิลิตร น้ำผึ้ง 1.75 กรัม เกลือ 0.25 กรัม ทดสอบคุณภาพด้านกายภาพของแผ่นแป้งพิซซาโดยวัดขนาดแผ่นแป้งพิซซาด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ วัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี (colorimeter) และความยืดหยุ่นด้วยเครื่องทดสอบแรงบีบอัด เปรียบเทียบกับแผ่นแป้งพิซซาสำเร็จทั่วไป

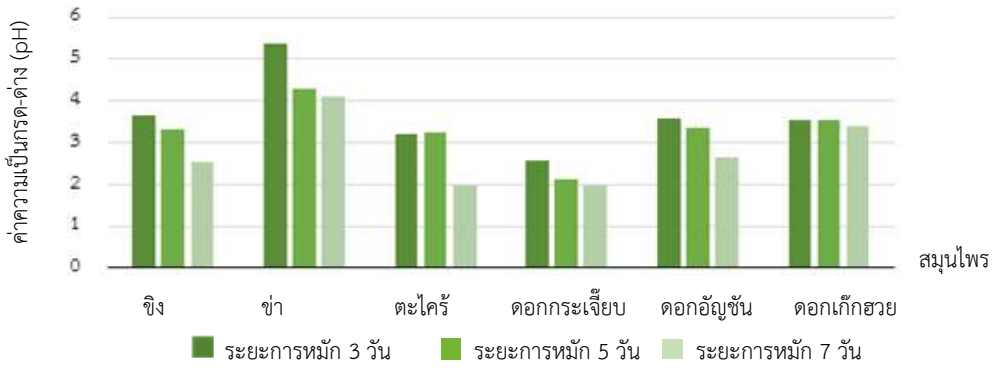
4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ผลการศึกษาถูกนำเสนอข้อมูลด้วยรูปภาพกราฟ แผนภูมิแท่ง และตาราง โดยใช้ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลด้วยการคำนวณผ่าน Microsoft Excel 2021 ในฟังก์ชัน AVERAGE และ STDEV ตามลำดับ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษาการผลิตน้ำหมักพืชสมุนไพร ทั้ง 6 ชนิด และวัดค่า pH จากการหมัก

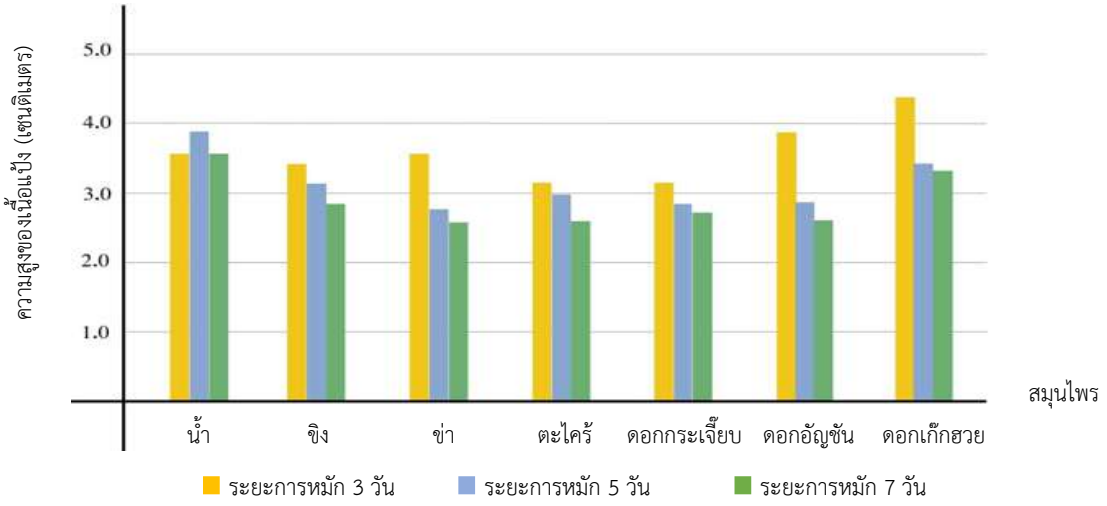
ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำหมักพืชสมุนไพร 6 ชนิดพบว่าอยู่ในช่วงความเป็นกรด คือ 1.99 - 5.85 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการหมักยาวนานขึ้นแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภูมิแสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) จากน้ำหมักพืชสมุนพรทั้ง 6 ชนิด

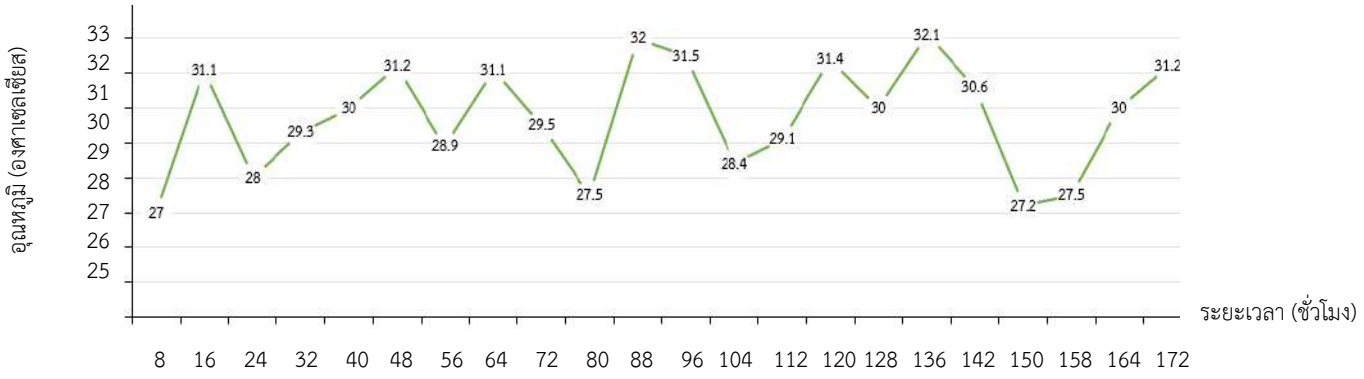
5.2 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของยีสต์ธรรมชาติที่ได้รับการเพาะเลี้ยงด้วยน้ำและน้ำหมักพืชสมุนไพร

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของยีสต์ธรรมชาติที่ได้รับการเพาะเลี้ยงด้วยน้ำและน้ำหมักพืชสมุนไพร พบว่าการเพาะเลี้ยงเชื้อยีสต์ธรรมชาติด้วยน้ำและน้ำหมักพืชสมุนไพร 6 ชนิด ร่วมกับแป้งสาลีไม่ฟอกสีที่ระยะการหมัก 3 วันของดอกเก๊กฮวย ให้ค่าความสูงเฉลี่ยของเนื้อแป้งสูงที่สุด ขณะที่น้ำหมักขิง ข่า ตะไคร้ ดอกกระเจี๊ยบ ดอกอัญชัน มีระดับความสูงเฉลี่ยต่ำกว่าการเพาะเลี้ยงด้วยน้ำแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงการเจริญเติบโตเฉลี่ยของยีสต์ (เซนติเมตร)

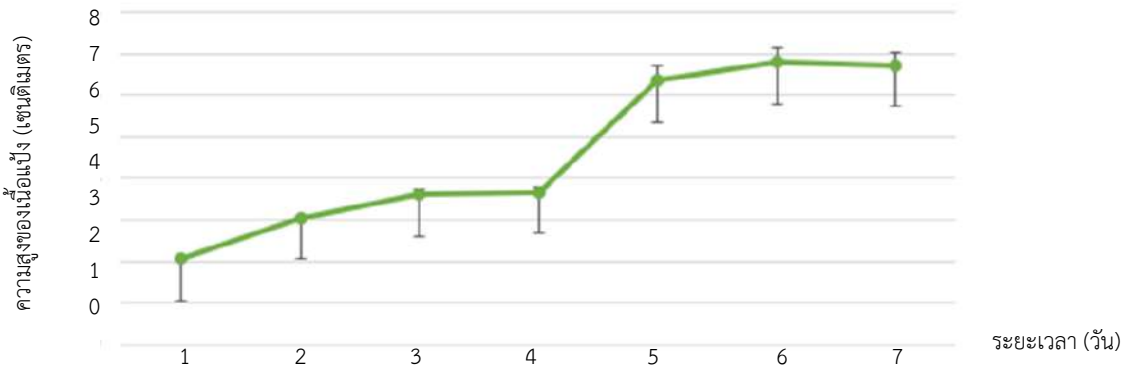
อุณหภูมิห้องขณะทดลองเพาะเลี้ยงยีสต์ธรรมชาติด้วยน้ำและน้ำหมักสมุนไพรร่วมกับแป้งสาลีไม่ฟอกสี ระยะเวลา 172 ชั่วโมง มีค่าอยู่ระหว่าง 27.0 - 32.1 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟแสดงอุณภูมิห้องขณะทำการทดลองให้อาหารยีสต์ธรรมชาติ ระยะเวลา 172 ชั่วโมง

5.3 ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของยีสต์ธรรมชาติจากการเพาะเลี้ยงด้วยน้ำหมักดอกเก๊กฮวยระยะ 3 วันร่วมกับแป้งสาลีไม่ฟอกสี

ความสูงของเนื้อแป้งสูงขึ้นเล็กน้อยจากระดับความสูง 2 เซนติเมตรเป็น 3.7 เซนติเมตร ในระยะ1-3 วัน และสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด 6.5 เซนติเมตรในวันที่ 5 ความสูงมีแนวโน้มคงที่ในวันที่ 6-7 แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสูงของเนื้อแป้งจากการเลี้ยงเชื้อยีสต์ด้วยน้ำหมักดอกเก๊กฮวยร่วมกับแป้งสาลีไม่ฟอกสี

5.4 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นแป้งพิซซา

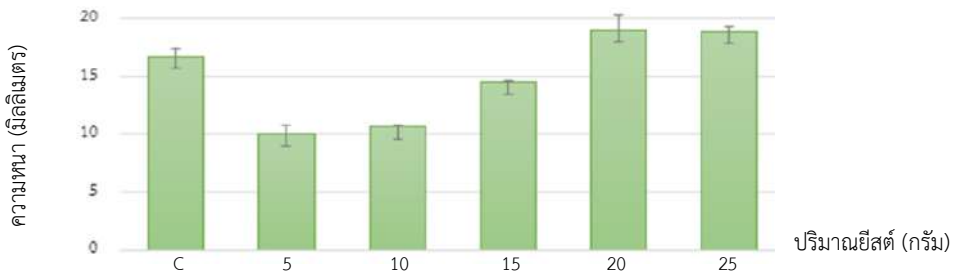
5.4.1 ศึกษาลักษณะฟองอากาศในเนื้อแป้งพิซซาจากการใช้ sourdough starter ในปริมาณที่ต่างกัน

ลักษณะฟองอากาศในเนื้อแป้งพิซซาจากการใช้ sourdough starter ปริมาณ 5 และ 10 กรัม แสดงฟองอากาศขนาดเล็ก จำนวนน้อยกว่าชุดควบคุม การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ปริมาณ 15 กรัม ขนาดและจำนวนฟองอากาศใกล้เคียงชุดควบคุมมากที่สุดและมีการกระจายตัวสม่ำเสมอ ปริมาณ 20 และ 25 กรัม แสดงขนาดฟองอากาศใหญ่กว่าชุดควบคุม การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ แสดงดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 แสดงลักษณะฟองอากาศในเนื้อแป้งพิซซาของชุดควบคุมและใช้ sourdough starter ปริมาณ 5, 10, 15, 20 และ 25 กรัม

5.4.2 ศึกษาความหนาของแผ่นแป้งพิซซา

จากการศึกษาความหนาของแผ่นแป้งพิซซาพบว่าความหนาของแผ่นแป้งพิซซา โดยวัดด้านข้างขอบพิซซา 4 ตำแหน่ง ด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ พบว่าแผ่นแป้งชุดควบคุมมีขนาดความหนา 16.71±0.98 มิลลิเมตร การใช้ยีสต์ 5, 10, 15, 20 และ 25 กรัม ทำให้ได้แผ่นแป้งมีความหนา 10.01± 0.75 มิลลิเมตร, 10.62±0.10 มิลลิเมตร, 14.45±0.86 มิลลิเมตร, 18.96±1.27 มิลลิเมตร และ 18.81±1.17 มิลลิเมตร ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภูมิแสดงความหนาของแผ่นแป้งพิซซา (มิลลิเมตร)

5.4.3 ศึกษาค่าสีจากแผ่นแป้งพิซซา

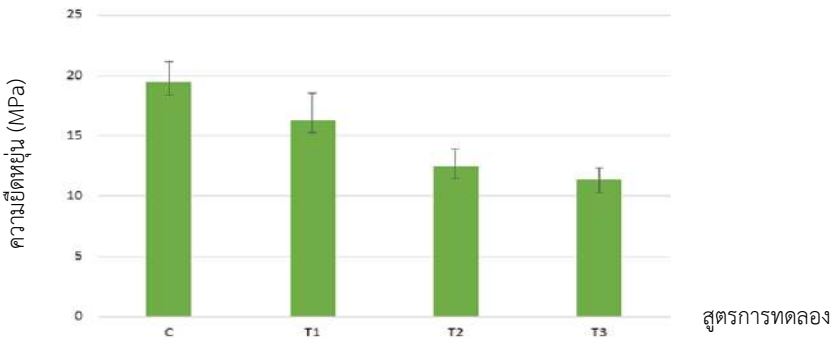
การทดลองวัดค่าสีเพื่อเก็บข้อมูลเป็นแนวทางในการพัฒนาคุณภาพแป้งพิซซาและการตัดสินใจต่อผู้บริโภค พบว่า ค่าสีเนื้อแป้งพิซซาให้ค่าความสว่างใกล้เคียงกัน และให้ค่าสีเหลืองมากกว่าแดง ทั้ง 7 ชุดการทดลอง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสีแป้งพิซซาจาก sourdough starter ใช้ยีสต์ที่เลี้ยงซ้ำด้วยน้ำหมักสมุนไพร 6 ชนิด

ชนิดของเหลวเลี้ยงยีสต์	ค่าสี		
	L*	a*	b*
น้ำ	62.72	6.12	10.28
น้ำหมักจากขิง	74.14	3.52	29.91
น้ำหมักจากข่า	67.76	1.48	18.63
น้ำหมักจากตะไคร้	67.76	1.48	18.63
น้ำหมักจากดอกกระเจี๊ยบ	69.33	1.27	19.22
น้ำหมักจากดอกอัญชัน	72.89	1.15	18.29
น้ำหมักจากดอกเก๊กฮวย	67.17	-1.00	11.16

5.4.4 ศึกษาความยืดหยุ่นของแผ่นแป้งพิซซาจาก sourdough starter ผ่านการเลี้ยงอาหารยีสต์ด้วยน้ำหมักดอกเก๊กฮวยในการปรับสูตรแผ่นแป้งพิซซาโดยใช้แป้งสาลีไม่ฟอกสีชนิดปราศจากกลูเตนและแป้งโฮลวีทแทนแป้งขนมปัง

ผลจากการทดสอบความยืดหยุ่นพบว่า แผ่นแป้งพิซซาชุดควบคุมแสดงความยืดหยุ่นสูงที่สุด 19.41 MPa ในขณะที่แผ่นแป้งพิซซาสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3 แสดงความยืดหยุ่น 16.29 MPa 12.52 MPa และ 11.33 MPa ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 7



c หมายถึงชุดควบคุม, T1 = สูตรที่ 1, T2 = สูตรที่ 2, T3 = สูตรที่ 3

รูปที่ 7 แผนภูมิแสดงความยืดหยุ่น (MPa) ของแผ่นแป้งพิซซา

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษานี้พบว่า น้ำหมักสมุนไพรจากพืช 6 ชนิด ได้แก่ เหง้าขิง เหง้าข่า ใบตะไคร้ ดอกกระเจี๊ยบ ดอกอัญชัน และดอกเก๊กฮวย ที่หมักร่วมกับน้ำและน้ำผึ้งในช่วงระยะเวลา 3–7 วัน มีแนวโน้มค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยน้ำหมักที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 3.5–5.5 มีประสิทธิภาพสูงในการกระตุ้นการเจริญของยีสต์ธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดฟองอากาศในแป้งที่ชัดเจน และช่วยเพิ่มการขยายตัวของเนื้อแป้งได้อย่างมีนัยสำคัญ จากผลการทดลองพบว่าน้ำหมักจากดอกเก๊กฮวยที่หมักเป็นเวลา 3 วัน เมื่อใช้ร่วมกับแป้งสาลีไม่ฟอกสีในการเลี้ยงยีสต์ธรรมชาติที่อุณหภูมิห้องให้ผลการพองตัวของแป้งดีที่สุด โดยให้ความสูงเพิ่มขึ้นถึง 3 เท่า ภายใต้ช่วงอุณหภูมิ 27–31 องศาเซลเซียส จึงถูกเลือกมาใช้เป็น sourdough starter สำหรับทำแผ่นแป้งพิซซา ในการทดลองปรับปริมาณการใช้ sourdough starter ที่ระดับ 5-25 กรัมต่อน้ำหนักแป้งขนมปัง 30 กรัม พบว่าปริมาณ 15 กรัม ให้คุณลักษณะเนื้อแป้งพิซซาใกล้เคียงกับชุดควบคุมมากที่สุด ทั้งในแง่ของการกระจายตัวของฟองอากาศ ความหนาของแป้ง และค่าความยืดหยุ่น ในขั้นตอนสุดท้ายทำการปรับสูตรสำหรับทำแป้งพิซซาเพื่อสุขภาพโดยใช้แป้งสาลีไม่ฟอกสีชนิดปลอดกลูเตนร่วมกับแป้งโฮลวีทและใช้ sourdough starter ที่ผลิตจากน้ำหมักดอกเก๊กฮวยในอัตราส่วนที่เหมาะสม ให้ค่าความยืดหยุ่นที่ใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน รวมถึงให้ค่าสีที่สม่ำเสมอและมีแนวโน้มสีเหลืองมากกว่าสีแดงอย่างชัดเจน

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาคุณภาพแผ่นแป้งพิซซาเพื่อสุขภาพ รวมถึงส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากสมุนไพรพื้นบ้านในรูปแบบใหม่ ทั้งในด้านโภชนาการและการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์อาหาร อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาต่อยอดเพิ่มเติมในด้านองค์ประกอบทางโภชนาการอื่น เช่น ค่าความชื้น ค่า water activity ปริมาณกรดอะมิโน โปรตีน และไขมัน เพื่อประเมินศักยภาพของผลิตภัณฑ์ในเชิงสุขภาพได้อย่างครอบคลุม นอกจากนี้ยังเป็นการส่งเสริมแนวคิดเกษตรกรรมที่ยั่งยืนและความมั่นคงทางอาหารด้วยการบูรณาการการใช้สมุนไพรไทยซึ่งวัตถุดิบธรรมชาติในท้องถิ่น เข้ากับนวัตกรรมด้านวิทยาศาสตร์อาหาร ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับพืชสมุนไพร สร้างโอกาสทางการตลาดใหม่ และยังเป็นแนวทางพัฒนาอาหารแบบ Functional Food ที่ดีต่อสุขภาพ ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคยุคใหม่ และมีส่วนสนับสนุนเกษตรกรรมที่ยั่งยืนและความมั่นคงทางอาหารในภาพรวม

เอกสารอ้างอิง

[1] หน่วยสารสนเทศมะเร็ง โรงพยาบาลสงขลานครินทร์. (2549). เตือน"10เมนูเด็ด"เสี่ยงโรค เบอร์เกอร์-พิซซ่า...อันตราย!!!. ข่าวสารน่ารู้, http://medinfo2.psu.ac.th/cancer/db/news_showpic.php?newsID=87&tyep_ID=2

[2] กัญญาภรณ์ วงษ์สวัสดิ์, ผกาวดี สุขอิ่ม. (2560). การคัดเลือกยีสต์ที่เหมาะสมในการทำพิซซ่าชาร์โคลและศึกษาเนื้อสัมผัสและลักษณะทางประสาทสัมผัสของพิซซาชาร์โคล(รายงานผลการวิจัย). ม.ป.ท.: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[3] ผกามาศ ราชมนตรี. (2557). การคัดแยกยีสต์จากกากมันสำปะหลังของอุตสาหกรรมผลิตแป้งมัน (รายงานผลการวิจัย). ม.ป.ท: สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

[4] วราภรณ์ ผาลี,ประภาศิริ ใจผ่อง, ณรกมล เลาห์รอดพันธ์, อนวัทย์ ผาลี, ปฏิภาณ มีแสงสิน,จักรกฤช ศรีลออ, กุลณัฐ สุขแพทย์, ทศพร อินเจริญ, สุภาวดี แหยมคง. (2566). การศึกษาการเพาะเลี้ยงยีสต์จากเศษเหลือกล้วยตากเพื่อใช้เป็นสารเสริมในอาหารสัตว์ (รายงานผลการวิจัย). พิษณุโลก: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

[5] กัญลยาณี เจริญโสภารัตน์. (2559). การคัดแยกยีสต์ทนร้อนจากผลไม้พื้นบ้านเพื่อการผลิตเอทานอล (รายงานผลงานวิจัย). ม.ป.ท.: สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

[6] ราชันย์ อำพันทอง. (2558). ขนมปังหวานเสริมนื้อตาลสุก. วารสารวิชาการและวิจัย มทร พระนคร, ปีที่ 9 ฉบับที่ 2, 100. https://repository.rmutp.ac.th/bitstream/handle/123456789/2035/IRD

[7] อรุณวตรี รัตนธารี. (4 กันยายน 2563) เมื่อคนทำขนมปังหันมาเลี้ยงสิ่งมีชีวิตเล็กๆที่เรียกว่ายีสต์. https://w.greenery.org/trend-naturalyeast. URL

[8] นุจริม เย็นทรวง. (18 ธันวาคม 2564) ความลับน่ารู้ของขนมปังซาวโดวจ์ https://www.nsm.or.th/nsm/index.php/th/node/6384/แป้งซาวโดวจ์. URL

[9] ปวีณ์สุดา ขีปนวัฒนา, นันทวัน เทอดไทย, และ วลัยรัตน์ จันทรปานนท์. (2562). ผลของการเติมหัวเชื้อซาวโดวจ์ต่อสมบัติทางกายภาพของขนมปังที่มีแป้งข้าวเจ้าเป็นส่วนผสมหลัก(รายงานผลงานวิจัย). กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[10] Marketeer team. (2022). Sourdough ขนมปังที่ไม่เหมือนขนมปัง. สืบค้น 28 ตุลาคม 2567, จาก https://marketeeronline.co./Sourdough

[11] Yothin. (2023). fermentation (การหมัก). สืบค้น 22 ตุลาคม 2567, จาก https://www.stkc.go.th/content/fermentation./ การหมัก

[12] Yingsak. (2667). โฮลวีท Whole Whwat. สืบค้น 10 พฤศจิกายน 2567, จาก https: yingsakfood.com./แป้งโฮวีท

[13] อภิชญา ห่วงทอง. (2564). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังปราศจากกลูเตนจากแป้งข้าวบือซูโปะโละและแป้งข้าวบือซูโพปี้ต่อ คุณภาพทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยศิลปากร)

[14] พัสวี อรุณพัฒนชัย,สุเมธ คันชิง. (2565) การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณสาร 6-จินเจอรอล ในขิงสดและขิงแห้ง โดยวิธีการเอชพีทีแอลซี (รายงานผลงานวิจัย). ม.ป.ท: สำนักวิชาเวชศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

[15] โชติอนันต์ และคณะ. (2551). สมุนไพรไทย สำหรับงานสาธารณสุขมูลฐาน(พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร :สำนักพิมพ์ดวงกมลพับลีชชิ่ง สืบค้นจาก https://elibrary-pyu.cu-elibrary.com

[16] พิชานันท์ ลีแก้ว. (2557, 01 ตุลาคม). อัญชัน ประโยชน์ที่ควรรู้. สำนักงานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. สืบค้นจาก https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge

[17] สินีนาฏ ภู่ระยับ, ลภัสรดา มุ่งหมาย,เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน, ณัฐวุฒิ หวังสมนึก, ดวงพร อมรเลิศพิศาล. (2561) ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากดอกเก๊กฮวยอินทรีย์เพื่อใช้ในเครื่องสำอาง(วารสารวิจัย). 38(2), 46-56.

[18] สถาบันพัฒนาเศรษฐกิจ พลังงานและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. (2560). การปลูกเก๊กฮวยตามแนวทางเกษตรอินทรีย์. สืบค้นจาก https://i4biz.nrct.go.th/download/ebook/10031.pdf

เทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ เพื่อรองรับระบบเทคโนโลยีแบบแม่นยำในโรงเรือน

วิมลรัตน์ ดำขำ[1*], สิทธิพงศ์ ศรีสว่างวงศ์[1], เปรมจิตต์ ถิ่นคำ[1], พินิจ จิรัคคกุล[2] และพนมไพร สำเร็จรัมย์[1]

[1]ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
[2]ศูนย์วิจัยเกษตรวิศวกรรมขอนแก่น ตำบลบ้านทุ่ม อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
* Corresponding author: mui-mui@windowslive.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบผลของเทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ภายใต้ระบบโรงเรือนควบคุมแบบแม่นยำที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ โดยมุ่งเน้นการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมปัจจัยการเจริญเติบโต ได้แก่ ปริมาณน้ำ ปุ๋ย แสง อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเจริญเติบโต ผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ การทดลองดำเนินการที่โรงเรือนทดลอง ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น โดยควบคุมอุณหภูมิช่วงกลางวัน 30–33°C และกลางคืน 20–23°C ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 72–80% และมีความเข้มแสง 850.6 ลักซ์ เมื่อต้นกล้าอายุ 25–27 วัน ย้ายปลูกลงในวัสดุปลูกที่ผสมด้วยขุยมะพร้าว แกลบดิบ ทรายแม่น้ำ และแกลบดำ ในอัตราส่วน 6 : 2 : 2 : 0.5 โดยปริมาตร ให้น้ำวันละ 1 ลิตรต่อต้น และใส่ปุ๋ยรองก้นหลุมด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 30 กก./ไร่ และใส่ปุ๋ยสูตร 12-24-12 อัตรา 30 กก./ไร่ ทุก 15 วัน และเมื่อผลเจริญเติบโตเต็มที่ก่อนเปลี่ยนสีใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 อัตรา 30 กก./ไร่ โดยใส่ทุก 20-30 วัน การควบคุมโรคพืชใช้ชีวภัณฑ์ไตรโคเดอร์มาอัตรา 250 กรัม/น้ำ 20 ลิตร (200 มิลลิลิตร/ต้น) และโรยสารไดโนทีฟูแรนรอบโคนต้นอัตรา 2 กรัม/ต้น ผลการทดลองพบว่า ให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ 2.84–6.26 กรัม/ต้น คิดเป็นรายได้ 85–187 บาท/ต้น โดยใน 1 โรงเรือนปลูกได้ 500 ต้น สามารถสร้างรายได้ 35,781–52,081 บาท/รอบการผลิต และสามารถปลูกได้ 2 รอบต่อปี รวมรายได้ต่อปีประมาณ 71,562–104,162 บาท จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ในโรงเรือนระบบแม่นยำที่มีการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างเหมาะสมสามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

คำสำคัญ: มะเขือเทศเชอรี่ / เมล็ดพันธุ์ / โรงเรือนระบบแม่นยำ / เทคโนโลยีการผลิต / ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

Cherry Tomato Seed Production Technology to Support Precision Technology Systems in Greenhouses

Wimolrat Dumkhum[1*], Sittiphong Srisawangwong[1], Premjit Thinkum[1], and Pinit Jirukkalul[2] and Panomphai Samretram[1]

[1] Khon Kean Seed Research and Development Center, Thapra Sub-district, Mueang district, Khon Kaen 40260
[2] Khon Kaen Agricultural Engineering Research Center, 320 M 12, Ban Thum Subdistrict, Mueang District, Khon Kaen Province 40000
** Corresponding author: mui-mui@windowslive.com*

Abstract

This research aimed to investigate the effects of precision-controlled greenhouse technology on the yield and quality of cherry tomato seeds. The study focused on developing and improving the seed production process under an environment with controlled growth factors, including water, fertilizers, light, temperature, and relative humidity, to enhance plant growth efficiency, seed yield, and seed quality. The experiment was conducted at the experimental greenhouse of the Khon Kaen Plant Seed Research and Development Center. Environmental conditions were maintained at daytime temperatures of 30–33°C and nighttime temperatures of 20–23°C, with relative humidity ranging from 72–80% and light intensity of 850.6 lux. At 25–27 days after germination, seedlings were transplanted into a growing medium composed of coconut coir, raw rice husk, river sand, and black rice husk in a volumetric ratio of 6:2:2:0.5. Each plant was irrigated with 1 liter of water per day. Basal fertilizer application included a 15-15-15 NPK formula at 30 kg/rai, followed by 12-24-12 at the same rate every 15 days. During fruit maturation, prior to ripening, a 13-13-21 formula was applied at 30 kg/rai every 20–30 days. Disease control involved the application of Trichoderma bio-formulation at 250 grams per 20 liters of water (equivalent to 200 milliliters per plant), and dinotefuran was applied around the plant base at a rate of 2 grams per plant. Results indicated that seed yield ranged from 2.84 to 6.26 grams per plant, corresponding to an income of 85–187 THB per plant. With a planting capacity of 500 plants per greenhouse, this could result in an income of 35,781–52,081 THB per production cycle. With two cycles per year, the estimated annual income would be approximately 71,562–104,162 THB. These findings suggest that cherry tomato seed production under a precision-controlled greenhouse environment significantly improves seed yield and quality and offers promising economic returns.

Keywords: Cherry tomato / Seed production / Precision greenhouse / Agricultural technology / Economic feasibilit

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกเมล็ดพันธุ์รายใหญ่ในภูมิภาคเอเชีย 1 ใน 10 ของประเทศที่ส่งออกเมล็ดพันธุ์พืช ซึ่งปริมาณการส่งออกในปี 2562 มีมูลค่า 7,330 ล้านบาท โดยมะเขือเทศเป็นพืชผักที่มีศักยภาพการสร้างมูลค่าในการส่งออกเมล็ดพันธุ์ 800.2 ล้านบาท เป็นลำดับสองรองจากเมล็ดพันธุ์ข้าวโพด แต่ราคาเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศสูงถึง 11.05 -25.19 ล้านบาทต่อตัน ทำให้การผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศมีศักยภาพในการลงทุนอีกทั้งสภาวะตลาดเมล็ดพันธุ์มีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง เพราะฉะนั้นการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเมล็ดมะเขือเทศจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งยวดในการพัฒนานวัตกรรมการเกษตรไทยทั้งในด้านคุณภาพและประสิทธิภาพ [1]

มะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของโลก โดยเฉพาะมะเขือเทศเชอรี่ ซึ่งได้รับความนิยมเนื่องจากมีรสชาติหวาน คุณค่าทางโภชนาการสูง และเหมาะสมกับการบริโภคสด ดังนั้นความต้องการเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ที่มีคุณภาพสูงจึงเพิ่มมากขึ้น แต่การผลิตเมล็ดพันธุ์ในสภาพแวดล้อมแบบเปิดยังคงเผชิญกับปัญหาจากสภาพภูมิอากาศที่ไม่แน่นอน ซึ่งฤดูกาลในการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศมีเฉพาะในฤดูร้อน โดยฤดูฝนเป็นช่วงที่มีสภาพไม่เหมาะสม มีความชื้นสูงมีโรคแมลงศัตรูพืชหลายชนิดเข้าทำลาย ทำให้ผสมไม่ติด ไม่สามารถผลิตเป็นเมล็ดพันธุ์ได้ จึงเป็นอุปสรรคสำคัญต่ออุตสาหกรรมผลิตเมล็ดพันธุ์ของประเทศไทย

การพัฒนาเทคโนโลยีโรงเรือนสำหรับการผลิตพืชสวนเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตให้สามารถผลิตได้ตลอดปี จำเป็นต้องมีการวิจัยพัฒนาและทดสอบเทคโนโลยีการควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เหมาะสม โดยการใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่ในประเทศไทย จะสามารถพัฒนารูปแบบของโรงเรือนที่เหมาะสมต่อการผลิตพืชแต่ละชนิดในพื้นที่ต่าง ๆ ได้ ตลอดจนการวิเคราะห์ถึงปัจจัยการผลิตต่างๆ เพื่อความเหมาะสมต่อการลงทุนของเกษตรกร [2] และถ้าหากมีการนำเทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสมมาใช้ในการจัดการดิน ปุ๋ย และน้ำได้เป็นอย่างดี จะทำให้ได้ผลผลิตที่ดีมีคุณภาพสูงเพิ่มมากขึ้น และที่สำคัญคือ ลดการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชลงได้มากกว่า 50% [3] ดังนั้นเทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ เพื่อรองรับระบบเทคโนโลยีแบบแม่นยำในโรงเรือน จึงเป็นทางเลือกใหม่ในการจัดการสภาพแวดล้อมของพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น แสง น้ำ และปุ๋ยได้อย่างเหมาะสม ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มคุณภาพของผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิผล จึงจำเป็นต้องศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ในระบบโรงเรือนเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ ทำให้สามารถผลิตเมล็ดพันธุ์ช่วงนอกฤดูกาล และที่สำคัญคือผลผลิตที่ได้มีคุณภาพและสะอาดปราศจากโรคแมลงศัตรูพืช รวมถึงประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของเทคโนโลยีดังกล่าวได้

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ในโรงเรือนเพื่อรองรับระบบเทคโนโลยีแบบแม่นยำในโรงเรือน ที่มีผลต่อผลผลิต และคุณภาพของเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ในโรงเรือนเพื่อรองรับระบบเทคโนโลยีแบบแม่นยำในโรงเรือน ที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1.มุ่งเน้นการพัฒนาด้านระบบการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรรี่ในโรงเรือนควบคุมสภาพแวดล้อม

2.พัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ครอบคลุมการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตและผลผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่

4. วิธีการศึกษา

4.1 วิธีการดำเนินงาน

เป็นการนำผลของเทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ ได้แก่ ปริมาณน้ำ การจัดการธาตุอาหาร แสง อุณหภูมิ ความชื้น มาปรับใช้ในการทดสอบในโรงเรือนที่ควบคุมด้วยระบบเทคโนโลยีแบบแม่นยำ เพื่อให้ได้พืชและปัจจัยดังกล่าวอย่างเหมาะสม ดำเนินการทดสอบ 2 ช่วงเวลาปลูก ได้แก่ ช่วงที่ 1 ดำเนินการทดสอบในเดือนธันวาคม 2566 - พฤษภาคม 2567 และช่วงที่ 2 ในเดือนกรกฎาคม - พฤศจิกายน 2567 มีขั้นตอนดังนี้

1) การเตรียมต้นกล้ามะเขือเทศเชอรี่สายพันธุ์กรมวิชาการเกษตร โดยเพาะเมล็ดลงในถาดเพาะพีทมอส วางในโรงเรือนอนุบาลต้นกล้า ดูแลรักษาความชื้นให้เหมาะสม เมื่อต้นกล้ามะเขือเทศมีอายุประมาณ 25-30 วัน จึงย้ายลงถุงปลูกที่เตรียมไว้

2) เตรียมวัสดุปลูกโดยใช้วัสดุปลูก ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : ทรายหยาบ (น้ำจืด) : ขี้เถ้าแกลบ อัตรา 6 : 2 : 2 : 0.5 ส่วน บรรจุในถุงเพาะชำสีขาวขนาด 8X16 นิ้ว บรรจุวัสดุปลูกถุงละ 7 กิโลกรัม จำนวน 300 ถุง แล้วนำมาจัดวางตามแผนผังการทดลองในโรงเรือนระบบปิด (Evap.) ขนาด 9x30 เมตร ระยะปลูก 50x80 เซนติเมตร จำนวน 10 แถว ๆ ละ 30 ต้น จำนวน 300 ต้น

3) เตรียมระบบน้ำให้แก่ต้นพืช

4) เมื่อต้นกล้ามะเขือเทศมีอายุประมาณ 25-30 วัน จึงย้ายลงถุงปลูกที่เตรียมไว้

5) การปฏิบัติดูแลรักษา กำจัดวัชพืช ฉีดพ่นสารป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูพืช เมื่อสำรวจพบการเข้าทำลายตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร

6) เก็บเกี่ยวผลผลิต โดยเก็บผลมะเขือเทศเมื่อสุกเต็มที่ แล้วบ่มในที่ร่มประมาณ 1 วันหลังจากนั้นทำความสะอาดเมล็ดพันธุ์ ผึ่งในที่ร่มให้เมล็ดแห้ง ชั่งน้ำหนักแห้ง นับจำนวนเมล็ด และเก็บรักษาในภาชนะที่กำหนด เพื่อส่งตรวจคุณภาพเมล็ดพันธุ์

4.2 การบันทึกข้อมูล

1) ข้อมูลวันปลูก วันงอก วันออกดอก วันติดผล และวันเก็บเกี่ยว

2) ข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ในระยะต้นกล้า และระยะออกดอกร้อยละ 50 ความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางต้นทรงพุ่มในระยะต้นกล้า และระยะออกดอกร้อยละ 50

3) จำนวนครั้งที่เก็บ น้ำหนักผลผลิตสด/ครั้ง และน้ำหนักผลผลิตเมล็ดพันธุ์/ครั้ง

4) การตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การงอก และความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์

5) ข้อมูลต้นทุนและผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ต้นทุนการผลิต ราคาขาย รายได้ผลตอบแทน สัดส่วนรายได้ต่อการลงทุน (Benefit Cost ratio: BCR) ข้อมูลต้นทุนแรงงานและวัสดุ

4.3 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

วิเคราะห์ข้อมูลโดยหาค่าเฉลี่ยผลผลิตคุณภาพเมล็ดพันธุ์

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการทดสอบเทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ในระบบโรงเรือนระบบปิด (EVAP) ที่มีระบบจัดการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือน ระบบให้น้ำและธาตุอาหาร ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเมล็ดพันธุ์นั้น ดำเนินการทดสอบ 2 ช่วงเวลาปลูก คือ ช่วงที่1 ดำเนินการทดสอบในเดือนธันวาคม 2566 - พฤษภาคม 2567 และช่วงที่ 2 ในเดือนกรกฎาคม - พฤศจิกายน 2567 ณ โรงเรือนทดลองศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น พบว่า

5.1 การเจริญเติบโต

การทดสอบในช่วงเดือนธันวาคม 2566 - พฤษภาคม 2567 พบว่า การเจริญเติบโตของมะเขือเทศเชอรี่ระยะกล้าที่มีอายุช่วง7-35 วัน มีความสูงเฉลี่ย 10.97 เซนติเมตร มีขนาดทรงพุ่มเฉลี่ย 11.08 เซนติเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลางต้นเฉลี่ย 3.01 มิลลิเมตร และการเจริญเติบโตของมะเขือเทศเชอรีระยะออกดอก 50% ที่ช่วงอายุ 43-49 วัน มีความสูงเฉลี่ย 45.54 เซนติเมตร มีขนาดทรงพุ่มเฉลี่ย 42.6 เซนติเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลางต้นเฉลี่ย 4.83 มิลลิเมตร และการทดสอบในช่วงเดือนกรกฎาคม - พฤศจิกายน 2567 พบว่า การเจริญเติบโตของมะเขือเทศเชอรี่ระยะกล้าที่มีอายุช่วง 7-32 วัน มีความสูงเฉลี่ย 10.74 เซนติเมตร

มีขนาดทรงพุ่มเฉลี่ย 11.07 เซนติเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลางต้นเฉลี่ย 2.63 มิลลิเมตร และการเจริญเติบโตของมะเขือเทศเชอรี ระยะออกดอก 50% ที่ช่วงอายุ 42-54 วัน มีความสูงเฉลี่ย 44.31 เซนติเมตร มีขนาดทรงพุ่มเฉลี่ย 43.52 เซนติเมตร และมีเส้นผ่าศูนย์กลางต้นเฉลี่ย 4.61 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบการทดสอบ 2 ช่วงเวลาปลูก พบว่า การเจริญเติบโตของมะเขือเทศเชอรี่ระยะกล้าที่มีค่าเฉลี่ยความสูง ขนาดทรงพุ่ม และเส้นผ่าศูนย์กลางต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ และการเจริญเติบโตของมะเขือเทศเชอรีระยะออกดอก 50% พบว่าทั้ง 2 ช่วงเวลาปลูก มีค่าเฉลี่ยขนาดทรงพุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่มีค่าเฉลี่ยความสูง และเส้นผ่าศูนย์กลางต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1)

5.2 ผลผลิต และคุณภาพเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่

การทดสอบในช่วงเดือนธันวาคม 2566 - พฤษภาคม 2567 พบว่า มะเขือเทศเชอรี่เริ่มติดผลอายุช่วงอายุ 56-67 วัน ผลเริ่มเปลี่ยนสีช่วงอายุ 89-95 วัน และผลเปลี่ยนทั้งช่อที่อายุ 102 วัน เริ่มเก็บผลสุกครั้งที่1 อายุ 85 วัน ครั้งที่ 2 อายุ 106 วัน ครั้งที่ 3 อายุ 118 วัน ครั้งที่ 4 อายุ 133 วัน ครั้งที่ 5 อายุ 144 วัน และครั้งที่ 6 อายุ 165 วัน เก็บผลผลิตทั้งหมด 6 ครั้ง ผลผลิตเริ่มทยอยลดลง และระยะเวลาเก็บผลผลิตแต่ละครั้งเริ่มห่างขึ้นเรื่อย ๆ ระยะเวลาให้ผลผลิตนาน 99 วัน ผลผลิตผลสดเฉลี่ย 1,472.45 กรัม /ต้น และผลผลิตเมล็ดพันธุ์เฉลี่ย 6.26 กรัม/ต้น การทดสอบในช่วงกรกฎาคม - พฤศจิกายน 2567 พบว่า มะเขือเทศเชอรี่เริ่มติดผลช่วงอายุ 61-77 วัน ผลเริ่มเปลี่ยนสีช่วงอายุ 89-95 วัน และผลเปลี่ยนทั้งช่อที่อายุ 102 วัน เริ่มเก็บผลสุกครั้งที่1 อายุ 110 วัน ครั้งที่ 2 อายุ 117 วัน ครั้งที่ 3 อายุ 124 วัน ครั้งที่ 4 อายุ 133 วัน และครั้งที่ 5 อายุ 153 วัน เก็บผลผลิตทั้งหมด 5 ครั้ง ผลผลิตเริ่มทยอยลดลง และระยะเวลเก็บผลผลิตแต่ละครั้งเริ่มห่างขึ้นเรื่อย ๆ ระยะเวลาให้ผลผลิตนาน 51 วัน ผลผลิตผลสดเฉลี่ย 937.79 กรัม /ต้น และผลผลิตเมล็ดพันธุ์เฉลี่ย 2.84 กรัม/ต้น จากการวิจัย พบว่า การทดสอบในช่วงเดือนธันวาคม 2566 - พฤษภาคม 2567 จำนวนครั้งที่เก็บผลผลิตมากกว่าการทดสอบในช่วงเดือนกรกฎาคม - พฤศจิกายน 2567 และการทดสอบในช่วง เดือนธันวาคม 2566 - พฤษภาคม 2567 มีผลผลิตสดและผลผลิตเมล็ดพันธุ์ที่สูงกว่า การทดสอบในช่วงเดือนกรกฎาคม -พฤศจิกายน 2567 ส่วนผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์ พบว่า เมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ที่ทดสอบในช่วงเดือนธันวาคม 2566 - พฤษภาคม 2567 มีเปอร์เซ็นต์ความงอก และความแข็งแรง 98 และ 93 % ตามลำดับ และเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ที่ทดสอบในช่วงเดือนกรกฎาคม -พฤศจิกายน 2567 มีเปอร์เซ็นต์ความงอก และความแข็งแรง 95 และ 82 % ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 2 ช่วงเวลาปลูก เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพตามมาตรฐานเมล็ดพันธุ์ควบคุมตามพระราชบัญญัติพันธุ์พืช (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 การเจริญเติบโตของมะเขือเทศเชอรี่สายพันธุ์กรมวิชาการเกษตร ที่ระยะกล้าและระยะออกดอก 50% ในโรงเรือนระบบปิด (EVAP) ณ โรงเรือนทดลองศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น

ช่วงเวลาปลูก	การเจริญเติบโตระยะกล้า			การเจริญเติบโตระยะออกดอก 50%		
	ความสูง (ซม.)	ทรงพุ่ม (ซม.)	เส้นผ่าศูนย์กลางต้น(มม.)	ความสูง (ซม.)	ทรงพุ่ม (ซม.)	เส้นผ่าศูนย์กลางต้น(มม.)
ธ.ค.66 - พ.ค.67	10.97±1.39	11.08±0.45	3.01±0.89	45.54±2.29	42.61±1.40	4.83±0.17
ก.ค.67 - พ.ย.67	10.74±0.32	11.07±0.47	2.63±0.08	44.31±1.59	43.52±1.12	4.61±0.06
T-Test/1	ns	ns	ns	**	ns	*

หมายเหตุ /1 * หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05
Ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 2 ผลผลิตสด ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ และคุณภาพเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ สายพันธุ์กรมวิชาการเกษตร ภายใต้โรงเรือนปิด(EVAP) ณ โรงเรือนทดลองศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น

ช่วงเวลาปลูก	จำนวนที่เก็บผลผลิต(ครั้ง)	น้ำหนักผลผลิต และคุณภาพคุณภาพเมล็ดพันธุ์ มะเขือเทศเชอรี่			
		ผลสด (กรัม/ต้น)	เมล็ดพันธุ์ (กรัม/ต้น)	ความงอก(%)	ความแข็งแรง(%)
ธ.ค.66 - พ.ค.67	6	1,472.45	6.26	98	93
ก.ค.67 - พ.ย.67	5	937.79	2.84	95	82

5.3 ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช

การจัดการสภาพแวดล้อมหรือปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศเชอรี่มาทดสอบในโรงเรือนที่มีระบบควบคุมเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพเมล็ดพันธุ์ การควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือน พบว่า มีอุณหภูมิกลางวันอยู่ระหว่าง 30-33 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 72 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิกลางคืนควรอยู่ระหว่าง 20-23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มแสงที่ 850.6 Lux ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ [8] พบว่า ในระยะสืบพันธุ์มะเขือเทศมีความอ่อนไหวต่อการสภาพอากาศมากที่สุด โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ความมีชีวิตของละอองเกสรเพศผู้ลดลงส่งผลให้การติดผลลดลง ซึ่งจำนวนผลเป็นองค์ประกอบสำคัญของน้ำหนักผลผลิต [7] นอกจากนี้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำยังมีผลทำให้ขั้นตอนการงอกของหลอดเรณูไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้มะเขือเทศมีเปอร์เซ็นต์การติดผลลดลงเช่นเดียวกัน [4] ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่สูงเกินไปส่งผลให้มะเขือเทศมีความอ่อนไหวต่อสภาพความเครียดของความร้อนที่เพิ่มขึ้น [8] และส่งผลให้มะเขือเทศมีผลผลิตและคุณภาพลดลง [10] จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ผลผลิตและคุณภาพของมะเขือเทศเชอร์รี่ขึ้นอยู่กับพันธุ์ สภาพแวดล้อม และปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธุ์กับสภาพแวดล้อมในการปลูก [5,9] ดังนั้น การผลิตมะเขือเทศในระบบโรงเรือนถือเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ช่วยให้ผู้ผลิตสามารถควบคุมปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาของพืช รวมทั้งการป้องกันการเข้าทำลายของโรคและแมลง [6]

5.4 ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ

การทดสอบในช่วงเดือนธันวาคม 2566 - พฤษภาคม 2567 พบว่า มีต้นทุนการผลิตรวม 41,819 บาท ราคาขายผลผลิต 30,000 บาท/กิโลกรัม มีรายได้ และรายได้สุทธิ 93,900 และ 52,081 บาท ตามลำดับ สัดส่วนรายได้ต่อการลงทุนเท่ากับ 2.25 ถือว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน ส่วนการทดสอบในช่วงเดือนธันวาคม 2566 - พฤษภาคม 2567 พบว่า มีต้นทุนการผลิตรวม 6,819 บาท ราคาขายผลผลิต 30,000 บาท/กิโลกรัม มีรายได้ และรายได้สุทธิ 42,600 และ 35,781 บาท ตามลำดับ สัดส่วนรายได้ต่อการลงทุนเท่ากับ 6.25 ถือว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 รายการต้นทุนการผลิต ผลผลิต รายได้ รายสุทธิ และสัดส่วนรายได้ต่อการลงทุนการผลิตเมล็ดพันธุ์ ณ โรงเรือนทดลอง ศูนย์วิจัยและพัฒนาเมล็ดพันธุ์พืชขอนแก่น

รายการ	ปี 2567	
	เดือน ธ.ค. - พ.ค.	เดือน ก.ค. - พ.ย.
เมล็ดพันธุ์	400	400
วัสดุเพาะกล้า พีทมอส	320	320
ถาดเพาะเมล็ด	110	110
วัสดุปลูก ขุยมะพร้าว : แกลบดิบ : ทรายหยาบ(น้ำจืด) : ขี้เถ้าแกลบ	2,363	2,363
ถุงปลูกสีขาวขนาด 8x16 นิ้ว	1,560	1,560
วัสดุทำระบบน้ำหยด	35,000	-
ปุ๋ยเคมี 15-15-15	672	672
ปุ๋ยเคมี 12-24-12	180	180
ปุ๋ยเคมี 13-13-21	282	282
เชือกผูกทำค้าง	350	350
สารเคมีป้องกันแมลงศัตรูพืช	312	312
สารเคมีป้องกันโรคพืช	200	200
ชีวภัณฑ์ควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืช	70	70
รวมต้นทุนการผลิต (บาท)	41,819	6,819
ผลผลิตเมล็ดพันธุ์/โรงเรือน 500 ต้น (กิโลกรัม)	3.13	1.42
รายได้ (บาท)	93,900	42,600
รายได้สุทธิ	52,081	35,781
BCR	2.25	6.25

หมายเหตุ : ราคาจำหน่าย กก.ละ 30,000 บาท

6. สรุปผลการศึกษา

การนำเทคโนโลยีการการจัดการธาตุอาหาร การจัดการสภาพแวดล้อม หรือปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของมะเขือเทศเชอรี่มาทดสอบในโรงเรือนที่มีระบบควบคุมเพื่อเพิ่มผลผลิตผลิตและเมล็ดพันธุ์ การควบคุมควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือนพบว่า มีอุณหภูมิกลางวันอยู่ระหว่าง 30-33 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 72 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิกลางคืนควรอยู่ระหว่าง 20-23 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มแสงที่ 850.6 Lux ต้นแบบเทคโนโลยีการผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ในโรงเรือนระบบแม่นยำ ประกอบไปด้วย การเตรียมต้นกล้าอายุ 25-27 วัน ปลูกในวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของขุยมะพร้าว แกลบดิบ ทรายแม่น้ำ และแกลบดำ สัดส่วน 6 : 2 : 2 : 0.5 ให้น้ำที่ 1 ลิตร/ต้น/วัน ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ และความชื้นวัสดุปลูก ใส่ปุ๋ยรองก้นหลุมด้วยปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 30 กก./ไร่ และใส่ปุ๋ยสูตร 12-24-12 อัตรา 30 กก./ไร่ ทุก 15 วัน และเมื่อผลเจริญเติบโตเต็มที่ก่อนเปลี่ยนสีใส่ปุ๋ยสูตร 13-13-21 อัตรา 30 กก./ไร่ โดยใส่ทุก 20-30 วัน ป้องกันกำจัดโรคพืช โดยรดชีวภัณฑ์ไตรโคเดอร์มาชนิดสดอัตรา 250 กรัม/น้ำ 20 ลิตร ปริมาณ 200 มิลลิลิตร/ต้น และโรยสารไดโนทีฟูแรนรอบโคนต้น อัตรา 2 กรัม/ต้น ผลผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ 2.84-6.26 กรัม/ต้น ราคาจำหน่ายกิโลกรัมละ 30,000 บาท มีรายได้ 85.2-187.8 บาท/ต้น ใน 1 โรงเรือนจะผลิตได้ 500 ต้น มีแนวโน้มรายได้ 42,600-93,900 บาท/รอบการผลิต ดังนั้นใน 1 ปี สามารถผลิตได้ 2 รอบ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การผลิตเมล็ดพันธุ์มะเขือเทศเชอรี่ภายใต้ระบบโรงเรือนควบคุมแบบแม่นยำที่มีการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างเหมาะสม สามารถเพิ่มทั้งปริมาณผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจที่คุ้มค่า

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร, 2563. สถิติการนำเข้า-ส่งออกเมล็ดพันธุ์พืชควบคุม. กรุงเทพฯ.

[2] ไกรเลิศ ทวีกุล และคณะ. 2548. โครงการศึกษาสถานภาพของการใช้โรงเรือนสำหรับผลิตพืชสวนในสภาพควบคุมเพื่อการค้าในประเทศไทรายงาวิจัยฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อ สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.).

[3] จริยา วิสิทธิ์พานิช และคณะ. 2560. คู่มือการผลิตผักคุณภาพและปลอดภัยในโรงเรือน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). กรุงเทพฯ; 270 หน้า.

[4] Huang, Y., Li, Y., & Wen, X. (2011). The effect of relative humidity on pollen vigor and fruit setting rate of greenhouse tomato under high temperature conditions. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, *20*(11), 105–110.

[5] Panthee, D. R., Cao, C., Debenston, S. J., Breksa, A. P., van der Knaap, E., & Gardener, B. B. M. (2012). Magnitude of genotype × environment interactions affecting tomato fruit quality. *HortScience*, *47*(6), 721–726.

[6] Ro, S., L. Chea,S. Ngoun, Z.P. Stewart, S. Roeurn, P. Theam, S. Lim, R. Sor,M. Kosal, M. Roeun, K.S. Dy and P.V.V. Prasad. 2021. Response of tomato genotypes under different high temperatures in field and greenhose conditions. Plants 10(3): 449, doi.org/10.3390/plants 10030449.

[7] Sato, S., Peet, M. M., & Thomas, J. F. (2000). Physiological factors limit fruit set of tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) under chronic, mild heat stress. Plant, Cell & Environment, 23(7), 719–726.

[8] Sato, S., Peet, M. M., & Thomas, J. F. (2002). Determining critical pre- and post-anthesis periods and physiological processes in Lycopersicon esculentum Mill. exposed to moderately elevated temperatures. Journal of Experimental Botany, 53(371), 1187–1195.

[9] Tinyane, P. P., Sivakumar, D., & Soundy, P. (2013). Influence of photo-selective and bioactive compounds in selected tomato
cultivars. *Scientia Horticulturae*, *161*, 340–349.

[10] Xu, H. L., Iraqi, D., & Gosselin, A. (2007). Effect of ambient humidity on physiological activities and fruit yield and quality of greenhouse tomato. *Acta Horticulturae*, *761*, 85–92.

ผลของปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินต่อการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคพืชและเชื้อราปฏิปักษ์ในทุเรียน

บัญจรัตน์ พันธ์ชำนาญ, ชัยณรงค์ รัตนกรีฑากุล, และ พิสุทธิ์ เขียวมณี*

ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ตำบลกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม
** Corresponding author: pisut.keaw@ku.th*

บทคัดย่อ

ระบบการเกษตรยั่งยืนเป็นแนวทางจัดการเพื่อให้เกิดความสมดุลทางเศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศที่ครอบคลุมวิถีชีวิตเกษตรกร กระบวนการผลิต และการจัดการพื้นที่ให้ไปสู่การพึ่งตนเองและการพัฒนาคุณภาพชีวิตของเกษตรกรและผู้บริโภค ปัจจัยพื้นฐานเกี่ยวกับผลกระทบของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์โดยเฉพาะเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียน และการเจริญของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* นับเป็นองค์ความรู้ของการผลิตที่ช่วยให้การพัฒนาแนวทางการผลิตให้เข้าสู่ระบบการเกษตรยั่งยืนได้ ทำการแยกเชื้อราจากตัวอย่างดินจากแปลงทุเรียนและทดสอบความสามารถในการเกิดโรคพบว่าเชื้อราที่แยกได้มีความสามารถในการเกิดโรคในทุเรียนโดยพบอาการช้ำฉ่ำน้ำบนใบทุเรียนภายหลังการปลูกเชื้อที่ 2 วัน เมื่อศึกษาผลกระทบของของปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินพบว่าอาหารที่ผสมด้วยกรดฟูลวิกและกรดฮิวมิคที่ความเข้มข้น 3.2 กรัมต่อลิตรสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าได้ดีที่สุดตามมาด้วยสารปรับปรุงดินแคลเซียมคาร์บอเนตและปุ๋ยอินทรีย์หมักที่มีส่วนประกอบเป็นพืชสด 70% นอกจากนี้ปุ๋ยอินทรีย์หมักที่มีส่วนประกอบเป็นพืชสด 70% มีความสามารถในกระตุ้นการเจริญของเชื้อรา *T. asperellum* ได้ดีที่สุด ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงประโยชน์ทางอ้อมของปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราสาเหตุโรคและการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อราปฏิปักษ์ ซึ่งเป็นแนวทางการจัดการโรคในดินที่ยั่งยืนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: ปุ๋ยอินทรีย์ / สารปรับปรุงดิน / เชื้อรา / รากเน่าโคนเน่า / ทุเรียน

Effects of Organic Fertilizers and Soil Amendments on the Growth of Plant Pathogenic Fungi and Antagonistic Fungi in Durian

Bancharat Phanchamnan, Chainarong Rattanakreetakul, and Pisut Keawmanee*

Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Saen,Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom 73140

** Corresponding author: pisut.keaw@ku.th*

Abstract

Sustainable agricultural systems represent a management approach aimed at achieving balance between economic, social, environmental, and ecological factors. This approach encompasses farmers' livelihoods, production processes, and land management strategies that lead to self-reliance and enhanced quality of life for both farmers and consumers. Fundamental knowledge regarding the effects of organic fertilizers on microbial changes, particularly fungi causing root and stem rot disease in durian, and the growth of *Trichoderma asperellum* is considered essential production knowledge that enables farmers to respond effectively. The fungal isolation and pathogenicity test results revealed that the isolated fungi could cause disease in durian, with water-soaked lesions appearing on durian leaf 2 days after inoculation. The study on the effects of organic fertilizers and soil amendments found that medium supplemented with fulvic acid and humic acid at a concentration of 3.2 grams/liter was most effective in inhibiting the growth of fungi causing root and stem rot disease, followed by calcium carbonate soil amendment and organic fertilizer containing 70% fresh plant material. It was also found that organic fertilizer containing 70% fresh plant material had the ability to promote the growth of *T. asperellum*. The findings demonstrate the indirect benefits of organic fertilizers and soil amendments in inhibiting the growth of pathogenic fungi while promoting the growth of antagonistic fungi. This approach offers a sustainable soil-borne disease management strategy that minimizes environmental impact.

Keywords: Organic fertilizers / Soil amendments / Fungi / Root and stem rot / Durian

1. บทนำ

ระบบการเกษตรยั่งยืนเป็นแนวทางที่ช่วยสร้างสมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศ โดยมุ่งเน้นการพึ่งพาตนเองและการพัฒนาคุณภาพชีวิตของเกษตรกรและผู้บริโภค หนึ่งในปัจจัยสำคัญของการเกษตรยั่งยืนคือการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดิน ซึ่งไม่เพียงช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน สนับสนุนการเจริญเติบโตของพืช แต่ยังมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงจุลินทรีย์ในดิน และยังช่วยในการควบคุมเชื้อราก่อโรคในดินโดยอาศัยกลไกทางชีวภาพ โดยเฉพาะในกรณีของการปลูกทุเรียน ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีมูลค่าสูงในประเทศไทย แต่ต้องเผชิญกับปัญหาด้านโรคพืชอย่างต่อเนื่อง หนึ่งในโรคที่สร้างความเสียหายอย่างรุนแรงคือ โรครากเน่าโคนเน่า ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากเชื้อราชั้นต่ำในกลุ่ม Oomycetes ได้แก่ *Phytophthora palmivora* และ *Pythium* spp. เชื้อราเหล่านี้สามารถเข้าทำลายระบบรากและโคนต้นทุเรียน ทำให้เกิดอาการใบเหลือง ร่วง ยอดแห้ง ต้นแคระแกร็น และในกรณีที่เกิดโรครุนแรงอาจทำให้ต้นยืนต้นตายได้ [5][9] เชื้อ *Phytophthora* sp. เป็นสาเหตุของโรคโคนเน่าในทุเรียน โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูงและดินระบายน้ำไม่ดี เชื้อชนิดนี้สามารถอยู่ในดินและเศษซากพืชได้นานและแพร่กระจายได้ผ่านน้ำ เชื้อ *Pythium* spp. เป็นอีกกลุ่มหนึ่งที่ทำให้เกิดโรครากเน่า โดยเฉพาะในระยะต้นกล้า โดยจะเข้าทำลายปลายราก ทำให้รากเน่า เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มหรือดำ และทำให้พืชเหี่ยวเฉาในเวลารวดเร็ว [2][7] งานวิจัยหลายฉบับพบว่าเชื้อราปฏิปักษ์ *Trichoderma asperellum* สามารถช่วยควบคุมเชื้อราก่อโรคในดินได้ โดยกลไกการแย่งชิงพื้นที่และอาหาร รวมถึงการผลิตเอนไซม์ เช่น ไคติเนสและกลูคาเนส ซึ่งสามารถย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อรา แข่งขันและเอนไซม์ที่เชื้อรา *T. asperellum* สร้างขึ้นสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคได้ [12] เป็นที่ทราบกันดีว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ไม่เพียงแต่ช่วยให้พืชได้รับธาตุอาหารที่จำเป็น แต่ยังส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ [13] ซึ่งช่วยลดการแพร่กระจายของเชื้อราก่อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6] การทดลองนี้จึงทำการพิสูจน์ศักยภาพของปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินที่จะมีอิทธิพลต่อเชื้อราสาเหตุโรคพืช

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินต่อเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียน
2. ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Trichoderma asperellum*

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลของปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินต่อการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าในทุเรียน และผลกระทบต่อเชื้อราปฏิปักษ์ *Trichoderma asperellum*

4. วิธีการศึกษา

4.1 การแยกเชื้อสาเหตุโรค

4.1.1 เก็บตัวอย่างดินรอบโคนต้นทุเรียนที่แสดงลักษณะอาการของโรครากเน่าโคนเน่า หรือบริเวณโคนต้นที่เคยเป็นโรค จากแหล่งปลูกทุเรียนในตำบลทุ่งเบญจา อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี นำดินมาผึ่งให้แห้งเป็นระยะเวลา 12 - 24 ชั่วโมง ใช้โกร่งบดดินให้ละเอียดแยกส่วนของเศษซากพืช และหินออก ด้วยตะแกรงร่อน นำตัวอย่างดินไปเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

4.1.2 แยกเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าโดยใช้ 2 วิธี คือ 1. baiting technique เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ com meal agar (CMA) และ อาหารเลี้ยงเชื้อ BNRA medium ชั่งตัวอย่างดิน 15 กรัม ผสมน้ำสะอาดที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อมาแยกเชื้อ จากนั้นตัดอาหาร BNRA medium ที่ผสมสารเคมีกำจัดเชื้อราแต่ละชนิด ขนาด 1 x 1 เซนติเมตร ลงไปแช่ในน้ำดินตัวอย่าง บ่มในที่มืดตลอดเป็นระยะเวลา 24 - 48 ชั่วโมง จากนั้นล้างชิ้นวุ้นด้วยน้ำสะอาดนึ่งฆ่าเชื้อ ซับให้แห้งด้วยกระดาษ และนำไปวางบน

อาหาร com meal agar (CMA) บ่มใต้แสง near UV สลับมืด 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 - 3 วัน บันทึกข้อมูลลักษณะโคโลนีของเชื้อราเป้าหมายที่เจริญบนอาหารตามวิธีของกนกพร [1] 2. dilution technique เตรียมหลอดทดลองที่บรรจุน้ำสะอาดที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อมาแล้ว ชั่งดิน 1 กรัม และทำการเจือจางด้วยวิธีการ serial dilution จากนั้นเกลี่ยลงบนอาหาร potato dextrose agar (PDA) นั้นบ่มใต้แสง near UV สลับมืด 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 วัน บันทึกข้อมูลลักษณะโคโลนีของเชื้อราเป้าหมายที่เจริญบนอาหาร PDA

4.2 การระบุชนิดของเชื้อรา

ศึกษาลักษณะโคโลนีและสัณฐานวิทยา โดยเลี้ยงเชื้อราที่แยกได้จากตัวอย่างโรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียนมาเลี้ยง บนอาหาร PDA นำไปบ่มภายใต้แสง near UV สลับมืด 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 วัน [1] ตรวจสอบการเจริญ รูปร่าง sporangia oospores oogonium และ antheridium ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ compound microscope เปรียบเทียบกับหนังสือ Illustrated genera of imperfect fungi

4.3 ทดสอบความสามารถในการเกิดโรคของเชื้อราสาเหตุโรคที่บริเวณใบและราก

4.3.1 ศึกษาการเกิดโรคของเชื้อราสาเหตุโรคที่บริเวณใบ (detached leaf)

เลี้ยงเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าและโคนเน่าของทุเรียนบนอาหาร PDA นำไปบ่มภายใต้แสง near UV สลับมืด 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 วัน นำ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร เจาะบริเวณขอบโคโลนี นำ mycelial disc ไปปลูกเชื้อโดยใช้เข็มเขี่ยบริเวณฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของใบ ทั้งหมด 6 จุด นำไปบ่มเป็นเวลา 3 วัน บันทึกการเกิดโรคของเชื้อสาเหตุบนใบ [10]

4.3.2 ศึกษาการเกิดโรคของเชื้อราสาเหตุโรคที่บริเวณราก

เลี้ยงเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าและโคนเน่าของทุเรียน บนอาหาร PDA นำไปบ่มภายใต้แสง near UV สลับมืด 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 วัน นำ cork borer ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร เจาะบริเวณขอบโคโลนี จำนวน 10 ชิ้น ย้าย mycelial disc ลงในน้ำนึ่งฆ่าเชื้อ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร บ่มภายใต้แสง near UV สลับมืด 12 ชั่วโมงเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำไปวางในที่มืด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 2 วัน เพื่อกระตุ้นให้เชื้อราสร้างส่วนขยายพันธุ์ จากนั้นนำส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อราที่ได้ไปราดบริเวณโคนต้นกล้าทุเรียนพันธุ์หมอนทอง อายุ 5 เดือน บ่มใน moist chamber เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้สภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา ทำการประเมินโรคโดยล้างราก

4.4 ผลของปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินต่อการเจริญของโคโลนีเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าและการเจริญของเชื้อรา *Trichoderma asperellum*

ศึกษาผลของปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินต่อการเจริญของโคโลนีเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าโคนเน่า และการเจริญของเชื้อรา *Trichoderma asperellum* โดยวิธี poisoned food technique ใช้ปุ๋ยอินทรีย์ 3 ชนิด และสารปรับปรุงดิน 2 ชนิด ดังตารางที่ 1 ผสมลงในอาหาร water agar (WA) โดยเปรียบเทียบข้อมูลอัตราใช้ปุ๋ยอินทรีย์สำหรับทุเรียนจากกรมวิชาการเกษตรที่ 500 กิโลกรัมต่อไร่ ทำการสกัดปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินในน้ำโดยวิธีการนึ่งฆ่าเชื้อและทำการผสมลงในอาหาร WA โดยปรับอัตราส่วนได้เป็น 0.8 กรัมต่อลิตร (0.5X), 1.60 กรัมต่อลิตร (X) และ 3.2 กรัมต่อลิตร (2X) นึ่งฆ่าเชื้อและทดสอบในจานเลี้ยงเชื้อ โดยวางเชื้อราลงตรงกลางของจานเลี้ยงเชื้อ นำไปบ่มภายใต้แสง near UV สลับมืด 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design จำนวน 3 ซ้ำ

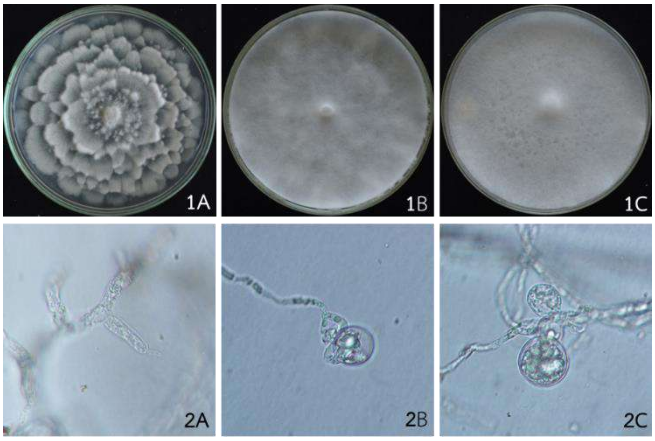
ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินที่ใช้ในการทดลอง

ประเภท	ส่วนประกอบ
ปุ๋ยอินทรีย์	เปลือกยูคาลิปตัส 40%, มูลไก่ไข่ 20%, มูลเป็ด 20%, มูลโคนม 10%, มูลค้างคาว 10%
ปุ๋ยอินทรีย์	กากน้ำตาล 60%, กากเอทานอล 30%, เกาลีน 10%, อินทรียวัตถุรับรอง 20%
ปุ๋ยอินทรีย์	พืชสด 70%, อาหาร 10%, ผลไม้ 10%, หินบด 10%, อินทรียวัตถุรับรอง 20%
สารปรับปรุงดิน	กรดฟูลวิก, กรดฮิมิค
สารปรับปรุงดิน	แคลเซียมคาร์บอเนต 70%, ซิลิกา 15%, อลูมินา 15%

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 การแยกเชื้อสาเหตุโรคและการระบุชนิดของเชื้อรา

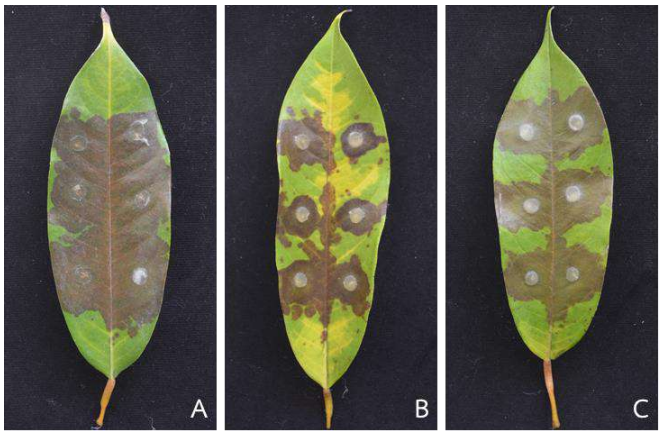
จากการแยกเชื้อจากดินที่นำมาจากแหล่งปลูกทุเรียนตำบลทุ่งเบญจา อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี สามารถแยกเชื้อราที่มีความคล้ายกับเชื้อราในกลุ่ม Oomycota ได้จำนวน 3 ไอโซเลท ได้แก่ PK001, PK002, และ PK003 (รูปที่1) เชื้อราไอโซเลท PK001 มีลักษณะโคโลนีเป็นเส้นใยสีขาวคล้ายกลีบดอกไม้ มีเส้นใยสีขาวฟูเล็กน้อย เส้นใยค่อนข้างเหนียว พบว่ามีการสร้าง sporangia รูปร่างค่อนข้างยาว (ellipsoid, elongated) ไม่มีติ่งยื่นที่ปลาย (non-papillate) เชื้อราไอโซเลท PK002 มีลักษณะโคโลนีเป็นเส้นใยสีขาวไม่ฟูมากเจริญเป็นเส้นตรงมีกิ่งก้านแยกออกไปสม่ำเสมอค่อนข้างเป็นระเบียบ พบว่ามีการสร้าง oospores มีรูปร่างกลม ผนังเรียบ มี oogonium ไม่เต็มส่วนเป็นแบบ aplerotic รูปร่าง globose ผนังเรียบ และ antheridium เป็นแบบ monoclinous เชื้อราไอโซเลท PK003 มีลักษณะโคโลนีเป็นเส้นใยสีขาวค่อนข้างฟู เจริญเป็นเส้นตรงมีกิ่งก้าน แยกออกไปสม่ำเสมอค่อนข้างเป็นระเบียบ พบว่ามีการสร้าง oospores มีรูปร่างกลม และ sporangia เป็นแบบ inflated filamentous จากลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่าเชื้อราไอโซเลท PK001 สอดคล้องกับเชื้อรา *Phytophthora* sp. โดย อุบล และคณะ [3] ได้รายงานลักษณะของเชื้อรา *Phytophthora* sp. ไว้ว่าลักษณะโคโลนีเป็นคล้ายกลีบดอกไม้ sporangia มีรูปร่างค่อนข้างยาว (ellipsoid, elongated) ไม่มีติ่งยื่นที่ปลาย (non-papillate) เชื้อราไอโซเลท PK002 และ PK003 มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาสอดคล้องกับเชื้อรา *Pythium* sp. [4] ได้รายงานไว้ว่าเชื้อรา *Pythium* sp. มีลักษณะโคโลนีเป็นเส้นใยสีขาว มี oogonium มีผนังเรียบ antheridium ที่เกิดจากก้านเดียวกับ oogonium (monoclinous)



รูปที่ 1 ลักษณะโคโลนีและสปอร์ของเชื้อราอาหาร PDA (1A-2A) ไอโซเลท PK001 (1B-2B) ไอโซเลท PK002 (1C-2C) ไอโซเลท PK003

5.2 ทดสอบความสามารถในการเกิดโรคที่บริเวณใบและราก

เมื่อทดสอบความสามารถในการก่อโรคที่บริเวณใบ (detached leaf) พบว่าเชื้อรา *Phytophthora* sp. และ *Pythium* sp. จำนวน 3 ไอโซเลท สามารถทำให้ใบทุเรียนเกิดอาการช้ำฉ่ำน้ำภายใน 2 วัน โดยพบอาการแผลช้ำฉ่ำน้ำ (รูปที่ 2) สอดคล้องกับการทดลองที่ทดสอบความสามารถในการเกิดโรคบนใบทุเรียนของเชื้อรา *Phytophthora* sp. และ *Pythium* sp. ที่แยกมาจากทุเรียนพบว่าใบของทุเรียนที่ถูกเชื้อเข้าทำลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและช้ำฉ่ำน้ำ [8] การเกิดโรคของเชื้อและทดสอบความสามารถในการก่อโรคบริเวณราก พบว่าต้นมีอาการใบร่วงและลำต้นเหี่ยวในระยะเวลา 5 วัน และภายในระยะเวลา 14 วัน พบว่ารากแสดงอาการของโรครากเน่า ถอดปลอก (รูปที่ 3) สอดคล้องกับการศึกษาและการทดสอบการเกิดโรคทำให้ใบเหลืองและบางส่วนหลุดร่วง เมื่อล้างรากตรวจสอบพบว่ารากฝอยบางส่วนเน่า มีสีน้ำตาล ถอดปลอก [1]



รูปที่ 2 การเกิดโรคของเชื้อราสาเหตุโรคที่บริเวณใบ (detached leaf) ภายหลังการบ่มเชื้อที่ 2 วัน (A) เชื้อรา *Phytophthora* sp. PK001 (B) เชื้อรา *Pythium* sp. PK002 (C) เชื้อรา *Pythium* sp. PK003

รูปที่ 3 ลักษณะอาการของต้นทุเรียนภายหลังการปลูกเชื้อ 7 วัน และลักษณะอาการของรากภายหลังการปลูกเชื้อ 14 วัน (1A-2A) ต้นและรากของชุดควบคุม (1B-2B) ต้นและรากภายหลังการปลูกเชื้อรา *Phytophthora* sp. PK001 (1C-2C) ต้นและรากภายหลังการปลูกเชื้อรา *Pythium* sp. PK002 (1D-2D) ต้นและรากภายหลังการปลูกเชื้อรา *Pythium* sp. PK003

5.3 ผลของปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินต่อการเจริญของโคโลนีเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าและการเจริญของเชื้อรา *Trichoderma asperellum*

ผลของปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินต่อการเจริญของโคโลนีเชื้อราสาเหตุโรคพบอาหาร WA พบว่าการเจริญของเชื้อรา *Phytophthora* sp. และ *Pythium* sp. ชุดควบคุมมีการเจริญที่รวดเร็วที่สุด แต่อย่างไรก็ตามการเจริญบนผิวหน้าอาหารจะพบได้ว่ามีการผิดปกติเมื่อเทียบกับอาหาร PDA โดยเชื้อราจะเจริญราบไปกับผิวหน้าอาหารเป็นลักษณะของเส้นใยบาง เมื่อเปรียบเทียบขนาดของเส้นใยในการเจริญเติบโตพบว่าอาหาร WA ที่ผสมกรดฮิวมิคและกรดฟูลวิก (ความเข้มข้น 3.2 กรัม/ลิตร) มีการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรค *Phytophthora* sp. และ *Pythium* sp. ได้น้อย ตามมาด้วยอาหารที่ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีพืชสด 70% ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลของปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินที่มีต่อการเจริญของโคโลนีเชื้อรา *T. asperellum* พบว่าการผสมปุ๋ยอินทรีย์ที่ประกอบด้วยพืชสด 70% ช่วยส่งเสริมการเจริญของ *T. asperellum* ได้ดีที่สุด พบว่าเส้นใยเจริญฟูได้มากที่สุดในชุดการทดลอง (ตารางที่ 2 รูปที่ 4) เมื่อตรวจสอบลักษณะของเส้นใยและส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อราในอาหารที่ผสมกรดฮิวมิคและกรดฟูลวิกพบว่าเส้นใยและสปอร์ของของเชื้อรา *Phytophthora* sp. ระยะ 7 วัน เส้นใยมีขนาดเล็กลงและไม่พบการสร้างส่วนขยายพันธุ์ ส่วนขยายพันธุ์ของเชื้อรา *Pythium* sp. มีขนาดเล็กลงและบิดเบี้ยวเมื่อเทียบกับชุดควบคุม (รูปที่ 5) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่ได้รายงานถึงประสิทธิภาพของกรดฮิวมิคในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคทางดินหลายชนิด [11] เนื่องมาจาก โครงสร้างทางเคมีของกรดฮิวมิคที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อรา หมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ เช่น -COOH, phenolic C, methoxy group C, carbonyl C, aromatic C–O, anomeric C มีบทบาทสำคัญในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา โดยทำให้เกิดผลต่อผนังเซลล์ การหายใจของเซลล์ และสามารถจับกับผนังเซลล์ของเชื้อรา ทำให้โครงสร้างเสียหายและเซลล์ตายได้ ฮิวมิคที่ความเข้มสูงขึ้นสามารถลดกิจกรรมของโปรตีนและน้ำตาลในเซลล์เชื้อรา ก่อให้เกิดสภาพเครียดในเซลล์ในส่วนของการสังเคราะห์ไขมันได้ การใช้สารอินทรีย์จากธรรมชาติกับสารฮิวมิคถูกใช้เพื่อการเพิ่มอินทรีย์วัตถุแต่ในด้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในดินได้แสดงผลที่เห็นได้ว่า การใช้สารฮิวมิคส่งผลที่ดีในการยับยั้งเชื้อรา และการได้รับปุ๋ยอินทรีย์ยังส่งผลโดยตรงต่อเชื้อราสาเหตุโรคมากกว่ากลุ่มเชื้อราปฏิปักษ์ไตรโคเดอร์มา

ตารางที่ 2 การเจริญของเชื้อราบนอาหารที่ผสมปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินที่ความเข้มข้นต่างๆ

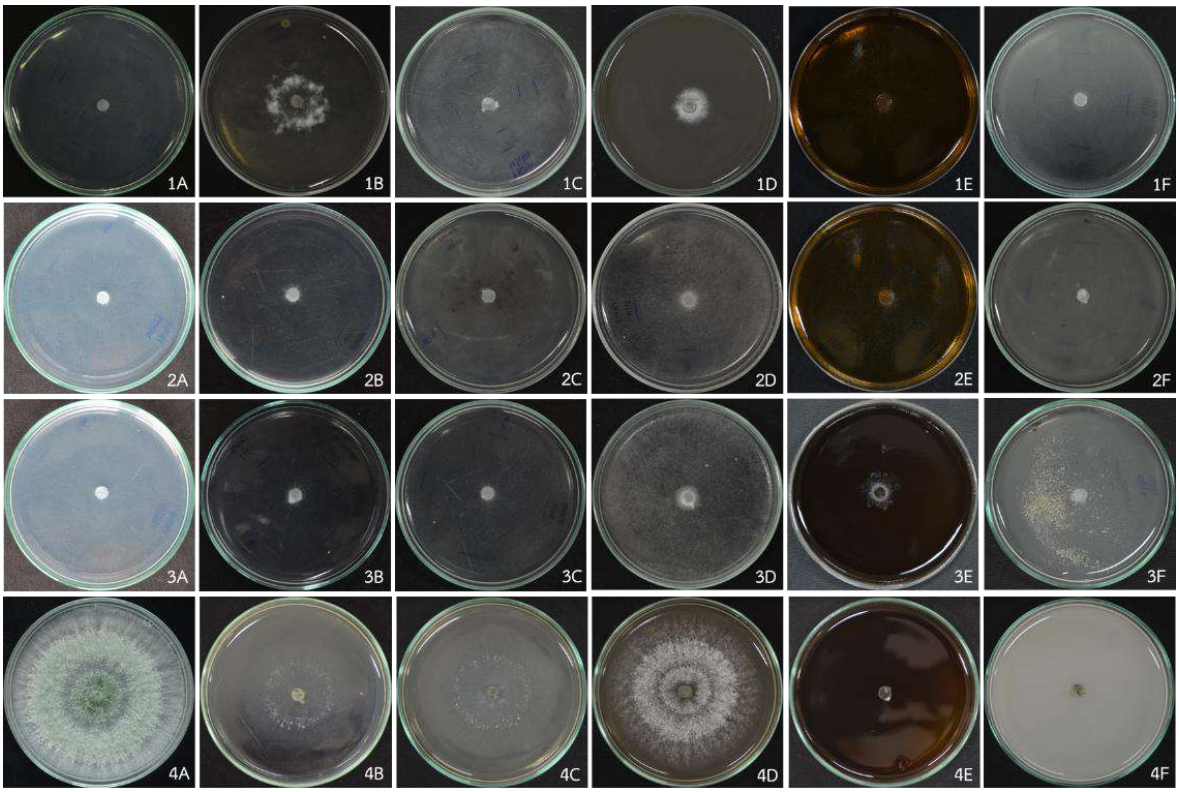
ประเภท (ส่วนประกอบหลัก)	ความเข้มข้น (กรัม/ลิตร)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อรา (เซนติเมตร)[1]			
		Phytophthora sp. PK001 ที่ระยะเวลา 3 วัน	*Pythium* sp. PK002 ที่ระยะเวลา 1 วัน	*Pythium* sp. PK003 ที่ระยะเวลา 1 วัน	*Phytophthora* sp. PK001 ที่ระยะเวลา 3 วัน
ปุ๋ยอินทรีย์ (เปลือกยูคาลิปตัส 40%)	0.8	3.7a	4.6cdef	5.1d	5.4c
	1.6	2.9ab	5.4b	5.2d	5.8c
	3.2	3.35ab	5.45b	5d	5.75c
ปุ๋ยอินทรีย์ (กากน้ำตาล 60%)	0.8	3.35ab	6.3a	3.65f	8a
	1.6	3.3ab	6.05a	5.85b	7.9a
	3.2	3.3ab	5.45b	6ab	6.7b
ปุ๋ยอินทรีย์ (พืชสด 70%)	0.8	1.55bc	5.3b	5.1d	3.5d
	1.6	1c	4.5def	5.1d	7.35ab
	3.2	1c	4.85bcd	5.65bc	8a

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($P \leq 0.01$); [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเปรียบเทียบโดยวิธีการ Duncan's new Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

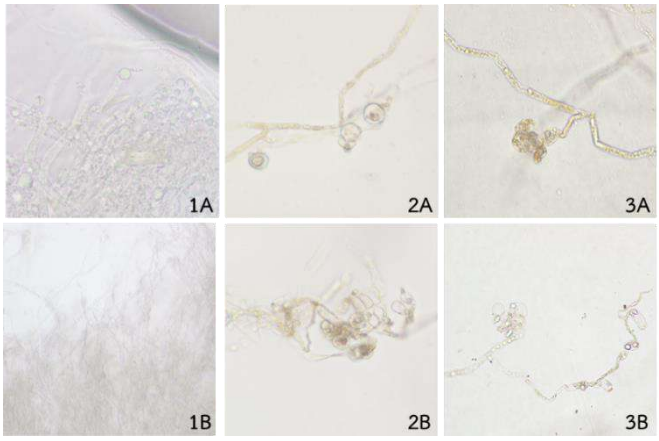
ตารางที่ 2 การเจริญของเชื้อราบนอาหารที่ผสมปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินที่ความเข้มข้นต่างๆ (ต่อ)

ประเภท (ส่วนประกอบหลัก)	ความเข้มข้น (กรัม/ลิตร)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อรา (เซนติเมตร)[1]			
		Phytophthora sp. PK001 ที่ระยะเวลา 3 วัน	*Pythium* sp. PK002 ที่ระยะเวลา 1 วัน	*Pythium* sp. PK003 ที่ระยะเวลา 1 วัน	*Phytophthora* sp. PK001 ที่ระยะเวลา 3 วัน
สารปรับปรุงดิน (กรดฮิวมิค, กรดฟูลวิก)	0.8	3.25ab	5.05bc	6.25a	3e
	1.6	3ab	5.05bc	6.5a	1.5g
	3.2	1c	4.25ef	4.5e	0h
สารปรับปรุงดิน (แคลเซียมคาร์บอเนต 70%)	0.8	3.5ab	4.65cdef	5.2cd	2.3fg
	1.6	3.15ab	4.55cdef	5d	1.95g
	3.2	3.55a	4.8bcd	5.25cd	1.5g
ชุดควบคุม		5a	6.1a	4.7e	6.3b
F-test		**	**	**	**

หมายเหตุ ** แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($P \leq 0.01$); [1/]ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเปรียบเทียบโดยวิธีการ Duncan's new Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4 การเจริญของโคโลนีเชื้อราสาเหตุโรคและโคโลนีเชื้อรา *T. asperellum* ที่ผสมปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดินที่ความเข้มข้น 3.2 กรัมต่อลิตร (1) เชื้อรา *Phytophthora* sp. PK001 ที่ระยะ 3 วัน (2) เชื้อรา *Pythium* sp. PK002 ที่ระยะ 3 วัน (3) เชื้อรา *Pythium* sp. PK003 ที่ระยะ 3 วัน (4) เชื้อรา *T. asperellum* ที่ระยะ 7 วัน (A) อาหาร WA (B) อาหาร WA ผสมปุ๋ยอินทรีย์ (เปลือกยูคาลิปตัส 40%) (C) อาหาร WA ผสมปุ๋ยอินทรีย์กากน้ำตาล 60% (D) อาหาร WA ผสมปุ๋ยอินทรีย์พืชสด 70% (E) อาหาร WA ผสมสารปรับปรุงดินกรดฮิวมิคและกรดฟูลวิก (F) อาหาร WA ผสมสารปรับปรุงดินแคลเซียมคาร์บอเนต 70%



รูปที่ 5 ลักษณะของส่วนขยายพันธุ์และเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคเมื่อผสมสารปรับปรุงดินกรดฮิวมิคและกรดฟูลวิกภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (1) เชื้อรา *Phytophthora* sp. PK001 ที่ระยะ 7 วัน (2) เชื้อรา *Pythium* sp. PK002 ที่ระยะ 3 วัน (3) เชื้อรา *Pythium* sp. PK003 ที่ระยะ 3 วัน (A) ชุดควบคุม (B) ชุดทดลองในอาหารที่ผสมสารปรับปรุงดินกรดฮิวมิคและกรดฟูลวิก 3.2 กรัมต่อลิตร

6. สรุปผลการศึกษา

เชื้อราที่แยกได้ดินอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี สามารถระบุชนิดด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาเป็นเชื้อรา *Phytophthora* sp. และเชื้อรา *Pythium* sp. มีความสามารถในการเกิดโรคบนใบและรากทุเรียน ผลของการใช้ปุ๋ยอินทรีย์และสารปรับปรุงดิน เช่น กรดฮิวมิค กรดฟูลวิก และปุ๋ยอินทรีย์จากพืชสด มีผลทั้งในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราก่อโรค และส่งเสริมการเจริญของเชื้อรา *T. asperellum* ซึ่งเป็นเชื้อราปฏิปักษ์ที่มีศักยภาพในการควบคุมโรคในดิน แต่การใช้สารปรับปรุงดินที่มีกรดฮิวมิคอาจมีผลต่อการยับยั้งเชื้อรา *T. asperellum*

เอกสารอ้างอิง

[1] กนกพร ฉัตรไชยศิริ. (2563). การพัฒนาสูตรอาหารเพื่อแยกเชื้อรา *Phytophthora vexans* สาเหตุโรครากเน่า และโคตนเน่าของทุเรียน และการควบคุมด้วยสารเคมีกำจัดเชื้อรา

[2] ประไพพร ศิริคติธรรม. (2537). โรครากเน่าโคนเน่าของผักสลัด (Pythium stem and root rot) และโรคเน่าคอดิน (Damping-off) สาเหตุเกิดจากเชื้อราพิเทียยม

[3] อุบล คือประโคน, สมศักดิ์ เสียงก้อง และ สัญชัย ตันตยาภรณ์. 2527. เชื้อรา *Phytophthora* ชนิดต่างๆ ในประเทศไทย. กองโรคพืชและจุลชีววิทยา กรมวิชาการเกษตร

[4] Bonanomi, G., Antignani, V., Pane, C., & Scala, F. (2010). Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. Journal of Plant Pathology, 92(2), 311–324.

[5] Drenth, A., & Guest, D. I. (2004). *Phytophthora palmivora*: Diversity, host interactions and the potential for biological control. In Diversity and Management of *Phytophthora* in Southeast Asia. ACIAR Monograph.

[6] Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. Nature Reviews Microbiology, 2(1), 43–56. https://doi.org/10.1038/nrmicro797

[7] Hendrix, F. F., & Campbell, W. A. (1973). Pythiums as plant pathogens. Annual Review of Phytopathology, 11(1), 77-98.

[8] Suksiri, S., Laipasu, P., Soytong, K., & Poeaim, S. (2018). Isolation and identification of *Phytophthora* sp. and *Pythium* sp. from durian orchard in Chumphon province, Thailand.

[9] Thomma, B. P. H. J., Nurnberger, T., & Joosten, M. H. A. J. (2011). Of PAMPs and effectors: The blurred PTI-ETI dichotomy. The Plant Cell, 23(1), 4–15.

[10] Vawdrey, L. L., Martin, T. M. and De Faveri, J. (2005). A detached leaf bioassay to screen durian cultivars for susceptibility to *Phytophthora palmivora*. Australasian Plant Pathology 34:251-253.

[11] Wei, S., Xie, Z., Zhao, Y., Wang, Q., Wang, Y., Zhao, J., ... & Li, Z. (2025). Potential inhibition of humic acid against soil-borne pathogenic fungi: A review. Pedosphere, 35(1), 33-41.

[12] Woo, S. L., Ruocco, M., Vinale, F., Nigro, M., Marra, R., Lombardi, N., ... & Lorito, M. (2014). *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture. Open Mycology Journal, 8(1), 71–126.

[13] Zhang, L., Xu, Y., Zhang, F., & Hodge, A. (2016). Organic fertilizer promotes the growth of beneficial microbes and improves soil microbial community composition. Applied Soil Ecology, 103, 140–147.

การพัฒนาโฟมยางที่ใช้ฟีโรโมนสังเคราะห์เพื่อควบคุมด้วงแรดมะพร้าว *Oryctes rhinoceros* L.

วรัญญู สุขโต[1*], วันวิสา ทองฉิม[1], ภิชาพร ธรรมศิริ[1], สาธิต บัวดำ[1], นิธินาถ แซ่ตั้ง[2], และ นริศ ท้าวจัทร์[3]

[1]โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัยสมบูรณ์กุลกันยา ตำบลหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
[2]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
[3]คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
** Corresponding author: captain.warunyoo@gmail.com*

บทคัดย่อ

มะพร้าวและปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญในประเทศต่างๆ เช่น ไทย ฟิลิปปินส์ และมาเลเซีย ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง และพลังงานทดแทน แต่ศัตรูพืชอย่างด้วงแรดมะพร้าว (*Oryctes rhinoceros* L.) ส่งผลกระทบต่อผลผลิต การควบคุมศัตรูพืชในปัจจุบันที่ใช้สารเคมีและฟีโรโมน ethyl 4-methyloctanoate (E4-MO) ที่มีข้อจำกัดในด้านต้นทุนและประสิทธิภาพ ดังนั้นโครงงานจึงมุ่งเน้นไปที่การขยายอายุการใช้งานของฟีโรโมน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมศัตรูพืชทดแทนการใช้สารเคมีที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การศึกษาอัตราส่วนและระยะเวลาการเตรียมโฟมยางธรรมชาติ การศึกษาหาปริมาณฟีโรโมนที่เหมาะสม และสูตรโฟมยางที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการดึงดูดด้วงแรดมะพร้าว ผลการศึกษาพบว่า สูตรการตี 3 นาที Laurate มีความหนาแน่นสูงสุด (0.3453 ± 0.01 g/cm^3) และสูตรการตี 5 นาที Oleate มีความหนาแน่นต่ำสุด (0.2864 ± 0.01 g/cm^3) การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์เผยให้เห็นว่า โฟมยางที่มีความหนาแน่นต่ำกว่ามีความสามารถในการระเหยของฟีโรโมนได้ดีกว่า เนื่องจากมีรูพรุนที่ใหญ่กว่า การศึกษาปริมาณฟีโรโมนพบว่า 100 และ 150 ไมโครลิตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สูตรการตี 3 นาที Laurate และ 3 นาที Oleate มีอัตราการดึงดูด 22.22 ± 3.81% และ 23.81 ± 4.29% ตามลำดับ โดยไม่มีความแตกต่างทางสถิติกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) สรุปได้ว่า สูตรที่มีรูพรุนใหญ่เหมาะสำหรับการปลดปล่อยฟีโรโมนรวดเร็ว ส่วนสูตรที่มีความหนาแน่นมากเหมาะสำหรับการใช้งานที่ทนทาน ผลการศึกษานี้สนับสนุนการพัฒนากับดักฟีโรโมนเพื่อควบคุมศัตรูพืชอย่างยั่งยืนและลดการใช้สารเคมี

คำสำคัญ: ฟีโรโมน / โฟมยาง / ด้วงแรดมะพร้าว / แอมโมเนียมโอลิเอต / แอมโมเนียมลอเลต

Development of Rubber Foam Infused with Synthetic Pheromones to Control *Oryctes rhinoceros* L.

Waranyoo Sukto[1*], Wanwisa Thongchim[1], Pichapond Thammasiri[1], Sathit Buadam[1], Nitinart Saetung[2], and Narit Thaochan[3]

[1]Hatyaiwittayalaisomboonkunkanlaya School, Thailand
[2]Faculty of Science, Prince of Songkla University, Thailand
[3]Faculty of Natural Resources, Prince of Songkla University, Thailand
** Corresponding author: captain.warunyoo@gmail.com*

Abstract

Coconut and oil palm are vital economic crops in countries like Thailand, the Philippines, and Malaysia, used in the food, cosmetics, and renewable energy industries. However, pests such as *Oryctes rhinoceros* threaten these crops, reducing yields. Current pest control methods, including chemicals and pheromones, have limitations in effectiveness and cost. This research aims to extend the lifespan of pheromone lures by developing breathable rubber foam to attract *Oryctes rhinoceros*, enhance pheromone evaporation, reduce pesticide use, and improve pest management in coconut and oil palm plantations. The study examines the appropriate ratios and preparation times for natural rubber foam, the optimal amount of ethyl 4-methyloctanoate (E4-MO) pheromone, and the most effective foam formula for attraction. Results show that foam density varies among formulas. The 3 minutes Laurate formula had the highest density (0.3453 ± 0.01 g/cm³), while the 5 minutes Oleate formula had the lowest (0.2864 ± 0.01 g/cm³). Microscopic analysis revealed that lower-density foams allowed better pheromone diffusion due to larger pores. For optimal pheromone amounts, 100 and 150 microliters provided the same level of attraction, with no significant statistical difference ($p > 0.05$). Regarding foam performance, the 3 minutes Laurate and 3 minutes Oleate formulas had the highest attraction rates (22.22 ± 3.81% and 23.81 ± 4.29%, respectively), with no significant statistical difference ($p > 0.05$). However, the Laurate formula exhibited better pheromone absorption and release, while the Oleate formula had a stronger structure, enhancing durability. In conclusion, both formulas are effective, with larger-pored foams ideal for fast pheromone release and denser foams better suited for durability. These findings support the development of pheromone traps for sustainable pest control. The biodegradable rubber foam enhances pheromone efficiency, reduces pesticide use, lowers costs, and promotes eco-friendly agriculture.

Keywords: Pheromone / Rubber foam / *Orytes rhinoceros* L. / Oleate / Laurate

1. บทนำ

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทยที่สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภท เช่น กะทิ น้ำมันมะพร้าว น้ำตาลมะพร้าว และมะพร้าวน้ำหอม ซึ่งมีมูลค่าการส่งออกในปี 2566 สูงถึง 34,090 ล้านบาท ขยายตัวเพิ่มขึ้น 16% จากปีก่อน ในช่วง 5 เดือนแรกของปี 2567 การส่งออกผลิตภัณฑ์มะพร้าวยังคงเติบโตอย่างต่อเนื่องที่ 14,579 ล้านบาท เพิ่มขึ้น 7% เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อน [1] โดยแหล่งเพาะปลูกมะพร้าวที่สำคัญในประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และสมุทรสงคราม โดยมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 0.78 ล้านไร่ [2] ข้อมูลย้อนหลังแสดงให้เห็นว่าพื้นที่เพาะปลูกมะพร้าวมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น ต้นทุนการแปรรูปมะพร้าวที่สูงขึ้นและการปลูกพืชเศรษฐกิจอื่นๆ ทดแทนมะพร้าว เช่น ยางพาราและปาล์มน้ำมัน ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่สำคัญในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น สบู่ เครื่องสำอาง และไอศกรีม โดยมีการส่งออกในมูลค่าที่สูงขึ้นทุกปี ผลผลิตปาล์มน้ำมันในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร 39% ไบโอดีเซล 29% และส่งออกไปยังต่างประเทศ 32% [3] แต่พื้นที่ปลูกมะพร้าวและปาล์มน้ำมันต้องเผชิญกับปัญหาศัตรูพืชที่ทำให้ผลผลิตลดลง เช่น ด้วงแรดมะพร้าวที่ทำลายระบบรากและยอดของพืช ปัจจุบันการควบคุมด้วงแรดมะพร้าวโดยใช้สารเคมี เช่น บิวเมธามิค, บิวทาเร็กซ์, ไอโพรนิล หรือการใช้ฟีโรโมนในการดึงดูดด้วงแรดมะพร้าวมีข้อจำกัดทั้งในเรื่องของราคาและประสิทธิภาพการใช้งาน [4,5] ด้วยเหตุนี้ โครงงานนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาโฟมยางที่มีลักษณะรูพรุนและผิวหน้าระบายอากาศได้ดี เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการล่อด้วงแรดมะพร้าว ด้วยคุณสมบัติในการระเหยฟีโรโมนซึ่งสามารถช่วยลดการใช้สารเคมีและเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมศัตรูพืชในพื้นที่ปลูกมะพร้าวและปาล์มน้ำมัน

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอัตราส่วนและระยะเวลาในการเตรียมโฟมยาง
2. ศึกษาปริมาณฟีโรโมนที่เหมาะสมต่อการล่อด้วงแรดมะพร้าว
3. ศึกษาสูตรโฟมยางที่เหมาะสมต่อการล่อด้วงแรดมะพร้าว

3. ขอบเขตของการศึกษา

โครงงานนี้เป็นงานทดลองเพื่อแก้ปัญหาการแพร่ระบาดของด้วงแรดมะพร้าวชนิดเล็ก *(O. rhinoceros* L.) โดยมีขอบเขตการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาในห้องปฏิบัติการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ ห้องปฏิบัติการยางพารา คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2. ระยะเวลาในการศึกษาตั้งแต่ เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2567 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568

3. กระบวนการผลิตโฟมยางแบบดันลอป (Dunlop Process)

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

4.1.1 การเตรียมโฟมยางพาราประเภท oleate และ Laurate

- **สูตรทำโฟมยางประเภท oleate และ Laurate**
  1) นำน้ำยางพารา 60% มากวนไล่แอมโมเนีย ใช้เวลา 2 นาที
  2) เติมแอมโมเนียมโอลิเอต กำมะถัน ZDEC ZMBT และ Wingstay

3) กวนด้วยความเร็ว 90 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และได้น้ำยางคอมเปาว์
4) นำน้ำยางคอมเปาว์ ตีด้วยความเร็วเบอร์ 1 ใช้เวลาในการตีที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1, 3 และ 5 นาทีตามลำดับ
5) เติมสาร DPG จากนั้นเติมสาร ZnO และ เติมสาร SSF ตามลำดับ จากนั้นเทใส่เบ้าพิมพ์
6) นำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศา เป็นเวลา 25 นาที และนำไปตาก
7) ทำขั้นตอนที่ 1 - 6 แต่เปลี่ยนการเติมแอมโมเนียมโอลิเอต เป็น แอมโมเนียมลอเลต

ตารางที่ 1 แสดงสูตรสำหรับเตรียมโฟมยางพารา

สารเคมี	ส่วนผสมในการทำโฟมยาง สูตรที่ 1 ชนิด laurate (กรัม)	ส่วนผสมในการทำโฟมยาง สูตรที่ 2 ชนิด oleate (กรัม)	ระยะเวลาในการผสมสาร
ขั้นตอนการทำน้ำยางคอมเปาว์			
น้ำยางพารา 60%	1,000	1,000	ความเร็ว 90 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
Ammonium laurate	60	-	
Ammonium oleate	-	60	
กำมะถัน	30	30	
ZDEC	12	12	
ZMBT	12	12	
Wingstay	12	12	
ขั้นตอนการทำโฟมยาง			
น้ำยางคอมเปาว์	167	167	-
DPG	3	3	30 วินาที
ZnO	10	10	30 วินาที
SSF	3	3	10 วินาที

ตอนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนและระยะเวลาในการเตรียมโฟมยาง

1. ศึกษาลักษณะรูพรุน

1.1 นำโฟมยางตัวอย่างแต่ละสูตรมาตัดให้มีขนาดบางแล้วส่องด้วยชุดถ่ายภาพระบบดิจิตอล OLYMPUS รุ่น DP21-SAL

1.2 จดบันทึกผล

2. ศึกษาความหนาแน่น

2.1 นำโฟมยางตัวอย่างแต่ละสูตรมาตัดเป็นทรงลูกบาศก์ ปริมาตร 1 x 1 x 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.2 นำโฟมยางตัวอย่างชั่งบนเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง คิดค่าความหนาแน่นโดยใช้สูตร $D = \frac{M}{V}$ โดยที่ D คือความหนาแน่น (g/cm³) M คือน้ำหนักของชิ้นงาน (g) V คือปริมาตรของชิ้นงาน (cm³)

2.3 จดบันทึกมวลและคำนวณความหนาแน่น

2.4 แปลค่าที่ได้จากการทดลอง เป็นค่าทางสถิติโดยใช้ Anova Excel

ตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณของฟีโรโมนที่เหมาะสมต่อการล่อด้วงแรดมะพร้าว

2.1 เลือกโฟมยางที่ดีที่สุดจากตอนที่ 1 จำนวน 4 ตัวอย่าง

2.2 ใช้ autopipette ในการฉีดฟีโรโมนปริมาณ 50, 100, 150 และ 200 ไมโครลิตร เข้าไปในโฟมยางตัวอย่างแต่ละชิ้นตามลำดับ

2.3 นำโฟมยางตัวอย่างทั้ง 4 ชิ้นวางไว้ในแต่ละด้านของกล่องทดลอง

2.4 นำด้วงแรดมะพร้าวใส่ลงไปในกล่องทดลองขนาด 40 x 40 x 15 เซนติเมตร เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของปริมาณของฟีโรโมนในโฟมยางตัวอย่าง

2.5 ทำการทดลองซ้ำอีก 4 ครั้ง

2.6 จดบันทึกผลการทดลองจำนวนด้วงแรดมะพร้าวที่เข้าหาโฟมยางในแต่ละปริมาณของฟีโรโมน

2.7 แปลค่าที่ได้จากการทดลอง เป็นค่าทางสถิติโดยใช้ Anova Excel

ตอนที่ 3 ศึกษาสูตรโฟมยางที่เหมาะสมต่อการล่อด้วงแรดมะพร้าว

นำโฟมยางตัวอย่างทั้ง 4 สูตรดังนี้ ชนิด oleate ระยะเวลาการตี 3 และ 5 นาที และ ชนิด laurate ระยะเวลาการตี 1 และ 3 นาที นำมาฉีดฟีโรโมนปริมาณ 100 ไมโครลิตร

3.1 นำโฟมยางตัวอย่างทั้ง 4 สูตรที่มีฟีโรโมนปริมาณ 100 ไมโครลิตร ใส่ในกล่องการทดลองขนาด 40 x 40 x 15 เซนติเมตร โดยวางไว้ในแต่ละด้านของกล่องทดลอง

3.2 นำด้วงแรดมะพร้าวลงไปในกล่องการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของโฟมยางตัวอย่าง

3.3 ทำการทดลองซ้ำอีก 8 ครั้ง

3.4 จดบันทึกผลการทดลองจำนวนด้วงแรดมะพร้าวที่เข้าหาโฟมยางในแต่ละสูตร

3.5 แปลค่าที่ได้จากการทดลอง เป็นค่าสถิติโดยใช้ Anova Excel

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยวิเคราะห์สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการศึกษาด้วยสถิติ Anova Excel กำหนดระดับนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนและระยะเวลาในการเตรียมโฟมยาง

จากตารางที่ 2 แสดง จากการศึกษาอัตราส่วน และระยะเวลาในการเตรียมโฟมยาง พบว่า ค่าความหนาแน่นของโฟมยางแต่ละสูตรมีความแตกต่างกัน โดยสูตรการตี 3 นาที Laurate มีค่าความหนาแน่นสูงสุดที่ 0.3453 ± 0.01 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในขณะที่สูตรการตี 5 นาที Oleate มีค่าความหนาแน่นต่ำสุดที่ 0.2864 ± 0.01 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาและชนิดของสารที่ใช้มีผลต่อโครงสร้างของโฟมยาง เมื่อนำโฟมยางแต่ละสูตรไปตรวจสอบด้วยชุดถ่ายภาพระบบดิจิตอล OLYMPUS รุ่น DP21-SAL ภายใต้เลนส์กำลังขยาย 5, 10 และ 20 เท่า พบว่า ขนาดและการกระจายตัวของรูพรุนในโฟมยางแตกต่างกันในแต่ละสูตร ส่งผลให้โฟมยางแต่ละชนิดมีคุณสมบัติในการกักเก็บความร้อนที่แตกต่างกัน โดยโฟมยางที่มีความหนาแน่นต่ำกว่ามักจะมีโครงสร้างที่มีรูพรุนขนาดใหญ่และมีการกระจายตัวของรูพรุนที่มากกว่า สามารถระบายฟีโรโมนได้ดีกว่า สอดคล้องกับโครงงานก่อนหน้านี้ที่พบว่าวัสดุที่มีรูพรุนขนาดใหญ่จะปล่อยสารเคมีออกมาได้ดีกว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง [6]

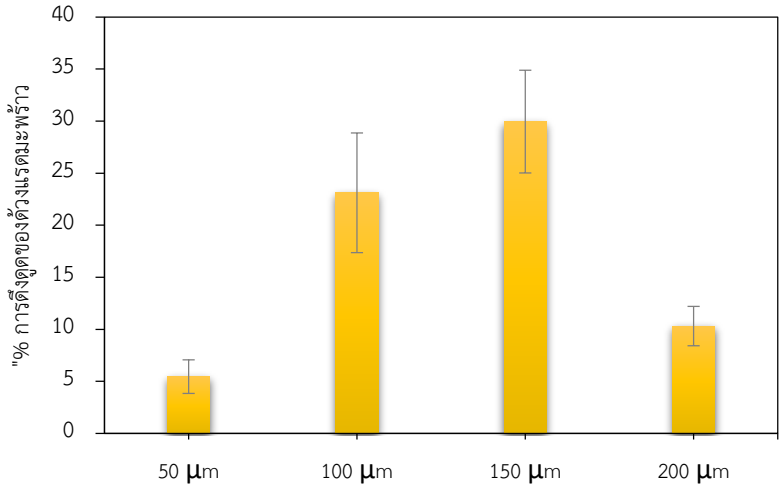
นอกจากนี้ยังมีรายงานที่สนับสนุนว่าการควบคุมขนาดรูพรุนของวัสดุจะส่งผลต่อการแพร่กระจายของสารออกฤทธิ์ชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญ [7]

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะของโฟมยางและความหนาแน่นของโฟมยางในแต่สูตรที่แตกต่างกัน

ชนิดของโฟมยาง	กำลังขยาย 5x	กำลังขยาย 10x	กำลังขยาย 20x	ความหนาแน่นของโฟมยาง (g/cm³)
ชนิด laurate ระยะเวลาตี 1 นาที				0.3157±0.01
ชนิด laurate ระยะเวลาตี 3 นาที				0.3453±0.01
ชนิด oleate ระยะเวลาตี 3 นาที				0.3382±0.01
ชนิด oleate ระยะเวลาตี 5 นาที				0.2864±0.01

ตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณฟีโรโมนที่เหมาะสมต่อการล่อด้วงแรดมะพร้าว

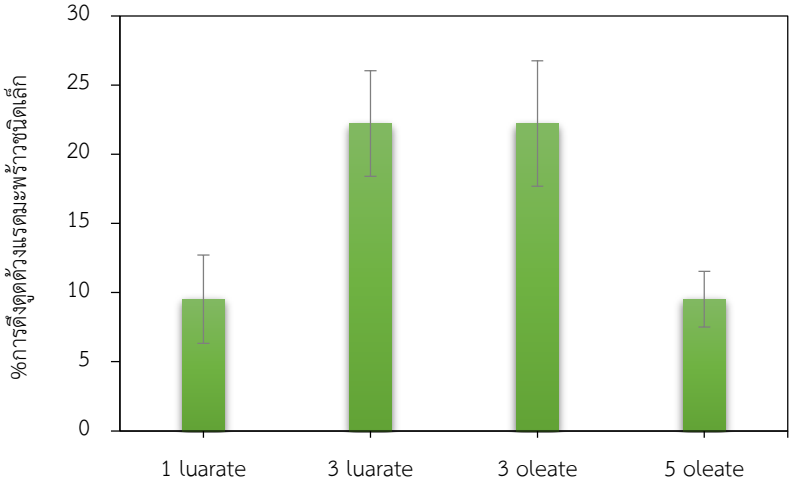
จากรูปที่ 1 พบว่าปริมาณ 150 ไมโครลิตร สามารถดึงดูดได้มีประสิทธิภาพที่สุด และสังเกตได้ว่าปริมาณฟีโรโมน 100 ไมโครลิตร มีความสามารถในการดึงดูดด้วงได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงว่าการเพิ่มปริมาณฟีโรโมนเกินกว่า 100 ไมโครลิตร อาจไม่เพิ่มประสิทธิภาพในการดึงดูดแมลงเพิ่มเติมอย่างชัดเจน สอดคล้องกับการศึกษาโดย Bedford ที่รายงานว่าการเพิ่มปริมาณฟีโรโมนในกับดักล่อแมลงไม่ได้ส่งผลเพิ่มประสิทธิภาพในการดึงดูดแมลงเสมอไป แต่กลับอาจทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น [8] ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง ที่พบว่าปริมาณฟีโรโมนที่เหมาะสมคือ 100 ไมโครลิตร โดยให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับปริมาณที่สูงกว่า แต่ประหยัดต้นทุนกว่า (ฟีโรโมน ราคา 400 บาท/มิลลิลิตร)



รูปที่ 1 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงดูดของด้วงแรดมะพร้าว *O. rhinoceros* L. ของโฟมยางที่มีการฉีดฟีโรโมน

ตอนที่ 3 ศึกษาสูตรโฟมยางที่เหมาะสมกับการล่อด้วงแรดมะพร้าว

จากรูปที่ 2 พบว่าโฟมยางสูตรการตี 3 นาที Laurate และสูตรการตี 3 นาที Oleate ให้เปอร์เซ็นต์การดึงดูดด้วงแรดมะพร้าว ได้ไม่แตกต่างกัน โดยโฟมยางสูตรการตี 3 นาที Laurate ให้เปอร์เซ็นต์ 22.22 ± 3.81 เปอร์เซ็นต์ และโฟมยางสูตรการตี 3 นาที Oleate ให้เปอร์เซ็นต์ 23.81 ± 4.29 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า ทั้งสองสูตรสามารถนำไปใช้งานได้ดีในเชิงปฏิบัติ แต่โฟมยางที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ความหนาแน่นต่ำ จะเหมาะสำหรับการใช้งานระยะสั้นที่ต้องการการปลดปล่อยฟีโรโมนอย่างรวดเร็ว ขณะที่โฟมที่มีรูพรุนเล็กความหนาแน่นสูง จะเหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องการความทนทานในการใช้งานระยะยาว ซึ่งสอดคล้องกับรายงานเกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุสำหรับทำกับดักฟีโรโมนจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ในการใช้งานทั้งในแง่ความรวดเร็วในการแพร่กระจายฟีโรโมนและความทนทานของตัววัสดุในการใช้งานจริง [9]



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์เปอร์เซ็นต์การดึงดูดของด้วงแรดมะพร้าว *O. rhinoceros* L. กับสูตรโฟมยาง

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาอัตราส่วนและระยะเวลาในการเตรียมโฟมยาง พบว่า สูตรการตี 3 นาที Laurate มีค่าความหนาแน่นสูงสุดที่ 0.3453 ± 0.01 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ สูตรการตี 5 นาที Oleate มีค่าความหนาแน่นต่ำสุดที่ 0.2864 ± 0.01 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาและชนิดของสารที่ใช้มีผลต่อโครงสร้างของโฟมยาง เมื่อทำการตรวจสอบด้วยชุดถ่ายภาพดิจิตอล พบว่าขนาดและการกระจายตัวของรูพรุนในโฟมยางแต่ละสูตรแตกต่างกัน โดยโฟมยางที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าจะมีรูพรุนขนาดใหญ่ และการกระจายตัวของรูพรุนมากกว่า ส่งผลให้มีความสามารถในการกักเก็บความร้อนน้อยลง

สำหรับการศึกษาผลของปริมาณสารฟีโรโมน ethyl 4-methyloctanoate (E4-MO) ที่ระดับต่างๆ ในโฟมยางพารา พบว่าปริมาณสารฟีโรโมนที่ระดับสูงไม่มีผลแตกต่างกับปริมาณที่ระดับต่ำในการดึงดูดด้วงแรดมะพร้าว *O. rhinoceros* L. โดยสารฟีโรโมนที่ระดับ 100 ไมโครลิตร ซึ่งเป็นปริมาณต่ำที่สุดสามารถดึงดูดด้วงแรดมะพร้าวได้สูงสุดถึง 23.12 ± 5.74 เปอร์เซ็นต์ การใช้ปริมาณสารฟีโรโมนที่ 100 ไมโครลิตร ไม่เพียงแต่ให้ประสิทธิภาพในการดึงดูดด้วงแรดมะพร้าวได้ดีเทียบเท่ากับการใช้ปริมาณที่สูง แต่ยังสามารถลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการเลือกใช้สารฟีโรโมนในปริมาณที่น้อยกว่าแต่ให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกันจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการนำไปใช้ควบคุมด้วงแรดมะพร้าวอย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษาสูตรโฟมยางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการล่อด้วงแรดมะพร้าว พบว่า โฟมยางสูตรการตี 3 นาที Laurate และโฟมยางสูตรการตี 3 นาที Oleate ให้เปอร์เซ็นต์การดึงดูดด้วงแรดมะพร้าวได้ดีที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารอ้างอิง

[1] สมาคมผู้ผลิตอาหารสำเร็จรูป โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร. (2567). รายงานการส่งออกผลิตภัณฑ์มะพร้าวและผลิตภัณฑ์เกี่ยวข้องของประเทศไทย ประจำปี 2567. กรุงเทพฯ: สมาคมผู้ผลิตอาหารสำเร็จรูป.

[2] สถาบันอาหาร. (2565). รายงานสถานการณ์การเพาะปลูกมะพร้าวในประเทศไทย พ.ศ. 2565. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.

[3] ลงทุนแมน. (2566). สถานการณ์ปาล์มน้ำมันของไทย ปี 2566. สืบค้นเมื่อ 18 เมษายน 2568, จาก https://www.longtunman.com/

[4] Phillips, T. W. (1997). Semiochemicals of stored-product insects: Research and applications. Journal of Stored Products Research, 33(1), 17-30. https://doi.org/10.1016/S0022-474X(96)00039-2

[5] Paudel, S., Rehman, J. U., Jung, J. K., Jung, C. W., & Kim, J. H. (2023). Advances in nanomatrix-based pheromone delivery systems for pest management. Polymers, 15(12), 2708. https://doi.org/10.3390/polym 15122708

[6] Che Man, S. H., Shahidan, M. A., Yusoff, M. Z. M., & Kamarulzaman, N. (2019). Effect of porous structure on chemical release rate in polymeric foam materials. Journal of Material Science and Engineering, 7(2), 1-9.

[7] Mazlan, S. N., Zakaria, M. R., & Rahman, W. A. W. A. (2020). Control of porosity and its impact on biological active compound release from polymer composites. *International Journal of Polymer Science, 2020*, Article ID 6782031. https://doi.org/10.1155/2020/6782031

[8] Bedford, G. O. (2013). Advances in the control of coconut rhinoceros beetle, Oryctes rhinoceros L. (Coleoptera: Scarabaeidae). Annals of Applied Biology, *162*(1), 23-30. https://doi.org/10.1111/aab.12000

[9] [9] Elkinton, J. S., & Cardé, R. T. (2021). Behavior-modifying chemicals for insect management: Applications of pheromones and other attractants. In D. Pimentel & R. Peshin (Eds.), *Integrated pest management* (pp. 301-322). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823674-2.00016-3

สังคมศาสตร์และสาธารณสุข

Oral Presentation

การประเมินผลประสิทธิภาพหน้ากากอนามัยใช้ครั้งเดียวสำหรับเด็กเล็ก

ณัฐนพินทุ์ มณีสิริกาญจนา[1*], ณัฐวรรณ มีไทย[1], กมลชัย ยงประพัฒน์[1], เจนจิรา เอกดำรงค์[1], และ มณีรัตน์ องค์วรรณดี[1,2]

[1]ศูนย์บริการวิชาการด้านศาสตร์เขตเมือง สำนักอธิการบดี มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
[2]ภาควิชาการบริหารและจัดการเมือง วิทยาลัยพัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
** Corresponding author: natnapin@nmu.ac.th*

บทคัดย่อ

การใช้หน้ากากอนามัยมีบทบาทสำคัญในการป้องกันสุขภาพ โดยเฉพาะสำหรับเด็กเล็กที่ต้องเผชิญกับมลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) และเชื้อโรคในสภาพแวดล้อมประจำวัน งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการทดสอบประสิทธิภาพของหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็ก 20 ยี่ห้อ ที่วางจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด โดยตรวจสอบคุณลักษณะทางฟิสิกส์ 4 รายการ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2424-2565 หน้ากากอนามัยใช้ครั้งเดียว ประเภทใช้ทั่วไป ได้แก่ ประสิทธิภาพการกรองแบคทีเรีย ความแตกต่างของความดัน ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 0.1 ไมครอน และการลามไฟ ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า มีเพียง 1 ยี่ห้อมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านการกรองอนุภาคขนาดเล็ก และมีบางยี่ห้อที่ไม่ผ่านเกณฑ์ทดสอบด้านความแตกต่างของความดันและการลามไฟ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยและความสะดวกสบายในการใช้งานสำหรับเด็กเล็ก

คำสำคัญ: หน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็ก / การทดสอบหน้ากากอนามัย / มาตรฐานหน้ากากอนามัย / ประสิทธิภาพการกรองแบคทีเรีย / ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 0.1 ไมครอน

Evaluation of Efficiency of Single-Use Face Masks for Children

Natnapin Maneesirikanjana[1*], Nuthawan Meethai[1], Kamonchai Yongprapat[1], Janejira Ekdamrong[1], and Maneerat Ongwandee[1,2]

[1]Academic Service Center for Urbanology, Navamindradhiraj University
[2]Urban and Administration and Management Institute of Metropolitan Development, Navamindradhiraj University
** Corresponding author: natnapin@nmu.ac.th*

Abstract

The use of face masks plays a crucial role in health protection, especially for children who are exposed to air pollution, such as particulate matter smaller than 2.5 microns (PM2.5), and pathogens in their everyday environment. This research focuses on testing the performance of 20 brands of disposable face masks for children that are commonly available in the market. The masks were evaluated based on four physical characteristics according to the Industrial Product Standard, Thai Standard No. 2424-2565, which includes the following criteria: bacterial filtration efficiency, pressure differential, particle filtration efficiency for particles of 0.1 microns, and flammability. The test results indicated that only one brand met the standard requirements for small particle filtration efficiency, while some brands did not pass the pressure differential and flammability tests. These shortcomings may affect safety and comfort when used by children.

Keywords: Face masks for children / Face mask testing / Face mask standards / Bacterial filtration efficiency / Filtration efficiency for 0.1-micron particles

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศมีแนวโน้มทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ซึ่งเป็นภัยสิ่งแวดล้อมที่คุกคามสุขภาพมนุษย์ อันก่อให้เกิดผลกระทบต่อภาวะสุขภาพโดยรวมของเด็กวัยเรียนซึ่งเป็นกลุ่มเปราะบางในระยะสั้นและระยะยาวทั้งด้านร่างกาย จิตใจ การเรียนรู้และสติปัญญา และสังคมเศรษฐกิจ โดยเฉพาะเด็กวัยเรียนกลุ่มเสี่ยงที่มีโรคประจำตัวเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ [5] และจากการศึกษาของ [3] เกี่ยวกับประสิทธิภาพของหน้ากากกันฝุ่นตามท้องตลาดในการป้องกันฝุ่น PM2.5 พบว่า การป้องกันฝุ่น PM2.5 ในพื้นที่ที่ประสบปัญหามลภาวะทางอากาศ ควรเลือกใช้หน้ากาก N95 หรือหน้ากากอนามัย หากไม่สามารถจัดหาได้อาจใช้หน้ากากผ้าทั่วไปและใส่แผ่นกรองเสริมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกรองฝุ่น ซึ่งแผ่นกรองคาร์บอนมีประสิทธิภาพดีที่สุด

ในปัจจุบัน หน้ากากอนามัยกลายเป็นส่วนสำคัญของชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กเล็กที่ยังมีภูมิคุ้มกันไม่สมบูรณ์ จากการศึกษาของ [2] พบว่า ค่าเฉลี่ยผลต่างจำนวนครั้งที่มีการเจ็บป่วยด้วยโรคติดเชื้อทางเดินหายใจก่อนการใช้แนวปฏิบัติ ในกลุ่มเด็กที่มีอายุระหว่าง 1-2 ปี มีค่าเท่ากับ 5.4 ครั้ง และในเด็กอายุ 2-3.5 เท่ากับ 5.7 ครั้ง ดังนั้นการสวมใส่หน้ากากอนามัยจะเป็นการช่วยลดการกระจายของเชื้อโรคและเป็นการป้องกันตนเองจากเชื้อโรคในอากาศ รวมถึงมลพิษทางสิ่งแวดล้อมที่เป็นอันตราย เช่น ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ โดยอาจส่งผลให้เกิดโรคต่าง ๆ ได้ในระยะยาว เช่น หอบหืด ถุงลมโป่งพอง และเป็นสารก่อมะเร็งตามที่องค์การอนามัยโลกกำหนด งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาประสิทธิภาพของหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็ก โดยวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ความสามารถในการกรองแบคทีเรียและอนุภาคขนาดเล็ก โดยตระหนักถึงความสำคัญของการเลือกใช้หน้ากากอนามัยที่ได้มาตรฐาน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจสอบหน้ากากอนามัยใช้ครั้งเดียวตามมาตรฐาน มอก. 2424-2565 หน้ากากอนามัยใช้ครั้งเดียว
2. เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็ก

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ผลงานวิชาการของศูนย์บริการวิชาการด้านศาสตร์เขตเมือง มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช โดยมีขอบเขตของการศึกษาเพื่อทดสอบหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็กแบบใช้งานครั้งเดียว จำนวน 20 ตัวอย่าง โดยมีรายการตรวจสอบคุณภาพและประสิทธิภาพของหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็ก ได้แก่ ประสิทธิภาพการกรองแบคทีเรีย, ความแตกต่างของความดัน, ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 0.1 ไมครอน และการลามไฟ ตามมาตรฐาน มอก. 2424-2565 หน้ากากอนามัยใช้ครั้งเดียว

4. วิธีการศึกษา

4.1 อุปกรณ์

1. หน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็กจำนวน 20 ยี่ห้อ
2. เครื่องทดสอบการกรองแบคทีเรีย (Bacterial Filtration Efficiency: BFE)
3. เครื่องทดสอบการกรองอนุภาคขนาดเล็ก (Particle Filtration Efficiency: PFE)

4. เครื่องทดสอบความแตกต่างของความดัน (Differential Pressure Tester)
5. อุปกรณ์ทดสอบการลามไฟ (Flammability Tester)

4.2 วิธีการดำเนินงาน

4.2.1 การคัดเลือกตัวอย่าง

ทำการสุ่มเลือกหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็กแบบใช้ครั้งเดียวจำนวน 20 ยี่ห้อ โดยเลือกจากยี่ห้อที่เป็นที่นิยมและวางจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด

โดยรายละเอียดหน้ากากอนามัยที่หาซื้อได้ตามร้านค้าทั่วไป จำนวน 20 ยี่ห้อ เป็นหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็กแบบใช้ครั้งเดียว ประเภทใช้งานทั่วไป ใช้งานด้านการแพทย์ทั่วไป โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับหน้ากากอนามัยแต่ละยี่ห้อที่ผู้ผลิตระบุไว้บนสินค้า ดังนี้

ตารางที่ 1 รายละเอียดหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็กแบบใช้ครั้งเดียว 20 ยี่ห้อ

ลำดับ	ภาพหน้ากาก	ประเภทหน้ากาก	สี / ลวดลาย	คุณสมบัติ
1		ใช้ทางการแพทย์ ระดับที่ 2	สีขาว ไม่มีลวดลาย	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น ป้องกันแบคทีเรีย > 99%
2		ใช้ทางการแพทย์ ระดับที่ 1	สีฟ้า ไม่มีลวดลาย	หน้ากากอนามัยป้องกันฝุ่น 0.3 µm ป้องกันฝุ่นละอองและแบคทีเรีย ขนาดอนุภาค 0.3 µm > 99%, ป้องกัน PM2.5
3		ใช้ทางการแพทย์ ระดับที่ 2	สีขาว ลายไดโนเสาร์	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น มีประสิทธิภาพกรองฝุ่นละอองและเชื้อแบคทีเรีย > 98%
4		ใช้ทั่วไป	สีขาว ไม่มีลวดลาย	หน้ากากอนามัยเด็กสำหรับเด็ก 3 ชั้น ป้องกันฝุ่นละออง เกสรดอกไม้ PM2.5 และแบคทีเรียในอากาศ
5		ใช้ทางการแพทย์ ระดับที่ 2	สีขาว ไม่มีลวดลาย	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น มีประสิทธิภาพในการป้องกันแบคทีเรีย, ไวรัส และฝุ่น 99%ป้องกัน PM2.5

ลำดับ	ภาพหน้ากาก	ประเภทหน้ากาก	สี / ลวดลาย	คุณสมบัติ
6		ใช้ทางการแพทย์ ระดับที่ 1	สีขาว ไม่มีลวดลาย	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น ป้องกันไวรัส แบคทีเรีย 99% การกรองละอองอนุภาค 0.1 μm 98%
7		ใช้ทางการแพทย์ ระดับที่ 2	สีขาว ลายดาว	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น กรองอนุภาค แบคทีเรีย อนุภาคฝุ่น 0.1 μm อนุภาคเชื้อไวรัส 99%
8		ใช้ทางการแพทย์ ระดับที่ 1	สีขาว ไม่มีลวดลาย	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น มีประสิทธิภาพในการกรองละอองแบคทีเรีย ≥ 99% กรองละอองไวรัส ≥ 98% กรองละอองอนุภาค 0.1 μm ≥ 99% $\triangle P < 4$ mmH_2O/cm^2ความสามารถในการป้องกันของเหลวซึมผ่านที่ระดับความดัน 80 mmHg ความสามารถในการทนต่อการลามไฟระดับที่ 1
9		ใช้ทั่วไป	สีขาว ลายหมี แพนด้า และ สตรอว์เบอร์รี่	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น PFE particle filtration efficiency 95%
10		ประเภทใช้ทั่วไป	สีขาว ลายหมี และ ท้องฟ้า	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น $\Delta P < 49$Pa (ไม่ควรเกิน(fluid resistance 16 kPa 120 mmHG Flammability (>5 sec)
11		ประเภทใช้ทั่วไป	สีขาว ลายไดโนเสาร์	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น กรองฝุ่นและเกสรดอกไม้
12		ใช้ทางการแพทย์	สีขาว ไม่มีลวดลาย	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น กรองไวรัส แบคทีเรีย อนุภาคขนาดเล็ก 0.1 μm และ PM2.5 ≥ 99%

ลำดับ	ภาพหน้ากาก	ประเภทหน้ากาก	สี / ลวดลาย	คุณสมบัติ
13		ใช้ทางการแพทย์ ระดับที่ 1	สีขาว ไม่มีลวดลาย	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น PFE 98% มีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละอองอนุภาค 0.1 µm 98 %
14		ใช้ทางการแพทย์	สีขาว ไม่มีลวดลาย	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น ป้องกันสารคัดหลั่ง ป้องกันแบคทีเรีย≤ 99%, ป้องกันเชื้อแบคทีเรีย
15		ใช้ทางการแพทย์ ระดับที่ 2	สีขาว ไม่มีลวดลาย	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น ป้องกันฝุ่น PM2.5 กรองแบคทีเรีย ไวรัส และกรองฝุ่นละออง 99% หายใจสะดวก กรองฝุ่นและละอองน้ำได้ การระบายออก 99%
16		ใช้ทางการแพทย์	สีขาว ไม่มีลวดลาย	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น กรองเชื้อแบคทีเรีย อนุภาค 3 µm > 99% กรองฝุ่นละอองขนาดอนุภาค 0.3 µm > 95% กรองฝุ่น PM2.5
17		ใช้ทางการแพทย์ ระดับที่ 1	สีขาว ไม่มีลวดลาย	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น มีประสิทธิภาพกรองแบคทีเรีย 99% กรองฝุ่นละออง 98.5% กรองไวรัส 99% ป้องกันฝุ่น PM2.5 99%
18		ใช้ทางการแพทย์	สีฟ้า ไม่มีลวดลาย	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น ควบคุมการ กระจายของเชื้อโรค เชื้อไวรัส และเชื้อแบคทีเรีย ป้องกันฝุ่นละออง หมอกควัน และละอองเกสร
19		ใช้ทั่วไป	สีขาว ลายท้องทะเล	หน้ากากอนามัยเด็กสำหรับเด็ก 3 ชั้น มีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นและเกสรดอกไม้

ลำดับ	ภาพหน้ากาก	ประเภทหน้ากาก	สี / ลวดลาย	คุณสมบัติ
20		ใช้ทางการแพทย์	สีขาว ลายหมี	หน้ากากอนามัยสำหรับเด็ก 3 ชั้น BFE 98% มีประสิทธิภาพในการกรองแบคทีเรีย 98 %

4.2.2 การทดสอบการกรองแบคทีเรีย (BFE)

ทดสอบหน้ากากแต่ละยี่ห้อด้วยเครื่องทดสอบการกรองแบคทีเรีย โดยประเมินความสามารถในการกรองอนุภาคของแบคทีเรียผ่านหน้ากาก โดยใช้เกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐานอุตสาหกรรม

4.2.3 การทดสอบการกรองอนุภาคขนาดเล็ก (PFE)

ทดสอบความสามารถในการกรองอนุภาคขนาดเล็กมาก (0.1 ไมครอน) ผ่านเครื่องทดสอบการกรองอนุภาค เพื่อวัดประสิทธิภาพในการป้องกันฝุ่นละอองขนาดเล็ก

4.2.4 การทดสอบความแตกต่างของความดัน

ทดสอบค่าความแตกต่างของความดันระหว่างอากาศภายในและภายนอกหน้ากาก เพื่อประเมินความสะดวกในการหายใจเมื่อสวมใส่หน้ากาก

4.2.5 การทดสอบการลามไฟ

ทดสอบหน้ากากด้วยเครื่องทดสอบการลามไฟ เพื่อประเมินว่าหน้ากากสามารถต้านทานการติดไฟได้ตามมาตรฐานที่กำหนด

ในการทดสอบประสิทธิภาพการกรองแบคทีเรีย, ความแตกต่างของความดัน, ประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 0.1 ไมครอน และการลามไฟ ได้ดำเนินการทดสอบหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็ก ตัวอย่างที่ 1-20 โดยทำการส่งทดสอบหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็ก ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหน้ากากอนามัยใช้ครั้งเดียว (มอก.2424-2565) กับบริษัท วชิรแล็บเพื่อสังคม จำกัด ซึ่งได้รับการรับรองห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ISO/ICE17025:2015 และใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐานระดับสากล ASTMF2100

การทดสอบทั้งหมดดำเนินการตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมหน้ากากอนามัยใช้ครั้งเดียว มอก.2424-2565 ดังตารางที่ 2 โดยผลการทดสอบถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมของหน้ากากแต่ละยี่ห้อสำหรับการใช้งานในกลุ่มเด็กเล็ก

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ (มอก.2424-2565)

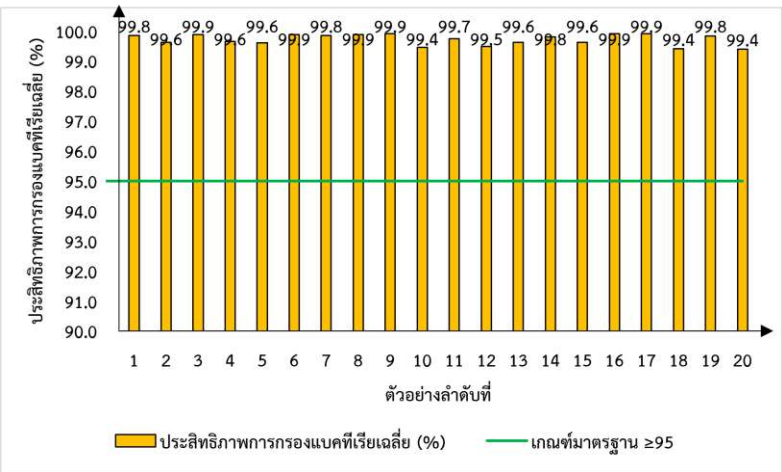
รายการที่	คุณลักษณะ	หน่วย	เกณฑ์ที่กำหนด				วิธีทดสอบตาม
			ประเภทใช้ทั่วไป	ประเภทใช้ทางการแพทย์			
				ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	
1	ประสิทธิภาพการกรองแบคทีเรีย ไม่น้อยกว่า	%	95	95	98	98	ASTMF2100
2	ความแตกต่างของความดัน (ΔP) ไม่เกิน	mmH_2O/cm^2	5.0	5.0	6.0	6.0	
3	ประสิทธิภาพการกรองอนุภาค (Sub-micron) ขนาด 0.1 μm ไม่น้อยกว่า	%	95	95	98	98	
4	ความต้านของเหลวซึมผ่านความดันต่ำสุด	mmHg	ไม่ทดสอบ	80	120	160	
5	การลามไฟ	Class 1					

ในการทดสอบหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็กที่สุ่มซื้อเพื่อการทดสอบครั้งนี้ ได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM F2100 ในการเทียบคุณลักษณะทางฟิสิกส์ของหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็ก ตามวัตถุประสงค์การใช้งานประเภทใช้ทั่วไป

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการทดสอบการกรองแบคทีเรีย (BFE)

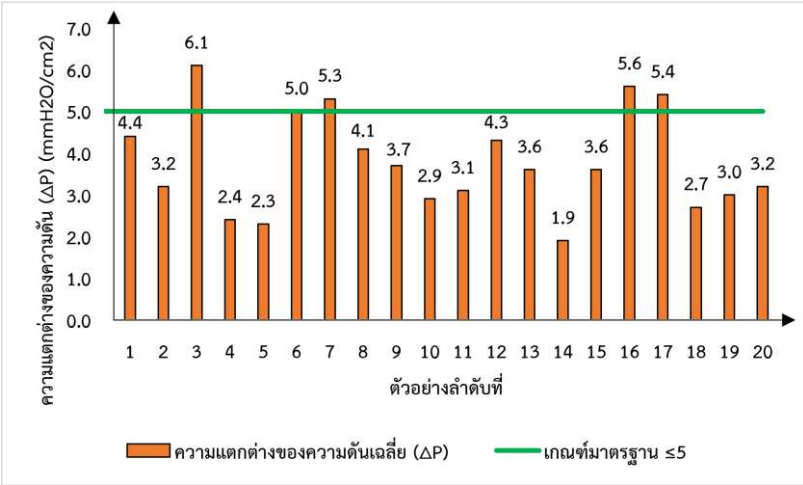
จากตารางที่ 2 พบว่า หน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็กที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพการกรองแบคทีเรีย ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองแบคทีเรีย (BFE)

5.2 ผลการทดสอบความแตกต่างของความดัน (ΔP)

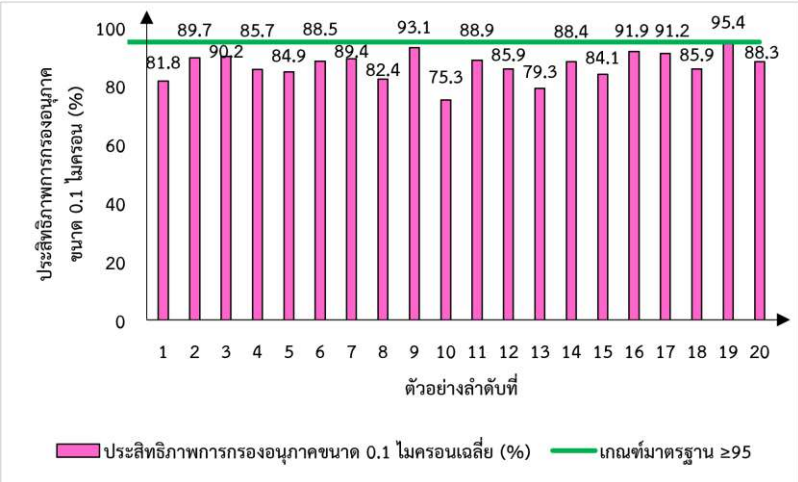
จากผลการทดสอบความแตกต่างของความดันพบว่า มีหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็กผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จำนวน 15 ยี่ห้อ คิดเป็นร้อยละ 75 และไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จำนวน 5 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อลำดับที่ 3, 7, 16 และลำดับที่ 17 คิดเป็นร้อยละ 25 ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผลการทดสอบความแตกต่างของความดัน (ΔP)

5.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาดเล็ก (PFE)

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาด 0.1 ไมครอน พบว่าหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็กที่ทำการทดสอบมีเพียง 1 ยี่ห้อ ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกรองอนุภาคขนาดเล็ก (PFE)

5.4 ผลการทดสอบการลามไฟ

จากผลการทดสอบการลามไฟพบว่า หน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็กที่ทำการทดสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จำนวน 18 ยี่ห้อ คิดเป็นร้อยละ 90 ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน จำนวน 2 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อลำดับที่ 15 และลำดับที่ 20 คิดเป็นร้อยละ 10 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการลามไฟ

ลำดับ	การลามไฟ	ลำดับ	การลามไฟ
1	ผ่าน	11	ผ่าน
2	ผ่าน	12	ผ่าน
3	ผ่าน	13	ผ่าน
4	ผ่าน	14	ผ่าน
5	ผ่าน	15	ไม่ผ่าน
6	ผ่าน	16	ผ่าน
7	ผ่าน	17	ผ่าน
8	ผ่าน	18	ผ่าน
9	ผ่าน	19	ผ่าน
10	ผ่าน	20	ไม่ผ่าน

และสามารถสรุปผลการทดสอบคุณลักษณะทางฟิสิกส์ของหน้ากากอนามัยใช้ครั้งเดียว สำหรับเด็กเล็ก ตามมาตรฐาน มอก. 2424-2565 ประเภทใช้ทั่วไป ได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปผลการทดสอบหน้ากากอนามัยใช้ครั้งเดียว สำหรับเด็กเล็ก

ลำดับ	คุณลักษณะทางฟิสิกส์			
	ประสิทธิภาพการกรองแบคทีเรีย (%)	ความแตกต่างของความดัน (ΔP) (mmH_2O/cm^2)	ประสิทธิภาพการกรองอนุภาค (sub-micron) ขนาด 0.1 μm (%)	การลามไฟ
1	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
2	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
3	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
4	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
5	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
6	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
7	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
8	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
9	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
10	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน

ลำดับ	คุณลักษณะทางฟิสิกส์			
	ประสิทธิภาพการกรองแบคทีเรีย (%)	ความแตกต่างของความดัน (ΔP) (mmH_2O/cm^2)	ประสิทธิภาพการกรองอนุภาค (sub-micron) ขนาด 0.1 μm (%)	การลามไฟ
11	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
12	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
13	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
14	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
15	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน
16	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
17	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
18	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน
19	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
20	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน

6. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็ก จำนวน 20 ยี่ห้อ ที่วางจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด ด้วยวิธีทดสอบ AFTM F2100 ตามมาตรฐาน มอก. 2424-2565 หน้ากากอนามัยใช้ครั้งเดียว ประเภททั่วไป โดยทำการทดสอบคุณลักษณะทางฟิสิกส์ จำนวน 4 รายการ ได้แก่ (1) ประสิทธิภาพการกรองแบคทีเรีย (2) ความแตกต่างของความดัน (ΔP) (3) ประสิทธิภาพการกรองอนุภาค (sub-micron) ขนาด 0.1 μm และ (5) การลามไฟ พบว่า มี 1 ยี่ห้อ เท่านั้น ที่ผลการทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ส่วนหน้ากากอนามัยยี่ห้ออื่น ๆ มีผลการทดสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐานบางรายการ และไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานบางรายการ จึงทำให้ผลการทดสอบนั้นไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่มาตรฐาน มอก. 2424-2565 หน้ากากอนามัยใช้ครั้งเดียวกำหนด

แสดงให้เห็นว่าหน้ากากอนามัยที่วางจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด มีบางยี่ห้อที่ไม่ได้รับ มอก. หรือไม่ผ่านการทดสอบตามมาตรฐานสากลของหน้ากากอนามัยใช้ครั้งเดียว ส่งผลให้หน้ากากอนามัยยี่ห้อนั้น ๆ อาจไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเด็กเล็กได้ ดังนั้น การเลือกซื้อหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็กต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของหน้ากากอนามัยเป็นส่วนสำคัญ เพราะเด็กเล็กจัดเป็นกลุ่มคนเปราะบาง ที่มีโอกาสรับเชื้อหรือรับสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายกว่ากลุ่มคนทั่วไป

แนวทางการเลือกหน้ากากอนามัยสำหรับเด็กเล็ก

1. หน้ากากต้องบรรจุในภาชนะที่สะอาด ต้องไม่ฉีกขาดหรือชำรุด และต้องไม่มีกลิ่นผิดปกติ
2. ภาชนะที่บรรจุหน้ากากต้องแสดงข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์
   - 2.1 ผลิตภัณฑ์ได้รับมาตรฐาน มอก. 2424-2565 หรือมาตรฐานสากล
   - 2.2 จำนวนของหน้ากากอนามัย (หน่วยเป็นชิ้น)
   - 2.3 ความสามารถในการกรองแบคทีเรียและอนุภาคขนาดเล็ก
   - 2.4 กรณีที่ภาชนะบรรจุระบุภาษาต่างประเทศต้องมีความหมายเหมือนกับภาษาไทย
   - 2.5 เดือน ปี ที่ผลิต และเดือน ปี ที่หมดอายุ
   - 2.6 รหัสรุ่นที่ทำ
   - 2.7 ชื่อสถานประกอบการที่ผลิตหรือแสดงเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

2.8 คำแนะนำในการใช้งานและการเก็บรักษา

3. เลือกให้เหมาะกับอายุของเด็ก
   - เด็กอายุต่ำกว่า 1 ปี : ไม่ควรสวมหน้ากาก ควรใช้วิธีเว้นระยะห่างแทน
   - เด็ก 1-2 ปี : อาจสวมหน้ากากได้ในช่วงเวลาสั้น ๆ และต้องมีผู้ดูแลอย่างใกล้ชิด
   - เด็กอายุมากกว่า 2 ปี : สามารถสวมใส่หน้ากากได้ ควรเลือกขนาดพอดีกับใบหน้า

4. สำหรับเด็กที่มีโรคประจำตัว เช่น ปัญหาทางเดินหายใจ ควรปรึกษาแพทย์ก่อนใช้หน้ากาก และเน้นมาตรการเว้นระยะห่างแทน

การเลือกหน้ากากที่เหมาะสมกับเด็กเล็กมีความสำคัญอย่างยิ่ง ไม่เพียงช่วยป้องกันเชื้อโรค แต่ยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและความสบายของเด็กด้วย [4]

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงอุตสาหกรรม สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2565). หน้ากากอนามัยใช้ครั้งเดียว มอก. 2424-2565. https://bds.sme.go.th/Files/483ae067-8425-46dc-a473-20877b4f99d5.pdf

[2] ปรีย์กมล รัชนกุล. (2555). ผลการใช้แนวปฏิบัติสำหรับผู้ดูแลเด็กต่อการลดจำนวนครั้งของการติดเชื้อระบบทางเดินหายใจในเด็กที่ศูนย์เด็กเล็กแห่งหนึ่ง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 20 (5) (พิเศษ) : 390-404

[3] เมธัส อรัญนารถ. (2564). ประสิทธิภาพของหน้ากากกันฝุ่นตามท้องตลาดในการป้องกันฝุ่น $PM_{2.5}$. Rama Med J 44(2) : 11-17.

[4] โรงพยาบาลศิริราช ปิยมหาการุณย์. (2565). เด็กกับหน้ากากอนามัย. https://www.siphhospital.com/th/news/article/share/mask-for-children

[5] วราพรรณ วงษ์จันทร์. (2566). การสร้างเสริมสุขภาพและการป้องกันโรคจากฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในเด็กวัยเรียน. Rama Med J 46 (4) : 52-65.

ปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ

เจนชินา กิตติวศิน[1], และพิมพ์มณี รัตนวิชา[1*]

[1]คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
* Corresponding author: pimmanee@cbs.chula.ac.th

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเข้าสู่สังคมสูงอายุโดยสมบูรณ์ ส่งผลให้เกิดความต้องการบริการที่ตอบโจทย์กลุ่มผู้สูงอายุมากขึ้น โดยเฉพาะบริการรถรับส่งที่ช่วยอำนวยความสะดวกและความปลอดภัยในการเดินทาง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ มุ่งเน้นผู้ใช้เจเนอเรชันวายที่มีผู้สูงอายุในครอบครัว และไม่เคยใช้แอปพลิเคชันประเภทนี้มาก่อน กรอบแนวคิดอิงตามทฤษฎี UTAUT2 และเพิ่มตัวแปรความกตัญญูในการศึกษา ใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 136 คน วิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน และการถดถอยพหุคูณ

ผลการวิจัยพบว่า ตัวแปรต้นทั้ง 8 ตัว ได้แก่ ความคาดหวังด้านประสิทธิภาพ ความคาดหวังในความพยายามใช้งาน อิทธิพลทางสังคม สภาพแวดล้อมที่สนับสนุน ความคาดหวังในคุณค่าด้านราคา ความเคยชิน ความคาดหวังในความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัย และความกตัญญู มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณทั้งในภาพรวม และเมื่อนำตัวแปรอัตลักษณ์ทางเพศเข้ามาร่วมพิจารณา พบว่า มี 4 ตัวแปรที่สามารถทำนายความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันได้ ได้แก่ ความคาดหวังด้านประสิทธิภาพ สภาพแวดล้อมที่สนับสนุน อิทธิพลทางสังคม และความคาดหวังในความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัย

ผลการศึกษานี้ให้แนวทางในการพัฒนาแอปพลิเคชันและกลยุทธ์การสื่อสารที่สอดคล้องกับบริบทวัฒนธรรมไทย เพื่อส่งเสริมการยอมรับและการใช้งานในกลุ่มเป้าหมาย

คำสำคัญ: สังคมผู้สูงอายุ / บริการรถรับส่ง / ทฤษฎีรวมของการยอมรับและการใช้เทคโนโลยี 2 (UTAUT2) / ความกตัญญู / อัตลักษณ์ทางเพศ

Factors Affecting Intention to Use Transportation Service Application for Elderly

Jenchina Kittiwasin[1], and Pimmanee Rattanawicha[1*]

[1] Faculty of Commerce and Accountancy, Chulalongkorn University, Thailand.
**Corresponding author: pimmanee@cbs.chula.ac.th*

Abstract

Thailand has become a complete aged society, resulting in increased demand for services that meet the needs of the elderly, especially transportation services that provide convenience and safety for their travel. This research aims to study the factors influencing the intention to transportation service application for the elderly, focusing on Generation Y users who have elderly family members and have never used such applications before. The conceptual framework is based on the UTAUT2, with the addition of gratitude as a studied variable. The sample group consists of 136 people, and data was analyzed using Spearman's correlation coefficient and multiple regression analysis.

The research findings revealed that all eight independent variables (Performance Expectancy, Effort Expectancy, Social Influence, Facilitating Condition, Price Value Expectancy, Habit, Privacy and Security Expectancy, and Gratitude) exhibited statistically significant positive correlations with the intention to use transportation service application for elderly. The multiple regression analysis, both overall and when Gender Identity was included as a variable, found that there are four factors that can predict the intention to use the application: Performance Expectancy, Facilitating Conditions, Social Influence, and Privacy and Security Expectancy.

These findings provide insights for application development and communication strategies that align with Thai cultural values, helping to promote acceptance and adoption among the target group.

Keywords: Aging Society / Transportation Service / Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT2) / Gratitude / Gender Identity

1. บทนำ

ประเทศไทยเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุตั้งแต่ พ.ศ. 2548 และกลายเป็นสังคมสูงอายุโดยสมบูรณ์ใน พ.ศ. 2564 โดยมีผู้สูงอายุ หรือผู้ที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป มากกว่า 20% ของประชากรทั้งหมด ข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติยังชี้ว่า แนวโน้มผู้สูงอายุจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ในบริบทของสังคมผู้สูงอายุ หนึ่งในธุรกิจที่มีศักยภาพในการเติบโตสูง คือธุรกิจบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ เนื่องจากผู้สูงอายุจำนวนไม่น้อยมักประสบข้อจำกัดด้านการเดินทาง เช่น มีปัญหาสุขภาพที่ทำให้เคลื่อนไหวลำบาก ต้องการความปลอดภัยมากขึ้นระหว่างการเดินทาง หรือขาดความสะดวกในการเข้าถึงสถานที่ต่าง ๆ ด้วยระบบขนส่งสาธารณะทั่วไป เป็นต้น นอกจากนี้บริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุยังช่วยลดภาระของครอบครัวที่ต้องดูแลผู้สูงอายุ และส่งเสริมให้ผู้สูงอายุสามารถใช้ชีวิตได้อย่างอิสระมากขึ้น เป็นการตอบโจทย์ทั้งในแง่สังคมและเศรษฐกิจ โดยเฉพาะเมื่อเทคโนโลยีในปัจจุบันมีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ธุรกิจจำเป็นต้องปรับตัวเพื่อนำเทคโนโลยีมาใช้ในการสร้างและพัฒนานวัตกรรมที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคได้ดียิ่งขึ้น

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญของการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาแอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ ซึ่งเป็นหัวข้อที่ยังไม่ได้รับการศึกษามากนักในบริบทของประเทศไทย และผลการศึกษาอาจช่วยเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงบริการให้เหมาะสมกับความต้องการและข้อจำกัดของผู้สูงอายุในระดับที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ สำหรับผู้ใช้เจเนอเรชันวาย ทั้งในภาพรวม และเมื่อแบ่งตามอัตลักษณ์ทางเพศ เป็นเพศชายและเพศหญิง

3. ขอบเขตของการศึกษา

ประชากรในการศึกษาวิจัย คือ ผู้มีสัญชาติไทยที่เกิดปี พ.ศ. 2524-2539 (เจเนอเรชันวาย) และมีผู้สูงอายุในครอบครัว เป็นผู้ที่ไม่เคยใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุมาก่อน โดยการศึกษานี้ครอบคลุมพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เนื่องจากมีโครงสร้างพื้นฐานรองรับการให้บริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุผ่านแอปพลิเคชัน

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) ด้วยการสุ่มตัวอย่างแบบไม่ใช้หลักความน่าจะเป็น (Non-Probability Sampling) และโดยเลือกหน่วยตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อความเหมาะสมในการวิจัย คือต้องเป็นคนในเจเนอเรชันวาย มีผู้สูงอายุในครอบครัว และเป็นผู้ที่ไม่เคยใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุมาก่อน ผู้วิจัยเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามซึ่งประกอบด้วยข้อคำถามที่รวบรวมจากงานวิจัยในอดีต และผ่านการทดสอบคุณภาพแล้วในการศึกษาขั้นต้น ตัวแปรต้นจำนวน 8 ตัว แต่ละตัวประกอบด้วยข้อคำถาม 3 – 7 ข้อ ดังนี้ ความคาดหวังด้านประสิทธิภาพ (4 ข้อ) ความคาดหวังในความพยายามใช้งาน (4 ข้อ) อิทธิพลทางสังคม (3 ข้อ) สภาพแวดล้อมที่สนับสนุน (4 ข้อ) ความคาดหวังในคุณค่าด้านราคา (4 ข้อ) ความเคยชิน (4 ข้อ) ความคาดหวังในความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัย (7 ข้อ) และความกตัญญู (3 ข้อ) และตัวแปรตาม ได้แก่ความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ ประกอบด้วยข้อคำถาม 5 ข้อ โดยผู้ตอบแบบสอบถามแต่ละคนจะแสดงความคิดเห็นต่อข้อคำถามแต่ละข้อ ด้วยการให้คะแนน 1 (ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง) จนถึง 5 (เห็นด้วยอย่างยิ่ง)

แบบสอบถามเป็นแบบสอบถามออนไลน์บน Google Forms ส่งผ่านช่องทางออนไลน์และโซเชียลมีเดียต่าง ๆ เช่น LINE Facebook Instagram เป็นต้น จากการคำนวณขนาดตัวอย่างด้วยโปรแกรม G*Power ผู้วิจัยต้องเก็บแบบสอบถามที่มีการตอบอย่างสมบูรณ์ไม่น้อยกว่า 114 ชุด แล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลต่อ

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

1. การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรต้น 8 ตัว และตัวแปรตามจำนวน 1 ตัว ซึ่งแม้ว่าข้อมูลจะได้จากการแสดงความคิดเห็นลักษณะ Likert Scale แต่ตัวแปรแต่ละตัวประกอบด้วยข้อถามหลายข้อ และนำค่าที่ได้ของข้อคำถามทุกข้อมาเฉลี่ยเป็นค่าของแต่ละตัวแปร จึงสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ในลักษณะข้อมูลแบบต่อเนื่อง [1] และใช้สถิติเชิงพรรณนาเพื่ออธิบายลักษณะข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถามในส่วนข้อมูลด้านประชากร

2. การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) ผู้วิจัยทดสอบการแจกแจงของข้อมูล โดยใช้ค่าสถิติ Kolmogorov Smirnov ถ้าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันจะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน หากข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบปกติ จะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน โดยมีการทดสอบสมมติฐาน 24 สมมติฐาน ซึ่งจะใช้ตัวแปรอัตลักษณ์ทางเพศ (Gender Identity) เป็นเกณฑ์ในการแบ่งการทดสอบสมมติฐานออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ สมมติฐานของการวิจัยในภาพรวม เมื่อผู้ใช้มีอัตลักษณ์ทางเพศเป็นเพศชาย และเมื่อผู้ใช้มีอัตลักษณ์ทางเพศเป็นเพศหญิง โดยที่

H_0: ตัวแปรต้นไม่มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ

H_1: ตัวแปรต้นมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ

3. การวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) เพื่อใช้ตัวแปรต้น 8 ตัว ในการพยากรณ์ต่อตัวแปรตามหนึ่งตัว ได้แก่ ความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ และมีการนำตัวแปรอัตลักษณ์ทางเพศ (Gender Identity) ซึ่งเป็นตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (Discrete Variable) มาร่วมพิจารณาในลักษณะ Dummy Variable โดยสร้างสมการความถดถอยพหุคูณทั้งหมด 2 สมการ ได้แก่

1. สมการความถดถอยพหุคูณ เมื่อไม่ได้นำตัวแปรอัตลักษณ์ทางเพศมาร่วมพิจารณา

$$\text{Intention to Use} = \beta_0 + \beta_1 (\text{Performance Expectancy}) + \beta_2 (\text{Effort Expectancy}) + \beta_3 (\text{Social Influence}) + \beta_4 (\text{Facilitating Condition}) + \beta_5 (\text{Price Value Expectancy}) + \beta_6 (\text{Habit}) + \beta_7 (\text{Privacy and Security Expectancy}) + \beta_8 (\text{Gratitude}) + \epsilon$$

เมื่อกำหนดให้

β_0	แทน ค่าคงที่ (Intercept)
$\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_8$	แทน สัมประสิทธิ์ของตัวแปรต้นแต่ละตัว
ϵ	แทน ค่าความคลาดเคลื่อน (Error Term)

2. สมการความถดถอยพหุคูณ เมื่อการนำตัวแปรอัตลักษณ์ทางเพศมาร่วมพิจารณา

$$\text{Intention to Use} = \beta_0 + \beta_1 (\text{Performance Expectancy}) + \beta_2 (\text{Effort Expectancy}) + \beta_3 (\text{Social Influence}) + \beta_4 (\text{Facilitating Condition}) + \beta_5 (\text{Price Value Expectancy}) + \beta_6 (\text{Habit}) + \beta_7 (\text{Privacy and Security Expectancy}) + \beta_8 (\text{Gratitude}) + \beta 9 (\text{Gender Identity}) + \epsilon$$

เมื่อกำหนดให้

$\beta 9$ แทน สัมประสิทธิ์ของตัวแปรอัตลักษณ์ทางเพศ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผู้วิจัยรวบรวมแบบสอบถามจากช่องทางออนไลน์และโซเชียลมีเดียต่าง ๆ ระหว่าง เดือนมีนาคม - เมษายน 2568 ได้มาทั้งสิ้น 214 ชุด แต่ต้องตัดออกจำนวน 78 ชุด เนื่องจากไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด คือต้องเป็นผู้มีสัญชาติไทยที่เกิดในในปี พ.ศ. 2524-2539 (เจเนอเรชันวาย) มีผู้สูงอายุในครอบครัว และเป็นผู้ที่ไม่เคยใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ รวมถึงต้องผ่านการทดสอบความเข้าใจเกี่ยวกับแอปพลิชันบริการรับส่งผู้สูงอายุ และตอบคำถามเพื่อวัดความตั้งใจในการทำแบบสอบถาม (Attention Check Question) ได้ถูกต้อง ทำให้เหลือแบบสอบถามที่ใช้ได้จากผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 136 คน ซึ่งมีข้อมูลในแบบสอบถามครบถ้วน แบ่งเป็นผู้ที่มีอัตลักษณ์ทางเพศเป็นเพศชาย จำนวน 67 คน ส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยรายได้ต่อเดือนอยู่ที่ 50,000 บาทขึ้นไป (ร้อยละ 29.85) และเป็นผู้ที่มีอัตลักษณ์ทางเพศเป็นเพศหญิง 69 คน ส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยรายได้ต่อเดือนอยู่ที่ 50,000 บาทขึ้นไป (ร้อยละ 28.99) และมีค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของตัวแปรตามลำดับ ดังนี้ ความคาดหวังด้านประสิทธิภาพ (4.123, 0.782) ความคาดหวังในความพยายามใช้งาน (4.274, 0.646) อิทธิพลทางสังคม (3.816, 0.807) สภาพแวดล้อมที่สนับสนุน (4.283, 0.621) ความคาดหวังในคุณค่าด้านราคา (3.672, 0.807) ความเคยชิน (4.002, 0.962) ความคาดหวังในความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัย (3.702, 0.789) ความกตัญญู (4.101, 0.696) และความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ (3.997, 0.800)

5.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

การทดสอบ Kolmogorov-Smirnov พบว่าข้อมูลตัวแปรต้น 8 ตัว และตัวแปรตาม (ความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ) ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ (ค่า Sig. < 0.01) ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน เพื่อทดสอบสมมติฐาน ทั้งในภาพรวม เมื่อผู้ใช้มีอัตลักษณ์ทางเพศเป็นเพศชาย และเมื่อผู้ใช้มีอัตลักษณ์ทางเพศเป็นเพศหญิง ซึ่งพบว่าตัวแปรต้น 8 ตัว ส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ดังตารางที่ 2-4 ตามลำดับ โดยผู้วิจัยแปลผลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมนตามตารางที่ 1 [6]

ตารางที่ 1 การแปลผลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน [6]

ช่วงของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมน	ความหมาย
0 < ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ≤ 0.19	ความสัมพันธ์ระดับต่ำมาก
0.20 ≤ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ≤ 0.39	ความสัมพันธ์ระดับต่ำ
0.40 ≤ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ≤ 0.59	ความสัมพันธ์ระดับปานกลาง
0.60 ≤ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ≤0.79	ความสัมพันธ์ระดับสูง
0.80 ≤ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ≤1.00	ความสัมพันธ์ระดับสูงมาก

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม ในภาพรวม (n = 136)

สมมติฐาน	Correlation Coefficient	Sig.	ผลการทดสอบสมมติฐาน
H_1: ความคาดหวังด้านประสิทธิภาพ (Performance Expectancy) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.671 (ระดับสูง)	< 0.001	ยอมรับ H_1
H_2: ความคาดหวังในความพยายามใช้งาน (Effort Expectancy) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.620 (ระดับสูง)	< 0.001	ยอมรับ H_2
H_3: อิทธิพลทางสังคม (Social Influence) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.693 (ระดับสูง)	< 0.001	ยอมรับ H_3
H_4: สภาพแวดล้อมที่สนับสนุน (Facilitating Condition) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.631 (ระดับสูง)	< 0.001	ยอมรับ H_4
H_5: ความคาดหวังในคุณค่าด้านราคา (Price Value Expectancy) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.610 (ระดับสูง)	< 0.001	ยอมรับ H_5
H_6: ความเคยชิน (Habit) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.407 (ระดับปานกลาง)	< 0.001	ยอมรับ H_6
H_7: ความคาดหวังในความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัย (Privacy and Security Expectancy) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.545 (ระดับปานกลาง)	< 0.001	ยอมรับ H_7
H_8: ความกตัญญู (Gratitude) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.460 (ระดับปานกลาง)	< 0.001	ยอมรับ H_8

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม เมื่อผู้ใช้มีอัตลักษณ์ทางเพศเป็นเพศชาย (n = 67)

สมมติฐาน	Correlation Coefficient	Sig.	ผลการทดสอบสมมติฐาน
H_9: ความคาดหวังด้านประสิทธิภาพ (Performance Expectancy) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.747 (ระดับสูง)	< 0.001	ยอมรับ H_9
H_{10}: ความคาดหวังในความพยายามใช้งาน (Effort Expectancy) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.599 (ระดับสูง)	< 0.001	ยอมรับ H_{10}
H_{11}: อิทธิพลทางสังคม (Social Influence) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.751 (ระดับสูง)	< 0.001	ยอมรับ H_{11}
H_{12}: สภาพแวดล้อมที่สนับสนุน (Facilitating Condition) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.542 (ระดับปานกลาง)	< 0.001	ยอมรับ H_{12}
H_{13}: ความคาดหวังในคุณค่าด้านราคา (Price Value Expectancy) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.548 (ระดับปานกลาง)	< 0.001	ยอมรับ H_{13}

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม เมื่อผู้ใช้มีอัตลักษณ์ทางเพศเป็นเพศชาย (n = 67) (ต่อ)

สมมติฐาน	Correlation Coefficient	Sig.	ผลการทดสอบสมมติฐาน
H_{14}: ความเคยชิน (Habit) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.401 (ระดับปานกลาง)	< 0.001	ยอมรับ H_{14}
H_{15}: ความคาดหวังในความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัย (Privacy and Security Expectancy) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.566 (ระดับปานกลาง)	< 0.001	ยอมรับ H_{15}
H_{16}: ความกตัญญู (Gratitude) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.454 (ระดับปานกลาง)	< 0.001	ยอมรับ H_{16}

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม เมื่อผู้ใช้มีอัตลักษณ์ทางเพศเป็นเพศหญิง (n = 69)

สมมติฐาน	Correlation Coefficient	Sig.	ผลการทดสอบสมมติฐาน
H_{17}: ความคาดหวังด้านประสิทธิภาพ (Performance Expectancy) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.595 (ระดับสูง)	< 0.001	ยอมรับ H_{17}
H_{18}: ความคาดหวังในความพยายามใช้งาน (Effort Expectancy) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.616 (ระดับสูง)	< 0.001	ยอมรับ H_{18}
H_{19}: อิทธิพลทางสังคม (Social Influence) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.631 (ระดับสูง)	< 0.001	ยอมรับ H_{19}
H_{20}: สภาพแวดล้อมที่สนับสนุน (Facilitating Condition) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.707 (ระดับสูง)	< 0.001	ยอมรับ H_{20}
H_{21}: ความคาดหวังในคุณค่าด้านราคา (Price Value Expectancy) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.680 (ระดับสูง)	< 0.001	ยอมรับ H_{21}
H_{22}: ความเคยชิน (Habit) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.394 (ระดับต่ำ)	< 0.001	ยอมรับ H_{22}
H_{23}: ความคาดหวังในความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัย (Privacy and Security Expectancy) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.510 (ระดับปานกลาง)	< 0.001	ยอมรับ H_{23}
H_{24}: ความกตัญญู (Gratitude) มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุ	0.448 (ระดับปานกลาง)	< 0.001	ยอมรับ H_{24}

5.2 ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression)

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณในภาพรวม ดังแสดงในตารางที่ 5 สามารถสรุปย่อลักษณะโมเดล (Model Summary) ได้ดังนี้ ค่า R: 0.822, R^2: 0.675, Adjust R^2: 0.655 และ Std. Error of the Estimate: 0.470 โมเดลนี้ตัวแปรต้นสามารถอธิบายตัวแปรตามหรือความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุได้ 67.5% และมีตัวแปรต้น 4 ตัว ได้แก่ ความคาดหวัง

ด้านประสิทธิภาพอิทธิพลทางสังคม สภาพแวดล้อมที่สนับสนุน และความคาดหวังในความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัย ที่ทำนายค่าความตั้งใจใช้แอปพลิเคชัน ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งนำไปสู่การสร้างสมการถดถอยดังนี้

Intention to Use = 0.281 (Performance Expectancy) + 0.266 (Social Influence)
+ 0.235 (Facilitating Condition) + 0.185 (Privacy and Security Expectancy)

โดยมีการตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ด้วยค่า VIF (Variance Inflation Factor) ที่น้อยกว่า 5 และค่า Tolerance ที่มากกว่า 0.2 ทุกตัวแปร และมีค่า Durbin Watson = 1.675 (อยู่ระหว่าง 1.5 – 2.5)

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณในภาพรวม

Variable	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	-0.392	0.335		-1.172	0.243		
Performance Expectancy	0.281	0.078	0.275	3.599	< 0.001	0.440	2.275
Effort Expectancy	0.061	0.096	0.049	0.637	0.525	0.426	2.347
Social Influence	0.266	0.079	0.274	3.375	< 0.001	0.387	2.585
Facilitating Condition	0.235	0.099	0.182	2.384	0.019	0.438	2.284
Price Value Expectancy	0.090	0.071	0.091	1.267	0.207	0.495	2.019
Habit	-0.077	0.047	-0.093	-1.632	0.105	0.789	1.268
Privacy and Security Expectancy	0.185	0.063	0.182	2.951	0.004	0.671	1.491
Gratitude	0.059	0.070	0.052	0.852	0.396	0.697	1.435

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ เมื่อเพิ่มตัวแปรอัตลักษณ์ทางเพศ ดังแสดงในตารางที่ 6 สามารถสรุปย่อลักษณะโมเดล (Model Summary) ได้ดังนี้ R: 0.823, R^2: 0.678, Adjust R^2: 0.655 และ Std. Error of the Estimate: 0.470 โมเดลนี้ตัวแปรต้นสามารถอธิบายตัวแปรตามหรือความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุได้ 67.8% และมีตัวแปรต้น 4 ตัว ได้แก่ ความคาดหวังด้านประสิทธิภาพ อิทธิพลทางสังคม สภาพแวดล้อมที่สนับสนุน และความคาดหวังในความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัย ที่ทำนายได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. < 0.05) นำไปสู่การสร้างสมการถดถอยดังนี้

Intention to Use = 0.291 (Performance Expectancy) + 0.254 (Social Influence)
+ 0.217 (Facilitating Condition) + 0.190 (Privacy and Security Expectancy)

โดยมีการตรวจสอบเงื่อนไขเบื้องต้นในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ด้วยค่า VIF (Variance Inflation Factor) ที่น้อยกว่า 5 และค่า Tolerance ที่มากกว่า 0.2 ทุกตัวแปร และมีค่า Durbin Watson = 1.723 (อยู่ระหว่าง 1.5 – 2.5)

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเมื่อเพิ่มตัวแปรอัตลักษณ์ทางเพศ

Variable	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
(Constant)	-0.472	0.344		-1.372	0.173		
Performance Expectancy	0.291	0.079	0.284	3.698	< 0.001	0.433	2.312
Effort Expectancy	0.070	0.096	0.057	0.729	0.467	0.422	2.368
Social Influence	0.254	0.079	0.263	3.199	0.002	0.379	2.638
Facilitating Condition	0.217	0.100	0.168	2.164	0.032	0.424	2.361
Price Value Expectancy	0.098	0.072	0.099	1.366	0.174	0.490	2.042
Habit	-0.077	0.047	-0.093	-1.635	0.105	0.789	1.268
Privacy and Security Expectancy	0.190	0.063	0.188	3.029	0.003	0.665	1.503
Gratitude	0.067	0.070	0.058	0.950	0.344	0.690	1.450
Gender Identity	0.085	0.084	0.053	1.009	0.315	0.917	1.090

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้สามารถสรุปผลได้ว่า **ปัจจัยความคาดหวังด้านประสิทธิภาพ (Performance Expectancy)** มีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับสูงต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุในทุกกลุ่ม โดยเฉพาะเมื่อผู้ใช้มีอัตลักษณ์ทางเพศเป็นเพศชาย สอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่พบว่า หากผู้ใช้มีรู้สึกว่าการทำงานของแอปพลิเคชันมีประสิทธิภาพสูง ก็จะมีความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสูงเช่นกัน [2], [4] และ [8] อีกทั้งเป็นตัวแปรทำนายที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้งโมเดลถดถอยพหุคูณ ทั้งในภาพรวมและในโมเดลที่เพิ่มตัวแปรอัตลักษณ์ทางเพศ **ปัจจัยความคาดหวังในความพยายามใช้งาน (Effort Expectancy)** มีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับสูงต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุในทุกกลุ่ม สอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่พบว่าหากแอปพลิเคชันมีความง่ายในการใช้งาน ความตั้งใจใช้งานก็จะสูงเช่นกัน [8] **ปัจจัยอิทธิพลทางสังคม (Social Influence)** พบความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุในทุกกลุ่ม สอดคล้องกับ งานวิจัยในอดีตที่พบว่าเมื่อผู้ใช้ได้รับการสนับสนุนจากสังคมว่าควรใช้งานแอปพลิเคชัน ก็จะส่งผลให้เกิดความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันนั้น [4] และ [8] ทั้งยังเป็นตัวแปรทำนายที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้งโมเดลถดถอยพหุคูณในภาพรวม และในโมเดลที่เพิ่มตัวแปรอัตลักษณ์ทางเพศ **ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่สนับสนุน (Facilitating Condition)** มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุในภาพรวม และเมื่อผู้ใช้มีอัตลักษณ์ทางเพศเป็นเพศหญิง สอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่พบว่าหากผู้ใช้มีสภาพแวดล้อมที่พร้อมต่อการใช้งานสูง ก็จะทำให้เกิดความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสูงเช่นกัน [4], [6] และ [8] และยังเป็นตัวทำนายที่มีนัยสำคัญในการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ ทั้งโมเดลในภาพรวมและโมเดลเมื่อเพิ่มตัวแปรอัตลักษณ์ทางเพศ **ปัจจัยความคาดหวังในคุณค่าด้านราคา (Price Value Expectancy)** มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุในภาพรวม และในผู้ใช้ที่มีอัตลักษณ์ทางเพศเป็นเพศหญิง สอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่พบว่าหากผู้ใช้รับทราบว่าการใช้งานแอปพลิเคชันมีความคุ้มค่าด้านราคา ก็จะมีความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันสูง [2], [4] และ [8] **ปัจจัยความเคยชิน (Habit)** มีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุในภาพรวม และในผู้ใช้ที่มีอัตลักษณ์ทางเพศเป็นเพศชาย สอดคล้องกับงานวิจัยงานวิจัยในอดีตที่พบว่าความเคยชินมีอิทธิพลต่อการใช้งานจริง [2] และ [8]

แต่จะเป็นบริบทที่ผู้ใช้มีประสบการณ์ตรงกับเทคโนโลยีนั้นอย่างต่อเนื่อง **ปัจจัยความคาดหวังในความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัย (Privacy and Security Expectancy)** พบค่าสหสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุในทุกกลุ่ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่พบว่าความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยมีอิทธิพลต่อความตั้งใจใช้หรือทำธุรกรรมออนไลน์ [3] และ [6] ทั้งยังเป็นตัวแปรทำนายที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้งโมเดลในภาพรวมและโมเดลเมื่อเพิ่มตัวแปรอัตลักษณ์ทางเพศ และ**ปัจจัยความกตัญญู (Gratitude)** มีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางต่อความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุในทุกกลุ่ม สะท้อนว่าผู้ใช้มีแรงจูงใจจากความรู้สึกอยากตอบแทนบุญคุณหรือดูแลผู้สูงอายุในครอบครัว สอดคล้องกับงานวิจัย [5] และ [9] ที่ชี้ให้เห็นว่าความกตัญญูมีบทบาทสำคัญต่อแรงจูงใจในการตอบแทนและดูแลผู้มีพระคุณ ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ทั้งโมเดลในภาพรวมและเมื่อเพิ่มอัตลักษณ์ทางเพศ พบว่าตัวแปรที่มีนัยสำคัญทางสถิติสอดคล้องกัน ดังนั้นแม้ว่าการเพิ่มตัวแปรอัตลักษณ์ทางเพศเข้าไปในโมเดลจะช่วยอธิบายความแปรปรวนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่ส่งผลต่อรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและความตั้งใจใช้แอปพลิเคชันบริการรถรับส่งสำหรับผู้สูงอายุอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารอ้างอิง

[1] Analysing Likert Scale/Type Data. Available online: www.st-andrews.ac.uk/media/ceed/students/mathssupport/Likert.pdf (access on 11 April 2025).

[2] Baudier, P., Kondrateva, G., & Ammi, C. (2020). The future of Telemedicine Cabin? The case of the French students' acceptability. *Futures, 122*, 102595. https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102595

[3] Bonsón Ponte, E., Carvajal-Trujillo, E., & Escobar-Rodríguez, T. (2015). Influence of trust and perceived value on the intention to purchase travel online: Integrating the effects of assurance on trust antecedents. *Tourism Management*, 47, 286-302. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tourman.2014.10.009

[4] Kamal, S. A., Shafiq, M., & Kakria, P. (2020). Investigating acceptance of telemedicine services through an extended technology acceptance model (TAM). *Technology in Society, 60*, 101212. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/ j.techsoc.2019.101212

[5] Lin, J., Yin, K., Zhang, Y., & Qu, Y. (2024). Social construction of gratitude: Combined effect of contextual factors and benefactor-recipient relationships on interpersonal gratitude. *Frontiers in Psychology, 15*, Article 387431247. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.387431247

[6] Roca, J. C., García, J. J., & de la Vega, J. J. (2009). The importance of perceived trust, security and privacy in online trading systems. *Information Management & Computer Security*, 17(2), 96–113. https://doi.org/10.1108/09685220910963983

[7] Spearman's Correlation. Available online: http://www.statstutor.ac.uk/resources/uploaded/spearmans.pdf (access on 11 April 2025).

[8] Venkatesh, V., Thong, J., & Xu, X. (2012). Consumer Acceptance and Use of Information Technology: Extending the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology. *MIS Quarterly*, 36, 157-178. https://doi.org/10.2307/41410412

[9] Vishkin, A., Kim, M. Y., Solak, N., Szymaniak, K., White, C. J. M., & Kitayama, S. (2025). Cultural variation in the motivational correlates of gratitude. *Emotion, 25*(1), 114–125.

ไฟฉายไล่ยุงจากสมุนไพรเทพทาโร

ชัยรัตน์ สิงหพันธ์[1], ศิวกร แซ่ไหล[1], ปภาวิน ภักดีรักษ์พงศ์[1], อดุลย์สมาน สุขแก้ว[2,3], สุธี จุ้งลก[1*] และอัมพร เพชรโชติ[1]

[1]โรงเรียนเบตงวีระราษฎร์ประสาน ตำบลเบตง อำเภอเบตง จังหวัดยะลา
[2]สมาคมนักวิจัยชายแดนภาคใต้ ตำบลสะเตง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[3]คณะวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ตำบลสะเตง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา
* Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาไฟฉายไล่ยุง โดยเน้นการใช้วัสดุธรรมชาติและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ชาวสวนและผู้อยู่อาศัยในชนบทมักเผชิญกับการถูกยุงกัดเมื่อเข้าไปในป่าหรือพื้นที่ที่ไม่มีแสงสว่าง โดยเฉพาะในเวลากลางคืน ไฟฉายไล่ยุงที่พัฒนาในโครงการนี้จะทำให้การเดินทางในพื้นที่ดังกล่าวสะดวกยิ่งขึ้น และช่วยลดการถูกยุงกัด จากการวิจัยทีมวิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพการไล่ยุงของสารสกัดเทพทาโร (*Cinnamomum parthenoxylon*) และเปรียบเทียบผลลัพธ์กับสารสกัดไล่ยุงที่มีจำหน่ายในท้องตลาด สารสกัดจากสมุนไพรเทพทาโรสามารถไล่ยุงได้โดยใช้เวลาประมาณ 105 นาที ซึ่งเทียบเท่ากับสารสกัดไล่ยุงที่มีจำหน่ายในท้องตลาดสองชนิดที่ทดสอบได้ สรุปได้ว่าประสิทธิภาพการไล่ยุงของสารสกัดเทพทาโรและสารสกัดไล่ยุงที่มีจำหน่ายในท้องตลาดที่ทดสอบนั้นใกล้เคียงกัน

ดังนั้นทีมวิจัยจึงเลือกใช้สมุนไพรเทพทาโรเป็นสารสกัดไล่ยุง เนื่องจากสมุนไพรเทพทาโร(*Cinnamomum parthenoxylon*) เป็นสมุนไพรท้องถิ่นในภาคใต้ของประเทศไทย ซึ่งมีความเป็นเอกลักษณ์และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเราจึงตัดสินใจเพิ่มมูลค่าโดยใช้เป็นสารสำหรับการไล่ยุง

คำสำคัญ: เทพทาโร / การไล่ / สมุนไพร / ความสะดวกในการพกพา / เปรียบเทียบ

Mosquito-Repelling Flashlight by Citronella Laurel Project

Chairat Singhapan[1], Phuchi Saengphet[1], Thanakon Onvisath[1], Adulsman Sukkaew[2,3], Suthee Junglok[1*] and Amporn Petchote[1]

[1]Betong Wiraratprasan School, Betong District, Yala Province, Thailand.
[2]Southern Border Researchers Association, Sateng Subdistrict, Mueang District, Yala Province, Thailand.
[3]Faculty of Science, Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Yala, Sateng Subdistrict, Mueang District, Yala Province, Thailand.
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

Abstract

This article presents to develop a mosquito-repelling flashlight with a focus on using natural and environmentally friendly materials. Gardeners and rural residents often face mosquito bites when venturing into forests or areas without lighting, particularly at night. The mosquito-repelling flashlight developed in this project will make travel in such areas more convenient and help reduce mosquito bites. Through research, the research team tested the mosquito repellent efficacy of Citronella Laurel (*Cinnamomum parthenoxylon*) extract and compared the results with commercially available mosquito repellent extracts. The Citronella laurel extract was able to repel mosquitoes for approximately 105 minutes, comparable to the two commercially available mosquito repellent extracts tested. It can be concluded that the mosquito repellent efficacy of Citronella laurel extract and the commercially available mosquito repellent extracts tested were similar. Therefore, the research team chose to use Citronella laurel herbal extract as a mosquito repellent extract, Because Citronella Laurel (*Cinnamomum parthenoxylon*) is local herb in a south of Thailand which means it is unique and environmentally friendly so we decided improve its value by using it as mosquitoes repellents.

Keywords: Citronella laurel / Repelling / Herb / Portability / Compared

1. บทนำ

ปัจจุบันเนื่องจากเกษตรกรหรือผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ชนบทมักเข้าไปในป่า พวกเขามักพบเจอปัญหาที่เกี่ยวข้องกับยุง ข้อมูลจากกรมควบคุมโรคตั้งแต่ปี พ.ศ. 2567 ระบุว่า มีผู้ป่วยเป็นโรคไข้เลือดออกทั้งหมด 105,250 ราย และมีผู้เสียชีวิต 13 ราย ซึ่งมีผู้ป่วยกระจายทั่วทุกจังหวัดในประเทศไทย พื้นที่ที่อัตราป่วยสูง 5 อันดับแรก ได้แก่ จ.ภูเก็ต จ.เชียงราย จ.แม่ฮ่องสอน จ.ลำพูน และ จ.พัทลุง โดยส่วนใหญ่พบในภาคเหนือและภาคใต้ นอกจากนั้นการเดินทางในป่าเวลากลางคืนยังเป็นหนึ่งในปัญหาหลักที่ชาวสวนและผู้อาศัยในชนบทยังต้องพบเจออยู่เป็นประจำ

ด้วยเหตุนี้ ทางทีมวิจัยจึงเลือกที่จะประดิษฐ์ไฟฉายไล่ยุงเพื่อแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับยุงและทำให้การเดินทางในป่าตอนกลางคืนง่ายขึ้น เนื่องจากอุปกรณ์ไล่ยุงทั่วไปหรือไฟฉายมักมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ทีมงานโครงการจึงเลือกที่จะนำไฟฉายและอุปกรณ์ไล่ยุงมาดัดแปลงเพื่อให้พกพาง่ายขึ้น ทีมวิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาวัสดุธรรมชาติ เพราะจะช่วยลดขยะและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เราจึงค้นพบสมุนไพร "เทพทาโร" (*Cinnamomum parthenoxylon*) เป็นพืชที่เจริญเติบโตดีในสภาพอากาศชื้น จากแหล่งอ้างอิงได้ระบุไว้ว่า เทพทาโรมีสาร Safrole ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตยากันยุง ทางเราจึงนำมาใช้ในการผลิตอุปกรณ์ไล่ยุง โดยไฟฉายไล่ยุงคือ อุปกรณ์ที่มีสเปรย์ไล่ยุงเป็นส่วนประกอบด้านล่างและมีส่วนไฟฉายอยู่ด้านบน [2]

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อกำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสมของสมุนไพรเทพทาโรต่อน้ำ
2. เพื่อประดิษฐ์ไฟฉายไล่ยุง
3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์กับผลิตภัณฑ์ไล่ยุงที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

3. ขอบเขตของการศึกษา

<u>ตอนที่ 1</u> การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเมล็ดเทพทาโรและน้ำ

ตัวแปรอิสระ อัตราส่วนของสมุนไพรเทพทาโรต่อน้ำ

ตัวแปรตาม ประสิทธิภาพในการไล่ยุง, ความเข้มข้นของสารประกอบออกฤทธิ์ที่สกัดได้

ตัวแปรควบคุม แหล่งที่มาและคุณภาพของสมุนไพรเทพทาโร, วิธีการสกัด

<u>ตอนที่ 2</u> การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดสมุนไพรเทพทาโร

ตัวแปรอิสระ ความเข้มข้นของสารสกัดสมุนไพรเทพทาโร

ตัวแปรตาม ประสิทธิภาพในการไล่ยุง, จำนวนยุงที่เหลือ

ตัวแปรควบคุม ปริมาตรของสารสกัดที่ใช้, เวลาในการทดสอบ

<u>ตอนที่ 3</u> การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับผลิตภัณฑ์ไล่ยุงที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

ตัวแปรอิสระ ชนิดของผลิตภัณฑ์ไล่ยุง

ตัวแปรตาม ประสิทธิภาพในการไล่ยุง, จำนวนยุงที่เหลือ

ตัวแปรควบคุม สายพันธุ์ยุง, ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ไล่ยุงที่ใช้

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล [2]

ขั้นตอนที่ 1: การเตรียมเมล็ดเทพทาโรและน้ำ

ล้างเมล็ดเทพทาโรให้สะอาด เตรียมเมล็ดเทพทาโร 6,9,12 กรัม และน้ำเปล่าปริมาตร 24,21,18 มิลลิลิตร ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 2: การสกัดสารจากเมล็ดเทพทาโร (วิธีการสกัดที่คิดค้นเองโดยใช้การสกัดด้วยน้ำเปล่า) [3]

1. ใส่เมล็ดเทพทาโรลงในเครื่องปั่น เติมน้ำ แล้วปั่น
2. ใช้ผ้าขาวบางกรองกากเมล็ดเทพทาโรออกจากส่วนผสมที่ปั่นแล้ว

ขั้นตอนที่ 3: การเพาะพันธุ์ยุงสำหรับการทดลอง

1. เทน้ำลงในภาชนะที่มีปริมาตร 15-30 มิลลิลิตรจนเกือบเต็ม จากนั้นเติมนมวัว 3 กล่อง
2. เก็บภาชนะไว้ในที่ชื้นและห่างจากแสงแดด รอ 5-6 วัน
3. ค่อยๆ เทน้ำออกจากภาชนะอย่างเบามือ เพื่อไม่ให้ลูกน้ำยุงตกลงมา โดยใช้ผ้าขาวบางกรอง
4. ถ่ายลูกน้ำยุงที่ได้ลงในภาชนะ เช่น ขวดน้ำ
5. รอให้ยุงเติบโตไม่เกิน 3 วัน แล้วนำไปใช้ในการทดลอง

ขั้นตอนที่ 4: การหาอัตราส่วนของน้ำและเมล็ดเทพทาโร

1. ตัดขวดพลาสติกครึ่งหนึ่ง จำนวน 3 ขวด
2. เตรียมสารละลายสกัดที่มีความเข้มข้น 20:80, 30:70 และ 40:60 ตามลำดับ
3. ใช้เข็มเจาะรูที่ก้นขวด เพื่อเทน้ำและสร้างรูระบายอากาศภายในขวดเพาะพันธุ์ยุง
4. หยดเลือดหมูสดที่เตรียมไว้ลงในขวดพลาสติกที่ตัดแล้วทั้ง 3 ขวด
5. จากนั้น ฉีดสารละลายสกัดที่เตรียมไว้รอบๆ ขวดใกล้กับเลือดหมูสด ทั้ง 3 อัตราส่วนเป็น 3 ชุดการทดลอง
6. ย้ายยุงจากขวดเพาะพันธุ์ไปยังขวดพลาสติกที่ฉีดสารละลายสกัดแล้ว ทั้ง 3 ชุด

ขั้นตอนที่ 5: สังเกตและบันทึกผลการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 6: ใส่สารสกัดลงในอุปกรณ์ไฟฉายไล่ยุงที่เตรียมไว้

ขั้นตอนที่ 7: การประดิษฐ์อุปกรณ์ไฟฉายไล่ยุง

1. นำสเปรย์แอลกอฮอล์มาดัดแปลงโดยการเพิ่มไฟฉายด้านบนสเปรย์แอลกอฮอล์
2. เพิ่มสวิตช์ไฟฉายเพิ่มพร้อมต่อวงจรเชื่อมไฟฉายกับสวิตช์ไฟ และบรรจุสารสกัดลงในภาชนะ

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการผลิตสารสกัดจากเมล็ดเทพทาโร

รูปที่ 2 แสดงการหาอัตราส่วนของน้ำและเทพทาโร

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษารูปแบบผลงานวิชาการ

ผลการศึกษาพบว่า ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารสกัดสมุนไพรเทพทาโรในอัตราส่วน 30:70 มีประสิทธิภาพในการไล่ยุงมากกว่าความเข้มข้นในอัตราส่วน 20 : 80 และ 40 : 60 ซึ่งไล่ยุงได้อย่างปลอดภัยเพราะใช้สารสกัดจากธรรมชาติ ลดความเสี่ยงจากสารเคมี เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพราะใช้สารสกัดจากธรรมชาติ ช่วยลดการระคายเคืองผิว และยังมีความสามารถในการลดค่า CI (เปอร์เซ็นต์ของภาชนะสำรวจที่พบลูกน้ำยุง) ได้อย่างมีนัยสำคัญ

5.2 ผลการศึกษาข้อมูลผลงานวิชาการในฐานข้อมูล Scopus

การทดลองวิเคราะห์ประสิทธิภาพการไล่ยุงของสารสกัดจากสมุนไพรเทพทาโรในความเข้มข้นของ 3 อัตราส่วน ได้แก่ 20 : 80 , 30 : 70 , 40 : 60 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเทพทาโรและน้ำ [1]

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบระยะเวลาในการไล่ยุงของอัตราส่วนต่างๆ ของเทพทาโรและน้ำ [1 ,2, 4]

อัตราส่วนความเข้มข้น (%)	จำนวนยุงที่ตาย/เวลา (ตัว)							
	15 นาที	30 นาที	45 นาที	60 นาที	75 นาที	90 นาที	105 นาที	120 นาที
20 : 80	2	5	8	12	15	17	19	20
30 : 70	4	7	9	12	15	18	20	20
40 : 60	1	3	6	9	12	13	15	18

ความเข้มข้นที่อัตราส่วน 70 : 30 ใช้เวลาในการไล่ยุงที่ 105 นาที ซึ่งเร็วกว่าอัตราส่วน 20 : 80 และ 40 : 60

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบระยะเวลาในการไล่ยุงของสารสกัดเทพทาโรและผลิตภัณฑ์ไล่ยุงที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

อัตราส่วนความเข้มข้น (%)	จำนวนยุงที่ตาย/เวลา (ตัว)							
	15 นาที	30 นาที	45 นาที	60 นาที	75 นาที	90 นาที	105 นาที	120 นาที
สารสกัดเทพทาโร	4	7	9	12	15	18	20	20
Soffell	5	8	9	13	15	19	20	20
Bygone	4	6	8	10	14	17	20	20

จะพบว่าทั้งสารสกัดเทพทาโรและผลิตภัณฑ์ไล่ยุงที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมีประสิทธิภาพในการไล่ยุงใกล้เคียงกันที่ 105 นาที (ใช้วิธีการทดสอบเดียวกับการทดสอบอัตราส่วน) [1, 4]

รูปที่ 3 แสดงเปรียบเทียบความสว่างของอุปกรณ์ไฟฉายไล่ยุง

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบปริมาณของแต่ละอัตราส่วนของเทพทาโรและน้ำ [2]

อัตราส่วน	ปริมาณเมล็ดเทพทาโรที่ใช้ (g)	ปริมาณน้ำที่ใช้ (mL)	ปริมาตรของสารสกัดที่ได้ (mL)
20 : 80	6	24	30
30 : 70	9	21	30
40 : 60	12	18	30

6. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการประดิษฐ์ไฟฉายไล่ยุง พบว่าสารสกัดจากสมุนไพรเทพทาโรมีประสิทธิภาพในการไล่ยุงโดยใช้เวลาประมาณ 105 นาที แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากสมุนไพรเทพทาโรมีประสิทธิภาพในการไล่ยุงได้ดีเทียบเท่ากับอุปกรณ์ไล่ยุงทั่วไปตามท้องตลาด การใช้เมล็ดสมุนไพรเทพทาโรในการสกัดเป็นทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแทนสารสกัดไล่ยุงจากสารเคมี ช่วยลดความเป็นมลพิษและส่งเสริมมูลค่าของสมุนไพรเทพทาโรให้มากขึ้น นอกจากนี้ สารสกัดจากสมุนไพรเทพทาโรยังมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นสารสกัดที่มีคุณสมบัติในการไล่แมลงชนิดอื่นได้อีกด้วย การศึกษาในอนาคตควรเน้นการปรับปรุงวิธีการสกัดให้มีความน่าเชื่อถือมากกว่านี้และยังมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาอีกหลายประการ เช่น การปรับปรุงวิธีการทดลองประสิทธิภาพการไล่ยุง การศึกษาความระยะเวลาการออกฤทธิ์ของสารสกัด และการทดลองทางคลินิกเพื่อยืนยันประสิทธิผลในระยะยาวของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม การวิจัยนี้ถือเป็นก้าวสำคัญในการพัฒนาสารสกัดไล่ยุงจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งสามารถพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] Koomklang, N., Panya, N., & Robmuang, D. (2022). การศึกษาความสามารถในการไล่ยุงลายบ้านของสารสกัดหยาบจากมะ แขว่น มะลิ สะเดาช้าง มะกรูดและโหระพา. RMUTSB ACADEMIC JOURNAL, 10(2), 148-159. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/rmutsb-sci/article/view/253126

[2] *นำ พ น พิพัฒน์ ไพบูลย์, สั ณ ห วัจน์ ทองแดง, อมร ดอนเมือง, รัช ฎา วรรณ อรรค นิ มา ต ย์, & สุรเชษฐ์ สี ชำนาญ. (2022). การ กลั่น น้ำมัน หอม ระเหย จาก เศษ ไม้ เทพทาโร ใน เชิง อุตสาหกรรม และ การ วิเคราะห์ องค์ประกอบ ทาง เคมี. วารสาร เกษตรศาสตร์ และ เทคโนโลยี มทร. อีสาน, 3(3), 62-70.* https://li01.tci-thaijo.org/index.php/atj/article/download/256160/version/29212/175694/951124 [3]

[3] Pettongkhao, S., Kaewdaungdee, P., Nualsaard, P., & Thipaksorn, O. (2024). ประสิทธิผล ของ น้ำมัน หอม ระเหย จาก ผิว มะกรูด และ น้ำมันมะพร้าวในการไล่ยุง. Health Science Journal of Thailand, 6(1), 75-82. https://he02.tci-thaijo.org/index.php/HSJT/article/view/261661

[4] Abd Jalil, A., Zaki, Z. M., Hasan, M. K. N., Jin, C. B., Ramli, M. D. C., Rerang, T. L., ... & Rashid, A. (2021). Screening of selected local plant extracts for their repellent activity against Aedes albopictus mosquitoes. Asian Journal of Pharmacognosy, 4(3), 30-37. https://shorturl.asia/BlLgu

นวัตกรรมน้ำผักสกัดเย็นตามแนวคิดโภชนาการอีพีเจเนติกสำหรับกลุ่มวัยเรียนที่ไม่ชอบทานผัก

ณอัญญา ธนินภัสสร*

โรงเรียน The Newton Sixth Form กรุงเทพมหานคร
** Corresponding author: naaunya.oengyong@newton.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันแนวคิดด้าน epigenetic nutrition ชี้ว่าการบริโภคผักและผลไม้มีสารอาหารจำเป็นที่ช่วยชะลออายุดีเอ็นเอได้ อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมการไม่ชอบทานผัก ยังเป็นอุปสรรคสำคัญในการส่งเสริมการบริโภคตามแนวคิดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำผักสกัดเย็นสำหรับผู้ที่ไม่ชอบรับประทานผัก โดยอ้างอิงส่วนประกอบตามงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยเคล แครอท ฟักทอง บีทรูท น้ำมันสกัดจากเมล็ดฟักทอง น้ำมันสกัดจากเมล็ดทานตะวัน บลูเบอร์รี และแอปเปิลเขียว ซึ่งมีสารอาหารที่ช่วยลดการอักเสบ เสริมภูมิคุ้มกัน และปรับรูปแบบ DNA methylation ผ่านกลไก epigenetic โดยผู้วิจัยได้พัฒนาน้ำผักตั้งต้น 4 สูตร เพื่อรับฟังข้อเสนอแนะจากผู้บริโภคด้านรสชาติ สี กลิ่น และรสสัมผัส จากนั้นได้นำสูตรที่ได้รับการประเมินด้วยคะแนนสูงสุดไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์น้ำผักสกัดเย็นเพื่อเพิ่มความสะดวกในการบริโภค ผู้วิจัยได้ศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคที่อยู่ในวัยเรียนที่มีแนวโน้มไม่ชอบรับประทานผักและไม่ได้รับประทานผักเป็นประจำ พบว่านักเรียนกลุ่มนี้ให้คะแนนความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์น้ำผักสกัดเย็นเฉลี่ยที่ 3.67 (ค่อนข้างพึงพอใจ) และเชื่อว่าผลิตภัณฑ์น้ำผักนี้มีประโยชน์ต่อสุขภาพในระดับสูง (ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.33) และผลการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้ประโยชน์ต่อสุขภาพและแนวโน้มที่จะซื้อผลิตภัณฑ์ พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในระดับสูง ($r = 0.76$) งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าน้ำผักสกัดเย็นที่ออกแบบจากข้อมูลทางวิจัยสามารถตอบโจทย์การบริโภคผักในกลุ่มที่ไม่ชอบผักได้ และเป็นทางเลือกในการดูแลสุขภาพและชะลอวัยผ่านโภชนาการอย่างยั่งยืนได้

คำสำคัญ: โภชนาการอีพีเจเนติก / น้ำผักสกัดเย็น / การหลีกเลี่ยงการบริโภคผัก

Cold-Pressed Vegetable Juice Innovation Based on Epigenetic Nutrition for Adolescents with Low Vegetable Intake

Naaunya Thaninphatsorn*

The Newton Sixth Form School, Thailand
** Corresponding author: naaunya.oengyong@newton.ac.th*

Abstract

The concept of epigenetic nutrition suggests that the consumption of vegetables and fruits rich in essential nutrients can help slow down DNA aging. However, aversion to vegetables remains a significant barrier to promoting consumption in line with this concept. This study aimed to develop a cold-pressed vegetable juice product for individuals who dislike eating vegetables. The formulation was based on ingredients supported by existing research, including kale, carrot, pumpkin, beetroot, pumpkin seed oil, sunflower seed oil, blueberry, and green apple. These ingredients contain nutrients that help reduce inflammation, strengthen immunity, and regulate DNA methylation through epigenetic mechanisms. The researcher developed four prototype juice recipes to gather consumer feedback on taste, color, aroma, and texture. The recipe that received the highest evaluation score was then refined into a cold-pressed vegetable juice product to enhance convenience for consumption. The study then assessed consumer satisfaction among school-aged individuals who tend to dislike and rarely consume vegetables. This group reported an average satisfaction score of 3.67 (moderately satisfied) and a high perceived health benefit score of 4.33. Moreover, correlation analysis revealed a strong positive relationship (r = 0.76) between perceived health benefits and the likelihood of purchasing the product. This research demonstrates that a research-informed cold-pressed vegetable juice can effectively address vegetable aversion and serve as a sustainable nutritional strategy for health promotion and epigenetic age reduction.

Keywords: Epigenetic nutrition / Cold-pressed vegetable juice / Vegetable aversion

1. บทนำ

1.1 แนวคิดเกี่ยวกับอายุทางชีวภาพและอายุดีเอ็นเอ

อายุดีเอ็นเอ (DNA age) หรือ epigenetic age (EA) เป็นค่าชี้วัดอายุทางชีวภาพที่ได้จากการวิเคราะห์เมทิลเลชันของ DNA บริเวณ CpG sites ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามอายุ [1] แนวคิดนี้อาศัยหลักการ epigenetics ที่ไม่เปลี่ยนลำดับเบสของ DNA แต่มีผลต่อการทำงานของยีน [20] อายุดีเอ็นเอสะท้อนกระบวนการชราระดับเซลล์ได้ดีกว่าอายุปฏิทิน และสามารถทำนายสุขภาพและความเสี่ยงโรคได้แม่นยำกว่า [2] โดยสามารถตรวจวัดอายุดีเอ็นเอได้จากเทคนิคหลากหลาย เช่น เทคโนโลยี TIME-Seq ช่วยลดต้นทุนในการหาลำดับ DNA และสร้างนาฬิกาอีพีเจเนติกได้จากข้อมูลปริมาณน้อย [3] เทคโนโลยี ImAge ช่วยตรวจจับการเปลี่ยนแปลงอายุระดับเซลล์ด้วยภาพถ่ายโดยไม่ต้องอ้างอิงอายุจริง [5] นอกจากนี้ ยังพบความสัมพันธ์ระหว่าง EA กับตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ เช่น ความยาวเทโลเมียร์ และปริมาณไมโตคอนเดรียในเลือดจากสายสะดือ [4]

1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการลดอายุดีเอ็นเอ

ปัจจัยด้านโภชนาการ เช่น การบริโภคผัก ผลไม้ และธัญพืชไม่ขัดสี ช่วยลดอายุดีเอ็นเอ โดยอาหารจากพืชมีผลต่อการชะลอเมทิลเลชัน และยืดความยาวของเทโลเมียร์ [6] การเพิ่มผักผลไม้ 100 กรัมต่อวัน อาจลดอายุทางชีวภาพได้ถึง 1.9 ปี [7] มังสวิรัติยังมีผลต่อการลดการเร่งของอายุทางอีพีเจเนติกเมื่อเทียบกับอาหารที่มีเนื้อสัตว์ [8] พฤติกรรมสุขภาพอื่น เช่น การนอนหลับที่มีคุณภาพและการลดความเครียด ก็มีบทบาทชัดเจน โปรแกรมส่งเสริมเมทิลเลชันของ DNA ที่ผสานโภชนาการ การนอน และการผ่อนคลาย ช่วยลดอายุทางชีวภาพได้เฉลี่ย 4.60 ปี (2023) ขณะที่การทดลองแบบสุ่มก็รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมสามารถลดอายุทางอีพีเจเนติกได้ถึง 3.23 ปี [21] ในทางกลับกัน ความเครียดเรื้อรังมีผลทำให้เทโลเมียร์สั้นลง และเร่งความเสื่อมของเซลล์ [22] การออกกำลังกายก็มีผลดีต่ออายุดีเอ็นเอ เช่น การฝึกกล้ามเนื้อในเด็กช่วยลด EA เล็กน้อย ส่วนในผู้หญิงสูงอายุ การออกกำลังกายแบบคาร์ดิโอและยกน้ำหนักร่วมกันช่วยลดระดับเมทิลเลชันได้ชัดเจน [9]

1.3 แนวทางการบริโภคที่อาจมีผลต่ออายุดีเอ็นเอ

การอดอาหารเป็นช่วง (Intermittent Fasting – IF) และคีโตเจนิกไดเอท (Keto diet) ส่งผลดีต่ออายุชีวภาพ โดยส่งเสริมการซ่อมแซม DNA และกระบวนการออโตฟาจี ซึ่งช่วยกำจัดเซลล์เสื่อมสภาพ [11] คีโตเจนิกไดเอทยังลดความเครียดออกซิเดชันและเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการซ่อม DNA [12,13] อย่างไรก็ตาม การทำคีโตในระยะยาวอาจเร่งการชราภาพผ่าน p53 ซึ่งต้องพิจารณาเป็นรายกรณี [14] นอกจากรูปแบบการกิน สารอาหารจากพืชที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น แคโรทีนอยด์ในบล็อกโคลี แครอท มะเขือเทศ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสียหายของ DNA ได้ถึง 41% [15] และกระตุ้นยีนอายุยืน [16] วิตามิน A, C, E รวมถึงแร่ธาตุอย่างซีลีเนียมและสังกะสี มีบทบาทในการซ่อมแซม DNA และลดความเครียดออกซิเดชัน [17,18]

2. วัตถุประสงค์

แม้งานวิจัยหลายชิ้นจะชี้ว่าสารอาหารจากผักบางชนิดมีศักยภาพในการชะลออายุดีเอ็นเอ แต่การนำไปใช้จริงยังมีข้อจำกัด เช่น ราคาสูงของผักออร์แกนิกหรือผลไม้เบอร์รี่ และการเข้าถึงในบางพื้นที่ที่ยากลำบาก รวมถึงรสชาติหรือรูปแบบของอาหารเพื่อสุขภาพที่อาจไม่สอดคล้องกับความคุ้นชินของผู้บริโภค ทำให้เกิดอุปสรรคในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการบริโภค ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ตอบโจทย์ทั้งด้านโภชนาการและความสะดวกในการบริโภค เพื่อนำองค์ความรู้ด้านอายุดีเอ็นเอไปสู่การใช้งานได้จริง งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อ (1) ประยุกต์องค์ความรู้จากงานวิจัยเกี่ยวกับอายุดีเอ็นเอในการพัฒนาน้ำผักที่มี

สารอาหารช่วยชะลออายุดีเอ็นเอ โดยคงคุณค่าทางโภชนาการตามข้อเสนอแนะจากงานวิจัย (2) ออกแบบสูตรน้ำผักที่ดื่มง่าย สะดวก และเข้าถึงได้ง่ายในกลุ่มผู้บริโภคทั่วไป และ (3) ศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำผัก เพื่อต่อยอดสู่การใช้งานเชิงพาณิชย์และการส่งเสริมพฤติกรรมการบริโภคที่ดีต่อสุขภาพ

3. วิธีการศึกษา

3.1 รูปแบบการวิจัย

การศึกษานี้ดำเนินการในรูปแบบของการวิจัยเชิงทดลอง โดยแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) การพัฒนาสูตรน้ำผักต้นแบบเพื่อใช้ประเมินรสชาติ และ (2) การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำผักสกัดเย็นเพื่อนำไปประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มเป้าหมาย ในขั้นตอนแรก ผู้วิจัยได้ออกแบบน้ำผักจำนวน 4 สูตรต้นแบบ โดยเลือกใช้วัตถุดิบจากผักและผลไม้ที่มีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์สนับสนุนว่าช่วยลดอายุดีเอ็นเอผ่านกลไก (ตารางที่ 1) ส่วนผสมทั้ง 4 สูตรถูกนำไปปั่นเป็นน้ำผักเพื่อทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างนำร่องจำนวน 3 คน ซึ่งคัดเลือกจากกลุ่มวัยเรียนที่มีแนวโน้มไม่ชอบรับประทานผัก โดยผู้เข้าร่วมจะดื่มน้ำผักแต่ละสูตรและแสดงความเห็นเกี่ยวกับรสชาติ ความหวาน ความขม กลิ่น สี รสสัมผัส ความพึงพอใจโดยรวม และให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ผลจากการประเมินดังกล่าวใช้ในการพิจารณาเลือกสูตรต้นแบบที่เหมาะสมที่สุด โดยพบว่า สูตรที่ 2 ได้รับการประเมินในด้านความหวาน รสสัมผัส และความพึงพอใจโดยรวมในระดับสูงที่สุด และมีองค์ประกอบที่ครอบคลุมวัตถุดิบสำคัญ เช่น เคล แครอท บีทรูท แอปเปิลเขียว บลูเบอร์รี เมล็ดฟักทอง และเมล็ดทานตะวัน ในขั้นตอนที่สอง สูตรที่ 2 ได้รับการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์น้ำผักสกัดเย็นแทนการปั่น เพื่อเพิ่มความสะดวกในการบริโภค ลดเนื้อผักและกากที่ทำให้ดื่มยาก และยังคงคุณค่าทางโภชนาการไว้ โดยมีการปรับในส่วนของวัตถุดิบเมล็ดฟักทองและเมล็ดทานตะวัน เนื่องจากวัตถุดิบดังกล่าวไม่สามารถสกัดเย็นได้โดยตรงเหมือนผักสด ผู้วิจัยจึงใช้ น้ำมันสกัดเย็นจากเมล็ดฟักทองและเมล็ดทานตะวัน ที่ผ่านกระบวนการรักษาคุณค่าทางโภชนาการแล้วมาผสมแทน ผลิตภัณฑ์น้ำผักสกัดเย็นที่พัฒนาขึ้นนี้ได้นำไปให้กลุ่มวัยเรียนอีกชุดจำนวน 10 คน ทดลองดื่มและตอบแบบสอบถามออนไลน์ผ่าน Google Forms เพื่อประเมินความพึงพอใจ

ตารางที่ 1 น้ำผักสูตรต้นแบบจำนวน 4 สูตร

	องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ	ประโยชน์และกลไกต่อเซลล์	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ผักสีเขียวเข้ม	โฟเลต (Folate) และเบเทน (Betaine)	ช่วยรักษาเสถียรภาพของ DNA และอาจชะลอการแก่ของเซลล์	เคล	เคล	เคล	เคล
ผักตระกูลกะหล่ำ	กลูโคซิโนเลต (Glucosinolates) และสารโพลีฟีนอล	ช่วยลดการอักเสบ ปรับการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับ DNA methylation และลดความเสี่ยงของโรคเรื้อรัง	เคล	เคล	เคล	เคล
ผักหลากสี	วิตามินเอ (Vitamin A) วิตามินซี (Vitamin C) และแคโรทีนอยด์ (Carotenoids)	สนับสนุนกระบวนการ TET demethylase ซึ่งช่วยปรับเปลี่ยนรูปแบบของ DNA methylation และเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน	ฟักทอง	แครอท	ฟักทอง	แครอท

ตารางที่ 1 น้ำผักสูตรต้นแบบจำนวน 4 สูตร (ต่อ)

	องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ	ประโยชน์และกลไกต่อเซลล์	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
บีทรูท	สนับสนุนกระบวนการ TET demethylase ซึ่งช่วยปรับเปลี่ยนรูปแบบของ DNA methylation และเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน	ช่วยปรับการไหลเวียนของเลือด ลดความเครียดจากออกซิเดชัน และสนับสนุน DNA methylation	บีทรูท	บีทรูท	บีทรูท	บีทรูท
เมล็ดฟักทอง	กรดไขมันโอเมก้า-3 แมกนีเซียม และสังกะสี	ลดการอักเสบ สนับสนุนการทำงานของเซลล์สมอง และช่วยรักษาเสถียรภาพของ DNA	เมล็ดฟักทอง	เมล็ดฟักทอง	เมล็ดฟักทอง	เมล็ดฟักทอง
เมล็ดทานตะวัน	วิตามินอี (Vitamin E) และซีลีเนียม (Selenium)	มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปกป้องเซลล์จากความเสียหาย และช่วยในกระบวนการ DNA methylation	เมล็ดทานตะวัน	เมล็ดทานตะวัน	เมล็ดทานตะวัน	เมล็ดทานตะวัน
ผลไม้กลุ่มเบอร์รี	สารโพลีฟีนอล	ลดการอักเสบ ปรับการทำงานของเอนไซม์ DNA methylation และปกป้องเซลล์จากความเสียหายของ DNA	บลูเบอร์รี	บลูเบอร์รี	บลูเบอร์รี	บลูเบอร์รี
ผลไม้น้ำตาลต่ำ	ไฟเบอร์ วิตามินซี และสารต้านอนุมูลอิสระ	ลดการอักเสบ ปรับการทำงานของเอนไซม์ DNA methylation และปกป้องเซลล์จากความเสียหายของ DNA	แอปเปิลเขียว	แอปเปิลเขียว	แอปเปิลแดง	แอปเปิลแดง

3.2 กลุ่มตัวอย่างและการคัดเลือก

กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ระยะตามลำดับขั้นตอนของการศึกษา โดยมีการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากกลุ่มนักเรียนวัยเรียนที่มีแนวโน้มไม่ชอบรับประทานผัก และมีความสนใจในการดูแลสุขภาพผ่านทางเลือกที่ไม่ซับซ้อนและเข้าถึงง่าย ในระยะที่ 1 กลุ่มตัวอย่างจำนวน 3 คน ได้รับคัดเลือกเพื่อทดลองดื่มน้ำผักปั่นจากสูตรต้นแบบทั้ง 4 สูตร และให้ความคิดเห็นเกี่ยวกับรสชาติ ความหวาน ความขม กลิ่น สี รสสัมผัส และความพึงพอใจโดยรวม รวมถึงข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ซึ่งผลจากระยะนี้ใช้เพื่อคัดเลือกสูตรต้นแบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพัฒนาต่อ ในระยะที่ 2 กลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คน ได้รับคัดเลือกเพื่อทดลองดื่มน้ำผักสกัดเย็นที่พัฒนาจากสูตรต้นแบบที่ผ่านการคัดเลือกในระยะที่ 1 โดยผู้เข้าร่วมจะตอบแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจในด้านต่าง ๆ และแสดงแนวโน้มในการซื้อผลิตภัณฑ์น้ำผักดังกล่าว ข้อมูลจากระยะนี้ใช้เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของผลิตภัณฑ์ในการนำไปใช้จริงในกลุ่มเป้าหมาย และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการตัดสินใจบริโภคของผู้ไม่ชอบทานผัก ผู้เข้าร่วมได้รับการอธิบายวัตถุประสงค์ของการทดลองและตอบแบบสอบถามโดยสมัครใจ โดยไม่มีการระบุชื่อหรือข้อมูลส่วนตัวใด ๆ เพื่อรักษาความลับและความปลอดภัยของข้อมูล

3.3 เครื่องมือวิจัยและการวิเคราะห์

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือแบบสอบถามออนไลน์ผ่าน Google Forms ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) การประเมินความพึงพอใจต่อน้ำผัก ประกอบด้วย ความพึงพอใจด้านรสชาติ สี กลิ่น รสสัมผัส และความพึงพอใจโดยรวม และ (2) การประเมินความตั้งใจซื้อและการรับรู้ประโยชน์ของน้ำผักสกัดเย็น โดยการประเมินทั้งสองส่วนใช้รูปแบบมาตร Likert 5 ระดับ (5 = พึงพอใจสูงสุด, 4 = พึงพอใจสูง, 3 = พึงพอใจปานกลาง, 2 = ไม่พึงพอใจ 1 = ไม่พึงพอใจอย่างยิ่ง) ข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา เช่น ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อสรุปความพึงพอใจและแนวโน้มการบริโภคน้ำผัก และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยใช้ Pearson's correlation เพื่อ

4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 การเลือกสูตรต้นแบบและแนวทางการพัฒนา

หลังจากที่ได้พัฒนาสูตตั้งต้นทั้ง 4 สูตร และได้ทำเป็นน้ำผักปั่นออกมา ได้ทำการสอบถามจากผู้บริโภคกลุ่มแรก จำนวน 3 คน เพื่อประเมินความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างในด้านรสชาติและความพึงพอใจโดยรวม และรับข้อเสนอแนะเพิ่มเติม (ตารางที่ 2) ก่อนที่จะพัฒนาไปเป็นสูตรที่เหมาะสมต่อไป ผลการสอบถามพบว่า สูตรที่ 2 เป็นสูตรต้นแบบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำผักสกัดเย็นที่เหมาะสม เนื่องจากสูตรนี้ได้รับคะแนนความพึงพอใจผ่านการเลือกสูตรที่พึงพอใจ ในด้านความหวาน รสสัมผัส และความพึงพอใจโดยรวม ซึ่งมีองค์ประกอบทางโภชนาการที่หลากหลาย เช่น เคล แครอท บีทรูท แอปเปิลเขียว บลูเบอร์รี เมล็ดฟักทอง และเมล็ดทานตะวัน ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีงานวิจัยรองรับว่ามีศักยภาพในการชะลออายุดีเอ็นเอผ่านกลไกทาง epigenetic ได้แก่ การปรับรูปแบบ DNA methylation ลดความเครียดออกซิเดชัน และเสริมภูมิคุ้มกัน อย่างไรก็ตาม จากข้อจำกัดด้านกระบวนการผลิตพบว่า วัตถุดิบประเภทเมล็ดพืช เช่น เมล็ดฟักทองและเมล็ดทานตะวัน ไม่สามารถนำมาสกัดเย็นรวมกับผักสดได้โดยตรง เนื่องจากมีลักษณะเป็นเมล็ดแห้งที่ไม่สามารถให้น้ำได้ ผู้วิจัยจึงปรับสูตรโดยเลือกใช้ น้ำมันสกัดเย็นจากเมล็ดฟักทองและเมล็ดทานตะวัน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการสกัดเย็นและยังคงสารอาหารที่จำเป็นไว้อย่างครบถ้วน เพื่อนำมาผสมในสูตรน้ำผักโดยไม่กระทบต่อคุณภาพและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ การพัฒนานี้ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีทั้งคุณค่าทางโภชนาการและรสชาติที่เหมาะสมต่อกลุ่มเป้าหมาย โดยเฉพาะกลุ่มวัยเรียนที่ไม่ชอบทานผัก แต่ต้องการทางเลือกในการดูแลสุขภาพที่ดื่มง่ายและสะดวกต่อการบริโภคในชีวิตประจำวัน

ตารางที่ 2 ความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างในด้านรสชาติของสูตรตั้งต้น

	ความเห็นที่ 1	**ความเห็นที่ 2**	**ความเห็นที่ 3**
ความหวาน (Sweetness)	สูตร 3 หรือ สูตร 4	สูตร 2	สูตร 2 หรือ สูตร 4
ความขม (Bitterness)	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
กลิ่น (Aroma)	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
สี (Color)	สูตร 4	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
รสสัมผัส (Texture)	สูตร 2 หรือ สูตร 4	สูตร 2 หรือ สูตร 4	ไม่แตกต่าง
ความพึงพอใจโดยรวม	สูตร 2 หรือ สูตร 4	สูตร 2	สูตร 2

ตารางที่ 2 ความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างในด้านรสชาติของสูตรตั้งต้น (ต่อ)

	ความเห็นที่ 1	**ความเห็นที่ 2**	**ความเห็นที่ 3**
ความเห็นเพิ่มเติม	เพราะไม่ชอบทานผักอยู่แล้วเลย รู้สึกว่ากลืนยาก ทานยาก ละลายง่าย แบบปั่นพกพายากไม่สะดวกต่อการเดินทาง	ต่อยอดเป็นสินค้าได้ยาก เพราะต้องสั่งจากร้านน้ำปั่นและต้องดื่มทันทีเลย แต่ข้อดีคือยังมีรสสัมผัสของผักอยู่ทำให้รู้สึก healthy ตอนดื่ม แต่เข้าใจว่าบางคนอาจจะไม่ชอบถ้าไม่ทานผัก แต่ถ้าทานผักอยู่แล้วก็อาจจะชอบ	สำหรับคนที่ไม่ทานผัก แบบสกัดเย็นอาจจะทานง่ายกว่าเพราะไม่มีรสสัมผัสของผัก แบบสกัดเย็นจะได้วิตามินมากกว่า เพราะถ้าปั่นทำให้ผักโดนใบมีดเยอะ

4.2 ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อลักษณะต่าง ๆ ของน้ำผักสกัดเย็น

จากที่ได้ทำการพัฒนาต่อยอดจากน้ำผักปั่นมาเป็นน้ำผักสกัดเย็น ได้นำน้ำผักสกัดเย็นไปให้กลุ่มเป้าหมายดื่มและสอบถามความพึงพอใจต่อน้ำผักสกัดเย็น ตารางที่ 3 แสดงค่าความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อลักษณะต่าง ๆ ของน้ำผักสกัดเย็นโดยมีการเปรียบเทียบค่าคะแนนเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ในแต่ละด้าน ผลการศึกษาพบว่า ผู้บริโภคมีความพึงพอใจด้านประโยชน์ต่อสุขภาพของน้ำผักสกัดเย็นในระดับสูง (Mean = 4.33, SD = 0.71) และมีระดับความพึงพอใจโดยรวมของน้ำผักสกัดเย็นอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (Mean = 3.67, SD = 0.71) และผู้บริโภคสะท้อนว่ามีแนวโน้มที่จะซื้อน้ำผักสกัดเย็นอยู่ในระดับปานกลางถึงสูง (Mean = 3.56, SD = 1.01) นอกจากนั้น ผู้บริโภคมีความพึงพอใจต่อความขมในระดับปานกลางถึงสูง (Mean = 3.89, SD = 1.36) ซึ่งสูงกว่าด้านอื่น ๆ เช่น ความหวาน (Mean = 3.11, SD = 1.45) กลิ่น (Mean = 3.00, SD = 1.00) สี (Mean = 2.67, SD = 1.32) และรสสัมผัส (Mean = 2.67, SD = 1.50) ซึ่งเป็นจุดที่ควรปรับปรุง อย่างไรก็ตาม แนวโน้มการซื้อน้ำผักสกัดเย็นอยู่ที่ 3.56 (SD = 1.01) ซึ่งอยู่ในระดับกลาง การศึกษานี้พบว่าจุดเด่นของผลิตภัณฑ์อยู่ที่คุณค่าทางสุขภาพที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค โดยเฉพาะความรู้สึกว่าการดื่มน้ำผักสกัดเย็นช่วยส่งเสริมสุขภาพและล้างสารพิษ อย่างไรก็ตาม มีข้อเสนอแนะหลายประการที่ควรนำไปปรับปรุง เช่น ควรลดปริมาณเนื้อผักและกากที่ทำให้ดื่มยาก ปรับกลิ่นเหม็นเขียวให้เบาลงด้วยการผสมผลไม้รสหวาน เช่น แอปเปิล และปรับลดปริมาณบีทรูทลงเพื่อไม่ให้สีเข้มเกินไปจนไม่น่าดื่ม แต่ยังคงปริมาณตามที่ระบุในงานวิจัยที่อ้างอิง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติ สี และกลิ่นที่กลมกล่อมและเข้าถึงผู้บริโภคกลุ่มกว้างขึ้น สำหรับการพัฒนาในอนาคต ผู้วิจัยมีแนวคิดในการทดลองสูตรที่มีสัดส่วนผักและผลไม้หลากหลายมากขึ้นแต่ยังคงองค์ประกอบตามงานวิจัยที่อ้างอิง ควบคู่กับการทดสอบความพึงพอใจในกลุ่มเป้าหมายที่กว้างขึ้น ทั้งในกลุ่มเด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ที่ไม่ชอบรับประทานผัก เพื่อพัฒนาน้ำผักสกัดเย็นให้สามารถตอบโจทย์การบริโภคในชีวิตประจำวันได้อย่างยั่งยืน

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาระดับความพึงพอใจ (5 = พึงพอใจสูงสุด, 4 = พึงพอใจสูง, 3 = พึงพอใจปานกลาง, 2 = ไม่พึงพอใจ 1 = ไม่พึงพอใจอย่างยิ่ง)

	ความพึงพอใจต่อความหวาน	ความพึงพอใจต่อระดับความขม	ความพึงพอใจต่อกลิ่น	ความพึงพอใจต่อสี	ความพึงพอใจต่อรสสัมผัส	ความพึงพอใจโดยรวม	น้ำผักสกัดเย็นมีประโยชน์ต่อสุขภาพอย่างไร	มีแนวโน้มที่จะซื้อน้ำผักสกัดเย็นหรือไม่
Mean	3.11	3.89	3.00	2.67	2.67	3.67	4.33	3.56
SD	1.45	1.36	1.00	1.32	1.50	0.71	0.71	1.01

4.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ กับแนวโน้มการซื้อน้ำผักสกัดเย็นของกลุ่มวัยนักเรียนที่ไม่ชอบทานผัก

ผลการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ กับแนวโน้มการซื้อน้ำผักสกัดเย็นของกลุ่มวัยนักเรียนที่ไม่ชอบทานผักพบค่าความสัมพันธ์ (r) ตั้งแต่ 0.46 ถึง 0.86 ซึ่งสะท้อนถึงระดับความเชื่อมโยงของแต่ละปัจจัยกับพฤติกรรมการซื้อ โดยที่ปัจจัยที่มีค่าสหสัมพันธ์สูงกว่า 0.8 คือปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ในระดับสูงมาก ปัจจัยที่มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง 0.60 ถึง 0.79 คือปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ในระดับสูง ปัจจัยที่มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง 0.40 ถึง 0.59 คือปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลาง และค่าสหสัมพันธ์ที่น้อยกว่า 0.40 ถือว่ามีระดับความสัมพันธ์ต่ำ [19]

ตารางที่ 4 ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ กับแนวโน้มการซื้อน้ำผักสกัดเย็นของกลุ่มวัยนักเรียน (n=10)

ปัจจัยต่าง ๆ	ค่าสหสัมพันธ์กับแนวโน้มการซื้อน้ำผักสกัดเย็นของกลุ่มวัยนักเรียน	ปัจจัยต่าง ๆ	ค่าสหสัมพันธ์กับแนวโน้มการซื้อน้ำผักสกัดเย็นของกลุ่มวัยนักเรียน
ความพึงพอใจต่อความขม	0.86	ความพึงพอใจต่อสี	0.53
ประโยชน์ของน้ำผัก	0.76	ความถี่การบริโภคผัก	0.52
ระดับความชอบทานผัก	0.74	ความพึงพอใจต่อกลิ่น	0.49
ความพึงพอใจต่อความหวาน	0.55	ความพึงพอใจต่อรสสัมผัส	0.47

ผลการศึกษา (ตารางที่ 4) พบว่า ความพึงพอใจต่อความขมมีค่าสหสัมพันธ์กับแนวโน้มการซื้อน้ำผักสกัดเย็นในระดับสูงมาก (r = 0.86) แสดงให้เห็นว่าวัยนักเรียนที่ชอบรสขมมีแนวโน้มจะซื้อน้ำผักสกัดเย็นมากกว่ากลุ่มที่ไม่ชอบรสขม นอกจากนี้ ประโยชน์ของน้ำผัก (r = 0.76) และระดับความชอบในการบริโภคน้ำผัก (r = 0.74) ก็มีความสัมพันธ์กับแนวโน้มการซื้อน้ำผักสกัดเย็นในระดับสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการรับรู้ถึงประโยชน์และความคุ้นเคยในการบริโภคน้ำผักส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อสูงเช่นกัน ความพึงพอใจต่อความหวาน (r = 0.55) ความพึงพอใจต่อสี (r = 0.53) และความถี่ในการบริโภคผัก (r = 0.52) มีค่าสหสัมพันธ์ในระดับปานกลางกับแนวโน้มการซื้อน้ำผักสกัดเย็น ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่ารสชาติ สี และพฤติกรรมการบริโภคผักในชีวิตประจำวันยังคงมีบทบาทต่อการตัดสินใจของผู้บริโภคในระดับหนึ่ง แม้อาจไม่ใช่ปัจจัยหลัก ในขณะที่ปัจจัยที่มีค่าสหสัมพันธ์ต่ำที่สุด ได้แก่ ความพึงพอใจต่อรสสัมผัส (r = 0.47) ซึ่งบ่งชี้ว่าปัจจัยทั้งสองนี้มีผลต่อแนวโน้มการซื้อในระดับที่ค่อนข้างจำกัด โดยเฉพาะในกลุ่มวัยนักเรียนที่อาจยังไม่มีประสบการณ์หรือความคุ้นชินกับผลิตภัณฑ์ลักษณะนี้มากนัก

อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยตระหนักถึงข้อจำกัดของการศึกษานี้ โดยเฉพาะจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่มีจำนวนน้อยมาก (n=3 และ n=10) ซึ่งอาจยังไม่เพียงพอในการสรุปผลในเชิงสถิติที่มีนัยสำคัญ งานวิจัยนี้จึงถือเป็นการศึกษาทดลองเบื้องต้น (preliminary study) ที่มีเป้าหมายเพื่อสำรวจแนวโน้มและความเป็นไปได้ของการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำผักสกัดเย็นสำหรับกลุ่มที่ไม่ชอบบริโภคผัก โดยในอนาคตผู้วิจัยมีแผนจะขยายขอบเขตการศึกษาให้ครอบคลุมกลุ่มเป้าหมายที่หลากหลายมากขึ้น และใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสถิติได้อย่างมีความน่าเชื่อถือ และสนับสนุนการพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างเป็นระบบมากยิ่งขึ้น

5. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการพัฒนาน้ำผักสกัดเย็นที่ส่งเสริมสุขภาพและชะลออายุดีเอ็นเอ โดยใช้วัตถุดิบตามแนวคิดโภชนาการอีพีเจเนติก และศึกษาความพึงพอใจของกลุ่มวัยเรียนที่ไม่ชอบทานผัก ผลเบื้องต้นพบว่าสูตรที่ได้รับคะแนนสูงสุดมีองค์ประกอบสอดคล้องกับกลไก DNA methylation จึงพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ลดข้อจำกัดด้านรสชาติและเนื้อสัมผัส ผลการประเมินจากกลุ่มตัวอย่าง 10 คน พบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจในระดับปานกลางถึงสูง (Mean = 3.67) และรับรู้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ในระดับสูง (Mean = 4.33) โดยปัจจัยที่สัมพันธ์กับแนวโน้มการซื้อมากที่สุด ได้แก่ รสขม (r = 0.86) การรับรู้ประโยชน์ (r = 0.76) และความคุ้นชินกับผัก (r = 0.74) อย่างไรก็ตาม จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่น้อยยังเป็นข้อจำกัดของการวิจัย ผู้วิจัยจึงมีแผนขยายขนาดการศึกษาในอนาคต เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและต่อยอดสู่การพัฒนาเชิงพาณิชย์

เอกสารอ้างอิง

[1] Jung, S. Y., Yu, H., Deng, Y., & Pellegrini, M. (2024). DNA-methylation age and accelerated epigenetic aging in blood as a tumor marker for predicting breast cancer susceptibility. Aging (Albany NY), 16(22), 13534.

[2] Akeju, O., Mens, M. M., Warmerdam, R., Dijkema, M., van den Biggelaar, A. H., Franke, L., ... & Wu, J. W. (2024). Genetic Correlates of Biological Aging and the Influence on Prediction of Mortality. The Journals of Gerontology, Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 79(4), glae024.

[3] Griffin, P. T., Kane, A. E., Trapp, A., Li, J., McNamara, M. S., & Meer, M. V. (2021). Ultra-cheap and scalable epigenetic age predictions with TIME-Seq. BioRxiv, 25, 465725.

[4] Reimann, B., Martens, D. S., Wang, C., Ghantous, A., Herceg, Z., Plusquin, M., & Nawrot, T. S. (2022). Interrelationships and determinants of aging biomarkers in cord blood. Journal of Translational Medicine, 20(1), 353.

[5] Alvarez-Kuglen, M., Rodriguez, D., Qin, H., Ninomiya, K., Fiengo, L., Farhy, C., ... & Terskikh, A. V. (2023). Imaging-based chromatin and epigenetic age, ImAge, quantitates aging and rejuvenation. Research Square, rs-3.

[6] García-García, I., Grisotto, G., Heini, A., Gibertoni, S., Nusslé, S., Gonseth Nusslé, S., & Donica, O. (2024). Examining nutrition strategies to influence DNA methylation and epigenetic clocks: a systematic review of clinical trials. Frontiers in Aging, 5, 1417625.

[7] Tucker, L. A. (2021). Fruit and vegetable intake and telomere length in a random sample of 5448 US adults. Nutrients, 13(5), 1415.

[8] Dwaraka, V. B., Aronica, L., Carreras-Gallo, N., Robinson, J. L., Hennings, T., Carter, M. M., ... & Gardner, C. D. (2024). Unveiling the epigenetic impact of vegan vs. omnivorous diets on aging: insights from the Twins Nutrition Study (TwiNS). BMC medicine, 22(1), 301.

[9] Vasileva, F., Font-Lladó, R., López-Ros, V., Barretina, J., Noguera-Castells, A., Esteller, M., ... & Prats-Puig, A. (2025). An Integrated Neuromuscular Training Intervention Applied in Primary School Induces Epigenetic Modifications in Disease-Related Genes: A Genome-Wide DNA Methylation Study. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 35(1), e70012.

[10] Zang, B. Y., He, L. X., & Xue, L. (2022). Intermittent fasting: potential bridge of obesity and diabetes to health?. Nutrients, 14(5), 981.

[11] Strilbytska, O., Klishch, S., Storey, K. B., Koliada, A., & Lushchak, O. (2024). Intermittent fasting and longevity: From animal models to implication for humans. Ageing research reviews, 102274.

[12] Petr, M. A., Carmona-Marin, L. M., Tulika, T., Kristensen, S., Reves, S., Bakula, D., ... & Scheibye-Knudsen, M. (2022). Ketones facilitate transcriptional resolution of secondary DNA structures in premature aging. bioRxiv, 2022-03.

[13] Nesterova, V. V., Babenkova, P. I., Brezgunova, A. A., Samoylova, N. A., Sadovnikova, I. S., Semenovich, D. S., ... & Plotnikov, E. Y. (2024). Differences in the Effects of Beta-Hydroxybutyrate on Mitochondria Biogenesis, Markers of Oxidative Stress and Inflammation in Young and Old Rat Tissues. Biohimiâ, 89(7), 1288-1303.

[14] Wei, S. J., Schell, J. R., Chocron, E. S., Varmazyad, M., Xu, G., Chen, W. H., ... & Gius, D. (2024). Ketogenic diet induces p53-dependent cellular senescence in multiple organs. Science Advances, 10(20), eado1463.

[15] Riso, P., Martini, D., Møller, P., Loft, S., Bonacina, G., Moro, M., & Porrini, M. (2010). DNA damage and repair activity after broccoli intake in young healthy smokers. Mutagenesis, 25(6), 595-602.

[16] Mechchate, H., El Allam, A., El Omari, N., El Hachlafi, N., Shariati, M. A., Wilairatana, P., ... & Bouyahya, A. (2022). Vegetables and their bioactive compounds as anti-aging drugs. Molecules, 27(7), 2316.

[17] Chakraborty, S. (2023). Antioxidants and Ageing. In: Pathak, S., Banerjee, A., Duttaroy, A.K. (eds) Evidence-based Functional Foods for Prevention of Age-related Diseases. Springer, Singapore.

[18] Fenech, M. F., Bull, C. F., & Van Klinken, B. J. W. (2023). Protective effects of micronutrient supplements, phytochemicals and phytochemical-rich beverages and foods against DNA damage in humans: a systematic review of randomized controlled trials and prospective studies. Advances in Nutrition, 14(6), 1337-1358.

[19] Selvanathan, Mahiswaran & Jayabalan, Neeta & Saini, Gurmeet & Supramaniam, Mahadevan & Hussain, Norasmahani. (2020). Employee Productivity in Malaysian Private Higher Educational Institutions. PalArch's Journal of Archaeology of Egypt/ Egyptology. 17. 66-79.

[20] Großbach, A., Starnawski, A. K., Gogarten, S. M., & Raffington, L. (2024). Maximizing insights from longitudinal epigenetic age data: Simulations, applications, and practical guidance. Clinical Epigenetics, 16(1), 64.

[21] Fitzgerald, K. N., Hodges, R., Hanes, D., Stack, E., Cheishvili, D., Szyf, M., Henkel, J., Twedt, M. W., Giannopoulou, D., Herdell, J., Logan, S., & Bradley, R. (2021). Potential reversal of epigenetic age using a diet and lifestyle intervention: A pilot randomized clinical trial. *Aging (Albany NY)*, 13(7), 9419–9432.

[22] Esch, T., Stefano, G. B., Fricchione, G. L., & Benson, H. (2018). The role of stress in neurodegenerative diseases and mental disorders. *Medical Science Monitor Basic Research, 24*, 93–102.

ความแตกต่างระหว่างเจเนอเรชันในด้านบุคลิกภาพ การมีส่วนร่วมกับดนตรี และแนวทางในการแสวงหาความสุข: การศึกษาแบบสหวิทยาการโดยใช้โมเดล DISC และ Hamburger

สิริมา พลเทพ[1*]และปรัชญพงศ์ ยาศรี[2]

[1]โรงเรียนนานาชาติโชรส์เบอรี กรุงเทพมหานคร
[2]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร
** Corresponding author: ininsirima@gmail.com*

บทคัดย่อ

ความแตกต่างระหว่างเจเนอเรชันส่งผลต่อคุณลักษณะทางจิตวิทยาและสุขภาวะ นำไปสู่แนวทางที่หลากหลายที่แต่ละบุคคลใช้ในการแสวงหาความสุขและพัฒนาบุคลิกภาพของตนเอง จากแนวคิดนี้ งานวิจัยฉบับนี้จึงมุ่งสำรวจความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของเจเนอเรชัน ลักษณะบุคลิกภาพตามโมเดล DISC การมีส่วนร่วมกับดนตรี และแนวทางในการแสวงหาความสุขภายใต้กรอบแนวคิด Hamburger Model โดยเก็บข้อมูลจากผู้เข้าร่วมจำนวน 142 คน ครอบคลุมผู้ที่อยู่ในเจเนอเรชัน X, Y และ Z โดยใช้แบบสอบถาม และวิเคราะห์ความแตกต่างของลักษณะบุคลิกภาพและแนวทางการแสวงหาความสุขในแต่ละช่วงวัย พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชั่วโมงที่ใช้ฟังดนตรีกับบุคลิกภาพและแนวทางการมองความสุข ผลการวิจัยพบว่า บุคลิกภาพประเภท Steadiness (ความมั่นคง) และ Conscientiousness (ความรอบคอบ) พบได้มากในเจเนอเรชัน X ซึ่งสะท้อนถึงแนวโน้มของคนรุ่นก่อนที่ให้ความสำคัญกับความมั่นคงและโครงสร้างที่ชัดเจน ขณะที่เจเนอเรชัน Z มีแนวโน้มแสดงบุคลิกภาพแบบ Influence (อิทธิพล) มากกว่า สะท้อนถึงความเป็นมิตรและความสนใจในการปฏิสัมพันธ์ทางสังคมที่สูงขึ้น แนวทางในการแสวงหาความสุขของแต่ละเจเนอเรชันแตกต่างกัน โดยเจเนอเรชัน X และ Y ให้ความสำคัญกับเป้าหมายระยะยาว (Rat Race) และการใช้ชีวิตอย่างสมดุล (Balanced) ขณะที่เจเนอเรชัน Z มีแนวโน้มโน้มเอียงไปทางแนวคิดแบบ Hedonism (ความสุขในปัจจุบัน) และ Nihilism (ความไร้ความหมาย) อย่างไรก็ตาม แนวทาง Balanced ยังคงเป็นแนวคิดที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในทุกเจเนอเรชัน นอกจากนี้ ยังพบว่าชั่วโมงที่ใช้ฟังดนตรีมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับแนวคิด Balanced และ Rat Race และในทางลบกับ Hedonism และ Nihilism แสดงให้เห็นว่าการฟังดนตรีเป็นประจำอาจช่วยส่งเสริมเสถียรภาพทางอารมณ์และพฤติกรรมที่มุ่งเป้าหมายในอนาคต ถึงแม้ชั่วโมงฟังดนตรีจะไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับบุคลิกภาพแบบ Dominance (ความเป็นผู้นำ) หรือ Influence แต่มีความสัมพันธ์ในระดับอ่อนแต่มีนัยสำคัญกับบุคลิกภาพแบบ Steadiness และ Conscientiousness ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของดนตรีในการส่งเสริมสุขภาวะทางจิตใจ โดยเฉพาะในคนรุ่นใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนด้านการส่งเสริมสุขภาพทางอารมณ์ งานวิจัยนี้ยังนำเสนอการวิเคราะห์เชิงบูรณาการแนวใหม่ที่เชื่อมโยงระหว่างดนตรี บุคลิกภาพ และความสุข พร้อมทั้งชี้ให้เห็นช่องว่างของงานวิจัยเชิงประจักษ์ที่ยังไม่มีการเชื่อมโยงโมเดล Hamburger เข้ากับโมเดลบุคลิกภาพ DISC

คำสำคัญ: ความแตกต่างระหว่างเจเนอเรชัน / โมเดลบุคลิกภาพ DISC / โมเดลความสุข Hamburger / การมีส่วนร่วมกับดนตรี

Generational Differences in Personality, Music Engagement, and Approaches to Happiness: An Interdisciplinary Study Using the DISC and Hamburger Models

Sirima Pholtape[1] * and Pratchayapong Yasri [2]

[1]Shrewsbury International School Bangkok, Thailand
[2]Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand
** Corresponding author: ininsirima@gmail.com*

Abstract

Generational differences shape psychological traits and well-being, contributing to diverse approaches through which individuals pursue happiness and develop their personalities. Build on this perspective, this study explores the interrelationships among generational differences, DISC personality traits, music engagement, and approaches to happiness framed by the Hamburger Model. Drawing on responses from 142 participants across Generations X, Y, and Z using 5-Likert scale survey, the research examines how personality traits and happiness orientations vary across age groups, and how time spent listening to music may influence both. The DISC model categorises personality into Dominance, Influence, Steadiness, and Conscientiousness, while the Hamburger Model frames happiness into four approaches: balanced, rat race, hedonism, and nihilism. Findings reveal that Steadiness and Conscientiousness are most prevalent among Generation X, indicating a generational tendency towards reliability and structure, while Generation Z leans towards Influence traits, highlighting a growing emphasis on sociability. Happiness orientations also differ: Generation X and Y prioritise long-term goals (rat race) and balance, whereas Generation Z exhibits higher tendencies towards hedonistic and nihilistic perspectives. Despite these contrasts, the balanced approach remains the most favoured across all generations. Significantly, music engagement correlates positively with balanced and rat race approaches and negatively with hedonistic and nihilistic ones, suggesting that regular music listening is associated with emotional stability and future-oriented behaviour. Although music hours show no strong relationship with Dominance or Influence traits, they demonstrate weak but significant positive correlations with Steadiness and Conscientiousness. These findings highlight music's potential as a non-invasive tool for enhancing psychological well-being, particularly among younger generations, which aligns with sustainable development goal in promoting emotional enrichment. This study contributes a novel intersectional analysis linking music, personality, and happiness, while identifying a gap in empirical research connecting the Hamburger Model to the DISC personality model.

Keywords: Generational Differences / DISC Personality / Hamburger Model of Happiness / Music Engagement

1. Introduction

Socio-cultural dynamics play a crucial role in shaping the psychological traits, lifestyle preferences, and overall well-being of individuals across generations. These generational differences influence how people conceptualise happiness and develop their sense of identity and personality. While some individuals may associate happiness with immediate gratification, others view it as a long-term outcome attained through perseverance and effort.

1.1 Generational backgrounds

Generational differences in values and priorities have been shaped by distinct sociocultural influences, reflecting a gradual shift toward individualism. Generation X (born 1962–1981) experienced a movement toward individualistic ideals, emphasizing extrinsic values such as wealth and fame while demonstrating a decline in civic engagement compared to Baby Boomers. Generation Y (born 1982–1996) extended these extrinsic goals but also displayed a strong concern for social issues, though their sense of community declined [1] In contrast, Generation Z (born 1997–2012) has been increasingly aware of health and fitness, showing a stronger motivation for exercise compared to Generation Y [2]. Additionally, their engagement with social media has fostered a complex balance between loneliness and self-reliance, diverging from the patterns seen in previous generations [3]. These shifts illustrate the evolving priorities of each generation, where individualism has remained a defining theme, albeit manifesting differently in relation to social, health, and technological engagement.

1.2 DISC personality

The DISC personality mode categorizes individuals into four personality types: Dominance, Influence, Steadiness, and Compliance. This model is widely applied in various fields such as career development, education, and healthcare to assess personality traits and enhance interpersonal interactions. Dominance is characterized by assertiveness, decisiveness, and a focus on results. Influence refers to sociability, enthusiasm, and the ability to persuade others. Steadiness embodies patience, reliability, and strong teamwork skills. Compliance reflects attention to detail, structure, and a preference for following rules and procedures [4]. In education, the DISC model supports collaborative learning by helping students understand their personality traits, and its impact can be further improved using gamification techniques [5]. Additionally, in the healthcare sector, DISC has been used to identify personality traits that contribute to effective caregiving, with findings indicating that most nurses exhibit Steadiness traits, which are essential for their roles [6].

1.3 Happiness model (Burger Model)

The Happiness Model, often referred to as the Burger Model, uses the metaphor of different types of burgers to illustrate how people relate to happiness in the present and future. It categorises happiness into four distinct approaches based on the balance between immediate gratification and long-term well-being. Genuine happiness is achieved as individuals believe in current enjoyment with actions that secure future success and well-being. This refers to the 'ideal burger' in the sense that eating a healthy burger will bring immediate joy as well as set a stage for positive health benefits in the future [7]. The rat race approach involves sacrificing present happiness for the sake of a more promising future. This is parallel to choosing a healthy, but bland burger, as it might not be flavourful at the moment, but the nutrients will lead to better health and positive outcomes later. With the hedonism approach refers to the prioritisation of immediate pleasure regardless of potential challenges in the future. These individuals tend to prioritize immediate enjoyment above everything else. This is comparable to a junk food burger. While it may taste delicious now, its high fat content and lack of nutrients can lead to health problems in the long-term. Nihilist approach describes a state where individuals find no happiness in life, seeing both present and future unfulfilling. This is represented by the worst kind of burger: one that is both unappetizing and has negative effects on health [7].

The Hamburger model focuses on creating happiness through four different categories in school. These categories - physical, social-emotional, individual, and instructional - are the foundation for building an educational environment that supports positive experience and personal growth in school. The instructional factor could also be viewed as the 'ideal burger', as it focuses on preparing students for lifelong learning. The classroom is designed to be interactive and creative, which helps students enjoy the moment, while also building important skills that are useful in the future - this focuses on a classroom experience that offers both joy and strictness. For the physical aspect, student's happiness can be influenced by the school's environment. This includes layout, colours, furniture and overall atmosphere. If they are designed to be only functional and dull, it could end up like 'rat race' approach. In terms of individual factors such as motivation, self-awareness and self-confidence, the model recognised that personal traits can also reflect the students' happiness level in a school setting. The school would be serving the 'ideal burger' when they provide students with the opportunity to explore their strengths or feel a sense of achievement. This brings present joy as well as fuel and motivation to succeed in the future.

Music strongly influences emotions and behaviours, with daily listening time, referred to as music hours, ranging from less than 1 hour to more than 9 hours. Research shows a positive link between music and happiness. A 2020 study found that listening for over 2 hours daily increased life satisfaction and emotional stability [8]. During stressful times like the COVID-19 pandemic, music served as a coping tool, especially when individuals actively engaged by singing or playing instruments [9], enhancing its mood-boosting effects [10].

2. Methodology

This study aims (1) to explore the difference between the personality traits in the DISC model and approaches to happiness based on the Hamburger Model, (2) to analyse the differences in personality traits, and (3) to investigate the statistical correlation between the number of hours spent on engaging with music and the approaches to happiness, as well as the DISC personality traits.

To respond to those research goals, this study adopted a 5-Likert scale survey utilizing demographic information. The Likert scale was chosen for its simplicity that allows quick responses while capturing the various degrees of agreement. The survey measures personality traits, approaches to happiness, and music listening hours. Participants were selected through voluntary sampling, targeting individuals across the three generations. The final sample comprised 142 respondents whose data were analysed by the Pearson correlation analysis to determine relationships between personality traits, approaches to happiness, and music listening hours. Any correlation coefficient less than 0.2 is considered unrelated, while those greater than 0.8, 0.6, 0.4 and 0.2 are considered very high, high, moderate, and low respectively [11]. Additionally, to compare the difference between each data group the independent t-Test was employed with 95 percent confidence.

3. Results and Discussion

3.1 DISC personality types

Table 1 reveals significant positive relationships among all DISC types, with S-type (Steadiness) emerging as a commonly shared trait. S-type shows moderate correlations with D-type (r = 0.381), I-type (r = 0.346), and C-type (r = 0.301), suggesting that qualities like patience and reliability often coexist with other personality traits. The strongest relationship appears between D-type (Dominance) and C-type (Conscientiousness) (r = 0.479), reflecting their shared task orientation—D-types focus on results, while C-types value precision. In contrast, the weakest correlation is between I-type (Influence) and C-type (r = 0.167), highlighting a clear divide between sociability and detail-oriented thinking.

Table 1 Correlation table for DISC personality types

Variable	D-type	I-Type	S-Type	C-Type
1. D–type p-value	— —			
2. I–Type p-value	0.294 < .001	—		

Table 1 Correlation table for DISC personality types (cont.)

Variable	D-type	I-Type	S-Type	C-Type
3. S–Type	0.381	0.346	—	
p-value	< .001	< .001		
4. C–Type	0.479	0.167	0.301	—
p-value	< .001	0.047	< .001	

Table 2 and post hoc tests reveal clear generational differences in DISC personality traits. Gen X scores highest overall, particularly in S-type (M = 4.278) and C-type (M = 4.297), suggesting greater steadiness and conscientiousness. Gen Y shows lower scores, especially in D-type and S-type, indicating reduced dominance and stability. Gen Z stands out with higher I-type scores (M = 4.167), reflecting stronger sociability.

Significant differences were observed between Gen X and Gen Y (Mean Diff = 0.405, $p < .001$, d = 0.536) and Gen X and Gen Z (Mean Diff = 0.315, $p = .016$, d = 0.416), while no significant difference appeared between Gen Y and Gen Z. Differences were most pronounced in S-type and C-type traits: Gen X scored significantly higher in S-type than Gen Y ($p < .001$, d = 0.790) and in C-type than Gen Z ($p = .049$, d = 0.730). No significant gaps emerged in D-type or I-type, suggesting consistency in assertiveness and sociability across generations. Overall, findings suggest Gen X favours task-oriented traits, while younger generations lean towards adaptability and interpersonal engagement.

Table 2 Descriptive statistics of generational differences in DISC personality traits

Personality	Generation	N	Mean	SD	SE / Coefficient of variation
D–type	Gen X	60	3.950	0.814	0.105 / 0.206
	Gen Y	52	3.513	1.002	0.139 / 0.285
	Gen Z	30	3.544	0.703	0.128 / 0.198
I–type	Gen X	60	4.122	0.592	0.076 / 0.144
	Gen Y	52	3.885	0.883	0.122 / 0.227
	Gen Z	30	4.167	0.611	0.112 / 0.147
S–type	Gen X	60	4.278	0.495	0.064 / 0.116
	Gen Y	52	3.679	0.952	0.132 / 0.259
	Gen Z	30	3.933	0.542	0.099 / 0.138
C–type	Gen X	60	4.297	0.550	0.071 / 0.128
	Gen Y	52	3.949	0.962	0.133 / 0.244
	Gen Z	30	3.744	0.537	0.098 / 0.144

3.2 Approaches to happiness

The correlation analysis reveals that the balanced approach to happiness is strongly linked to other mindsets. It positively correlates with the rat race approach ($r = 0.428$, $p < .001$), suggesting that those who pursue long-term goals may also value balance between present and future well-being—echoing Dr. Tal Ben-Shahar's idea of a "balanced hamburger." In contrast, the nihilistic approach, which reflects a lack of meaning, shows a negative correlation with the balanced mindset ($r = -0.253$, $p = .002$). Interestingly, the hedonistic approach, focused on immediate pleasure, is unrelated to the balanced or rat race mindsets but is positively associated with nihilism ($r = 0.510$, $p < .001$), implying a link between short-term gratification and a sense of emptiness. These results emphasise that true happiness is more likely when individuals pursue both present enjoyment and long-term purpose.

Table 3 correlation analysis between different approaches to happiness

Variable	Rat race	Hedonist	Nihilist	Balanced
1. Rat race p-value	— —			
2. Hedonist p-value	-0.047 0.577	—		
3. Nihilist p-value	-0.132 0.117	0.510 < .001	—	
4. Balanced p-value	0.428 < .001	0.020 0.817	-0.253 0.002	—

Table 4 shows clear generational patterns in approaches to happiness. The balanced approach is most common across all groups, especially in Gen Y ($M = 4.519$), followed by Gen X (4.444) and Gen Z (4.289), indicating a shared preference for well-rounded well-being. Gen X scores highest on the rat race approach ($M = 4.050$), with scores declining in Gen Y and Gen Z. In contrast, Gen Z reports higher levels of hedonism ($M = 3.100$) and nihilism ($M = 2.533$), suggesting a greater tendency toward pleasure-seeking and existential views compared to older generations. Post hoc comparisons reveal a significant difference between Gen Y and Gen Z (Mean Diff = -0.246, $p = .036$, $d = -0.340$), with Gen Y showing a stronger overall orientation to happiness. No significant differences were found between Gen X and the other groups, indicating closer alignment. These findings suggest a generational shift, with Gen Z leaning away from achievement-focused ideals toward more individualistic and less structured views of happiness.

3.3 Music hours

The analysis shows that music hours are strongly correlated with the rat race approach to happiness ($r = 0.741$, $p < .001$), suggesting that individuals who listen to more music may also be more goal driven. In contrast, music hours are negatively correlated with hedonistic ($r = -0.190$) and nihilistic ($r = -0.202$) approaches, indicating lower tendencies toward pleasure-seeking or existential detachment. Music engagement also correlates positively with overall happiness ($r = 0.400$, $p < .001$), highlighting its role in enhancing well-being.

Regarding personality, music hours show no significant link with D-type traits and a very weak correlation with I-type traits ($r = 0.171$). However, small but significant positive correlations are found with S-type ($r = 0.222$) and C-type ($r = 0.252$), suggesting that music may be slightly associated with patience, dependability, and conscientiousness. These results imply that music is more closely tied to emotional stability and structure than to dominance or sociability.

Table 4 Descriptive statistics of generational differences in approaches to happiness

Approach	Generation	N	Mean	SD	SE / Coefficient of variation
Rat race	Gen X	60	4.050	0.616	0.080 / 0.152
	Gen Y	52	3.865	0.658	0.091 / 0.170
	Gen Z	30	3.567	0.701	0.128 / 0.197
Hedonist	Gen X	60	2.650	0.877	0.113 / 0.331
	Gen Y	52	2.481	0.916	0.127 / 0.369
	Gen Z	30	3.100	0.902	0.165 / 0.291
Nihilist	Gen X	60	1.900	0.737	0.095 / 0.388
	Gen Y	52	1.641	0.749	0.104 / 0.457
	Gen Z	30	2.533	0.891	0.163 / 0.352
Balanced	Gen X	60	4.444	0.516	0.067 / 0.116
	Gen Y	52	4.519	0.469	0.065 / 0.104
	Gen Z	30	4.289	0.579	0.106 / 0.135

4. Discussion

This study offers a multidimensional exploration of how generational differences, personality traits, and music engagement relate to happiness through the lens of the Hamburger Model. The findings provide several key insights. Firstly, the DISC personality analysis revealed that S-type emerged as a prevalent trait, particularly among Generation X, aligning with prior research that identifies patience and dependability as characteristic of caregiving and structured roles [6]. The moderate correlations between S-type and both D-type and C-type suggest that personality traits often overlap, rather than exist in isolation. Gen X's higher mean scores in S- and

C-type traits may reflect a stronger inclination toward task-orientation and emotional regulation, which aligns with earlier generational values. In contrast, Gen Z's higher Influence scores indicate a shift toward sociability and peer-oriented interaction, possibly shaped by digital culture [5].

Secondly, the approaches to happiness showed clear generational variation. Generation X and Y showed higher mean scores in the rat race and balanced categories, emphasising long-term goals and structured well-being. In contrast, Generation Z scored significantly higher in hedonism and nihilism, suggesting increased engagement with short-term pleasure and a decline in purpose or meaning. These findings echo previous studies showing a rise in existential concerns and fluctuating life satisfaction among Gen Z, likely tied to digital overstimulation, economic precarity, and shifting identity norms [3]. Importantly, despite these contrasts, balanced happiness emerged as the most valued approach across all generations, with Gen Y scoring the highest [1]. This suggests that regardless of personality traits or age, individuals continue to aspire toward a life that integrates present joy and future fulfilment—consistent with the theoretical ideal proposed in the Hamburger Model [7].

The third notable finding involves music engagement. Time spent listening to music was positively correlated with both rat race and balanced happiness approaches, while negatively correlated with hedonism and nihilism. This indicates that individuals who listen to more music may be more emotionally stable and goal-driven, and less prone to disengagement. This supports previous research highlighting the psychological benefits of music, particularly as a tool for emotional regulation and stress management [8]. In terms of personality, music hours showed weak but significant positive correlations with Steadiness and Conscientiousness traits. This suggests that regular music engagement may support emotional stability, routine, and focus, all of which are conducive to both personal and academic development [11]. Although music is not a dominant predictor of happiness or personality traits, it consistently emerges as a supportive factor that enhances well-being. This affirms its potential for use in education, therapy, and lifestyle design—especially when tailored to individual personality types and generational backgrounds.

5. Conclusion

This study offers a multidimensional exploration of how generational identity, personality traits, happiness orientations, and music engagement intersect to shape psychological well-being. Findings reveal that Generation X tends to display higher levels of Steadiness and Conscientiousness, reflecting a preference for structure and reliability, while Generation Z leans towards Influence traits, highlighting a shift toward sociability in a digital age. In terms of happiness, older generations favour balanced and future-oriented (rat race) approaches, whereas younger individuals—particularly Gen Z—show stronger tendencies toward hedonistic and nihilistic outlooks. Despite these contrasts, the balanced approach remains the most consistently valued

across all generations. Significantly, music engagement shows a positive correlation with balanced and rat race happiness approaches and weak but notable links with Steadiness and Conscientiousness, suggesting that regular music listening supports emotional regulation and future-mindedness. These findings affirm music's potential as a non-invasive tool for enhancing well-being and reveal important generational patterns in how personality and happiness are experienced. Overall, this study contributes to an emerging body of research connecting music, psychology, and generational dynamics, while advocating for more tailored interventions in education, therapy, and personal development.

References

[1] Twenge, J. M., Campbell, W. K., & Freeman, E. C. (2012). Generational differences in young adults' life goals, concern for others, and civic orientation, 1966–2009. *Journal of Personality and Social Psychology*, 102(5), 1045.

[2] Czech, D. R., Melton, B., Biber, D. D., & Wittenberg, M. (2018). Influence of Gender, Race and Generation on College Students' Exercise Motivation Levels: A Generational Comparison. *Journal of Sports Science*, 6(5), 268-275.

[3] Lissitsa, S., & Kagan, M. (2025). Generations X, Y, Z: The Moderating Role of Self-Reliance in Relationships Between Loneliness, Social Media Addiction, and Life Satisfaction in Men. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking.*

[4] Sugianto, T. E., & Nugrahaningsih, T. H. (2024). Person Career Fit: Kesesuaian Kepribadian Dengan Pilihan Karir Menggunakan DISC Personality Test. *Jurnal Administrasi dan Manajemen*, 14(4), 427-436.

[5] Pansri, B., Thongchotchat, V., & Sato, K. (2023, November). Leveraging DISC Personality Principle and Gamification for Enhancing Collaborative Skills in Education: A Conjecture Mapping Approach. In 2023 7th International Conference on Information Technology (InCIT) (pp. 109-114). IEEE.

[6] Aini, Q., & Dzakiyullah, N. R. (2023). The use of Dominance, Influence, Steadiness, and Compliance (DISC) personality test in the assessment of nurses' personal characteristics. *Jurnal Keperawatan Soedirman*, 18(2), 111–115.

[7] Somwong, K. "A Statistical Evidence on How Happiness Alters in Different Stages of Life According to the Hamburger Model of Happiness". The Eurasia Proceedings of Health, Environment and Life Sciences, vol. 1, Dec. 2021, pp. 46-51.

[8] Martín, J. C., García, A., & Pérez, E. (2020). The impact of music listening on emotional well-being and life satisfaction. *Frontiers in Psychology*, 11, 567.

[9] Groarke, J. M., & Hogan, M. J. (2022). Listening to music during the COVID-19 pandemic: A coping mechanism for stress and anxiety. *Psychology of Music*, 50(3), 456-471.

[10] Vidas, D., Larwood, J. L., Nelson, N. L., & Dingle, G. A. (2021). Music listening as a strategy for managing COVID-19 stress in first-year university students. *Frontiers in psychology*, 12, 647065.

[11] Selvanathan, M., Jayabalan, N., Saini, G. K., Supramaniam, M., & Hussin, N. (2020). Employee productivity in Malaysian private higher educational institutions. *Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology*, 17(3).

สังคมศาสตร์และสาธารณสุข

Poster Presentation

Network Pharmacology-Based Investigation of a Traditional Thai Longevity Formula for Anti-Aging Potential

Hathaipat Sornnork[1], Naputsorn Geram[1], Alongklod Tanomtong[1], Nattapong Wongchum[2], Weera Thongnetr[3], Somchai Pinlaor[4], Ananya Dechakhamphu[5,6*]

[1]Biology Program, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand
[2]Biology Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubonratchathani 34000, Thailand
[3]Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok, 10120, Thailand
[4]Department of Parasitology, Faculty of Medicine, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand
[5]Thai Traditional Medicine Program, Faculty of Thai Traditional and Alternative Medicine, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubonratchathani 34000, Thailand
[6]Cosmetic Science and Spa Program, Faculty of Thai Traditional and Alternative Medicine, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubonratchathani 34000, Thailand
* Corresponding author: ananya.d@ubru.ac.th

Abstract

Aging, considered by a progressive decline in physiological function, is a main contributor to disease and mortality. As a result, the study of anti-aging interventions remains a significant area of scientific investigation. Herbal formulations, particularly plant extracts, represent a promising avenue for modifying the aging development. This study investigates the anti-aging potential of a traditional Thai longevity formula, composed of *Boesenbergia rotunda*, *Curcuma zedoaria*, *Piper nigrum*, *Amomum krervanh*, and *Acorus calamus*, using a bioinformatics-based approach to elucidate its molecular mechanisms and pathways. The bioactive compounds in this formula extract were identified using High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) and Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). These compounds were subjected to in silico analysis, including target prediction via the SwissTargetPrediction database. Functional and pathway enrichment analyses were conducted using Gene Ontology (GO) analysis and the ShinyGO 0.80 platform, while pathway visualization and mapping were performed using the Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGG) database. Additionally, protein-protein interaction (PPI) analysis was carried out using the STITCH database. The analysis revealed that the bioactive compounds in the extract are associated with multiple key pathways, including steroid hormone biosynthesis, cancer-related signaling, cell survival and apoptosis, metabolic regulation, stress response, immune function, antioxidant defense, and pathways related to aging and longevity. These findings provide valuable insights into the molecular mechanisms underlying the potential anti-aging effects of this traditional herbal formula. The results support the hypothesis that the bioactive compounds target multiple longevity-associated pathways, positioning this formulation as a promising candidate for further investigation as a natural anti-aging therapeutic agent.

Keywords: Anti-aging / Traditional Thai medicine / Gene ontology / Pathway enrichment analysis / Protein-protein Interaction (PPI)

1. Introduction

Aging is a complex biological process involving multiple factors, characterized by a steady deterioration of physiological integrity, resulting in impaired function and increased susceptibility to mortality. It is a primary risk factor for numerous chronic diseases, including cardiovascular disorders, neurodegenerative conditions, metabolic syndromes, and cancer [1]. The biological hallmarks of aging include genomic instability, telomere attrition, epigenetic alterations, loss of proteostasis, mitochondrial dysfunction, cellular senescence, and disrupted intercellular communication [1][2].

Due to the significant health implications of aging, there has been an increasing focus on identifying strategies to postpone or alleviate age-related deterioration. Among these strategies, natural products, particularly medicinal herbs, have demonstrated potential due to their antioxidant, anti-inflammatory, and cellular protective properties [3]. Traditional Thai medicine, which encompasses centuries of practical knowledge, includes several herbal formulations believed to promote longevity and vitality [4].

Recent research indicate that polyherbal formulations from Traditional Thai medicine may exhibit anti-aging activity, including lifespan extension and stress resistance in models such as *Caenorhabditis elegans* [5]. These effects are largely attributed to phytochemicals, including flavonoids, terpenoids, and phenolic compounds, which interact with molecular pathways related to aging, such as oxidative stress modulation and apoptosis [6]. However, as the effects of the active compounds in this formula on biological mechanisms have not been studied, the current study employed bioinformatics approaches to elucidate and understand the effects of the active compounds in the formula on biological mechanisms, including compound target prediction (e.g., SwissTargetPrediction), gene ontology (GO) enrichment, KEGG pathway mapping and protein interaction (PPI) network analysis. Combining these computational tools with phytochemical profiling methods, such as high-performance liquid chromatography (HPLC) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), can help elucidate the pharmacological activities of the herbal formulations [7][8].

2. Objective

To elucidate the molecular mechanisms underlying the anti-aging effects of herbal formulas through a bioinformatics-based approach aimed at identifying key pathways and targets associated with their therapeutic action.

3. Scope of study

This study aims to investigate the anti-aging potential of a traditional Thai longevity formula. The research focused on following:

1. Phytochemical analysis to find beneficial substances utilizing HPLC and GC-MS techniques

2. Investigation of molecular mechanisms with bioinformatics methods including SwissTargetPrediction, Gene Ontology (GO), and Pathway Enrichment Analysis.

3. Identification of targets associated to age, focusing on biological impacts concerning oxidative stress, inflammation, and cellular senescence.

4. Materials and Methods

4.1 Preparation of Herbal Extract and Phytochemical Analysis

The traditional Thai longevity formula, consisting of *B. rotunda, C. zedoaria, P. nigrum, A. krervanh,* and *A. calamus*, was prepared by cleaning, drying, and grinding all plant materials into fine powders. The herbs were extracted with 80% ethanol by maceration at 25 °C for 72 hours. After vacuum filtration, the solvent was removed under reduced pressure using a rotary evaporator, followed by freeze-drying to obtain the final crude extracts for analysis. Phytochemical profiling of the herbal extracts was performed using High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) and Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS).

4.2 Target Prediction

The compounds were subjected to target prediction using the SwissTargetPrediction database, which predicts possible molecular targets based on the chemical structures of the compounds [9]. Targets were chosen if their likelihood score was higher than 0.1.

4.3 Gene Ontology (GO) Enrichment and Pathway Enrichment Analysis

The predicted targets were analyzed for Gene Ontology (GO) enrichment using the ShinyGO 0.80 platform. This analysis identifies key biological processes, molecular functions, and cellular components associated with the targets [10]. The molecular pathways affected by the herbal compounds were mapped using the Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGG) database. This analysis identifies biological pathways related to aging, such as oxidative stress, apoptosis, and cell cycle regulation [8]. Protein-protein interactions among the predicted targets were explored using the STITCH database [11].

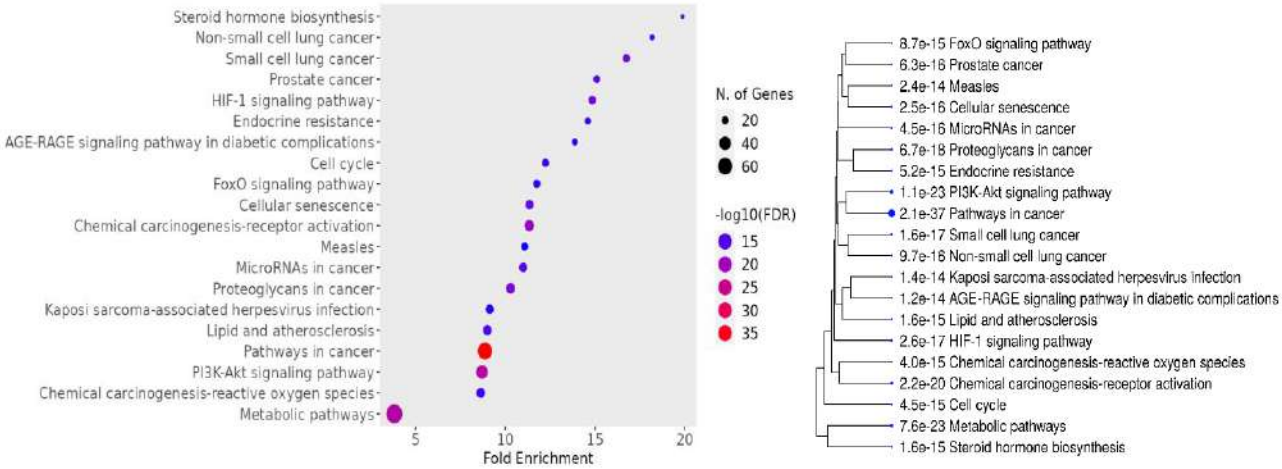
5. Result and discussion

5.1 Gene Ontology (GO) Enrichment Analysis

KEGG pathway enrichment analysis was conducted to explore the biological significance of the predicted target proteins of the traditional Thai longevity formula. As shown in Figure 1A, the top enriched pathways included steroid hormone biosynthesis, non-small cell lung cancer, small cell lung cancer, prostate cancer, and the HIF-1 signaling pathway. Notably, several pathways associated with metabolic regulation, cell cycle control, inflammation, and aging were also significantly enriched, such as the AGE-RAGE signaling pathway in diabetic complications, cellular senescence, FoxO signaling, and PI3K-Akt signalling pathway [12]. These findings suggest that the bioactive compounds may influence diverse biological processes relevant to aging, oxidative stress, cancer, and metabolic dysfunction.

The bubble plot illustrates that many of these pathways are statistically significant (−log10(FDR) > 15) and involve a substantial number of target genes, with several pathways showing over 60 gene associations. Pathways such as cellular senescence, FoxO signaling, and PI3K-Akt signaling are particularly relevant to anti-aging mechanisms, reflecting the formula's potential to modulate longevity-associated biological functions.

Hierarchical clustering of the enriched pathways (Figure 1B) revealed functional groupings, with aging-related, cancer-related, and metabolic pathways forming distinct clusters. Notable clusters included pathways related to cellular senescence, FoxO signaling, and AGE-RAGE signaling, highlighting the interconnected nature of aging, inflammation, and chronic disease. These results further support the hypothesis that this traditional Thai herbal formula exerts its potential anti-aging effects through multi-target modulation of key signaling networks.



(A) Biological pathways associated with biological compounds

(B) Relationship between biological pathways associated with biological compounds

Figure 1 shows (A) Biological pathways associated with biological compounds and (B) Relationship between biological pathways associated with biological compounds

5.2 Pathway Enrichment Analysis Of Targets Related To Antioxidant and Anti-Aging

Pathway enrichment analysis highlights the formula's potential antioxidant and anti-aging effects, it was found that among all the found pathways, the pathway most related to antioxidant and anti-aging activity is the FoxO signaling pathway because FoxO helps in stimulating antioxidant enzymes such as superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and glutathione peroxidase (GPx). In addition, FoxO is also involved in DNA repair, cell division control, and apoptosis, which all help slow down the deterioration of the body and extend the lifespan of the organism

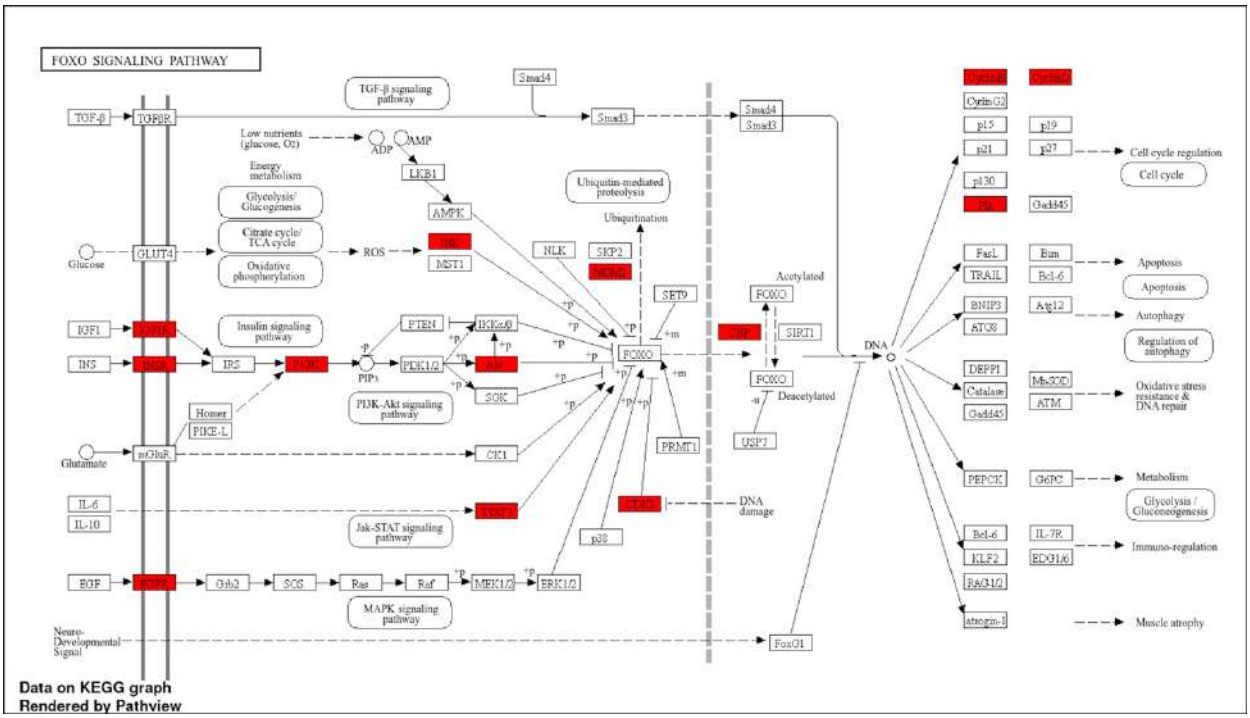


Figure 2 The pathway mapping of molecular targets associated with antioxidant and anti-aging activities of the Thai longevity formula, highlighting the involvement of the FoxO signaling pathway.

5.3 The protein-protein interaction (PPI) network analysis

PPI network analysis (Figure 3) reveals complex interactions among proteins involved in antioxidant and anti-aging pathways. Key genes identified include NQO2, EGLN1, and members of the AKR and HSD17B families, which play roles in detoxification, redox balance, and hormone regulation. The presence of tempo, a superoxide dismutase mimetic, further supports the formula's potential in reducing oxidative stress. These findings underscore the formula's multi-target, multi-pathway effects, aligning with systems pharmacology principles in traditional medicine.

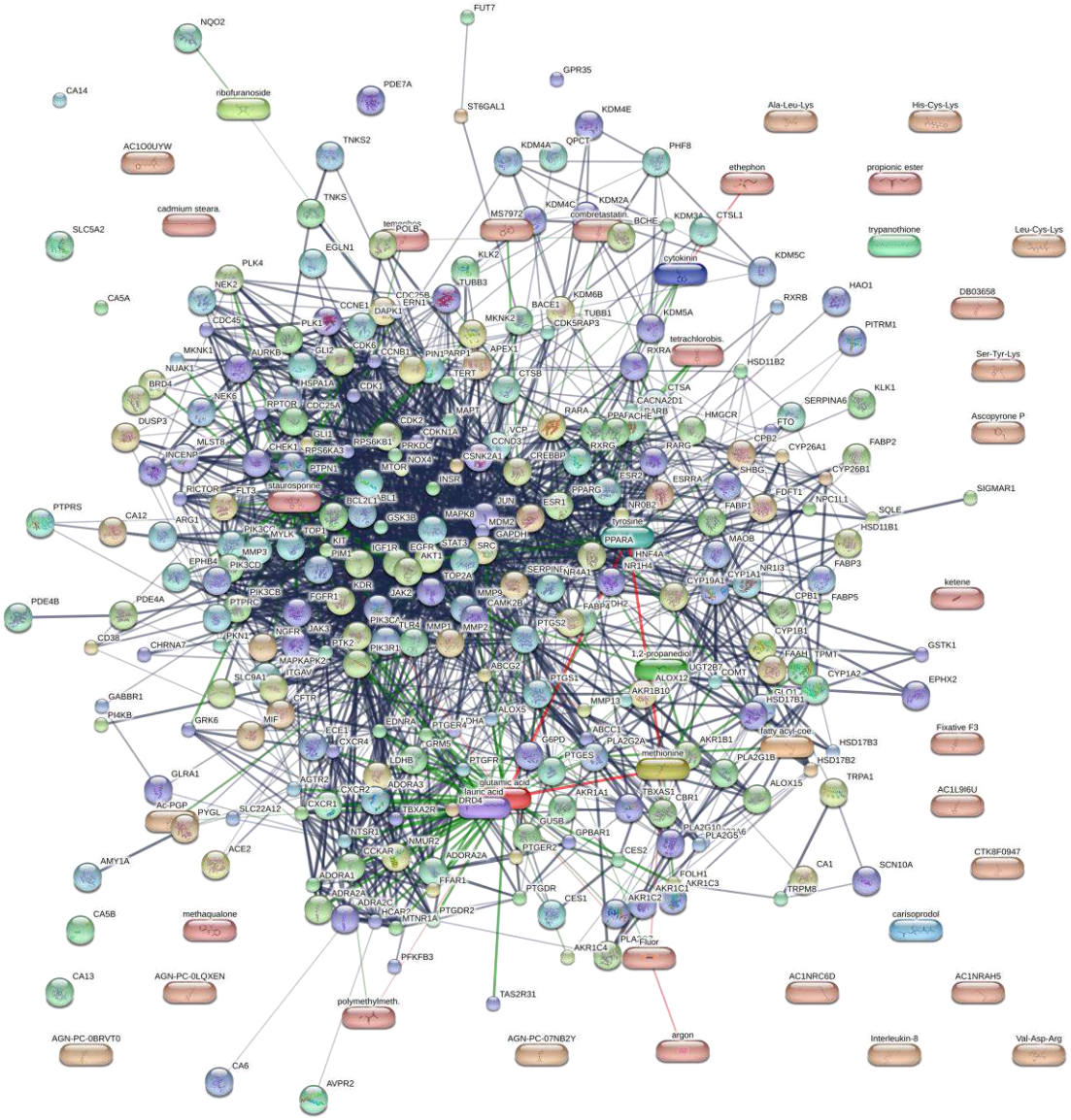


Figure 3 shows Protein-protein interaction (PPI) network analysis of the predicted targets of Predicted Targets from the Thai longevity formula.

5.4 Discussion

GO enrichment analysis indicated that the targets of the Thai longevity formula are significantly associated with biological processes such as cell signalling, metabolism, and responses to oxidative stress, all of which are central to aging and chronic disease development. The prominence of Metabolic pathways with high fold enrichment and gene representation reflects the importance of metabolic regulation in aging and disease states. Metabolic dysregulation is a well-established hallmark of aging and is intricately linked to age-related diseases including diabetes, cardiovascular disease, and cancer [1].

Moreover, the identification of the PI3 K-Akt signalling pathway and Steroid hormone biosynthesis pathways suggests potential roles in cell growth, survival, and hormonal regulation, which are all vital in maintaining homeostasis during aging [13]. The statistical significance and gene coverage within these pathways reinforce their relevance to the observed biological effects of the formula. Figure 1B highlights the interrelatedness of various disease and aging-related pathways. For example, small cell lung cancer and non-small cell lung cancer pathways suggest shared oncogenic processes, while pathways such as chemical carcinogenesis—reactive oxygen species and chemical carcinogenesis—receptor activation underscore the role of oxidative damage and receptor-mediated signalling in cancer development [14].

The connection between the FoxO signalling pathway and cellular senescence further supports the formula's anti-aging potential. FoxO transcription factors are known regulators of oxidative stress resistance, longevity, and metabolic balance [15]. Cellular senescence, although a protective mechanism against cancer, contributes to aging through the secretion of pro-inflammatory cytokines and matrix-degrading enzymes, commonly referred to as the senescence-associated secretory phenotype (SASP) [16].

Pathway enrichment analysis revealed that the pathway most involved in antioxidant and anti-aging activity is the FoxO signaling pathway, which plays a key role in the activation of antioxidant enzymes and the regulation of cell death and DNA repair, thus being a key mechanism involved in lifespan extension and maintenance of biosystem homeostasis in the body [17][18].

The PPI network (Figure 3) revealed a complex interplay between target proteins and related bioactive compounds. Key antioxidant and anti-aging-related genes such as NQO2, EGLN1, and members of the AKR1B and HSD17B families were identified. These genes are involved in detoxification, redox homeostasis, and steroid metabolism—processes that are essential for maintaining cellular integrity under stress [19].

Notably, the antioxidant tempo emerged as a significant node in the network. Tempo is known to mimic superoxide dismutase activity and has been studied for its protective effects against oxidative damage and inflammation [20]. This finding further supports the hypothesis that the Thai longevity formula exerts protective cellular effects through free radical scavenging and redox regulation mechanisms.

6. Conclusion

The integrative bioinformatics analysis of the Thai longevity formula revealed its potential involvement in modulating key biological processes related to aging, oxidative stress, inflammation, and chronic disease progression. This is consistent with the multifaceted nature of traditional medicine, which often targets a network of pathways rather than a single molecular mechanism. Taken together, these findings provide scientific support for the traditional use of the Thai longevity formula in promoting health and longevity. The multi-target nature of the formula is consistent with a systems biology perspective, where modulation of interconnected pathways may yield synergistic therapeutic effects. Future in vitro and in vivo validation of the identified targets and pathways is warranted to confirm these bioinformatic predictions and elucidate the molecular basis of its anti-aging effects.

Reference

[1] Lopez-Otin, C., Blasco, M. A., Partridge, L., Serrano, M., & Kroemer, G. (2013). The hallmarks of aging. *Cell*, *153*(6), 1194–1217. https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.05.039

[2] Kennedy, B. K., Berger, S. L., Brunet, A., Campisi, J., Cuervo, A. M., Epel, E. S., ... & Rando, T. A. (2014). Geroscience: Linking aging to chronic disease. *Cell*, *159*(4), 709–713. https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.10.039

[3] Maher, P. (2020). The potential of flavonoids for the treatment of neurodegenerative diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(15), 5556. https://doi.org/10.3390/ijms21155556

[4] Sotanaphun, U., Sripattanakul, N., & Jiratchariyakul, W. (2021). A review of Thai traditional medicine longevity formulations: An ethnopharmacological perspective. *Journal of Ethnopharmacology*, *274*, 114017. https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114017

[5] Jiratchariyakul, W., & Mahidol, C. (2022). Traditional Thai medicines: Molecular mechanisms and therapeutic potentials. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 12(3), 125–134. https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2022.03.002

[6] Saewan, N., & Jimtaisong, A. (2015). Natural products as photoprotective agents in sunscreen: Development, formulations, and mechanisms of action. *International Journal of Cosmetic Science*, *37*(4), 298–305. https://doi.org/10.1111/ics.12211

[7] Gfeller, D., Grosdidier, A., Wirth, M., Daina, A., Michielin, O., & Zoete, V. (2014). SwissTargetPrediction: A web server for target prediction of bioactive small molecules. *Nucleic Acids Research*, 42(W1), W32–W38. https://doi.org/10.1093/nar/gku293

[8] Kanehisa, M., & Goto, S. (2000). KEGG: Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes. *Nucleic Acids Research*, *28*(1), 27–30. https://doi.org/10.1093/nar/28.1.27

[9] Daina, A., Michielin, O., & Zoete, V. (2019). SwissTargetPrediction: A web server for target prediction of bioactive small molecules. *Nucleic Acids Research, 42*(W1), W32–W38. https://doi.org/10.1093/nar/gku293

[10] Ge, S., Lu, S., & Chen, H. (2020). ShinyGO: A tool for gene ontology analysis and pathway enrichment. *Biological Direct, 15*(1), 18. https://doi.org/10.1186/s13062-020-00272-z

[11] Szklarczyk, D., Gable, A. L., Lyon, D., Junge, A., & Bork, P. (2019). STITCH 5: Augmenting protein–chemical interaction networks with tissue and affinity information. *Nucleic Acids Research, 47*(D1), D618–D623. https://doi.org/10.1093/nar/gky1001

[12] Kenyon, C. J. (2010). The genetics of ageing. *Nature*, 464(7288), 504–512.

[13] Manning, B. D., & Toker, A. (2017). AKT/PKB signaling: Navigating the network. *Cell*, 169(3), 381–405. https://doi.org/10.1016/j.cell.2017.04.001

[14] Reuter, S., Gupta, S. C., Chaturvedi, M. M., & Aggarwal, B. B. (2010). Oxidative stress, inflammation, and cancer: How are they linked? *Free Radical Biology and Medicine*, 49(11), 1603–1616. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2010.09.006

[15] Calnan, D. R., & Brunet, A. (2008). The FoxO code. *Oncogene*, 27(16), 2276–2288. https://doi.org/10.1038/onc.2008.21

[16] Campisi, J. (2013). Aging, cellular senescence, and cancer. *Annual Review of Physiology*, 75, 685–705. https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-030212-183653

[17] Schieber, M., & Chandel, N. S. (2014). ROS function in redox signaling and oxidative stress. *Current Biology*, *24*(10), R453–R462. https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.03.034

[18] Martins, R., Lithgow, G. J., & Link, W. (2016). Long live FOXO: Unraveling the role of FOXO proteins in aging and longevity. *Aging Cell*, *15*(2), 196–207. https://doi.org/10.1111/acel.12427

[19] Raza, H., John, A., Brown, E. M., & Benedict, S. (2020). Role of aldo-keto reductases in the development of drug resistance. *Frontiers in Pharmacology*, 11, 569300. https://doi.org/10.3389/fphar.2020.569300

[20] Elchuri, S., Oberley, T. D., Qi, W., Eisenstein, R. S., Jackson Roberts, L., Van Remmen, H., Epstein, C. J., & Huang, T. T. (2005). CuZnSOD deficiency leads to persistent and widespread oxidative damage and hepatocarcinogenesis later in life. *Oncogene*, 24(3), 367–380. https://doi.org/10.1038/sj.onc.1208223

Network Pharmacology-Based Prediction of the Mechanisms of a Traditional Thai Herbal Formula for Diabetes Treatment

Naputsorn Geram[1], Hathaipat Sornnork[1], Alongklod Tanomtong[1], Nattapong Wongchum[2], Weera Thongnetr[3], Somchai Pinlaor[4], and Ananya Dechakhamphu[5,6*]

[1]Biology Program, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.
[2]Biology Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubonratchathani 34000, Thailand.
[3]Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok, 10120, Thailand
[4]Thai Traditional Medicine Program, Faculty of Thai Traditional and Alternative Medicine, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubonratchathani 34000, Thailand.
[5]Cosmetic Science and Spa Program, Faculty of Thai Traditional and Alternative Medicine, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubonratchathani 34000, Thailand.
** Corresponding author: ananya.d@ubru.ac.th*

Abstract

Diabetes is among the top five leading causes of mortality in Thailand, with a rapidly increasing number of affected individuals each year. Traditional Thai medicine has long utilized a polyherbal formulation composed of honey, *Andrographis paniculata*, *Tinospora crispa* (L.), *Curcuma longa* L., and *Orthosiphon aristatus* for diabetes management. These medicinal herbs are known for their hypoglycemic and antioxidant properties. However, the pharmacological mechanisms, biological activities, and phytochemical profiles of this formulation remain largely unexplored. This study employs network pharmacology to predict the potential biological activities of a 40% ethanol extract of the herbal formula. Swiss TargetPrediction was utilized to identify target proteins, while KEGG pathway enrichment analysis was conducted to map relevant signaling pathways. Additionally, protein-protein interaction (PPI) networks were constructed using the STITCH database to elucidate molecular interactions. The findings suggest that the herbal formula exerts its therapeutic effects through multiple pathways, including nitrogen metabolism, steroid hormone biosynthesis, ovarian steroidogenesis, EGFR tyrosine kinase inhibitor resistance, cancer-related pathways, endocrine resistance, and metabolic pathways. These insights provide a scientific foundation for further experimental validation and the potential integration of this traditional formulation into diabetes management strategies.

Keywords: Traditional Thai medicine / Diabetes treatment / Herbal formula / Molecular mechanisms / Pathway enrichment analysis

1. Introduction

Diabetes is among the top five most lethal diseases, resulting in the highest number of mortality rate among Thais. In 2024, a total of 14,341 individuals people died to the disease [1]. Diabetes has emerged as a significant public health concern in Asia and globally. At present, around 537 million individuals globally are living with diabetes, and the number is increasing annually [2].

Synthetic antidiabetic medications, despite generally used, frequently exhibit numerous limitations, including unpleasant effects, elevated treatment costs, and a restricted ability for dealing with the complicated, multifactorial aspects of diabetes, such as oxidative stress, chronic inflammation, and insulin resistance. These limitations have encouraged an increasing interest in traditional medicine as a supplemental or alternative treatment. In traditional Thai medicine, multi-herbal preparations have long been utilized to control diabetes and related metabolic diseases. One such formulation includes honey, *Andrographis paniculata*, *Tinospora crispa* (L.), *Curcuma longa* L., and *Orthosiphon aristatus*. Each component is known for its individual antidiabetic effects. Honey contains antioxidants that reduce oxidative stress [3] and exhibits α-amylase and α-glucosidase inhibitory activities that help lower blood sugar levels [4]. A. *paniculata* has demonstrated antioxidant effects [5] and inhibition of carbohydrate-digesting enzymes, contributing to blood glucose reduction [6]. T. *crispa* exhibits antioxidant properties [7], reduces blood glucose levels in diabetic rats, and stimulates pancreatic β-cell regeneration [8]. C. *longa* contains curcumin, known for its antioxidant and anti-inflammatory [9]. It also enhances β-cell function and promotes insulin sensitivity, which is essential for the management of type 2 diabetes [8]. O. *aristatus* demonstrates inhibitory effects on α-amylase and α-glucosidase, essential enzymes in carbohydrate digestion, consequently reducing glucose absorption [10]. Although this multi-herb mixture has been utilized in Thai traditional medicine for a long time, most of current research has focused on the pharmacological effects of its individual ingredients in isolation. A significant research gap remains in understanding the synergistic mechanisms and therapeutic potential of the whole mixture. Therefore, a systems-level analysis using network pharmacology is essential to elucidate the molecular mechanisms and multi-target interactions underlying this traditional Thai herbal formula's antidiabetic efficacy.

Network Pharmacology is a methodology employed to investigate and understand the effects of compounds or drugs within biological systems by analyzing the network of interacting targets. Network Pharmacology facilitates the prediction of synergistic effects when numerous drugs are concurrently delivered [11]. This method provides insights into the intricate interactions between active compounds in medicinal plants, enabling the design of herbal remedies with enhanced therapeutic efficacy [12]. Network pharmacology is essential for enhancing treatment outcomes and progressing herbal medicine and drug development by delineating the interactions among bioactive chemicals inside biological networks [11].

2. Objective

1. Applies network pharmacology to predict biological activities of Thai herbal diabetes formula.
2. Identifies interactions between compounds, targets, and pathways.
3. Aims to scientifically support traditional herbal medicine for future antidiabetic therapies.

3. Scope of study

This study aims to explore the antidiabetic mechanisms of a traditional Thai herbal formula using a network pharmacology approach. The scope includes identifying bioactive compounds, predicting diabetes-related targets, constructing interaction networks, and analyzing relevant pathways to reveal multi-target therapeutic actions.

4. Materials and Methods

4.1 Data collection and preparation

The bioactive constituents of antidiabetic formulations containing honey, T. *crispa*, A. *paniculata*, C. *longa*, and O. *aristatus* were identified through pharmacological characterization studies based on literature and database searches, in order to analyze the compounds and predict their biological pathways.

4.2 Target identification

The SwissTargetPrediction online tool was used to identify the target once the canonical SMILES of bioactive chemicals were obtained. Targets were chosen if their likelihood score was higher than 0.1.

4.3 Gene Ontology and Pathway Enrichment Analysis

ShinyGO 0.81, an online platform for enrichment analysis across different species, was used to conduct Gene Ontology (GO) and route enrichment investigations. Finding biological processes, molecular roles, and cellular constituents associated with the targets of the compounds in the extract was the goal of the analysis. KEGG pathways and GO keywords were considered significantly enriched if their false discovery rate (FDR) was less than 0.05.

4.4 Protein-Protein Interaction (PPI) Network Construction

To forecast protein-protein interactions between the targets of the bioactive chemicals in the extract, the STITCH database was used.

5. Result and discussion

5.1 GO and KEGG enrichment analysis

KEGG pathway enrichment analysis was conducted using ShinyGO 0.81 to elucidate the biological activities and possible processes of the target proteins. Figure 1A illustrates the most enriched routes. The most notably enriched pathways (FDR-adjusted $p < 0.05$) encompassed nitrogen metabolism, steroid hormone biosynthesis, ovarian steroidogenesis, resistance to EGFR tyrosine kinase inhibitors, progesterone-mediated oocyte maturation, and several cancer-related pathways, including prostate cancer and microRNAs in cancer. Significantly, neuroactive ligand-receptor interactions, phospholipase D signaling, and the PI3K-Akt signaling pathway demonstrated substantial enrichment, suggesting their potential role in metabolic and signaling processes pertinent to diabetes. The bubble plot demonstrates that these pathways are considerably enriched (as indicated by -log10 (FDR)) and encompass a substantial number of genes, with as many as 50 genes associated with specific pathways. Fold enrichment data further substantiate the robust correlations between the chemical targets and various biological pathways. Hierarchical clustering of the enriched pathways (Figure 1A) categorized them into many clusters according to functional similarity. Cancer-related, hormone-related, and signaling pathways, including PI3K-Akt, cAMP, and calcium signaling, were

strongly associated, indicating integrated biological processes. This clustering indicates a multi-target therapeutic potential of the herbal combination, specifically in regulating insulin resistance, inflammation, and oxidative stress-key features of diabetes pathogenesis.

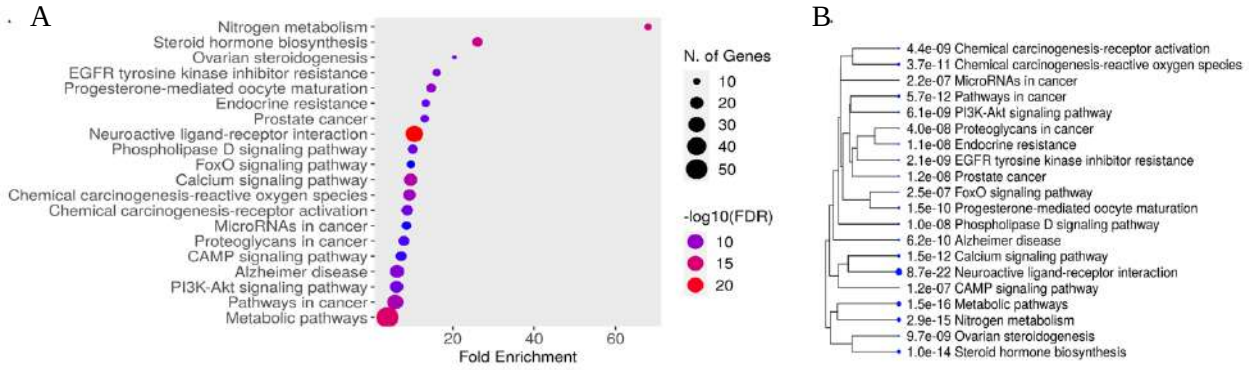


Figure 1. Shows (A) Biological pathways associated with biological compounds and (B) Relationship between biological pathways associated with biological compounds.

5.2 Pathway Enrichment Analysis of Targets Related to Type 2 Diabetes

The analysis of herbal extracts for treating diabetes revealed several biological pathways associated with type 2 diabetes, particularly those involved in metabolism and hormone signaling processes. The nitrogen metabolism pathway, which exhibited the highest fold enrichment value, suggests that the studied gene sets are strongly associated with nitrogen metabolism an essential process for maintaining cellular energy balance. The steroid hormone biosynthesis and ovarian steroidogenesis pathways showed fold enrichment values of 26.1 and 20.4, respectively. Both are involved in the synthesis of steroid hormones such as cortisol, which plays a crucial role in regulating blood glucose levels. Additionally, several signaling pathways implicated in type 2 diabetes were identified, including the phospholipase D signaling pathway, calcium signaling pathway, and PI3K-Akt signaling pathway, all of which are key regulators of insulin activity and insulin resistance. The FoxO signaling pathway was also enriched and is known to play a role in glucose metabolism and oxidative stress resistance. Moreover, cancer-related pathways were observed, such as prostate cancer, proteoglycans in cancer, and chemical carcinogenesis, indicating a potential overlap in signaling mechanisms between metabolic disorders and cancer development.

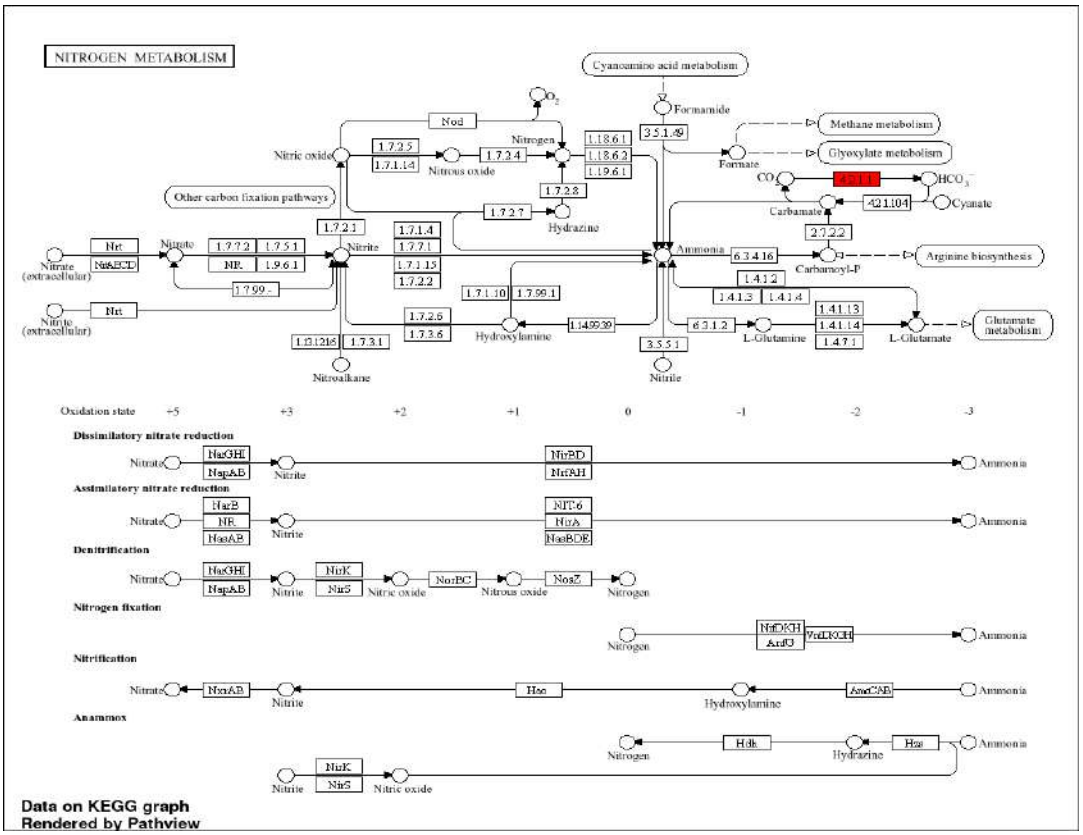


Figure 2. hows the pathway schematic of antioxidant targets from the Thai herbal formula for diabetes from the nitrogen metabolism pathway.

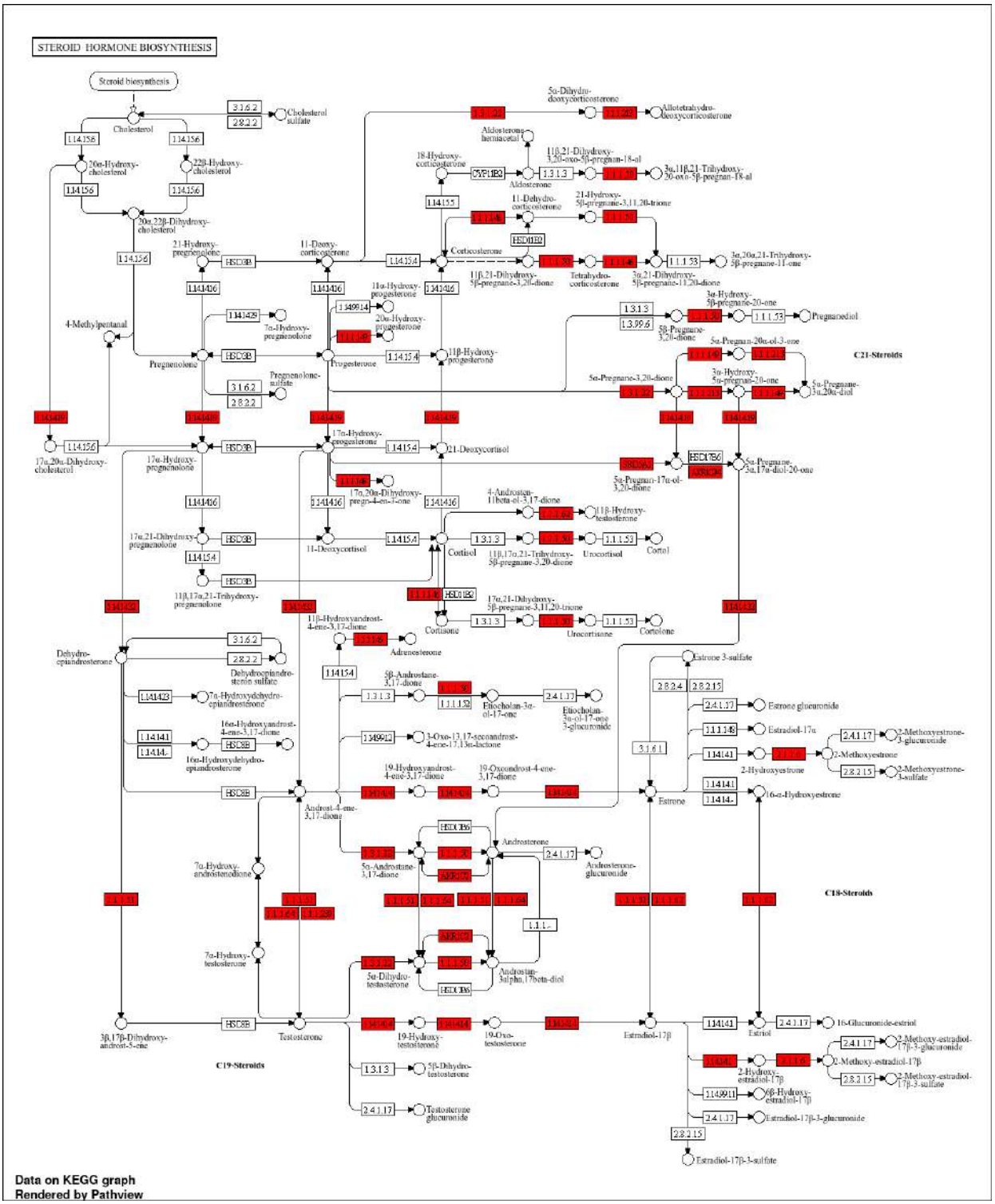


Figure 3. hows the pathway schematic of antioxidant targets from the Thai herbal formula for diabetes from the Steroid hormone pathway.

5.3 The protein-protein interaction (PPI) network analysis

The predicted targets of the antidiabetic herbal formula displayed a highly linked network, suggesting general interactions among associated proteins. In the network, nodes represent proteins, and pill-shaped nodes indicate known drug associations. Edges (connecting lines) demonstrate the interactions between proteins. Several key target proteins identified within the network are implicated in inflammation and apoptosis, including CST3, SERPINA6, and MCL1. Key signaling proteins, including AKT1, mTOR, MAPK1, and EGFR, were discovered as pivotal nodes within the PI3K-Akt, FOXO, and MAPK signaling pathways, which are directly involved in the regulation of glucose production, cellular growth, and insulin resistance. The solid interconnectivity within the network demonstrates the potential of the herbal formula to exert effects through multiple mechanisms and pathways, highlighting the pharmacological complexity of multi-component herbal remedies. This systems-level analysis suggests that the formula may achieve therapeutic efficacy by simultaneously modulating a network of interacting proteins, resulting in synergistic biological effects.

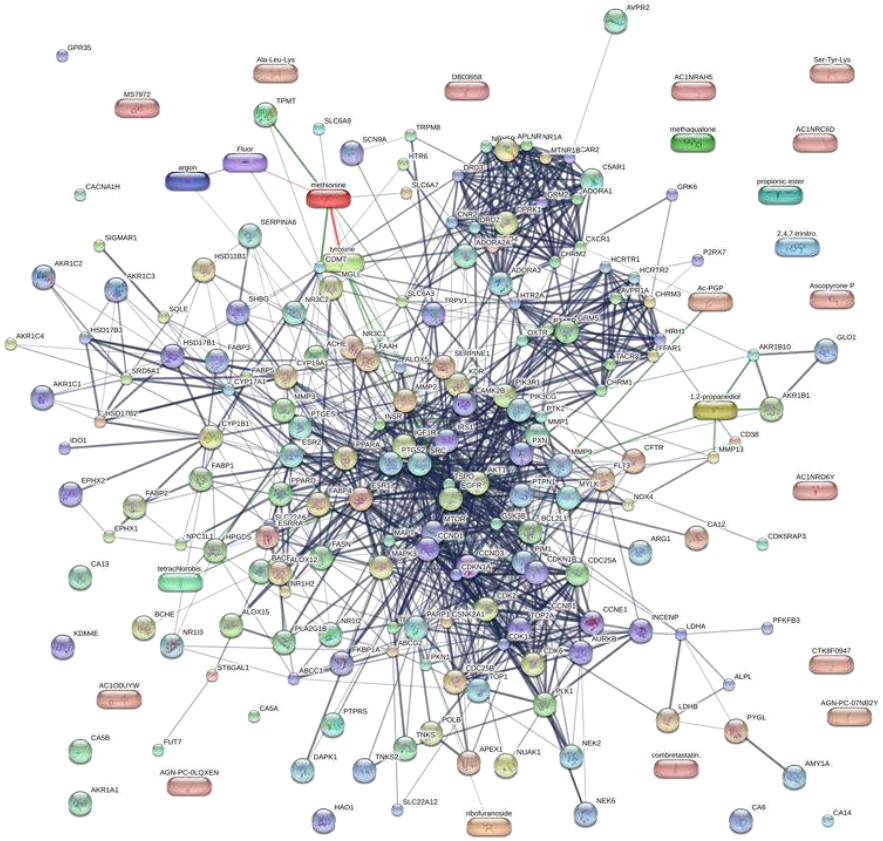


Figure 4. Protein-protein interaction (PPI) network analysis of the predicted targets of Predicted Targets from the Antidiabetic Herbal Formula.

5.4 Discussion

Pathway enrichment study of herbal extracts demonstrated high enrichment of genes related with type 2 diabetes, counting those implicated in metabolic processes, cell signaling, and oxidative stress response mechanisms, all of which are essential in the pathogenesis of the disease. The nitrogen metabolism pathway affected by the herbal extracts is linked to the activity of Carbonic Anhydrase (EC 4.2.1.1), an enzyme that catalyzes the conversion of carbon dioxide (CO_2) into bicarbonate (HCO_3^-). Bicarbonate is essential in gluconeogenesis, the metabolic process of synthesizing new glucose in the liver [13]. A study established that modulating Carbonic Anhydrase activity in diabetic mice led to decrease blood glucose levels [14].

The herbal formula may affect the enzyme 11β-HSD1 (EC 1.1.1.146) in the Steroid Hormone Biosynthesis pathway, which is associated with heightened insulin resistance and an elevated risk of type 2 diabetes when activated [15]. This pathway is also involved in the synthesis of estradiol via the enzyme CYP19A1 (Aromatase), which converts androgens, such as testosterone into estrogens, including estradiol. Estradiol is crucial for the regulation of glucose metabolism and improvement of insulin sensitivity [16]. Another relevant pathway is Ovarian Steroidogenesis, which regulates steroid synthesis in the ovaries. The herbal formula may affect key regulatory proteins, including INSR (Insulin Receptor), which mediates insulin binding and enhances insulin sensitivity, consequently contributing in the regulation of blood glucose levels [17].

The Calcium Signaling Pathway is essential for regulating insulin secretion from pancreatic β-cells, particularly through CaV1–CaV3 calcium channels, which act as key signals for insulin exocytosis [18]. The herbal formula may affect proteins including RTKs and PI3K in the Phospholipase D (PLD) Signaling Pathway, which are crucial for insulin signaling and glucose uptake [19].

Finally, the herbal formula may influence insulin signaling processes within the PI3K-Akt Signaling Pathway, enhancing glucose uptake into cells. Concurrently, the FOXO Signaling Pathway plays a role in regulating gene expression involved in oxidative stress response, gluconeogenesis, and apoptosis of pancreatic β-cells [20].

Protein–protein interaction (PPI) network analysis revealed a highly interconnected framework, indicating close relationships among multiple proteins involved in key biological processes. The results suggest that the herbal formula may exert its effects by simultaneously stimulating or inhibiting multiple signaling pathways. The network emphasized interactions among proteins associated with oxidative stress response, FOXO, PI3K-Akt, MAPK signaling, and apoptosis regulatory pathways, which are crucial in the pathogenesis of type 2 diabetic mellitus (T2DM).

These findings support the hypothesis that the herbal formula acts via a multi-target, multi-pathway approach, rather than through modulation of a single molecular target. This mode of action may enhance therapeutic efficacy while potentially reducing adverse effects commonly associated with single-target agents.

However, it is important to note that the molecular interactions identified through network analysis remain predictive and exploratory in nature. To address these limitations, future research should integrate experimental validation, such as in vitro assays, in vivo models, and clinical investigations, to confirm predicted mechanisms and targets. Incorporating metabolomics, proteomics, and molecular docking studies

can further enhance the mechanistic understanding and provide complementary evidence. Moreover, the development of more comprehensive and curated databases specific to traditional herbal medicine will improve the reliability of network pharmacology predictions. Ultimately, a multi-disciplinary approach combining computational and experimental techniques is essential to fully elucidate the therapeutic potential of traditional herbal formulations.

6. Conclusion

The results of the analysis suggest that the Antidiabetic herbal formula has the potential to exert its antidiabetic effects through multiple molecular targets and diverse biological pathways implicated in type 2 diabetes mellitus (T2DM). In particular, the FOXO, PI3K-Akt, and calcium signaling pathways key regulators of glucose homeostasis and insulin sensitivity were notably enriched. However, further experimental investigations, including cellular, animal, and clinical studies, are required to validate these predicted mechanisms and to establish the therapeutic efficacy and safety of the formula in a systematic and evidence-based manner.

References

[1] Office of the National Economic and Social Development Council. (2025). *Thailand social outlook Q4/2024 and annual overview 2024*. https://www.nesdc.go.th/

[2] International Diabetes Federation. (2021). *IDF diabetes atlas (10th ed.).* https://diabetesatlas.org/

[3] Ofor, C. C., Erejuwa, O. O., Akuodor, G. C., Aja, D. O., Anthony, U., & Shu, E. (2022). The role of honey in the treatment of type 2 diabetes mellitus: a review of literature. *International Journal of Basic & Clinical Pharmacology*, 12(1), 120. https://doi.org/10.18203/2319-2003.ijbcp20223366

[4] Sekar, M., Zaid, N. A. M., Rani, N. N. I. M., & Gan, S. H. (2023). Use of honey in diabetes. In M. I. Khalil, S. H. Gan, & B. H. Goh (Eds.), Honey: Composition and health benefits (pp. 305-322). *Wiley-Blackwell*. https://doi.org/10.1002 /9781119113324.ch15

[5] Nooreen, Z., Teli, S., Srivastava, P., Dash, B., Wal, A., Imran, M., & Gasmi, A. (2024). An Insight into Ethanopharmacology, Phytochemistry, and Pharmacological Properties of Genus Andrographis. *Current Organic Chemistry*, 29. https://doi.org/10.2174/0113852728327331240905094331

[6] Wadaan, M. A., Baabbad, A., & Farooq, M. (2023). Assessment of antidiabetic, anti-inflammatory, antioxidant and anticancer activity competence of methonolic extracts of Trianthema ortulacastrum and *Andrographis paniculata. Environmental Research*, 242, 117764. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117764

[7] Jaya, L., Amit, Z., Singa, T. A., Okechukwu, P. N., Ibahim, M. J., Din, A. M., & Froemming, G. R. A. (2024). Tapping Into *Tinospora crispa* and *Tinospora cordifolia* Bioactive Potentials Via Antioxidant, Antiglycation and GC-MS Analyses. *Malaysian Applied Biology*, 53(6), 21–33. https://doi.org/10.55230/mabjournal.v53i6.2

[8] Yaikwawong, M., Jansarikit, L., Jirawatnotai, S., & Chuengsamarn, S. (2024). Curcumin extract improves beta cell functions in obese patients with type 2 diabetes: *a randomized controlled trial. Nutrition Journal*, 23(1). https://doi.org/10.1186/s12937-024-01022-3

[9] Saha, S. (2024). The Ethonomedical Profiles and Pharmacological Properties of Phytochemicals From Curcuma longa Linn. - A Decade Update. *ChemistrySelect*, 9(47). https://doi.org/10.1002/slct.202402443

[10] Somalangi, I., Dewi, S. T. R., & Sinala, S. (2022). Efek Kombinasi Ekstrak Daun Kumis Kucing (Orthosipon aristatus) Dan Daun Sirsak (Annona muricata L.) Terhadap Penurunan Kadar Gula Darah Mencit (Mus musculus). *Media Farmasi*, 18(1), 97. https://doi.org/10.32382/mf.v18i1.2662

[11] Hopkins, A. L. (2008). Network pharmacology: the next paradigm in drug discovery. *Nature Chemical Biology*, 4(11), 682–690. https://doi.org/10.1038/nchembio.118

[12] Zhou, Z., Chen, B., Chen, S., Lin, M., Chen, Y., Jin, S., Chen, W., & Zhang, Y. (2020). Applications of network pharmacology in traditional Chinese medicine research. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2020, *Article ID* 1646905. https://doi.org/10.1155/2020/1646905

[13] Ibrahim, S. I. (2018). The Role of Carbonic Anhydrase in Hepatic Glucose Production. *Current Diabetes Reviews*, 14(2), 108–112. https://doi.org/10.2174/1573399812666161214122351

[14] Ibrahim, S. I., & Amodu, A. D. (2016). Carbonic Anhydrase: A New Therapeutic Target for Managing Diabetes. *Journal of Metabolic Syndrome*, 05(01). https://doi.org/10.4172/2167-0943.1000196

[15] Morgan, S., McCabe, E. L., Gathercole, L., Hassan-Smith, Z., Larner, D. P., Bujalska, I., Stewart, P. M., Tomlinson, J., & Lavery, G. G. (2014). 11β-HSD1 is the major regulator of the tissue-specific effects of circulating glucocorticoid excess. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(24). https://doi.org/10.1073/pnas.1323681111

[16] Barros, R. P. A., & Gustafsson, J.-A. (2011). Estrogen Receptors and the Metabolic Network. *Cell Metabolism*, 14(3), 289–299. https://doi.org/10.1016/j.cmet.2011.08.005

[17] Nordmann, A. J., Nordmann, A., Briel, M., Keller, U., Yancy, W. S., Jr., Brehm, B. J., & Bucher, H. C. (2006). Effects of low-carbohydrate vs low-fat diets on weight loss and cardiovascular risk factors: 1 A meta-analysis of randomized controlled trials. *Archives of Internal Medicine*, 166(3), 285-293. https://doi.org/10.1001/archinte.166.3.285

[18] Satin, L. S., Kinard, T. A., & Fox, A. P. (2006). Contributions of CaV1 and CaV3 channels to the regulation of insulin secretion from pancreatic β-cells. Journal of Physiology, 572(2), 379–392. https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.103663

[19] White, M. F. (2002). Insulin signaling in health and disease. *Science*, 296(5573), 1655–1657. https://doi.org/10.1126/science.1071365

[20] Plenchette, S., Cathelin, S., Rébé, C., Launay, S., Ladoire, S., Sordet, O., Ponnelle, T., Debili, N., Phan, T.-H., Padua, R. A., Dubrez, L., & Solary, É. (2004). Translocation of the inhibitor of apoptosis protein c-IAP1 from the nucleus to the Golgi in hematopoietic cells undergoing differentiation: a nuclear export signal-mediated event. *Blood*, 104(7), 2035–2043. https://doi.org/10.1182/blood-2004-01-0065

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะด้วยหลัก 3Rs ในชุมชนแออัด แขวงบางโคล่ เขตบางคอแหลม กรุงเทพมหานคร

ธัญลักษณ์ ชุณหพงศ์พิเชฐ[1*], ธนาศรี สีหะบุตร[1], อาทิตย์ โพธิ์ศรี[1], และธวัช เพชรไทย[1]

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
* Corresponding author: chun.thanyalak@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะด้วยหลัก 3 Rs ในชุมชนแออัด แขวงบางโคล่ เขตบางคอแหลม กรุงเทพมหานคร โดยทำการเก็บข้อมูลส่วนบุคคล ความรู้ ทัศนคติ และการปฏิบัติตัวของประชาชนในการจัดการขยะในครัวเรือน จำนวน 120 ครัวเรือน จากนั้นทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยสถิติไคสแควร์ ผลการศึกษาพบว่าประชาชนมีความรู้อยู่ในระดับดี แต่กลับมีทัศนคติและการปฏิบัติตัวเกี่ยวกับการจัดการขยะในระดับต้องปรับปรุง โดยพบปัญหาทั้งด้านการลดการใช้ การนำกลับมาใช้ซ้ำ และการรีไซเคิล รวมถึงการขาดแหล่งรับซื้อขยะในชุมชน เมื่อทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะประชากร ความรู้ ทัศนคติ กับการปฏิบัติตัว ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า อายุ ($p<0.001$) สถานภาพทางครอบครัว ($p=0.003$) สถานะทางเศรษฐกิจ ($p=0.003$) และทัศนคติ ($p<0.001$) มีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะของประชาชนชุมชนแขวงบางโคล่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น หน่วยงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับงานด้านนี้ควรนำข้อมูลที่ไปใช้ในการจัดทำกลยุทธ์เพื่อปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของประชาชนในชุมชน โดยเน้นไปที่การสร้างความตระหนักในเรื่องผลกระทบของขยะที่มีต่อตนเอง การปรับเปลี่ยนทัศนคติเกี่ยวกับการลดการใช้ทรัพยากร การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า รวมถึงการจัดหาผู้รับซื้อขยะรีไซเคิล เป็นต้น

คำสำคัญ: การจัดการขยะ / ชุมชน / ความรู้ / ทัศนคติ / การปฏิบัติตัว

Factors Associated with Waste Management Practices with the 3Rs Principle in Overcrowded Communities, Bangkhlo Subdistrict, Bangkholaem District, Bangkok

Thanyalak Chunhapongpichet[1*], Tanasri Sihabut[1], Arthit Phosri[1], and Tawach Prechthai[1]

[1] Department of Environmental Health Sciences, Faculty of Public Health, Mahidol University, Thailand.
** Corresponding author: chun.thanyalak@gmail.com*

Abstract

This research aimed to investigate the factors associated with waste management practices based on the 3Rs principle in overcrowded communities in Bangkhlo Subdistrict, Bangkholaem District, Bangkok. Data were collected from 120 households regarding personal information, knowledge, attitudes, and practices. The associations between these variables were analyzed using the Chi-square test. The results showed that whilethe majority of respondents had good knowledge, they needed to improve their attitudes and practices related to all three aspects: waste reduction, reuse, and recycling. Additionally, there were no local sources for selling recycled waste in the community. Four factors were significantly associated with waste management practices: age ($p < 0.001$), family status ($p = 0.003$), economic status ($p = 0.003$), and attitudes ($p < 0.001$). Therefore, responsible agencies should use this information to develop strategies that enhance residents' practices by emphasizing the impact of solid waste on individuals and promoting a shift in attitudes toward reducing resource consumption and improving resource utilization. Furthermore, facilities such as stores that purchase recycled waste or Garbage Banks should be established in the communities.

Keywords: waste management / community / knowledge / attitude / practice

1. บทนำ

ขยะล้นเมืองจัดเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่เกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับหลายปัจจัยไม่ว่าจะเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจากพฤติกรรมการบริโภคอย่างฟุ่มเฟือย การไม่คัดแยกขยะจากแหล่งกำเนิด จนทำให้เมืองใหญ่หลายแห่งทั่วโลกที่มีประชากรหนาแน่นและเป็นศูนย์กลางเศรษฐกิจ รวมถึงกรุงเทพมหานครประสบปัญหาในการจัดการขยะ ดังจะเห็นได้จากรายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยประเทศไทยของกรมควบคุมมลพิษ [1-2] ที่แสดงให้เห็นว่าปริมาณขยะมูลฝอยของประเทศไทยที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2566 มีจำนวนประมาณ 26.95 ล้านตัน หรือ 73,840 ตันต่อวัน หรือ 1.05 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน ในจำนวนนี้สำนักสิ่งแวดล้อม [3] รายงานว่าเป็นมูลฝอยจากกรุงเทพมหานครถึง 12,747 ตัน/วัน

เขตบางคอแหลมเป็นหนึ่งในเขตกรุงเทพใต้แบ่งเขตการปกครองย่อยออกเป็น 3 แขวง ได้แก่ แขวงบางโคล่ แขวงบางคอแหลม และแขวงวัดพระยาไกร เมื่อพิจารณาอัตราการผลิตมูลฝอยต่อคนต่อวัน จากรายงานสถิติปริมาณมูลฝอยของสำนักสิ่งแวดล้อม [3] พบว่าเขตบางคอแหลมมีอัตราสูงกว่าอัตราการเกิดมูลฝอยเฉลี่ยของประเทศไทยประมาณ 2.6 เท่า โดยเฉพาะแขวงบางโคล่ซึ่งมีประชากรหนาแน่นมากที่สุดจัดเป็นแหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยที่สำคัญ เนื่องจากมีประชาชนอยู่เป็นครัวเรือนหนาแน่น ประกอบด้วยชุมชนแออัดหลายชุมชน มีการตั้งร้านค้าเพื่อจำหน่ายอาหารและสินค้าเบ็ดเตล็ดภายในชุมชน กิจกรรมดังกล่าวทำให้มีปริมาณขยะเพิ่มมากขึ้นในแต่ละวัน ครัวเรือนจำนวนมากมีการจัดการขยะไม่เหมาะสม ทำให้มีปริมาณมูลฝอยที่สามารถนำกลับมาใช้ได้และมูลฝอยรีไซเคิลถูกทิ้งออกมาปะปนกับมูลฝอยทั่วไปเป็นจำนวนมาก ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาหน่วยงานภาครัฐมีการจัดอบรมในเรื่องการคัดแยกขยะมูลฝอย ส่งเสริม และสนับสนุนการปรับเปลี่ยนพฤติกรรม รณรงค์ ประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับการลดการเกิดขยะมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิด การนำกลับมาใช้ซ้ำ และการใช้ประโยชน์ใหม่ โดยใช้หลักการ 3Rs แต่ผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่เป็นรูปธรรมที่ชัดเจน ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาความรู้ และทัศนคติ และการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะของประชาชนในชุมชนแออัด แขวงบางโคล่ เขตบางคอแหลม เพื่อแสดงสถานการณ์ในการจัดการขยะของคนในชุมชนในปัจจุบัน รวมถึงวิเคราะห์ให้เห็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะ ผลที่ได้จากการศึกษานี้จะนำไปใช้เป็นข้อมูลวางแผนปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือนให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลต่อไป

2. วัตถุประสงค์

2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อศึกษาการจัดการขยะด้วยหลัก 3Rs ในชุมชนแออัด แขวงบางโคล่ เขตบางคอแหลม กรุงเทพมหานคร

2.2 วัตถุประสงค์เฉพาะ

1) เพื่อศึกษาคุณลักษณะส่วนบุคคลเกี่ยวกับการจัดการขยะด้วยหลัก 3Rs ในชุมชนแออัด แขวงบางโคล่ เขตบางคอแหลม กรุงเทพมหานคร

2) เพื่อศึกษาความรู้ ทัศนคติ และการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะด้วยหลัก 3Rs ในชุมชนแออัด แขวงบางโคล่ เขตบางคอแหลม กรุงเทพมหานคร

3) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะด้วยหลัก 3Rs ในชุมชนแออัด แขวงบางโคล่ เขตบางคอแหลม กรุงเทพมหานคร

3. ขอบเขตของการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะด้วยหลัก 3Rs ของชุมชนแออัดจำนวน 120 ครัวเรือนในแขวงบางโคล่ เขตบางคอแหลม กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย โดยใช้แบบสอบถามที่สร้างขึ้นเองเพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะส่วนบุคคล ความรู้ และแนวทางปฏิบัติของผู้อยู่อาศัยเกี่ยวกับการจัดการขยะทั่วไปในครัวเรือนตามแนวคิด 3Rs

กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยบุคคลจากครัวเรือนชุมชนแขวงบางโคล่ เขตบางคอแหลม ที่รับผิดชอบงานบ้าน มีอายุอย่างน้อย 18 ปี โดยอาศัยอยู่ในชุมชนมาอย่างน้อย 1 ปี และสามารถสื่อสารภาษาไทยได้เข้าใจ

4. วิธีการศึกษา

4.1 วิธีการรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลจากชุมชนแออัดในแขวงบางโคล่จำนวน 4 ชุมชน โดยสุ่มตัวอย่างด้วยการสุ่มแบบเป็นระบบ (Systematic Random Sampling) จำนวน 30 ครัวเรือน/ชุมชน รวมจำนวนทั้งสิ้น 120 ครัวเรือน จากนั้นทำการเก็บข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์ด้วยแบบสอบถามที่สร้างขึ้นเอง ซึ่งได้ทำการทดสอบกับประชากรที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน และพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาครวมเท่ากับ 0.80 และค่าความค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถามเท่ากับ 0.95

แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล ประกอบด้วย เพศ อายุ สถานภาพสมรส ระดับการศึกษา และสถานทางเศรษฐกิจ

ส่วนที่ 2 มีจำนวนทั้งหมด 18 ข้อ ประกอบด้วย

ความรู้เกี่ยวกับสถานการณ์ขยะในประเทศไทยและกรุงเทพมหานคร ผลกระทบจากขยะต่อสัตว์น้ำ มนุษย์ สิ่งแวดล้อม การนำขยะกลับมาใช้ประโยชน์ และประเภทของขยะ รวมทั้งหมด 18 ข้อ โดยคำตอบที่ถูกต้องให้คะแนนเท่ากับ 1 คะแนน คำตอบที่ผิดหรือไม่ทราบ ให้คะแนนเท่ากับ 0 คะแนน สำหรับเกณฑ์การประเมินผล คะแนน 0 – 12 แสดงถึงระดับความรู้ที่ควรปรับปรุง และ 13 – 18 คะแนน แสดงถึงระดับความรู้ที่ดี

ส่วนที่ 3 มีจำนวนทั้งหมด 27 ข้อ ประกอบด้วย

ทัศนคติเป็นข้อคำถามที่เกี่ยวกับความกังวลของประชาชนที่มีต่อสถานการณ์และผลกระทบจากขยะต่อสิ่งแวดล้อมและการดำรงชีวิตของมนุษย์ อุปสรรคในการปฏิบัติตามหลักการ 3Rs รวมไปถึงประโยชน์จากการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ และความรับผิดชอบต่อการจัดการขยะตนเอง รวมทั้งหมด 27 ข้อ ตามแบบมาตราส่วนประมาณค่าของลิเคิร์ท (Likert Scale) โดยข้อคำถามลักษณะเชิงบวกให้คะแนนดังนี้ เห็นด้วยมาก 5 คะแนน เห็นด้วย 4 คะแนน ไม่แน่ใจ 3 คะแนน ไม่เห็นด้วย 2 คะแนน ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง 1 คะแนน และให้คะแนนตรงข้ามกันในข้อคำถามเชิงลบ สำหรับเกณฑ์การประเมินผล คะแนน 27 – 100 คะแนน แสดงถึงทัศนคติที่ควรปรับปรุง และ 101 – 135 คะแนน แสดงถึงทัศนคติที่ดี

ส่วนที่ 4 มีจำนวนทั้งหมด 15 ข้อ ประกอบด้วย

พฤติกรรมของประชาชนในการจัดการขยะตามหลัก 3Rs ได้แก่ การลดการใช้ การใช้ซ้ำ และการนำกลับมาใช้ใหม่ รวมทั้งหมด 15 ข้อ ตามแบบมาตราส่วนประมาณค่าของลิเคิร์ท (Likert Scale) โดยข้อคำถามลักษณะเชิงบวกให้คะแนนดังนี้ ทุกครั้ง 5 คะแนน เกือบทุกครั้ง 4 คะแนน บางครั้ง 3 คะแนน นาน ๆ ครั้ง 2 คะแนน ไม่ปฏิบัติเลย 1 คะแนน สำหรับเกณฑ์การประเมินผล คะแนน 15 - 56 คะแนน แสดงถึงการปฏิบัติตัวที่ควรปรับปรุง และ 57 - 75 คะแนน แสดงถึงการปฏิบัติตัวที่ดี

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS version 22

1. ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) โดยแสดงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่ออธิบายลักษณะของข้อมูลทั่วไป

2. วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะตามหลัก 3Rs ด้วยสถิติไคสแควร์

4.3 จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

การวิจัยนี้ผ่านการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตามเอกสารรับรองการวิจัยในมนุษย์ COA.No.MUPH2023-15 วันที่ 25 พฤษภาคม 2565

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษา

กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษามีจำนวนเพศหญิงและชายใกล้เคียงกัน มีช่วงอายุที่หลากหลาย ส่วนใหญ่อาศัยอยู่กับครอบครัว และจบการศึกษาในระดับชั้นต่ำกว่าปริญญาตรี กลุ่มตัวอย่างประมาณครึ่งหนึ่งมีรายได้เพียงพอและไม่เป็นหนี้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ในภาพรวมประชาชนในชุมชนแขวงบางโคล่มีคะแนนความรู้เฉลี่ยเท่ากับ 14.88 (SD = 3.18) โดยมีความรู้อยู่ในระดับดี ร้อยละ 80 โดยเฉพาะเรื่องของสถานการณ์และผลกระทบของขยะมูลฝอย ดังจะเห็นได้จากข้อมูลของประชาชนมากถึงร้อยละ 70 ทราบถึงสถานการณ์ขยะมูลฝอยในประเทศไทยเป็นอย่างดี มากกว่าร้อยละ 90 ทราบถึงผลกระทบของขยะมูลฝอยประเภทขยะพลาสติกและภาชนะที่ทำมาจากโฟมหากมีการจัดการที่ไม่ถูกต้องและไม่เหมาะสมจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามประชาชนร้อยละ 95 ไม่ทราบเกี่ยวกับไมโครพลาสติกซึ่งเป็นความรู้ที่ประชาชนยังขาดอยู่และต้องได้รับการปรับปรุง ในแง่ของการคัดแยกขยะและประโยชน์ของขยะมูลฝอยที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ประชาชนส่วนใหญ่มีความรู้ที่ดีเกี่ยวกับวัสดุรีไซเคิลทั่วไป เช่น ขวดแก้ว กล่องสบู่ กล่องยาสีฟัน และกระป๋องอลูมิเนียม ซึ่งตรงกันข้ามกับความรู้เกี่ยวกับขยะที่พบเห็นไม่บ่อยในชีวิตประจำวัน เช่น ปฏิทินเก่า

เมื่อทำการประเมินทัศนคติ ประชาชนในชุมชนแขวงบางโคล่มีคะแนนทัศนคติเฉลี่ยเท่ากับ 42.54 (SD = 12.63) โดยมีทัศนคติที่ดีเพียงร้อยละ 22.5 ประชาชนส่วนใหญ่ตระหนักถึงผลกระทบของขยะมูลฝอยต่อสัตว์ และสิ่งแวดล้อม สวนทางกับการตระหนักถึงผลกระทบของขยะต่อการดำรงชีวิตของตนเอง ในทำนองเดียวกันยังพบทัศนคติเชิงบวกเกี่ยวกับการใช้พลาสติก และกระดาษ ตลอดจนความรู้สึกถึงความรับผิดชอบในการจัดการขยะมูลฝอย ในแง่ของการรีไซเคิลและการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ ประชาชนมากกว่าร้อยละ 90 มีความรู้สึกว่ามีความสุขจากการบริจาคขยะและมีรายได้จากการขายขยะ ประชาชนประมาณร้อยละ 60 – 90 มีทัศนคติเชิงบวกต่อการลดการใช้พลาสติก เช่น การเลือกใช้ถุงผ้าแทนถุงพลาสติก การพกพาแก้วน้ำหรือกล่องอาหารสำหรับใส่อาหารและเครื่องดื่ม ตลอดจนการนำพลาสติกกลับมาใช้ซ้ำและการรีไซเคิล นอกจากนี้ประชาชนคิดว่าการคัดแยกขยะโดยทั่วไปเป็นเรื่องไม่ยุ่งยาก แต่มีทัศนคติเชิงลบต่อการคัดแยกขยะบางอย่าง เช่น ประชาชนมากถึงร้อยละ 60 รู้สึกว่าการเก็บถุงหูหิ้วพลาสติก หรือการเก็บกล่องกระดาษทำให้บ้านรก เป็นต้น

ในด้านการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะตามหลัก 3Rs ประชาชนในชุมชนแขวงบางโคล่มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 88.45 (SD = 13.01) โดยมีจำนวนตัวอย่างที่ควรปรับปรุงการปฏิบัติตัวมากถึงร้อยละ 90 โดยเฉพาะประเด็นการลดการใช้โฟมและพลาสติก ดังจะเห็นได้จากการที่มีประชาชนเพียงร้อยละ 30 – 50 ที่พกถุงผ้า พกพาแก้วน้ำกล่องใส่อาหารส่วนตัว และหลีกเลี่ยงการใช้หลอดพลาสติก ในแง่ของการนำกลับมาใช้ใหม่พบว่าประชาชนต้องปรับปรุงในเรื่องการซ่อมแซมสิ่งของ และการนำถุงหูหิ้วพลาสติกและกระดาษกลับมาใช้ใหม่ สำหรับการรีไซเคิล ผลการศึกษาพบว่า มีประชาชนร้อยละ 46 เก็บขวดพลาสติกไว้ขายหรือบริจาคเป็นประจำ นอกจากนี้ยังพบปัญหาจากการคัดแยกขยะรีไซเคิลบางอย่าง เช่น ขวดแชมพู กระป๋องอะลูมิเนียม กล่องสบู่หรือกล่องยาสีฟัน ขวดแก้ว และปฏิทิน เป็นต้น

ผลการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะตามหลัก 3Rs พบว่า ปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ อายุ ($p<0.001$) สถานภาพทางครอบครัว ($p=0.003$) สถานะทางเศรษฐกิจ ($p=0.003$) และทัศนคติของประชาชน ($p<0.001$) มีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะตามหลัก 3Rs อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ความรู้ ทัศนคติกับการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะตามหลัก 3Rs ของประชาชนชุมชนแขวงบางโคล่

ตัวแปร	จำนวน	ร้อยละ	พฤติกรรม				P - value
			ควรปรับปรุง		ดี		
			จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	
จำนวนตัวอย่าง	120	100					
เพศ							0.761
ชาย	52	43.3	48	92.3	4	7.7	
หญิง	68	56.7	60	88.2	8	11.8	
อายุ (ปี)							<0.001
18-25	13	10.8	11	84.6	2	15.4	
26-40	38	31.7	35	92.1	3	7.9	
41-59	42	35.0	35	83.3	7	16.7	
>60	27	22.5	27	100.0	0	0.0	
สถานภาพทางครอบครัว							0.003
อยู่คนเดียว	24	20.0	21	87.5	3	12.5	
อยู่เป็นครอบครัว	96	80.0	87	90.6	9	9.4	
ระดับการศึกษา							0.229
ต่ำกว่าปริญญาตรี	107	89.2	95	88.8	12	11.2	
สูงกว่าปริญญา	13	10.8	13	100.0	0	0.0	
สถานะทางเศรษฐกิจ							0.003
เพียงพอ แต่เป็นหนี้	41	34.2	37	90.2	4	9.8	
เพียงพอแต่ไม่เป็นหนี้	61	50.8	55	90.2	6	9.8	
ไม่เพียงพอ	18	15.0	16	88.9	2	11.1	
ความรู้ (ระดับคะแนน)							0.837
ควรปรับปรุง (0 -12)	24	20.0	22	91.6	2	8.4	
ดี (13-18)	96	80.0	86	89.6	10	10.4	
ทัศนคติ (ระดับคะแนน)							<0.001
ควรปรับปรุง (27-100)	93	77.5	83	89.2	10	10.8	
ดี (101-135)	27	22.5	24	88.9	3	11.1	

5.2 อภิปรายผล

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ประชาชนชุมชนแขวงบางโคล่ เขตบางคอแหลม มีความรู้อยู่ในระดับดี แต่มีทัศนคติและการปฏิบัติตัวที่ควรปรับปรุง โดยภาพรวมประชาชนมีปัญหาทั้งด้านการลดการใช้ การนำกลับมาใช้ซ้ำ และการรีไซเคิล แตกต่างจาก ความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมในการจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือนของประชาชนในเขตตำบลหนองเหียง อำเภอพนัสนิคม จังหวัดชลบุรี ที่อยู่ในระดับดี [4]

เมื่อพิจารณาเฉพาะด้านการลดการใช้ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการปฏิบัติตัวที่ดีในบางเรื่องที่เอื้อต่อความสะดวกในชีวิตประจำวัน เช่น การรับเอกสารหรือบิลทางออนไลน์ แต่โดยภาพรวมประชาชนขาดความจริงจังในเรื่องการลดการใช้ทรัพยากร เห็นได้จากการที่มีประชาชนไม่ถึงร้อยละ 20 ที่นำภาชนะส่วนตัวไปใส่อาหารและเครื่องดื่ม และมีประชาชนไม่ถึงร้อยละ 50 ที่ปฏิเสธการรับถุงพลาสติกหรือนำถุงผ้าไปใช้ใส่สินค้าเป็นประจำ ทั้งๆที่ ประชาชนคิดว่าไม่ยุ่งยากที่จะปฏิบัติ นอกจากนี้เป็นที่สังเกตว่าพฤติกรรมบางอย่างเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก เช่น การหลีกเลี่ยงการซื้ออาหารจากกล่องโฟม หรือการไม่รับหลอดพลาสติก ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยไม่ได้มีการห้ามการใช้โฟมบรรจุอาหาร เหมือนเมืองลอสแองเจลิส ประเทศสหรัฐอเมริกา [5] ทำให้ประชาชนไม่มีทางเลือกในการซื้อสินค้าที่ต้องการเนื่องจากผู้ค้าบรรจุอาหารไว้เรียบร้อย คล้ายคลึงกับการศึกษาของ ทศวร อาภรณ์พงษ์ [6] ที่พบว่าประชาชนในเขตเทศบาลเมืองนางรองมีพฤติกรรมไม่หลีกเลี่ยงเลือกซื้อสินค้าที่บรรจุในถุงพลาสติก ขณะเดียวกันการดื่มน้ำโดยการใช้หลอดทำให้ดูเรียบร้อยซึ่งเป็นวัฒนธรรมการกินของคนไทย ทำให้หลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้ได้ยาก

สำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่ ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างไม่คุ้มค่า เห็นได้จากการที่มีประชาชนไม่ถึงร้อยละ 50 ทำการซ่อมแซมสิ่งของที่ชำรุดเนื่องจากคิดว่าเป็นการเสียเวลาและยุ่งยาก ขณะที่มีกลุ่มตัวอย่างประมาณครึ่งหนึ่งเท่านั้นที่นำถุงพลาสติกหูหิ้วและกระดาษกลับมาใช้ซ้ำเป็นประจำ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะประเทศไทยมีการใช้ถุงพลาสติกหูหิ้วอย่างฟุ่มเฟือย ผู้ซื้อได้รับถุงพลาสติกในแต่ละวันเป็นจำนวนมากและหามาทดแทนได้ง่าย จึงทำให้กลุ่มตัวอย่างส่วนหนึ่งมีมุมมองว่าการเก็บถุงพลาสติกทำให้บ้านรก

เมื่อพิจารณาประเด็นเรื่องรีไซเคิล ผลปรากฏว่าประชาชนในชุมชนแออัดยังมีปัญหาในเรื่องการคัดแยกขยะเพื่อนำไปขายหรือไปบริจาค ดังจะเห็นได้จากมีประชาชนเพียงร้อยละ 53 ที่เก็บขวดพลาสติกเพื่อนำไปขายหรือบริจาค ขณะที่มีประชาชนเพียงร้อยละ 30-40 ที่ทำการคัดแยกขยะชิ้นเล็ก ทั้งๆที่ประชาชนคิดว่าไม่ยุ่งยากที่จะปฏิบัติและไม่ได้รบกวนพื้นที่เก็บภายในบ้าน และยังมองอีกว่าการขายหรือการบริจาคขยะที่สามารถนำมารีไซเคิลได้ ทำให้มีรายได้เสริมและมีความสุขทางจิตใจตามลำดับ จากการสัมภาษณ์เชิงลึก กลุ่มตัวอย่างให้ข้อมูลว่าขยะชิ้นเล็กต้องใช้ระยะเวลาเก็บนานและเก็บในปริมาณมากถึงจะรวบรวมไปขายได้ ประกอบกับราคาขยะประเภทกล่องสบู่ กล่องยาสีฟัน กระป๋องอะลูมิเนียม รับซื้อในราคาที่ถูก นั่นหมายความว่าราคาและปริมาณการเก็บไม่เป็นแรงจูงใจในการเก็บไปขายหรือบริจาคจึงเป็นสาเหตุให้ประชาชนไม่เลือกเก็บสิ่งของไว้ขายหรือบริจาคขยะเหล่านั้น สวนทางกันกับขวดพลาสติกซึ่งเป็นขยะรีไซเคิลที่มีราคาสูงกว่าขยะชิ้นเล็ก จึงมีผู้เก็บรวบรวมมากกว่า

ในส่วนของปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะมูลฝอยของประชาชนชุมชนเขตบางคอแหลม ผลการศึกษาพบว่า ได้แก่ อายุ ($p<0.001$) สถานภาพทางครอบครัว ($p=0.003$) สถานะทางเศรษฐกิจ ($p=0.003$) มีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะตามหลัก 3Rs อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับการศึกษาของนิภาภรณ์ จงวุฒิเวศย์ และชุลีวรรณ ปราณีธรรม [7] ที่พบว่า อายุมีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะมูลฝอย นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าทัศนคติของประชาชนมีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะตามหลัก 3Rs คล้ายคลึงกับงานของภรจิตร ภารสุวรรณ [8] ที่พบว่าความรู้ไม่มีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติเกี่ยวกับการจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือนตามแนวคิด 3Rs แต่ทัศนคติกับการปฏิบัติในการจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือนตามแนวคิด 3Rs มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความรู้เป็นเพียงขั้นตอนแรกของพฤติกรรม แต่ประชาชนจะนำความรู้มาปฏิบัติหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับทัศนคติ ซึ่ง Allport อ้างถึงใน ศักดิ์ สุนทรเสณี [9] อธิบายว่าทัศนคติเป็นสิ่งที่ต้องใช้เวลาสั่งสมผ่านการเรียนรู้ ประสบการณ์ การเลียนแบบพฤติกรรมของคนที่ชื่นชอบ และอิทธิพลจากบริบทของสังคมที่อาศัย

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า แม้ว่าประชาชนส่วนใหญ่มีความรู้เรื่องของสถานการณ์และผลกระทบของขยะมูลฝอยต่อ สัตว์ สิ่งแวดล้อม รวมไปถึง การคัดแยกขยะรีไซเคิลและประโยชน์ของขยะมูลฝอยที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ประชาชนยังมีการปฏิบัติตัวในการจัดการขยะตามหลัก 3Rs ทั้งด้านการลดการใช้ การนำกลับมาใช้ซ้ำ และการรีไซเคิลอยู่ในระดับที่ควรปรับปรุง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะประชาชนขาดความจริงจังในเรื่องของการจัดการขยะ ขาดความตระหนักถึงผลกระทบที่มีต่อตนเอง รวมถึงขาดการเข้าถึงแหล่งรับซื้อวัสดุรีไซเคิลที่สามารถเข้ามารับซื้อขยะภายในชุมชนเป็นประจำ ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรสร้างความตระหนัก เปลี่ยนแปลงทัศนคติ โดยเน้นย้ำให้เห็นผลกระทบจากการใช้ทรัพยากรอย่างฟุ่มเฟือย ผลกระทบจากขยะมูลฝอยที่ส่งผลต่อการดำรงชีวิตของตนเอง รวมถึงอาจเป็นตัวกลางในการช่วยเหลือชุมชนให้มีการจัดตั้งธนาคารขยะหรือประสานงานกับร้านค้าในการจัดตารางเข้ามารับซื้อขยะ และเป็นตัวกลางในการช่วยเหลือชุมชนให้มีการจัดตลาดนัดของมือสองหรือแหล่งซ่อมแซมของใช้แทนการทิ้ง ซึ่งจะนำไปสู่การปฏิบัติตัวในการจัดการขยะอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ, รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2566. (2566).สืบค้นจาก http://www.pcd.go.th/wpcontent/uploads/2024/05/pcdnew-2024-05-09_07-53-50_682275.pdf

[2] กรมควบคุมมลพิษ, ระบบสารสนเทศด้านการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน. (2566).สืบค้นจากhttps://thaimsw.pcd.go.th/report_province.php?year=2566&province=1

[3] สำนักสิ่งแวดล้อม, รายงานสถิติปริมาณมูลฝอย ประจำปีงบประมาณ 2566. (2566).สืบค้นจาก https://webportal.bangkok.go.th/environmentbma/page/sub/7405/

[4] ผกามาศ รินรักษา. (2559).ความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยในเขตตำบลหนองเหียง อำเภอพนัสนิคม จังหวัดชลบุรี (รัฐประศาสนศาตรมหาบัณฑิต,มหาวิทยาลัยบูรพา,ชลบุรี).สืบค้นจากhttps://buuir.buu.ac.th/xmlui/bitstream/handle/1234567890/11841/Fulltext.pdf

[5] Greenpeace Thailand. (2020).6 เมืองประกาศยกเลิกใช้พลาสติก.สืบค้นจาก http://www.greenpeace.org/thailand

[6] ทศวร อาภรณ์พงษ์. (2559).ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการขยะของประชาชนในเขตเทศบาลเมืองนางรอง อำเภอนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์(ปริญญาวิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี,นครราชสีมา).สืบค้นจาก http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/bitstream/123456789/7987/2/Fulltext.pdf

[7] นิภาภรณ์ จงวุฒิเวศย์ และชุลีวรรณ ปราณีธรรม. (2564, กรกฎาคม-ธันวาคม). พฤติกรรมการจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือน ตำบลหนองปลิง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสาร.วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี ปีที่ 10.สืบค้นจาก https://so03.tci-thaijo.org/index.php/KRUjournal/article/view/246145/171303

[8] ภรจิตร ภารสุสรรณ.(2559). ความรู้และทัศนคติในการจัดการขยะมูลฝอยในครัวเรือนของประชาชนในเขตพื้นที่องค์การบริหารส่วนตาบลหนองตะพาน อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง (ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี). สืบค้นจาก https://buuir.buu.ac.th/bitstream/1234567890/12618/1/Fulltext.pdf

[9] ศักดิ์ สุทรเสณี.(2531). เจตคติ.กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์รุ่งวัฒนา.

ศึกษาประสิทธิภาพสารสกัดยูจีนอลจากสารสกัดใบโหระพาสกัดแบบหยาบที่เคลือบอยู่บนไหมขัดฟันผลิตมาจากเส้นใยเปลือกทุเรียน

รัชชานนท์ บัวเกิด[1], ศุภณัฐ ทักษกวิน[1], อภิญญา แซ่โฮ[1] อดุลย์สมาน สุขแก้ว[2,3], อัมพร เพชรโชติ[1], และสุธี จุ้งลก[1*]

[1]โรงเรียนเบตง "วีระราษฎร์ประสาน" ตำบลเบตง อำเภอเบตง จังหวัดยะลา
[2]สมาคมนักวิจัยชายแดนภาคใต้ ตำบลสะเต็ง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[3]คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ตำบลสะเต็ง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
* Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th

บทคัดย่อ

โรคฟันผุเป็นปัญหาสุขภาพช่องปากที่พบบ่อยซึ่งเกิดจากแบคทีเรีย *Streptococcus mutans* ซึ่งก่อตัวเป็นไบโอฟิล์มบนผิวฟัน แม้ว่าไหมขัดฟันเชิงพาณิชย์จะมีประสิทธิภาพในการขจัดคราบพลัช แต่ส่วนใหญ่มักทำมาจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น ไนลอน ซึ่งส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม การศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาไหมขัดฟันที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้เส้นใยเปลือกทุเรียนเคลือบด้วยสารสกัดใบโหระพาซึ่งมียูจีนอล ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติต่อต้านแบคทีเรีย เส้นใยเปลือกทุเรียนถูกสกัดโดยการต้ม แยก และถักเป็นเกลียวเพื่อความแข็งแรงและความยืดหยุ่น ใบโหระพาแห้งและบดเป็นผงถูกกลั่นด้วยไอน้ำเพื่อให้ได้น้ำมันหอมระเหยที่มียูจีนอลสูง ขั้นตอนต่อไปคือเคลือบเส้นใยด้วยสารสกัดโหระพา ค้นพบยูจีนอลผ่านการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรโฟโตเมตริกเนื่องจากค่าการดูด กลืนแสงสูงสุดที่ 270–290 นาโนเมตรซึ่งสอดคล้องกับค่ามาตรฐาน แสดงให้เห็นถึงฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียที่ *Streptococcus mutans* ในขณะที่ยังคงความทนทานที่เสถียรเพียงพอสำหรับการใช้งานจริง การศึกษานี้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาทางเลือกที่เข้ากันได้ทางชีวภาพแทนไหมขัดฟันพลาสติกแบบดั้งเดิม และในขณะเดียวกันก็เสนอวิธีการปรับปรุงสุขภาพช่องปากพร้อมลดขยะพลาสติก การวิจัยเพิ่มเติมจะต้องพิจารณาถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของความเสถียรของการเคลือบ ประสิทธิภาพทางคลินิก และการประยุกต์ใช้จริงในเชิงพาณิชย์ การศึกษาครั้งนี้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาไหมขัดฟันแบบย่อยสลายได้ซึ่งมีคุณสมบัติต่อต้านแบคทีเรีย ส่งเสริมสุขภาพช่องปากและลดขยะพลาสติก การศึกษาในอนาคตควรเน้นที่การปรับปรุงความเสถียรของการเคลือบ ประสิทธิภาพทางคลินิก และศักยภาพในการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์

คำสำคัญ: ยูจินอล / โหระพา / เส้นใยเปลือกทุเรียน / ไหมขัดฟัน / *Streptococcus mutans*

Study the efficacy of Eugeneol extract from coarse extract basil extract coated on dental floss, made from durian bark fibers

Ratchanon Buakoed[1], Supanut Taksakawin[1], Apinya Saeho[1] Adulsman Sukkaew[2,3] , Amporn Petchote[1], and Suthee Junglok[1*]

[1] Betong Wiraratprasan School, 19 Ruamwit Road , Betong District, Betong District, Yala Province, Thailand.
[2] Southern Border Researchers Association, Sateng Subdistrict, Mueang District, Yala Province, Thailand.
[3] Faculty of Science, Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Yala, Sateng Subdistrict, Mueang District, Yala Province, Thailand.
** Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

Abstract

Dental caries is a common oral health issue caused by *Streptococcus mutans*, which forms biofilms on tooth surfaces. While commercial dental floss is effective in plaque removal, it is often made from synthetic materials like nylon, which negatively impacts the environment. This study aimed to develop an eco-friendly dental floss using durian rind fibers coated with basil leaf extract, which contains eugenol, a compound with antibacterial properties. Durian rind fibers were extracted by boiling, separating, and braiding for strength and flexibility. Dried and powdered basil leaves were subjected to steam distillation to obtain essential oil rich in eugenol. The next step was coating the fibers with the basil extract. Eugenol was identified through spectrophotometric analysis, as the maximum absorbance obtained at 270–290 nm agreed well with published data. Here we demonstrated the efficient antibacterial activity of coated floss against *Streptococcus mutans*, while preserving sufficient stable endurance for practical use. The present study successfully developed biocompatible alternatives to traditional plastic dental floss, and at the same time offered a method of improving oral health while minimizing plastic waste. Further research must address the optimization of coating stability, clinical effectiveness and possible commercialization practical application. This study successfully developed a biodegradable dental floss alternative with antibacterial properties, promoting oral health while reducing plastic waste. Future studies should focus on optimizing coating stability, clinical efficacy, and potential commercialization.

Keywords: Eugenol / Dental floss / Basil Extract / Durian Fibers / *Streptococcus mutans*

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ปัญหาฟันผุเป็นปัญหาสุขภาพช่องปากที่พบได้บ่อยในประชากรทุกกลุ่มอายุจนกลายเป็นเรื่องปกติ โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กและผู้ใหญ่ที่มีอัตราการเกิดฟันผุสูง ข้อมูลจากสภาวะสุขภาพช่องปากแห่งชาติ ครั้งที่ 9 พ.ศ. 2565 – 2566 (ระยะที่ 2) ระบุว่า เด็กก่อนวัยเรียน เด็กอายุ 3 ปี พบฟันผุที่ยังไม่ได้รักษาสูงถึงร้อยละ 46.1 และร้ายละ70.4 rพบในเด็กอายุ 5 ปี เด็กวัยเรียน เด็กอายุ 12 ปี พบความชุกของโรคฟันผร้อยละ 49.7 เด็กวัยรุ่น อายุ 15 ปี พบมีความชุกของโรคฟันผุร้อยละ 61.2 กลุ่มวัยทำงาน อายุ 35-44 ปี มีภาวะเหงือกอักเสบร้อยละ 81.0 และ พบความชุกของโรคฟันผุที่ยังไม่ได้รักษาร้อยละ 52.9 [1] สาเหตุส่วนหนึ่งเกิดจากไม่ให้ความสำคัญกับการดูแลฟันอย่างถูกวิธี การใช้ไหมขัดฟันเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญในการดูแลช่องปาก เนื่องจากการแปรงฟันเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอในการกำจัดเศษอาหารที่ติดอยู่ตามซอกฟัน ผลิตภัณฑ์ไหมขัดฟันที่มีอยู่ในท้องตลาดส่วนใหญ่ทำมาจากวัสดุสังเคราะห์ เช่น ไนลอน ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

ด้วยเหตุนี้ จึงได้การพัฒนาไหมขัดฟันที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แล้วยังเคลือบด้วยสารสกัดจากใบโหระพาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดฟันพุ การเกิดฟันพุมีแบคทีเรีย*Streptococcus mutans* เป็นบทบาทสำคัญและพบได้ทั่วไปในปากของมนุษย์ มีการสร้างกรดอินทรีย์จากการหมักน้ำตาล เช่น กรดแลคติก ทำให้ค่า pH ในช่องปากลดลง ส่งผลให้สารเคลือบฟันเสียแร่ธาตุและเกิดฟันผุ นอกจากนี้ S. mutans ยังสามารถผลิตสารนอกเซลล์ (Extracellular Polysaccharides - EPS) จากซูโครส ช่วยในการยึดเกาะกับผิวฟันและสร้างโครงสร้างของคราบจุลินทรีย์ (dental plaque) ที่เป็นแหล่งสะสมของแบคทีเรียและเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุ [10] ในใบโหระพามีสารหลายชนิดที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้รวมถึงแบคทีเรีย *Streptococcus mutans* นอกจากนี้ใบโหระพายังมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอื่นๆ เช่น flavonoids, tannins และ terpenoids ซึ่งมีฤทธิ์ต้านจุลชีพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ [8] การศึกษาโดย [9] ในหัวข้อ "Basil (Ocimum basilicum L.) Leaves as a Source of Bioactive Compounds" ยังยืนยันว่าใบโหระพามีศักยภาพสูงในการเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพช่องปากได้ สารสกัดที่มีในใบโหระพาที่เรานำมาใช้คือ Eugenol ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ลดการอักเสบและช่วยลดอาการปวดได้ การศึกษาในหลอดทดลองพบว่า Eugenol สามารถลดการยึดเกาะของ S. mutans ต่อผิวฟันและลดการเกิดฟันผุในสัตว์ทดลองได้ อีกทั้ง Eugenol ยังสามารถยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์มของ S. mutans ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5] การพัฒนานวัตกรรมนี้ไม่เพียงแต่ช่วยในการลดปัญหาฟันผุ แต่ยังเป็นการลดปริมาณขยะจากเปลือกทุเรียน ซึ่งมีการผลิตในปริมาณมากในแต่ละปี ส่งผลให้เกิดประโยชน์ทั้งในด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินสารสกัดจากใบโหระพาที่ได้จากกระบวนการสกัดของเรา

3. ขอบเขตของการศึกษา

<u>ตอนที่ 1</u> **การสกัดเส้นใยทุเรียน**

ตัวแปรอิสระ เปลือกทุเรียนและน้ำ

ตัวแปรตาม เส้นใยมีความยืดหยุ่นเหมาะสำหรับการใช้ไหมขัดฟัน

ตัวแปรควบคุม อุณหภูมิของน้ำ

<u>ตอนที่ 2</u> **การสกัดยูจีนอลจากใบโหระพา**

ตัวแปรอิสระ ใบโหระพา

ตัวแปรตาม ความเข้มข้นของสารสกัดยูจีนอลจากใบโหระพา

ตัวแปรควบคุม อัตราส่วนของใบโหระพา (หมายถึงอัตราส่วนของใบโหระพาต่อตัวทำละลาย)

4. วิธีการศึกษา

การผลิตไหมขัดฟันจากเส้นใยเปลือกทุเรียนชุบสารสกัดใบโหระพา

ขั้นตอนที่ 1: การเตรียมใบโหระพา

ล้างใบโหระพาให้สะอาด และอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อแห้งแล้ว บดใบให้เป็นผงละเอียด

ขั้นตอนที่ 2: การสกัดสารประกอบจากใบโหระพา

สกัดใบโหระพาแห้งโดยใช้เครื่องกลั่นด้วยไอน้ำในอัตราส่วน 30 กรัม : 100 มิลลิลิตร (ใบโหระพา : น้ำกลั่น) จากนั้นแยกสารสกัดที่ได้เพื่อแยกน้ำมันหอมระเหย ในใบโหระพา 30 กรัจะได้สารสกัดใบโหระพา 0.1-0.2 มิลิลิตร

ขั้นตอนที่ 3: การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์สารประกอบที่สกัดได้โดยใช้เครื่องสเปกโตรมิเตอร์เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลสเปกตรัม

ขั้นตอนที่ 4: การเตรียมเปลือกทุเรียน

นำเปลือกทุเรียนที่ได้มาตัดส่วนที่ไม่ใช้และส่วนที่เป็นหนามออก

ขั้นตอนที่ 5: การสกัดเส้นใยจากเปลือกทุเรียน

ต้มเปลือกทุเรียนในน้ำเป็นเวลา 5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 100 องศาแยกเส้นใยและเลือกเส้นใยที่มีความยาวตามต้องการ ถักเส้นใยเพื่อเพิ่มความแข็งแรง

ขั้นตอนที่ 6: การผลิตไหมขัดฟัน

แช่เส้นใยที่เตรียมไว้ในสารสกัดใบโหระพาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ล้างออกด้วยน้ำ ผึ่งลมให้แห้ง แล้วนำเส้นใยที่ได้ไปขึงในด้ามจับไหมขัดฟัน

เตรียมต้มเปลือกทุเรียน

ต้มในน้ำ 100 องศา เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

แยกเส้นใยและเลือกเส้นใยที่มีความยาวตามต้องการ
ถักเส้นใยเพื่อเพิ่มความแข็งแรง

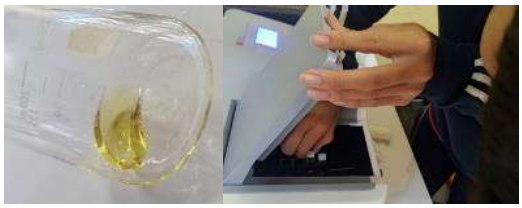
+

แช่เส้นใยที่เตรียมไว้ในสารสกัดจากใบโหระพาเป็น
เวลา 24 ชั่วโมง และนำมาขึ้นรูปเป็นไหมขัดฟัน

การเตรียมใบโหระพา

อบให้แห้งด้วยอุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 20 นาที
และเมื่อแห้งแล้วให้บดใบให้เป็นผงละเอียด

แยกใบโหระพาแห้งโดยใช้เครื่องกลั่นด้วยไอน้ำ
ในอัตราส่วน 30 กรัม:100 มล. (ใบโหระพา : น้ำกลั่น)

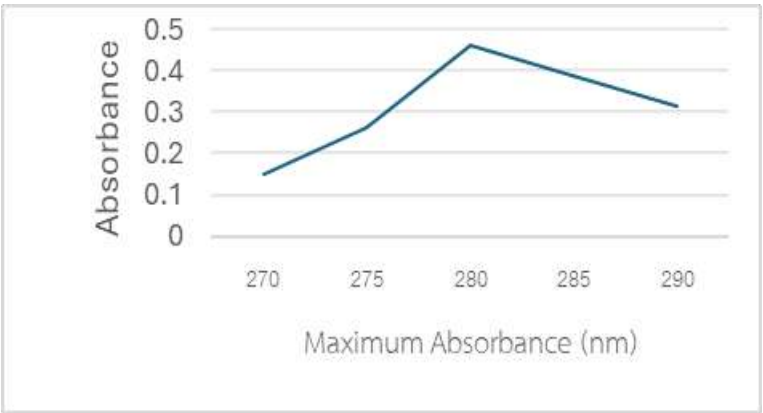


จากนั้นสารสกัดที่ได้จะถูกแยกออกเพื่อแยกน้ำมันหอมระเหย
และวิเคราะห์สารประกอบที่สกัดได้โดยใช้สเปกโตรมิเตอร์เพื่อ
เปรียบเทียบข้อมูลสเปกตรัม

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

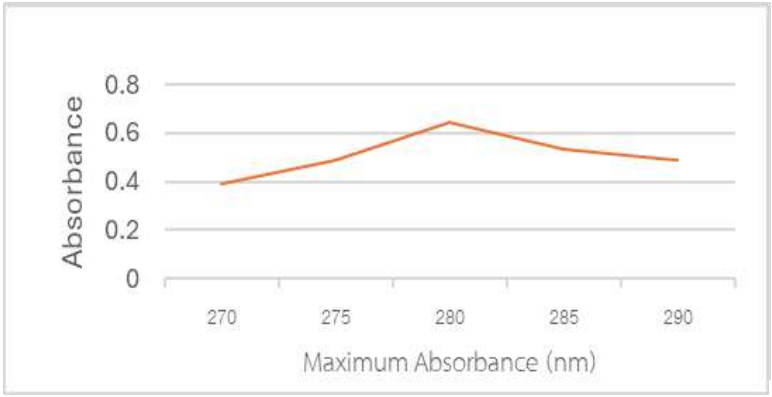
การทดลองวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของสารสกัดจากใบโหระพาที่มี eugenol โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ผลการวิจัยพบว่าการ absorbance สูงสุดของสารสกัดอยู่ในช่วง 270-290 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับค่ามาตรฐานของ eugenol สิ่งนี้ยืนยันว่ากระบวนการสกัดสามารถแยก eugenol ได้ แต่มันไม่บริสุทธิ์และมีสารอื่น ๆ ปนอยู่ ทำให้ได้ค่าโดยประมาณเท่านั้น

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าไหมขัดฟันที่ผลิตจากเส้นใยเปลือกทุเรียนสามารถใช้เป็นทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแทนไหมขัดฟันไนลอน นอกจากนี้การเคลือบด้วยสารสกัดจากใบโหระพาทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพช่องปาก



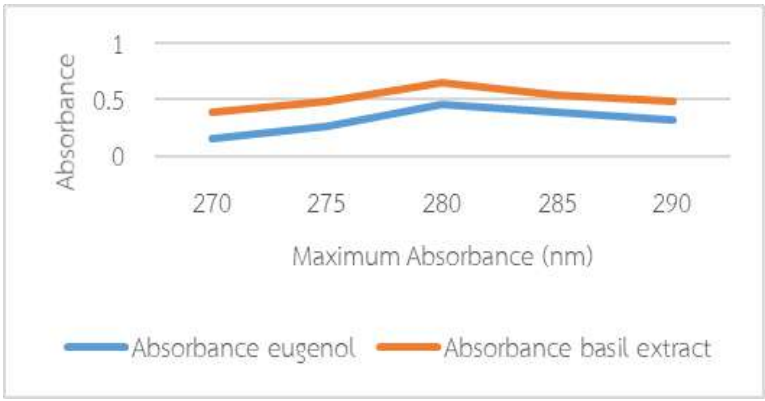
รูปที่ 1 แสดงค่า absorbance ของยูจีนอล

จุดที่ความยาวคลื่น 280 nm เป็นจุดที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุดของยูจีนอล ซึ่งอาจบ่งบอกถึงลักษณะเฉพาะของสารนี้ ทำให้สามารถใช้ความยาวคลื่นนี้ในการวิเคราะห์ปริมาณของยูจีนอลในตัวอย่างต่าง ๆ



รูปที่ 2 แสดงค่า absorbance ของสารสกัดจากใบโหระพา

เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดจากใบโหระพาเปรียบเทียบกับยูจีนอลบริสุทธิ์จากกราฟในรูปแรกจะพบว่ามีแนวโน้มคล้ายกัน โดยมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นเดียวกัน แต่อาจมีความแตกต่างเล็กน้อยในระดับของการดูดกลืน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันในสารสกัดจากใบโหระพา



รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่า absorbance ของค่ามาตรฐานของยูจีนอลกับสารสกัดจากใบโหระพา

กราฟแสดงค่า absorbanceของยูจีนอลและสารสกัดโหระพา โดยทั้งคู่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 280 นาโนเมตร อย่างไรก็ตาม สารสกัดโหระพามีค่า absorbanceที่สูงกว่าในช่วงความยาวคลื่นทั้งหมด ค่าการดูดกลืนแสงที่สูงกว่าของสารสกัดโหระพาอาจมาจากองค์ประกอบทางเคมีที่ซับซ้อนกว่าเมื่อเทียบกับยูจีนอลเพียงอย่างเดียว เช่น การมีฟลาโวนอยด์และสารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ ผลลัพธ์เหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าสารสกัดโหระพาอาจมีศักยภาพในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ เช่น ไหมขัดฟันต้านจุลินทรีย์ได้มากขึ้น ข้อมูลนี้ให้แนวทางสำหรับการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์จากสารสกัดธรรมชาติเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการประเมินความพึงพอใจของไหมขัดฟันที่ผลิตจากเส้นใยเปลือกทุเรียนเคลือบสารสกัดจากใบโหระพา คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างโดยใช้แบบสอบถามเชิงปริมาณ ซึ่งออกแบบเพื่อวัดระดับความพึงพอใจใน 3 ด้าน ได้แก่ 1. รูปร่างและความสะดวกในการใช้งาน 2. กลิ่นและรสสัมผัส และ 3. ความทนทานของเส้นใย

ตารางที่ 1 ข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีอายุ 17 ปีเกี่ยวกับเรื่องเพศ

เพศ	จำนวน	ร้อยละ
ผู้ชาย	50	50
ผู้หญิง	50	50
รวม	100	100

จากตารางที่ 1 ประชากรในการศึกษานี้ ได้แก่ นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบตง "วีระราษฎร์ประสาน" จังหวัดยะลา ซึ่งมีความเหมาะสมในฐานะกลุ่มเป้าหมายที่สามารถใช้ไหมขัดฟันและประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้อย่างตรงไปตรงมา การเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) โดยผู้เข้าร่วมต้องมีคุณสมบัติคือ มีสุขภาพช่องปากที่สามารถใช้ไหมขัดฟันได้ และมีความสมัครใจเข้าร่วมทดลอง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้มีจำนวน 100 คน แบ่งเป็นเพศชาย 50 คน และเพศหญิง 50 คน

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ย และความเบี่ยงเบนมาตรฐานเกี่ยวกับความพึงพอใจในการใช้ไหมขัดฟันเส้นใยทุเรียนเคลือบด้วยสารสกัดจากใบโหระพา

เกณฑ์การประเมิน	ผู้ชาย (จำนวน 50 คน)	ผู้หญิง (จำนวน 50 คน)
รูปร่างและความสะดวกในการใช้งาน	3.8 ± 0.9 (ดี)	3.9 ± 0.8 (ดี)
กลิ่นและรสสัมผัส	4.5 ± 0.7 (ดีมาก)	4.6 ± 0.6 (ดีมาก)
ความทนทาน	2.9 ± 1.1 (ต่ำ)	3.1 ± 1.0 (ต่ำ)

จากตารางที่ 2 รูปร่างและความสะดวกในการใช้งาน: ชายและหญิงมีความพึงพอใจ "ดี" โดยเฉลี่ย 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ บ่งชี้ว่าทั้งสองเพศพอใจในระดับที่ใกล้เคียงกัน กลิ่นและรสชาติ: ทั้งชายและหญิงพอใจกับระดับ "ดีมาก" โดยเฉลี่ยประมาณ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ บ่งชี้ว่าได้รับกลิ่นและรสชาติของไหมขัดฟันเคลือบด้วยสารสกัดจากโหระพา การตอบสนองที่ดีจากทั้งสองเพศ ความทนทานของเส้นใย: ทั้งชายและหญิงมีความพึงพอใจ "น้อยกว่า" โดยมีค่าเฉลี่ย 2.9 และ 3.1 ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ว่าความทนทานของเส้นใยเป็นจุดที่ต้องปรับปรุง

6. สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดลองพบว่า ไหมขัดฟันที่ผลิตจากเส้นใยเปลือกทุเรียนสามารถใช้แทนไหมขัดฟันที่ทำจากไนลอนได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากวัสดุจากเปลือกทุเรียนเป็นเส้นใยธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ แตกต่างจากไนลอนที่เป็นพลาสติกสังเคราะห์ซึ่งย่อยสลายได้ยาก และอาจกลายเป็นไมโครพลาสติกที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว งานวิจัยของ [7] พบว่าเส้นใยจากเปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบของเซลลูโลสสูง ทำให้มีความเหนียวและแข็งแรง ซึ่งเหมาะสำหรับการนำมาใช้งานที่ต้องการแรงดึง เช่น การทำไหมขัดฟัน โดยการถักเส้นใยเป็นเกลียวจะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและความทนทานได้มากขึ้น

ในด้านการเคลือบสารสกัดจากใบโหระพา ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าสารเคลือบมีฤทธิ์ต้านเชื้อ *Streptococcus mutans* ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของฟันผุ โดยสอดคล้องกับการศึกษาของ [2] ที่พบว่ายูจีนอล (Eugenol) ซึ่งเป็นสารสำคัญที่อยู่ในใบโหระพาสามารถยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์มของเชื้อดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังมีฤทธิ์ลดการยึดเกาะของแบคทีเรียกับผิวฟันอีกด้วย ข้อมูลจาก [4] ยังสนับสนุนว่า การควบคุมการสร้างไบโอฟิล์มของแบคทีเรียในช่องปากเป็นปัจจัยสำคัญในการป้องกันฟันผุ นอกจากนี้ การวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตเมตริกยังยืนยันได้ว่า สารสกัดจากใบโหระพามีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่ช่วงความยาวคลื่น 270–290 นาโนเมตร ซึ่งตรงกับค่ามาตรฐานของสารยูจีนอลบริสุทธิ์ จากงานของ [5] การดูดกลืนแสงในช่วงนี้เกิดจากสารพฤกษเคมีที่อยู่ในใบ เช่น ฟลาโวนอยด์ เทอร์พีนอยด์ และยูจีนอล ที่มีโครงสร้างโมเลกุลสามารถดูดซับพลังงานแสงได้ดี กลไกนี้เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในโมเลกุล ซึ่งเป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรโฟโตเมตริก ใบโหระพาเป็นพืชที่มีสารออกฤทธิ์หลายชนิด และมีศักยภาพสูงในด้านการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ดูแลสุขภาพ งานของ [8] ยืนยันว่าใบโหระพามีคุณสมบัติต้านแบคทีเรียและต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะกับการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ช่องปาก เช่น ไหมขัดฟัน โดยรวมแล้ว ผลการทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าไหมขัดฟันที่ผลิตขึ้นจากเส้นใยธรรมชาติ และเคลือบสารสกัดจากพืช

สมุนไพร ไม่เพียงแต่สามารถใช้งานได้จริงแต่ยังช่วยลดการใช้วัสดุพลาสติก และสอดคล้องกับแนวคิดของ "เศรษฐกิจหมุนเวียน" ที่เน้นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและลดของเสียในสิ่งแวดล้อม

มุมมองในอนาคต

ทางคณะผู้จัดทำมองเห็นโอกาสและความเป็นไปได้ในการพัฒนาต่อยอดนวัตกรรมนี้ในอนาคต ไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงสูตรสารสกัดจากใบโหระพาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย อาจใช้เทคนิคการสกัดที่ทันสมัยขึ้น เช่น การสกัดด้วยคลื่นเสียงหรือการสกัดด้วยของเหลววิกฤตยิ่งยวด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสาร นอกจากนี้ ยังสามารถพัฒนาวิธีเคลือบสารสกัดบนเส้นไหมให้มีความสม่ำเสมอและมีระยะเวลาที่อยู่บนเส้นใยยาวนานขึ้น เพื่อให้สารสกัดสามารถออกฤทธิ์ได้ยาวนานตลอดการใช้งาน อาจพิจารณาการใช้เทคนิคการเคลือบแบบไมโครเอนแคปซูเลชัน เพื่อให้สารสกัดห่อหุ้มเส้นใยอย่างมีประสิทธิภาพและปลดปล่อยสารสำคัญออกมา อีกประเด็นที่สำคัญคือการเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของเส้นใยจากเปลือกทุเรียน เพื่อให้ไหมขัดฟันมีความทนทานต่อการใช้งานและไม่ขาดง่าย มีการใช้เทคนิคการปรับปรุงพื้นผิวหรือการผสมเส้นใยกับวัสดุอื่นๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพแล้ว การพัฒนากระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมเพื่อให้สามารถผลิตไหมขัดฟันได้อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า

เพื่อให้มั่นใจในคุณภาพและความปลอดภัยของนวัตกรรม การทดสอบทางคลินิกในกลุ่มตัวอย่างเพื่อประเมินประสิทธิภาพและความปลอดภัยของไหมขัดฟันในการใช้งานจริง รวมถึงประเมินผลต่อสุขภาพช่องปากในระยะยาว เช่น การลดคราบพลัค การลดเหงือกอักเสบ และการป้องกันฟันผุ นอกจากนี้ การขอรับรองมาตรฐานผลิตภัณฑ์จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องก็เป็นสิ่งสำคัญ

นอกจากนี้ประโยชน์ทางด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อม การพัฒนายังสามารถสร้างผลเชิงบวกต่อเศรษฐกิจและสังคมได้ โดยการสนับสนุนและส่งเสริมการสร้างงานสร้างรายได้ให้แก่ชุมชน โดยการใช้วัสดุในท้องถิ่นและการจ้างงานในท้องถิ่น รวมถึงการลดการใช้พลาสติกและสารเคมีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์ดูแลช่องปาก และส่งเสริมการใช้วัสดุธรรมชาติที่ยั่งยืน โดยรวมแล้ว โครงงานนี้มีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดไปสู่ผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หากได้รับการสนับสนุนและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เราเชื่อมั่นว่าไหมขัดฟันจากเส้นใยเปลือกทุเรียนเคลือบสารสกัดจากใบโหระพาจะเป็นทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจสำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานทันตสาธารณสุข, 2567. *รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการสำรวจสภาวะสุขภาพช่องปากแห่งชาติครั้งที่ 9 พ.ศ. 2565–2566 (ระยะที่ 2)*. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข.

[2] Adil et al., 2557. Eugenol-induced suppression of biofilm-forming genes in *Streptococcus mutans*: An approach to inhibit biofilms. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 2(4), 286–292.

[3] Bowen et al., 2561. The biology of *Streptococcus mutans*. *Microbiology Spectrum*, 6(5), GPP3-0051-2018. https://doi.org/10.1128/microbiolspec.GPP3-0051-2018

[4] Jakubovics et al., 2564. Community interactions of oral streptococci. *Advances in Applied Microbiology*, 114, 79–114. https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2021.03.002

[5] Kaur et al., 2562. Eugenol: A potential phytochemical with multifaceted benefits for oral health. *Journal of Dental Research and Review*, 6(1), 27–32. https://doi.org/10.4103/jdrr.jdrr_9_19

[6] Lourenço et al., 2561. In vitro evaluation of the antimicrobial activity of basil (*Ocimum baslicum* L.) and coriander (*Coriandrum satirum* L.) oil extracts on *Streptococcus mutans*. *Journal of Research in Dentistry*, 5, 40–45.

[7] Lubis et al., 2561. Characterization of durian rinds fiber (*Durio zubinthinus*, Murr) from North Sumatera. In *AIP Conference Proceedings*, 2049(1). AIP Publishing.

[8] Sestili et al., 2561. The potential effects of *Ocimum basilicum* on health: A review of pharmacological and toxicological studies. *Expert Opinion on Drug Metabolism & Toxicology*, 14(7), 679–692. https://doi.org/10.1080/17425255.2018.1488983

[9] Vijayasteltar et al., 2563. Basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves as a source of bioactive compounds: A review on its pharmacological and toxicological studies. *Journal of Food Science and Technology*, 57(5), 1501–1512. https://doi.org/10.1007/s13197-019-04152-6

[10] Yamaguchi et al., 2556. Molecular mechanisms of *Streptococcus mutans* biofilm formation and its involvement in dental caries. *Japanese Dental Science Review*, 49(2), 121–132. https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2013.03.002

วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ และนิเวศวิทยา

Oral Presentation

ความผันแปรของไอโซโทปเสถียรน้ำ พื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก

ปานตะวัน มะศรีพันธ์[1], ยุทธพงษ์ คีรีมังคละ[2*], พัชเรศร์ ชคัตตรัยกุล[2], เสาวคนธ์ โนสูงเนิน[3], นฤมล บัวทอง[1], เกียรติพงษ์ คำดี[4], พัชรียา จันทร์เรือง[4], พิพัฒน์ เกตุดี[5], สหภาพ พันธ์ปัญญากรกุล[3], กิตติศักดิ์ จินดาวงศ์[6], และบัญประชา ทองโชติ[7]

[1]บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร
[2]ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร
[3]นักวิชาการอิสระ
[4]สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก
[5]กรมป่าไม้ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร
[6]มูลนิธิโครงการหลวง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่
[7]ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก
* Corresponding author: fforypk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาความผันแปรของไอโซโทปเสถียรน้ำบริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก ทำการเก็บตัวอย่างน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยภายในขอบเขตพื้นที่ศูนย์ฯ ได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยแม่หิน และลุ่มน้ำย่อยแม่หละ ประกอบด้วยจุดเก็บตัวอย่างน้ำฝน 1 จุด จุดเก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน 5 จุด และจุดเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน (บาดาล) 3 จุด รวมทั้งหมด 9 ตัวอย่าง นำส่งตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของไอโซโทปเสถียรด้วยเครื่อง Liquid Water Isotope Analyzer (Model LGR: DLT-100) ผลการศึกษา พบว่า องค์ประกอบของไอโซโทปเสถียรน้ำฝนมีค่าเฉลี่ย -6.23‰δ^{18}O, -42.48‰δ^{2}H น้ำผิวดินมีค่าเฉลี่ย -6.14‰δ^{18}O, -42.24‰δ^{2}H และน้ำใต้ดินมีค่าเฉลี่ย -5.91‰δ^{18}O, -39.44‰δ^{2}H เมื่อสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของทั้งน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน มีรูปแบบ $\delta^{2}H = 6.617\delta^{18}O + 1.1861$ ซึ่งส่วนใหญ่ค่าอยู่บนเส้นน้ำฝน (Global Meteoric Water Line: GMWL) เมื่อพิจารณาลักษณะไอโซโทปของน้ำฝนที่มาเติมน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน พบว่า ไอโซโทปหนักพบในเดือนที่มีอุณหภูมิสูง ส่วนเดือนที่มีอุณหภูมิต่ำพบไอโซโทปเบา และพบว่า น้ำฝนที่มาเติมน้ำในพื้นที่มีแหล่งที่มาต่างกัน โดยลุ่มน้ำย่อยแม่หละได้รับน้ำฝนจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จึงทำให้ไอโซโทปของน้ำผิวดินหนักกว่าลุ่มน้ำย่อยแม่หินเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบไอโซโทปเสถียร δ^{18}O และ δ^{2}H ระหว่างช่วงแล้งฝนและช่วงน้ำหลาก และระหว่างลุ่มน้ำย่อย ทั้งในน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน พบว่า มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: น้ำผิวดิน / น้ำใต้ดิน / ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ / ไอโซโทปเสถียร / Global Meteoric Water Line: GMWL

Stable Isotope of Water Masses Variations at Lertor Royal Project Development Center, Tak Province

Pantawan Masriphan[1], Yutthaphong Kheereemangkla[2*], Patchares Chacuttrikul[2], Saowakhon Nosoongnoen[3], Naruemol Buatong[1], Kiattipong Kamdee[4], Patchareeya Chanrueng[4], Pipat Katedee[5], Sahaphap Panphanyakorakul[3], Kittisak Jindawong[6], and Bunphacha Tongchote[7]

[1]The Graduate School, Kasetsart University, Bangkok, Thailand
[2]Department of Conservation, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok, Thailand
[3]Academic freelance
[4]Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization), Ongkarak District, Nakhon Nayok, Thailand
[5]Royal Forest Department, Bangkok, Thailand
[6]Royal Project Foundation, Muang District, Chiang Mai, Thailand
[7]Lertor Royal Project Development Center, Mae Ramat District, Tak, Thailand
* Corresponding author: fforypk@ku.ac.th

Abstract

The study on stable isotope of water masses variations at Lertor Royal Project Development Center (LRPDC), Tak Province, was investigated through the collection of water samples from Mae Hin and Mae La sub-watershed located within the LRPDC boundaries. Totally 9 water samples included 1 rainwater sample, 5 surface water samples, and 3 groundwater samples were gathered. The stable isotopic composition of these samples was analyzed using the Liquid Water Isotope Analyzer (Model LGR: DLT-100). The findings indicated the average stable isotope compositions were -6.23‰δ^{18}O, -42.48‰δ^{2}H for rainwater, -6.14‰δ^{18}O, -42.24‰δ^{2}H for surface water, and -5.91‰δ^{18}O, -39.44‰δ^{2}H for groundwater. The linear relationship of rainwater, surface water, and groundwater was δ^{2}H = 6.617δ^{18}O + 1.1861, with most values plotting along the GMWL (Global Meteoric Water Line), indicating groundwater recharge from both rainwater and surface water. Considering the isotopic characteristics of rainwater replenishing surface water and groundwater, heavier isotopes were found in the months with high temperatures, while lighter isotopes were found in months with low temperatures. The result was also founded that varied sources for the recharging rainwater. Since Mae La sub-watershed received rainwater influenced by the southwest monsoon, resulting in slightly heavier surface water isotopes compared to Mae Hin sub-watershed. Additionally, when comparing the stable isotopes δ18O and δ2H between the dry and wet periods, and between the sub-watersheds of rainwater, surface water, and groundwater, no statistically significant differences were examined.

Keywords: Surface water / Groundwater / Lertor Royal Project Development Center: LRPDC / Stable Isotope / Global Meteoric Water Line: GMWL

1. บทนำ

ปัจจุบัน สถานการณ์ความต้องการน้ำมีเพิ่มมากขึ้นทั้งด้านปริมาณ ความสะอาด และช่วงเวลาของการมีน้ำในแหล่งน้ำ ซึ่งปัญหาด้านการขาดแคลนน้ำ การเข้าถึงแหล่งน้ำที่สะอาด และขาดน้ำในแหล่งน้ำที่จะนำมาใช้ประโยชน์ มีผลต่อการพัฒนาประชากรโดยเฉพาะวัยเด็ก ปัญหาด้านสุขอนามัย รวมถึงความแห้งแล้ง และอุทกภัย โดยที่มาของน้ำมาจากทั้งน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน (บาดาล) ทั้งนี้ มีรายงานถึงความต้องการน้ำจืดทั่วโลกที่เพิ่มสูงขึ้น 20 เท่า ทุก ๆ 20 ปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคการเกษตร และอุตสาหกรรม [10] จึงส่งผลต่อทั้งปริมาณ คุณภาพน้ำ และการหมุนเวียนน้ำในวัฏจักร (Hydrologic cycle) ดังนั้นความเข้าใจต่อวัฏจักร (ระบบ) ของน้ำซึ่งมีส่วนประกอบของทั้งน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน รวมถึงทรัพยากร หรือระบบอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์กันจึงมีความสำคัญต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ และสิ่งแวดล้อม

ในพื้นที่สูงของหลายภูมิภาครวมทั้งในพื้นที่ประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากพื้นที่ป่าไปเป็นรูปแบบอื่น ๆ ทั้งพื้นที่เกษตรกรรม และชุมชน ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านทรัพยากรธรรมชาติโดยเฉพาะทรัพยากรน้ำทั้งด้านปริมาณ และคุณภาพที่ใช้ในการอุปโภคบริโภคในครัวเรือน และน้ำเพื่อการเกษตร ปัญหาการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูร้อน เกิดอุทกภัยน้ำป่าไหลหลากในช่วงฤดูฝน คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม และการเข้าถึงแหล่งน้ำ เป็นปัญหาที่พบกระจายในทุกพื้นที่ สำหรับพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก ซึ่งเป็นโครงการหลวงลำดับแรกในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 10 สภาพพื้นที่เป็นภูเขาสลับซับซ้อนมีความลาดชันสูง แต่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม รวมทั้งปัจจุบันมีการพัฒนาที่ดินตามเป้าหมายของการส่งเสริมคุณภาพชีวิตของประชาชน ซึ่งเมื่อมีการพัฒนากิจกรรมต่าง ๆ จึงส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพสิ่งแวดล้อม เช่น ดินมีการอัดตัวแน่น การพังทลายและการสูญเสียดิน ป่าเสื่อมสภาพ เป็นต้น ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงที่ดินเป็นพื้นที่เกษตรกรรมในพื้นที่สูงทำให้ระบบนิเวศป่าเสื่อมสภาพ รวมทั้งพืชที่เกษตรกรนิยมปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจ และปลูกชนิดเดียวทั้งพื้นที่ต่อเนื่องหลายปี ซึ่งนอกจากการปกคลุมของเรือนยอดพืชจะลดลงแล้ว ระบบรากพืชเกษตรที่เป็นรูปแบบเดียวเป็นรากฝอย และอยู่ระดับตื้น จึงส่งผลต่ออัตราการซึมน้ำผ่านผิวดินที่ลดลง เกิดน้ำไหลบ่าในช่วงฤดูฝนได้ง่าย และเมื่อดินกักเก็บน้ำได้น้อยก็ส่งผลต่อการเติมน้ำใต้ดินจึงเกิดสภาพความแห้งแล้งขึ้น

กระบวนการทางอุทกวิทยาเหล่านี้สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงทั้งเชิงเวลา และเชิงพื้นที่ การประยุกต์เทคนิคไอโซโทปเป็นหนึ่งในวิธีการศึกษาวิจัยวัฏจักรของน้ำ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาได้ทั้งการติดตามวัฏจักรของน้ำ การจำแนกแหล่งที่มา และการเคลื่อนที่ของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน โดยองค์ประกอบไอโซโทปเสถียรของน้ำ ตรวจสอบได้จากอัตราส่วนโมเลกุลของไฮโดรเจน และออกซิเจน ทำให้สามารถติดตามทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ [7]

2. วัตถุประสงค์

2.1 ศึกษาองค์ประกอบของไอโซโทปเสถียรในน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน บริเวณพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก

2.2 ศึกษาแหล่งที่มาของน้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างของไอโซโทปเสถียร

3. ขอบเขตของการศึกษา

3.1 พื้นที่ศึกษา ภายในขอบเขตศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก และบริเวณใกล้เคียง โดยกำหนดลุ่มน้ำย่อย 2 ลุ่มน้ำ ได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยแม่หิน (ขอบเขตลุ่มน้ำปิง) และลุ่มน้ำย่อยแม่หละ (ขอบเขตลุ่มน้ำสาละวิน)

3.2 ศึกษาไอโซโทปในรูปแบบไอโซโทปเสถียร ได้แก่ Oxygen-18; ^{18}O และ Deuterium; ^{2}H

3.3 เก็บตัวอย่างน้ำรวม 9 ตัวอย่าง ประกอบด้วยน้ำฝน 1 ตัวอย่าง น้ำผิวดินจากลำน้ำ หรือแหล่งน้ำในลุ่มน้ำย่อย รวมทั้งหมด 5 ตัวอย่าง (ลุ่มน้ำย่อยแม่หิน 3 ตัวอย่าง และลุ่มน้ำย่อยแม่หละ 2 ตัวอย่าง) และน้ำใต้ดิน (บาดาล) จากหลุมเจาะน้ำบาดาลในลุ่มน้ำย่อย รวมทั้งหมด 3 ตัวอย่าง (ลุ่มน้ำย่อยแม่หิน 1 ตัวอย่าง และลุ่มน้ำย่อยแม่หละ 2 ตัวอย่าง)

3.4 เก็บตัวอย่างน้ำ 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงแล้งฝน (Dry period) เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2566 เดือนกุมภาพันธ์ และธันวาคม พ.ศ. 2567 และช่วงน้ำหลาก (Wet period) ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม พ.ศ. 2567

4. วิธีการศึกษา

4.1 รายละเอียดพื้นที่ศึกษา

ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ ตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลแม่ตื่น อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก มีระดับความสูงของพื้นที่ระหว่าง 500–1,200 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาในลุ่มน้ำย่อย 2 ลุ่มน้ำ ที่อยู่ภายในขอบเขตศูนย์ฯ และบริเวณใกล้เคียง ได้แก่ ลุ่มน้ำย่อยแม่หิน พื้นที่ 23.63 ตารางกิโลเมตร ลำน้ำไหลออกน้ำแม่ตื่น อยู่ในขอบเขตลุ่มน้ำปิง และลุ่มน้ำย่อยแม่หละ พื้นที่ 35.48 ตารางกิโลเมตร ลำน้ำไหลออกแม่น้ำเมย อยู่ในขอบเขตลุ่มน้ำสาละวิน

4.2 การเก็บตัวอย่างน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำ 3 ประเภทได้แก่ น้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน (บาดาล) โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำรวม 9 จุด (ภาพที่ 1 และตารางที่ 1) ประกอบด้วยจุดเก็บตัวอย่างน้ำฝน 1 จุด บริเวณสันเขา (หน่วยป่าไม้เลอตอ) เพื่อเป็นตัวแทนของทั้งสองลุ่มน้ำย่อย ส่วนลุ่มน้ำย่อยแม่หิน เก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน 3 จุด ในลำน้ำธรรมชาติ (ห้วยแม่หิน) อ่างเก็บน้ำ (อ่างเก็บน้ำแม่หินหลวง) และบ่อน้ำ (บ่อธนาคารน้ำใต้ดิน สำนักงานศูนย์ฯ เลอตอ) และน้ำใต้ดิน (บาดาล) 1 จุด เจาะโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (บ่อบาดาลบ้านแม่ตื่น) ส่วนลุ่มน้ำย่อยแม่หละ เก็บตัวอย่างน้ำผิวดิน 2 จุด ในลำน้ำธรรมชาติ (ห้วยแม่หละ และลำน้ำเลอตอ) และน้ำใต้ดิน (บาดาล) 2 จุด เจาะโดยกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (บ่อเจาะที่โรงคัดบรรจุ บ้านจ่อคี และบ่อบาดาลบ้านนกกก) เก็บตัวอย่างน้ำ 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงแล้งฝน เก็บข้อมูลเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2566 เดือนกุมภาพันธ์ และธันวาคม พ.ศ. 2567 และช่วงน้ำหลาก เก็บข้อมูลทุกเดือนระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม พ.ศ. 2567

สำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อศึกษาไอโซโทปเสถียร มีหลักการสำคัญ คือ การป้องกันการระเหย และการแลกเปลี่ยนไอน้ำกับอากาศภายนอก โดยขณะเก็บต้องให้ภาชนะและอุปกรณ์เก็บตัวอย่างทั้งหมดอยู่ใต้น้ำ และตรวจสอบว่าภายในไม่มีฟองอากาศ เก็บตัวอย่างด้วยขวดแก้วปิดด้วยฝาแบบ Poly-seal ผนึกด้วยพาราฟิล์ม [4], [14] และเก็บตัวอย่างที่อุณภูมิห้อง (20–30 °C) สำหรับน้ำฝน เก็บตัวอย่างจากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน (Rain gauge) โดยรวบรวมตามเหตุการณ์ (Event-based sampling) น้ำผิวดิน ทำการเก็บตัวอย่างแบบจ้วงตัก (Grab Samples) ที่กึ่งกลางความกว้าง และความลึกของลำน้ำ ส่วนการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน (บาดาล) ทำการสูบน้ำขึ้นมาก่อนจนกว่าระดับของการปั๊มน้ำคงที่แล้วปล่อยน้ำไหลทิ้งไม่น้อยกว่า 15 นาที ตามแนวทางการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาลประกาศโดยกรมทรัพยากรธรณี [1]

4.3 การวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรในน้ำ

การวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียรในตัวอย่างน้ำ โดยใช้เครื่อง Liquid Water Isotope Analyzer (Model LGR: DLT-100) จากความร่วมมือของสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) มีหลักการในการวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 1,390 นาโนเมตร เพื่อคำนวณความเข้มข้นของโมเลกุลน้ำซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างไอโซโทปที่พบได้ทั่วไป (^{1}H, ^{16}O) และไอโซโทปที่พบได้น้อย (^{2}H, ^{18}O) ค่าที่ได้ถูกรายงานเป็นค่า δ (‰) เมื่อเทียบกับสารมาตรฐาน Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW) ตามที่กำหนดโดยองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (ISO) ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 1

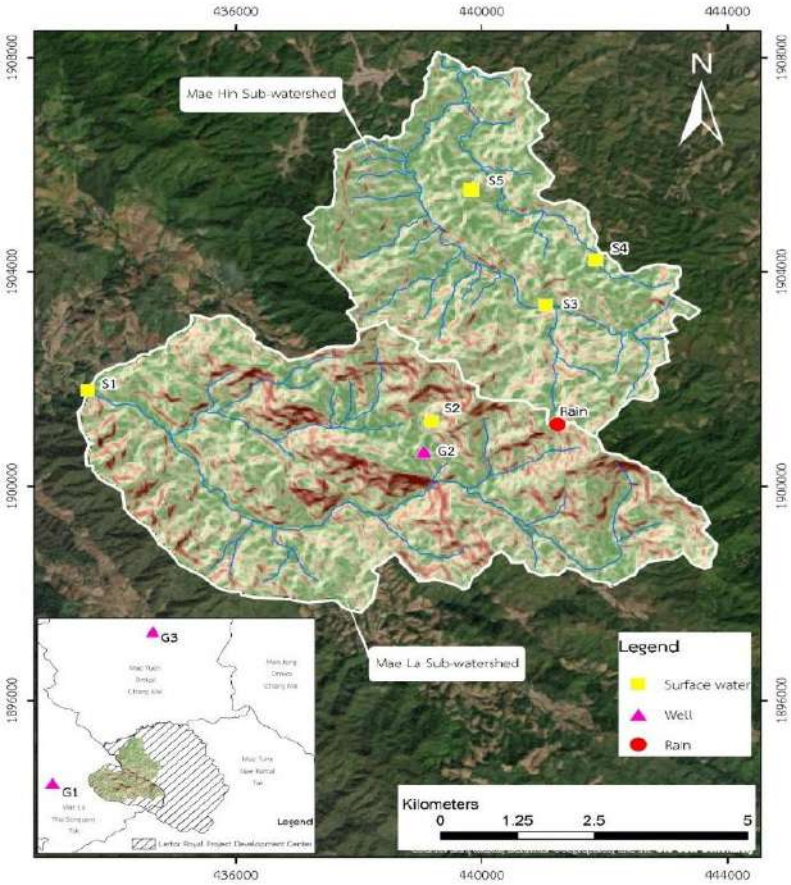
$$\delta(‰) = \left(\frac{R_{Sample} - R_{VSMOW}}{R_{VSMOW}}\right) \cdot 1000 \qquad (1)$$

เมื่อ R_{Sample} คือ อัตราส่วนไอโซโทปของตัวอย่าง

R_{VSMOW} คือ อัตราส่วนไอโซโทปของสารมาตรฐาน VSMOW

ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ไอโซโทปเสถียรระหว่าง $\delta^{18}O$ และ $\delta^{2}H$ จากสมการ Global Meteoric Water Line: GMWL [8] พบว่า ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนไอโซโทป $\delta^{2}H$ และ $\delta^{18}O$ ของน้ำฝนมีลักษณะเป็นเส้นตรง (สมการที่ 2) ซึ่งสามารถบ่งบอกแหล่งที่มา และสภาพแวดล้อมของน้ำในบริเวณนั้นได้

$$\delta^{2}H = 8\delta^{18}O + 10 \qquad (2)$$



รูปที่ 1 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน บริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก

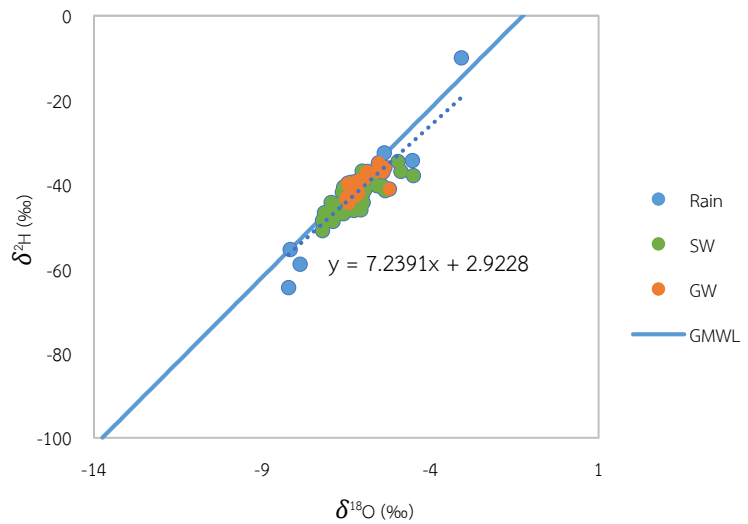
ตารางที่ 1 รายละเอียดจุดเก็บตัวอย่างน้ำ บริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก

ขอบเขตลุ่มน้ำ	ระดับความสูง (เมตร)	ประเภทแหล่งน้ำ	รหัส	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	พิกัด UTM	
					X	Y
ลุ่มน้ำย่อยแม่หิน	900	น้ำผิวดิน	S3	ห้วยแม่หิน	441037	1903380
	1,000	น้ำผิวดิน	S4	อ่างเก็บน้ำแม่หินหลวง	441858	1904220
	850	น้ำผิวดิน	S5	บ่อธนาคารน้ำใต้ดิน สำนักงานศูนย์ ฯ เลอตอ	439723	1905520
	450	น้ำใต้ดิน	G3	บ่อบาดาลบ้านแม่ตื่น	442192	1924280
ลุ่มน้ำย่อยแม่หละ	240	น้ำผิวดิน	S1	ห้วยแม่หละ	433586	1901790
	830	น้ำผิวดิน	S2	ลำน้ำเลอตอ (น้ำตก)	439182	1901210
	210	น้ำใต้ดิน	G1	บ่อบาดาลบ้านนกกก	428565	1900700
	810	น้ำใต้ดิน	G2	บ่อเจาะที่โรงคัดบรรจุ (บ้านจ่อคี)	439012	1900670
สถานีวัดน้ำฝน	1,200	น้ำฝน	น้ำฝน	สถานีวัดน้ำฝน (หน่วยป่าไม้เลอตอ)	441230	1901250

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบไอโซโทปเสถียร

การวิเคราะห์ความผันแปรขององค์ประกอบไอโซโทปเสถียร δ^{18}O และ δ^{2}H บริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ พบว่า องค์ประกอบไอโซโทปเสถียรของน้ำฝนเฉลี่ย -6.23‰δ^{18}O, -42.48‰δ^{2}H น้ำผิวดินเฉลี่ย -6.14‰δ^{18}O, -42.24‰δ^{2}H และน้ำใต้ดินเฉลี่ย -5.91‰δ^{18}O, -39.44‰δ^{2}H (ตารางที่ 2) เมื่อนำมาสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง δ^{18}O และ δ^{2}H ของทั้งน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน ได้ความสัมพันธ์เชิงเส้น $\delta^{2}H = 6.617\delta^{18}O - 1.1861$ (รูปที่ 2) โดยพบว่า องค์ประกอบของไอโซโทปเสถียรของน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินบางส่วนมีความชันต่ำกว่าเส้น GMWL แสดงถึงอิทธิพลจากการระเหย [9], [11], [13], [17] ซึ่งเป็นผลจากสภาพของแหล่งน้ำผิวดินมีลักษณะเป็นลำน้ำตื้น รวมถึงผลจากความชื้นสัมพัทธ์ที่มีปริมาณต่ำ มีความเร็วลม ความสูงของพื้นที่ และการบดบังของพืช [6], [16], [18] นอกจากนี้ การเก็บข้อมูลในช่วงที่มีความร้อนจากแสงอาทิตย์อาจส่งผลให้น้ำมีการระเหย [12], [21] อย่างไรก็ตาม จากรูปที่ 2 พบว่า องค์ประกอบไอโซโทปเสถียรของทั้งน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน มีอัตราส่วนอยู่บนเส้นน้ำฝน GMWL แสดงถึงน้ำใต้ดินในพื้นที่มีการซึมจากทั้งน้ำฝน และน้ำผิวดิน [4] สรุปได้ว่า บริเวณพื้นที่ศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอเป็นพื้นที่เติมน้ำ (Recharge Area)



รูปที่ 2 เส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง δ^{18}O (‰) และ δ^{2}H (‰) ในน้ำฝน (Rain), น้ำผิวดิน (SW), และน้ำใต้ดิน (GW) บริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก

5.2 ความผันแปรองค์ประกอบไอโซโทปเสถียรเชิงเวลา

ความผันแปรขององค์ประกอบไอโซโทปเสถียรของน้ำรายเดือน พบว่า น้ำฝนที่เข้ามาเติมเป็นน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคม ตุลาคม และพฤศจิกายน พิจารณาจากค่าไอโซโทปที่หนักกว่าเนื่องจากสภาพอากาศช่วงดังกล่าวมีอุณหภูมิสูง สอดคล้องตามข้อมูลการตรวจวัดของกรมทรัพยากรน้ำ และกรมอุตุนิยมวิทยา [2], [3] ดังนั้น ในกระบวนการเกิดฝน มวลน้ำที่เป็นไอโซโทปเบากว่าจึงระเหยง่าย รวมถึงจับตัวเป็นหยดน้ำได้ยาก จึงพบไอโซโทปหนักในน้ำฝนได้มากกว่า [19] ส่วนในเดือนที่ฝนตกอย่างต่อเนื่อง หรือตกหนักมากช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน ไอโซโทปเบามีโอกาสกลั่นตัวเป็นหยดน้ำมากขึ้น ทำให้ในช่วงนี้น้ำฝนมีค่าสัดส่วนไอโซโทปลดลง ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบไอโซโทปเสถียร δ^{18}O และ δ^{2}H ระหว่างช่วงแล้งฝน และช่วงน้ำหลาก พบว่า มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งในน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน

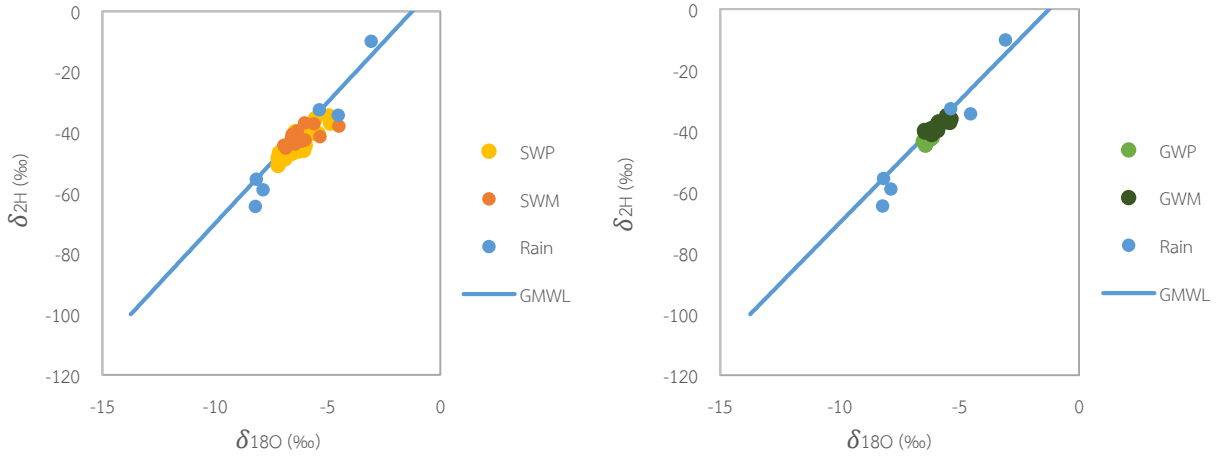
ตารางที่ 2 องค์ประกอบไอโซโทปเสถียรรายเดือนในลุ่มน้ำย่อยแม่หิน และลุ่มน้ำย่อยแม่หละ บริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก

ประเภทแหล่งน้ำ	ลุ่มน้ำย่อย	จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	ระดับความสูง (เมตร)	ไอโซโทปเสถียร (‰)	ช่วงแล้งฝน			ช่วงน้ำหลาก					
					พ.ย.	ก.พ.	ธ.ค.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
					2566	2567		2567					
น้ำฝน	-	สถานีวัดน้ำฝน	1,200	$\delta^{18}O$	-5.37	NA	NA	-3.08	-8.17	-7.87	-8.22	NA	-4.54
		หน่วยป่าไม้เลอตอ		$\delta^{2}H$	-32.56	NA	NA	-10.02	-55.45	-58.94	-64.47	NA	-34.32
น้ำผิวดิน	แม่หิน	ห้วยแม่หิน	900	$\delta^{18}O$	-6.85	-6.32	-5.47	-6.43	-6.56	-6.35	-7.15	-6.98	-6.00
	ลุ่มน้ำปิง			$\delta^{2}H$	-44.47	-41.96	-39.9	-39.76	-41.70	-44.46	-46.68	-46.30	-44.30
		อ่างเก็บน้ำแม่หินหลวง	1,000	$\delta^{18}O$	-7.21	-5.95	-5.78	-5.55	-5.79	-5.57	-7.09	-6.81	-6.28
				$\delta^{2}H$	-48.49	-41.32	-43.2	-35.38	-38.04	-40.30	-48.72	-47.26	-46.15
		ธนาคารน้ำใต้ดิน	850	$\delta^{18}O$	-7.21	-5.60	-4.48	-4.96	-4.88	-5.42	-6.90	-6.58	-6.07
		สำนักงานศูนย์ฯ เลอตอ		$\delta^{2}H$	-50.93	-40.22	-38.2	-34.56	-36.94	-40.41	-48.72	-46.95	-45.98
	แม่หละ	ห้วยแม่หละ	240	$\delta^{18}O$	NA	-5.95	-6.28	-6.03	-6.35	-6.36	-4.50	-6.50	-6.46
	ลุ่มน้ำสาละวิน			$\delta^{2}H$	NA	-38.26	-40.4	-36.84	-39.50	-41.81	-37.92	-42.53	-43.81
		ลำน้ำเลอตอ (น้ำตก)	830	$\delta^{18}O$	-6.95	-6.62	-5.47	-5.61	-6.58	-6.02	-6.86	-6.15	-5.34
				$\delta^{2}H$	-44.28	-41.85	-39.9	-37.25	-40.67	-42.43	-45.23	-42.91	-41.47
น้ำใต้ดิน	แม่หิน	บ่อบาดาลบ้านแม่ตื่น	450	$\delta^{18}O$	NA	-6.34	-6.09	-6.21	-6.51	-6.43	-6.15	-6.36	-6.22
	ลุ่มน้ำปิง			$\delta^{2}H$	NA	-42.78	-42.5	-42.61	-43.26	-44.54	-42.20	-43.22	-41.07
	แม่หละ	บ่อบาดาลบ้านนกกก	210	$\delta^{18}O$	NA	-5.55	-4.39	-5.92	-5.88	-5.96	-5.36	-5.60	-5.41
	ลุ่มน้ำสาละวิน			$\delta^{2}H$	NA	-34.90	-34.3	-37.41	-36.93	-38.91	-35.94	-36.95	-37.07
		บ่อเจาะที่โรงคัดบรรจุ	810	$\delta^{18}O$	-6.44	NA	-5.09	-6.19	-6.46	-6.15	-6.17	-6.25	-4.63
		บ้านจ่อคี		$\delta^{2}H$	-40.23	NA	-36.6	-39.20	-39.76	-41.14	-39.22	-40.19	-35.7

หมายเหตุ: NA ไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้

5.3 ความผันแปรองค์ประกอบไอโซโทปเสถียรเชิงพื้นที่

ความผันแปรขององค์ประกอบไอโซโทปเสถียรของน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินเปรียบเทียบระหว่างลุ่มน้ำย่อย พบว่า น้ำผิวดินของลุ่มน้ำย่อยแม่หละส่วนใหญ่พบไอโซโทปที่หนักกว่าในลุ่มน้ำย่อยแม่หินเล็กน้อย (รูปที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับไอโซโทปของน้ำใต้ดิน เมื่อพิจารณาร่วมกับไอโซโทปน้ำฝนที่มีไอโซโทปหนักในช่วงเดือนพฤษภาคม ตุลาคม และพฤศจิกายน ที่เกิดฝนตกบ่อยในระยะเวลาสั้น ๆ รวมถึงได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ [5] นอกจากนี้ ลุ่มน้ำย่อยแม่หละที่อยู่ด้านฝั่งตะวันตกของประเทศไทยที่มีระยะห่างจากชายฝั่งไม่เกิน 400 กิโลเมตร (ฝั่งมหาสมุทรอินเดีย) ทำให้พื้นที่ศึกษาได้รับผลกระทบจากชายฝั่งทะเลที่แสดงค่าไอโซโปหนักมากขึ้น [15] ตามความใกล้กับมหาสมุทร [20] ส่งผลให้ปรากฏลักษณะของไอโซโทปหนักมากกว่าในลุ่มน้ำย่อยแม่หละ ซึ่งเมื่อฝนปะทะกับแนวเทือกเขาสูง ทำให้ลุ่มน้ำย่อยแม่หินได้รับน้ำฝนจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้น้อยกว่าส่งผลให้ได้รับไอโซโทปหนักน้อยกว่า และเมื่อเปรียบเทียบไอโซโทปเสถียร δ^{18}O และ δ^{2}H ระหว่างลุ่มน้ำย่อยทั้งในช่วงแล้งฝน และช่วงน้ำหลาก พบว่า มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้งในน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน



รูปที่ 3 เส้นกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ขององค์ประกอบไอโซโทปเสถียรของน้ำผิวดิน: SW (ด้านซ้าย) และน้ำใต้ดิน: GW (ด้านขวา) ของลุ่มน้ำย่อยแม่หิน (SWP and GWP) และลุ่มน้ำย่อยแม่หละ (SWM and GWM) บริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาความผันแปรของไอโซโทปเสถียรของน้ำ บริเวณศูนย์พัฒนาโครงการหลวงเลอตอ จังหวัดตาก พบว่า น้ำใต้ดินเป็นน้ำที่มาจากทั้งน้ำฝน และน้ำผิวดิน สรุปได้ว่า พื้นที่ศูนย์ฯ เลอตอ เป็นพื้นที่เติมน้ำ นอกจากนี้ พบว่า แหล่งที่มาของน้ำผิวดินของแต่ละลุ่มน้ำย่อยมีที่มาแตกต่างกัน โดยฝนที่ตกในช่วงเดือนพฤษภาคม ตุลาคม และพฤศจิกายน ปรากฏลักษณะของไอโซโทปหนัก จึงเติมน้ำให้กับลุ่มน้ำย่อยแม่หละ เนื่องจากมีฝนตกบ่อยแต่เกิดในระยะเวลาสั้นๆ รวมทั้งอิทธิพลจากการที่อยู่ใกล้ทะเล (มหาสมุทรอินเดีย) มากกว่า แต่ช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม น้ำฝนแสดงลักษณะไอโซโทปที่เบา จากการที่มีฝนตกหนัก หรือตกอย่างต่อเนื่อง ทำให้ไอโซโทปเบามีโอกาสกลั่นตัวเป็นหยดน้ำมากขึ้น น้ำฝนจึงมีสัดส่วนไอโซโทปเบามากกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบไอโซโทปเสถียร (δ^{18}O และ δ^{2}H) ระหว่างช่วงแล้งฝน และช่วงน้ำหลาก และระหว่างลุ่มน้ำย่อย ทั้งในน้ำฝน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน พบว่า มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมทรัพยากรธรณี. (2542). ประกาศกรมทรัพยากรธรณี ฉบับที่ 9 ออกตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมตามพระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล.

[2] กรมทรัพยากรน้ำ. (2567). ข้อมูลอุทก-อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ [Excel]. https://nishydro.dwr.go.th/home

[3] กรมอุตุนิยมวิทยา. (2567). ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของสถานีอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ [Excel]. http://www.cmmet.tmd.go.th/forecast/pt/pt_Data/Northern_Metdata.php

[4] ณัฐพัชร คารวะ. (2559). การประยุกต์ไอโซโทปเสถียรเพื่อประเมินการปนเปื้อนของไนเตรทในน้ำบาดาล บริเวณอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. กรุงเทพฯ.

[5] ศูนย์ภูมิอากาศ. (2566). ภูมิอากาศจังหวัดตาก กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา

[6] Blaney, H. F. (1960). Evaporation from water surfaces in mountain areas of Western United States. *International Association of Scientific Hydrology. Bulletin,* 5(1), 27-37. https://doi.org/10.1080/02626666009493161

[7] Cook, P. (2020). *Introduction to isotopes and environmental tracers as indicators of groundwater flow*. The Groundwater Project.

[8] Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science,* 133(3465), 1702-1703. https://doi.org/10.1126/science.133.3465.1702

[9] Craig, H., & Gordon, L. (1965). Deuterium and oxygen 18 variations in the ocean and the marine atmosphere, Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures E. Proceedings of the Third Spoleto Conference, Spoleto, Italy, edited by E. Tongiori et. el.

[10] FAO. (2017). *Water for sustainable food and agriculture*. https://www.fao.org/3/i7959e/i7959e.pdf

[11] Gat, J. R. (2008, Mar). The isotopic composition of evaporating waters- review of the historical evolution leading up to the Craig-Gordon model. *Isotopes Environ Health Stud,* 44(1), 5-9. https://doi.org/10.1080/10256010801887067

[12] Heck, K., Coltman, E., Schneider, J., & Helmig, R. (2020). Influence of radiation on evaporation rates: A numerical analysis. *Water Resources Research,* 56(10). https://doi.org/10.1029/2020wr027332

[13] Horita, J., Rozanski, K., & Cohen, S. (2008, Mar). Isotope effects in the evaporation of water: a status report of the Craig-Gordon model. *Isotopes Environ Health Stud,* 44(1), 23-49. https://doi.org/10.1080/10256010801887174

[14] Kendall, C., & McDonnell, J. J. (2012). *Isotope tracers in catchment hydrology*. Elsevier.

[15] Kern, Z., Hatvani, I., Czuppon, G., Fórizs, I., Erdélyi, D., Kanduč, T., Palcsu, L., & Vreča, P. (2020). Isotopic 'altitude' and 'continental' effects in modern precipitation across the Adriatic–Pannonian Region. Water, 12(6). https://doi.org/10.3390/w12061797

[16] Pérez, A., Lagos, O., Lillo-Saavedra, M., Souto, C., Paredes, J., & Arumí, J. L. (2020). Mountain lake evaporation: A comparative study between hourly estimations models and in situ measurements. *Water,* 12(9). https://doi.org/10.3390/w12092648

[17] Skrzypek, G., Mydłowski, A., Dogramaci, S., Hedley, P., Gibson, J. J., & Grierson, P. F. (2015). Estimation of evaporative loss based on the stable isotope composition of water using Hydrocalculator. *Journal of Hydrology,* 523, 781-789. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.010

[18] Szeitz, A. J., & Moore, R. D. (2020). Predicting evaporation from mountain streams. *Hydrological Processes,* 34(22), 4262-4279. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hyp.13875

[19] Vystavna, Y., Matiatos, I., & Wassenaar, L. I. (2021, Sep 16). Temperature and precipitation effects on the isotopic composition of global precipitation reveal long-term climate dynamics. *Sci Rep,* 11, 18503. https://doi.org/10.1038/s41598-021-98094-6

[20] Winnick, M. J., Chamberlain, C. P., Caves, J. K., & Welker, J. M. (2014, 2014/11/15/). Quantifying the isotopic 'continental effect'. Earth and Planetary Science Letters, 406, 123-133. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.09.005

[21] Yu, X., & Xu, J. (2020). Does sunlight always accelerate water droplet evaporation? *Applied Physics Letters,* 116(25). https://doi.org/10.1063/5.0012700

นิเวศวิทยาและโครงสร้างของสังคมพืชที่เปลี่ยนแปลงต่อปัจจัยแวดล้อมจำเพาะบนสังคมพืชเขาหินปูนผุกร่อน ในอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

ธานี แสงอ่อน*, ธรรมรัตน์ พุทธไทย, สุระ พัฒนเกียรติ, และ นพพล อรุณรัตน์

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม
** Corresponding author: E-mail: thanee.san@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลาย โครงสร้างของสังคมพืช ปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อสังคมพืชและสถานภาพการอนุรักษ์ของพืช ดำเนินการระหว่างเดือนพฤษภาคม – เดือนสิงหาคม 2565 โดยทำการเก็บข้อมูลความหลากหลายของพืชด้วยการวางแปลงตัวอย่างแบบเป็นระบบ ขนาด 1x1 เมตร ตามเส้นสำรวจ 5 เส้น จำนวน 50 แปลง ร่วมกับการเดินสำรวจ ผลการศึกษาพบพืชทั้งสิ้น 77 ชนิด 71 สกุล 38 วงศ์ โดยพบวงศ์หญ้า (POACEAE) มากที่สุด ส่วนชนิดพืชที่มีความสำคัญในสังคมพืชนี้คือ หญ้าลูกไก่ (*Germainia lanipes*) การศึกษาโครงสร้างของสังคมพืชย่อยใช้การวางแปลงตัวอย่างขนาด 10 x 10 เมตร จำนวน 2 แปลง พบว่าสังคมพืชย่อยบริเวณตีนเขาเป็นสังคมพืชป่าเต็งรัง พบไม้ใหญ่ 5 ชนิด โดยเป้งดอย (*Phoenix loureiroi*) เป็นไม้ดัชนีของสังคมพืช เมื่อวิเคราะห์ดัชนีความหลากชนิดของ Shannon-Wiener มีค่าเท่ากับ 1.042 ส่วนสังคมพืชย่อยบริเวณบนเขาเป็นสังคมพืชทุ่งหญ้า พบไม้ใหญ่และไม้ดัชนีเพียงชนิดเดียว คือ เป้งดอย (*P. Loureiroi*) ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแวดล้อมและองค์ประกอบชนิดพืชด้วยวิธี CCA พบว่าความลึกของชั้นดินและธาตุไนโตรเจนส่งผลต่อองค์ประกอบชนิดพืชและสามารถแบ่งกลุ่มของชนิดพืชได้ 3 กลุ่ม ประกอบด้วย 1) กลุ่มพืชที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความลึกของชั้นดิน 2) กลุ่มพืชที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับธาตุไนโตรเจน 3) กลุ่มพืชที่กระจายตัวทั่วไปไม่สัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมใดๆ การศึกษานี้พบพืชที่มีสถานภาพการอนุรักษ์ 4 ชนิด และไม่พบพืชในรายงานการศึกษาในปี 2557 จำนวน 8 ชนิด อาจเนื่องมาจากช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล ปัจจัยคุกคามจากกิจกรรมการท่องเที่ยวและเกษตรกรรม

คำสำคัญ: นิเวศวิทยา / สังคมพืช / เขาหินปูนผุกร่อน / ปัจจัยแวดล้อม / จังหวัดกาญจนบุรี

Ecology and Vegetation Structural Change on Environmental Niches on Exposed Limestone in Thong Pha Phum District, Kanchanaburi Province

Thanee Sang-On*, Thamarat Phutthai, Sura Pattanakiat, and Noppol Arunrat

Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Thailand.
** Corresponding author: E-mail: thanee.san@mahidol.ac.th*

Abstract

This study aims to investigate plant diversity, vegetation structure, environmental factors affecting vegetation, and the conservation status of plants on exposed limestone in Thong Pha Phum District, Kanchanaburi Province. Data were collected from May to August 2022. Plant diversity was studied using systematic sampling plots along line transects. The results showed a total of 77 species, belonging to 71 genera and 38 families. Among these, the Poaceae family and the species *Germainia lanipes* were the most frequently encountered. The sub-vegetation structure on the lower hill was classified as dipterocarp forest, composed of five tree species, with *Phoenix loureiroi* identified as the dominant species in this area. The Shannon-Wiener index for this site was 1.042. In contrast, the upper hill sub-vegetation structure was characterized as grassland, containing only one tree species was *P. loureiroi*. Canonical Correspondence Analysis (CCA) showed that soil depth and nitrogen content influenced species composition and species distributions could be categorized into three groups: the first group was correlated with soil depth, the second group with nitrogen levels, and the third group consisted of generalist species that did not correlate with any specific environmental factors. This study identified four species with conservation status: *Bauhinia viridescens* var. *hirsute*, *Duplipetala hexagona*, *Paraboea puglisiae*, and *Habenaria hosseusii*. However, eight species previously reported in 2014 were not found in this study, possibly due to the different timing of data collection, tourism activities and agricultural threats.

Keywords: Ecology / Exposed Limestone / Environmental Niches / Environmental factors / Kanchanaburi

1. บทนำ

ระบบนิเวศเขาหินปูนเป็นระบบที่มีความเฉพาะเจาะจง เนื่องจากมีปัจจัยจำกัดหลายประการ [7] โดยมีลักษณะทางธรณีวิทยาที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสามารถละลายน้ำและถูกกัดกร่อนจนเกิดเป็นภูมิประเทศที่มีความสลับซับซ้อน เช่น โพรงถ้ำ หน้าผาสูงชัน หรือหลุมยุบ ส่งผลให้ระบบนิเวศเขาหินปูนมีปัจจัยแวดล้อมที่กำหนดชนิดของสังคมพืชหลากหลายมากยิ่งขึ้น ด้วยความสุดขั้วของปัจจัยแวดล้อมประกอบกับลักษณะการกระจายตัวของระบบนิเวศเขาหินปูนที่เปรียบเสมือนพื้นที่เกาะบนบก สิ่งมีชีวิตไม่สามารถแลกเปลี่ยนพันธุกรรมกับประชากรในเกาะอื่นได้ จึงเกิดชนิดพันธุ์ใหม่ (Speciation) และชนิดพันธุ์เฉพาะถิ่น (Endemic species) ที่มีจำนวนประชากรจำกัดและมีการกระจายตัวในพื้นที่แคบๆ ส่งผลให้พืชหลายชนิดที่พบในระบบนิเวศนี้เป็นชนิดพันธุ์หายาก (Rare species) และเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ [2] ในขณะเดียวกันการคุกคามความหลากหลายของพรรณพืชในระบบนิเวศเขาหินปูนมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเพื่อพัฒนาประเทศและสร้างความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ เช่น การขยายตัวของถิ่นที่อยู่อาศัย การท่องเที่ยว การทำเหมือง ซึ่งสามารถส่งผลให้เกิดการสูญพันธุ์ในระดับท้องถิ่น (Local extinction) ได้ [5] สังคมพืชบนเขาหินปูนผุกร่อนเป็นหนึ่งสังคมพืชของระบบนิเวศเขาหินปูน เกิดจากการกัดกร่อนหรือยุบตัวของเขาหินปูนในอดีตและกำลังประสบปัญหาภัยคุกคามจากการจัดการทรัพยากรอย่างรู้เท่าไม่ถึงการณ์ เนื่องจากสังคมพืชในลักษณะนี้ไม่เคยได้รับความสนใจมาก่อนประกอบกับงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับสังคมพืชบนเขาหินปูนผุกร่อนยังมีน้อยมาก คนส่วนใหญ่จึงยังมองไม่เห็นความสำคัญและเห็นว่าเป็นพื้นที่ว่างเปล่าที่ต้องพัฒนา จึงมีการใช้ประโยชน์พื้นที่อย่างไม่เหมาะสม เช่น เลี้ยงสัตว์ ใช้เป็นพื้นที่ทิ้งขยะ หรือเปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตรกรรม รวมถึงเรื่องกฎหมายคุ้มครองที่ไม่ครอบคลุม ส่งผลให้สังคมพืชบนเขาหินปูนผุกร่อนอาจถูกจัดเป็น "ป่าเสื่อมโทรม" ตามความหมายของพระราชบัญญัติป่าสงวนแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๐๗ [3]

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความหลากหลาย โครงสร้างของสังคมพืช ปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อสังคมพืช และสถานภาพการอนุรักษ์ของพืชบนเขาหินปูนผุกร่อน ในอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีลักษณะเป็นเขาลูกโดด มีสภาพภูมิประเทศเป็นลานหินขรุขระ แหลมคม ผุกร่อนง่าย มีความแห้งแล้งสูง แสงแดดจัด และชั้นดินตื้น ภายในประกอบไปด้วยระบบนิเวศย่อยที่มีลักษณะเฉพาะตัว ส่งผลให้พรรณพืชในบริเวณนี้มีความน่าสนใจในหลายมิติ เพื่อให้ได้ข้อมูลมาสนับสนุนแนวทางการอนุรักษ์และการจัดการพื้นที่ให้เกิดการใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยผลักดันให้บุคคลทั่วไปหันมาเห็นความสำคัญของสังคมพืชบนระบบนิเวศเขาหินปูนมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาความหลากหลายและโครงสร้างของสังคมพืชเขาหินปูนผุกร่อนในอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อสังคมพืชเขาหินปูนผุกร่อนในอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

2.3 เพื่อประเมินสถานภาพการอนุรักษ์ของพืชบนเขาหินปูนผุกร่อนในอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

3. ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาความหลากหลาย โครงสร้างของสังคมพืช ปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อสังคมพืช และสถานภาพการอนุรักษ์ของพืชบนเขาหินปูนผุกร่อน บริเวณเขาเย็น ต.ท่าขนุน อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี ระหว่างเดือนพฤษภาคม – เดือนสิงหาคม 2565

4. วิธีการศึกษา

4.1 การเก็บข้อมูล

4.1.1 ข้อมูลด้านองค์ประกอบของชนิดไม้ ใช้วิธีการวางแปลงตัวอย่างแบบเป็นระบบ โดยใช้การสำรวจแบบแนว (Line transect sampling) วางเส้นแนวพื้นฐานให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา [1] ความยาวเส้นละ 100 เมตร จำนวน 5 เส้น และวางแปลงสุ่มสำรวจขนาด 1 x 1 เมตร จำนวน 50 แปลง นำข้อมูลมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของแปลงตัวอย่างกับจำนวนชนิดพันธุ์สะสมที่พบ (Species area curve) เพื่อให้มั่นใจว่าจำนวนแปลงตัวอย่างสามารถครอบคลุมชนิดพันธุ์ในพื้นที่ศึกษา ทั้งนี้การศึกษานี้ใช้วิธีการเดินสำรวจร่วมด้วยเพื่อเพิ่มโอกาสในการพบชนิดพืชที่อยู่นอกแปลงสุ่มสำรวจ

4.1.2 ข้อมูลด้านโครงสร้างของสังคมพืชใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle : UAV) เพื่อจัดกลุ่มชั้นเรือนยอดของสังคมพืชและวางแปลงตัวอย่างขนาด 10 x 10 เมตร จำนวน 2 แปลง เพื่อเป็นตัวแทนของ 2 ระบบนิเวศย่อยในสังคมพืชเขาหินปูนผุกร่อน

4.1.3 ข้อมูลด้านปัจจัยแวดล้อม ปัจจัยดินใช้การสุ่มเก็บตัวอย่างดินในแต่ละระบบนิเวศย่อย จำนวน 5 จุด ได้แก่ บริเวณศูนย์กลางและมุมทั้ง 4 ด้านของแปลงตัวอย่าง โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวนโครงสร้างดิน ความลึก 0 – 15 เซนติเมตร ปัจจัยภูมิประเทศใช้อากาศยานไร้คนขับร่วมกับเครื่องระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) ส่วนการปกคลุมของหินใช้วิธีการประเมินการปกคลุมของหินภายในแปลง ปัจจัยภูมิอากาศอ้างอิงข้อมูลจากสถานีอุตนิยมวิทยากาญจนบุรี (ทองผาภูมิ) และติดตามข้อมูลอุณหภูมิและความเข้มแสงในพื้นที่เพิ่มเติม ด้วย HOBO data logger โดยตั้งค่าการบันทึกเป็นรายชั่วโมง

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.2.1 วิเคราะห์ข้อมูลดัชนีความสำคัญของพันธุ์ไม้ (Importance Value Index : IVI) จากสูตรที่ถูกเสนอไว้โดย Curtis and McIntosh [8] และ Whittaker [15] ดังนี้ IVI = RD + RF + RDo

4.2.2 วิเคราะห์ความหลากชนิด (Species Diversity) โดยใช้ดัชนีความหลากหลายของ Shannon-Wiener Index (H') อ้างอิงจาก Ludwig and Reynolds [10] ดังนี้

$$H' = \sum_{i=1}^{S} (p_i \ln p_i)$$

4.2.3 วิเคราะห์ปัจจัยแวดล้อม โดยใช้การวิเคราะห์การจัดลำดับชั้น (Ordination analysis) แบบ Canonical Correspondence Analysis (CCA) [11][14] ด้วยโปรแกรม R เวอร์ชั่น 4.4.2 [12] และใช้ one-way analysis of variance (ANOVA) และ F test ในการทดสอบโมเดล

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ข้อมูลด้านองค์ประกอบของชนิดไม้

ผลการศึกษาด้านองค์ประกอบของชนิดไม้พบพืชจำนวนทั้งสิ้น 77 ชนิด 71 สกุล 38 วงศ์ โดยพบวงศ์หญ้า (POACEAE) มากที่สุด จำนวน 8 ชนิด รองลงมาคือ วงศ์ถั่ว (FABACEAE) จำนวน 7 ชนิด วงศ์โมก (APOCYNACEAE) และ กล้วยไม้ (ORCHIDACEAE) จำนวนวงศ์ละ 4 ชนิด ส่วนชนิดพืชที่ความสำคัญในสังคมพืชนี้คือ หญ้าลูกไก่ (*Germainia lanipes*) รองลงมาคือ กกใบเคียว (*Fimbristylis straminea*) และหญ้าก้านพวง (*Rostellularia procumbens*) โดยจากการประเมินสถานภาพการ

อนุรักษ์พบพืชเฉพาะถิ่นและพืชหายากของประเทศไทย 2 ชนิด ได้แก่ กาหลงเขา (*Bauhinia viridescens* var. *hirsute*) และโหมหัด (*Duplipetala hexagona*) พบพืชเฉพาะถิ่นของประเทศไทย จำนวน 1 ชนิด คือ พู่กระดิ่ง (*Paraboea puglisiae*) และพบพืชที่มีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ 1 ชนิด คือ นางอั้วคางยาว *(Habenaria hosseusii*) (ตารางที่ 1) นอกจากนี้เมื่อตรวจสอบรายการพืชกับรายงานการศึกษาของปุณยาพร อุดมผล และธรรมรัตน์ พุทธไทย [3] ทำให้ทราบว่าการศึกษานี้ไม่พบพืชตามรายงานจำนวน 8 ชนิด (ตารางที่ 2) อาจเนื่องมาจากช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลที่แตกต่างกัน ปัจจัยคุกคามจากกิจกรรมการท่องเที่ยว โดยจากข้อมูลพบว่าพื้นที่นี้เป็นจุดแวะถ่ายรูปของนักท่องเที่ยว นอกจากนี้ยังพบร่องรอยการก่อกองไฟและกระป๋องเครื่องดื่มบริเวณยอดเขา รวมถึงปัจจัยคุกคามจากการทำเกษตรกรรมเนื่องจากมีการทำไร่มันสำปะหลังและไร่อ้อยบริเวณโดยรอบพื้นที่ศึกษาซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

ตารางที่ 1 รายการพืชที่มีสถานภาพการอนุรักษ์ บริเวณเขาเย็น ต.ท่าขนุน อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี

ลำดับที่	ชื่อไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	สถานภาพการอนุรักษ์
1	กาหลงเขา	*Bauhinia viridescens* var. *hirsute*	FABACEAE	E, RT
2	โหมหัด	*Duplipetala hexagona*	GENTIANACEAE	E, RT
3	พู่กระดิ่ง	*Paraboea puglisiae*	GESNERIACEAE	E
4	นางอั้วคางยาว	*Habenaria hosseusii*	ORCHIDACEAE	VU

E = Endemic, RT = Rare (Thailand), VU = Vulnerable (According to some published criteria)

ตารางที่ 2 รายการพืชที่ไม่พบในรายงานการศึกษาในปี 2557 บริเวณเขาเย็น ต.ท่าขนุน อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี

ลำดับที่	ชื่อไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	สถานภาพการอนุรักษ์
1	เทพทาโร	*Ceropegia arnottiana*	APOCYNACEAE	-
2	คำบูชา	*Crotalaria* sp.	FABACEAE	-
3	หญ้านกเค้าน้อย	*Leucas decemdentata*	LAMIACEAE	-
4	ทิพย์เกสร	*Utricularia minutissima*	LENTIBULARIACEAE	LC
5	โสมชบา	*Abelmoschus rhodopetalus*	MALVACEAE	-
6	หญ้าหางหมาจิ้งจอก	*Setaria parviflora*	POACEAE	LC
7	-	*Ischaemum* sp.	POACEAE	-
8	-	-	RUBIACEAE	-

LC = Least Concern

5.2 ข้อมูลด้านโครงสร้างของสังคมพืช

การศึกษาโครงสร้างของสังคมพืชเขาหินปูนผุกร่อนใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับในการจัดกลุ่มชั้นเรือนยอดออกเป็น 2 สังคมพืชย่อย คือ สังคมพืชย่อยบริเวณตีนเขาและสังคมพืชย่อยบริเวณบนเขา โดยจากการวางแปลงตัวอย่างขนาด 10 x 10 เมตร พบว่า สังคมพืชย่อยบริเวณตีนเขาเป็นสังคมพืชป่าเต็งรัง (รูปที่ 1 (ก)) พบไม้ใหญ่ 5 ชนิด โดยเป้งดอย (*Phoenix loureiroi*) เป็นไม้ดัชนีของสังคมพืช รองลงมา คือ ไผ่รวก (*Bambusa bambos*) และเต็ง (*Shorea obtusa*) (ตารางที่ 3) มีค่าดัชนีความ

หลากชนิดเท่ากับ 1.042 (ตารางที่ 4) ส่วนสังคมพืชย่อยบริเวณบนเขาเป็นสังคมพืชทุ่งหญ้า (รูปที่ 1 (ข)) พบไม้ใหญ่และไม้ดัชนีเพียงชนิดเดียว คือ เป้งดอย (*P. Loureiroi*) เนื่องจากสังคมพืชย่อยบริเวณบนเขาถูกจำกัดด้วยปัจจัยแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณดินและธาตุอาหารในดินส่งผลให้ไม้ยืนต้นไม่สามารถเจริญเติบโตได้ [16]

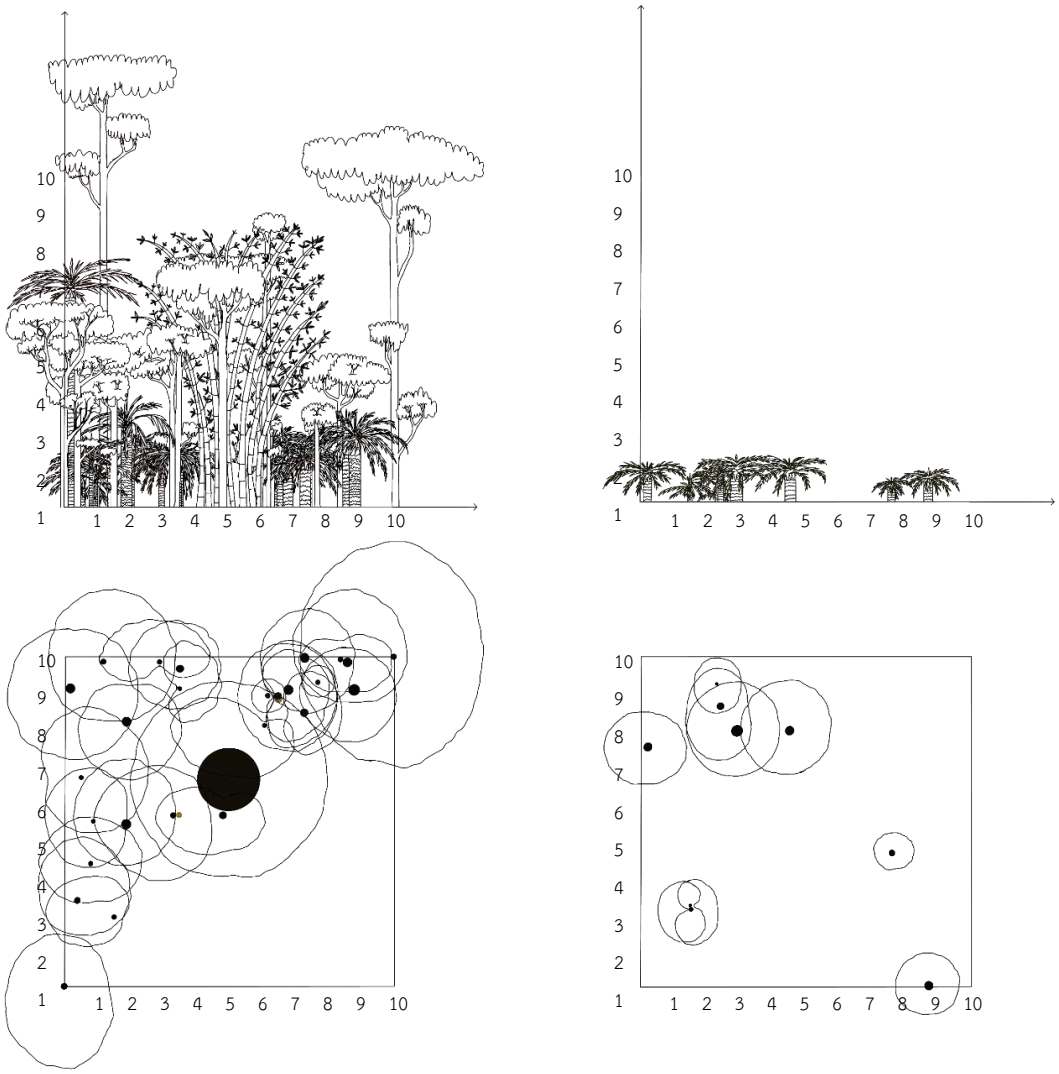
ตารางที่ 3 ดัชนีความสำคัญ (Importance Value Index : IVI) ของไม้ใหญ่ในสังคมพืชย่อยบริเวณตีนเขา

ลำดับที่	ชื่อไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	RD	RF	RDo	IVI
1	เป้งดอย	*Phoenix loureiroi*	ARECACEAE	57.143	33.333	13.620	104.096
2	ไผ่รวก	*Bambusa bambos*	POACEAE	3.571	16.667	83.268	103.507
3	เต็ง	*Shorea obtusa*	DIPTEROCARPACEAE	32.143	16.667	2.456	51.265
4	รัง	*Pentacme siamensis*	DIPTEROCARPACEAE	3.571	16.667	0.448	20.686
5	-	*Dalbergia* sp.	FABACEAE	3.571	16.667	0.208	20.446

RD =Relative density, RF = Relative frequency, RDo = Relative dominance

ตารางที่ 4 ความหลากชนิด (Shannon-Wiener Index : H') ของไม้ใหญ่ในสังคมพืชย่อยบริเวณตีนเขา

ลำดับที่	ชื่อไทย	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	pi	lnpi	pilnpi	H'
1	เป้งดอย	*Phoenix loureiroi*	ARECACEAE	0.571	-0.560	-0.320	
2	ไผ่รวก	*Bambusa bambos*	POACEAE	0.036	-3.332	-0.119	
3	เต็ง	*Shorea obtusa*	DIPTEROCARPACEAE	0.321	-1.135	-0.365	**1.042**
4	รัง	*Pentacme siamensis*	DIPTEROCARPACEAE	0.036	-3.332	-0.119	
5	-	*Dalbergia* sp.	FABACEAE	0.036	-3.332	-0.119	



(ก) สังคมพืชย่อยบริเวณตีนเขา (ข) สังคมพืชย่อยบริเวณบนเขา

รูปที่ 1 โครงสร้างสังคมพืชด้านตั้ง (Profile diagram) และการปกคลุมของเรือนยอด (Crown cover diagram) ของ (ก) สังคมพืชย่อยบริเวณตีนเขา และ (ข) สังคมพืชย่อยบริเวณบนเขา บริเวณเขาเย็น ต.ท่าขนุน อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี

5.3 ข้อมูลด้านปัจจัยแวดล้อม

5.3.1 ปัจจัยดิน

การศึกษาปัจจัยดินทำการเก็บข้อมูลดินจำนวน 7 พื้นที่ จากผลการศึกษาพบว่าดินในพื้นที่เส้นสำรวจที่ 1, เส้นสำรวจที่ 2, เส้นสำรวจที่ 3, เส้นสำรวจที่ 4, เส้นสำรวจที่ 5 และแปลงศึกษาบริเวณบนเขา ซึ่งเป็นแปลงที่อยู่ในพื้นที่ภูเขา มีธาตุอาหาร ความลึกของชั้นดิน และความชื้นในดิน น้อยกว่าแปลงศึกษาบริเวณตีนเขา (ตารางที่ 5) เนื่องจากพื้นที่ภูเขามีการปกคลุมของหิน

และมีความลาดชันมากกว่าแปลงศึกษาบริเวณตีนเขา ส่งผลให้มีชั้นดินตื้นและมีปริมาณดินน้อยกว่า ดินจึงกักเก็บธาตุอาหารและความชื้นได้น้อยกว่า

ตารางที่ 5 ผลการศึกษาด้านปัจจัยดิน บริเวณเขาเย็น ต.ท่าขนุน อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี

ลำดับที่	พื้นที่	ลักษณะดิน	ธาตุ N (มก./ล.)	ธาตุ P (มก./ล.)	ธาตุ K (มก./ล.)	ความลึกของชั้นดิน (ซม.)	ความชื้นในดิน (%)
1	เส้นสำรวจที่ 1	ดินร่วนปนหินปูน	7	9.67	72.33	8.38	15.45
2	เส้นสำรวจที่ 2	ดินร่วนปนหินปูน	8	10.67	78.67	9	21.19
3	เส้นสำรวจที่ 3	ดินร่วนปนหินปูน	8	10.77	79.18	9	19.07
4	เส้นสำรวจที่ 4	ดินร่วนปนหินปูน	8	11.11	81.11	10	21.19
5	เส้นสำรวจที่ 5	ดินร่วนปนหินปูน	9	12.25	88.25	11.5	24.72
6	แปลงศึกษาบริเวณบนเขา	ดินร่วนปนหินปูน	7	9.25	70	2.38	12.10
7	แปลงศึกษาบริเวณตีนเขา	ดินร่วน	9	13	92	>30	30.63

5.3.2 ปัจจัยภูมิอากาศ

ข้อมูลจากการติดตั้ง HOBO data logger ในพื้นที่เขาเย็น ต.ท่าขนุน อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี ระหว่างเดือน พ.ค. - ก.ค. 2565 พบว่ามีอุณหภูมิเฉลี่ย 31.17 °C อุณหภูมิต่ำสุด 22.81 °C และอุณหภูมิสูงสุด 64.53 °C ความเข้มแสงเฉลี่ย 25,263.28 Lux และความเข้มแสงสูงสุด 319,646.60 Lux สังเกตว่าอุณหภูมิในพื้นที่เขาเย็นจะสูงกว่าสถานีอุตนิยมวิทยากาญจนบุรี (ทองผาภูมิ) (ตารางที่ 6) เนื่องจากเขาเย็นเป็นพื้นที่ทุ่งหญ้าเปิดโล่งไม่มีการปกคลุมของไม้ใหญ่ ทำให้รับแสงจากดวงอาทิตย์ทั่วทุกทิศ ประกอบกับพื้นที่ส่วนใหญ่ถูกปกคลุมด้วยหินปูนที่สามารถกักเก็บความร้อนได้ดี ส่งผลให้พื้นที่มีอุณหภูมิสูงมากขึ้น

ตารางที่ 6 ผลการศึกษาด้านปัจจัยภูมิอากาศ บริเวณเขาเย็น ต.ท่าขนุน อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี

ลำดับที่	พื้นที่	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
1	อุณหภูมิสถานีทองผาภูมิ (° C)*	27.38	24	38
1	อุณหภูมิบริเวณเขาเย็น (° C)**	31.17	22.81	64.53
3	ความเข้มแสง (Lux)**	25,263.28	0	319,646.60

* ข้อมูลจากสถานีอุตนิยมวิทยากาญจนบุรี (ทองผาภูมิ) ระหว่างเดือน พ.ค. - ส.ค. 2565

** ข้อมูลจากการติดตั้ง HOBO data logger ในพื้นที่เขาเย็น อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี ระหว่างเดือน พ.ค. - ก.ค. 2565

5.3.3 ปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อสังคมพืช

ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยวิธี CCA พบว่าแกนที่ 1 (Axis 1) มีค่า Eigenvalue เท่ากับ 0.4388 และแกนที่ 2 (Axis 2) มีค่า Eigenvalue เท่ากับ 0.1107 ทั้งนี้ผลการทดสอบด้วย Permutation test พบว่าความลึกของชั้นดิน (Soil.deep) และ ธาตุไนโตรเจน (N.mg) มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบชนิดพืชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ค่า $p = 0.049$ โดยสามารถอธิบาย

ความแปรปรวนของชนิดพืชคิดเป็น 56.22% ของความแปรปรวนทั้งหมด (ตารางที่ 7) ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของชนิดพืชได้ 3 กลุ่ม (รูปที่ 2) ประกอบด้วย

1) กลุ่มพืชที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความลึกของชั้นดิน เป็นพื้นที่ที่มีการสะสมของตะกอนดินทำให้ชั้นดินมีความลึกและสะสมธาตุอาหารในดินมากกว่าพื้นที่อื่นๆ พืชส่วนใหญ่เป็นไม้ยืนต้น ได้แก่ เต็ง (*S. obtusa*) ไผ่รวก (*B. bambos*) ตะขบป่า (*Flacourtia indica*) มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) ก่อปลายจัก (*Quercus rex*) ลูกใต้ใบ (*Phyllanthus amarus*) ขี้ตุ่น (*Helicteres angustifolia*) ข้าวจี่ (*Grewia abutilifolia*) *Dalbergia* sp. *Curcuma* sp. และ *Impatiens* sp.

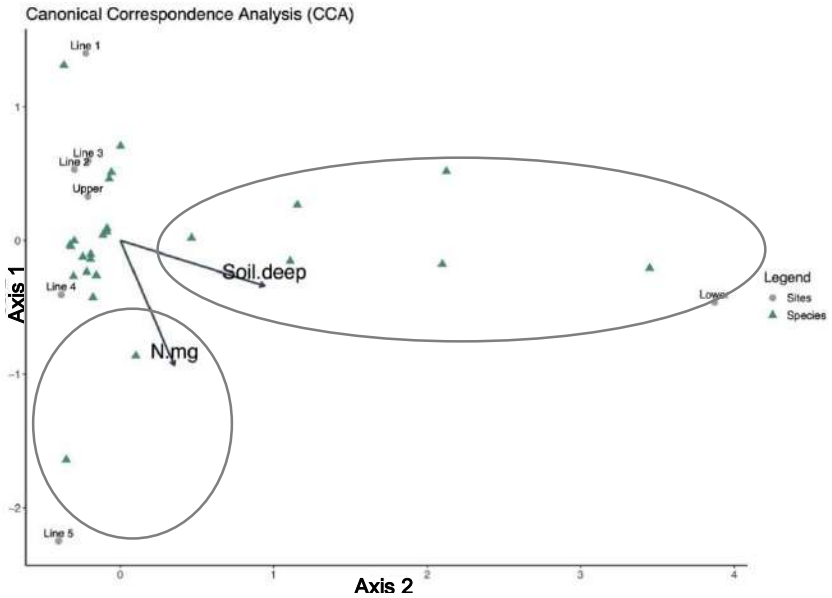
2) กลุ่มพืชที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับธาตุไนโตรเจน เป็นพื้นที่ที่มีการสะสมธาตุอาหารในดินมากแต่มีชั้นดินตื้นกว่าพื้นที่ในกลุ่มที่ 1 เนื่องจากการปกคลุมของหินและความลาดชันของพื้นที่ โดยสามารถพบกล้าไม้ของไม้ยืนต้นในบริเวณนี้ ได้แก่ เปล้าใหญ่ (*Croton persimilis*) โพขี้นก (*Ficus rumphii*) ว่านนางตาม (*Eulophia recurva*) หญ้าฝน (*Hedyotis tetrangularis*) หางหมาจอก (*Parasopubia bonatii*) ประกายฉัตรหนู (*Phyllocyclus helferianus*) และ *Cinnamomum* sp.

3) กลุ่มพืชที่กระจายตัวทั่วไป (generalist species) ไม่สัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมใดๆ ได้แก่ หญ้าลูกไก่ (*G. lanipes*) หญ้ารัดเขียด (*Fimbristylis quinquangularis*) กกใบเคียว (*F. straminea*) หญ้าแพรก (*Cynodon dactylon*) หญ้ารังนก (*Chloris barbata*) หญ้าก้านพวง (*R. procumbens*) หญ้าชันกาด (*Panicum repens*) เป็นต้น

ตารางที่ 7 สรุปผลของโมเดล Canonical Correspondence Analysis (CCA)

CCA results	Axis 1	Axis 2
Eigenvalue	0.4388	0.1107
Variance (%)	44.89%	11.33%
Cumulative (%)	44.89%	56.22%

Permutation test (F = 2.53, p = 0.049)



รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วย Canonical Correspondence Analysis (CCA)

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษานิเวศวิทยาและโครงสร้างของสังคมพืชที่เปลี่ยนแปลงต่อปัจจัยแวดล้อมจำเพาะบนสังคมพืชเขาหินปูนผุกร่อนในอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี พบพืชจำนวนทั้ง 77 ชนิด 71 สกุล 38 วงศ์ โดยพบพืชในวงศ์หญ้า (POACEAE) มากที่สุด และชนิดพืชที่มีความสำคัญในสังคมพืชนี้คือ หญ้าลูกไก่ (*G. lanipes*) การศึกษาโครงสร้างของสังคมพืชพบว่าสังคมพืชย่อยบริเวณตีนเขาเป็นสังคมพืชป่าเต็งรัง พบไม้ใหญ่ 5 ชนิด โดยเป้งดอย (*P. loureiroi*) เป็นไม้ดัชนีของสังคมพืช มีค่าดัชนีความหลากชนิดเท่ากับ 1.042 ส่วนสังคมพืชย่อยบริเวณบนเขาเป็นสังคมพืชทุ่งหญ้า พบไม้ใหญ่และไม้ดัชนีเพียงชนิดเดียว คือ เป้งดอย (*P. loureiroi*) เนื่องจากถูกจำกัดด้วยปัจจัยแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยดิน โดยดินในบริเวณตีนเขาเป็นดินร่วน ส่วนดินในบริเวณบนเขาเป็นดินร่วนปนหินปูนและมีธาตุอาหาร ความลึกของชั้นดินและความชื้นในดินน้อยกว่า ทำให้ไม้ใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ข้อมูลจากการติดตั้ง HOBO data logger ระหว่างเดือน พ.ค. - ก.ค. 2565 พบว่าอุณหภูมิในพื้นที่เขาเย็นสูงกว่าสถานีอุตนิยมวิทยากาญจนบุรี (ทองผาภูมิ) และมีอุณหภูมิสูงสุดถึง 64.53 °C เนื่องจากเป็นพื้นที่ทุ่งหญ้าเปิดโล่งและถูกปกคลุมด้วยหินปูนที่สามารถดูดซับความร้อนมากกว่าพื้นที่อื่นๆ ดังนั้นพืชที่เจริญเติบโตในบริเวณนี้ต้องมีการปรับตัวให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมเพื่อความอยู่รอดของเผ่าพันธุ์ จะสังเกตว่าพืชที่พบมากที่สุดอยู่ในวงศ์หญ้าซึ่งสามารถทนแล้งได้ดี มีวงจรชีวิตสั้นและขยายพันธุ์ได้จำนวนมากในระยะเวลาที่รวดเร็ว เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแวดล้อมและองค์ประกอบชนิดพืชด้วยวิธี CCA พบว่าความลึกของชั้นดินและธาตุไนโตรเจนส่งผลต่อองค์ประกอบชนิดพืชในสังคมนี้ โดยสามารถแบ่งกลุ่มของชนิดพืชได้ 3 กลุ่ม ประกอบด้วย 1) กลุ่มพืชที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความลึกของชั้นดิน 2) กลุ่มพืชที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับธาตุไนโตรเจน 3) กลุ่มพืชที่กระจายตัวทั่วไปไม่สัมพันธ์กับปัจจัยแวดล้อมใดๆ จากการผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าความลึกของชั้นดินมีอิทธิพลต่อไม้ยืนต้นอย่างชัดเจนโดยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับแสดงให้เห็นว่าไม้ยืนต้นมีการกระจายตัวอยู่บริเวณตีนเขาซึ่งมีความลึกของชั้นดินมากกว่าบริเวณภูเขา ในการศึกษานี้พบพืชที่มีสถานภาพทางการอนุรักษ์จำนวน 4 ชนิด นับว่าเป็นจำนวนที่ค่อยข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของพื้นที่ศึกษา (เนื้อที่ 43,840.32 ตารางเมตร หรือ 27.4 ไร่) จากการสำรวจพบว่าพืชเหล่านี้มีจำนวนประชากรไม่มากและมีการกระจายตัวบนพื้นที่แคบๆ หรือกระจายตัวบนพื้นที่ที่มีลักษณะเฉพาะ เช่น ตามซอกหินปูน หากได้รับการรบกวนอย่างต่อเนื่องอาจเกิดการสูญพันธุ์ในระดับท้องถิ่นได้ [5] อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ไม่พบพืชในรายงานการศึกษาในปี 2557 จำนวน 8 ชนิด อาจเนื่องมาจากช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลที่แตกต่างกัน ปัจจัยคุกคามจากกิจกรรมการท่องเที่ยว และปัจจัยจากการทำเกษตรกรรม ซึ่งอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตและจำนวนประชากรของพืชในอนาคต โดยข้อมูลจากการศึกษานี้สามารถสนับสนุนแนวทางการอนุรักษ์พันธุ์พืชบนระบบนิเวศเขาหินปูนและการจัดการพื้นที่เขาเย็น ต.ท่าขนุน อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี และพื้นที่เขาหินปูนอื่นให้เกิดการใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

[1] ดอกรัก มารอด และอุทิศ กุฏอินทร์. (2552). นิเวศวิทยาป่าไม้. กรุงเทพฯ: คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[2] นัยนา เทศนา และพาโชค พูดจา. (2564). พรรณไม้สำคัญในระบบนิเวศเขาหินปูนประเทศไทย. กรุงเทพ ฯ. : กลุ่มงานพฤกษศาสตร์ป่าไม้: กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 160 หน้า.

[3] ปุณยาพร อุดมผล และธรรมรัตน์ พุทธไทย. (2557). การศึกษาลักษณะโครงสร้างของสังคมพืชเขาหินปูนเปิดโล่ง บริเวณเขาเย็น ต. ท่าขนุน อ. ทองผาภูมิ จ. กาญจนบุรี. กาญจนบุรี: มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี.

[4] ราชันย์ ภู่มา. (2551). พืชหายากของประเทศไทย. สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. กรุงเทพมหานคร: ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

[5] โสมนัสสา แสงฤทธิ์, วรดลต์ แจ่มจำรูญ และนันทวรรณ สุปันตี. (2556). พรรณไม้เขาหินปูน: สถานภาพและปัจจัยคุกคาม. สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช: กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช: กรุงเทพฯ.

[6] สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช. (2556). พรรณไม้เขาหินปูน: สถานภาพและปัจจัยคุกคาม. กรุงเทพฯ: สำนักงานหอพรรณไม้.

[7] อลญา ชิวเชนโก, แหลมไทย อาษานอก, และดอกรัก มารอด. (2561). โครงสร้างและองค์ประกอบพรรณพืชในพื้นที่ป่าเขาหินปูนภายหลังการทำเหมือง จังหวัดแพร่. วารสารวนศาสตร์ 37 (1): 73 - 83 (2561).

[8] Curtis, J. T., & R. P. McIntosh. (1951). An upload forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. Ecology, 32 (3), 476 – 496.

[9] Asanok, L., & Marod, D. (2016). Environmental factors influencing tree species regeneration in different forest stands growing on a limestone hill in Phrae province, northern Thailand. Journal of Forest and Environmental Science, 32(3), 237–252. https://doi.org/10.7747/jfes.2016.32.3.237

[10] Ludwig, J. A., & Reynolds, J. F. (1988). Statistical ecology: A primer on methods and computing. New York: Wiley.

[11] McCune, B., & Grace, J. B. (2002). Analysis of ecological communities. MjM Software Design, Oregon, p 300.

[12] R Core Team (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

[13] Santisuk, T. (2006). Thailand Red Data: Plants. Onep Biodiversity Series. Vol. 17. Bangkok: Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning.

[14] Thammanu, S., Marod, D., Han, H., Bhusal, N., Asanok, L., Ketdee, P., et al. (2021). The influence of environmental factors on species composition and distribution in a community forest in Northern Thailand. J. For. Res. 32, 649–662. doi: 10.1007/s11676-020-01239-y

[15] Whittaker, R. H. (1970). The Population Structure of Vegetation (pp. 39–59). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-010-3353-4_5

[16] Zhu, X., Shen, Y., He, B., & Zhao, Z. (2017). Humus soil as a critical driver of flora conversion on karst rock outcrops. Scientific Reports, 7(1). https://doi.org/10.1038/s41598-017-13060-5

ความหลากหลายของมดในกับดักผลไม้และกับดักปลา ในน้ำตกโตนหญ้าปล้อง จังหวัดสงขลา

มนตรี สุวัฒนกุล[1], วโรดม แก้วงาม[1], กนกพร นวลดุก[1], ปรัชญาพร ธรรมวาโร[1*] และ นาวี หนุนอนันต์[2*]

[1]โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัยสมบูรณ์กุลกันยา ตำบลหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
[2]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
** Corresponding author Email: Montri_suw104@yorsor.ac.th*

บทคัดย่อ

มด (Formicidae) มีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศ เนื่องจากช่วยย่อยสลายอินทรียวัตถุ และสร้างความสัมพันธ์กับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น และพบแพร่กระจายในแหล่งที่อาศัยหลากหลาย การสำรวจความหลากหลายของมดซึ่งเข้ามาใช้ประโยชน์ในอาหารแต่ละแบบมีค่อนข้างน้อย การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจและเปรียบเทียบความหลากหลายของมดในกับดักผลไม้และกับดักปลา ในพื้นที่เกษตรแบบผสมผสานของน้ำตกโตนหญ้าปล้อง จังหวัดสงขลา ในช่วงเดือนธันวาคม 2567 ถึงมกราคม 2568 โดยวางแนวสำรวจ 4 แนวเส้นสำรวจ แต่ละเส้นสำรวจยาว 8 เมตร วางแนวเส้นสำรวจขนานและห่างกัน 20 เมตร แต่ละเส้นสำรวจวางกับดักผลไม้ซึ่งประกอบด้วย กล้วย มะละกอ และสับปะรด จำนวน 2 กับดัก และกับดักปลา ซึ่งประกอบด้วยเนื้อและกระดูกของปลา จำนวน 2 กับดัก วางกับดักผลไม้และกับดักปลาบนแผ่นสำลีและวางสลับกัน โดยแต่ละกับดักมีระยะห่าง 2 เมตร วางกับดัก 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำแผ่นสำลีซึ่งมีซากผลไม้และซากปลาใส่ในถุงซิบ เติมแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ในถุงซิบเพื่อเก็บรักษาสภาพตัวอย่างมด นำตัวอย่างถุงซิบมาคัดแยกตัวอย่างมดออกจากซากผลไม้และซากปลาในห้องปฏิบัติการ นำตัวอย่างมดมาจัดรูปร่างตามมาตรฐานสากลและจัดจำแนกในระดับวงศ์ย่อย สกุล และชนิด โดยใช้ลักษณะรูปร่างภายนอกของมดงานและถ่ายภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ผลการสำรวจพบมดทั้งหมด 4 วงศ์ย่อย 10 สกุล และ 12 ชนิด โดยวงศ์ย่อย Ponerinae พบความหลากหลายของมดในระดับสกุลมากที่สุด (4 สกุล) ขณะที่วงศ์ย่อย Myrmicinae พบความหลากหลายในระดับชนิดมากที่สุด (5 ชนิด) นอกจากนี้พบจำนวนสกุลและชนิดของมดในกับดักผลไม้มากกว่ากับดักปลา (8 สกุล 9 ชนิด และ 6 สกุล 6 ชนิด) เมื่อพิจารณาความคล้ายคลึงของชนิดมดในกับดักผลไม้และกับดักปลา พบว่ามีความคล้ายคลึงของชนิดมดน้อย (33 เปอร์เซ็นต์) โดยมดจำนวน 6 ชนิด และ 3 ชนิด พบเฉพาะในกับดักผลไม้และกับดักปลา ตามลำดับ ขณะที่มดจำนวน 3 ชนิด พบในกับดักทั้งสองรูปแบบ ความหลากหลายของมดในเดือนธันวาคมและมกราคม พบว่ามีความคล้ายคลึงของชนิดมดน้อยมาก (18 เปอร์เซ็นต์) โดยมดจำนวน 7 ชนิด และ 4 ชนิด พบเฉพาะในเดือนธันวาคมและมกราคม ตามลำดับ ผลการสำรวจครั้งนี้บ่งชี้ว่ามดโดยส่วนใหญ่มีความชอบอาหารแต่ละรูปแบบแตกต่างกัน การสำรวจครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานด้านนิเวศวิทยาของมดในป่าเขตร้อน

คำสำคัญ: ความหลากหลายของมด / กับดักผลไม้ / กับดักปลา / พื้นที่เกษตรแบบผสมผสาน / น้ำตกโตนหญ้าปล้อง

Diversity of Ants in the Fruit-bait Traps and the Fish-bait Traps in Ton Ya Plong Waterfall, Songkhla Province

Montri Suwattanakul[1], Varodom keawngam[1], Kanokporn Naualduk[1], Prachayaporn Thammavaro[1*], and Nawee Noon-anant[2*]

[1]Hatyaiwittayalaisomboonkulkanya School, Songkhla Province, Thailand
[2]Faculty of Science, Prince of Songkla University, Songkhla Province, Thailand
** Corresponding author Email: Montri_suw104@yorsor.ac.th*

Abstract

Ants (Formicidae) play an important role in ecosystems, such as aiding in the decomposition of organic matter, helping control pests, and forming mutualistic relationships with other organisms. Thay can also be found in a wide range of habitats. A few reports focused on the ant diversity exploiting the food resources. This study aimed to investigate and compare the ant diversity in the fruit-bait traps and fish-bait traps, in a mixed agriculture area in Ton Ya Plong Waterfall, Songkhla Province, Thailand, between December 2024 and January 2025. Established four survey lines, each 8 meters long and 20 meters apart. Along each line, two fruit traps made with bananas, oranges, and pineapples and two fish traps, containing fish meat and bones were placed. These were set alternately, 2 meters apart, on cotton sheets. After one hour, the sheets were collected and placed in zip-lock bags with 95 percent alcohol to preserve the ant specimens, and brought them to the lab. The ant specimens were sorted from baits and pinning according to the international standard methods, and identified into the subfamily, genus and species based on the morphological characteristics of the workers under a microscope. A total of 4 subfamilies, 10 genera, and 12 species of ants were found. The subfamily Ponerinae found the highest number of genera (4), while Myrmicinae had the highest number of species (5). Furthermore, the fruit-bait traps found a number of ant genera and species (8 genera, 9 species) more than the fish-bait traps (6 genera, 6 species). The number of ant species between the fruit-bait traps and the fish-bait traps showed the low similarities (33 percent), with 6 species and 3 species, found only in the fruit traps and the fish-bait traps, respectively. While, the 3 species of ants appearing in both type of traps. The ant diversity between December 2024 and January 2025, showed the quite low similarities (18 percent), with 7 species and 3 species, found only in December 2024 and January 2025, respectively. The results reveal that the most ants have specific food preferences, with some ant species potentially specialized to the certain food types. This survey lays a basic information for the ant ecology in tropical forest.

Keywords: Diversity of ants / Fruit-bait traps / Fish-bait traps / Mixed agriculture area / Ton Yan Plong waterfall

1. บทนำ

มด เป็นแมลงสังคมในวงศ์ Formicidae ปัจจุบันมีการจำแนกชนิดของมดมากกว่า 16,000 ชนิด และมีการคาดการณ์ว่ามีชนิดซึ่งยังไม่ถูกค้นพบมากถึง 20,000 ชนิด [1] มดเป็นแมลงสังคมซึ่งมีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศทั่วโลก สามารถพบเจอได้อย่างกว้างขวาง ในระบบนิเวศพื้นดินยกเว้นบริเวณขั้วโลก มดหลายชนิดกินซากพืชและ [2] มดหลายชนิดมีบทบาทในการกระจายเมล็ดพืช [3] มดบางชนิดสามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดระดับความสมบูรณ์ของป่าและระดับมลพิษทางสิ่งแวดล้อม [4] และมดบางชนิดใช้ควบคุมศัตรูพืชในการเกษตร [5]

น้ำตกโตนหญ้าปล้อง ตั้งอยู่หมู่ที่ 4 ตำบลทุ่งใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เป็นหนึ่งในพื้นที่ของเขาคอหงส์ ซึ่งเป็นป่าดิบชื้น และบางพื้นที่ถูกใช้เป็นพื้นที่ทำการเกษตรของชาวบ้าน [6] ขณะที่การสำรวจความหลากหลายของมดซึ่งเข้ามาใช้ประโยชน์ในอาหารแต่ละรูปแบบมีค่อนข้างน้อย การสำรวจครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานด้านนิเวศวิทยาของมดในป่าเขตร้อน

2. วัตถุประสงค์

1. สำรวจและเปรียบเทียบความหลากหลายของมด ในกับดักผลไม้และกับดักปลา ในพื้นที่เกษตรแบบผสมผสานของน้ำตกโตนหญ้าปล้อง จังหวัดสงขลา

2. สำรวจและเปรียบเทียบความหลากหลายของมด ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 และมกราคม พ.ศ. 2568 ในพื้นที่เกษตรแบบผสมผสานของน้ำตกโตนหญ้าปล้อง จังหวัดสงขลา

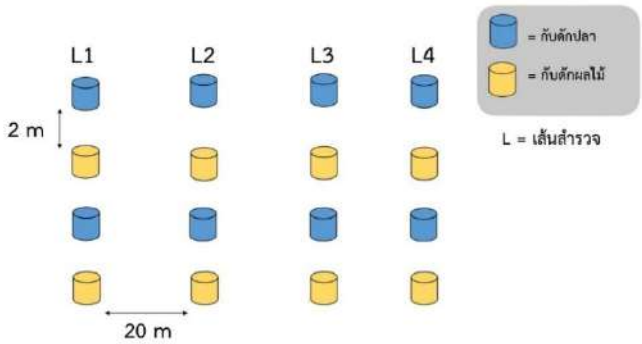
3. ขอบเขตของการศึกษา

สำรวจและเปรียบเทียบความหลากหลายของมดในกับดักผลไม้และกับดักปลา ในพื้นที่เกษตรแบบผสมผสานของน้ำตกโตนหญ้าปล้อง จังหวัดสงขลา ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 ถึงมกราคม พ.ศ. 2568

4. วิธีการศึกษา

4.1 การรวบรวมข้อมูล

สำรวจความหลากหลายของมดในกับดักผลไม้และกับดักปลา ในพื้นที่เกษตรแบบผสมผสานของน้ำตกโตนหญ้าปล้อง โดยวางแนวเส้นสำรวจหลัก 4 แนวเส้นสำรวจ แต่ละเส้นสำรวจยาว 8 เมตร วางแนวเส้นสำรวจขนานและห่างกัน 20 เมตร แต่ละเส้นสำรวจวางกับดักผลไม้ โดยกับดักผลไม้ประกอบด้วย กล้วย มะละกอ และสับปะรด จำนวน 2 กับดัก และกับดักปลา ซึ่งประกอบด้วยเนื้อและกระดูกของปลา จำนวน 2 กับดัก วางซากผลไม้และซากปลาบนแผ่นสำลีและวางสลับกัน โดยแต่ละกับดักมีระยะห่าง 2 เมตร (รูปที่ 1) วางกับดัก 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำแผ่นสำลีซึ่งมีซากผลไม้และซากปลาใส่ในถุงซิบ เติมแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ในถุงซิบเพื่อเก็บรักษาสภาพตัวอย่างมด นำตัวอย่างถุงซิบมาคัดแยกตัวอย่างมดออกจากซากผลไม้และซากปลาในห้องปฏิบัติการ นำตัวอย่างมดมาจัดรูปร่างตามมาตรฐานสากลและจัดจำแนกในระดับวงศ์ย่อย สกุล และชนิด โดยใช้ลักษณะรูปร่างภายนอกของมดงานอ้างอิงจากหนังสือ Ants of Thailand [7] บันทึกตัวอย่างภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ฟลูออเรสเซนต์สเตอริโอ (Leica M205FCA) และปรับแต่งโดยโปรแกรม Adobe Photoshop



รูปที่ 1 แสดงรูปแบบการวางแนวเส้นสำรวจหลัก 4 แนวเส้นสำรวจหลัก และตำแหน่งการวางกับดักผลไม้และกับดักปลา

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.2.1 องค์ประกอบชนิด (species composition) โดยวิเคราะห์จำนวนและสัดส่วนของมดในระดับวงศ์ สกุล และชนิด

4.2.2 ความคล้ายคลึงของชนิดมด ใช้ดัชนี Sorensen's Similarity Index โดยใช้สูตรดังนี้ [8]

$$C_N = 2jN / (N_a + N_b)$$

C_N = สัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึงของมดในน้ำตกโตนหญ้าปล้อง

2jN = จำนวนชนิดของมดซึ่งพบในกับดักผลไม้และกับดักปลา

N_a = จำนวนชนิดของมด ซึ่งพบเฉพาะในกับดักผลไม้

N_b = จำนวนชนิดของมด ซึ่งพบเฉพาะในกับดักปลา

ค่าความคล้ายคลึงของชนิดมด ระหว่าง 0-1 โดย 0.00-0.50 เท่ากับ ความคล้ายคลึงน้อย และ 0.51-1.00 เท่ากับ ความคล้ายคลึงมาก

4.2.3 ความถี่การปรากฏของมดแต่ละชนิด โดยใช้สูตรดังนี้ [9]

$$\text{ความถี่ในการปรากฏ} = \frac{\text{จำนวนครั้งซึ่งพบมดแต่ละชนิด}}{\text{จำนวนครั้งที่สำรวจทั้งหมด}} \times 100$$

เกณฑ์ความถี่ในการปรากฏของมดดังนี้ พบบ่อย = มากกว่าร้อยละ 70, พบปานกลาง = ร้อยละ 40-69 และ พบน้อย = น้อยกว่าร้อยละ 40 [9]

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา

5.1 ความหลากหลายของมดในกับดักผลไม้และกับดักปลา

ผลการสำรวจพบมดทั้งหมด 4 วงศ์ย่อย 10 สกุล และ 12 ชนิด โดยวงศ์ย่อย Ponerinae พบความหลากหลายของมดในระดับสกุลมากที่สุด (4 สกุล) รองลงมาได้แก่ Myrmicinae, Dolichoderinae และ Formicinae ตามลำดับ (3, 2 และ 1 สกุล)

ตามลำดับ ขณะที่วงศ์ย่อย Myrmicinae พบความหลากหลายในระดับชนิดมากที่สุด (5 ชนิด) รองลงมาได้แก่ Ponerinae, Dolichoderinae และ Formicinae ตามลำดับ (4, 2 และ 1 ชนิด) ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 จำนวนวงศ์ย่อย สกุล ชนิดของมดซึ่งพบในกับดักผลไม้และกับดักปลา ระหว่างเดือนธันวาคม 2567 ถึงมกราคม 2568 ในพื้นที่เกษตรแบบผสมผสานของน้ำตกโตนหญ้าปล้อง จังหวัดสงขลา

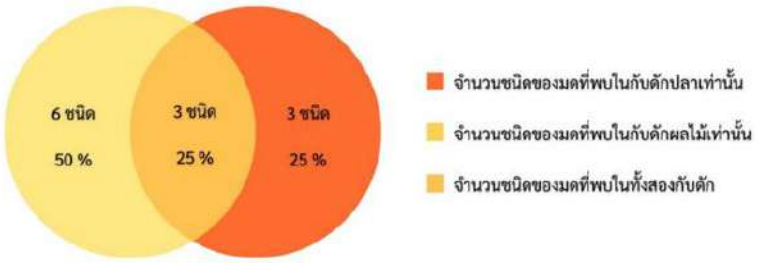
วงศ์ย่อย	กับดักผลไม้		กับดักปลา		จำนวนทั้งหมด	
	จำนวนสกุล (%)	จำนวนชนิด (%)	จำนวนสกุล (%)	จำนวนชนิด (%)	สกุล (%)	ชนิด (%)
1. Myrmicinae	3 (43)	3 (38)	2 (33)	2 (33)	3 (30)	5 (42)
2. Ponerinae	2 (29)	3 (38)	3 (50)	3 (50)	4 (40)	4 (33)
3. Dolichoderinae	1 (14)	1 (12)	1 (17)	1 (17)	2 (20)	2 (17)
4. Formicinae	1 (14)	1 (12)	0 (0)	0 (0)	1 (10)	1 (8)
รวม	7 (100)	8 (100)	6 (100)	6 (100)	10 (100)	12 (100)

วงศ์ย่อย Ponerinae พบความหลากหลายในระดับสกุลมากที่สุด อาจเนื่องจากมดวงศ์ย่อยนี้ มีพฤติกรรมการหาอาหารหลากหลาย บางชนิดเป็นนักล่า เช่น ล่าปลวกหรือแมลง ขณะที่บางชนิดเป็นนักล่าแบบเก็บซากสัตว์ และพบได้ทั้งบริเวณพื้นดิน ใต้ดิน และในซากไม้ผุ ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการปรับตัวต่อสภาพแวดล้อม [10] ขณะที่มดวงศ์ย่อย Myrmicinae พบความหลากหลายในระดับชนิดมากที่สุด อาจเนื่องจากมดวงศ์ย่อยนี้ มีพฤติกรรมการหาอาหารหลากหลาย บางชนิดเป็นนักล่า บางชนิดเก็บเมล็ดพืช หรือเก็บน้ำหวานจากพืช ตั้งแต่ใต้ดินจนถึงยอดไม้ และเป็นวงศ์ย่อยซึ่งมีรายงานพบจำนวนชนิดมากที่สุด [11]

ผลการสำรวจครั้งนี้พบจำนวนวงศ์ย่อย สกุลและชนิดของมด ในกับดักผลไม้มากกว่ากับดักปลา (4 และ 3 วงศ์ย่อย 7 และ 6 สกุล และ 8 และ 6 ชนิด ตามลำดับ) อาจเนื่องจากมดโดยส่วนใหญ่สามารถใช้ประโยชน์จากซากผลไม้ซึ่งมีขนาดเล็กได้ง่ายกว่าซากปลาซึ่งมีขนาดใหญ่

5.2 ความคล้ายคลึงของชนิดมดในกับดักผลไม้และกับดักปลา

ความคล้ายคลึงของชนิดมดระหว่างกับดักผลไม้และกับดักปลา พบความคล้ายคลึงของชนิดมดน้อย (0.33 คิดเป็นร้อยละ 33) โดยมดจำนวน 6 ชนิด (ร้อยละ 50) และ 3 ชนิด (ร้อยละ 25) พบเฉพาะในกับดักผลไม้และกับดักปลา ตามลำดับ ขณะที่มดจำนวน 3 ชนิด (ร้อยละ 25) พบทั้งกับดักผลไม้และกับดักปลา (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 จำนวนชนิดของมดซึ่งพบเฉพาะในกับดักผลไม้ เฉพาะในกับดักปลา และพบทั้งสองกับดักในพื้นที่เกษตรแบบผสมผสานของน้ำตกโตนหญ้าปล้อง จังหวัดสงขลา

มดซึ่งพบเฉพาะในกับดักผลไม้ จำนวน 6 ชนิด (ร้อยละ 50) เช่น *Odontomachus rixosus* (Smith, 1857) (รูปที่ 3) มีพฤติกรรมพึ่งพาอาหารซึ่งมีพลังงานสูง [12] และมดซึ่งพบในกับดักปลา จำนวน 3 ชนิด (ร้อยละ 25) พบเฉพาะในกับดักปลา เช่น *Tapinoma melanocephalum* (Fabricius, 1793) เป็นมดรุกรานที่ต้องการโปรตีนเพื่อการเจริญเติบโต [13] และมดซึ่งพบทั้งกับดักผลไม้และกับดักปลา จำนวน 3 ชนิด (ร้อยละ 25) เช่น *Odontoponera denticulata* (Smith, 1858) (รูปที่ 4) มีความสามารถในการปรับตัวสูงและสามารถใช้ประโยชน์จากอาหารหลากหลายรูปแบบ [14]

รูปที่ 3 วงศ์ย่อย Ponerinae *Odontomachus rixosus* (Smith, 1857)

รูปที่ 4 วงศ์ย่อย Ponerinae *Odontoponera denticulata* (Smith, 1858)

5.3 ความถี่ในการปรากฏของชนิดมดในกับดักผลไม้และกับดักปลา

มดซึ่งพบในกับดักผลไม้บ่อย (มากกว่าร้อยละ 70) จำนวน 1 ชนิด คือ *Odontoponera denticulata* (Smith, 1858) ขณะที่มดจำนวน 8 ชนิด พบในระดับปานกลาง (ร้อยละ 40-69) ได้แก่ *Odontomachus rixosus* (Smith, 1857), *Diacamma* sp., *Proatta butteli* (Forel, 1912), *Aphaenogaster* sp., *Technomyrmex* sp., *Pheidole* sp.2, *Pheidole* sp.3 และ *Nylanderia* sp.

มดซึ่งพบในกับดักปลาบ่อย (มากกว่าร้อยละ 70) จำนวน 1 ชนิด คือ *Odontoponera denticulata* (Smith, 1858) ขณะที่มด จำนวน 5 ชนิด พบในระดับปานกลาง (ร้อยละ 40-69) ได้แก่ *Diacamma* sp. (รูปที่ 5) , *Leptogenys* sp. (รูปที่ 6), *Aphaenogaster* sp., *Pheidole* sp.1 และ *Tapinoma melanocephalum* (Fabricius, 1793),

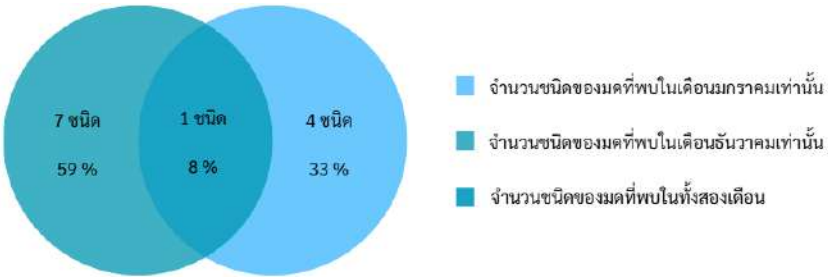
Odontoponera denticulata (Smith, 1858) พบบ่อย (มากกว่าร้อยละ 70) ทั้งกับดักผลไม้และกับดักปลา แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการใช้ประโยชน์จากอาหารได้ทั้งสองรูปแบบ และมดซึ่งพบในกับดักผลไม้ระดับปานกลาง (ร้อยละ 40-69) เช่น *Technomyrmex* sp. และ *Nylanderia* sp. แสดงให้เห็นถึงความต้องการพลังงานสูง [13] ขณะที่มดซึ่งพบในกับดักผลไม้ระดับปานกลาง (ร้อยละ 40-69) เช่น *Tapinoma melanocephalum* (Fabricius, 1793) บ่งบอกถึงการพึ่งพาโปรตีนเพื่อการเติบโตและขยายอาณาเขต [15]

รูปที่ 5 วงศ์ย่อย Ponerinae *Diacamma* sp.

รูปที่ 6 วงศ์ย่อย Ponerinae *Leptogenys* sp.

5.4 ความคล้ายคลึงของชนิดมดในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 และมกราคม พ.ศ. 2568

ความคล้ายคลึงของชนิดมดในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 และมกราคม พ.ศ. 2568 พบความคล้ายคลึงของชนิดมดน้อย (คิดเป็นร้อยละ 18) โดยมดจำนวน 7 ชนิด (ร้อยละ 59) และ 4 ชนิด (ร้อยละ 33) พบเฉพาะในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 และเดือนมกราคม พ.ศ. 2568 ตามลำดับ ขณะที่มดจำนวน 1 ชนิด (ร้อยละ 8) พบทั้งเดือนธันวาคมและมกราคม (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 จำนวนชนิดของมดซึ่งพบเฉพาะในเดือนธันวาคม เฉพาะในเดือนมกราคม และพบทั้งสองเดือน ในพื้นที่เกษตรแบบผสมผสานของน้ำตกโตนหญ้าปล้อง จังหวัดสงขลา

มดซึ่งพบเฉพาะเดือนธันวาคม จำนวน 7 ชนิด (ร้อยละ 59) เช่น *Odontomachus rixosus* (Smith, 1857) มีรายงานพบในพื้นที่ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูง [16] ขณะที่มด จำนวน 4 ชนิด (ร้อยละ 33) พบเฉพาะในเดือนมกราคม เช่น *Technomyrmex* sp. และมด จำนวน 1 ชนิด (ร้อยละ 8) พบทั้งเดือนธันวาคมและมกราคม คือ *Odontoponera denticulata* (Smith, 1858) แสดงถึงความสามารถในการปรับตัวและขอบเขตการกระจายกว้างขวาง [15] โดยมดชนิดนี้มีรายงานพบว่าสามารถปรับพฤติกรรมการหาอาหารให้สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง [17]

5.5 ความถี่ในการปรากฏของมดในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 และมกราคม พ.ศ. 2568

มดซึ่งพบในเดือนธันวาคมบ่อย (มากกว่าร้อยละ 70) จำนวน 3 ชนิด คือ *Odontoponera denticulata* (Smith, 1858), *Aphaenogaster* sp. และ *Diacamma* sp. และพบในระดับปานกลาง (ร้อยละ 40-69) จำนวน 5 ชนิด คือ *Odontomachus rixosus* (Smith, 1857), *Leptogenys* sp., *Pheidole* sp.1, *Proatta butteli* (Forel, 1912) และ *Tapinoma melanocephalum* (Fabricius, 1793)

มดซึ่งพบในเดือนมกราคมบ่อย (มากกว่าร้อยละ 70) คือ *Odontoponera denticulata* (Smith, 1858) และพบในระดับปานกลาง (ร้อยละ 40-69) จำนวน 4 ชนิด คือ *Technomyrmex* sp., *Pheidole* sp.2, *Pheidole* sp.3 และ *Nylanderia* sp.

ผลการสำรวจความถี่ของการปรากฏของชนิดมดในเดือนธันวาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูง [16] พบมดซึ่งมีความถี่ของการปรากฏในระดับสูง (มากกว่าร้อยละ 70) จำนวน 3 ชนิด เช่น *Odontoponera denticulata* (Smith, 1858) และพบมดซึ่งมีความถี่ของการปรากฏในระดับปานกลาง (ร้อยละ 40-69) เช่น *Odontomachus rixosus* (Smith, 1857) และ *Leptogenys* sp. แสดงให้เห็นถึงการตอบสนองต่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูง การเพิ่มขอบเขตการหาอาหาร [17] ขณะที่เดือนมกราคม มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำกว่าเดือนธันวาคม [16] นอกจากนี้พบมดจำนวน 1 ชนิด (พบความถี่ของการปรากฏมากกว่าร้อยละ 70) คือ *Odontoponera denticulata* (Smith, 1858) และพบมดซึ่งมีความถี่ของการปรากฏในระดับปานกลาง (ร้อยละ 40-69) จำนวน 4 ชนิด เช่น *Technomyrmex* sp. และ *Pheidole* sp.2 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศมีผลต่อความถี่ของการปรากฏของชนิดมด นอกจากนี้พบว่า *Odontoponera denticulata* (Smith, 1858) พบความถี่ของการปรากฏในระดับบ่อย (มากกว่าร้อยละ 70) ทั้งเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 และมกราคม พ.ศ. 2568 บ่งชี้ถึงความสามารถในการปรับตัวและการดำรงชีวิตในสภาพอากาศซึ่งเปลี่ยนแปลง [18] เช่นเดียวกับการรายงานพบมดชนิดนี้ในพื้นที่ทั่วประเทศไทย [7]

6. สรุปผลการศึกษา

ความหลากหลายของมดระหว่างกับดักผลไม้และกับดักปลา และความหลากหลายของมดระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 และมกราคม พ.ศ. 2568 ในน้ำตกโตนหญ้าปล้อง จังหวัดสงขลา มีความแตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

[1] AntWeb. (2024). *Ant*. สืบค้น ธันวาคม 6, 2567 จาก https://www.antweb.org/advSearch.do.

[2] Del Toro, I., Ribbons, R. R., & Pelini, S. L. (2012). The little things that run the world revisited: A review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). Myrmecological News, 17, 133–146.

[3] Giladi, I. (2006). Choosing benefits or partners: A review of the evidence for the evolution of myrmecochory. Oikos, 112(3), 481–492.

[4] Andersen, A.N. (1997). Using ants as bioindicators: Multiscale issues in ant community ecology. Conservation Ecology, 1(1), 8. https://doi:10.5751/ES-00014-010108.

[5] Offenberg, J. (2015). Ants as tools in sustainable agriculture. Journal of Applied Ecology, 52(5),1197–1205. https://doi:10.1111/1365-2664.12496.

[6] ประกาศ สว่างโชติ, และคนอื่นๆ (2556). ข้อมูลพื้นฐานเขาคอหงส์ (พิมพ์ครั้งที่ 1). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[7] วียะวัฒน์ ใจตรง, เกรียงไกร สุวรรณภักดิ์, ยุทธนา สามัง, และทัศนัย จีนทอง. (2563). มดประเทศไทย Ants of Thailand (พิมพ์ครั้งที่ 1). องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ.

[8] Magurran, A. E. (2004). Measuring Biological Diversity. Blackwell Publishing.

[9] ศศิธร หาสิน. (2551). ความหลากชนิดของมดบริเวณสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 94 หน้า.

[10] Subedi, I. S., Bharti, H., Alonso, L., Yamane, S., & Budha, P. B. (2023). Ponerine ants of Nepal (Hymenoptera: Formicidae, Ponerinae): a generic synopsis, new faunal records, and rediscovery of a rare ant, *Emeryopone franzi* (Baroni Urbani 1975) Citation Indra. Asian Myrmecology. 16. 1-20. https://doi.org/10.20362/am.016003.

[11] Sharaf, M. R., Akbar, S. A., Al Dhafer, H. M., El-Gharbawy, A., & Aldawood, A. S. (2017). Taxonomy of the Myrmicine ant genus *Temnothorax* Mayr, 1861 (Formicidae: Myrmicinae) in the Arabian Peninsula. European Journal of Taxonomy. 280: 1–17. http://dx.doi.org/10.5852/ejt.2017.280.

[12] Moses, J., et al. (2023). Nutrient use by tropical ant communities varies among three extensive elevational gradients: A cross-continental comparison. Global Ecology and Biogeography, 33(2), 209–221. https://doi.org/10.1111/geb.13757.

[13] วรีภัทรา ดอนไพรอ่อน, รัตนา นาคสิงห์, วันดี วัฒนชัยยิ่งเจริญ, และธัชคณิน จงจิตวมิล. (2561). ความหลากชนิดของมดในสวนมะม่วง จังหวัดพิษณุโลก. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มรพส., 3(1), 1-8.

[14] AntWiki. (2025). *Odontoponera denticulata*. สืบค้น กุมภาพันธ์ 10, 2568 จาก https://antwiki.org/wiki/Odontoponera_denticulata.

[15] AntWiki. (2024). *Tapinoma melanocephalum*. สืบค้น กุมภาพันธ์ 10, 2568 จาก https://antwiki.org/wiki/ Tapinoma_melanocephalum.

[16] กรมอุตุนิยมวิทยา. (2567). ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก. สืบค้น กุมภาพันธ์ 12, 2568 จาก https://songkhla.tmd.go.th/

[17] กิตติ ตันเมืองปัก. (2567). ความหลากชนิดและความชุกชุมของมดในเขตป่าเบญจพรรณ บริเวณป่าชุมชนบ้านหัวนา อำเภอเมืองเลย จังหวัดเลย. การประชุมวิชาการระดับชาติครุศาสตร์ ครั้งที่ 11 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 9.

[18] ชมัยพร บัวมาศ, ชลิดา อุณหวุฒิ, ลักขณา บำรุงศรี, และประยูร สมฤทธิ์. (2556). ความหลากชนิดของมดในพื้นที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรตาก และป่าธรรมชาติของจังหวัดตาก. กรมวิชาการเกษตร.

การประเมินปริมาณคาร์บอนสะสมด้วยอากาศยานไร้คนขับในแปลงป่าสักที่ดูแลโดยศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี

ชินพัฒน์ สะตะ[1], สุธินี อ่อนอ่วม[2], ศตายุ ปานจินดา[2], แรกขวัญ ผลธัญญา[3], และ พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา[1,3*]

[1]ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย
[2]หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย
[3]ศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย
** Corresponding author: pongchai.d@chula.ac.th*

บทคัดย่อ

ประเทศไทยกำหนดเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนภายในปี ค.ศ. 2050 เพื่อร่วมแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับนานาประเทศ มาตรการหนึ่งคือการใช้ระบบนิเวศป่าไม้ที่สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ซึ่งจำเป็นต้องมีการติดตามปริมาณคาร์บอนสะสมและการเพิ่มพูนคาร์บอนสะสมในต้นไม้ อย่างไรก็ตาม วิธีการศึกษาแบบดั้งเดิมต้องใช้งบประมาณ แรงงาน และเวลามาก ปัจจุบัน มีการนำอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) มาใช้เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนสะสมจากวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม และวิธีการใช้ UAV ในแปลงต้นสักอายุ 3 ปี ที่ดูแลโดยศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี การศึกษาทำโดยวางแปลงศึกษาภาคสนามในพื้นที่ 15 ไร่ บันทึกความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (Diameter at Breast Height: DBH) แล้วนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและ DBH จากนั้นคำนวณมวลชีวภาพเหนือและใต้พื้นดินโดยใช้สมการแอลโลเมตรี แล้วหาค่าปริมาณคาร์บอนสะสม สำหรับวิธีการ UAV ทำโดยการถ่ายภาพถ่ายทางอากาศ จากนั้นนำมาสร้างแบบจำลองความสูงสิ่งปกคลุมเชิงเลข (Digital Surface Model: DSM) และแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Terrain Model: DTM) แล้วนำมาสร้างแบบจำลองความสูงทรงพุ่ม (Canopy Height Model: CHM) เพื่อหาความสูงของต้นไม้ และนำมาประมาณค่า DBH ด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับ DBH ที่สร้างขึ้น ผลการศึกษาพบว่าปริมาณคาร์บอนสะสมจากทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธีการวางแปลงภาคสนาม มีค่าเท่ากับ 12.1 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ และวิธีการ UAV มีค่าเท่ากับ 7.9 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่

คำสำคัญ: คาร์บอนสะสม / โฟโตแกรมเมตรี / มวลชีวภาพ / สมการแอลโลเมตรี / อากาศยานไร้คนขับ

Estimation of Carbon Stock using Unmanned Aerial Vehicle in Teak Plantation Plot Managed by Center of Learning Network for the Region, Chulalongkorn University, Saraburi Province

Chinnapat Sata[1], Suthinee Onuam[2], Satayu Panjinda[2], Raekkhwan Polthanya[3], and Pongchai Dumrongrojwatthana[1,3*]

[1]Department of biology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand
[2]Interdisciplinary Program in Environmental Science, Graduate School, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand
[3]Center of Learning Network for the Region, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand
** Corresponding author: pongchai.d@chula.ac.th*

Abstract

Thailand has set a carbon neutrality target by 2050 to collaborate with other countries in addressing climate change issue. A key measure is the use of forest ecosystems that can absorb carbon dioxide. To successfully implement this, it is necessary to monitor carbon stock and increment in trees. However, the conventional method requires significant time, labor, and financial resources. To reduce these limitations, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have recently been introduced as an alternative. This study aims to compare the carbon stock measured from conventional method and UAV-based method in a 3-year-old teak plantation managed by the Center of Learning Network for the Region, Chulalongkorn University, Saraburi Province. We established field plots across the study area of 15 rai, where tree height (H) and diameter at breast height (DBH) were recorded. These data were used to develop a DBH-H relationship. Aboveground and belowground biomass were calculated using allometric equation before converting to carbon stock. For the UAV-based method, aerial photographs were captured and used to generate a digital surface model (DSM) and a digital terrain model (DTM). DSM and DTM were used to produce a canopy height model (CHM). Tree height values obtained from the CHM were then used to estimate DBH using DBH-H relationship. The results revealed a statistically significant difference in carbon stocks estimated from two methods at the 95% confidence level. Carbon stock from plot-based method was 12.1 kgC/rai, while the UAV method produced a lower estimate of 7.9 kgC/rai.

Keywords: Allometric equation / Biomass / Carbon storage / Photogrammetry / Unmanned aerial vehicles

1. บทนำ

ประเทศไทยกำหนดเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon neutrality) ภายในปี ค.ศ. 2050 และปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net zero greenhouse gas emission) ภายในปี ค.ศ. 2065 [1] เพื่อร่วมแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับนานาประเทศ มาตรการหนึ่งคือการใช้ระบบนิเวศป่าไม้ที่สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการตรึงคาร์บอน (carbon fixation) ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) [2] และเปลี่ยนเป็นสารประกอบคาร์บอนอื่น เก็บในรูปของมวลชีวภาพ (biomass) โดยสะสมตามส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ [3] ดังนั้น จึงจำเป็นต้องติดตามปริมาณคาร์บอนสะสมและการเพิ่มพูนคาร์บอนสะสมในต้นไม้

ปริมาณคาร์บอนสะสมมีค่าประมาณร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดิน (aboveground biomass) (belowground biomass) ซึ่งหาได้จากสมการแอลโลเมตรี (allometric equation) [4] โดยมีตัวแปรที่สำคัญ คือ ความสูงของต้นไม้และเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (diameter at breast height: DBH) สามารถเก็บข้อมูลได้จากวิธีการวางแปลงภาคสนาม อย่างไรก็ตามการใช้วิธีนี้มีต้นทุนสูงในด้านของงบประมาณ แรงงานและเวลา อีกเทคโนโลยีหนึ่งที่สามารถช่วยลดต้นทุนดังกล่าวได้ นั่นคือการใช้อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) [5] โดยอากาศยานไร้คนขับ คือ อากาศยานบังคับหรือควบคุมจากระยะไกลโดยมนุษย์ โดยทั่วไปมักเรียกกันว่า "โดรน" เป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เช่น งานสำรวจด้วยภาพถ่าย การสนับสนุนการปรับปรุงแผนที่ให้เป็นปัจจุบันในระบบภูมิสารสนเทศ การทำแผนที่เฉพาะกิจ และยังมีการนำมาใช้ในการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และปริมาณคาร์บอนสะสม [6]

จากการศึกษาก่อนหน้าพบว่ามีการใช้ UAV ในการประเมินปริมาณคาร์บอนสะสมในพื้นที่ป่าธรรมชาติและป่าปลูกในหลายจังหวัดของประเทศไทย เช่น ป่าธรรมชาติในจังหวัดพิจิตร พื้นที่ศึกษา 1,080 ไร่ ปริมาณคาร์บอนสะสมที่วัดได้จากวิธีการวางแปลงและ UAV คือ 2,011 และ 1,461 ตัน ตามลำดับ [7] และป่าปลูกในจังหวัดกาญจนบุรี พื้นที่ศึกษา 14,825 ไร่ ปริมาณคาร์บอนสะสมที่วัดได้จากวิธีการวางแปลง และ UAV คือ 13,727 และ 12,267 ตัน ตามลำดับ [8] แม้ว่าค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกันระหว่างวิธีการทั้งสองวิธี แต่เห็นได้ว่าวิธีการ UAV สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินปริมาณคาร์บอนสะสมได้

อย่างไรก็ตาม พบว่ายังขาดการศึกษาเกี่ยวกับการนำ UAV มาใช้ประเมินปริมาณคาร์บอนสะสมในพื้นที่ป่าปลูกที่มีอายุน้อยแต่มีพื้นที่กว้างและต้องใช้กำลังคนในการเก็บข้อมูลเช่นกัน ผู้วิจัยจึงเลือกพื้นที่ศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี ซึ่งมีพื้นที่แปลงป่าสักขนาด 15 ไร่ อายุ 3 ปี เพื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนสะสมจากวิธีการวางแปลงภาคสนาม (ในที่นี้ หมายถึงการเก็บข้อมูลแบบดั้งเดิม โดยวางแปลงหรือวางแนวเขต แล้ววัดขนาดและความสูงต้นไม้ในภาคสนาม) และวิธีการ UAV เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการวางแผนการจัดการพื้นที่แปลงปลูกของทางศูนย์ฯ และต่อยอดสำหรับงานวิจัยด้านนี้ต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนสะสมจากวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม และวิธีการใช้ UAV ในแปลงป่าสักอายุ 3 ปีที่ดูแลโดยศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบการประเมินปริมาณคาร์บอนสะสมจากวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม และวิธีการใช้ UAV ในแปลงป่าสักอายุ 3 ปีที่ดูแลโดยศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาฯ จ.สระบุรี โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. พื้นที่ศึกษาเฉพาะแปลงปลูกป่าสักอายุ 3 ปี ระยะปลูก 4 × 4 ม. ในศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาฯ จ.สระบุรี
2. เก็บข้อมูลในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2567
3. ชนิดของพรรณไม้ที่ศึกษาคือ สัก *Tectona grandis*

4. วิธีการศึกษา

4.1. รวบรวมข้อมูล

4.1.1. วิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม

4.1.1.1. วัดความสูงโดยใช้ไม้วัดความสูง

4.1.1.2. วัดเส้นรอบวงระดับอกของต้นไม้ทุกต้น (circumference at breast height: CBH) ที่มีความสูงจากพื้นดิน 130 เซนติเมตร โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ เพื่อนำมาหาเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกของต้นไม้ (diameter at breast height: DBH)

4.1.1.3. บันทึกค่าพิกัดกริด Universal Transverse Mercator (UTM) WSG-1984 ของ ต้นไม้แต่ละต้นโดยใช้ GNSS-RTK ยี่ห้อ Stonex S900 จากนั้นนำเข้าข้อมูลสู่โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อประมวลผล

4.1.1.4. นำความสูงและ DBH มาหาสมการความสัมพันธ์ (D-H relation) ที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษานี้จาก 29 ฟังก์ชัน [9] ในโปรแกรม MATLAB

คำนวณมวลชีวภาพเหนือและใต้พื้นดินด้วยสมการแอลโลเมตรีของต้นสักอายุ 5-33 ปี [10] ดังนี้

มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (AGB) = $0.065\ (DBH)^{2.57}$ กิโลกรัม $R^2 = 0.99$

มวลชีวภาพใต้พื้นดิน (BGB) = $0.046\ (DBH)^{2.1763}$ กิโลกรัม $R^2 = 0.90$

เมื่อ DBH คือ เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (เซนติเมตร)

4.1.1.5. คำนวณปริมาณคาร์บอนสะสมด้วย convention factor โดยมีค่าประมาณร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน [4]

4.1.1.6. ขั้นตอนการศึกษาแสดงดังรูปที่ 1

4.1.2. วิธีการใช้อากาศยานไร้คนขับ

ใช้อากาศยานไร้คนขับรุ่น Autel Robotics Evo II

4.1.2.1. วาดแนวบินแบบแนวเดียว (single grid flight paths) ให้ครอบคลุมทั้งพื้นที่ และตั้งค่าโปรแกรมบินอัตโนมัติในและแปลงปลูกป่าเพื่อคาร์บอนเครดิต โดยบินที่ระดับความสูง 50 ม.จากพื้นดิน ตามลำดับ ในการถ่ายภาพกำหนดให้มีส่วนซ้อน (overlap) 80% ของภาพ และส่วนเกย (sidelap) 70% ของภาพ ความเร็วในการบิน 8 เมตร/วินาที ตั้งมุม กล้องไว้ที่ 90° ด้วยแอปพลิเคชัน Autel Explorer

4.1.2.2. นำภาพถ่ายทางอากาศมาประมวลผลในโปรแกรม Agisoft Metashape Professional โดยทำการต่อภาพเพื่อสร้างข้อมูล point cloud ด้วยคำสั่ง align photo จากนั้นเพิ่มความหนาแน่นของข้อมูลด้วยคำสั่ง build dense cloud

4.1.2.3. สร้างแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (digital surface model: DSM) ด้วยคำสั่ง build DEM จากนั้นส่งออกข้อมูลเป็นสกุล .tiff

4.1.2.4. ทำการแยกชั้นข้อมูล ด้วยคำสั่ง classify ground point สร้างแบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข (digital terrain model: DTM) ด้วยคำสั่ง build DEM ใน point classes ให้เลือกเฉพาะ ground จากนั้นส่งออกข้อมูลเป็นสกุล .tiff

4.1.2.5. สร้างภาพถ่ายออร์โธโมเสค (orthomosaic) ด้วยคำสั่ง build orthomosaic จากนั้นส่งออกข้อมูลเป็นสกุล .tiff

4.1.2.6. นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อในโปรแกรม ArcGIS v10.8

4.1.2.7. นำเข้าพิกัดต้นไม้ที่มีสกุลไฟล์เป็น .csv และ export data จะได้ layers ของพิกัดต้นไม้ที่พร้อมใช้งาน

4.1.2.8. สร้าง buffer ออกจากพิกัดจุดต้นไม้รัศมี 1.5 ม. ด้วยเครื่องมือ buffer ในการเลือกรัศมีในการทำ buffer คำนึงถึงระยะการปลูกของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษา (4 x 4 ม.) เพื่อไม่ให้เกิดการทับซ้อนของ buffer จากต้นไม้ข้างเคียง

4.1.2.9. ทำการหาจุดที่สูงที่สุดของ DSM โดยใช้เครื่องมือ zonal statistics ใน input raster or feature zone data เลือก buffer ที่สร้างขึ้น ใน statistics type เลือก maximum

4.1.2.10. ทำการหาจุดที่ต่ำที่สุดของ DTM โดยใช้เครื่องมือ zonal statistics ใน input raster or feature zone data เลือก buffer ที่สร้างขึ้น ใน statistics type เลือก minimum

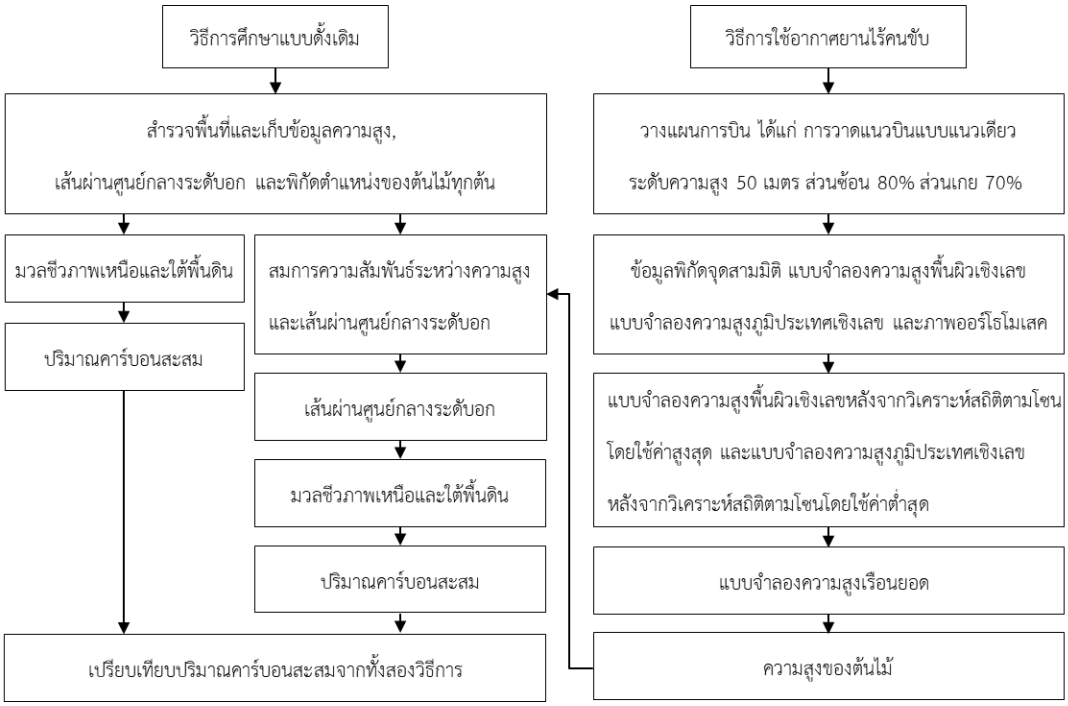
4.1.2.11. สร้างแบบจำลองความสูงเรือนยอด (canopy height model: CHM) เพื่อหาความสูงของต้นไม้ ด้วยเครื่องมือ Raster calculator ในสูตรให้ใส่ DSM-DTM ที่ได้จาก zonal statistics

4.1.2.12. ส่งออกข้อมูลความสูงต้นไม้ด้วยเครื่องมือ zonal statistics as table ใน input raster or feature zone data เลือก buffer ใน input value raster ให้เลือก CHM

4.1.2.13. คัดข้อมูลที่อยู่ใกล้ต้นไม้ใหญ่ออกโดยสังเกตจากวงบัฟเฟอร์ว่าด้านในมีต้นไม้ใหญ่หรือไม่

4.1.2.14. นำความสูงที่ได้มาคำนวณหา DBH จาก D-H relation แล้วคำนวณหามวลชีวภาพเหนือและใต้พื้นดินตามข้อ 4.1.1.4 และคำนวณปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินตามข้อ 4.1.1.5

4.1.2.15. ขั้นตอนการศึกษาแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนการดำเนินงานวิธีการศึกษา

4.2. สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ สถิติเชิงพรรณนาใช้เพื่อแสดงค่ากลางและการกระจายของข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) และค่าสูงสุด-ต่ำสุด (maximum-minimum) และสถิติเชิงอนุมาน โดยในการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลใช้ Kolmogorov-Smirnov test เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิมและวิธีการ UAV ใช้ Mann-Whitney U test การวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดดำเนินการด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics 29.0.1.0 กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติไว้ที่ร้อยละ 95 (α = 0.05)

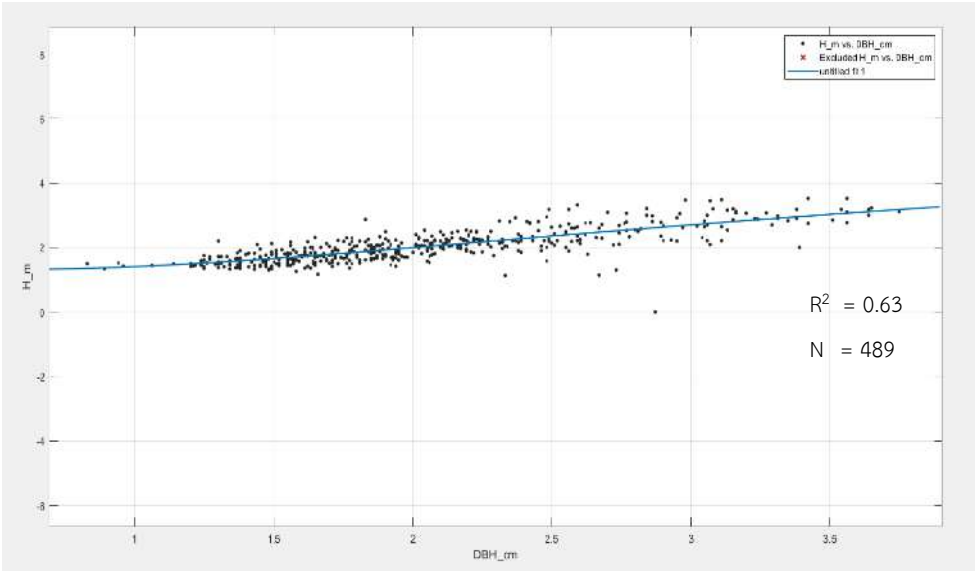
5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1. สมการความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกจากวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม

จากผลการศึกษาพบว่าสมการความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกที่ได้ (รูปที่ 2) คือ

$$DBH = \left(\frac{-4.8977}{[\ln(H-1.3)]/6.5091}\right) - 0.1901 \qquad R^2 = 0.63$$

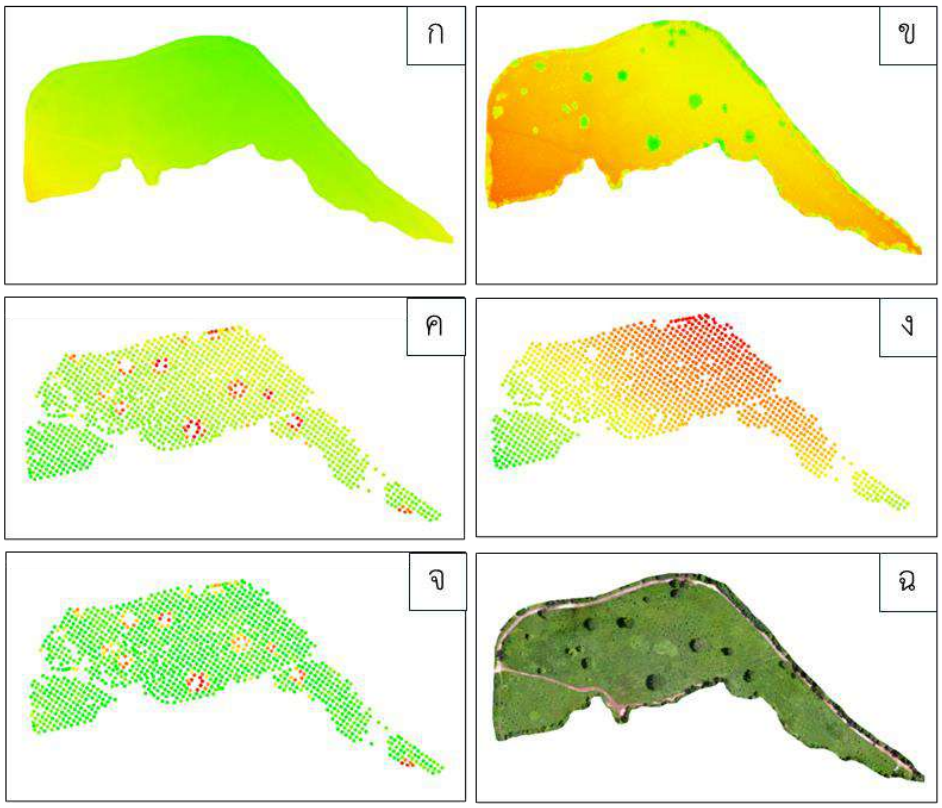
เมื่อ DBH คือ เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (เซนติเมตร); H คือ ความสูงของต้นไม้ (เมตร)



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างความสูงกับเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก

5.2. ชั้นข้อมูลที่ได้การประมวลผลจากวิธีการใช้อากาศยานไร้คนขับ

ผู้วิจัยได้จัดทำชั้นข้อมูล ทั้งหมด 6 ชั้นข้อมูล ดังภาพที่ 2 ได้แก่ แบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (DTM), แบบจำลองความสูงสิ่งปกคลุมเชิงเลข (DSM), แบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข เพื่อนำมาหาจุดที่ต่ำที่สุดในรัศมี 1.5 ม., แบบจำลองความสูงสิ่งปกคลุมเชิงเลข เพื่อนำมาหาจุดที่สูงที่สุดในรัศมี 1.5 ม., แบบจำลองความสูงทรงพุ่ม (CHM) คือการนำ zonal statistics of DSM-DTM มาลบกัน และ ภาพออร์โธโมเสคที่มีการปรับพิกัดให้ตรงกับความเป็นจริง (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 (ก) digital terrain model (DTM), (ข) digital surface model (DSM), (ค) zonal statistic of DTM, (ง) zonal statistic of DSM, (จ) zonal statistics of canopy height model (CHM) และ (ฉ) orthomosaic

5.3 ผลจากวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม

สำหรับจำนวนต้นสักที่นำมาวิเคราะห์มีทั้งหมด 489 ต้น และจำนวนลำต้น 595 นาง (ตารางที่ 1) เมื่อพิจารณาความสูง พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.06±0.52 ม. เมื่อพิจารณาเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.94±0.59 ซม. เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์บอนสะสมพบว่ามีผลรวมเท่ากับ 12.1 กก.คาร์บอน/ไร่ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30±0.23 กก.คาร์บอน/ต้น

5.4 ผลจากวิธีการใช้อากาศยานไร้คนขับ

สำหรับจำนวนต้นสักที่อากาศยานไร้คนขับตรวจพบมีทั้งหมด 428 ต้น (ตารางที่ 1) เมื่อพิจารณาความสูง พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.89±0.45 ม. เมื่อพิจารณาเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.80±0.71 ซม. เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์บอนสะสมพบว่ามีผลรวมเท่ากับ 7.9 กก.คาร์บอน/ไร่ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.28±0.29 กก.คาร์บอน/ต้น

5.5 เปรียบเทียบวิธีการวางแปลงภาคสนามกับวิธีการใช้อากาศยานไร้คนขับ

เมื่อพิจารณาความสูง (ตารางที่ 1) พบว่าวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิมมีค่าเฉลี่ยมากกว่าวิธีการใช้ UAV 0.17 ม. (2.06±0.52 ม. และ 1.89±0.45 ม. ตามลำดับ) สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกพบว่า วิธีการศึกษาแบบดั้งเดิมมีค่าเฉลี่ยมากกว่าวิธีการใช้ UAV

0.14 ซม. (1.94±0.59 ซม. และ 1.80±0.71 ซม. ตามลำดับ) และสำหรับปริมาณคาร์บอนสะสมพบว่า วิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม มีปริมาณคาร์บอนสะสมทั้งหมดมากกว่าวิธีการใช้ UAV 4.2 กก.คาร์บอน/ไร่ (12.1 กก.คาร์บอน/ไร่ และ 7.9 กก.คาร์บอน/ไร่ ตามลำดับ) โดยวิธีการใช้ UAV คิดเป็น 65% ของวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม และวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิมมีค่าเฉลี่ยมากกว่าวิธีการใช้ UAV 0.02 กก.คาร์บอน/ต้น (0.30±0.23 กก.คาร์บอน/ต้น และ 0.28±0.29 กก.คาร์บอน/ต้น

เมื่อนำความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก และปริมาณคาร์บอนสะสมจากวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิมและวิธีการใช้ UAV มาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าค่าเฉลี่ยอันดับมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (Z = -6.007, P < 0.001; Z = -6.487, P < 0.001 และ Z = -4.301, P < 0.001 ตามลำดับ)

ตารางที่ 1 จำนวนต้น ลำต้น ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก ปริมาณคาร์บอนสะสม ในวิธีการแบบดั้งเดิมและวิธีการใช้ UAV

วิธีการศึกษา	จำนวนต้น, และลำต้น (นาง)	ความสูง*				เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก*				ปริมาณคาร์บอนสะสม*		
		ต่ำสุด (m)	สูงสุด (m)	ค่าเฉลี่ย (m/tree)	ค่ามัธยฐาน (m)	ต่ำสุด (cm)	สูงสุด (cm)	ค่าเฉลี่ย (cm/tree)	ค่ามัธยฐาน (cm)	ผลรวม (kgC/rai)	ค่าเฉลี่ย (kgC/tree)	ค่ามัธยฐาน (kgC)
วิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม	489 ต้น 595 นาง	1.30	3.52	2.06±0.52	2.00	0.17	3.75	1.94±0.59	1.85	12.1	0.30±0.23	0.23
วิธีการใช้ UAV	428 ต้น (จำแนกลำต้นไม่ได้)	1.31	3.99	1.89±0.45	1.80	0.55	5.35	1.80±0.71	0.49	7.9	0.28±0.29	0.01

หมายเหตุ เครื่องหมาย -*- หมายถึงค่าเฉลี่ยอันดับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.6 อภิปรายผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณคาร์บอนสะสมในต้นสักที่ได้จากวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิมสูงกว่าวิธีการใช้ UAV โดยวิธีการใช้ UAV คิดเป็น 65% จากวิธีการแบบดั้งเดิม ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาก่อนหน้าในจังหวัดพิจิตรและจังหวัดกาญจนบุรี โดยวิธีการใช้ UAV คิดเป็น 72% และ 89% ของวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม ตามลำดับ [7] [8] เนื่องจากวิธีการใช้ UAV ยังไม่สามารถวัดความสูงของต้นไม้ได้อย่างแม่นยำและไม่สามารถจำแนกลำต้นของต้นไม้ได้ โดยวิธีศึกษาแบบดั้งเดิมมีจำนวนมากกว่าวิธีการใช้ UAV ถึง 167 ต้น อีกทั้งต้องใช้สมการ D-H relation ในการประมาณค่า DBH ซึ่งมีค่า R^2 = 0.63 ดังนั้นวิธีการเก็บข้อมูลด้วยวิธีการใช้ UAV ยังไม่สามารถใช้ทดแทนวิธีการวางแปลงภาคสนามได้

สำหรับข้อจำกัดในการศึกษานี้คือการใช้สมการแอลโลเมตรีของต้นสักอายุ 5-33 ปี ซึ่งไม่ได้อยู่ในช่วงอายุของต้นสักที่ทำการศึกษา หากมีการศึกษาต่อไปควรหาสมการที่มีอายุของต้นไม้ครอบคลุม สำหรับการศึกษาในอนาคตอาจทดลองบิน 2 ช่วง คือช่วงที่ต้นสักทิ้งใบเพื่อให้เห็นพื้นดินชัดเจน และช่วงที่ต้นสักกำลังแตกใบ หรือลองลดระดับความสูงในการบินเพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจนกว่าเดิม อาจมีการใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground control point: GCP) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของภาพกับตำแหน่งจริง และควรมีวิธีจำแนกลำต้นของต้นไม้เพื่อลดข้อจำกัดนี้ รวมถึงหาสมการ D-H relation ที่เหมาะสมกับต้นสักมากกว่านี้

6 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาปริมาณคาร์บอนสะสมจากวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิมและวิธีการใช้ UAV ในแปลงป่าสักอายุ 3 ปีที่ดูแลโดยศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี มีปริมาณคาร์บอนสะสมรวม 12.1 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ และ 7.9 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตหากจะนำวิธีการใช้ UAV ไปประยุกต์ใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Climate Change Conference of the Parties. (2021). *COP26 คืออะไร มีบทบาทสำคัญอย่างไรในการต่อสู้กับ Climate Change*. Available from: https://thaipublica.org/2021/10/what-is-cop-26/ [5 December 2024]

[2] Zhu, X. G., Long, S. P. & Ort, D. R. (2008). What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass?. *Current Opinion in Biotechnology*. 19(2): 153–159. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.02.004

[3] Nowak, D. J., Greenfield, E. J., Hoehn, R. E. & Lapoint, E. (2013). Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*. 178: 229–236. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.019

[4] IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Japan: IGES.

[5] Zhao, T., Yang, D., Guo, D., Fan, M., Ren, X., Li, M., Wu, K., Wang, J., Cai, Z., Wang, S., Guo, J., Chen, L., & Liu, Y. (2024). Low-cost UAV coordinated carbon observation network: Carbon dioxide measurement with multiple UAV*s. Atmospheric Environment*. 332: 120609. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024.120609

[6] หทัยทิพย์ เงินอิน. (2561). *การหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของสวนสักด้วยอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่ตำบลวังนกแอ่น อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก*. ปริญญานิพนธ์, ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร. 97 หน้า

[7] Penboon, C., Supavetch, S., Sirirueang, K., Rinnamang, S., Ladpala, P., Kaewgrajang, T. & Meunpong, P. (2023). Estimation of the aboveground biomass and carbon sequestration in an urban forest remnant using aerial photogrammetry from a low-cost Unmanned Aerial Vehicle. *Biodiversitas*. 24(3): 1908–1915. https://doi.org/10.13057/biodiv/d240368

[8] Rinnamang, S., Sirirueang, K., Supavetch, S. & Meunpong, P. (2020). Estimation of aboveground biomass using aerial photogrammetry from unmanned aerial vehicle in teak (Tectona grandis) plantation in Thailand. *Biodiversitas*. 21(6): 2369–2376. https://doi.org/10.13057/biodiv/d210605

[9] Song, X., Li J. & Zeng X. (2024). Parameterization of height–diameter and crown radius diameter relationships across the globe. *Journal of Plant Ecology*. 17(2). https://doi.org/10.1093/jpe/rtae005

[10] Kenzo, T., Himmapan, W., Yoneda, R., Tedsorn, N., Vacharangkura, T., Hitsuma, G. & Noda I. (2020). General estimation models for above- and below-ground biomass of teak (Tectona grandis) plantations in Thailand. *Forest Ecology and Management*. 457. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117701

วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ และนิเวศวิทยา

Poster Presentation

การศึกษาปริมาณและสัณฐานของไมโครพลาสติกในทรายชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี

วิชญาพร ผลมาตย์[1*], ปุนรดา สุขศรี [1], อลิสา เทียมสกุล[2] และทิฆัมพร กรรเจียก[2]

[1]โรงเรียนสาธิต "พิบูลบำเพ็ญ" มหาวิทยาลัยบูรพา ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี
[2]สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยบูรพา ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี
*Corresponding author: praewapony2007@gmail.com

บทคัดย่อ

ชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี เป็นแหล่งท่องเที่ยวยอดนิยมในประเทศไทยที่ดึงดูดนักท่องเที่ยวจำนวนมากตลอดทั้งปี กิจกรรมการท่องเที่ยวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการสะสมของขยะพลาสติกซึ่งเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ โดยเฉพาะไมโครพลาสติกที่อาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเล งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจปริมาณและสัณฐานของไมโครพลาสติกจากตัวอย่างทรายชายหาดบางแสนในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2567 กำหนดพื้นที่เก็บตัวอย่าง 3 สถานี ได้แก่ ชายหาดด้านหน้าโรงแรมเอสทู ศาลเจ้าพ่อแสนและวงเวียนบางแสน โดยเก็บตัวอย่างทรายแบบตารางสุ่มที่ระดับความลึก 0-15 เซ็นติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างทรายไปสกัดแยกอนุภาคไมโครพลาสติกด้วยวิธี Wet peroxide oxidation และศึกษาลักษณะของไมโครพลาสติก ได้แก่ ปริมาณ รูปร่าง และสี ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ พบว่าชายหาดด้านหน้าวงเวียนบางแสนมีปริมาณไมโครพลาสติกสูงสูดเท่ากับ 178 ชิ้นต่อตารางเมตร รองลงมาคือศาลเจ้าพ่อแสน 175 ชิ้นต่อตาราเมตร และโรงแรมเอสทู 150 ชิ้นต่อตารางเมตร ตามลำดับ จากการจำแนกรูปร่าง พบว่าส่วนใหญ่มีรูปร่างแบบไร้รูปแบบมากที่สุด รองลงมา คือรูปร่างแบบเม็ด แบบแผ่นฟิล์มและแบบเส้นใย คิดเป็นร้อยละ 53.08, 20.87, 18.87 และ 7.16 ตามลำดับ ส่วนสี พบสีเหลือง-น้ำตาลมากที่สุด รองลงมา คือสีดำ สีเทา สีแดง สีเขียว และสีฟ้า โดยคิดเป็นร้อยละ 44.93, 30.02, 10.13, 10.13, 2.98 และ 1.79 ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในทรายชายหาดบางแสน ซึ่งสะท้อนถึงผลกระทบจากพฤติกรรมการท่องเที่ยวและการจัดการขยะพลาสติกที่ไม่เพียงพอในพื้นที่ ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนามาตรการลดการสะสมของขยะพลาสติกและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณชายฝั่งทะเลนี้

คำสำคัญ: ไมโครพลาสติก / ชายหาดบางแสน / เดือนสิงหาคม / ปัญหาสิ่งแวดล้อม / ขยะพลาสติก

Study on the Quantity and Morphology of Microplastics in Bang Saen Beach, Chonburi Province

Witchayaporn Phonmat[1*], Poonrada Suksri[1], Alisa Thiamsakul[2] and Tikumporn Kunjiek[2]

[1] Piboonbumpen Demonstration School, Burapha University, Chonburi, Thailand.
[2] Institute of Marine Science, Burapha University, Chonburi, Thailand.
**Corresponding author: praewapony2007@gmail.com*

Abstract

Bang Saen Beach, located in Chonburi Province, is a popular tourist destination in Thailand that attracts a large number of visitors throughout the year. The increasing tourism activities have led to the accumulation of plastic waste, which poses a significant environmental concern, particularly microplastics that may affect the marine ecosystem. This study aimed to assess the quantity and morphological characteristics of microplastics in beach sand samples collected from Bang Saen Beach in August 2024. We conducted sampling at three designated stations: the S2 Hotel, San Chao Pho Saen, and the Bang Saen Roundabout. Sand samples were randomly collected using a quadrat method at a depth of 0–15 centimeters. The microplastic particles were extracted using the wet peroxide oxidation (WPO) method and analyzed for quantity, shape, and color using a stereomicroscope. Results showed that the highest microplastic quality was observed at the Bang Saen Roundabout (178 pieces/m²), followed by San Chao Pho Saen (175 pieces/m²) and S2 Hotel (150 pieces/m²). In terms of shape, the majority were irregular fragments (53.08%), followed by pellets (20.87%), film-like particles (18.87%), and fibers (7.16%). Regarding color, yellow-brown particles were the most common (44.93%), followed by black (30.02%), gray (10.13%), red (10.13%), green (2.98%), and blue (1.79%). These findings indicate microplastic contamination in Bang Saen Beach, reflecting the environmental impacts of tourism-related activities and insufficient plastic waste management. This underscores the urgent need for effective measures to reduce plastic debris accumulation and mitigate its effects on the coastal environment.

Keywords: Microplastic / Bang Saen Beach / August / Environmental problem / Plastic waste

1. บทนำ

ปัญหามลพิษจากพลาสติกในระบบนิเวศทางทะเลได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งไมโครพลาสติก (microplastics) ซึ่งหมายถึงชิ้นส่วนพลาสติกที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร [1] แหล่งที่มาของไมโครพลาสติกแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก ได้แก่ ไมโครพลาสติกปฐมภูมิ (primary microplastics) ซึ่งผลิตขึ้นโดยตรง เช่น เม็ดไมโครบีดส์ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง และไมโครพลาสติกทุติยภูมิ (secondary microplastics) ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของขยะพลาสติกขนาดใหญ่ผ่านกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ [2] ไมโครพลาสติกมีขนาดเล็กและมีอายุการย่อยสลายที่นาน จึงเป็นภัยคุกคามต่อระบบนิเวศทางทะเลในระยะยาวและสามารถเข้าไปปนเปื้อนในห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิตทางทะเลได้ เนื่องจากสิ่งมีชีวิตเหล่านี้อาจจะบริโภคไมโครพลาสติกโดยไม่ได้ตั้งใจเพราะเข้าใจผิดคิดว่าเป็นอาหาร จากการรายงานของ Thushari et al. [3] พบว่าหอยกาบและหอยสองฝาบริเวณอ่างศิลา บางแสนและแสมสารมีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกหลากหลายรูปร่างและสี ซึ่งมนุษย์มีโอกาสที่จะนำไมโครพลาสติกเข้าสู่ร่างกายผ่านการบริโภคสัตว์น้ำที่มีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกและอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้ [4]

"ชายหาดบางแสน" ตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี เป็นแหล่งท่องเที่ยวยอดนิยมของประเทศไทย มีนักท่องเที่ยวจำนวนมากมาเยือนตลอดทั้งปีและทุกปี ปัญหาจากการขยายตัวของนักท่องเที่ยว คือ ขยะพลาสติกที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจนเกิดการสะสมสะสม อาจเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของไมโครพลาสติกในระบบนิเวศชายฝั่งทะเลได้ [5] ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นในชายหาดบางแสนในอนาคต จึงได้ทำการศึกษาการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในชายหาดบางแสน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้เพื่อประเมินระดับมลพิษและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศชายฝั่งได้

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณไมโครพลาสติกที่ปนเปื้อนในทรายชายหาดบางแสน ณ จุดเก็บตัวอย่าง 3 สถานี ได้แก่ บริเวณโรงแรมเอสทู ศาลเจ้าพ่อแสนและวงเวียนบางแสน
2. เพื่อจำแนกลักษณะสัณฐานของไมโครพลาสติกตามรูปร่าง (เช่น เม็ด เส้นใย แผ่น และไร้รูปแบบ) และสีของไมโครพลาสติกที่พบในตัวอย่างทราย

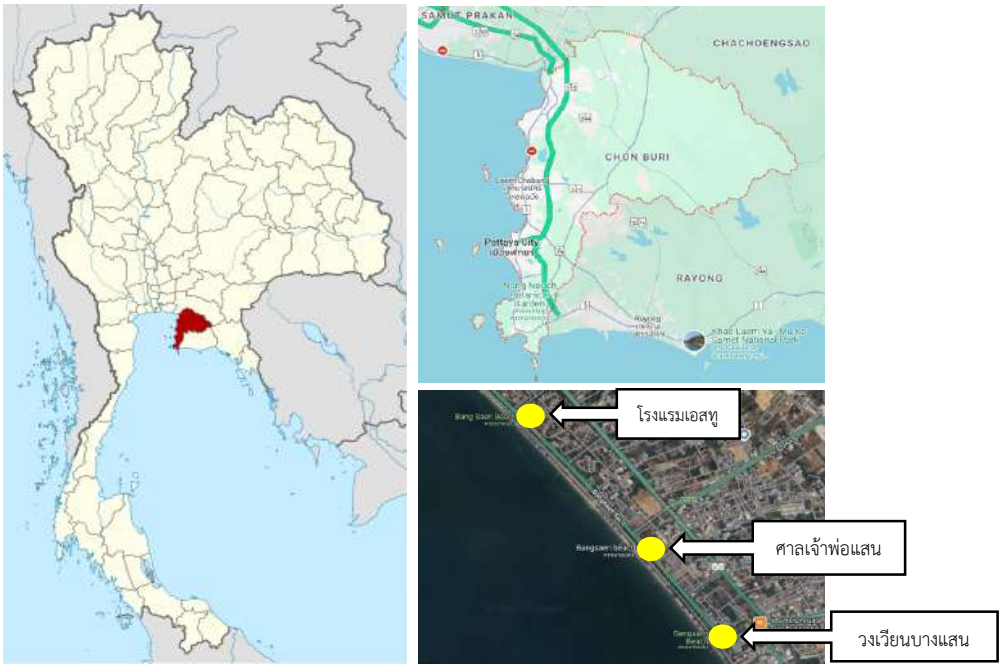
3. ขอบเขตของการศึกษา

เก็บตัวอย่างทรายจากชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 3 สถานี ได้แก่ บริเวณหน้าโรงแรมเอสทู ศาลเจ้าพ่อแสนและวงเวียนบางแสน ด้วยการสุ่มตัวอย่างแบบตาราง (grid sampling) ที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตรช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2567 สกัดไมโครพลาสติกจากตัวอย่างทรายโดยใช้ Wet Peroxide Oxidation (WPO) และนำมาวิเคราะห์ปริมาณไมโครพลาสติก (จำนวนชิ้น/กรัมของทราย) และจำแนกสัณฐานของไมโครพลาสติก ได้แก่ รูปร่าง (เม็ด, เส้นใย, แผ่น, ไร้รูปแบบ) และสีของไมโครพลาสติกโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ

4. วิธีการศึกษา

4.1 พื้นที่ศึกษา การศึกษานี้ดำเนินการที่ชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2567 โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 3 สถานี ได้แก่ 1) โรงแรมเอสทู 2) ศาลเจ้าพ่อแสน และ 3) วงเวียนบางแสน (รูปที่ 1)

4.2 การเก็บตัวอย่าง ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างทรายแบบ random sampling โดยกำหนดตารางสุ่มขนาด 1x1 เมตร และเก็บตัวอย่างทรายในแต่ละสถานีจากระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ปริมาณตัวอย่างทรายที่เก็บจากแต่ละสถานีประมาณ 1 กิโลกรัม จำนวน 3 ซ้ำ และนำกลับไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 1 แสดงจุดเก็บตัวอย่างบริเวณชายหาดบางแสน

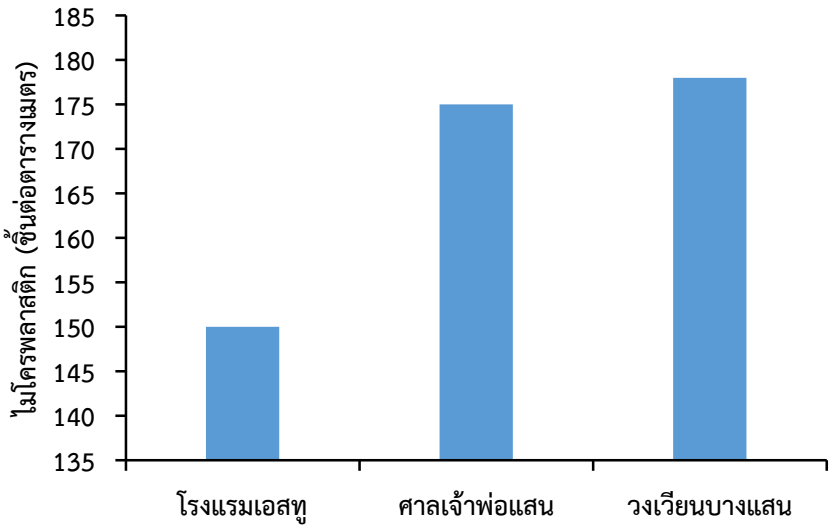
4.3 การสกัดไมโครพลาสติกจากตัวอย่างทราย โดยใช้กระบวนการ Wet Peroxide Oxidation (WPO) ตามวิธีของ Masura et al. [6] ตัวอย่างทรายน้ำหนัก 200 กรัม ที่ผ่านการอบแห้งและเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 400 มิลลิลิตร และตั้งทิ้งไว้ 6 ชั่วโมง แล้วนำส่วนใสมาผสมกับสารละลายเฟอรัสออกไซด์ (Fe(II)) เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H2O2) เข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร (v/v) 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 5 นาที แล้วนำส่วนในด้านบนไปกรองด้วยกระดาษกรอง GC/F ขนาด 45 ไมครอน ไมโครพลาสติกจะติดอยู่ด้านบนกระดาษกรอง

4.4 การวิเคราะห์ปริมาณและสัณฐานของไมโครพลาสติก ตัวอย่างไมโครพลาสติกถูกวิเคราะห์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (OLYMPUS CX21) ที่กำลังขยาย 40 เท่า เพื่อจำแนกรูปร่างและสี โดยจำแนกตามเกณฑ์ของ Hidalgo-Ruz et al. [7] เป็น 4 ประเภท ได้แก่ เม็ด (Pellets) เส้นใย (Fibers) แผ่นฟิล์ม (Films) และไร้รูปแบบ (Fragments) การระบุสีของไมโครพลาสติกใช้เกณฑ์พื้นฐานของ Frias et al. [8] โดยจำแนกเป็นสีหลัก เช่น ดำ เหลือง-น้ำตาล แดง เทา เขียวและฟ้า

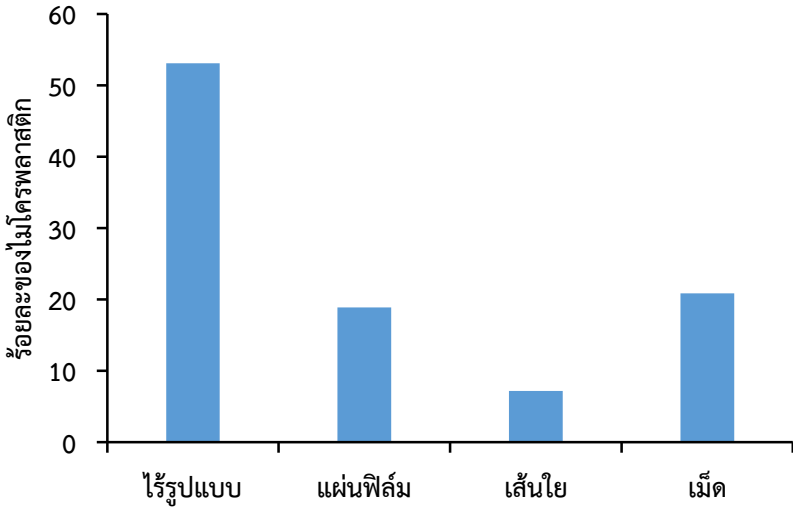
5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างทรายที่ชายหาดบางแสน จังหวัดชลบุรี ในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2567 จากจุดเก็บตัวอย่าง 3 สถานี ได้แก่ 1) บริเวณโรงแรม S2 2) บริเวณศาลเจ้าพ่อแสน และ 3) บริเวณวงเวียนบางแสน พบว่าทรายในชายหาดบางแสนมีการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกทุกสถานี ปริมาณไมโครพลาสติกรวมเท่ากับ 503 ชิ้นต่อตารางเมตร โดยบริเวณวงเวียนบางแสนพบปริมาณไมโครพลาสติกสูงสุดมีค่าเท่ากับ 178 ชิ้นต่อตารางเมตร รองลงมาคือ ศาลเจ้าพ่อแสนเท่ากับ 175 ชิ้นต่อตารางเมตร และโรงแรมเอสทูท่ากับ 150 ชิ้นต่อตารางเมตร ตามลำดับ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2 สำหรับลักษณะสัณฐานของไมโครพลาสติก พบว่าไมโครพลาสติกชนิดไร้รูปแบบมากที่สุดในทุกสถานี 267 ชิ้น รองลงมาคือ เม็ด 105 ชิ้นต่อตารางเมตร แผ่นฟิล์ม 95 ชิ้นต่อตารางเมตร และเส้นใย 36 ชิ้นต่อตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 53.08, 20.87, 18.87 และ 7.16 ตามลำดับ

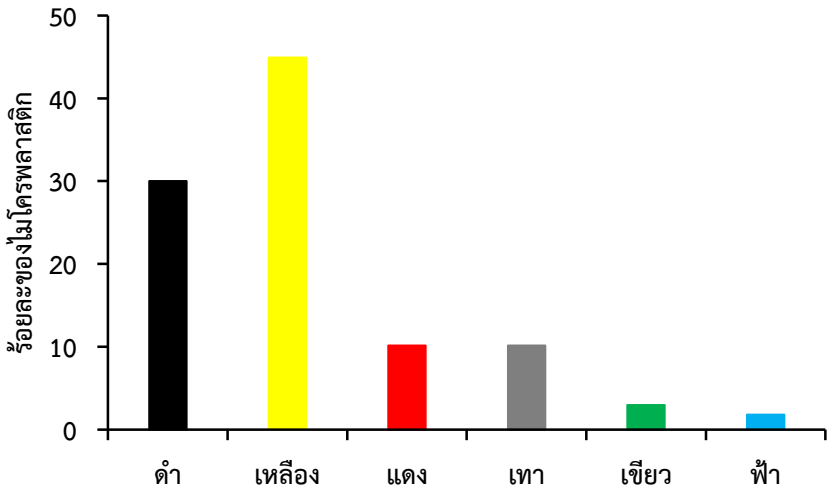
ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3 ส่วนสีของไมโครพลาสติก พบสีเหลือง-น้ำตาลมากที่สุด 226 ชิ้นต่อตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 44.93 รองลงมาคือ สีดำ 150 ชิ้นต่อตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 30.02 สีเทาและสีแดง 51 ชิ้นต่อตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 10.13 สีเขียว 15 ชิ้นต่อตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 2.98 และสีฟ้า 9 ชิ้นต่อตารางเมาตร คิดเป็นร้อยละ 1.79 ตามลำดับ ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 2 แสดงปริมาณไมโครพลาสติกที่พบบริเวณชายหาดบางแสน



รูปที่ 3 แสดงร้อยละของรูปร่างไมโครพลาสติกที่พบในตัวอย่างทรายที่เก็บจากชายหาดบางแสน



รูปที่ 4 แสดงร้อยละของสีไมโครพลาสติกที่พบในตัวอย่างทรายที่เก็บจากชายหาดบางแสน

จากผลการศึกษา พบไมโครพลาสติกปนเปื้อนในทรายชายหาดบางแสนทุกสถานี โดยบริเวณวงเวียนบางแสนมีปริมาณไมโครพลาสติกสูงสุด รองลงมาคือศาลเจ้าพ่อแสนและบริเวณโรงแรมเอสทู ไมโครพลาสติกที่พบอาจเป็นผลมาจากปัจจัยด้านกิจกรรมของมนุษย์ เช่น ความหนาแน่นของนักท่องเที่ยวและกระแสน้ำที่พัดพาไมโครพลาสติกเข้าสู่พื้นที่ชายหาด สอดคล้องกับการรายงานของสุดารัตน์ ทองหนองหิน [9] ได้ประเมินการแพร่กระจายของไมโครพลาสติกในตะกอนชายหาดจังหวัดภูเก็ต พบว่าไมโครพลาสติกมีการปนเปื้อนในทุกพื้นที่ที่สำรวจ โดยมีปัจจัยจากกิจกรรมการท่องเที่ยวและการประมงที่ส่งผลต่อปริมาณไมโครพลาสติก ขยะพลาสติกจากกิจกรรมท่องเที่ยวมีโอกาสแตกตัวเป็นไมโครพลาสติกได้ง่ายขึ้น ส่วนลักษณะสัณฐานของไมโครพลาสติก พบว่าไมโครพลาสติกชนิดไร้รูปแบบเป็นประเภทที่พบมากที่สุดในทุกสถานี รองลงมาคือ ชนิดเม็ด แผ่นฟิล์มและเส้นใย ซึ่งอาจสะท้อนถึงแหล่งกำเนิดของไมโครพลาสติกจากพลาสติกประเภทบรรจุภัณฑ์ เช่น ถุงพลาสติกและฟิล์มพลาสติกที่เสื่อมสภาพอาจเกิดการแตกตัวจากกระบวนการสึกกร่อนทางกายภาพและเคมีกลายเป็นชิ้นที่มีขนาดเล็กลงได้ [10] สอดคล้องกับการรายงานของเพ็ญศิริ เอกจินต์ และสิริวรรณ รวมแก้ว [11] พบไมโครพลาสติกชนิดไร้รูปแบบมากที่สุดบริเวณชายหาดป่าตอง สำหรับสีของไมโครพลาสติก สีเหลือง-น้ำตาลเป็นสีที่พบมากที่สุด รองลงมาคือ สีดำ สีเทา สีแดง สีเขียวและสีฟ้า ตามลำดับ สำหรับสีของไมโครพลาสติก สีดำเป็นสีที่พบมากที่สุด (73.16%) รองลงมาคือสีเหลือง-น้ำตาล (13.45%) และสีอื่น ๆ (13.39%) ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับพลาสติกที่ผ่านกระบวนการเผาไหม้หรือเสื่อมสภาพจากแสงแดด จากการรายงานของ Fries et al. [12] ระบุว่าไมโครพลาสติกสีดำมักเป็นพลาสติกที่มีอายุการใช้งานยาวนานและมีแนวโน้มปนเปื้อนโลหะหนักมากกว่าสีอื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทางทะเล จากผลการศึกษาทำให้ทราบถึงสถานการณ์การปนเปื้อนและความเป็นไปได้ของแหล่งที่มาของไมโครพลาสติกในทรายชายหาดบางแสนอาจมาจากกิจกรรมการท่องเที่ยว การทิ้งขยะพลาสติกที่ไม่ถูกต้องและการเสื่อมสลายของผลิตภัณฑ์พลาสติก เช่น ถุงพลาสติก ขวดน้ำพลาสติก และเส้นใยจากเสื้อผ้า การปนเปื้อนไมโครพลาสติกในพื้นที่ที่มีนักท่องเที่ยวหนาแน่น เช่น วงเวียนบางแสนแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมของมนุษย์และการสะสมของไมโครพลาสติก ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการเฝ้าระวังและแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกของชายหาดบางแสนต่อไป

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษากปริมาณและสัณฐานของไมโครพลาสติกในทรายชายหาดบางแสน โดยเก็บตัวอย่างทรายในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2567 จาก 3 สถานี ได้แก่ บริเวณโรงแรมเอสทู ศาลเจ้าพ่อแสนและวงเวียนบางแสน ตัวอย่างทรายนำมาวิเคราะห์ปริมาณ

และลักษณะของไมโครพลาสติก โดยใช้เทคนิค Wet Peroxide Oxidation (WPO) และศึกษาผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ พบไมโครพลาสติกในทุกจุดเก็บตัวอย่าง โดยพบปริมาณสูงสุดที่วงเวียนบางแสน 178 ชิ้นต่อตารางเมตร รองลงมาคือ ศาลเจ้าพ่อแสน 175 ชิ้นต่อตารางเมตร และโรงแรมเอสทู 150 ชิ้นต่อตารางเมตร สัณฐานของไมโครพลาสติกพบไมโครพลาสติกแบบไร้รูปแบบสูงที่สุดร้อยละ 77.65 แผ่นฟิล์มร้อยละ 73.22 เม็ดร้อยละ 14.27 และเส้นใยร้อยละ ตามลำดับ สีของไมโครพลาสติกพบว่าสีดำเป็นสีที่พบมากที่สุดร้อยละ 73.16 รองลงมาคือ สีเหลือง-น้ำตาล (ร้อยละ 13.45) ตามลำดับ

เอกสารอ้างอิง

[1] Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. Marine Pollution Bulletin, 62(8), 1596-1605.

[2] Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. Marine Pollution Bulletin, 62(12), 2588-2597.

[3] Thushari, G. G. N., Seneviratha, J. D. M., Yakupitiyage, A., & Chvanich, S. (2017). Effect of microplastics on sessile invertebrates in the eastern coast of Thailand: An approach to coastal zone conservation. Marine Pollution Bulletin, 124(1), 349-355.

[4] Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V. and Uricchio, V.F. (2020). A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. IJERPH 17, 1212. https://doi.org/10.3390/ijerph17041212.

[5] Jang, Y. C., Hong, S., Choi, H. W., Shim, W. J., & Han, S. Y. (2015). Estimating the global inflow and stock of plastic marine debris using material flow analysis: a preliminary approach. Journal of the Korean Society for Marine Environment & Energy, 18(4), 263-273.

[6] Masura, J., Baker, J., Foster, G., & Arthur, C. (2015). Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48.

[7] Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. Environmental Science & Technology, 46(6), 3060-3075.

[8] Frias, J. P. G. L., Otero, V., & Sobral, P. (2014). Evidence of microplastics in samples of zooplankton from Portuguese coastal waters. *Marine Environmental Research,* DOI: 10.1016/j.marenvres.2014.01.001

[9] สุดารัตน์ ทองหนองหิน. (2563). การประเมินไมโครพลาสติกในตะกอนชายหาดบริเวณชายฝั่ง จังหวัดภูเก็ต. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[10] Wang, J., Tan, Z., Peng, J., Qiu, Q., & Li, M. (2020). The behaviors of microplastics in the marine environment. Marine Environmental Research, 113, 7-17. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.1051

[11] เพ็ญศิริ เอกจิตต์ และสิริวรรณ รวมแก้ว. (2562). ขยะไมโครพลาติกบริเวณชายหาดฝั่งตะวันตก จังหวัดภูเก็ต. วารสารสิ่งแวดล้อม, 23(2).

[12] Fries, E., Dekiff, J. H., Willmeyer, J., Nuelle, M. T., Ebert, M., & Remy, D. (2013). Identification of polymer types and additives in marine microplastic particles using pyrolysis-GC/MS and scanning electron microscopy. Environmental Science & Technology, 47(6), 3137-3146. https://doi.org/10.1021/es305307b

กายวิภาคศาสตร์เนื้อเยื่อชั้นผิวใบและหม้อของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์ (*Nepenthes suratensis*): พืชเฉพาะถิ่น (endemic species) และพืชใกล้สูญพันธุ์ (endanger species) ของจังหวัดสุราษฎร์ธานีและประเทศไทย

วรัชยา รองรัตน์*, อภิชญา สังหอ, และ กฤติณ ทิพย์มณเฑียร

โรงเรียนสุราษฎร์ธานี ถนนดอนนก ตำบลตลาด อำเภอเมืองสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี
** Corresponding author: waratchaya16567@gmail.com*

บทคัดย่อ

การศึกษากายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบและหม้อของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์ (*Nepenthes suratensis*) : พืชเฉพาะถิ่น (endemic species) และพืชใกล้สูญพันธุ์ (endanger species) ของจังหวัดสุราษฎร์ธานีและประเทศไทย มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบ และหม้อของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์ (*N. suratensis*) สำหรับการจัดทำเป็นข้อมูลลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์พื้นฐานในการระบุชนิดและการอนุรักษ์พันธุ์พืช โดยใช้วิธีการลอกผิวใบ (Peeling method) ร่วมกับวิธีการทำให้แผ่นใบใส (Clearing method) เพื่อจัดทำสไลด์ถาวรและศึกษาลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง จำนวนทั้งสิ้น 8 บริเวณ ได้แก่ เนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านล่างบริเวณขอบใบ เส้นกลางใบ ฝาหม้อ และหม้อของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์ (*N. suratensis*) สามารถสังเกตผลการทดลองได้ ดังนี้ 1) ผิวเคลือบคิวทิน 1 แบบ คือ ผิวเคลือบคิวทินแบบเรียบ 2) รูปร่างของเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิว 2 รูปร่าง คือ รูปร่างคล้ายจิกซอว์และรูปร่างไม่แน่นอน 3) ลักษณะผนังเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิว 2 แบบ คือ เว้าลึกและเว้าตื้น 4) รูปชนิดปากใบ 1 ชนิด คือ แอนอโมไซติก 5) ชนิดของขน 3 ชนิด คือ ขนรูปโล่ ขนหลายเซลล์ และขนต่อม และ 6) โครงสร้างสารหลั่ง 1 ชนิด คือ ต่อมสร้างน้ำย่อย

คำสำคัญ: กายวิภาคศาสตร์/ หม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์ / พืชใกล้สูญพันธุ์/ พืชเฉพาะถิ่น / เนื้อเยื่อชั้นผิวใบ

Leaf and Pitcher Epidermal Characteristics of *Nepenthes suratensis*: an Endemic Species and an Endangered Species of Surat Thani Province and Thailand

Waratchaya Rongrate*, Abhichaya Sangho, and Krittin Tipmontiane

Suratthani School, Donnok Road, Talat Subdistrict, Mueang Suratthani District, Surat Thani, Thailand
** Corresponding author: waratchaya16567@gmail.com*

Abstract

Leaf and pitcher epidermal characteristics of *Nepenthes suratensis*: an endemic species and an endangered species of Surat Thani province and Thailand aimed to examine the anatomical characteristics of the epidermal tissue and pitcher of *N. suratensis* for the investigation of fundamental anatomical data for species identification and plant conservation. The research utilized the peeling method in combining with the clearing method to prepare permanent slides and study anatomical characteristics under a light microscope. The anatomical characteristic was investigated in eight area, including the upper and lower epidermal tissues at the leaf margin, midrib, pitcher lid, and pitcher body of *N. suratensis*. The results were useful for species identification which are as follows; 1) the pattern of cuticular orientation: smooth cuticle 2) the shape of epidermal cells: jigsaw-shaped and irregular-shaped 3) the features of the cell walls in epidermal cell: cleft and emarginate 4) the stomatal type: anomocytic stomata 5) the trichome types: peltate trichomes, multicellular trichomes, and glandular trichomes 6) inclusion / secretory structure: digestive gland.

Keywords: *Nepenthes suratensis* / Endanger species / Endemic species / Epidermal tissue / Pitcher

1. บทนำ

พืชสกุลหม้อข้าวหม้อแกงลิง (*Nepenthes*) คือไม้กินแมลงชนิดหนึ่งที่มีใบพัฒนามาเป็นกับดัก เพื่อใช้ในการดักจับแมลงซึ่งหม้อข้าวหม้อแกงลิงส่วนใหญ่มักจะมีการกระจายตัวในโซนเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นอกจากนั้นยังมีการกระจายตัวไปถึงทางตะวันออกของอินเดีย ศรีลังกา มาดากัสการ์ หมู่เกาะ Seychelles ทางตอนใต้ของจีนและทางตอนเหนือของออสเตรเลีย ซึ่งปัจจุบันมีการรวบรวมสายพันธ์แท้ทั่วโลกได้มากถึง 100 กว่าชนิด หม้อข้าวหม้อแกงลิง (ชื่อสามัญ: tropical pitcher plants หรือ monkey cups) มักพบขึ้นตามที่ลุ่ม แต่ในระยะหลังหม้อข้าวหม้อแกงลิงชนิดใหม่ ๆ มักพบตามภูเขา ซึ่งมีอากาศร้อนตอนกลางวัน และหนาวเย็นตอนกลางคืน รูปร่างลักษณะเป็นไม้เลื้อย มีระบบรากที่ตื้นและสั้น สามารถสูงได้หลายเมตร ลำต้นมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตรหรืออาจจะหนากว่านั้นในบางชนิด เช่น *N. bicalcarata* เป็นต้น จากลำต้นไปยังก้านใบที่มีลักษณะใบคล้ายกับสกุลส้มยาวไปจนสุดเป็นสายดิ่ง ซึ่งบางสายพันธุ์ใช้เป็นมือจับยึดเกี่ยวแล้วจบลงที่หม้อซึ่งเป็นใบแท้แปรสภาพหม้อเริ่มแรกจะมีขนาดเล็กและค่อย ๆ โตขึ้นอย่างช้า ๆ จนเป็นกับดักทรงกลม หรือรูปหลอด ภายในหม้อจะบรรจุไปด้วยของเหลวที่พืชสร้างขึ้นอาจมีลักษณะเป็นน้ำหรือน้ำเชื่อม ใช้สำหรับให้เหยื่อจมน้ำตายหม้อข้าวหม้อแกงลิงหลายชนิด ของเหลวจะบรรจุไปด้วยสารเหนียวที่ถูกผสมขึ้นเพื่อใช้ย่อยแมลงที่ตกลงไปในหม้อ ความสามารถของของเหลวที่ใช้ดักจะลดลงเมื่อถูกทำให้เจือจางโดยน้ำ ซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ในสภาพแวดล้อมที่เปียกชื้น ซึ่งเป็นถิ่นอาศัยของพืชสกุลนี้ [5] ส่วนล่างของหม้อจะมีต่อมสำหรับดูดซึมสารอาหารจากเหยื่อที่จับได้ ส่วนบริเวณด้านบนจะมีผิวลื่นเป็นมันใช้เพื่อป้องกันเหยื่อหนีรอดไปได้ ทางเข้าของกับดักเป็นส่วนประกอบที่เรียกว่าเพอริสโตม จะลื่นและเต็มไปด้วยสีสัน เพื่อดึงดูดเหยื่อเข้ามา และเสียหลักลื่นพลัดหล่นลงไปในหม้อ ส่วนฝาหม้อใช้ป้องกันไม่ให้น้ำฝนตกลงไปผสมกับของเหลวในหม้อ และด้านข้างจะมีต่อมน้ำต้อยไว้ดึงดูดเหยื่ออีกทางหนึ่ง โดยปกติหม้อข้าวหม้อแกงลิงจะสร้างหม้อขึ้นมา 2 ชนิด คือหม้อล่าง เป็นหม้อที่อยู่ แถว ๆ โคนต้นมีขนาดใหญ่ สีสันสวยงาม อีกชนิด คือ หม้อบนที่มีขนาดเล็ก ก้านหม้อจะลีบแหลม รูปทรงของหม้อจะเปลี่ยนไป และสีสันจืดชืดกว่า หน้าที่ที่แตกต่างกันของหม้อทั้งสองชนิดคือ หม้อล่างทำหน้าที่ล่อเหยื่อและดูดซึมสารอาหาร เพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต ส่วนหม้อบน เมื่อต้นเติบโตมีขนาดที่ใหญ่และสูงขึ้น หม้อบนจะลดบทบาทการหาเหยื่อ แต่เพิ่มบทบาทการจับยึด โดยก้านใบจะม้วนเป็นวง เกาะเกี่ยวกิ่งไม้ข้างๆ ดึงเถาหม้อข้าวหม้อแกงลิงให้สูงขึ้น และมั่นคงขึ้น ไม่โค่นล้มโดยง่ายในบางชนิด เช่น *N. rafflesiana* เป็นต้น หม้อที่ต่างชนิดกันจะดึงดูดเหยื่อที่ต่างชนิดกัน เหยื่อของหม้อข้าวหม้อแกงลิงโดยปกติจะเป็นแมลง ในบางครั้งเหยื่ออาจจะเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังขนาดเล็ก เช่น หนูและสัตว์เลื้อยคลาน ดอกของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเป็นช่อดอกแบบช่อกระจะหรือช่อแยกแขนง จะแยกเพศกันอย่างชัดเจน ฝักเป็นแบบแคปซูล 4 กลีบและแตกเมื่อแก่ ภายในประกอบไปด้วยเมล็ด 10 ถึง 60 เมล็ดหรือ มากกว่านั้น เมล็ดแพร่กระจายโดยลม [4]

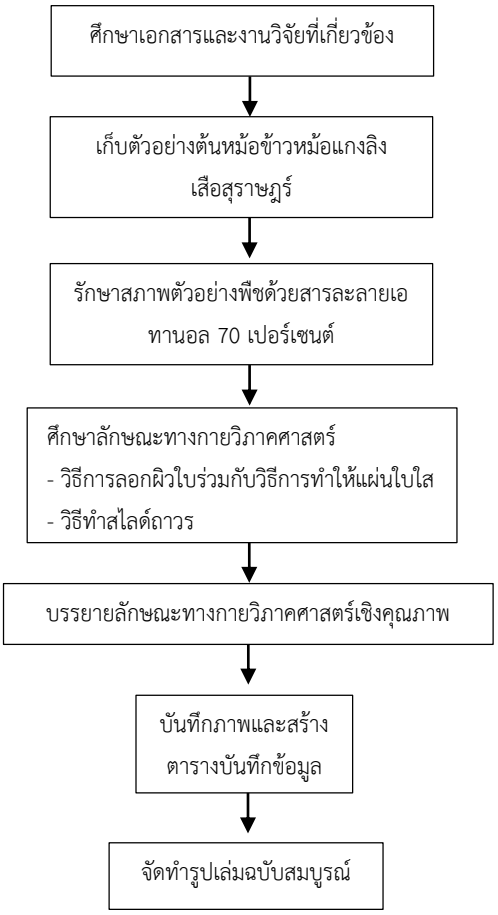
หม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์ (*N. suratensis*) เป็นพืชกินแมลงเฉพาะถิ่นที่ใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง (Critically endangered in IUCN Red List) เพราะเหลือประชากรในธรรมชาติอยู่เพียงแห่งเดียวในโลก ที่เรือนจำกลางสุราษฎร์ธานี ตำบลทุ่งเขน อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี สาเหตุที่หม้อข้าวหม้อแกงลิงเป็นพืชที่มีแนวโน้มที่จะสูญพันธุ์โดยเฉพาะในประเทศไทย เนื่องจากหม้อข้าวหม้อแกงลิงส่วนใหญ่ขึ้นอยู่ในภาคใต้ในพื้นที่ที่เป็นพื้นราบและป่าพรุดินทราย และถูกบุกรุกโดยการทำการเกษตรของเกษตรกรทั้งสวนยางพารา และสวนปาล์มน้ำมัน [15] หม้อข้าวหม้อแกงลิงจึงถูกขึ้นบัญชีไซเตสหรืออนุสัญญาว่าด้วยการค้าระหว่างประเทศซึ่งชนิดสัตว์ป่าและพืชป่าที่ใกล้สูญพันธุ์ (The Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora: CITES) เป็นพืชที่เสี่ยงต่อการสูญเนื่องจากพบการลักลอบขายหม้อข้าวหม้อแกงลิงจากธรรมชาติซึ่งเป็นการซ้ำเติมและเพิ่มโอกาสในการสูญพันธุ์มากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมี

ความประสงค์จะพัฒนาและอนุรักษ์พันธุกรรมหม้อข้าวหม้อแกงลิง ภายใต้ข้อบังคับของไซเตสเพื่อส่งเสริมให้ประชาชนได้ใช้ประโยชน์จากพันธุกรรมพืชอย่างถูกต้องและยั่งยืนต่อไป โดยการอนุรักษ์ต้นหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์เป็นการทำสไลด์ศึกษากายวิภาคศาสตร์ของเยื่อชั้นผิวใบและหม้อของต้นหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์เพื่อเก็บฐานข้อมูลเบื้องต้นให้กับผู้ที่ต้องการศึกษาเนื่องจากหากในอนาคตหม้อข้าวหม้อแกงลิงอาจสูญพันธุ์ไปจะมีข้อมูลทางกายวิภาคศาสตร์ในการเก็บรวบรวมเอาไว้และหากหม้อข้าวหม้อแกงลิงหายไปจากพื้นที่ที่เก็บอนุรักษ์เอาไว้ไปเจอในธรรมชาติจะสามารถนำข้อมูลจากที่เราได้ศึกษาไว้แล้วช่วยระบุชนิดและสายพันธุ์ของต้นหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์เพื่อนำไปสู่การอนุรักษ์ในลำดับถัดไป [13] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษากายวิภาคศาสตร์ของ เนื้อเยื่อชั้นผิวใบ และหม้อของต้นหม้อข้าวหม้อแกงลิงสายพันธุ์เสือสุราษฎร์อันก่อให้เกิดองค์ความรู้ เพื่ออนุรักษ์ต้นหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์เป็นลำดับไป

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและบรรยายลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบและหม้อของต้นหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์ซึ่งเป็นพืชเฉพาะถิ่นและพืชใกล้สูญพันธ์ของจังหวัดสุราษฎร์ธานีและประเทศไทย

3. ขอบเขตของการศึกษา



4. วิธีการศึกษา

การศึกษากายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบและหม้อของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์ (*N. suratensis*): พืชเฉพาะถิ่น (endemic species) และพืชใกล้สูญพันธุ์ (endanger species) ของจังหวัดสุราษฎร์ธานีและประเทศไทยมีวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. การเก็บตัวอย่างพืชและระบุชื่อวิทยาศาสตร์
   1.1 การจัดทำตัวอย่างพรรณไม้แห้ง
   1.2 การรักษาสภาพตัวอย่างพืช
2. การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของใบ
   2.1 วิธีการลอกผิว
   2.2 วิธีการทำให้แผ่นใบใส
3. การบรรยายลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์
4. เขียนรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

4.1 การเก็บตัวอย่างพืชและระบุชื่อวิทยาศาสตร์

การศึกษาครั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างใบลำต้นและหม้อของพืชวงศ์หม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์ (*N. suratensis*) ที่กระจายพันธุ์ในพื้นที่ธรรมชาติและพื้นที่เพาะปลูกในประเทศไทย ซึ่งจัดเป็นพืชที่ใกล้สูญพันธุ์ในประเทศไทย ณ แหล่งอนุรักษ์หม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์ เรือนจำกลางทุ่งเขน อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยเก็บตัวอย่างพืชที่สมบูรณ์ ไม่เป็นโรคไม่ถูกแมลงกัดหรือทำลาย และควรเก็บอวัยวะที่เติบโตเต็มที่ นำตัวอย่างพืชที่สามารถได้แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจัดทำเป็นตัวอย่างพรรณไม้แห้งเพื่อใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิงและใช้ระบุชื่อวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง ในการระบุชื่อวิทยาศาสตร์ได้นำตัวอย่างพืชมาเปรียบเทียบกับลักษณะสัณฐานวิทยาได้มีการศึกษาไว้จากการศึกษาก่อนหน้าของ [8] โดยเก็บรักษาตัวอย่างพรรณไม้แห้งไว้ที่โรงเรียนสุราษฎร์ธานี นอกจากนี้นำตัวอย่างอีกส่วนหนึ่งรักษาสภาพตัวอย่างด้วย สารละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำมาศึกษาลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ ของแผ่นใบและตัวหม้อ [2, 6]

4.1.1 การจัดทำตัวอย่างพรรณไม้แห้ง [3] มีขั้นตอนดังนี้

4.1.1.1 วางตัวอย่างพืชที่เก็บจากภาคสนามบนกระดาษหนังสือพิมพ์ 1 คู่ จากนั้นใช้กรรไกรตัดแต่งกิ่งให้พอดีกับกระดาษหนังสือพิมพ์และจัดให้คว่ำและหงายเพื่อให้เห็นลักษณะโครงสร้างภายนอกชัดเจน

4.1.1.2 ปิดกระดาษหนังสือพิมพ์ลงและนำกระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีตัวอย่างพรรณไม้ 2-3 แผ่นวางในแต่ละชั้น จากนั้นแทรกระหว่างชั้นด้วยกระดาษลูกฟูกเพื่อช่วยในการดูดความชื้นจากตัวอย่างพรรณไม้

4.1.1.3 นำกระดาษลูกฟูกวางทับทั้ง 2 ด้าน ก่อนนำแผงอัดพรรณไม้วางประกบทั้ง 2 ด้าน โดยทั้งสองด้านรัดด้วยเชือกให้แน่นเพื่อให้ตัวอย่างเรียบเสมอกัน

4.1.1.4 นำแผงอัดพรรณไม้ไปอบด้วยความร้อนเพื่อให้ความชื้นจากตัวอย่างพืชระเหยออกได้เร็วขึ้น ช่วงแรกของการนำความชื้นออกควรเปลี่ยนกระดาษหนังสือพิมพ์เป็นประจำเพื่อให้ตัวอย่างแห้งได้เร็วขึ้นและป้องกันเชื้อราขึ้นตัวอย่างพืช

4.1.1.5 นำตัวอย่างพรรณไม้ที่แห้งสนิทดีแล้วมาเย็บด้วยด้ายสีขาวและติดลงบนกระดาษขาวขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 42 เซนติเมตร ชนิด 300 แกรม โดยวางบริเวณกึ่งกลางของกระดาษ

4.1.1.6 ติดฉลากข้อมูลไว้บริเวณมุมล่างซ้ายเพื่อแสดงข้อมูลของตัวอย่างพรรณไม้ เช่น ชื่อผู้เก็บ พื้นที่เก็บ ระดับความสูง และชื่อวิทยาศาสตร์

4.1.2 การรักษาสภาพตัวอย่างพืช

ในการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ในครั้งนี้ รักษาสภาพเซลล์ด้วยสารละลายเอทานอล 70 เปอร์เซนต์ เพื่อเป็นการคงสภาพเซลล์และเนื้อเยื่อเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปศึกษาลักษณะเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้วยวิธีการลอกผิว ร่วมกับวิธีทำให้แผ่นใบใส

4.2 การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของใบ

นำตัวอย่างพืชที่รักษาสภาพด้วยสารละลายเอทานอล 70 เปอร์เซนต์ มาทำการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของใบ โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 เทคนิค คือ ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบและหม้อโดยใช้วิธีการลอกผิวร่วมกับวิธีการทำให้แผ่นใบใส [1]

4.2.1 วิธีการลอกผิว

4.2.1.1 ตัดบริเวณส่วนกลางของใบพืชที่ศึกษา จากนั้นลอกชั้นผิวใบด้านที่ไม่ต้องการออกด้วยใบมีดโกน

4.2.1.2 นำตัวอย่างที่ลอกผิวย้อมด้วยสีซาฟรานิน (safranin) ความเข้มข้น 1 เปอร์เซนต์เป็นเวลา 30-50 นาที จากนั้นล้างส่วนตัวอย่างด้วยน้ำสะอาดประมาณ 3-4 ครั้ง

4.2.1.3 ดึงน้ำออกจากตัวอย่างด้วยสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 70, 95 และ 100 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ โดยแช่ตัวอย่างในแต่ละความเข้มข้นประมาณ 10 นาที

4.2.1.4 ดึงน้ำออกจากตัวอย่างต่อด้วยสารละลายที่ผสมระหว่างสารละลายเอทานอลและไซลีน (xylene) ในอัตราส่วน 1:1 ใช้เวลาประมาณ 10 นาที

4.2.1.5 ย้ายชิ้นตัวอย่างไปแช่ในไซลีนเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นผนึกสไลด์ (mounting) ด้วย DePeX

4.2.2 วิธีการทำให้แผ่นใบใส [14]

4.2.2.1 ตัดชิ้นตัวอย่างใบพืชที่ต้องการศึกษาให้มีขนาดประมาณ 1 ตารางเซนติเมตรจากนั้นแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จนกระทั่งตัวอย่างโปร่งแสงมากขึ้น

4.2.2.2 ย้ายชิ้นตัวอย่างมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโพคลอไรด์ (NaClO) โดยใช้เวลา 2-3 นาที จนกระทั่งแผ่นใบพืชโปร่งใส และล้างด้วยน้ำสะอาด 5-10 ครั้ง

4.2.2.3 ดึงน้ำออกจากตัวอย่างด้วยสารละลายเอทานอลที่ความเข้ม 70, 95 และ 100 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ โดยแช่ตัวอย่างในแต่ละความเข้มข้นประมาณ 10 นาที

4.2.2.4 ดึงน้ำออกจากตัวอย่างต่อด้วยสารละลายที่ผสมระหว่างสารละลายเอทานอล 100 เปอร์เซนต์ และไซลีนในอัตราส่วน 1:1 ใช้เวลาประมาณ 10 นาที

4.2.2.5 ย้ายชิ้นตัวอย่างไปแช่ในไซลีนเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นผนึกสไลด์ด้วยเปอร์เมาส์

5. ผลการศึกษา

จากการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบและหม้อของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์โดยวิธีการลอกผิวร่วมกับการทำแผ่นใบให้ใสร่วมกับการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงสามารถสรุปและอภิปรายลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของพืชที่ศึกษาได้ดังนี้

5.1 ลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบ

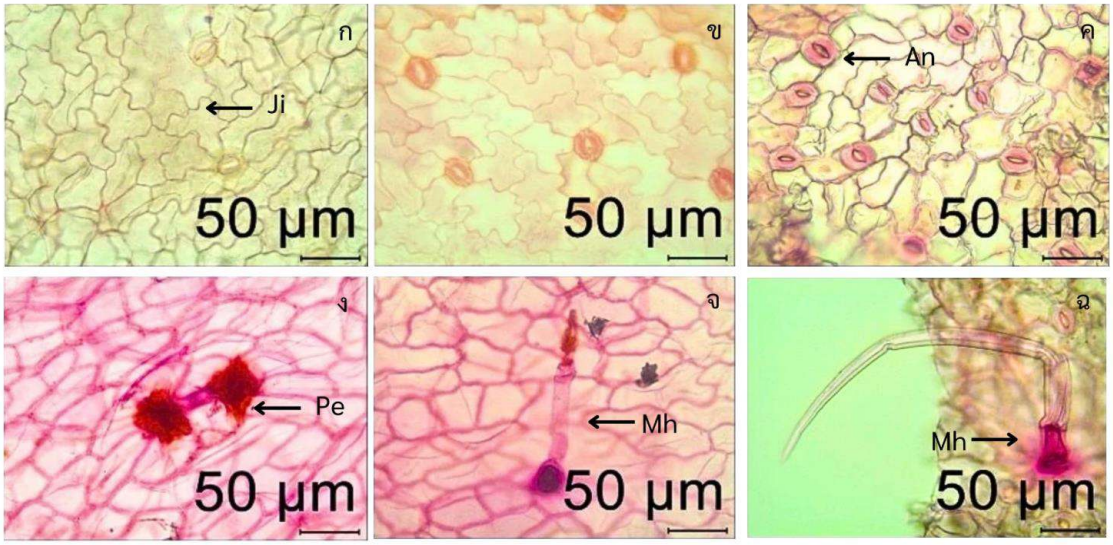
ผิวเคลือบคิวทิน: เนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่างของพืชที่ศึกษามีลักษณะผิวเคลือบคิวทิน เหมือนกันทั้งสองด้าน คือ ผิวเคลือบคิวทินแบบเรียบ

รูปร่างเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิว: มีรูปร่างเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบเหมือนกันทั้งด้านบนและด้านล่าง คือ รูปร่างคล้ายจิกซอว์ (ภาพประกอบที่ 1 ก และ ข)

ผนังเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิว: หากพิจารณารูปร่างของผนังเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวร่วมกับตำแหน่งที่พบ พบว่าเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบเหมือนกันทั้งด้านบนและด้านล่าง คือ ผนังเซลล์เว้าลึก

ปากใบ: พืชที่ศึกษามีปากใบในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบทั้งสองด้าน โดยเจอเพียงชนิดเดียว คือ ปากใบแบบแอนอโมไซติก ซึ่งเป็นปากใบที่ไม่มีเซลล์ข้างเซลล์คุม (ภาพประกอบที่ 1 ค)

ขน: พืชที่ศึกษามีขนในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบทั้งสองด้าน ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้ 1) ขนรูปโล่ พบในเส้นกลางใบด้านบน (ภาพประกอบที่ 1 ง) 2) ขนหลายเซลล์ พบในเส้นกลางใบด้านบนและด้านล่าง และขอบใบด้านบนและด้านล่าง (ภาพประกอบที่ 1 จ และ ฉ)



ภาพประกอบที่ 1 เนื้อเยื่อชั้นผิวใบของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์จากการลอกเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่าง ก. เนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบน ข. เนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านล่าง ค. ปากใบแบบแอนอโมไซติก ง. ขนรูปโล่ จ. และ ฉ. ขนหลายเซลล์ (Ji=รูปร่างเซลล์คล้ายจิกซอว์, An=ปากใบแบบแอนอโมไซติก, Pe=ขนรูปโล่, Mh=ขนหลายเซลล์)

5.2 ลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อผิวใบบริเวณหม้อ

5.2.1 เนื้อเยื่อผิวใบบริเวณฝาหม้อ

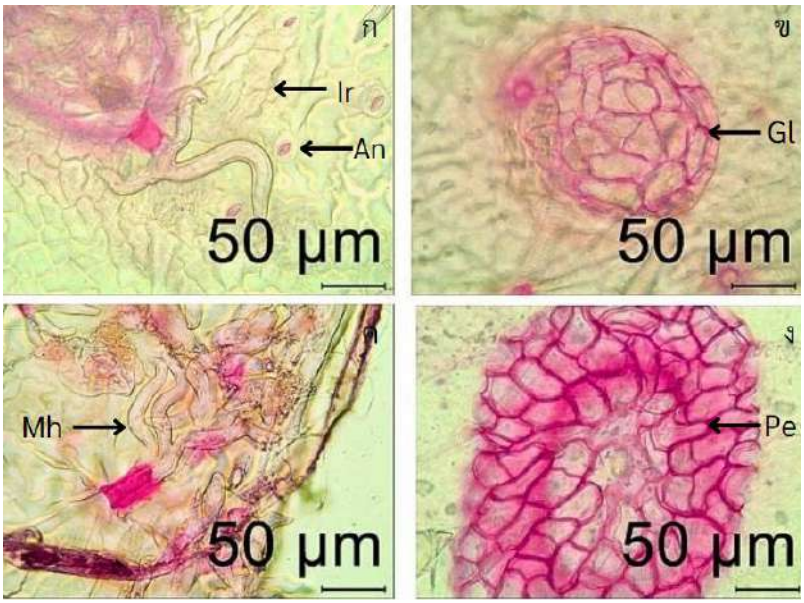
ผิวเคลือบคิวทิน: เนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณฝาหม้อด้านบนและด้านล่างของพืชที่ศึกษามีลักษณะผิวเคลือบคิวทินเหมือนกันทั้งสองด้าน คือ ผิวเคลือบคิวทินแบบเรียบ

รูปร่างเซลล์: เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบมีรูปร่างเซลล์บริเวณฝาหม้อเหมือนกันทั้งด้านบนและด้านล่าง คือ รูปร่างไม่แน่นอน

ผนังเซลล์: เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบหากพิจารณารูปร่างของผนังเซลล์ร่วมกับตำแหน่งที่พบ พบว่า เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณฝาหม้อเหมือนกันทั้งด้านบนและด้านล่าง คือ ผนังเซลล์เว้าตื้น

ปากใบ: พืชที่ศึกษามีปากใบในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณฝาหม้อทั้งสองด้านพบ 1 ชนิดคือ ปากใบแบบแอนอโมไซติก ซึ่งเป็นปากใบที่ไม่มีเซลล์ข้างเซลล์คุม (ภาพประกอบที่ 2 ก)

ขน: พืชที่ศึกษามีขนในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณฝาหม้อทั้งสองด้าน ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้ 1) ขนต่อม พบในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณฝาหม้อด้านบน (ภาพประกอบที่ 2 ข) 2) ขนหลายเซลล์ พบในฝาหม้อทั้ง ด้านบนและด้านล่าง (ภาพประกอบที่ 2 ค) 3) ขนรูปโล่ พบในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณฝาหม้อทั้งด้านบนและด้านล่าง (ภาพประกอบที่ 2 ง)



ภาพประกอบที่ 2 เนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณฝาหม้อของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์ จากการลอกผิวใบฝาหม้อด้านบนและด้านล่าง ก. เนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนของฝาหม้อและปากใบแบบแอนอโมไซติก ข. ขนต่อม ค. ขนหลายเซลล์ ง. ขนรูปโล่ (An=ปากใบแบบแอนอโมไซติก, Gl=ขนต่อม, Mh= ขนหลายเซลล์, Pe=ขนรูปโล่, Ir=รูปร่างเซลล์ไม่แน่นอน)

5.2.2 เนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณตัวหม้อ

ผิวเคลือบคิวทิน: เนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณตัวหม้อด้านบนและด้านล่างของพืชที่ศึกษามีลักษณะผิวเคลือบคิวทินเหมือนกันทั้งสองด้าน คือ ผิวเคลือบคิวทินแบบเรียบ

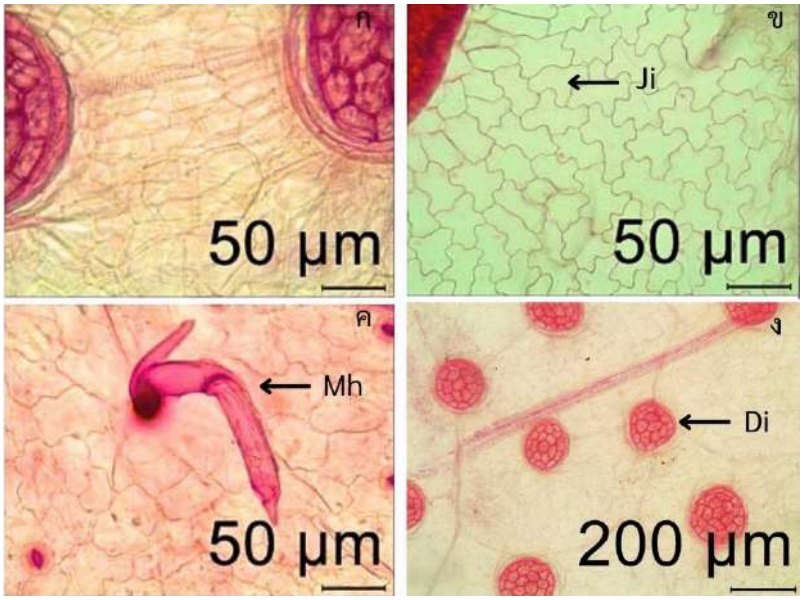
รูปร่างเซลล์: เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณตัวหม้อมีรูปร่างเซลล์เหมือนกันทั้งด้านบนและด้านล่าง คือ รูปร่างคล้าย จิกซอว์ (ภาพประกอบที่ 3 ข)

ผนังเซลล์: หากพิจารณารูปร่างของผนังเซลล์ร่วมกับตำแหน่งที่พบ พบว่าเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณตัวหม้อมีลักษณะเหมือนกันทั้งด้านบนและด้านล่าง คือ ผนังเซลล์เว้าลึก

ปากใบ: พืชที่ศึกษามีปากใบในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณตัวหม้อทั้งสองด้าน โดยพบ 1 ชนิด คือ ปากใบแบบแอนอโมไซติกซึ่งเป็นปากใบที่ไม่มีเซลล์ข้างเซลล์คุม

ขน: พืชที่ศึกษามีขนในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณตัวหม้อทั้งสองด้าน โดยพบ 1 ชนิด คือ ขนหลายเซลล์ (ภาพประกอบที่ 3 ค)

สารสะสม: พืชที่ศึกษาพบโครงสร้างต่อม (gland) ที่เนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณตัวหม้อด้านล่าง คือ ต่อมสร้างน้ำย่อย (digestive gland) (ภาพประกอบที่ 3 ง)



ภาพประกอบที่ 3 เนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณตัวหม้อของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์ จากการลอกผิวใบของตัวหม้อด้านบนและด้านล่าง ก. เนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนของตัวหม้อ ข. เนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านล่างของตัวหม้อ ค. ขนหลายเซลล์ ง. ต่อมสร้างน้ำย่อย (Ji=รูปร่างเซลล์คล้ายจิกซอว์, Mh=ขนหลายเซลล์, Di=ต่อมสร้างน้ำย่อย)

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบและหม้อของต้นหม้อข้าวหม้อแกงลิงสายพันธุ์เสือสุราษฎร์ โดยวิธีการลอกผิวร่วมกับการทำแผ่นใบให้ใสร่วมกับการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงสามารถสรุปและอภิปรายลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของพืชที่ศึกษาดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์เนื้อเยื่อชั้นผิวใบและหม้อของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์

บริเวณที่ศึกษา	ผิวเคลือบคิวทิน		รูปร่างเซลล์		ผนังเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิว		ปากใบ		ขน		โครงสร้างสารหลั่ง	
	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L	U	L
ขอบใบ	So	So	Ji	Ji	Cl	Cl	An	An	Mh	Mh	-	-
เส้นกลางใบ	So	So	Ji	Ji	Cl	Cl	An	An	Pe,Mh	Mh	-	-
ฝาหม้อ	So	So	Ir	Ir	Em	Em	An	An	Gl,Mh,Pe	Mh,Pe	-	-
ตัวหม้อ	So	So	Ji	Ji	Cl	Cl	An	An	Mh	Mh	-	Di

หมายเหตุ: **ผิวเคลือบคิวทิน**: So = ผิวเคลือบคิวทินแบบเรียบ; **รูปร่างเซลล์ในเนื้อชั้นผิวใบ**: Ir = รูปร่างเซลล์ไม่แน่นอน, Ji = รูปร่างเซลล์คล้ายจิกซอว์; **ผนังเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบ**: Cl = ผนังเซลล์เว้าลึก, Em = ผนังเซลล์เว้าตื้น; **ปากใบ**: An = ปากใบแบบแอนอโมไซติก; **ขน**: Mh = ขนหลายเซลล์, Gl = ขนต่อม, Pe = ขนรูปโล่; **สารสะสม/โครงสร้างสารหลั่ง**: Di = ต่อมสร้างน้ำย่อย; **เนื้อเยื่อผิว**: U = เนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบน, L = เนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านล่าง

6.1 ลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบ

จากการลอกผิวร่วมกับการทำให้แผ่นใบใส มีผิวเคลือบคิวทินมี 1 แบบ คือ ผิวเคลือบคิวทินแบบเรียบ เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบมี 1 รูปร่าง คือ รูปร่างคล้ายจิกซอว์ (jigsaw shape) ผนังเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวมี 1 แบบ คือ เว้าลึก (cleft cell wall) ชนิดปากใบมี 1 ชนิด คือ แอนอโมไซติก ขนมี 2 ชนิด คือ 1) ขนรูปโล่ (peltate trichome) 2) ขนหลายเซลล์ (muticellular trichome) โดยพบขนรูปโล่เฉพาะบริเวณเส้นกลางใบของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนเท่านั้น

6.2 ลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณฝาหม้อ

จากการลอกผิวร่วมกับการทำให้ฝาหม้อใส มีผิวเคลือบคิวทิน 1 แบบ คือ ผิวเคลือบคิวทินแบบเรียบ เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณฝาหม้อมี 1 รูปร่าง คือ รูปร่างไม่แน่นอน (irregular shape) ผนังเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณฝาหม้อมี 1 แบบ คือ เว้าตื้น (emerginate) ชนิดปากใบมี 1 ชนิด คือ แอนอโมไซติก ขนมี 2 ชนิด คือ 1) ขนต่อม 2) ขนหลายเซลล์ (muticellular trichome) 3) ขนรูปโล่ (peltate trichome) โดยพบขนต่อมเฉพาะบริเวณเนื้อเยื่อผิวใบด้านบนของฝาหม้อเท่านั้น

6.3 ลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณตัวหม้อ

จากการลอกผิวร่วมกับการทำให้ตัวหม้อใส มีผิวเคลือบคิวทิน 1 แบบ คือ ผิวเคลือบคิวทินแบบเรียบ เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณตัวหม้อมี 1 รูปร่าง คือ รูปร่างคล้ายจิกซอว์ (jigsaw shape) ผนังเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณตัวหม้อมี 1 แบบ คือ เว้าลึก (cleft cell wall) ชนิดปากใบมี 1 ชนิด คือ แอนอโมไซติก ขนมี 1 ชนิด คือ ขนหลายเซลล์ (muticellular trichome) และพบต่อมสร้างน้ำย่อย (digestive gland) ที่เนื้อเยื่อชั้นผิวใบบริเวณตัวหม้อด้านล่าง

7. อภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบและหม้อของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์ (*N. suratensis*) พบลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบและหม้อที่สามารถนำมาพิจารณาการระบุชนิด ได้ดังนี้

(1) รูปร่างเซลล์และลักษณะผนังเซลล์ของเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบ พืชที่ศึกษามีผนังเซลล์รูปร่างคล้ายจิกซอว์ที่มีผนังเซลล์เว้าลึกในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่างบริเวณขอบใบ เส้นกลางใบ และตัวหม้อ แต่มีรูปร่างเซลล์ไม่แน่นอนที่มีผนัง

เซลล์เว้าตื้นในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่างบริเวณฝาหม้อ ซึ่งสอดคล้องเพียงบางส่วนกับการศึกษาของ [11] ได้รายงานว่าพบเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวรูปร่างหลายเหลี่ยมและมีผนังเซลล์เว้าตื้นบริเวณเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่างใน *N. gracilis*, *N. hispida* และ *N.* x *kuchingensis* ในขณะที่ *N. mirabillis*, *N. mirabillis* var. *echinostoma*. *N. nazreeana* sp. nov. ined, *N. rafflesiana*, *N. reindwartiana* และ *N.* x *hookeriana* พบเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวรูปร่างหลายเหลี่ยมและมีผนังเซลล์ตรงบริเวณเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่าง และพบเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวรูปร่างหลายเหลี่ยม และมีผนังเซลล์ตรงบริเวณเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบน และรูปร่างหลายเหลี่ยม และมีผนังเซลล์เว้าตื้นบริเวณเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านล่างใน *N. albomarginata*, *N. amphullaria*, *N. hirsuta* และ *N.* x *trichocarpa* นอกจากนี้ผลการศึกษายังสอดคล้องบางส่วนกับการวิจัยของ [19] ซึ่งระบุว่าพบเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวมีผนังเซลล์แบบเว้าตื้นบริเวณเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่างในใบ ฝาหม้อ และตัวหม้อของ *N. gracilis*

(2) ปากใบ พืชที่ศึกษาพบปากใบแบบแอนอโมไซติกบริเวณเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่างในทุกบริเวณที่ศึกษา ซึ่งจากผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการพบปากใบแบบแอนอโมไซติกในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่างของ *N.* x *kuchingensis* ในขณะที่อีก 9 ชนิด และ 2 พันธุ์ผสมของพืชสกุลหม้อข้าวหม้อแกงลิงที่ได้รับการศึกษาพบ ปากใบแบบ แอนอโมไซติกในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านล่างเท่านั้น ตามที่รายงานในการศึกษาของ [11] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ [19] ซึ่งบรรยายลักษณะปากใบแบบแอนอโมไซติกในใบ ฝาหม้อ และตัวหม้อ บริเวณเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านล่างของ *N. gracilis*, *N. mirabillis*, *N. amphullaria*, *N. rafflesiana* และ *N. reindwartiana* เท่านั้น ในขณะที่ *N. biccalcarata* พบปากใบแบบแอคทิโนไซติก ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาในครั้งนี้

(3) ขน พืชที่ศึกษาพบขนแบบหลายเซลล์ทั้งเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่างในทุกบริเวณที่ศึกษา พบขนต่อมในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนบริเวณฝาหม้อ และขนรูปโล่ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนบริเวณเส้นกลางใบ และเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่างบริเวณฝาหม้อ ซึ่งสอดคล้องบางส่วนกับการศึกษาของ [19] ที่อธิบายการพบขนหลายเซลล์และขนต่อมในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่างของใบ *N. gracilis*, *N. mirabillis*, *N. amphullaria*, *N. rafflesiana* และ *N. reindwartiana* อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ [10] ที่อธิบายการปรากฏของขนหลายเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวของ *N. ampullaria* และพบขนเซลล์เดียวในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบของพืชสกุลหม้อข้าวหม้อแกงลิงที่ศึกษา ในทำนองเดียวกันการศึกษาของ [11] รายงานการพบขนต่อมชนิดไม่มีก้านที่มีรูปร่างคล้ายดอกไม้ที่มีรูปร่างไม่แน่นอน และรูปร่างกลมในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบของพืชสกุลหม้อข้าวหม้อแกงลิงทั้ง 13 ชนิดที่ศึกษา

(4) สารสะสม / โครงสร้างสารหลั่ง พืชที่ศึกษาพบต่อมสร้างน้ำย่อยบริเวณเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนบริเวณตัวหม้อของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์เท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับศึกษาของ [7, 18] รายงานการพบต่อมสร้างน้ำย่อยบริเวณเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านในของตัวหม้อของ *N. rafflesiana*, *N. alata, N. tobaica*, และ *N. ventricosa* นอกจากนี้ยังพบว่ารูปร่างกลมหรือรีของต่อมสร้างน้ำย่อยที่ปรากฏในการศึกษาครั้งนี้ยังสอดคล้องกับรูปร่างของต่อมสร้างน้ำย่อยที่มีรูปร่างกลมค่อนไปทางรีซึ่งพบบริเวณเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านในของตัวหม้อของพืชสกุลหม้อข้าวหม้อแกงลิง 5 ชนิด ซึ่งบรรยายไว้ในการศึกษาของ [17] จากการอภิปรายผลการทดลองพบว่าลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ใบและหม้อของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์ที่มีสำคัญต่อการระบุชนิดประกอบด้วย 1) รูปร่างเซลล์ที่มีลักษณะคล้ายจิกซอว์ที่มีผนังเซลล์เว้าลึกในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่างบริเวณขอบใบ เส้นกลางใบ และตัวหม้อ 2) การพบปากใบแบบแอนอโมไซติกบริเวณเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่างในทุกบริเวณที่ศึกษา 3) การพบขนรูปโล่ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนบริเวณเส้นกลางใบ และเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่างบริเวณฝาหม้อ ซึ่งจาก

การศึกษาครั้งนี้สะท้อนให้เห็นว่า แม้ว่าลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของพืชสามารถช่วยสนับสนุนการระบุชนิดแบบดั้งเดิมได้ แต่ลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์เพียงอย่างเดียวยังไม่สามารถช่วยจัดจำแนกชนิดของพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือข้อมูลทางกายวิภาคศาสตร์เป็นข้อมูลเพิ่มเติมที่ช่วยสนับสนุนให้การจัดจำแนกชนิดของพืชให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น [19] ลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของใบพืชสกุลหม้อข้าวหม้อแกงลิงอาจได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมภายนอกเช่นเดียวกับพืชชนิดอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามกลับพบว่าลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ที่นำมาใช้ในการพิจารณาเป็นลักษณะเชิงคุณภาพที่ส่งต่อทางพันธุกรรมและไม่แปรผันตามสภาพแวดล้อม ดังนั้นลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของใบและหม้อพืชสกุลหม้อข้าวหม้อแกงลิงจึงมีประโยชน์และมีประสิทธิภาพอย่างยิ่งในการช่วยระบุชนิดพืชได้ [9]

เอกสารอ้างอิง

[1] กฤติณ ทิพย์มณเฑียร. (2561). *กายวิภาคศาสตร์แผ่นใบ ก้านใบ และเนื้อไม้ และพัฒนาการ ของโครงสร้างสารหลั่งภายในของพืชวงศ์มะม่วง (Anacardiaceae) บางชนิดใน ประเทศไทย*. ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต (ชีววิทยา), กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[2] ก่องกานดา ชยามฤตม. (2541). *คู่มือจำแนกพรรณไม้*. กรุงเทพฯ: สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้.

[3] บุศบรรณ ณ สงขลา. 2531/1988, การศึกษาพันธุ์ไม้บางชนิดซึ่งชนกลุ่มน้อยเผ่ามลาบรี (ผีตองเหลือง) ใช้ประโยชน์". ปรากฏในหนังสือ *ผลการวิเคราะห์กลุ่มสังคมล่าสัตว์: ชนกลุ่มน้อยเผ่า "ผีตองเหลือง" ในประเทศไทย* โดยสุรินทร์ ภู่ขจร และคณะ กองพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ กรมศิลปากร. (AA Mbr EG)

[4] ปฐมะ ตั้งประดิษฐ. (ม.ป.ป.). *หม้อข้าวหม้อแกงลิง*. สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2567. http://www3.rdi.ku.ac.th/exhibition/53/group06/Patama/index_04.html

[5] พัชญ์สิตา ฐิตะเลิศวงศ์ และคณะ. (2554). *การศึกษาชนิดพันธุ์ไม้"หม้อข้าวหม้อแกงลิง" (Nepenthes).* กรุงเทพฯ: สำนักจัดการทรัพยากรป่าไม้ที่ 9 กรมป่าไม้.

[6] มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. (ม.ป.ป.). *การเก็บรักษาตัวอย่างด้วยวิธีโฮลเมาต์.* สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2567. http://oservice.skru.ac.th/ebookft/353/chapter11.pdf

[7] Andrew, H. T. (2008). The Development of the Digestive Glands and Enzymes in the Pitchers of Three Nepenthes Species: N. alata, N. tobaica, and N. ventricosa (Nepenthaceae). *International Journal of Plant Sciences,* 169(5), 615-624. https://doi:10.1086/533599

[8] Catalano, M. (2010). *Nepenthes della thailandia: diario di riaggio*. Italy.

[9] Farishy, D. D., Nisyawati, N., & Metusala, D. (2017). Characterization anatomical leaf blade five species *Nepenthes* from Kerinci Seblat National Park, Kerinci regency, Jambi Province. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1862, No. 1). AIP Publishing.

[10] Ghazalli, M. N., Tamizi, A. A., Nikong, D., Esa, M. I. M., Besi, E. E., Salleh, S., Talip, N., & Latiff, A. (2021). Comparative leaf anatomy of ten *Nepenthes* L. species (Nepenthaceae) from Peninsular Malaysia. *Notulae Scientia Biologicae*, *13*(4), 10980.

[11] Huda, M. H. N., Meekiong, K., & Elias, H. (2022). Leaf Anatomical Characteristics of *Nepenthes* Species in Western Sarawak, Borneo. *Malaysian Applied Biology*, *51*(5), 201-210.

[12] Kartini, K. (2019). First record of functional underground traps in a pitcher plant: Nepenthes pudica (Nepenthaceae), a new species from North Kalimantan, Borneo. *PhytoKeys,* 201,77-97. https://doi: 10.3897/phytokeys.201.82872

[13] Kasetpt. (2558). *โครงการอนุรักษ์และใช้ประโยชน์จากพันธุกรรมหม้อข้าวหม้อแกงลิง*. สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2567. http://www.kasetpt.ac.th/ 2558_genectc_conservation/plant_conserve_report2558/content.pdf

[14] Lersten; & Curtis. (2001). Idioblasts and other unusual internal foliar secretory structures in *Scrophulariaceae. Plant Systematics and Evolution,* 227(1), 63-73.

[15] MGR Online. (2558). *ผบ.เรือนจำสุราษฎร์ฯ ยืนยัน "หม้อข้าวหม้อแกงลิงเสือสุราษฎร์" ไม่สูญพันธุ์แน่.* สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน2567. https://mgronline.com/south/detail/9580000068753

[16] Nisyawati. (2017). *Comparison of leaf anatomy on some Nepenthes spp. (Nepenthaceae) from highland and lowland habitat in Indonesia*. https://pubs.aip.org/aip/acp/article/1862/1/030111/650080/Comparison-of-leaf-anatomy-on-some-Nepenthes-spp

[17] Osunkoya, O. O., & Muntassir, N. A. (2017). Comparative anatomy of the assimilatory organs of *Nepenthes* species. *Australian Journal of Botany*, *65*(1), 67-79.

[18] Rachel Schwallier, Valeri van Wely (2020). Ontogeny and Anatomy of the Dimorphic Pitchers of *Nepenthes rafflesiana* Jack. *Plants 2020, 9*(11), 1603.

[19] S. Rizqiani, N. S. Ariyanti, & Sulistijorini. (2018). Diversity of Lowland *Nepenthes* (Pitcher Plants) in Bangka Belitung Islands. *Earth and Environmental Science,* 197 (2018), 012021.

ความหลากหลายของหอยฝาเดียวต่อการบ่งชี้คุณภาพแหล่งน้ำ และบ่งชี้แนวโน้มการติดเชื้อของพยาธิใบไม้ที่มีหอยฝาเดียวเป็นโฮสต์ตัวกลางในแหล่งน้ำชุมชน บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม

ภคพร สิทธิบุตร, ญาณกร วิฑูรย์เสถียร, เทิดศักดิ์ สกุลสุข, ศศิวิมล สนิทบุญ, และจิราภรณ์ แสงประทุม*

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ตำบลนครปฐม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม
* Corresponding author: jiraporns@webmail.npru.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาความหลากหลายของชนิดพันธุ์หอยฝาเดียว (Gastropod) ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของแหล่งน้ำในบริเวณอำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม และศึกษาอัตราการติดเชื้อของพยาธิใบไม้ที่มีหอยฝาเดียวเป็นโฮสต์กึ่งกลาง (Intermediated host) เพื่อใช้ในการคาดคะเนแนวโน้มการติดเชื้อพยาธิใบไม้ของคนในพื้นที่ ดำเนินการเก็บตัวอย่างหอยฝาเดียวเดือนมกราคม พ.ศ. 2568 ในแหล่งน้ำ 4 จุดสำรวจ ได้แก่ คลองเจดีย์บูชา, คลองประปา, คลองลำพยาสายที่ 1 และคลองลำพยาสายที่ 2 โดยใช้วิธีการเก็บแบบ random picking เป็นเวลา 10 นาทีต่อจุดสำรวจ พร้อมทั้งวัดค่าคุณภาพของน้ำ และศึกษาการติดเชื้อพยาธิใบไม้ในหอยด้วยวิธีการ shedding และตรวจสอบการติดเชื้อทุก 24 ชั่วโมงเป็นเวลา 10 วัน โดยย้อมสีพยาธิใบไม้ด้วย 0.5% neutral red ผลการศึกษาพบว่าค่า Dissolved Oxygen (DO), Salinity, และ Oxidize- Reduced Potential (ORP) ในจุดสำรวจคลองเจดีย์บูชามีค่าสูงกว่าจุดสำรวจอื่น และไม่พบการแพร่กระจายของชนิดพันธุ์หอยจากจุดสำรวจนี้ ส่วนจุดสำรวจคลองประปา, คลองลำพยาสายที่ 1 และคลองลำพยาสายที่ 2 มีค่าคุณภาพน้ำใกล้เคียงกัน และสุ่มเก็บตัวอย่างหอยฝาเดียวได้จำนวน 24 ตัว ได้แก่ชนิดพันธุ์ *Clea Helena , Pomacea canaliculata Lamarck, Bithynia siamensis goniomphalos* และ *Filopaludina martensi martensi* คิดเป็นร้อยละ 50, 25, 12.5, และ 8.33 ของหอยฝาเดียวที่พบทั้งหมด ตามลำดับ และผลการศึกษาแนวโน้มการติดเชื้อพยาธิใบไม้พบในการติดเชื้อระยะเซอร์คาเรียในหอยชนิดพันธุ์ *Bithynia siamensis goniomphalos* ในจุดสำรวจคลองลำพยาที่ 2 คิดเป็นร้อยละการติดเชื้อ 33.33

คำสำคัญ: หอยฝาเดียว (Gastropod) / คุณภาพน้ำ (Water Quality) / โฮสต์ตัวกลาง (Intermediated host) / พยาธิใบไม้ (Trematode) / สปีชีส์ (Species)

Diversity of Freshwater Snails as Indicators of Water Quality and Potential Risk of Trematode Infections Using Snails as Intermediate Hosts in Community Water Sources in Mueang District, Nakhon Pathom Province

Phakkaphorn Sittibut, Yanakorn Witoonsatian, Teardsak Skunsuk, Sasiwimon Sanitboon, and Jiraporn Sangpratum*

Science and Technology, Demonstration School of Nakhon Pathom Rajabhat, Thailand
*Corresponding author: jiraporns@webmail.npru.ac.th

Abstract

The study investigates the diversity of gastropod species that can be applied as bioindicators of water quality in the Mueang Nakhon Pathom district, Nakhon Pathom province. It also examines the infection rate of trematodes that use gastropods as intermediate hosts, aiming to predict the trend of trematode infection in the local human population. Gastropod samples were collected in January 2025 from four survey sites: Chedi Bucha Canal, Prapa Canal, Lam Phaya Canal 1, and Lam Phaya Canal 2. The collection method used was random picking for 10 minutes per survey site. Water quality parameters were also measured, and trematode infection in snails was studied using the shedding method and monitored every 24 hours for 10 days. Trematodes were stained with 0.5% neutral red. The results showed that Dissolved Oxygen (DO), Salinity, and Oxidize-Reduced Potential (ORP) were higher at the Chedi Bucha Canal site compared to other sites. No dispersal of snail species was found from this site. Water quality parameters at Prapa Canal, Lam Phaya Canal 1, and Lam Phaya Canal 2 were similar. A total of 24 gastropod samples were collected, including the species *Clea Helena*, *Pomacea canaliculata Lamarck*, *Bithynia siamensis goniomphalos*, and *Filopaludina martensi martensi*, representing 50%, 25%, 12.5%, and 8.33% of all gastropods found, respectively. The study on the trend of trematode infection found cercarial stage infection in *Bithynia siamensis goniomphalos* at the Lam Phaya Canal 2 site, with an infection rate of 33.33%.

Keywords: Gastropod / Water Quality / Intermediated host / Trematode / Species

1. บทนำ

ในปัจจุบันสิ่งแวดล้อมมีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม มลพิษหรือมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมมีเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์และการใช้ชีวิตประจำวัน มลพิษที่สำคัญที่ทำให้สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนไปได้แก่ มลพิษทางอากาศ และมลพิษทางน้ำ โดยเฉพาะมลพิษทางน้ำที่ใช้สำหรับอุปโภคและบริโภคนั้น มีสิ่งปนเปื้อน และก่อให้เกิดผลเสียต่าง ๆ ทั้งในด้านสุขภาพ และด้านของการใช้สอยในแต่ละพื้นที่นั้น ๆ แหล่งน้ำที่สะอาดและความอุดมสมบูรณ์ของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ภายใต้แหล่งน้ำ จึงมีความสำคัญต่อการอนุรักษ์พื้นที่และทำให้แหล่งน้ำให้มีคุณภาพที่ดีเหมาะสมต่อการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตและการใช้สอยของชาวบ้านในพื้นที่นั้น รวมถึงการใช้งานทางการเกษตร และสามารถหารายได้จากแหล่งน้ำเพื่อลดปัญหาความยากจนในพื้นที่ [1]

หอยฝาเดียวเป็นประเภทของหอยที่พบในแหล่งน้ำจืดมากที่สุด จึงสามารถใช้ในการศึกษาความอุดมสมบูรณ์ คุณภาพของน้ำที่มีผลต่อการแพร่กระจายของหอยสายพันธุ์ต่าง ๆ รวมถึงหอยฝาเดียวบางสายพันธุ์สามารถใช้ในการศึกษาแนวโน้มการแพร่กระจายของพยาธิใบไม้ที่ทำให้เกิดโรคในมนุษย์ได้ [2] ปัจจัยทางกายภาพที่แตกต่างกันส่งผลต่อการแพร่กระจายของหอยฝาเดียว ซึ่งสามารถตรวจสอบโดยใช้การวัดคุณภาพของแหล่งน้ำ ได้แก่ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen: DO), ค่าความเป็นกรดด่าง (pH), ค่าประมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (Total Dissolved Solid : TDS), ค่าความสามารถในการการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity: EC), การวัดค่าความสามารถในการออกซิไดซ์หรือรีดิวซ์สารอื่น (Oxidize-reduced potential) และค่าความเค็มของน้ำ (Salinity) ต่อพื้นที่ที่ทำการสำรวจ [3]

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ได้จึงได้ทำการศึกษาเรื่องปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อการแพร่กระจายของหอยฝาเดียว บริเวณแหล่งน้ำคลองชลประทาน 4 คลอง ในอำเภอเมือง นครปฐม จังหวัดนครปฐม เพื่อศึกษาปัจจัยทางกายภาพที่แตกต่างกันในการส่งผลต่อการแพร่กระจายของหอยฝาเดียว และตรวจสอบการติดเชื้อของพยาธิใบไม้จากตัวอย่างที่สุ่มเก็บได้ ซึ่งใช้เป็นข้อมูลสำหรับตรวจสอบคุณภาพของแหล่งน้ำโดยใช้หอยฝาเดียวเป็นตัวบ่งชี้ และใช้เป็นฐานข้อมูลบ่งชี้อัตราการติดเชื้อพยาธิใบไม้ เพื่อพัฒนาชุมชนและต่อยอดในงานวิจัยขั้นสูงต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการแพร่กระจายของหอยฝาเดียวกับคุณภาพของแหล่งน้ำในการบ่งชี้สภาพแหล่งโดยใช้การแพร่กระจายของหอยฝาเดียวเป็นเกณฑ์
2. เพื่อศึกษาอัตราการติดเชื้อพยาธิใบไม้ในหอยฝาเดียวที่สุ่มเก็บได้

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยครั้งนี้ทำการสำรวจบริเวณแหล่งน้ำชุมชน คลองชลประทาน 4 จุดสำรวจ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม ได้แก่ คลองเจดีย์บูชา คลองประปา คลองลำพยาสายที่ 1 และคลองลำพยาสายที่ 2

4. ขั้นตอนและการดำเนินงาน

4.1 การเก็บตัวอย่างหอยน้ำจืดและเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในบริเวณจุดสำรวจ

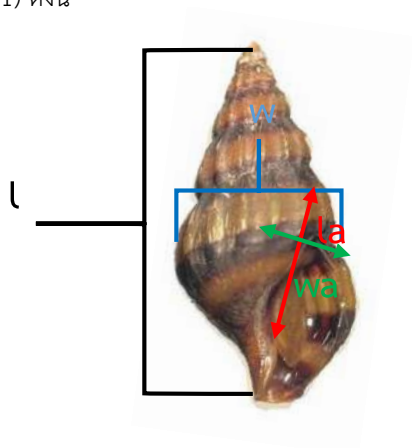
เก็บตัวอย่างหอยด้วยการใช้มือจับ (hand picking) โดยใช้วิธีเก็บตัวอย่างแบบ counts per unit of time คือมีผู้เก็บตัวอย่างจำนวน 3 คน เก็บในเวลา 10 นาที ทุก ๆ 4 จุดสำรวจ บริเวณคลองชลประทาน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม ได้แก่ จุดสำรวจที่ 1 คลองเจเดีย์บูชา, จุดสำรวจที่ 2 คลองประปา, จุดสำรวจที่ 3 คลองลำพยาสายที่ 1 และจุดสำรวจที่ 4 คลองลำพยาสายที่ 2 โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างหอยฝาเดียวในแต่ละจุดสำรวจมีกระบวนการดังนี้

4.1.1 เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมโดยทั่วไปบริเวณแหล่งน้ำที่พบหอยน้ำจืด ได้แก่ ลักษณะของดินบริเวณจุดสำรวจ เช่น โคลน หิน ทราย กรวด เป็นต้น, ลักษณะพื้นที่ของแหล่งน้ำ, ลักษณะของน้ำ เช่น ความใส–ขุ่น, ลักษณะพืชบริเวณรอบแหล่งน้ำและพืชใต้น้ำ, ลักษณะการเกาะอาศัยของหอยน้ำจืด

4.1.2 ทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำบริเวณจุดสำรวจ ได้แก่ วัดอุณหภูมิเหนือน้ำ (air temperature), วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH meter, Pen type water quality meter), วัดปริมาณออกซิเจนในน้ำ (oxygen meter, Pen type water quality meter), วัดปริมาณค่าการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าในน้ำ (conductivity, Pen type water quality meter), วัดปริมาณความเค็มในแหล่งน้ำ (salinity, Pen type water quality meter)

4.2 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือก (shell morphology)

จำแนกชนิดพันธุ์หอย โดยใช้ข้อมูลจากเอกสารต่างๆ, ถ่ายรูปตัวอย่างหอยที่สุ่มเก็บได้ ทั้งด้านคว่ำและด้านหงาย, ศึกษาขนาดของเปลือกหอย โดยใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์ในการวัดค่าพารามิเตอร์ โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดขนาดเปลือกหอย 4 ค่า (รูปที่ 1) ดังนี้



- ความยาวของเปลือก (length of shell, l)
- ความกว้างของเปลือก (width of shell, w)
- ความยาวของปากเปลือกหอย (length of aperture, la)
- ความกว้างของปากเปลือกหอย (width of aperture, wa)

รูปที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดขนาดเปลือกหอย

4.3 วิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel คำนวณค่าเฉลี่ยของข้อมูล (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) จากค่าพารามิเตอร์ของเปลือกหอย

4.4 การตรวจสอบการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเซอร์คาเรีย

วิธีที่ใช้ในการตรวจสอบการติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ในหอยตัวอย่าง ด้วยวิธีการ shedding นำหอยใส่น้ำที่ปราศจากคลอรีน (dechlorination) วางไว้ข้ามคืน แล้วทำการตรวจหาตัวอ่อนระยะเซอร์คาเรียของพยาธิภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ เมื่อพบตัวอ่อนพยาธิระยะเซอร์คาเรียว่ายออกจากตัวหอย ตรวจการติดเชื้อโดยการใช้ dropper ดูดตัวอ่อนพยาธิระยะเซอร์คาเรียขึ้นมาวางบนสไลด์และทำการตรวจสอบชนิดพันธุ์ของตัวอ่อนพยาธิระยะเซอร์คาเรีย โดยการย้อมสี 0.5% neutral red หยดลงบนสไลด์ แล้วศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา พร้อมถ่ายรูปและสังเกตพฤติกรรมการเคลื่อนไหว

5. ผลการศึกษา

จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างหอยฝาเดียวที่สุ่มเก็บได้ในแต่ละจุดสำรวจ เดือนมกราคม พ.ศ. 2568 ได้ผลการศึกษาดังนี้

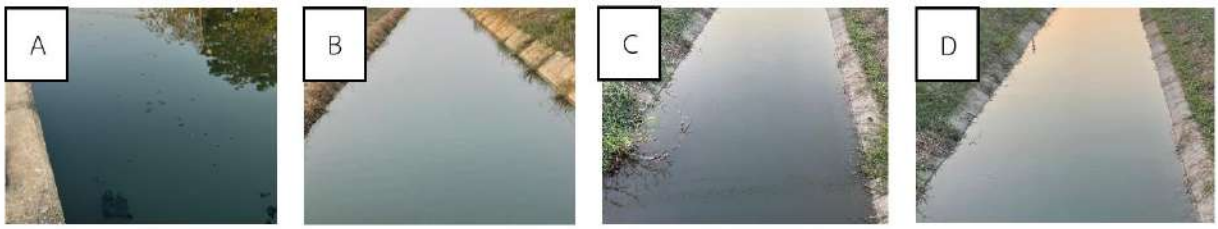
5.1 ผลการสำรวจและการศึกษาสภาพแวดล้อม

จุดสำรวจที่ 1 คลองเจดีย์บูชา มีลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะของดินร่วนปนทรายพื้นที่ของแหล่งน้ำเป็นคลองติดกับชุมชนลักษณะของน้ำขุ่นเล็กน้อย ไม่พบพืชบริเวณรอบแหล่งน้ำและใต้น้ำ และไม่พบหอยบริเวณจุดสำรวจนี้ (รูปที่ 2A)

จุดสำรวจที่ 2 คลองประปา มีลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะของดินร่วนปนทรายพื้นที่ของแหล่งน้ำอยู่ใกล้กับตลาดนัดชุมชนลักษณะของน้ำขุ่นเล็กน้อย พบพืชที่อยู่ตามขอบของคลอง และพบพืชน้ำจำนวนมาก และพบหอยฝาเดียวมีลักษณะเกาะกับดิน และตามพืชน้ำ (รูปที่ 2B)

จุดสำรวจที่ 3 คลองลำพยาสายที่ 1 มีลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะของดินร่วนปนทรายพื้นที่ของแหล่งน้ำอยู่ติดกับชุมชนลักษณะของค่อนข้างใส พบพืชที่อยู่ตามขอบของคลอง และพบพืชน้ำจำนวนมาก และพบหอยฝาเดียวมีลักษณะเกาะกับดินและตามพืชน้ำ (รูปที่ 2C)

จุดสำรวจที่ 4 คลองลำพยาสายที่ 2 มีลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ลักษณะของดินร่วนปนทรายพื้นที่ของแหล่งน้ำอยู่ติดกับหมู่บ้านและพบการทำการเกษตรบริเวณรอบๆ รวมถึงการเลี้ยงวัว ลักษณะของค่อนข้างใส พบพืชที่อยู่ตามขอบของคลอง และพบพืชน้ำจำนวนมาก และพบหอยฝาเดียวมีลักษณะเกาะกับดิน และตามพืชน้ำ (รูปที่ 2D)



รูปที่ 2 รูปถ่ายบริเวณ 4 จุดสำรวจ ได้แก่ A: คลองเจดีย์บูชา, B: คลองประปา, C: คลองลำพยาสายที่ 1, D: คลองลำพยาสายที่ 2

5.2 ผลการวัดค่าคุณภาพของน้ำต่างๆ บริเวณแต่ละจุดสำรวจ

จากการสำรวจในแต่ละจุดสำรวจ ทำการวัดค่าคุณภาพของน้ำและทำการเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของสำหรับการใช้สอย แสดงผลการศึกษาดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการวัดค่าคุณภาพของน้ำต่างๆบริเวณแต่ละจุดสำรวจ

		ค่าเฉลี่ยการวัดจากจุดสำรวจ			
ค่าที่ใช้วัด	ค่ามาตรฐาน**	คลองเจดีย์บูชา	คลองประปา	คลองลำพยา 1	คลองลำพยา 2
อุณหภูมิเหนือน้ำ (°C)	-	31.20	31.10	31.10	31.10
อุณหภูมิใต้น้ำ (°C)	< 40 °C	30.10	30.00	28.20	28.70
pH	5-9	7.32	8.50	8.38	8.22
DO (mg/L)	> 4	3.60*	5.50	6.50	6.50
Electrical Conductivity (uS/cm)	< 2,000	315.67	248.33	243.00	235.67
TDS (ppm) หรือ mg/l	< 500	158.33	124.00	118.33	117.33
Salinity (ppt)	< 0.5	1.70*	0.00	0.00	0.00
ORP (mV)	0-200	215.67*	121.33	181.67	67.67

หมายเหตุ: * แทน ค่าผลการศึกษาที่ไม่เป็นไปตามค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้
** ค่ามาตรฐานเกณฑ์คุณภาพน้ำผิวดิน [4, 5]

5.3 ผลการศึกษาความหลากหลายของหอยฝาเดียวและการศึกษาการติดเชื้อพยาธิใบไม้

ผลการศึกษาการแพร่กระจายและความหลากหลายของหอยฝาเดียวที่พบ ตามตารางที่ 2 โดยสามารถจัดจำแนกได้ 4 ชนิดพันธุ์ ได้แก่ *Clea Helena, Pomacea canaliculata Lamarck, Bithynia siamensis goniomphalos* และ *Filopaludina martensi martensi* จากการสุ่มเก็บตัวอย่างหอยทั้งหมด 24 ตัว จากทุกจุดสำรวจ ยกเว้นคลองเจดีย์บูชาที่ไม่พบการแพร่กระจายของหอยฝาเดียว ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ของหอยแต่ละชนิดพันธุ์ที่พบ (ตารางที่ 3) และผลการศึกษาการตรวจเชื้อพยาธิใบไม้ระยะเซอร์คาเรียพบในหอยชนิดพันธุ์ *Bithynia siamensis goniomphalos* (รูปที่ 3)

รูปที่ 3 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของหอยฝาเดียวที่สุ่มเก็บได้ และตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเซอร์คาเรียที่พบ

ตารางที่ 2 แสดงผลการศึกษาความหลากหลายของหอยฝาเดียวและการศึกษาการติดเชื้อพยาธิใบไม้

ชนิดพันธุ์ของหอยที่สุ่มเก็บได้	บริเวณจุดสำรวจที่พบ	จำนวนหอยที่สุ่มเก็บได้จากจุดสำรวจทั้งหมด (ตัว)	คิดเป็นร้อยละของหอยทั้งหมดที่สุ่มเก็บได้ (n=24)	การพบการติดเชื้อพยาธิใบไม้	คิดเป็นร้อยละของการติดเชื้อในหอยที่สุ่มเก็บได้
Clea helena	คลองประปา, คลองลำพยาสายที่ 1	12	50.00 %	-	
Filopaludina martensi martensi	คลองประปา, คลองลำพยาสายที่ 1, คลองลำพยาสายที่ 2	2	8.33 %	-	-
Pomacea canaliculata Lamarck	คลองลำพยาสายที่ 1, คลองลำพยาสายที่ 2	6	25.00 %	-	-
Bithynia siamensis goniomphalos	คลองลำพยาสายที่ 2	3	12.50 %	พบ	33.33 %

ตารางที่ 3 แสดงผลการวัดขนาดของหอยฝาเดียวที่สุ่มเก็บได้

ชนิดพันธุ์ของหอย	ค่าเฉลี่ยขนาดลำตัว (cm)		ค่าเฉลี่ยขนาดของปากหอย (cm)	
	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)
Clea helena	0.47±0.06	1.30±0.22	0.30±0.09	0.54±0.11
Filopaludina martensi martensi	0.07±0.10	1.97±0.01	0.98±0.02	1.06±0.30
Pomacea canaliculata Lamarck	0.41±0.52	4.09±0.67	2.82±0.64	2.40±0.70
Bithynia siamensis goniomphalos	0.08±0.11	0.80±0.13	0.27±0.01	0.37±0.06

หมายเหตุ ค่าทางสถิติที่ใช้ Mean ± Standard deviation

6. อภิปรายผลการศึกษา

จากผลการสำรวจลักษณะสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำ พบว่าคลองเจดีย์บูชามีน้ำขุ่นมากที่สุด การพบพืชน้ำในบริเวณแหล่งน้ำ บริเวณคลองประปา, คลองลำพยาสายที่ 1 และสายที่ 2 ส่วนคลองเจดีย์บูชาไม่พบพืชน้ำ การพบหอยฝาเดียวบริเวณแหล่งน้ำยกเว้นจุดสำรวจคลองเจดีย์บูชา และจากการสำรวจความหลากหลายของหอยฝาเดียวที่มากที่สุดได้แก่คลองลำพยาสายที่ 2 จากผลการสำรวจคุณภาพน้ำและความหลากหลายของหอยฝาเดียวในแหล่งน้ำ 4 จุด แสดงถึงคุณภาพน้ำมีผลต่อการดำรงชีวิตของหอย โดยคลองที่มีพืชน้ำและออกซิเจนละลายน้ำสูง ในคลองประปาและคลองลำพยาสายที่ 2 พบหอยจำนวนมาก ซึ่งสอดคล้องกับปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของหอย [3] ที่มีพืชน้ำที่เป็นที่อยู่อาศัยและการดำรงชีวิตของหอยจึงพบหอยมากกว่าจุดอื่น [6] บ่งชี้ถึงแหล่งน้ำคุณภาพดีเหมาะแก่การใช้สอย รวมถึงเป็นแหล่งที่อยู่และแพร่กระจายของหอยฝาเดียว ในจุดสำรวจคลองเจดีย์บูชาไม่พบหอย ให้ผลการศึกษาจากค่า DO ต่ำ, ความเค็มสูง และค่า ORP ที่สูง บ่งชี้ว่าคุณภาพน้ำต่ำ ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของหอย [7] นอกจากนี้ การศึกษาการติดเชื้อพยาธิใบไม้ระยะเซอร์คาเรีย ในหอย *Bithynia siamensis goniomphalos* บริเวณคลองลำพยาสายที่ 2 มีอัตราการติดเชื้อ 33% มีหอยฝาเดียวเป็นพาหะในการนำโรคจากสัตว์สู่คนได้ เนื่องจากหอยชนิดนี้สามารถเป็นโฮสต์กึ่งกลางตัวแรก (First intermediated host) นอกจากนี้บริเวณนี้มีการทำปศุสัตว์และการเกษตรจึงมีโอกาศสูงที่จะได้รับการติดเชื้อพยาธิใบไม้ ส่งผลต่อคนในพื้นที่ชุมชนจากการเพิ่มอัตราการติดเชื้อพยาธิใบไม้ในอนาคตได้ [8]

7. สรุปผลการศึกษา

จากการสำรวจสุ่มเก็บตัวอย่างหอยฝาเดียวบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม เดือนมกราคม พ.ศ. 2568 ในแหล่งน้ำ 4 จุดสำรวจ ได้แก่ คลองเจดีย์บูชา, คลองประปา, คลองลำพยาสายที่ 1 และคลองลำพยาสายที่ 2 โดยใช้วิธีการเก็บแบบ random picking ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพได้แก่ ค่า DO, Salinity และ ORP ของคลองเจดีย์บูชาสูงกว่าคลองอื่นๆ และไม่พบการแพร่กระจายของหอยฝาเดียว ณ จุดสำรวจนี้ ในบริเวณที่พบการแพร่กระจายของหอยฝาเดียว มีสภาพแวดล้อมของพืชใต้น้ำที่เป็นที่อยู่อาศัยของหอยฝาเดียว และเหมาะสมแก่การใช้สอย ส่วนจุดสำรวจคลองประปา, คลองลำพยาสายที่ 1 และคลองลำพยาสายที่ 2 มีค่าคุณภาพน้ำใกล้เคียงกัน และสุ่มเก็บตัวอย่างหอยฝาเดียวทั้งหมดได้จำนวน 24 ตัว ได้แก่ชนิดพันธุ์ *Clea Helena*, *Pomacea canaliculata Lamarck, Bithynia siamensis goniomphalos* และ *Filopaludina martensi martensi* คิดเป็นร้อยละ 50, 25, 12.5, และ 8.33 ของหอยฝาเดียวที่พบทั้งหมด ตามลำดับ และผลการศึกษาแนวโน้มการติดเชื้อพยาธิใบไม้พบในการติดเชื้อระยะเซอร์คาเรียในหอยชนิดพันธุ์ *Bithynia siamensis goniomphalos* ในจุดสำรวจคลองลำพยาที่ 2 คิดเป็นร้อยละการติดเชื้อ 33.33

เอกสารอ้างอิง

[1] Herbreteau, V., Tantrakarnapa, K., Khaungaew, W., & Janeau, J. (2015). Water and Health: What Is the Risk and Visible Burden of the Exposure to Environmental Contaminations? Insights from a Questionnaire-Based Survey in Northern Thailand. *Socio-Ecological Dimensions of Infectious Disease in Southeast Asia.*

[2] ดวงเดือน ไกรลาศ, สุลักษณ์ นามโชติ, ธัญญารัตน์ กุญชรบุญ และวศิน อิงคพัฒนากุล. (2552). *การติดเชื้อตัวอ่อนพยาธิใบไม้ระยะเซอร์คาเรียของหอยน้ำจืดวงศ์* Thiaridae *ในประเทศไทย.* กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

[3] จุมพต พุ่มศรีภานนท์. (2557). การใช้หอยน้ำจืดเป็นดัชนีชีวภาพของคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์หันตรา. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, 2*(1), 9-22.

[4] กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2562). *คู่มือการปฏิบัติงานการดำเนินการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน.* สืบค้น เมษายน 7, 2568 จาก https://www.pcd.go.th/water.

[5] World Health Organization. (2014). *Water resource quality.* Retrieved from https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/water-safety-and-quality.

[6] วัชราภรณ์ ตันติพนาทิพย์. (2561). ความหลากหลายชนิดของหอยน้ำจืดฝาเดียวและการประยุกต์ใช้ในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา. *วารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์, 13*(1), 21-31.

[7] Mustow, S.E. (2004). Biological monitoring of river in Thailand; use and adaptation of the BMWP Score. *Hydrobiologia, 479,* 191-229.

[8] อมรรัตน์ รังสิวิวัฒน์, สมศักดิ์ ระยัน และบุญทิวา ชาติชำนิ. (2562). ความชุกชุมของหอยฝาเดียวน้ำจืดและความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำบริเวณอ่างเก็บน้ำเขื่อนน้ำอูน จังหวัดสกลนคร. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 21*(1), 21-26.

ความชุกชุมของแมลงน้ำอันดับ Ephemeroptera, Plecoptera และ Trichoptera บริเวณด้านบนและด้านล่างของฝายคลองคอกช้าง น้ำตกโตนหญ้าปล้อง จังหวัดสงขลา

ณมน ชูตระกูลวงศ์[1*], ชิณาภัฐ สมทรง[1], ภัณฑิลา คงตีบ[1], สุรวุธ แสงมณี[1], และ นาวี หนุนอนันต์[2]

[1]โรงเรียนมอ.วิทยานุสรณ์ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
[2]สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ (ชีววิทยา) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
* Corresponding author: namonchutrakulwong@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นสำรวจความชุกชุมของตัวอ่อนแมลงน้ำในอันดับ Ephemeroptera, Plecoptera และ Trichoptera บริเวณด้านบนและด้านล่างของฝายคลองคอกช้าง น้ำตกโตนหญ้าปล้อง จังหวัดสงขลา ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 ถึง มกราคม พ.ศ. 2568 แบ่งเป็น 3 สถานี คือสถานีที่ 1 บริเวณด้านบนฝายคลองคอกช้าง สถานีที่ 2 บริเวณด้านล่างฝายคลองคอกช้าง และสถานีที่ 3 บริเวณใต้สะพานซึ่งเป็นพื้นที่ท้ายน้ำซึ่งไกลฝายคลองคอกช้างและใกล้พื้นที่ชุมชน โดยแต่ละสถานีใช้เวลาสำรวจตัวอย่างตัวอ่อนแมลงน้ำ สถานีละ 45 นาที นำตัวอย่างตัวอ่อนแมลงน้ำเก็บรักษาสภาพในแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ และจำแนกโดยใช้ลักษณะรูปร่างภายนอก ผลการสำรวจพบว่า บริเวณด้านบนของฝายคลองคอกช้างพบความชุกชุมของตัวอ่อนแมลงน้ำทั้งสามอันดับมากที่สุด (63 ตัว คิดเป็นร้อยละ 40) รองลงมาคือบริเวณด้านล่างของฝายคลองคอกช้างซึ่งใกล้ฝายคลองคอกช้าง และบริเวณใต้สะพานซึ่งเป็นพื้นที่ท้ายน้ำไกลฝายคลองคอกช้างและใกล้พื้นที่ชุมชน (59 และ 35 ตัว คิดเป็นร้อยละ 38 และ 22 ตามลำดับ) นอกจากนี้พบความชุกชุมของตัวอ่อนแมลงน้ำใน อันดับ Ephemeroptera มากที่สุด (122 ตัว คิดเป็นร้อยละ 78) รองลงมาคืออันดับ Plecoptera และ Trichoptera (28 และ 7 ตัว คิดเป็นร้อยละ 18 และ 4 ตามลำดับ)

คำสำคัญ: ความชุกชุม / แมลงน้ำ / ลักษณะรูปร่างภายนอก / ฝายคลองคอกช้าง / น้ำตกโตนหญ้าปล้อง

Abundance of Aquatic Insects in the Orders Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera in the Upper and Lower Area of Khlong Kok Chang Weir, Ton Ya Plong Waterfall, Songkhla Province

Namon Chutrakulwong[1*], Chichaphath Somsong[1], Phanthila Khongteep[1], Surawut Seangmanee[1], and Nawee Noon-anant[2]

[1]PSU.Witthayanusorn School, Koh Hong Subdistrict, Hat Yai District, Songkhla Province.
[2]Division of Biological Sciences (Biology), Faculty of Science, Prince of Songkla University, Koh Hong Subdistrict, Hat Yai District, Songkhla Province.
** Corresponding author: namonchutrakulwong@gmail.com*

Abstract

This study aimed to explore the abundance of aquatic insect larvae from the orders Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera, both upstream and downstream of the Khlong Khok Chang Weir, Ton Ya Plong Waterfall, Songkhla Province, during December 2024 to January 2025. Three stations were selected for the survey: station 1: Upstream of the Khlong Khok Chang Weir, station 2: Downstream of the Khlong Khok Chang Weir, station 3: under the bridge, is a downstream area farther from Khlong Khok Chang Weir and close to the human area. Each station was surveyed by time sampling unit (45 minutes per station) to collect aquatic insect larvae. The collected insect larvae were preserved in 70 percent alcohol and identified based on their external morphology. The results showed the highest abundance of aquatic insect larvae from the three insect orders was found at station 1, located upstream of Khlong Khok Chang Weir (63 individuals, 40 percent). This was followed by station 2, located downstream of the Khlong Khok Chang Weir, and station 3, situated under the bridge in a downstream area farther from the weir and close to the human area (59 and 35 individuals, 38 and 22 percent, respectively). In addition, the most abundant order was Ephemeroptera (122 individuals, 78 percent), followed by Plecoptera and Trichoptera (28 and 7 individuals, 18 and 4 percent, respectively).

Keywords: Abundance / Aquatic insects / External morphology / Khlong Kok Chang Weir / Ton Ya Plong Waterfall

1. บทนำ

แมลงน้ำคือแมลงที่อาศัยอยู่ใกล้แหล่งน้ำหรือบางช่วงชีวิตได้อาศัยอยู่ในน้ำ [1] แมลงน้ำเป็นองค์ประกอบหลักและมีบทบาทสำคัญในสายใยอาหารของระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล [2] โดยกลุ่มแมลงน้ำในอันดับ Ephemeroptera, Plecoptera และ Trichoptera เป็นกลุ่มแมลงซึ่งมีความหลากหลายทางชีวภาพสูง และไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในน้ำ จึงใช้เป็นดัชนีชีวภาพเพื่อประเมินคุณภาพแหล่งน้ำในงานวิจัยด้านนิเวศวิทยาและการจัดการทรัพยากรน้ำ เช่น ความหลากหลายของแมลงชีปะขาว แมลงสโตนฟลาย และแมลงหนอนปลอกน้ำในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าฮาลา-บาลา จังหวัดนราธิวาส [3] จากรายงานการสำรวจแมลงน้ำในพื้นที่ซึ่งมีการสร้างฝายในประเทศไทยและภาคใต้มีน้อย เช่น รายงานการกระจายตัวของตัวอ่อนแมลงน้ำในอันดับ Ephemeroptera, Plecoptera และ Trichoptera ในน้ำตกโตนแพรทอง จังหวัดพัทลุง [4] ขณะเดียวกันพบว่า ฝายคลองคอกช้างซึ่งตั้งอยู่ในน้ำตกโตนหญ้าปล้อง จังหวัดสงขลา ปรากฏข้อมูลการสำรวจความชุกชุมแมลงน้ำในอันดับ Ephemeroptera, Plecoptera และ Trichoptera ค่อนข้างน้อย น้อย ดังนั้นการสำรวจข้อมูลพื้นฐานด้านความชุกชุมของตัวอ่อนแมลงน้ำอันดับ EPT บริเวณด้านบนและด้านล่างของฝายคลองคอกช้าง น้ำตกโตนหญ้าปล้อง จังหวัดสงขลา เป็นข้อมูลสำคัญซึ่งคาดว่าสามารถนำไปศึกษาต่อในด้านความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในพื้นที่ซึ่งมีการสร้างฝายและพื้นที่ใกล้ชุมชนของมนุษย์ รวมทั้งเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจศึกษาตัวอ่อนแมลงน้ำกลุ่ม EPT ในด้านอื่น ๆ ในอนาคตต่อไป

2. วัตถุประสงค์

เพื่อสำรวจความชุกชุมของตัวอ่อนแมลงน้ำในอันดับ Ephemeroptera, Plecoptera และ Trichoptera บริเวณด้านบนและด้านล่างของฝายคลองคอกช้าง น้ำตกโตนหญ้าปล้อง จังหวัดสงขลา

3. ขอบเขตของการศึกษา

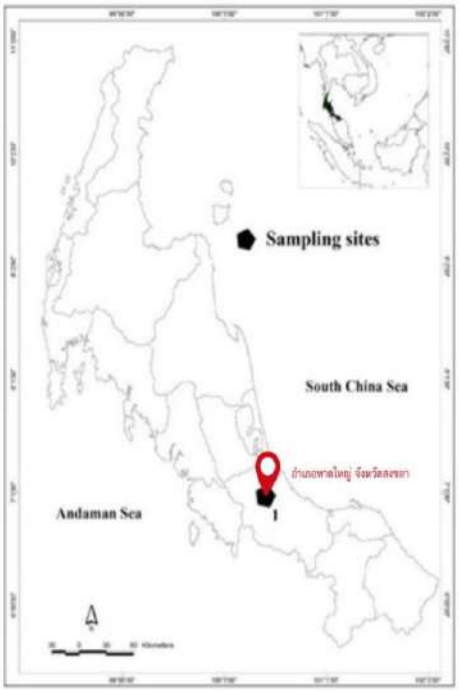
การสำรวจความชุกชุมของตัวอ่อนแมลงน้ำในอันดับ Ephemeroptera, Plecoptera และ Trichoptera บริเวณด้านบนและด้านล่างของฝายคลองคอกช้าง น้ำตกโตนหญ้าปล้อง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ช่วงเวลาดำเนินการเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2567 – มกราคม พ.ศ. 2568

4. วิธีการศึกษา

พื้นที่การศึกษา

น้ำตกโตนหญ้าปล้องตั้งอยู่ที่ตำบลทุ่งใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยศึกษาบริเวณด้านบนฝาย ด้านล่างฝายและใต้สะพานที่ห่างไกลจากฝายแต่ใกล้พื้นที่ชุมชน (รูปที่ 1, 2, 3, 4)

ในการสำรวจครั้งนี้กำหนดจุดที่เก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 สถานี ได้แก่สถานีที่ 1 บริเวณด้านบนฝายคลองคอกช้าง พิกัดที่ 7°02′07.5"N, 100°31′31.7"E (รูปที่ 2) สถานีที่ 2 บริเวณด้านล่างฝายคลองคอกช้าง พิกัดที่ 7°02′09.5"N, 100°31′31.4"E (รูปที่ 3) และสถานีที่ 3 บริเวณใต้สะพานซึ่งเป็นพื้นที่ท้ายน้ำซึ่งไกลฝายคลองคอกช้างและใกล้พื้นที่ชุมชน พิกัดที่ 7°02′46.8"N, 100°31′55.1"E (รูปที่ 4) ในแต่ละสถานีแบ่งเป็น 3 จุดย่อย แต่ละจุดย่อยใช้เวลา 15 นาที ในการเก็บตัวอย่างแมลงน้ำในขอบเขตขนานกับลำธาร 25 เมตร รวมเวลาในการเก็บตัวอย่างแมลงน้ำในแต่ละสถานีเท่ากับ 45 นาที (รูปที่ 5)



รูปที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งน้ำตกโตนหญ้าปล้อง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ที่มา : https://maps.app.goo.gl/QAw6woUXuxZmi6qMA

รูปที่ 2 สภาพพื้นที่ของสถานีที่ 1 ด้านบนฝายคลองคอกช้าง

รูปที่ 3 สภาพพื้นที่ของสถานีที่ 2 ด้านล่างฝายคลองคอกช้าง

รูปที่ 4 สภาพพื้นที่ของสถานีที่ 3 ใต้สะพานคลองคอกช้างซึ่งไกลฝายคลองคอกช้างและใกล้พื้นที่ชุมชน

รูปที่ 5 แสดงขอบเขตของแต่ละสถานี ซึ่งแบ่งเป็น 3 จุดย่อย

4.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

1. สวิงน้ำ
2. กล้อง Stereomicroscope และ กล้องจุลทรรศน์ แบบ Fluorescence microscope
3. พู่กัน
4. ถาดพลาสติก
5. สายวัดที่ดิน 50 เมตรและตลับเมตร
6. เทอร์โมมิเตอร์
7. แผ่นวัดความขุ่นใส
8. นาฬิกาจับเวลา
9. ขวดเก็บตัวอย่าง และกระดาษเลเบล
10. แอลกอฮอล์ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์
11. ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์
12. เข็มเขี่ย

4.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง

ใช้พู่กันและสวิงในการเก็บแมลงซึ่งเกาะอยู่บริเวณโขดหินและก้อนหินเล็ก ๆ โดยเริ่มจากสถานีที่ 3 คือบริเวณใต้สะพานที่ห่างไกลจากฝาย ไปจนถึงสถานีที่ 1 บริเวณด้านบนฝาย เพื่อป้องกันการรบกวนแมลงน้ำ นำแมลงน้ำซึ่งจับได้มาเก็บรักษาตัวอย่างในแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำแมลงน้ำมาจัดจำแนกในห้องปฏิบัติการภายใต้กล้องจุลทรรศน์ Stereomicroscope โดยจัดจำแนกตัวอ่อนแมลงน้ำในระดับอันดับ Ephemeroptera, Plecoptera และ Trichoptera โดยใช้หนังสือนักสืบสายน้ำ : คู่มือสัตว์ลำธาร [5]

4.3 การถ่ายภาพตัวอย่างแมลงน้ำ

นำตัวอย่างแมลงน้ำมาถ่ายภาพที่สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (OSIT) โดยใช้กล้อง Fluorescence Stereo Microscope (Leica M205FCA) นำภาพมาปรับแต่งในคอมพิวเตอร์ เช่น ปรับความคมชัด และความสว่าง เป็นต้น

4.4 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ค่าร้อยละของจำนวนตัวอ่อนแมลงน้ำอันดับ Ephemeroptera, Plecoptera และ Trichoptera

$$P = \frac{F \times 100}{n}$$

P แทน ค่าร้อยละของจำนวนตัวอ่อนแมลงน้ำ

F แทน จำนวนตัวอ่อนแมลงน้ำที่ต้องการแปลงเป็นร้อยละ

N แทน จำนวนตัวอ่อนแมลงน้ำทั้งหมด

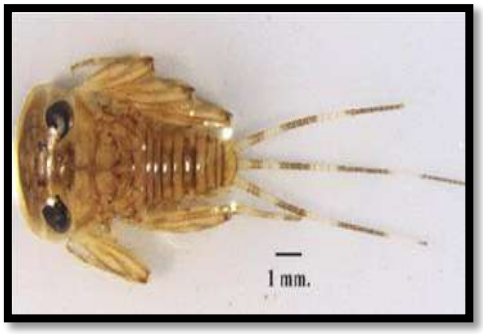
5. ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา

ผลการสำรวจพบว่า บริเวณด้านบนของฝายคลองคอกช้างพบความชุกชุมของตัวอ่อนแมลงน้ำทั้งสามอันดับมากที่สุด (63 ตัว คิดเป็นร้อยละ 40) รองลงมาคือบริเวณด้านล่างของฝายคลองคอกช้างซึ่งใกล้ฝายคลองคอกช้าง และบริเวณใต้สะพานซึ่งเป็นพื้นที่ท้ายน้ำไกลฝายคลองคอกช้างและใกล้พื้นที่ชุมชน (59 และ 35 ตัว คิดเป็นร้อยละ 38 และ 22 ตามลำดับ) (ตารางที่ 1) เนื่องจากบริเวณด้านบนฝายและบริเวณด้านล่างฝายมีความชุกชุมของแมลงน้ำใกล้เคียงกัน เป็นเพราะบริเวณด้านบนฝายเป็นบริเวณต้นน้ำที่เป็นพื้นที่ป่าที่ถูกรบกวนน้อยจากการรบกวนของกิจกรรมของมนุษย์เช่นเดียวกับบริเวณล่างฝาย

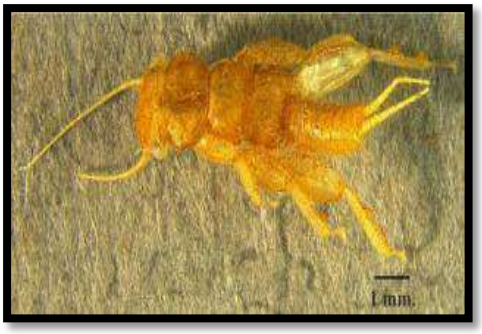
ผลการสำรวจพบว่าความชุกชุมของตัวอ่อนแมลงน้ำใน อันดับ Ephemeroptera (รูปที่ 6) มากที่สุด (122 ตัว คิดเป็นร้อยละ 78) รองลงมาคืออันดับ Plecoptera (รูปที่ 7) และ Trichoptera (รูปที่ 8) (28 และ 7 ตัว คิดเป็นร้อยละ 18 และ 4 ตามลำดับ) (ตารางที่ 1) เนื่องจากลักษณะทางชีววิทยาและนิเวศวิทยาของแมลงในอันดับ Ephemeroptera ที่เอื้อต่อการดำรงชีวิตและแพร่กระจายในแหล่งน้ำได้ดี โดยตัวอ่อนของแมลงกลุ่มนี้มีระยะเวลาการเจริญเติบโตในน้ำยาวนานถึง 2 ปี และสามารถพบได้ตลอดทั้งปี จึงเพิ่มโอกาสในการตรวจพบมากกว่ากลุ่มอื่น อีกทั้งยังสามารถอาศัยอยู่ได้ในแหล่งน้ำที่มีความหลากหลาย ทั้งในแหล่งน้ำไหลช้าและน้ำไหลแรง มีความสามารถในการปรับตัวสูง และหาอาหารได้ง่ายจากเศษซากอินทรีย์หรือตะไคร่น้ำที่มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีรายงานพบความหลากหลายของชนิดสูง [5] ปัจจัยซึ่งส่งผลให้สำรวจพบความชุกชุมของตัวอ่อนแมลงน้ำในอันดับ Ephemeroptera, Plecoptera และ Trichoptera สูงสุด ในบริเวณด้านบนของฝายคลองคอกช้าง อาจเนื่องจากเป็นพื้นที่ต้นน้ำซึ่งมีการรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์น้อย และโครงสร้างของพื้นท้องน้ำซึ่งมีความหลากหลายมากกว่าบริเวณด้านล่างของฝายคลองคอกช้างซึ่งใกล้ฝายคลองคอกช้าง และบริเวณใต้สะพานซึ่งเป็น พื้นที่ท้ายน้ำไกลฝายคลองคอกช้างและใกล้พื้นที่ชุมชน นอกจากนี้มีรายงานพบว่า แมลงน้ำในกลุ่ม EPT มีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศน้ำจืด โดยตัวอ่อนแมลงน้ำในอันดับ Ephemeroptera ช่วยควบคุมการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำ ขณะที่ Plecoptera เป็นทั้งผู้ล่าและเหยื่อช่วยสลายสาหร่ายและซากสารอินทรีย์ [6] และ Trichoptera ช่วยย่อยสลายอินทรียวัตถุในน้ำ [7] การมีอยู่ของแมลงน้ำกลุ่ม EPT จึงสะท้อนถึงคุณภาพน้ำและความสมบูรณ์ของระบบนิเวศน้ำไหล

ตารางที่ 1 ความชุกชุมด้านจำนวนแมลงของแมลงน้ำอันดับ Ephemeroptera (E) Plecoptera (P) Trichoptera (T) ในแต่ละสถานีของการสำรวจพบว่าบริเวณด้านบนและด้านล่างของฝายคลองคอกช้าง น้ำตกโตนหญ้าปล้อง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดย สถานี 1 = บริเวณด้านบนฝายคลองคอกช้าง สถานี 2 = บริเวณด้านล่างฝาย คลองคอกช้าง และสถานี 3 = บริเวณใต้สะพานซึ่งเป็นพื้นที่ท้ายน้ำซึ่งไกลฝายคลองคอกช้างและใกล้พื้นที่ชุมชน

อันดับ	สถานี			จำนวนตัวรวม
	1	2	3	
1. Ephemeroptera	54	45	23	122
2. Plecoptera	6	11	11	28
3. Trichoptera	3	3	1	7
จำนวนตัวรวม	63	59	35	157



รูปที่ 6 ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว (Ephemeroptera)



รูปที่ 7 ตัวอ่อนแมลงเกาะหิน (Plecoptera)

รูปที่ 8 ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำ (Trichoptera)

6. สรุปผลการศึกษา

การสำรวจความชุกชุมของตัวอ่อนแมลงน้ำในอันดับ Ephemeroptera, Plecoptera และ Trichoptera บริเวณด้านบนและด้านล่างของฝายคลองคอกช้าง น้ำตกโตนหญ้าปล้อง อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ในช่วงเดือนธันวาคม 2567 ถึงมกราคม 2568 พบว่าบริเวณด้านบนของฝายคลองคอกช้าง พบความชุกชุมของตัวอ่อนแมลงน้ำทั้งสามอันดับมากที่สุด นอกจากนี้พบความชุกชุมของตัวอ่อนแมลงน้ำในอันดับ Ephemeroptera มากที่สุด ข้อมูลดังกล่าวมีประโยชน์ในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมเพื่อนำไปใช้สนับสนุนการอนุรักษ์แม่น้ำลำธาร โดยระบุขอบเขตพื้นที่ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์และเสื่อมโทรม และข้อมูลเหล่านี้มีประโยชน์ต่อการ

วางแผนและการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างเหมาะสม อีกทั้งตัวอ่อนแมลงน้ำกลุ่ม EPT สามารถช่วยบ่งบอกคุณภาพของแหล่งน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นแนวทางสำหรับงานวิจัยต่อยอดในอนาคต เช่น การศึกษาด้านอนุกรมวิธานและนิเวศวิทยาของแมลงน้ำในอันดับ Ephemeroptera, Plecoptera และ Trichoptera

การสำรวจตัวอ่อนแมลงน้ำในอันดับ Ephemeroptera, Plecoptera และ Trichoptera ในอนาคต ควรมีการสำรวจซ้ำในช่วงฤดูกาลอื่น ๆ เพื่อเปรียบเทียบความหลากหลายและความชุกชุมของแมลงน้ำในแต่ละช่วงเวลา รวมทั้งประเมินการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำตามช่วงฤดูกาล และควรขยายพื้นที่สำรวจให้ครอบคลุมลำธารหรือแหล่งน้ำในพื้นที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ซึ่งมีการสร้างฝาย และพื้นที่ใกล้ชุมชนของมนุษย์

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้. (2564,20 ธันวาคม).*สวนวิจัยความหลากหลายทางชีวภาพป่าไม้สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้.* https://www.facebook.com/share/15SQ5wjAcW/?mibextid=wwXIfr

[2] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2553.12 พฤษภาคม). *"แมลงหนอนปลอกน้ำ" การตรวจสอบคุณภาพน้ำเชิงชีวภาพ*. https://www.nstda.or.th/brt/article/biodiversity/394-caddis-fly.html

[3] กิติยา ถาวโรฤทธิ์, พงษ์พันธ์ สุขสุพันธ์ และ นฤมล แสงประดับ. (2560). ความหลากหลายของแมลงชีปะขาว แมลงสโตนฟลาย และแมลงหนอนปลอกน้ำในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าฮาลา-บาลา จังหวัดนราธิวาส.*วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, *9*(3), 150. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pnujr/article/download/99147/77109/24828

[4] คทาวุธ ไชยเทพ. (2557).*การกระจายตัวของตัวอ่อนแมลงน้ำกลุ่ม Ephemeroptera, Plecoptera และ Trichoptera (EPT) ในน้ำตกโตนแพรทอง จังหวัดพัทลุง*

[5] สรณรัชฎ์ กาญจนะวณิชย์ และ นิรมล มูนจินดา (2561). *นักสืบสายน้ำ : คู่มือสัตว์ลำธาร* (พิมพ์ครั้งที่ 1). ทวีวัฒน์การพิมพ์ จำกัด.

[6] บุญเสฐียร บุญสูง.(2557).*คู่มือจำแนกตัวอ่อนแมลงชีปะขาว แมลงสโตนฟลายและแมลงหนอนปลอกน้ำในประเทศไทย.*(พิมพ์ครั้งที่ 1). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[7] สุชาดา ไกรเพชร, อำพล พยัคฆา และ แตงอ่อน พรหมมิ (2557).*อาหารและบทบาทการกินอาหารของกลุ่มแมลงน้ำในลำห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก*

การใช้ไลเคนเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศ ในสวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่และอ่างเก็บน้ำแก้มลิงคลองเรียน จังหวัดสงขลา

ณัฏฐธิดา รัตนดิลก ณ ภูเก็ต[1*] , วิษณุ เสียงหวาน[1] , มันตา นิรันดร์สุข[1] , สุรวุธ แสงมณี[1], และ นาวี หนุนอนันต์[2]

[1]โรงเรียนมอ. วิทยานุสรณ์ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
[2]สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ (ชีววิทยา) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
[*] Corresponding author email: natthathidapsuwit@gmail.com

บทคัดย่อ

รายงานการตรวจวัดคุณภาพอากาศโดยใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในภาคใต้มีน้อย การประเมินคุณภาพอากาศในสวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่และอ่างเก็บน้ำแก้มลิงคลองเรียน จังหวัดสงขลา โดยสำรวจและเก็บตัวอย่างไลเคน 3 กลุ่มหลักคือ กลุ่มทนทานสูง กลุ่มทนทาน และกลุ่มอากาศดี จากต้นไม้ขนาดใหญ่ที่มีเส้นรอบวง 50 เซนติเมตรขึ้นไป ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 ถึง มกราคม พ.ศ. 2568 ผลการสำรวจพบว่า อ่างเก็บน้ำแก้มลิงคลองเรียนพบไลเคนทั้งสามกลุ่มหลัก (2, 28 และ 1 แทลลัส ตามลำดับ) ขณะที่สวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่พบไลเคนสองกลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มทนทานสูง และกลุ่มทนทาน (22 และ 38 แทลลัส ตามลำดับ) โดยไลเคนแบบลายเส้นซึ่งเป็นไลเคนกลุ่มทนทาน พบจำนวนแทลลัสมากที่สุดในอ่างเก็บน้ำแก้มลิงคลองเรียน (14 แทลลัส คิดเป็นร้อยละ 33) ขณะที่ริ้วแพรซึ่งเป็นไลเคนกลุ่มทนทาน พบจำนวนแทลลัสมากที่สุดในสวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่ (25 แทลลัส คิดเป็นร้อยละ 36) การเปรียบเทียบคุณภาพอากาศระหว่างอ่างเก็บน้ำแก้มลิงคลองเรียนและสวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของไลเคนทั้งสามกลุ่มในแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้การพบไลเคนในพื้นที่ทั้งสองสามารถบ่งชี้สภาพแวดล้อมและคุณภาพอากาศในพื้นที่ และสามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อพัฒนาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและการวางแผนการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการประเมินคุณภาพอากาศในพื้นที่ต่างๆ ของจังหวัดสงขลาและภาคใต้ รวมถึงส่งเสริมการใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในการติดตามสถานการณ์และประเมินคุณภาพอากาศในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ไลเคน / คุณภาพอากาศ / สวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่ / อ่างเก็บน้ำแก้มลิงคลองเรียน / ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ

Assessment of Air Quality Using Lichen Bioindicators in HatYai Municipality Park and Khlong Rian Reservoir Park, Songkhla Province

Natthathida Rattanadilok Na Phuket[1*], Witsanu Seangwhan[1], Manta Niransook[1], Surawut Seangmanee[1], and Nawee Noon-Anant[2]

[1]PSU.Witthayanusorn School, Kho Hong Subdistrict, Hat Yai District, Songkhla Province.
[2]Department of Biological Sciences (Biology), Faculty of Science, Prince of Songkla University, Kho Hong Subdistrict, Hat Yai District, Songkhla Province.
[*]Corresponding author email: natthathidapsuwit@gmail.com

Abstract

Air quality assessment using lichens as bioindicators in southern Thailand, due to the limited number of bioindicators in southern Thailand. This study aimed to assess air quality in the Hat Yai Municipality Public Park and Khlong Rian Reservoir, Songkhla Province. The survey and sample collection were conducted from December 2024 to January 2025, focusing on three main groups of lichens: highly tolerant, tolerant, and good air-quality indicators. Samples were collected from large trees with a circumference of at least 50 centimeters. The results showed that all three lichen groups were found at the Khlong Rian Reservoir (2, 28, and 1 thallus recorded for each respective group). In contrast, only two lichen groups highly tolerant and tolerant were found in the Hatyai Municipality Public Park (22 and 38 thallus recorded for each respective group). The lichen species *Graphid* sp., which belonging to the tolerant group, had the highest number of thallus at the Khlong Rian Reservoir (14 thallus, accounting for 33 percent). Meanwhile, *Dirinaria* sp., another species from the tolerant group, had the highest number of thallus at the Hat Yai Municipality Public Park (25 thallus, accounting for 36 percent). A comparison of air quality between the two sites revealed differences in the distribution of the three lichen groups. The presence of lichens in both areas reflects environmental conditions and air quality, and provides the data for natural resource management and environmental conservation planning. This study can serve as a data for air quality assessment in various areas of Songkhla Province and southern Thailand. Furthermore, this study supports the use of lichens as bioindicators for long-term air quality monitoring and assessment in an effective and sustainable manner.

Keywords: Lichen / Air quality / Hat Yai Municipality Park / Khlong Rian Reservoir Park / Bioindicators

1. บทนำ

ไลเคนคือสิ่งมีชีวิตที่เกิดจากการอยู่รวมกันของรา (Fungi) สาหร่าย (Algae) หรือไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) ในลักษณะของความสัมพันธ์แบบพึ่งพากัน (Symbiosis) [1] ไลเคนแบ่งออกเป็นสามกลุ่มได้แก่ กลุ่มทนทาน สูงกลุ่มทนทาน และกลุ่มอากาศดี [2] นอกจากนี้ไลเคนยังมีความสำคัญต่อระบบนิเวศและมนุษย์เพราะไลเคนเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่บุคเบิกในสภาพพื้นที่แห้งแล้งทั้งยัง ทำให้หินผุกร่อนและกลายเป็นดินระยะยาว และนอกจากสามารถวัดมลพิษได้แล้วยังสามารถนำไลเคนบางชนิดมาใช้ในทางการแพทย์ได้อีกด้วย [3] ไลเคนมีความไวต่อมลพิษในอากาศเป็นอย่างมากทำให้สามารถนำไลเคนมาเป็นดัชนีบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศ ปัญหามลพิษทางอากาศในภาคใต้เป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อมมาอย่างยาวนาน [4] การศึกษาไลเคนจึงเป็นอีกทางเลือกนึงในการตรวจวัดคุณภาพอากาศในภาคใต้ ข้อมูลไลเคนและการใช้ไลเคนประเมินคุณภาพอากาศในประเทศไทยและภาคใต้โดยสำรวจไลเคนบริเวณป่าพรุในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชฯ [5] การศึกษาไลเคนในมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา กลุ่มที่พบมากที่สุดคือกลุ่มครัสโตส และกลุ่มโฟลิโอสตามลำดับ [6] แต่ยังถือเป็นข้อมูลที่น้อยโดยเฉพาะบริเวณสวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่ และอ่างเก็บน้ำแก้มลิงคลองเรียน และเนื่องจากเป็นพื้นที่ซึ่งมีผู้คนทั้งเด็กและผู้ใหญ่เข้ามาพักผ่อนหย่อนใจ ออกกำลังกายเป็นจำนวนมากในแต่ละวัน คุณภาพอากาศในบริเวณนี้จึงส่งผลต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตของคนในพื้นที่ แต่ยังไม่มีระบบตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ดีมีความน่าเชื่อถือ การนำไลเคนที่พบในพื้นที่มาใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพอากาศจึงเป็นทางเลือกหนึ่งและข้อมูลไลเคนสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่เพื่อการส่งเสริมความตระหนักรู้ของชุมชนในด้านสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในชุมชนท้องถิ่นซึ่งอาศัยใกล้ธรรมชาติ การมีส่วนร่วมของประชาชนในการสังเกตและติดตามไลเคนสามารถพัฒนาเป็นกิจกรรมทางการศึกษาในโรงเรียนหรือชุมชน สร้างเครือข่ายการอนุรักษ์แบบมีส่วนร่วม และเสริมสร้างจิตสำนึกในการดูแลรักษาทรัพยากรธรรมชาติในชุมชนท้องถิ่น

2. วัตถุประสงค์

ประเมินคุณภาพอากาศในบริเวณสวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่ และบริเวณอ่างเก็บน้ำแก้มลิงคลองเรียนโดยใช้ไลเคนเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ

3. ขอบเขตของการศึกษา

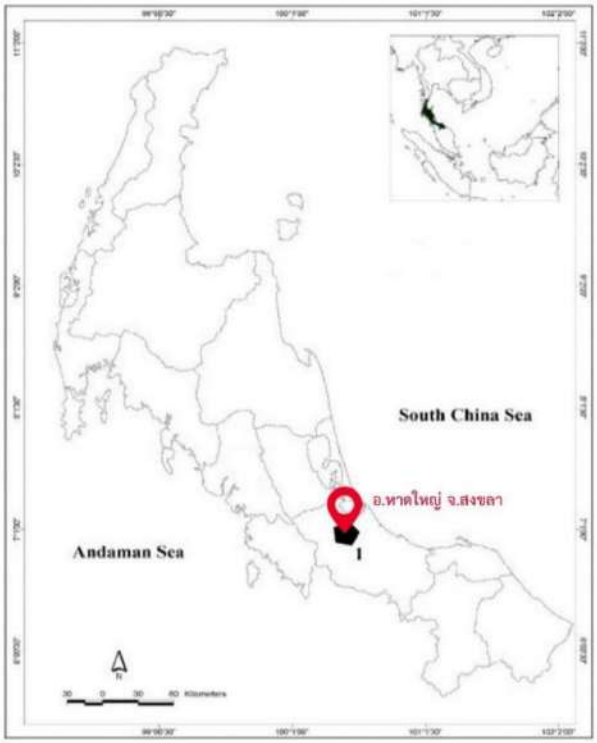
ศึกษาการตรวจวัดคุณภาพอากาศโดยใช้ไลเคนบริเวณตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา แบ่งเป็น 2 พื้นที่ คือ สวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่และอ่างเก็บน้ำแก้มลิงคลองเรียน ช่วงเวลาดำเนินการเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2567 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2568 เนื่องจากไลเคนมีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างต่ำและการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในแต่ละปี โดยปกติการวัดอัตราการเจริญเติบโตของไลเคน ตรวจวัดในหน่วยของ มม./ปี โดยวัดได้ตั้งแต่ 0-64 มม./ปี และค่าต่ำสุดคือ 0 มม./ปี [1] ดังนั้นระยะเวลาจึงไม่มีผลต่อการศึกษาครั้งนี้

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

4.1.1 พื้นที่การศึกษา

พื้นศึกษา 2 พื้นที่ในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา (รูปที่ 1) ดังนี้ 1.) สวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่ สำรวจบริเวณด้านขวาของศาลากลางน้ำ พิกัดที่ 7°04'15.76"N, 100° 50'39.69"E (รูปที่ 2) และ 2.) อ่างเก็บน้ำแก้มลิงคลองเรียน สำรวจบริเวณรอบอ่างเก็บน้ำ พิกัดที่ 6° 99'63.46"N, 100° 51'37.23.E (รูปที่ 3)



รูปที่ 1 แผนที่แสดงตำแหน่งของอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
ที่มา : https://maps.app.goo.gl/QAw6woUXuxZmi6qMA

รูปที่ 2 สวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่

รูปที่ 3 อ่างเก็บน้ำแก้มลิงคลองเรียน

4.1.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

1. แผนภาพไลเคน
2. มีดคัตเตอร์และกรรไกร
3. โทรศัพท์มือถือสำหรับถ่ายภาพไลเคน
4. แว่นขยาย
5. ทิชชู
6. ซองพลาสติกใสใส่ตัวอย่าง
7. กระบอกฉีดน้ำ
8. แบบฟอร์มการบันทึกผล
9. เครื่องเขียนต่างๆ เช่น ปากกา ดินสอ ยางลบ ไม้บรรทัด

4.1.3 วิธีการเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างไลเคนบริเวณไม้ยืนต้นตั้งแต่ระดับพื้นดินถึง 2 เมตรเส้นรอบวงต้นไม้วัดในระดับสูงจากพื้นดิน 130 เซนติเมตร (ระดับอก) โดยเส้นรอบวงไม่ต่ำกว่า 50 เซนติเมตร หลังจากนั้นวัดขนาดไลเคนโดยใช้ไม้บรรทัดจากนั้นถ่ายภาพไลเคนที่ต้องการสำรวจ

ฉีดน้ำประมาณ 1 - 2 นาที เพื่อให้แทลลัสอ่อนตัวและสามารถเห็นชั้นสาหร่ายได้อย่างชัดเจน ใช้มีดหรือคัตเตอร์ตัดส่วนที่ไลเคนยึดเกาะนำมาห่อด้วยทิชชูและใส่ซองเก็บตัวอย่าง บันทึกข้อมูลสภาพพื้นฐานได้แก่ วัน/เดือน/ปี ซึ่งเก็บตัวอย่างไลเคน ชื่อต้นไม้ ขนาดเส้นรอบวง จำนวนไลเคน และนำไลเคนจากการเก็บตัวอย่างมาจัดจำแนกตามหนังสือนักสืบสายลม [2]

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

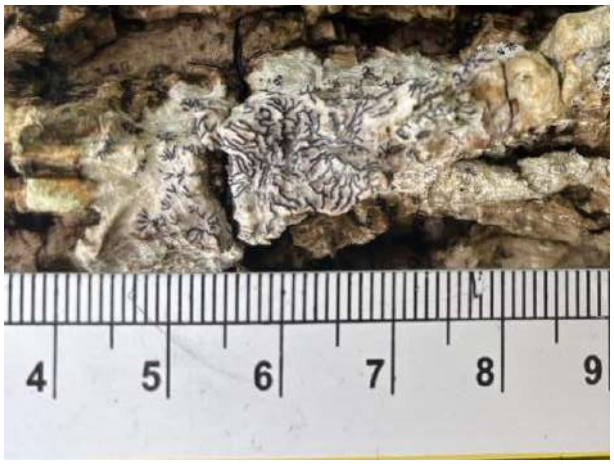
ค่าร้อยละของไลเคนแต่ละกลุ่ม/รูปแบบ โดยใช้สูตร $P = f * 100 / n$

เมื่อ	P	แทน	ค่าร้อยละของไลเคนแต่ละกลุ่ม/รูปแบบ
	f	แทน	ความถี่ของแทลลัสแต่ละกลุ่มของไลเคนที่ต้องการแปลงเป็นร้อยละ
	n	แทน	จำนวนความถี่ของแทลลัสทั้งหมด

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการสำรวจไลเคนบริเวณสวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่และอ่างเก็บน้ำแก้มลิงคลองเรียน ในระยะเวลา 2 เดือน ตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2567 ถึง มกราคม พ.ศ. 2568 ผลการสำรวจพบว่า อ่างเก็บน้ำแก้มลิงคลองเรียนพบไลเคนทั้งสามกลุ่มหลักคือ กลุ่มทนทานสูง กลุ่มทนทานและกลุ่มอากาศดี (2, 28 และ 1 แทลลัส ตามลำดับ) โดยพบไลเคนกลุ่มทนทานมากที่สุด และรูปแบบซึ่งพบมากที่สุดคือ ลายเส้น (รูปที่ 4) (14 แทลลัส คิดเป็นร้อยละ 33) เนื่องจาก ลายเส้น เป็นไลเคนซึ่งพบ เป็นกลุ่มใหญ่ มีหลายชนิด ขึ้นกระจายทั่วไป โดยเฉพาะในเขตร้อน พบได้ตั้งแต่ในป่าต่างๆ และสวนในเมืองใหญ่ ความทนทานมลภาวะแตกต่างตามชนิดและหลายชนิดทนทานต่อมลภาวะ [2] ขณะที่สวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่พบไลเคนสองกลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มทนทานสูง และกลุ่มทนทาน (22 และ 38 แทลลัส ตามลำดับ) โดยพบไลเคนกลุ่มทนทานมากสุด และรูปแบบซึ่งพบมากที่สุดคือ ริ้วแพร (รูปที่ 5) (25 แทลลัส คิดเป็นร้อยละ 36) เนื่องจากริ้วแพรเป็นไลเคนซึ่งพบได้ทั่วไป ทั้งในและนอกเมือง บางครั้งพบขึ้นใกล้ถนน [2] แต่ไม่พบไลเคนกลุ่มอากาศดี เนื่องจากบริเวณสวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่ เป็นพื้นซึ่งที่มีการสัญจรของยานพาหนะ พบว่าสภาพแวดล้อมดังกล่าวมีแนวโน้มมีมลพิษทางอากาศสูงในระดับหนึ่ง ส่งผลให้ไม่พบไลเคนในกลุ่มอากาศดี ซึ่งเป็นกลุ่มซึ่งมีความไวต่อมลภาวะในระดับสูงและมักปรากฏเฉพาะในพื้นที่ซึ่งมีคุณภาพอากาศดีเท่านั้น [2] โดยสาเหตุซึ่งพบไลเคนกลุ่มทนทานต่างชนิดกัน เนื่องจากทั้งสองพื้นที่น่าจะมีคุณภาพอากาศต่างกัน โดยบริเวณอ่างเก็บน้ำแก้มลิงมีคุณภาพอากาศดีกว่า เนื่องจากเป็นพื้นที่ซึ่งมีต้นไม้ล้อมรอบ และมีการสัญจรของยานพาหนะน้อย ทำให้ระดับมลพิษทางอากาศอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ส่งผลให้บริเวณดังกล่าวเอื้อต่อการเจริญเติบโตของไลเคนกลุ่มอากาศดี ซึ่งมีความไวต่อมลภาวะในระดับสูง จึงเป็นสาเหตุที่พบไลเคนรูปแบบลายเส้น มากที่สุด (14 แทลลัส คิดเป็นร้อยละ 33) และยังพบไลเคนกลุ่มอากาศดี รูปแบบผักกาดหน่อแท่ง (1 แทลลัส คิดเป็นร้อยละ 2) แต่ในบริเวณสวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่น่าจะมีมลภาวะทางอากาศสูงกว่า เนื่องจากเป็นพื้นที่ซึ่งมีการสัญจรของยานพาหนะตลอดทั้งวัน และมีประชาชนเข้าใช้บริการอย่างสม่ำเสมอส่งผลให้ไม่พบไลเคนในกลุ่มอากาศดี ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความไวต่อมลภาวะในระดับสูงและมักปรากฏเฉพาะในพื้นที่ซึ่งมีคุณภาพอากาศดีเท่านั้น จึงไม่พบไลเคนกลุ่มอากาศดีชนิดผักกาดหน่อแท่ง และไลเคนกลุ่มทนทานชนิด ลายเส้น แต่พบไลเคนกลุ่มทนทานชนิด ริ้วแพร มากที่สุด (25 แทลลัส คิดเป็นร้อยละ 36)

จากการศึกษาไลเคนสองกลุ่มหลักทั้งสองบริเวณ ได้แก่ บริเวณสวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่ และบริเวณอ่างเก็บน้ำแก้มลิงคลองเรียนพบว่าทั้งสองพื้นที่มีคุณภาพอากาศในระดับพอใช้แสดงให้เห็นว่าแม้ทั้งสองพื้นที่ยังคงมีมลพิษอยู่บ้างแต่ก็อยู่ในระดับที่ สามารถรองรับการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตได้อย่างปลอดภัย [7] ทั้งนี้ข้อมูลจากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นหลักฐานเบื้องต้นในการรายงานว่าคุณภาพอากาศในพื้นที่เหล่านี้ ยังคงอยู่ในเกณฑ์ซึ่งเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตตามปกติ โดยชุมชนสามารถเสนอแนวทางในการดำรงชีวิตให้แก่ชาวบ้าน เพื่อสนับสนุนให้คุณภาพอากาศดีมากขึ้น เช่น ลดการเผาขยะในที่โล่ง ส่งเสริมการใช้รถจักรยานหรือการเดิน และส่งเสริมให้มีการสำรวจและติดตามความหลากหลายของไลเคนในพื้นที่เมืองและชนบท เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินคุณภาพอากาศของชุมชนเมืองในระยะยาวอย่างยั่งยืน



รูปที่ 4 ไลเคนกลุ่มทนทานรูปแบบลายเส้น

รูปที่ 5 ไลเคนกลุ่มทนทานรูปแบบริ้วแพร

6. สรุปผลการศึกษา

จากการสำรวจคุณภาพอากาศบริเวณสวนสาธารณะเทศบาลนครหาดใหญ่ และบริเวณอ่างเก็บน้ำแก้มลิงคลองเรียน อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2567 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2568 พบว่าไลเคนกลุ่มที่ตรวจพบมากที่สุดในทั้งสองพื้นที่ คือ ไลเคนกลุ่มทนทาน การพบไลเคนกลุ่มทนทานเป็นกลุ่มหลักในทั้งสองพื้นที่ บ่งชี้ว่าคุณภาพอากาศอยู่ในระดับพอใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] หน่วยวิจัยไลเคน แห่งมหาวิทยาลัยรามคำแหง. (2537). *http://www.lichen.ru.ac.th/index.php*. เข้าถึงได้จาก หน่วยวิจัยไลเคน: http://www.lichen.ru.ac.th/index.php/about-us

[2] สรณรัชฎ์ กาญจนะวณิชย์. (2534). *นักสืบสายลม*. มูลนิธิโลกสีเขียว.

[3] Molnár, K., and Farkas, E. (2010). Current results on biological activities of lichen secondary metabolites: a review. *Zeitschrift Für Naturforschung C,* 65(3–4), 157–173. https://doi.org/10.1515/znc-2010-3-401

[4] ศูนย์วิจัยมลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (27 มีนาคม 2568). *https://psub.psu.ac.th/*. เข้าถึงได้จาก PSU Broadcast: https://psub.psu.ac.th/?p=14759

[5] พิสุทธิ์ การบุญ ชวัลรัตน์ สมนึก. (2561). *https://eresearch.rbru.ac.th/index.php*. เข้าถึงได้จาก RBRU e-Research: https://eresearch.rbru.ac.th/showthesis.php?theid=1676&depid=2

[6] ฉันทนา รุ่งพิทักษ์ไชย ลักขณา รักขพันธ์ อลภา ทองไชย สายใจ แก้วอ่อน และศศิธร พังสุบรรณ. (2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2559). *https://li01.tci-thaijo.org/index.php/yru_jst*. เข้าถึงได้จาก วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มรย.: https://li01.tci-thaijo.org/index.php/yru_jst/article/view/124446/94349

[7] โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์ อินเตอร์เนชั่นแนล. (27 มีนาคม 2568). *https://www.bumrungrad.com/th*. เข้าถึงได้จาก Bumrungrad International Hospital: https://www.bumrungrad.com/th/health-blog/february-2018/air-pollution-threat

พลังงานทางเลือก

Oral Presentation

การพัฒนาขั้วไฟฟ้าทังสเตนออกไซด์เพื่อผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการไฟฟ้าเคมีเชิงแสง

กัลยา ทองมาก[1], ธีระ บุตรบุรี[2], จักรพล พันธุวงศ์ภักดี[1], ศุภศิลป์ ทวีศักดิ์[3], และ เพียงใจ พีระเกียรติขจร[1*]

[1]คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม
[2] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
[3]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี
* Corresponding author: piangjai.pee@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

พลังงานไฮโดรเจนจัดเป็นเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนที่มีประสิทธิภาพและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ สามารถผลิตด้วยปฏิกิริยาการแยกโมเลกุลน้ำในกระบวนการไฟฟ้าเคมีเชิงแสง โดยอาศัยสารกึ่งตัวนำและแสง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์ขั้วไฟฟ้าฟิล์มบางนาโนทังสเตนออกไซด์ (WO_3) ด้วยวิธีไฮโดรเทอมอล เพื่อผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการไฟฟ้าเคมีเชิงแสง และศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิที่ใช้ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจน โดยกำหนดอุณหภูมิ 120 150 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ต่างๆ จากการศึกษาพบว่าฟิล์มบางนาโน WO_3 มีโครงสร้างแบบ 2 มิติ ลักษณะรูปร่างเป็นนาโนเพลท (Nanoplate) และโครงสร้างผลึกเป็นแบบโมโนคลินิก (Monoclinic) แสดงค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 475 นาโนเมตร นอกจากนี้พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในสังเคราะห์ฟิล์มบางแตกต่างกันส่งผลต่อโครงสร้างผลึกและความสามารถในการดูดกลืนแสงของฟิล์มบาง WO_3 จึงส่งผลให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน โดยขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่อุณหภูมิ 120 °C แสดงค่ากระแสไฟฟ้ามากที่สุด ประมาณค่าได้ 2.82 mA/cm^2 ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์โซเดียมซัลเฟต 0.5M ภายใต้ความเข้มแสง AM 1.5G (100 mW/cm^2) เนื่องจากให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด และแสดงโครงสร้างผลึกที่ดี เกิดการแยกกันของอิเล็กตรอนและโฮลได้ดี ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของน้ำและผลิตไฮโดรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการเตรียมขั้วไฟฟ้าฟิล์มบาง WO_3 ที่ได้และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตไฮโดรเจนในปฏิกิริยาการแยกโมเลกุลน้ำในกระบวนการไฟฟ้าเคมีเชิงแสง ด้วยวิธีการสังเคราะห์ที่ง่าย ต้นทุนต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : ไฮโดรเจน / พลังงานทดแทน / ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเชิงแสง / ทังสเตนออกไซด์ / ไฮโดรเทอมอล

Development of Tungsten Oxide Photoelectrode for Hydrogen Production in Photoelectrochemical Process

Kanlaya Thongmak[1], Teera Butburee[2], Supphasin Thaweesak[3], Jakkapon Phanthuwongpakdee[1], and Piangjai Peerakiatkhajohn[1*]

[1] Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Nakhon Pathom, Thailand.
[2] National Nanotechnology Center (NANOTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Pathum Thani, Thailand.
[3] Faculty of Engineering, Burapha University, Chonburi, Thailand.
** Corresponding author: piangjai.pee@mahidol.ac.th*

Abstract

Hydrogen energy is an efficient renewable fuel that helps reduce greenhouse gas emissions. It can be produced through the photoelectrochemical (PEC) water-splitting reaction using semiconductors and light. This study aims to synthesize tungsten oxide (WO_3) nanostructured thin film photoelectrodes via the hydrothermal method for hydrogen production. The influence of synthesis temperatures at 120, 150, and 180 °C for 12 hours was investigated. The physical and chemical properties of the WO_3 thin films were characterized using analytical techniques. The results revealed that the WO_3 thin films exhibited a two-dimensional nanoplate morphology with a monoclinic crystal structure and showed a light absorption edge at 475 nm. It was found that the different temperature effected on the crystallinity structure and optical property of photoelectrode, leading to different current density values. The WO_3 photoelectrode synthesized at 120 °C exhibited the highest current density, approximately 2.82 mA/cm² in a 0.5 M sodium sulfate electrolyte solution under AM 1.5G illumination (100 mW/cm²). This photoelectrode showed optimal optical absorption and favorable crystallinity, promoting effective electron-hole separation and enhancing water redox reactions for efficient hydrogen production. Thus, temperature is a crucial factor in the synthesis of WO_3 thin film photoelectrodes, which can be practically applied for hydrogen generation through photoelectrochemical water splitting using a simple, low-cost, and environmentally friendly method.

Keywords: Hydrogen / Renewable energy / Photoelectrochemical process / Tungsten oxide / Hydrothermal

1. บทนำ

เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานหลักของโลกเนื่องจากมีความหนาแน่นของพลังงานสูง อย่างไรก็ตาม การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน [1] ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องบรรเทาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยแหล่งพลังงานทดแทนมีบทบาทสำคัญในการบรรลุเป้าหมายการปล่อยมลพิษสุทธิเป็นศูนย์และความเป็นกลางทางคาร์บอน ทำให้จำเป็นต้องมีนวัตกรรมและพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนเพิ่มเติม ซึ่งถือเป็นแนวทางที่สำคัญที่สุดแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน [2, 3] พลังงานไฮโดรเจนจัดเป็นเชื้อเพลิงสะอาดที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูง มีแนวโน้มว่าในอนาคตจะเป็นแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงที่สำคัญมาก โดยมีค่าพลังงานสูงกว่าพลังงานเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนถึง 2.5 เท่า การเผาไหม้ไม่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก [4] จากการศึกษาพบว่ากระบวนการอิเล็กโทรไลซิสของน้ำนั้นเกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้สารกึ่งตัวนำและพลังงานแสงอาทิตย์ในการแยกโมเลกุลของน้ำ (solar water splitting) โดยการสร้างกระบวนการไฟฟ้าเคมีเชิงแสง (PEC) เพื่อผลิตพลังงานไฮโดรเจน เทคนิคนี้กำลังได้รับความสนใจในการผลิตพลังงานไฮโดรเจน เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพ ไม่ซับซ้อน มีต้นทุนต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [5]

ทังสเตนออกไซด์ (Tungsten oxide, WO_3) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาตัวหนึ่งที่ได้รับความนิยม ในกระบวนการปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเชิงแสง เนื่องจากมีคุณสมบัติการดูดกลืนในช่วงแสงที่ตามองเห็น มีช่องว่างแถบพลังงาน อยู่ที่ 2.6 - 3.0 eV รวมถึงมีความสามารถในการออกซิไดซ์ดีและราคาถูก [6] อีกทั้งจากงานวิจัยของ Tehrani et al. (2020) ได้ระบุว่า WO_3 สามารถควบคุมการเปลี่ยนทางสัณฐานวิทยา ความเป็นผลึก และคุณสมบัติทางแสงได้ด้วยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในกระบวนกวนไฮโดรเทอร์มอล ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา และการใช้สารตั้งต้น [7] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาขั้วไฟฟ้า WO_3 ด้วยวิธีไฮโดรเทอมอล และศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิที่ใช้ขั้วไฟฟ้า WO_3 ในกระบวนกวนไฮโดรเทอร์มอล ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจนเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เชิงแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้นทุนต่ำ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถนำไปประยุกต์ใช้หรือพัฒนาต่อยอดในด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมต่อไปได้

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาขั้วไฟฟ้าทังสเตนออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอมอลอย่างง่าย
2. เพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิที่ใช้สังเคราะห์ขั้วไฟฟ้าทังสเตนออกไซด์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจน
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการไฟฟ้าเคมีเชิงแสงของขั้วไฟฟ้าทังสเตนออกไซด์

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์ขั้วไฟฟ้าทังสเตนออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอมอลอย่างง่ายเพื่อผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการไฟฟ้าเคมี เชิงแสงอย่างมีประสิทธิภาพ ที่ง่าย ต้นทุนต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. เตรียมขั้วไฟฟ้าทังสเตนออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอมอล โดยกำหนดอุณหภูมิ 120 150 และ 180 องศาเซลเซียส
2. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของขั้วไฟฟ้าทังสเตนออกไซด์
3. ทดสอบประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการไฟฟ้าเคมีเชิงแสง เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าตามการเปลี่ยนแปลงของเวลาและศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

4. วิธีการศึกษา

4.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้าทังสเตนออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล

เตรียมสารละลายตั้งต้นทังสเตนออกไซต์ โดยละลายโซเดียมทังสเตตไดไฮเดรต ($Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$) 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร และเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาณ 2 มิลลิลิตร ค่อย ๆ หยดลงในสารละลาย และกวนผสมเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเติมกรดซิตริก 0.2 กรัม ในน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร กวนผสมเป็นเวลา 20 นาที เมื่อกวนสารละลาย

เรียบร้อยนำมาเทใส่ในหม้อนึ่งความดันไอน้ำชนิดบุเทฟลอน (Teflon-lined stainless autoclave) ขนาด 50 มิลลิลิตร และวางแผ่นกระจกนำไฟฟ้า โดยวางแผ่นด้านนำไฟฟ้าให้สัมผัสสารละลายในหม้อนึ่งความดันไอน้ำชนิดบุเทฟลอน จากนั้นนำเข้าตู้อบและตั้งอุณหภูมิที่จะศึกษาที่ 120 150 และ 180 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำกระจกนำไฟฟ้า ออกมาล้างด้วยตัวทำละลายเอทานอล และน้ำกลั่น ทำให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะก๊าซออกซิเจน

4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของขั้วไฟฟ้า

ศึกษาลักษณะรูปร่าง ขนาด องค์ประกอบธาตุ หมู่ฟังก์ชันของขั้วไฟฟ้า โครงสร้างผลึก และการดูดกลืนแสง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (EDS) เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR) เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโทมิเตอร์ (XRD) รามานสเปกโตรมิเตอร์ และเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis) ตามลำดับ

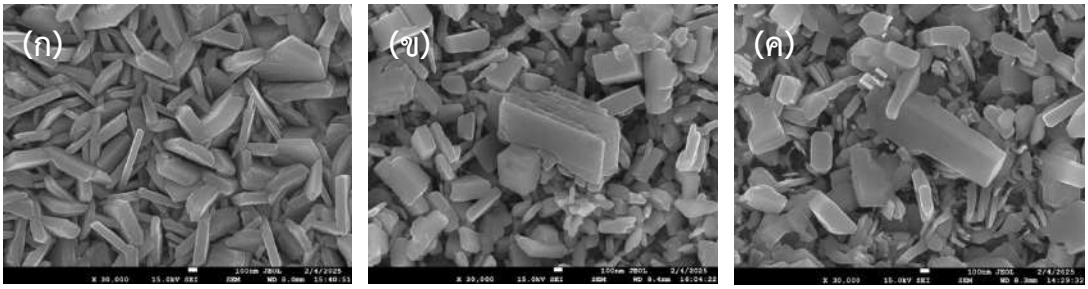
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการไฟฟ้าเคมีเชิงแสง

ทดสอบประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบรูปตัวเอช (H-cell reactor) และวัดค่ากระแสไฟฟ้าตามการเปลี่ยนแปลงของเวลา (Current- Time, IT) ด้วยเครื่อง CHI Instruments โดยกำหนดให้ขั้วไฟฟ้าที่เตรียมเป็นขั้วแอโนด แพลทินัม (Pt) เป็นขั้วแคโทด และ ซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag/AgCl) เป็นขั้วอ้างอิง ภายใต้ความเข้มแสงที่ใช้ AM 1.5 หรือ 100 mW/cm^2

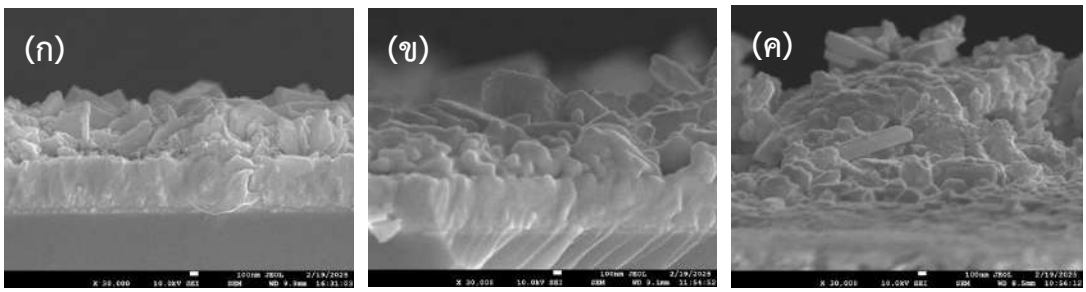
5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของขั้วไฟฟ้าทังสเตนออกไซด์

5.1.1 การศึกษาโครงสร้างสัณฐาน และองค์ประกอบธาตุของขั้วไฟฟ้า WO_3 ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (FE-SEM) จากการวิเคราะห์พบว่าขั้วไฟฟ้ามีลักษณะโครงสร้างนาโนเพลท (Nanoplate) แบบ 2 มิติ โดยรูปที่ 1 และ 2 แสดงโครงสร้างของขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอมอลที่อุณหภูมิ 120 150 และ 180 °C ตามลำดับ พบว่าขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่สังเคราะห์ด้วยอุณหภูมิ 120 °C มีลักษณะโครงสร้างที่มีขนาดเท่าๆ กัน เรียงตัวเป็นระเบียบ และมีความสม่ำเสมอ ในขณะที่ขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่สังเคราะห์ด้วยอุณหภูมิ 150 และ 180 °C มีลักษณะโครงสร้างที่มีขนาดเล็กใหญ่ไม่เท่ากัน ไม่ค่อยมีความสม่ำเสมอ การวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็นว่าการสังเคราะห์ขั้วไฟฟ้าด้วยวิธีไฮโดรเทอมอลด้วยอุณหภูมิที่ต่างกันส่งผลให้เกิดลักษณะโครงสร้างสัณฐานที่แตกต่างกัน โดยการสังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอมอลที่อุณหภูมิ 120 °C ให้โครงสร้างที่เรียงตัวเป็นระเบียบที่สุด

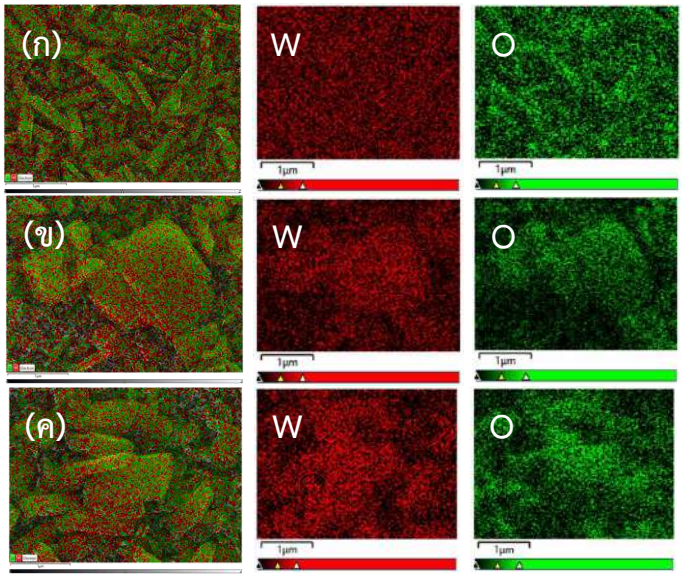


รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของพื้นผิวของขั้วไฟฟ้า WO_3 สังเคราะห์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (ก) อุณหภูมิ120 °C (ข) อุณหภูมิ 150 °C (ค) อุณหภูมิ 180 °C (กำลังขยาย 30000 เท่า)

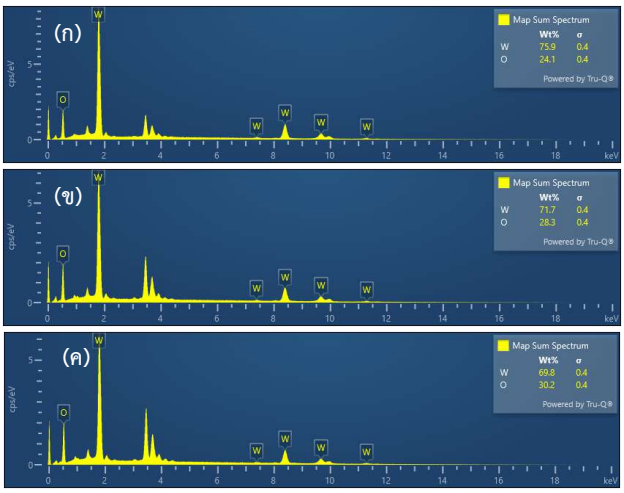


รูปที่ 2 ภาพตัดขวางของขั้วไฟฟ้า WO_3 สังเคราะห์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (ก) อุณหภูมิ 120 °C (ข) อุณหภูมิ 150 °C (ค) อุณหภูมิ 180 °C (กำลังขยาย 30000 เท่า)

จากรูปที่ 3 และ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบธาตุของขั้วไฟฟ้า WO_3 พบว่ามีองค์ประกอบธาตุหลักคือ ทังสเตน (W) และออกซิเจน (O) โดยมีปริมาณร้อยละโดยน้ำหนัก (%wt) ของธาตุ W มากกว่า O และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของธาตุมากที่สุดในขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่อุณหภูมิ 120 °C สามารถยืนยันได้ว่าการสังเคราะห์ขั้วไฟฟ้า WO_3 ด้วยวิธีไฮโดรเทอมอลสามารถสังเคราะห์ฟิล์มบาง WO_3 ได้ด้วยวิธีที่ง่าย ไม่ซับซ้อน



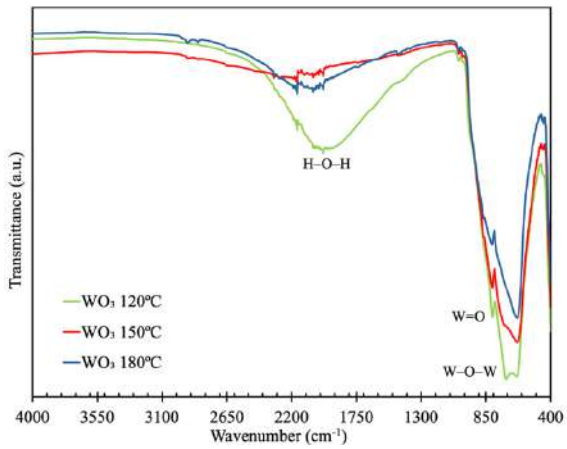
รูปที่ 3 องค์ประกอบธาตุของขั้วไฟฟ้า WO_3 (ก) อุณหภูมิ 120 °C (ข) อุณหภูมิ 150 °C (ค) อุณหภูมิ 180 °C



รูปที่ 4 สเปกตรัม EDS ของขั้วไฟฟ้า WO_3 สังเคราะห์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน (ก) อุณหภูมิ 120 °C (ข) อุณหภูมิ 150 °C (ค) อุณหภูมิ 180 °C

5.1.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของขั้วไฟฟ้า WO_3 ด้วยเครื่องเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR)

รูปที่ 5 แสดงผลการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของขั้วไฟฟ้า WO_3 พบว่า ขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะพันธะของหมู่ฟังก์ชัน W–O–W และ W=O ในช่วงประมาณ 660 – 880 cm^{-1} ซึ่งหมู่ฟังก์ชันที่พบเป็นลักษณะเฉพาะของทังสเตนออกไซต์ โดยความคมชัดของแถบเหล่านี้สะท้อนถึงระดับของการเกิดพันธะที่เป็นระเบียบ จากกราฟจะเห็นได้ว่าขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่อุณหภูมิ 120 °C ให้แถบการดูดกลืนที่ชัดเจนและเด่นชัดที่สุด แสดงถึงการเกิดพันธะที่เป็นระเบียบซึ่งจะทำให้จะมีประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนที่มากกว่าตามมาด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aldrees et al. (2023) [8]

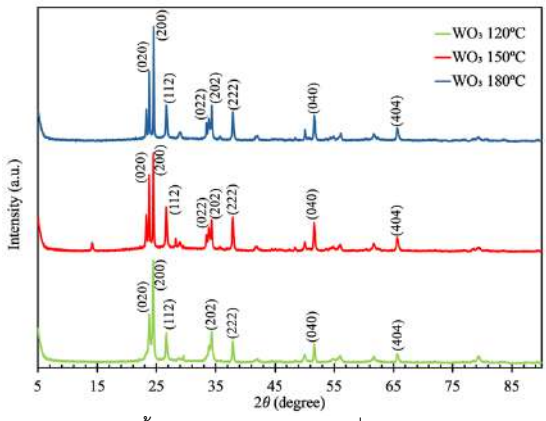


รูปที่ 5 สเปกตรัม FTIR ของขั้วไฟฟ้า WO_3 สังเคราะห์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

5.1.3 การศึกษาโครงสร้างผลึกของขั้วไฟฟ้า WO_3 ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโทมิเตอร์ (XRD)

จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกของขั้วไฟฟ้า WO_3 ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) แสดงดังรูปที่ 6 พบว่าขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่อุณหภูมิ 120 °C ให้ลักษณะพีคได้ชัดเจนที่สุด โดยมีพีคหลักปรากฏที่ตำแหน่ง 2θ ประมาณ 23.1°, 23.6° และ 24.3° ซึ่งสามารถสอดคล้องกับระนาบ (002), (020) และ (200) ตามเอกสารอ้างอิง JCPDS card no. 33-1387 ของ WO_3

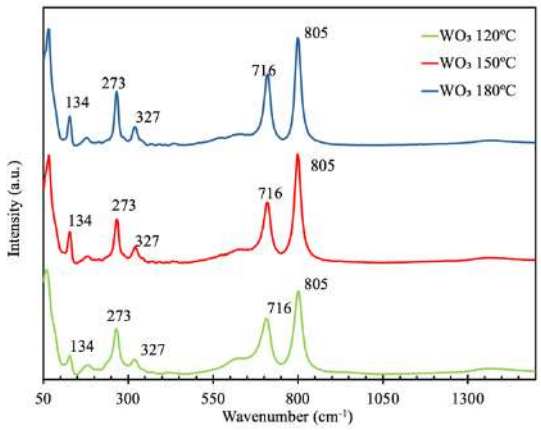
ในเฟสโมโนคลินิก ได้อย่างชัดเจนซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Brüger et al. (2024) [9] นอกจากนี้ยังพบพีคอื่น ๆ ที่ 28.0°, 33.0°, 34.1°, 41.6°, และ 49.2° ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของWO_3 ในเฟสโมโนคลินิก ในขณะที่ขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่อุณหภูมิ 150 °C และ 180 °C พบว่าพีคมีความกว้างมากขึ้นและความคมชัดลดลง บางพีคเริ่มมีการซ้อนทับกับพีคอื่นที่ไม่ตรงกับเฟสโมโนคลินิก ซึ่งอาจเกิดจากการเติบโตของผลึกที่เร็วเกินไป จนนำไปสู่การเกิดโครงสร้างที่ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นที่อุณหภูมิ 120 °C จึงเหมาะสมที่สุดสำหรับการก่อตัวของเฟสโมโนคลินิก เนื่องจากให้ผลึกที่บริสุทธิ์ มีขนาดผลึกเหมาะสม และโครงสร้างผลึกเป็นระเบียบมากที่สุด



รูปที่ 6 โครงสร้างผลึกของของขั้วไฟฟ้า WO_3 สังเคราะห์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ด้วยเทคนิค XRD

5.1.4 การศึกษาโครงสร้างผลึกของขั้วไฟฟ้า WO_3 ด้วยเครื่องรามานสเปกโตรมิเตอร์

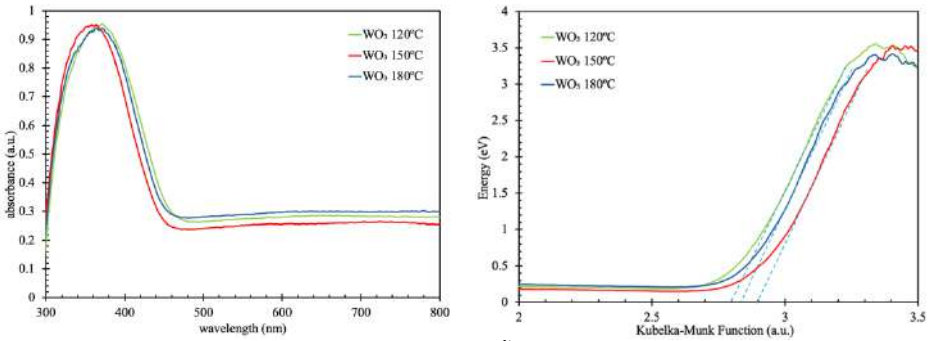
จากการวิเคราะห์พบว่าขั้วไฟฟ้า WO_3 มีสัญญาณรามานที่สามารถระบุได้ว่าเป็น WO_3 ในเฟสโมโนคลินิก โดยแถบการดูดกลืนหลักที่สำคัญปรากฏในช่วงประมาณ 134 273 325 716 และ 805 cm^{-1} ซึ่งสอดคล้องกับโหมดการสั่นของพันธะ W–O และ W=O ในโครงสร้างผลึกโมโนคลินิก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Escalante et al. (2021) [10] อย่างไรก็ตาม จากกราฟพบว่าขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่อุณหภูมิ 120 °C แสดงตำแหน่ง 805 cm^{-1} ที่ชัดเจน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะในเฟสโมโนคลินิก ในขณะที่ขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่อุณหภูมิ 150 °C และ 180 °C มีแถบบางตำแหน่งเริ่มมีการขยายกว้าง ซึ่งบ่งชี้ถึงการลดลงของความเป็นระเบียบในโครงสร้างผลึก และอาจมีการเกิดความไม่สมบูรณ์ของผลึก ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิ 120 °C เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 7 โครงสร้างผลึกของขั้วไฟฟ้า WO_3 สังเคราะห์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ด้วยเทคนิค Raman

5.1.5 การศึกษาการดูดกลืนแสงของขั้วไฟฟ้า WO_3 ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS)

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติการดูดกลืนแสงและค่าช่องว่างพลังงาน (Eg) ของขั้วไฟฟ้า WO_3 พบว่าขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่อุณหภูมิ 120 °C แสดงค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (absorption edge) ประมาณ 475 นาโนเมตร และมีค่าช่องว่างพลังงานประมาณ 2.8 eV ซึ่งเป็นค่าระดับพลังงานที่ต่ำสุดเมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้าที่อุณหภูมิอื่น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aldrees et al. (2023) [8] ซึ่งค่าช่องว่างพลังงานที่แคบแสดงให้เห็นว่าการกระตุ้นอิเล็กตรอนจากแถบเวเลนซ์ไปยังแถบนำไฟฟ้าสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายกว่า อีกทั้งการที่ขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่อุณหภูมิ 120 °C มีค่าช่องว่างพลังงานต่ำสุด ยังสะท้อนถึงการจัดเรียงผลึกหรือโครงสร้างภายในที่เอื้อต่อการเกิดกระบวนการทางแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

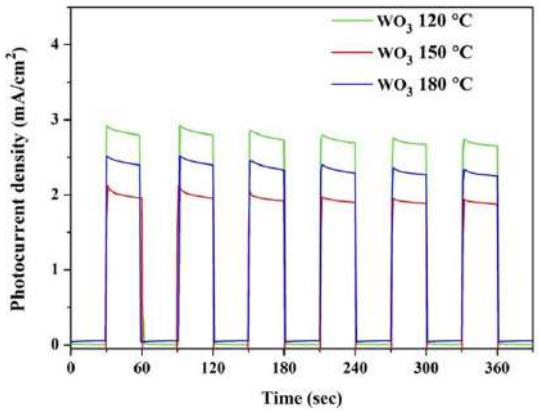


รูปที่ 8 ค่าการดูดกลืนของแสงและค่าแถบพลังงานของขั้วไฟฟ้า WO_3 สังเคราะห์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

5.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการไฟฟ้าเคมีเชิงแสง

จากรูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (Photocurrent Density) และเวลา เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการไฟฟ้าเคมีเชิงแสง โดยวัดค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ตามการเปลี่ยนแปลงของเวลา (Current – time, IT) ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์โซเดียมซัลเฟต 0.5 M ภายใต้ความเข้มแสง AM 1.5G (100 mW/cm^2) โดย ขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่อุณหภูมิ 120 °C แสดงค่ากระแสไฟฟ้ามากที่สุด ประมาณค่าได้ 2.82 mA/cm^2 รองลงมาคือขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่อุณหภูมิ 180 °C และขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่อุณหภูมิ 150 °C แสดงค่าประมาณ 2.40 และ 1.96 mA/cm^2 ตามลำดับ

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิ 120 °C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฮโดรเจนสูงกว่าอุณหภูมิ 150 °C และ 180 °C เนื่องจากมีโครงสร้างผลึกที่เรียงตัวดี มีพันธะโลหะออกไซด์ที่ชัดเจน และแสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ดีกว่าอุณหภูมิ 150 °C และ 180 °C และค่าช่องว่างพลังงาน (Eg) ที่น้อยที่สุด เกิดการแยกกันของอิเล็กตรอนและโฮลได้ดีขึ้น ยับยั้งการรวมตัวกลับของอิเล็กตรอนและโฮล ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของน้ำในกระบวนการ PEC ได้ดีขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tehrani et al. (2020) [7]



รูปที่ 9 IT-curve ของขั้วไฟฟ้า WO_3 สังเคราะห์ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์โซเดียมซัลเฟต 0.5 M ภายใต้ความเข้มแสง AM1.5G (100 mW/cm^2)

6. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาฟิล์มบาง WO_3 ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ซึ่งเป็นเทคนิคที่ง่าย ไม่ซับซ้อน ได้สำเร็จ โดยศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิแตกต่างกันที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฮโดรเจนในกระบวนการไฟฟ้าเคมีเชิงแสง โดยพบว่า ขั้วไฟฟ้าที่เตรียมได้แสดงโครงสร้างนาโนแบบแผ่นสองมิติ (2D nanoplates) ที่เรียงตัวเป็นระเบียบ มีการกระจายขององค์ประกอบธาตุสม่ำเสมอ และมีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก รวมทั้งหมู่ฟังก์ชันของโลหะออกไซด์ ทั้งนี้อุณหภูมิ 120 °C เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมขั้วไฟฟ้า WO_3 ที่แสดงค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเปรียบกับอุณหภูมิอื่น เนื่องจากมีความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น และค่าช่องว่างพลังงานที่แคบลง ส่งผลให้มีการแยกกันของอิเล็กตรอนที่ดีและเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของน้ำและผลิตไฮโดรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิในการสังเคราะห์เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณสมบัติและความสามารถในการผลิตไฮโดรเจนของฟิล์มบาง WO_3 ในกระบวนการไฟฟ้าเคมีเชิงแสง

เอกสารอ้างอิง

[1] Saha P, Akash FA, Shovon SM, Monir MU, Ahmed MT, Khan MFH, et al. Grey, blue, and green hydrogen: A comprehensive review of production methods and prospects for zero-emission energy. International Journal of Green Energy. 2024;21(6):1383-97.

[2] Osman AI, Chen L, Yang M, Msigwa G, Farghali M, Fawzy S, et al. Cost, environmental impact, and resilience of renewable energy under a changing climate: a review. Environmental Chemistry Letters. 2023;21(2):741-64.

[3] Amin M, Shah HH, Fareed AG, Khan WU, Chung E, Zia A, et al. Hydrogen production through renewable and non-renewable energy processes and their impact on climate change. International Journal of Hydrogen Energy. 2022;47(77):33112-34.

[4] Wu Y-H, Kuznetsov DA, Pflug NC, Fedorov A, Müller CR. Solar-driven valorisation of glycerol on $BiVO_4$ photoanodes: effect of co-catalyst and reaction media on reaction selectivity. Journal of Materials Chemistry A. 2021;9(10):6252-60.

[5] Huang L-W, Vo T-G, Chiang C-Y. Converting glycerol aqueous solution to hydrogen energy and dihydroxyacetone by the $BiVO_4$ photoelectrochemical cell. Electrochimica Acta. 2019;322:134725.

[6] Park E, Patil SS, Lee H, Kumbhar VS, Lee K. Photoelectrochemical H_2 evolution on WO3/BiVO4 enabled by single-crystalline TiO_2 overlayer modulations. Nanoscale. 2021;13(40):16932-41.

[7] Tehrani FS, Ahmadian H, Aliannezhadi M. Hydrothermal synthesis and characterization of WO3 nanostructures: Effect of reaction time. Materials Research Express. 2020;7(1):015911.

[8] Aldrees A, Khan H, Alzahrani A, Dan'azumi S. Synthesis and characterization of tungsten trioxide (WO3) as photocatalyst against wastewater pollutants. Applied Water Science. 2023;13(7):156.

[9] Brüger A, Fafilek G, Neumann-Spallart M. Identification of different WO_3 modifications in thin films for photocatalytic applications by peak shape analysis in high temperature XRD diffractometry. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. 2024;457:115879.

[10] Escalante G, López R, Demesa FN, Villa-Sánchez G, Castrejón-Sánchez VH, Vivaldo de la Cruz I. Correlation between Raman spectra and color of tungsten trioxide (WO_3) thermally evaporated from a tungsten filament. AIP Advances. 2021;11(5):055103.

การจัดการแบตเตอรี่หมดอายุการใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้าประเทศไทย

ภูเมธ บุญญานพนนท์[1] และจักรพงศ์ พงศ์ธไนศวรรย์[2*]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
[2]สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
* Corresponding author: jakapong.p@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าที่หมดอายุการใช้งานในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากยอดจดทะเบียนยานยนต์ไฟฟ้าและคำนวณปริมาณแบตเตอรี่ที่สิ้นสุดอายุการใช้งานโดยอ้างอิงสถานะสุขภาพแบตเตอรี่ (State of Health: SoH) ร่วมกับทฤษฎี Stock Turnover ผลการศึกษาคาดว่า ภายในปี 2035 ประเทศไทยจะมีแบตเตอรี่หมดอายุประมาณ 2,132,653 แพ็คเพื่อการจัดการที่มีประสิทธิภาพ แบตเตอรี่ถูกจำแนกออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ (1) First Life (SoH 80–100%) ใช้งานในยานยนต์ไฟฟ้าต่อไป (2) Second Life แบ่งเป็น High Performance (SoH > 80%) สำหรับยานยนต์ และ Low Performance (SoH ≤80-40%) สำหรับระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) (3) Third Life (SoH < 40%) เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล กำหนดให้ตรวจสอบสุขภาพแบตเตอรี่ทุก 5, 10 และ 15 ปี ภายใต้ 3 มาตรการหลัก มาตรการที่ 1: ไม่มีการรีไซเคิล (BAU) ปล่อยก๊าซ CO_2 สะสม 14.8 ตัน/คัน, มาตรการที่ 2: มีการรีไซเคิลแบตเตอรี่ ปล่อยก๊าซ CO_2 8.2 ตัน/คัน, มาตรการที่ 3: BEV3R (Refurbish, Reuse, Recycle) ปล่อยก๊าซ CO_2 ต่ำสุด 7.0 ตัน/คัน ผลการศึกษาชี้ว่า มาตรการ BEV3R มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึง 52.7% ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และสนับสนุนเป้าหมาย Net Zero Carbon 2050 ของประเทศอย่างเป็นรูปธรรม.

คำสำคัญ: การจัดการแบตเตอรี่หมดอายุการใช้งาน / ประเมินจำนวนแบตเตอรี่ที่หมดอายุ / BEV3R Concept (Refurbish, Reused, Recycle) / ทางเลือกการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก / เสนอแนะนโยบายแบตเตอรี่หมดอายุการใช้งาน

End of Life Management of Electric Vehicle Battery in Thailand

Poometh Boonyanoppanon[1] and Jakapong Pongthanaisawan[2*]

[1]*Department of Energy Technology and Management, Graduate School, Chulalongkorn University, Wang Mai Subdistrict, Pathumwan District, Bangkok, Thailand*
[2]*Energy Research Institute, Chulalongkorn University, Wang Mai Subdistrict, Pathumwan District, Bangkok, Thailand*
* Corresponding author: jakapong.p@chula.ac.th

This study aims to investigate the management of end-of-life electric vehicle (BEV) batteries in Thailand. The research utilizes data from EV registrations to estimate the volume of end-of-life batteries, based on the State of Health (SoH) in conjunction with the Stock Turnover theory. The findings estimate that by 2035, Thailand will have approximately 2,501,198 end-of-life battery packs requiring proper management. The batteries are categorized into three levels for effective handling: (1) First Life (SoH 80–100%): Batteries continue to be used in EV. (2) Second Life: High Performance (SoH > 80%): Suitable for vehicle applications. Low Performance (SoH ≤ 80–40%): Used in Energy Storage Systems (ESS). (3) Third Life (SoH < 40%): Batteries enter the recycling process. Battery health checks are scheduled every 5, 10, and 15 years under three main policy scenarios: Scenario 1: No Recycling (Business as Usual, BAU) – Accumulated CO_2 emissions of 14.8 tons per vehicle. Scenario 2: Battery Recycling – CO_2 emissions reduced to 8.2 tons per vehicle. Scenario 3: BEV3R (Refurbish, Reuse, Recycle) – Lowest CO_2 emissions at 7.0 tons per vehicle.

The study indicates that the BEV3R strategy is the most effective, reducing greenhouse gas emissions by up to 52.7%. This approach minimizes environmental impact, maximizes resource efficiency, and concretely supports Thailand's Net Zero Carbon 2050 target.

Keywords: End-of-life Battery Management / Estimation of End-of-life Battery Volume / BEV3R Concept (Refurbish, Reuse, Recycle) / Greenhouse Gas Emission Reduction Options / End-of-life Battery Policy Recommendations

1. บทนำ

ประเทศไทยได้มีการแสดงเจตนารมย์ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อเข้าสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนภายในปี 2050 และเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ ภายในปี 2065 ซึ่งยานยนต์ไฟฟ้า (Battery Electric Vehicle : BEV) เป็นหนึ่งมาตราการที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Emission) ในแผนพลังงานชาติ (National Energy Plan) [1] จากข้อมูลสถิติการจดทะเบียนยานยนต์ไฟฟ้าของกรมการขนส่งทางบกในปี 2023 พบว่า มีอัตราการเติบโตถึง +684.4% ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความนิยมและการตอบรับที่ดีต่อยานยนต์ไฟฟ้า (BEV) ทั้งนี้ การเติบโตดังกล่าวยังสอดคล้องกับนโยบายระดับประเทศ เช่น EV30@30 และ EV3.5 ที่มุ่งส่งเสริมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อความยั่งยืน เนื่องจากในช่วง 6 ปีที่ผ่านมา (ตั้งแต่ปี 2562 จนถึงปัจจุบัน) ปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าสะสม 160,389 คัน (ข้อมูล ณ เดือนธันวาคม 2567) ดังนั้นการจัดการแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าที่หมดอายุการใช้งาน จึงเป็นประเด็นที่ต้องให้ความสำคัญและเตรียมความพร้อมทางด้านนโยบายและมาตรการเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต [2]

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิเคราะห์เส้นทางของแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าที่หมดอายุการใช้งาน อีก 10 ปีข้างหน้า (2035) และจำลองแนวทางมาตราการจัดการแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าภายใต้ (Battery Electric Vehicle 3R: Refurbish, Reuse, Recycle): BEV3R
2. เพื่อนำเสนอแนวทางการจัดการแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าที่หมดอายุการใช้งาน เพื่อลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ภายใต้เงื่อนไข BEV3R เปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าที่หมดอายุการใช้งานที่ไม่มีการจัดการ BEV3R ในประเทศ

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้มีผู้วิจัยจะมุ่งเน้นการวิเคราะห์และจำลองแนวทางการจัดการแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าที่หมดอายุการใช้งานในอนาคต 10-15 ปีข้างหน้า โดยใช้แนวคิด BEV3R (Battery Electric Vehicle 3R: Refurbish, Reuse, Recycle) เพื่อมุ่งลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในประเทศไทย

1. ศึกษาจำนวนปริมาณแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าที่หมดอายุการใช้งาน (รย.1 รถยนต์ส่วนบุคคล) ที่จดทะเบียนยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศ อีก 10 ปีที่ข้างหน้า เพื่อจัดการมาตราการรองรับการจัดการแบตเตอรี่หมดอายุการใช้งานในรถยนต์ไฟฟ้าภายใต้ BEV3R
2. วิเคราะห์ผล (Business as Usual: BAU) จากการจัดการแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าที่หมดอายุการใช้งาน สามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ภายใต้เงื่อนไข BEV3R และแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าที่หมดอายุการใช้งานที่ไม่มีการจัดการ BEV3R ในประเทศทำเสนอข้อเสนอแนะทางนโยบายจัดการแบตเตอรี่ไฟฟ้าเมื่อหมดอายุการใช้งาน

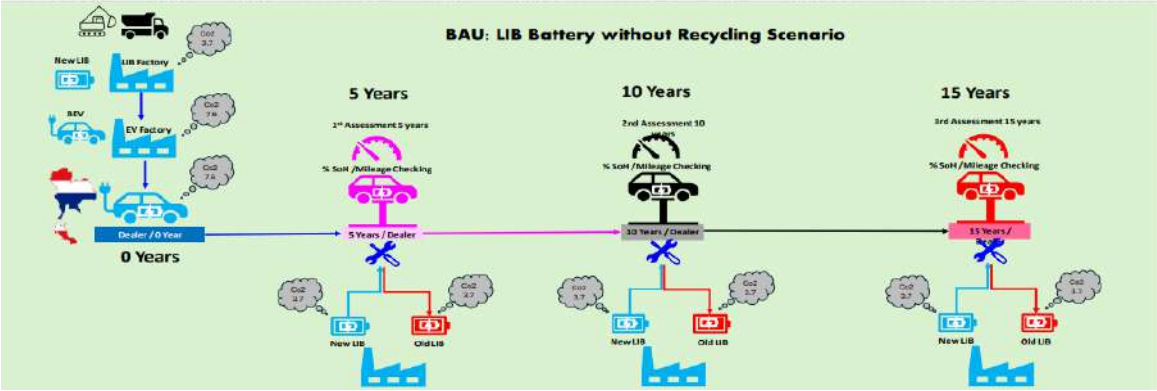
4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูลยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย

ทำการรวบรวมยอดยานยนต์ไฟฟ้าในปี 2019 ถึงปัจจุบัน และรวมกับเป้าหมายแผนการการส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้าการใช้งาน (BEV) ของประเทศ ตามนโยบายส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้าการใช้งาน (BEV) ซึ่งมีแผนในปี 2025 จะมีจำนวนยานยนต์ไฟฟ้าจดทะเบียนถึง 225,000 คัน (30%) และจะเพิ่มขึ้นเป็น 440,000 คัน (50%) และ 1,154,000 คัน (100%) ในปี 2035 จะเห็นได้ว่าจำนวนปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทุกๆปี [3] แล้วใช้หลักการทฤษฎี Stock Turnover ทำวิเคราะห์การหมุนเวียนแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าของกรมขนสงทางบก [4]

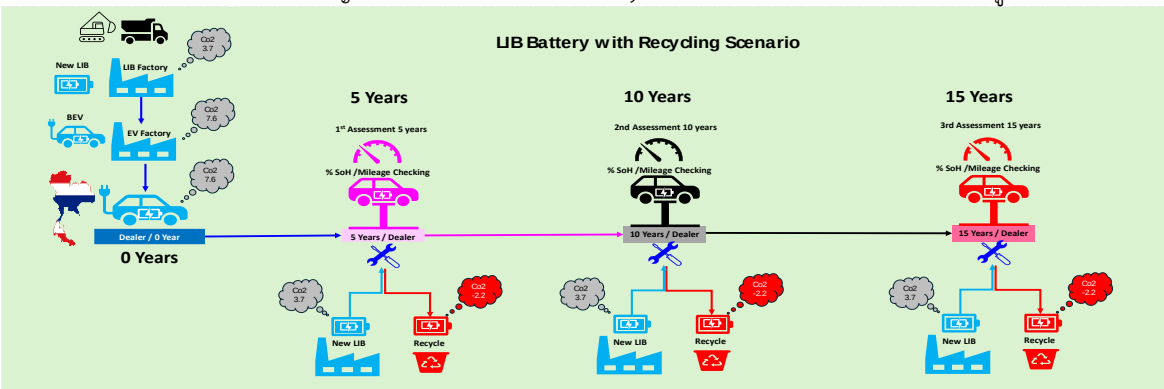
4.2 กำหนดเงื่อนไขทำการประเมิณสุขภาพเซลล์ของแบตเตอรี่ % SoH 3 Scenario

1) Lithium-ion Battery Business as Usual scenario กำหนดรอบระยะเวลาการเปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่ทุกๆ 5 ปี, 10 ปี และ 15 ปี โดยเมื่อครบกำหนด แบตเตอรี่เดิมจะถูกถอดออกและแทนที่ด้วยแบตเตอรี่ลูกใหม่ โดยไม่มีการดำเนินการเพิ่มเติมใดๆ กับแบตเตอรี่ลูกเดิม แสดงดังรูปที่ 1



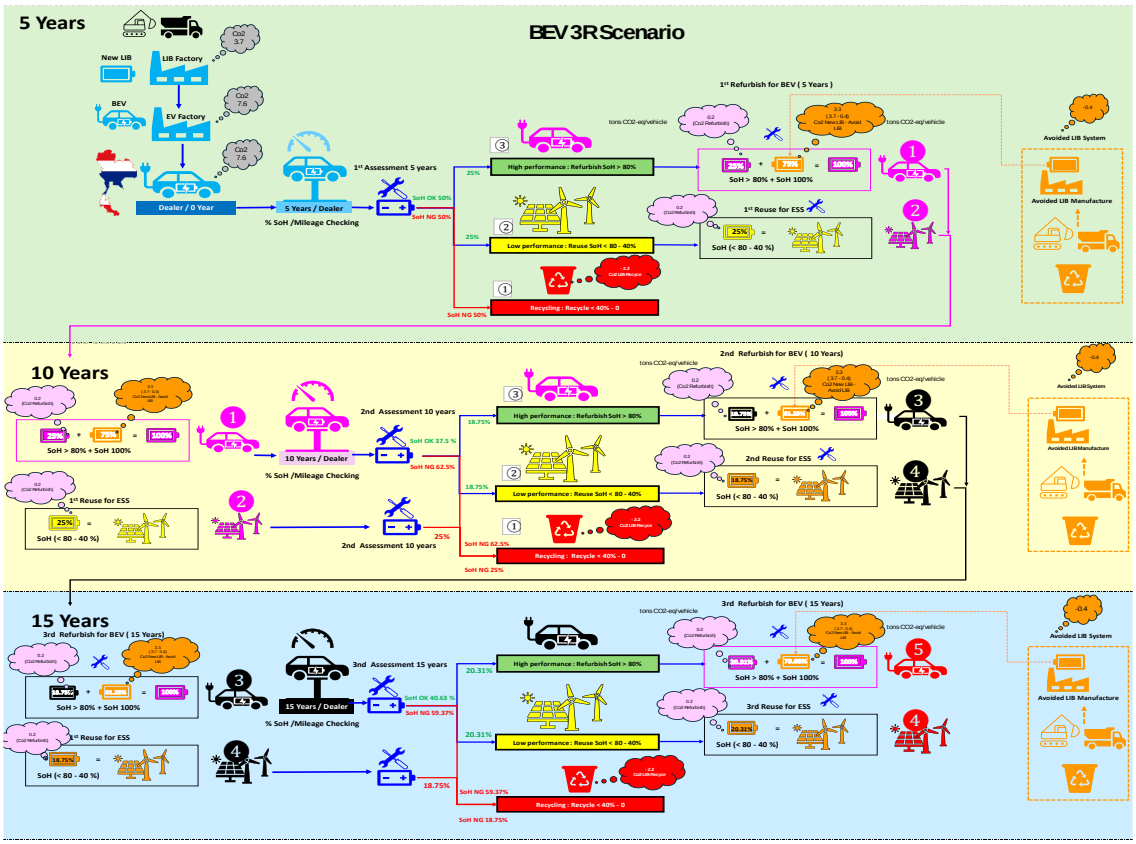
รูปที่ 1 Lithium-ion Battery Business As Usual scenario

2) Lithium-ion Battery with Recycling scenario กำหนดรอบระยะเวลาการเปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่ทุก ๆ 5 ปี, 10 ปี และ 15 ปี ตามลำดับ โดยให้ความสำคัญกับแนวทางการรีไซเคิล (Recycle) เป็นหลักในการจัดการ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 Lithium-ion Battery with Recycling scenario

3) Lithium-ion Battery with BEV3R scenario กำหนดรอบระยะเวลาสำหรับการเปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่ทุก ๆ 5 ปี, 10 ปี และ 15 ปี ตามลำดับ โดยให้ความสำคัญกับแนวทาง BEV3R Concept (Refurbish, Reuse, Recycle) เป็นหลักในการจัดการกับแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 Lithium-ion Battery with BEV3R scenario

4.3 กำหนดให้มีการตรวจสอบสุขภาพของแบตเตอรี่ % SoH ทำแยกสถานะสุขภาพของเซลล์แบตเตอรี่ตามเงื่อนไขแนวคิดแบบจำลองและเกณฑ์มาตฐานสำหรับการขยายอายุการใช้งานแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศ [5] แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมิณการขยายอายุการใช้งานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า [12]

ช่วงเวลา	ประเภท	เกณฑ์การประเมิณ	กระบวนการ
Frist Life	แบตเตอรี่สำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	สุขภาพของเซลล์ %SoH 100%	ใช้งานปกติ
Second life	แบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูง	สุขภาพของเซลล์ %SoH > 80%	นำไปปรับปรุงเพื่อใช้ในยานยนต์ (Refurbish)
	แบตเตอรี่ประสิทธิภาพต่ำ	สุขภาพของเซลล์ %SoH ≤ 80 - 40%	นำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนสำรอง ESS
	แบตเตอรี่หมดอายุการใช้งาน	สุขภาพของเซลล์ %SoH < 40%	นำไปรีไซเคิล (Recycle)
Third life	แบตเตอรี่หมดอายุการใช้งาน	สุขภาพของเซลล์ %SoH < 40%	นำไปรีไซเคิล (Recycle)

4.4 กำหนดใช้ยานยนต์ไฟฟ้า Model BYD เป็นรถต้นแบบ: BYD DOLPHIN 60.4 kWh, Battery Architecture 400 V, Cell 3.2 V Battery Capacity 1261P (Cell to pack) เพื่อใช้คำนวณหาจำนวนเซลล์แบตเตอรี่และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ต่อคันเพื่อใช้เป็น Base line คำนวณแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งาน ในปี 2035 [6]

5. ผลการศึกษาและอภิปราย

5.1 จากผลการใช้ทฤษฎี Stock Turnover เพื่อจำนวนแบตเตอรี่ยานยนต์ที่หมดอายุการใช้งาน พบว่าในปี 2035 มีจำนวนแบตเตอรี่ 2,501,198 แพ็ก นั้นสะท้อนถึงการเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งมีผลมาจากการสนับสนุนจากนโยบายภาครัฐตามนโยบายประเทศ แสดงดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 ปริมาณจำนวนแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าที่หมดอายุการใช้งานในปี 2035

5.2 จากผลวิจัยค่าก๊าซ CO_2 ของแบตเตอรี่แพ็ก 3.7 ตัน CO_2-eq/คัน, แบตเตอรี่รีไซเคิล -2.2 ตัน CO_2-eq/คัน เซลล์ที่หลีกเลี่ยงระบบการผลิตแบตเตอรี่ -0.4 ตัน CO_2-eq/คัน และ Refurbish & Reuse มีค่าเท่ากับ 0.2 ตัน CO_2 -eq/ คัน, % SoH ของเซลล์จะมี%50 คุณภาพดีและ %50 คุณภาพไม่ดี เพื่อในการคำนวณหาค่าเซลล์แบตเตอรี่และค่าก๊าซ CO_2 [7]

5.3 ผลลัพธ์ของการประเมิณสุขภาพเซลล์ของแบตเตอรี่ % SoH 3 Scenario

1) Lithium-ion Battery Business As Usual scenario

จากผลการวิจัยพบว่าในระยะเวลา 15 ปีข้างหน้า ยอดสะสมของจำนวนเซลล์แบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเป็น 504 เซลล์ต่อคัน และการปล่อย CO_2 จะเพิ่มขึ้นเป็น 14.8 ตันต่อคัน โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์เซลล์แบตเตอรี่และก๊าซ CO_2 ของ Lithium-ion Battery Business As Usual scenario

Process	0 Year Cells	5 Years Cells	10 Years Cells	15 Years Cells
1st Battery cells (Factory)	126	-	-	-
2nd Battery cells (Change)	-	126	126	126
Recycle	0	0	0	0
Accumulation	126	252	378	504

Process	0 Year Tons CO_2-eq/Vehicle	5 Years Tons CO_2-eq/Vehicle	10 Years Tons CO_2-eq/Vehicle	15 Years Tons CO_2-eq/Vehicle
1st Battery Pack (Factory)	3.7	0	0	0
2nd Battery pack (Change)	0	3.7	3.7	3.7
Recycle	0	0	0	0
Co2 Net	3.7	3.7	3.7	3.7
Co2 Accumulation	3.7	7.4	11.1	14.8

2) Lithium-ion Battery with Recycling Scenario

จากผลการวิจัยพบว่าในระยะเวลา 15 ปีข้างหน้า ยอดสะสมของจำนวนเซลล์แบตเตอรี่จะคงที่เป็น 126 เซลล์ต่อคัน และการปล่อย CO_2 จะลดลงเหลือ 8.2 ตันต่อคัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ BAU Scenario ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์เซลล์แบตเตอรี่และก๊าซ CO_2 ของLithium-ion Battery with Recycling scenario

Process	0 Year Cells	5 Years Cells	10 Years Cells	15 Years Cells
1st Battery cell (Factory)	126	-	-	-
2nd Battery cell (Change)	-	126	126	126
Recycle	0	-126	-126	-126
Accumulation	126	126	126	126

Process	0 Year Tons CO_2-eq/Vehicle	5 Years Tons CO_2-eq/Vehicle	10 Years Tons CO_2-eq/Vehicle	15 Years Tons CO_2-eq/Vehicle
1st Battery Pack (Factory)	3.7	0	0	0
2nd Battery pack (Change)	0	3.7	3.7	3.7
Recycle	0	-2.2	-2.2	-2.2
Co2 Net	3.7	1.5	1.5	1.5
Co2 Accumulation	3.7	5.2	6.7	8.2

3) Lithium-ion Battery with BEV3R Scenario

จากผลการวิจัยพบว่าในระยะเวลา 15 ปีข้างหน้า ยอดสะสมของจำนวนเซลล์แบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 152 เซลล์ต่อคัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ดีขึ้น 30% เมื่อเปรียบเทียบกับ BAU Scenario ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์ของเซลล์แบตเตอรี่ของLithium-ion Battery with Recycling scenario

Process		0 Year Cells	5 Years Cells	10 Years Cells	15 Years Cells
1st Battery cell (Factory)	LIB 1st life	126	-	-	-
2nd Battery cell (Refurbish)	Avoided LIB System	-	95	102	100
	High performance	-	32	24	26
2nd Battery cell (Reuse)	Low performance	-	32	24	26
3rd Battery cell (Recycle	Material Recycle	-	63	110	98
Cell Accumulation		126	158	150	152

จากผลการวิจัยพบว่าในระยะเวลา 15 ปีข้างหน้า ยอดสะสมของการปล่อย CO_2 จะลดลงเหลือ 7.0 ตันต่อคัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่ดีขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับ BAU Scenario และ Recycling Scenario ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์ก๊าซ CO_2 ของ Lithium-ion BEV3R Scenario

Process	0 Year Tons CO2-eq/Vehicle	5 Years Tons CO2-eq/Vehicle	10 Years Tons CO2-eq/Vehicle	15 Years Tons CO2-eq/Vehicle
CO_2 1st Battery pack (Factory)	3.7	-	-	-
CO_2 2nd Refurbish	-	2.53	2.72	2.67
CO_2 2nd Reuse	-	0.05	0.04	0.04
CO_2 3rd Battery cell (Recycle)	-	-1.1	-1.93	-1.72
CO_2 Net	3.7	1.5	0.8	1.0
CO_2 Accumulation	3.7	5.2	6.0	7.0

5.4 สรุปผลจำนวณเซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนต่อคัน

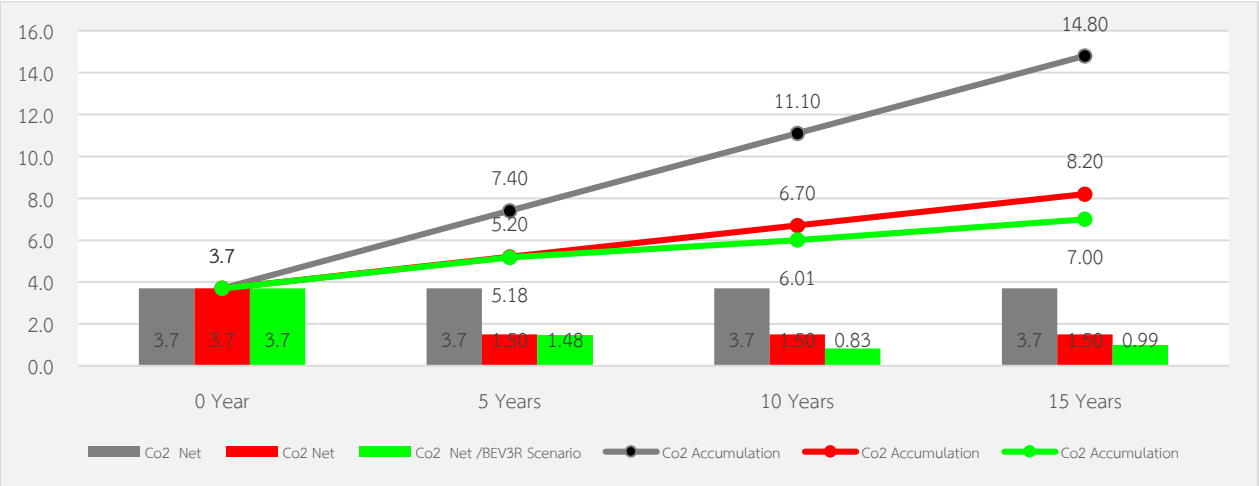
จากวิจัยนี้ศึกษา Model BYD: BYD DOLPHIN แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน จำนวน 126 เซลล์ ในช่วงเวลา 0, 5, 10 และ 15 ปี โดยวิเคราะห์ 4 แนวทางหลัก ได้แก่ การหลีกเลี่ยงการใช้แบตเตอรี่ใหม่ การซ่อมแซม การใช้ซ้ำ และการรีไซเคิล ซึ่งช่วยลดขยะอิเล็กทรอนิกส์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน พร้อมส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์ใช้เซลล์แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนต่อคัน 15 ปี

ช่วงเวลา	จำนวนเซลล์ทั้งหมด	Avoided LIB System	Refurbished	Reuse	Recycling
0 ปี	126 เซลล์	-	-	-	-
5 ปี	126 เซลล์	95 เซลล์ (75%)	32 เซลล์ (25%)	32 เซลล์ (25%)	63 เซลล์ (50%)
10 ปี	126 เซลล์	102 เซลล์ (81.75%)	24 เซลล์ (18.75%)	24 เซลล์ (18.75%)	110 เซลล์ (87.50%)
15 ปี	126 เซลล์	100 เซลล์ (79.68%)	26 เซลล์ (20.31%)	26 เซลล์ (20.31%)	98 เซลล์ (78.12%)

5.5 สรุปผลการปล่อยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ต่อคัน

โดยเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (CO_2-eq) ต่อคัน ใน 3 แนวทางหลัก ได้แก่ (1) แนวทางปกติ (BAU) คงที่ที่ 3.7 ตัน CO_2-eq ต่อคัน สะสมสูงสุดที่ 14.80 ตัน ใน 15 ปี (2) แนวทางรีไซเคิล (Recycle) ลดการปล่อยเหลือ 1.50 ตัน CO_2-eq ต่อคัน สะสมที่ 8.20 ตัน ใน 15 ปี (3) แนวทาง BEV3R (Refurbish, Reuse, Recycle) ลดลงอย่างต่อเนื่อง 0.99 ตัน ในปีที่ 15 สะสมที่ 7.00 ตัน CO_2-eq ต่อคัน สรุป BEV3R มีประสิทธิภาพสูงสุด 52.7% และการรีไซเคิล 44.6% ทั้งสองแนวทางช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสนับสนุนเศรษฐกิจหมุนเวียนในระยะยาว แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 สรุปผลการจำลองจัดการแบตเตอรี่รถยานยนต์ไฟฟ้าหลังสิ้นอายุการใช้งาน

5.6 สรุปผลการปล่อยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในปี 2035

จากการเปรียบเทียบการปล่อย CO_2 ภายใต้ 3 สถานการณ์หลักในช่วง 5, 10 และ 15 ปี (1) สถานการณ์ BAU ปล่อย CO_2 สะสมสูงสุดที่ 29,658,663 ตัน และ CO_2 Net สูงถึง 9,254,433 ตัน (2) สถานการณ์รีไซเคิล (Recycling) ลดการปล่อยสะสมเหลือ 12,030,727 ตัน และ CO_2 Net อยู่ที่ 3,751,797 ตัน (3) สถานการณ์ BEV3R มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดการปล่อย CO_2 สะสมเพียง 11,420,874 ตัน และ CO_2 Net ต่ำสุดที่ 3,453,600 ตัน สรุป BEV3R ช่วยลดการปล่อย CO_2 ได้ 61 % และการรีไซเคิล 59% เมื่อเทียบกับสถานการณ์ BAU โดยทั้งสองสถานการณ์ เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและสนับสนุนเศรษฐกิจหมุนเวียนในระยะยาวของประเทศไทย แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สรุปผลการปล่อยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในปี 2035

Scenario	5Years	10Years	15Years	CO_2 Net	CO_2 Accumulation
Lithium-ion Battery Business As Usual scenario	7,890,817	1,356,098	7,517	9,254,433	29,658,663
Lithium-ion Battery with Recycling scenario	3,198,980	549,770	3,048	3,751,797	12,030,727
Lithium-ion Battery with BEV3R scenario	3,145,664	304,664	3,272	3,453,600	11,420,874

5.7 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายแนวทางและมาตรการจัดการแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าหมดอายุใช้งานประเทศ

จัดตั้งหรือสนับสนุนโรงงานรีไซเคิลแบตเตอรี่ในประเทศ, จัดให้มีสิทธิประโยชน์ทางภาษี แก่ผู้ประกอบการที่เข้าร่วมโครงการรีไซเคิล เพื่อสร้างธุรกิจใหม่ เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากร ลดของเสีย และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุที่รีไซเคิลได้, ส่งเสริมเทคโนโลยีการแยกวัสดุ และการฟื้นฟูเซลล์แบตเตอรี่ ส่งเสริมการนำแบตเตอรี่เก่ามาใช้ในระบบ Energy Storage Systems (ESS), บังคับใช้หลักการ Extended Producer Responsibility (EPR) เป้าหมายให้ผู้ผลิตยานยนต์ไฟฟ้าและผู้จำหน่ายยานยนต์ไฟฟ้ามีส่วนรับผิดชอบต่อแบตเตอรี่ตลอดวงจรชีวิต, ออกกฎหมายบังคับให้ ผู้ผลิต/ผู้นำเข้าแบตเตอรี่ต้องรับคืนแบตเตอรี่หมดอายุการใช้งานและการทำ BEV3R และจัดตั้งระบบติดตาม (traceability system) และฐานข้อมูลแบตเตอรี่ รณรงค์สร้างจิตสำนึกในการลดคาร์บอนฟุตพรินต์ ผ่านสื่อประชาสัมพันธ์และการศึกษา, ลงทุนในนวัตกรรมสีเขียวเป้าหมายลดการพึ่งพาวัสดุหายากและลดก๊าซ CO_2 ในกระบวนการผลิต, ส่งเสริมการวิจัยแบตเตอรี่ที่ ย่อยสลายได้หรือมีคาร์บอนต่ำ, สนับสนุนสตาร์ทอัพด้านเทคโนโลยีสีเขียวที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและกำจัดแบตเตอรี่, บังคับใช้มาตรฐานความปลอดภัยในการใช้งานซ้ำ (Repurposing Standards) เป็นไปอย่างปลอดภัยและได้รับการรับรอง IEC 63330 (Requirements for reuse of secondary batteries) และ UL-1974 (Evaluation for repurposed batteries)

6. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้วิเคราะห์การจัดการแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้า (BEV) ที่หมดอายุการใช้งานในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลการจดทะเบียนรถ BEV ผนวกกับหลักการ Stock Turnover และสถานะสุขภาพแบตเตอรี่ (State of Health: SoH) เพื่อประเมินปริมาณแบตเตอรี่หมดอายุในปี 2035 ซึ่งคาดว่าจะมีถึง 2,501,198 แพ็ค พร้อมจำแนกการใช้งานแบตเตอรี่ออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ First Life (SoH 80–100%) ใช้ต่อในยานยนต์ไฟฟ้า, Second Life (SoH ≤80–40%) แบ่งเป็น High Performance ใช้ในรถ และ Low Performance ใช้ในระบบกักเก็บพลังงาน (ESS), และ Third Life (SoH < 40%) ส่งเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล จากการจำลองสถานการณ์ 3 แนวทาง ได้แก่ (1) BAU ไม่จัดการใด ๆ ปล่อย CO_2 สะสม 14.8 ตัน/คัน, (2) แนวทางรีไซเคิล ลดเหลือ 8.2 ตัน/คัน, และ (3) แนวทาง BEV3R (Refurbish, Reuse, Recycle) เหลือเพียง 7.0 ตัน/คัน ลดการปล่อย CO_2 ได้สูงสุดถึง 52.7% เมื่อ

เทียบกับ BAU แนวทาง BEV3R ยังช่วยลดขยะอิเล็กทรอนิกส์ เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียน และสนับสนุนเป้าหมาย Net Zero Carbon 2050 ของประเทศไทยอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน.

เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงพลังงาน, ก.พ.พ., หลักสูตร การสร้างความรู้ความเข้าใจด้านยานยนต์ไฟฟ้า (EV) สำหรับภาคอุตสาหกรรมยานยนต์. 2024. p. 28.

[2] A, M.T. สรุปยอดจดทะเบียนรถไฟฟ้า100% ในไทย ปี 2024 รวม 70,137 คัน (-8.1%) จากปีที่แล้ว | BYD Dolphin ครองแชมป์. 2568 7 มกราคม [cited 2568 7 มกราคม]; Available from: https://autolifethailand.tv/total-ev-bev-register-2024-thailand/

[3] Choksawatpaisan, S. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2567-2569: อุตสาหกรรมรถยนต์ไฟฟ้า. 2567 10 กรกฎาคม [cited 2568 9 มกราคม]; Available from: https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry- outlook/hi-tech-industries/electric-vehicle/io/electric-vehicle-2024.

[4] อ่อนสอาด, น., การประเมินวัฏจักรชีวิตการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เทคโนโลยียานยนต์มลพิษต่ำในภาคขนส่งทางถนน, in เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน. 2566, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. p. 59.

[5] America Rocio Quinteros-Condoretty, M.L., Laura Kainiemi, Sara M. Pinto, Emanuel J. Lourenço, Luís Oliveira, Laura Albareda, Bernardo Barbiellini, Conceptual model for extending electric vehicle battery lifetime. Resources, Conservation and Recycling, 2025. 212

[6] ElectricVehicleDatabase. BYD DOLPHIN 60.4 kWh. 2023 July [cited 2025 03 March]; Available from: https://ev-database.org/car/1919/BYD-DOLPHIN-604-kWh.

[7] Michael Samsu Koroma, D.C., Maeva Philippot, Giuseppe Cardellini, Md Sazzad Hosen, Thierry Coosemans, Maarten Messagie, Life cycle assessment of battery electric vehicles: Implications of future electricity mix and different battery end-of-life management. Science of The Total Environment, 2022. 831.

สารสนเทศสิ่งแวดล้อม และเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

Oral Presentation

การประเมินการเปลี่ยนแปลงเชิงปริภูมิเวลาของสังคมพืชในป่าผสมผลัดใบ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี

ปฐมพต ฉินสวัสดิ์พันธุ์*, ธรรมรัตน์ พุทธไทย, สุระ พัฒนเกียรติ, และ พิสุทธิ นาคหมื่นไวย

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม
* ผู้รับผิดชอบบทความ : E-mail : Pathomphot.chn@student.mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

ป่าไม้เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสิ่งมีชีวิต ทั้งมนุษย์ สัตว์ และพืช ป่าไม้มีความสำคัญต่อระบบนิเวศของโลกในหลาย ๆ ด้านซึ่งบทบาทสำคัญหนึ่งคือการรักษาเสถียรภาพในธรรมชาติและระบบนิเวศอย่างมาก โดยงานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1. ประเมินการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของสังคมพืชในป่าผสมผลัดใบ 2.ประเมินการเปลี่ยนแปลงของสังคมพืชและการเจริญเติบโต (Growth) ของพืชป่าผสมผลัดใบ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรีได้ทำการประเมินการเปลี่ยนแปลงเชิงปริภูมิเวลาของโครงสร้างของสังคมพืชในระบบนิเวศเขาหินปูนแบบป่าผสมผลัดใบเขาหินปูน (Mixed deciduous forest on karst topography) บริเวณมหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี ด้วยข้อมูลของต้นไม้ในอดีตปี พ.ศ. 2557 เปรียบเทียบกับข้อมูลปัจจุบัน ปี พ.ศ.2567 ข้อมูลความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้และสังคมพืชป่า ด้วยวิธีการทำแปลงสุ่มตัวอย่าง และเก็บข้อมูลต้นไม้ในแปลงมาคำนวณลักษณะเชิงปริมาณของพืชและสังคมพืชป่าเพื่อใช้ในการวินิจฉัยสถานภาพของพืชและสภาพของสังคมพืชป่าไม้ โดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศประเมินการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าผสมผลัดใบด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 และภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับ ผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้พบว่าการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ช่วงเวลาปีพ.ศ.2557 กับปีพ.ศ.2567 มีพื้นที่ป่าผลัดใบเพิ่มขึ้น 47.9 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.72 ของพื้นที่ทั้งหมด และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การประเมินสังคมพืชมีค่าความหลากชนิดน้อย มีดัชนีความสำคัญมากสุดที่ 52.67 คือต้นปอลาย *Grewia eriocarpa* และมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีอัตราการเจริญเติบโต เท่ากับ 0.812 เซนติเมตร/ปี

คำสำคัญ: สังคมพืช / ป่าผสมผลัดใบ / ปริภูมิเวลา / อากาศยานไร้คนขับ / มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี

SPATIOTEMPORAL ASSESSMENT OF PLANT COMMUNITY IN MIXED DECIDUOUS FOREST, MAHIDOL UNIVERSITY KANCHANABURI CAMPUS

Pathomphot Chinsawadphan*, Thamarat Phutthai, Sura Pattanakiat, and Pisut Nakmuenwai

Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Thailand
** Corresponding author: Pathomphot.chn@student.mahidol.ac.th*

Abstract

Forests are a vital natural resource for all living beings—humans, animals, and plants. They play a crucial role in maintaining ecological balance and environmental stability. One of their key functions is supporting the equilibrium of natural ecosystems. This study aims to: Assess the spatial and temporal changes in plant communities within mixed deciduous forests. Evaluate the changes in plant communities and the growth of vegetation in mixed deciduous forests. Mahidol University, Kanchanaburi Campus, conducted an assessment of the spatiotemporal changes in the structure of plant communities in a mixed deciduous forest on karst topography, located within the university grounds. The study compares past data from 2014 with recent data from 2024.Data on species diversity and forest plant communities were collected using randomly sampled plots. Tree data from these plots were used to calculate quantitative characteristics of vegetation and plant communities to diagnose the condition of forest vegetation and ecosystems. Geospatial technology was employed to evaluate changes in the mixed deciduous forest area, incorporating land use data, Landsat 8 satellite imagery, and aerial photographs captured using unmanned aerial vehicles (UAVs).The study revealed that between 2014 and 2024, the area of mixed deciduous forest increased by 47.9 rai, which is equivalent to 0.72% of the total area. Land use data showed no statistically significant differences. The plant community assessment indicated low species diversity. The most dominant species was *Grewia eriocarpa*, with the highest Importance Value Index (IVI) at 52.67. The average diameter at breast height (DBH) showed statistically significant differences, with a growth rate of 0.812 centimeters per year.

Keywords: Plant community / Mixed deciduous forest / Spatiotemporal / Unmanned aerial vehicle / Mahidol University Kanchanaburi Campus

1. บทนำ

ปัจจุบัน ทั่วโลกได้เผชิญกับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ส่งผลกระทบอย่างยิ่งต่อระบบนิเวศทั้งระบบ การคาดการณ์ปี 2050 (พ.ศ. 2593) แสดงให้เห็นว่าป่าไม้และระบบนิเวศของโลกจะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าที่มันสามารถจะดูดซับได้ เป็นเหตุให้อุณหภูมิโลกที่สูงขึ้น ส่งผลโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิตทั้งปวง ไม่ว่าจะเป็นพืช และสัตว์ และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ รวมถึงมนุษย์โลก ป่าไม้จึงมีบทบาทสำคัญในการรักษาเสถียรภาพในธรรมชาติและระบบนิเวศอย่างมาก โดยการดูดซับและการกักเก็บคาร์บอน [10] นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงที่ดินในพื้นที่ป่าไม้ที่มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งปรากฏให้เห็นใน ลักษณะความเสื่อมโทรมของทรัพยากรป่าไม้ โดยเมื่อจำนวนประชากรเพิ่มขึ้น ความต้องการใช้ประโยชน์ ที่ดินเพื่อปลูกสร้างที่อยู่อาศัยและที่ดินทำกินสูงขึ้น มีส่วนทำให้ประชาชนเข้าไปบุกรุกพื้นที่ป่าไม้ แผ้วถางป่า หรือเผาป่าทำไร่เลื่อนลอย ซึ่งเป็นผลให้พื้นที่ป่าไม้ลดลงอย่างต่อเนื่อง สัตว์ป่า และพรรณพืชหลายชนิดใกล้สูญพันธุ์

มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี ตั้งอยู่ในตำบลลุ่มสุ่ม อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี มี พื้นที่ทั้งหมด 10,720,000 ตารางเมตรหรือประมาณ 6,700 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่มีสภาพที่เป็นป่า 10,508,734 ตารางเมตร ประมาณ 6,500 ไร่ มีพื้นที่อาคารจำนวน 21,843 ตารางเมตร หรือประมาณ 13.65 ไร่ ซึ่งมหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี อยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่ป่าภูมิภาคตะวันตก [4]

ป่าไม้บริเวณมหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี เป็นป่าผสมผลัดใบเขาหินปูน (Mixed deciduous forest on karst topography) มีลักษณะเป็นป่าโปร่ง มีพรรณไม้ขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็กปะปนกัน พบในพื้นที่ที่มีระดับความสูง 50 - 800 เมตรจากระดับน้ำทะเล ปริมาณน้ำฝนอยู่ในช่วง 1,200-1,600 มิลลิเมตรต่อปี มีช่วงที่ฤดูฝนทิ้งช่วง 4 เดือนเป็นอย่างต่ำและมีปริมาณน้ำฝนค่อนข้างน้อย ในช่วงฤดูแล้งต้นไม้จะมีการผลัดใบทำให้เรือนยอดดูโปร่งมาก [3] โดยทางมหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี ได้ดำเนินการก่อตั้งพิพิธภัณฑ์พืช "MUKA" ซึ่งเป็นแหล่งเรียนรู้และจัดแสดงข้อมูลพรรณไม้ ในแถบภาคตะวันตกที่ใหญ่ที่สุดที่รวบรวมข้อมูลป่าผสมผลัดใบให้นักเรียนนักศึกษาและประชาชนทั่วไปได้เข้ามาศึกษาและเรียนรู้

จากนโยบายของมหาวิทยาลัยมหิดลที่คำนึงถึงการอนุรักษ์ ฟื้นฟู และสนับสนุนการใช้ประโยชน์จากระบบนิเวศทางบก (SDG15 Life on Land) รวมทั้งอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ โดยเฉพาะ พืชและสัตว์ ชนิดที่หายาก ท้องถิ่น และใกล้สูญพันธุ์ พิพิธภัณฑ์พืชนี้จึงเป็นหนึ่งในสถานที่จัดเก็บรวบรวมตัวอย่างพรรณพืชเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลเกี่ยวกับพรรณพืชของภูมิภาคตะวันตกให้เป็นไปเกณฑ์ระดับสากล พรรณพืชท้องถิ่น และพรรณพืชที่หายาก รวมถึงพรรณพืชที่ค้นพบครั้งแรกของโลก ระบบนิเวศโดยเฉพาะอย่างยิ่งเขาหินปูนซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของภูมิภาคตะวันตกและ ยังเป็นแหล่งเรียนรู้ สนับสนุนการเรียนการสอนและวิจัยของนักศึกษา คณาจารย์ และนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geo-informatics technology) เป็นอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่สำคัญ ประกอบด้วย การรับรู้ระยะไกล (Remote Sensing; RS) ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System; GIS) และ ระบบดาวเทียมกำหนดพิกัดโลก (Global Navigation Satellite System) [7] ซึ่งการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้นำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการแปลความ วิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม และภาพจากอากาศยานไร้คนขับ เพื่อช่วยให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและสามารถนำมาพัฒนาต่อยอดเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการอนุรักษ์และการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมต่อไป

2. วัตถุประสงค์

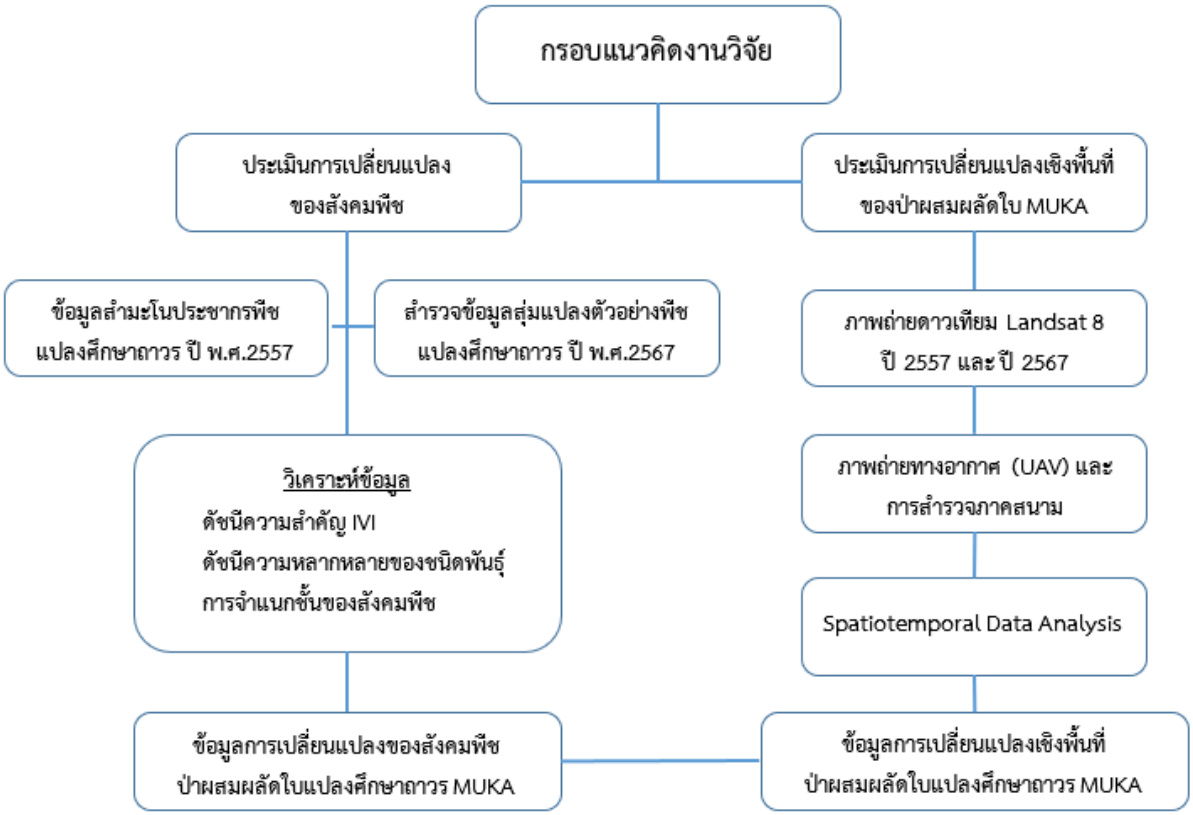
1. เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลาของสังคมพืชในป่าผสมผลัดใบ พื้นมหาวิทยาลัยมหิดลวิทยาเขตกาญจนบุรี

2. เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของสังคมพืชและการเจริญเติบโต (Growth) ของพืชป่าผสมผลัดใบ

3. ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตเชิงพื้นที่ศึกษาบริเวณมหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี ตั้งอยู่ในตำบลลุ่มสุ่ม อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนุรี **ขอบเขตเชิงเวลา**ประเมินการเปลี่ยนแปลงของสังคมพืชและพื้นป่าไม้ช่วงเวลา 10 ปี พ.ศ.2557 และปี พ.ศ. 2567 และใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ข้อมูลวันที่ถ่าย 29 มีนาคม 2557 และ 23 มีนาคม 2567

<u>กรอบแนวคิดงานวิจัย</u>



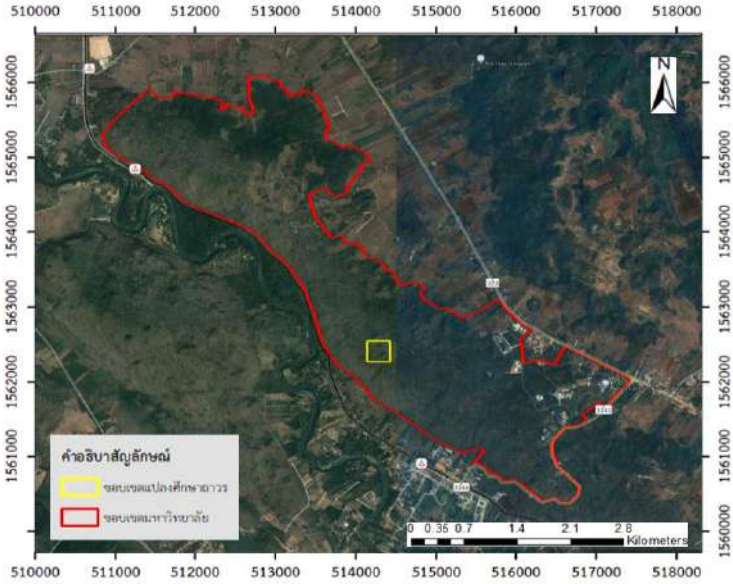
ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย "การประเมินการเปลี่ยนแปลงเชิงปริภูมิเวลาของสังคมพืชในป่าผสมผลัดใบมหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี"

4. วิธีการศึกษา

อุปกรณ์วางแปลงและเก็บข้อมูลพืชพรรณได้แก่ ข้อมูลสำมะโนประชากรพืช แปลงศึกษาถาวร มหาวิทยาลัยมหิดลวิทยาเขตกาญจนบุรี อุปกรณ์ภาคสนามได้แก่ ตลับเมตร เชือกฟาง เทปวัดระยะ 50 เมตร GPS handheld เข็มทิศ เชือกฟาง ตลับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) เครื่องวัดการปกคลุมเรือนยอด (Spherical Densiometer) ตารางบันทึกข้อมูล (Data sheet)**และ**ข้อมูลและอุปกรณ์เก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Land Sat 8 ช่วงเดือนมีนาคม ปีพ.ศ 2557, 2567 ได้จากการเผยแพร่ผ่านเว็บไซต์ earthexplorer.usgs อากาศยานไร้คนขับ DJI Phantom 4 Multispectral และ DJI M300 RTK โดยใช้ซอฟแวร์วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ Google Earth Pro ArcGIS Google Earth Engine Pix4D Mapper และ DJI TERRA

4.1 พื้นที่ศึกษา (Sample)

มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี ตั้งอยู่ในตำบลลุ่มสุ่ม อำเภอไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี มีพื้นที่ทั้งหมด 10,720,000 ตารางเมตรหรือประมาณ 6,700 ไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่มีสภาพที่เป็นป่า 10,508,734 ตารางเมตร ประมาณ 6,500 ไร่ มีพื้นที่อาคารจำนวน 21,843 ตารางเมตร หรือประมาณ 13.65 ไร่ พื้นที่ดังภาพที่ 2



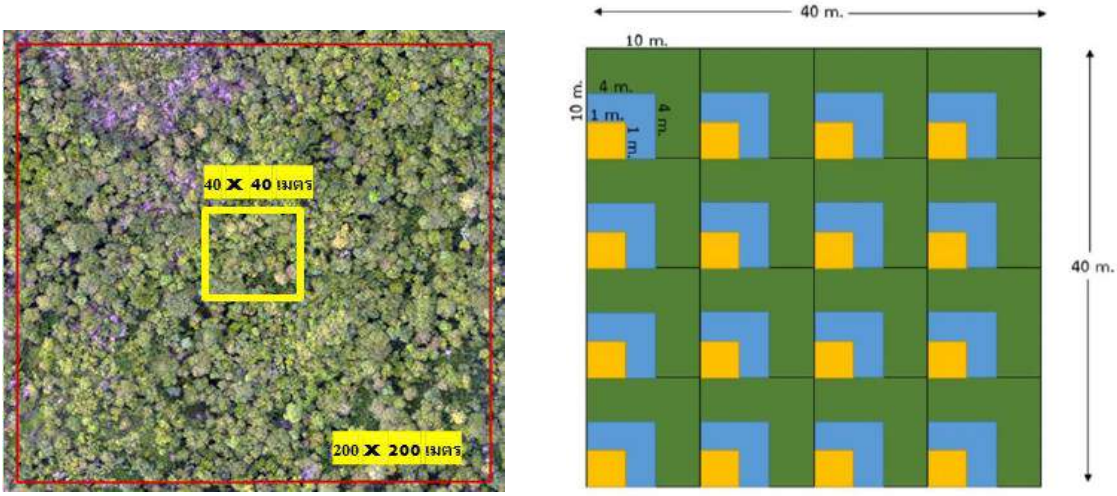
ภาพที่ 2 ขอบเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี

4.2 วิธีการศึกษา (Method)

การสุ่มแปลงตัวอย่าง

การวางแปลงตัวอย่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส เป็นแปลงตัวอย่างที่นิยมใช้กับการศึกษาทางด้านนิเวศวิทยาป่าไม้ วนวัฒนวิทยา การประเมินผลผลิต และอัตราการเจริญเติบโตของต้นไม้ในป่า เช่น การศึกษาสมการแอลโลเมตริกของ [11] ได้ทำการศึกษาในแปลงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 40X40 m^2 จำนวน 1 แปลงดังภาพที่ 3 โดยใช้โปรแกรม Google Earth Pro และการสำรวจในภาคสนามออกแบบพื้นที่วางแปลงในพื้นที่แปลงศึกษาถาวรมหาวิทยาลัย มหิดลวิทยาเขตกาญจนบุรี โดย [12] แนะนำว่าในการศึกษาวิจัย

ด้านป่าไม้ควรใช้แปลงตัวอย่างในรูปของสี่เหลี่ยมจัตุรัส เนื่องจากแปลงตัวอย่างสี่เหลี่ยมจัตุรัส สามารถวางแปลงได้ง่าย ใช้ได้ดีในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง สามารถทำ Mapping ของระดับความสูงของพื้นที่กับแนวขอบเขตของแปลงตัวอย่าง พร้อมการลงตำแหน่งพิกัดของต้นไม้เพื่อตรวจสอบและเก็บข้อมูลในครั้งต่อไป จากข้อได้เปรียบของแปลงสี่เหลี่ยมจัตุรัสดังกล่าว จึงนิยมทำเป็นแปลงตัวอย่างเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของต้นไม้และหมู่ไม้ได้เป็นอย่างดี เมื่อได้พื้นที่ทำการสุ่มวางแปลงตัวอย่างขนาด 40 × 40 เมตร แปลงแล้วแบ่งเป็น แปลงย่อยขนาด 10 เมตร × 10 เมตร จำนวน 16 แปลงย่อย แล้วแบ่งแปลงย่อย ขนาด 4 เมตร × 4 เมตร เพื่อทำการวัดขนาดต้นไม้ และจำแนกชนิดพรรณพืชทุกวิสัย ในระดับ ไม้ต้น (tree) คือ ไม้ที่มีขนาดความโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก หรือ DBH (Diameter at Breast Height) ที่ 1.30 เมตร มากกว่าหรือเท่ากับ 4.5 เซนติเมตร ลูกไม้ (sapling) คือ ไม้ที่มี DBH น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร และสูงมากกว่า 1.30 เมตร และ กล้าไม้ (seedling) คือไม้ที่มีความสูง น้อยกว่า 1.3 เมตร สำหรับการระบุวิสัย ได้แก่ ไม้ต้น (tree) ไม้ต้นขนาดเล็ก (shrubby tree) และ ไม้พุ่ม (shrub) จะทำการตรวจสอบตามรายชื่อพรรณไม้และการระบุวิสัยของ [2]



ภาพที่ 3 ขนาดแปลงตัวอย่าง 40 เมตร × 40 เมตรในแปลงศึกษาถาวรและขนาดแปลงย่อย

นอกจากนี้ ในการสำรวจในพื้นที่ที่ไม่ปรากฏสภาพสังคมพืช หรือหากบริเวณพื้นที่ศึกษาที่เป็นเขตพื้นที่ป่าไม้แต่ไม่มีสภาพป่าไม้หลงเหลืออยู่ จะใช้วิธีการสำรวจ รวบรวม และบันทึกข้อมูลชนิดของไม้ใหญ่ ลูกไม้ กล้าไม้ รวมทั้งไม้ชนิดอื่น ๆ ที่พบภายในพื้นที่ศึกษา รวมทั้งตรวจสอบสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในปัจจุบัน (Land use inventory) เพื่อนำมาประกอบการวิเคราะห์ / ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งนี้จะกำหนดจุดสำรวจเพื่อเป็นตัวแทนสำหรับอธิบายสภาพสังคมพืชประเภทต่าง ๆ ที่ปรากฏในพื้นที่โครงการการรวบรวมข้อมูล โดยบันทึกรายละเอียด และข้อมูลต่าง ๆ เพื่อประกอบการอธิบายลักษณะทางนิเวศวิทยาป่าไม้ลงในตารางบันทึกข้อมูลการสำรวจ ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับสภาพป่าไม้ สภาพพื้นที่ ตำแหน่งที่ตั้ง การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) ชนิดป่า (Forest type) รวมทั้งลักษณะอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องถึงลักษณะทางนิเวศวิทยาของป่า พร้อมทั้งการก าหนดจุดพิกัดบริเวณที่ทำการสำรวจ และถ่ายภาพสภาพสังคมพืชประกอบด้วย

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลดัชนีพืชพรรณ

ดัชนีค่าความสำคัญของชนิดไม้ (Importance Value Index, IVI) ได้จากการหาความหนาแน่น (density, D) ความเด่นด้านพื้นที่หน้าตัด (dominance, Do) และความถี่ (frequency, F) จากนั้นทำการหาค่าความสัมพัทธ์ของทั้งสามค่าดังกล่าว คือ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (relative density, RD) ความเด่นสัมพัทธ์(relative dominance, RDo) และความถี่สัมพัทธ์ (relative frequency, RF) ซึ่งผลรวมของค่าความสัมพัทธ์ทั้งสามค่า ก็คือ ค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) ของพรรณพืช [1] ดังนี้

4.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatio-temporal Data Analysis)

การเตรียมข้อมูลดาวเทียม (Data Preparation)

ข้อมูลดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยข้อมูลดาวเทียม Landsat-8 พ.ศ.2557 และ พ.ศ.2567 เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลการใช้ที่ดินที่ดำเนินการโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อันได้แก่ กรมพัฒนาที่ดิน, กรมป่าไม้ และ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช เป็นต้น โดยทำการดาวน์โหลดข้อมูลดาวเทียมจากกรมสำรวจธรณีวิทยาแห่งสหรัฐอเมริกา (United States Geological Survey; USGS) ที่เว็บไซต์ https://earthexplorer.usgs.gov/ ซึ่งภาพดาวเทียมที่ใช้ในการจำแนกรูปแบบการใช้ที่ดินนั้น เป็นภาพที่ปราศจากเมฆ และถูกบันทึกภาพในช่วงฤดูแล้ง ที่อยู่ระหว่างเดือนมกราคม - มีนาคม ประกอบด้วย 2 Scene ทำการการปรับแก้เชิงรังสี (Radiometric Correction) และการเน้นความคมชัดข้อมูลภาพ (Image Enhancement) [8]

4.3.3 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าผสมผลัดใบ ปี พ.ศ. 2557 และ พ.ศ. 2567

การประเมินการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ตั้งแต่ในอดีต ปัจจุบัน อัตราการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เพื่อประเมินสัดส่วนของการใช้ที่ดิน (Land Use Proportion) อย่างน้อย 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเดือนมีนาคม ปี พ.ศ.2557 และช่วงเดือนมีนาคม ปีพ.ศ.2567 และหลังจากนั้นจะวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินรูปแบบต่าง ๆ จากช่วงเวลาหนึ่งสู่ช่วงเวลาหนึ่งของพื้นที่ป่าผสมผลัดใบ

การประเมินค่าความถูกต้อง (Accuracy Assessment)

การจำแนกข้อมูลสิ่งปกคลุมดินปีพ.ศ.2557 และปีพ.ศ.2567 จะถูกตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำแนกวิธีการตรวจสอบจะอ้างอิงกับข้อมูลภาพดาวเทียมความละเอียดสูงในช่วงเวลาและปีที่ตรงกันสำหรับผลการจำแนกข้อมูลปีพ.ศ.2567 จะตรวจสอบความถูกต้องโดยอ้างอิงกับข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามพร้อมกับภาพถ่ายทางอากาศ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษาข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของสังคมพืชป่าผสมผลัดใบบริเวณแปลงศึกษาถาวร มหาวิทยาลัยมหิดลวิทยาเขตกาญจนบุรีและการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเวลา ระยะห่าง 10 ปี (ปี2557 และ ปี 2567) ของป่าผสมผลัดใบได้ผลการศึกษาดังนี้

5.1 ผลการศึกษาข้อมูลดัชนีพืชพรรณ

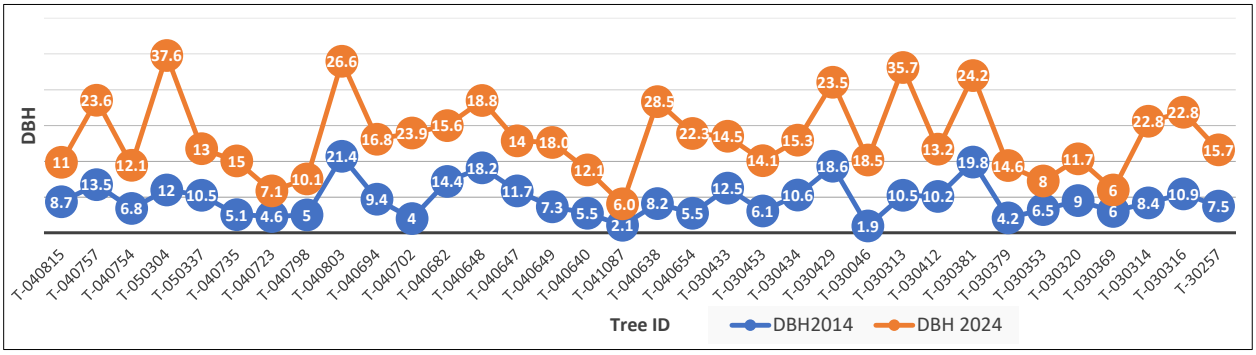
ผลการศึกษาการวางแปลงตัวอย่างป่าผสมผลัดใบพบต้นไม้จำนวน 37 ชนิดพันธุ์ พบว่าค่าดัชนีความหลากชนิด Shannon-Wiener Index = -2.94 ในพื้นที่มีค่าความหลากชนิดน้อย และพบว่า 5 อันดับแรกของพืชที่มีดัชนีความสำคัญมากที่สุดจากการวางแปลงสำรวจบริเวณแปลงศึกษาถาวรมหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี ได้แก่ ต้นปอลาย *Grewia eriocarpa,* ต้นเปล้าใหญ่ *Croton roxburghii* , ต้นกระพี้จั่น *Millettia brandisiana,* ต้นปอขาว *Sterculia pexa Pierre,* ต้นชิงชัน *Dalbergia*

oliveri ตามลำดับดังตารางที่ 1 ซึ่งเมื่อเทียบกับข้อมูลดัชนีความสำคัญของแปลงถาวรปี 2557 พบว่าต้นปอลาย *Grewia eriocarpa* มีค่าดัชนีความสำคัญมากที่สุดเช่นกัน มีค่าเท่ากับ 35.83 ซึ่งรายงานการศึกษานิเวศวิทยาของป่าบริเวณพื้นที่โครงการอุทยานธรรมชาติวิทยาอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลสวนผึ้ง อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี พบว่า ต้นปอลาย *Grewia eriocarpa* มีค่าดัชนีความสำคัญมากที่สุดเช่นกัน [5] และมีสถานะ IUCN Red List คือ Threatened Species ชนิดพันธุ์ใกล้สูญพันธุ์ [9]

การเจริญเติบโต (Growth) ของป่าผสมผลัดใบเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการเจริญเติบโตของเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ของข้อมูลสำมะโนประชากรต้นไม้แปลงศึกษาถาวรมหาวิทยาลัยมหิดลวิทยาเขตกาญจนบุรี ปี พ.ศ. 2557 กับการสำรวจแปลงสุ่มตัวอย่างข้อมูลต้นไม้ ปีพ.ศ. 2567 ต้นเดิมที่มีรหัสต้นไม้จำนวน 34 ต้น ระยะเวลา 10 ปี พบว่าค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) เพิ่มขึ้น 8.12 เซนติเมตร โดยต้นที่มีการเจริญเติบโตมากที่สุดได้แก่ T-050304 ต้นอีแปะ *Vitex quinate* เส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 25.6 เซนติเมตร รองลงมาต้น T-030313 ปอลาย *Grewia eriocarpa* เส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น 25.2 เซนติเมตร และต้นที่มีการเจริญเติบโตน้อยที่สุดคือต้น T-030369 แคหางค่าง *Fernandoa adenophylla* ขนาดผ่านศูนย์กลางเท่าเดิม ดังภาพที่ 4

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาดัชนีความสำคัญของสังคมพืชป่าผสมผลัดใบจากแปลงสุ่มตัวอย่างแปลงศึกษาถาวร

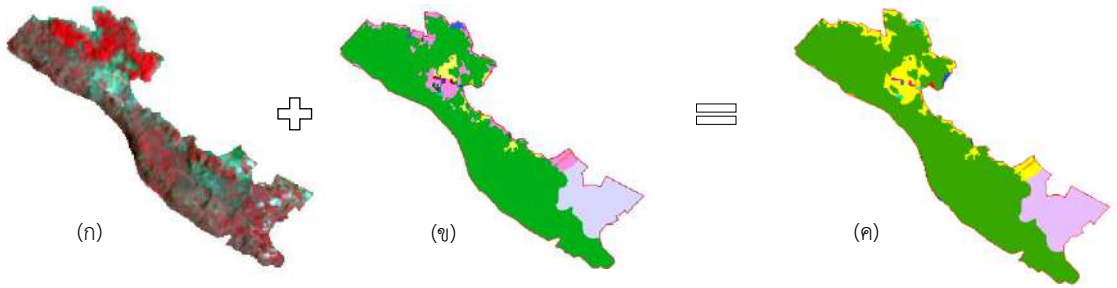
ThaiName	scientific name	Count Tree	Count Plot	Sum BA (m2)	Density (tree/rai)	Density (tree/ha)	Frequency	Dorminance	RDensity	RFrequency	RDorminance	IVI
ปอลาย	Grewia eriocarpa	9	7	0.562	14.40	90.00	0.44	0.28	13.04	13.46	26.16	52.67
เปล้าใหญ่	Croton roxburghii	11	7	0.155	17.60	110.00	0.44	0.08	15.94	13.46	7.24	36.64
กระพี้จั่น	Millettia brandisiana	10	4	0.165	16.00	100.00	0.25	0.08	14.49	7.69	7.70	29.88
ปอขาว	Sterculia pexa Pierre	3	3	0.246	4.80	30.00	0.19	0.12	4.35	5.77	11.47	21.58
ชิงชัน	Dalbergia oliveri	3	2	0.099	4.80	30.00	0.13	0.05	4.35	3.85	4.60	12.80
ขี้หนอน	Zollingeria dongnaiensis	2	2	0.090	3.20	20.00	0.13	0.05	2.90	3.85	4.20	10.94
สวองตีนเป็ด	Vitex limonifolia	2	2	0.085	3.20	20.00	0.13	0.04	2.90	3.85	3.97	10.72
หว้า	Syzygium cumini	2	2	0.078	3.20	20.00	0.13	0.04	2.90	3.85	3.65	10.40
กางขี้มอด	Albizia odoratissima	2	2	0.059	3.20	20.00	0.13	0.03	2.90	3.85	2.77	9.51
ตะคร้อ	Garuga pinnata	2	2	0.031	3.20	20.00	0.13	0.02	2.90	3.85	1.42	8.17
แคหางค่าง	Fernandoa adenophylla	2	2	0.019	3.20	20.00	0.13	0.01	2.90	3.85	0.90	7.65
แดง	Xylia xylocarpa	2	1	0.046	3.20	20.00	0.06	0.02	2.90	1.92	2.16	6.98
กะเจียน	Polyalthia cerasoides	2	1	0.036	3.20	20.00	0.06	0.02	2.90	1.92	1.67	6.50
มะขามป้อม	Phyllanthus emblica	2	1	0.027	3.20	20.00	0.06	0.01	2.90	1.92	1.28	6.10
ตะแบก	Lagerstroemia balansae	2	1	0.012	3.20	20.00	0.06	0.01	2.90	1.92	0.56	5.38



ภาพที่ 4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นไม้ ปี 2557 และปี 2567

5.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าผสมผลัดใบ ปี พ.ศ. 2557 และ ปี พ.ศ. 2567

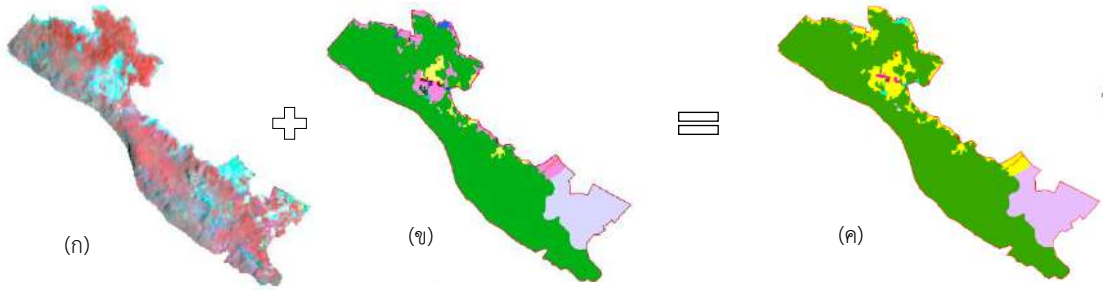
การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ป่าผสมผลัดใบมหาวิทยาลัยมหิดลวิทยาเขตกาญจนบุรี ปี พ.ศ. 2557 และ ปี พ.ศ. 2567 มีขนาดพื้นที่เพิ่มขึ้น 47.9 ไร่ รองลงมาเป็นไม้ยืนต้น 13.55 ไร่ รองลงมาพืชไร่ 7.37 ไร่ และการเปลี่ยนแปลงแบบลดลงของขนาดพื้นที่ได้แก่ ทุ่งหญ้าและไม้ละเมาะลง 16.75 ไร่ รองลงมา พืชสวนลงลง 12.76 ไร่ และพื้นที่พืชไม้ดอกไม้ประดับไม้ดอกไม้ประดับลดลง 4.37 ไร่ ดังภาพที่ 5 และตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในป่าชุมชนเขาหินปูน จังหวัดกาญจนบุรี พบว่าชุมชนมีขนาดพื้นที่ป่าผสมผลัดใบลดลงแต่พื้นที่เกษตรกรรมเพิ่มขึ้น [6] ซึ่งต่างจากพื้นที่มหาวิทยาลัยมหิดลวิทยาเขตกาญจนบุรี เนื่องจากเป็นพื้นที่ในกับดูแลของมหาวิทยาลัย จึงไม่มีการบุกรุกมาทำการเกษตรในพื้นที่ทำให้มีพื้นที่ป่าไม้เพิ่มขึ้น



(ก) ภาพถ่ายดาวเทียมLandsat 8 สีผสมเท็จ ข้อมูลวันที่ 29 มี.ค. 2557 (USGS)

(ข) ข้อมูลการใช้ประโยชนที่ดิน ปี 2559 (กรมพัฒนาที่ดิน)

(ค) การใช้ประโยชน์ที่ดินปรับเทียบข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ปี 2557



(ก) ภาพถ่ายดาวเทียมLandsat 8 สีผสมเท็จ ข้อมูลวันที่ 23 มี.ค.2567 (USGS)

(ข) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2564 (กรมพัฒนาที่ดิน)

(ค) การใช้ประโยชน์ที่ดินปรับเทียบข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ปี 2567

ภาพที่ 5 (ก) แผนที่ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (ข)แผนที่ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ค) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปรับเทียบข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ตารางที่ 2 ผลการประเมินการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินปี พ.ศ.2557 และปี พ.ศ.2567

LU CODE	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2557 (ไร่)	พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี 2567 (ไร่)	การเปลี่ยนแปลงการการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ไร่)
A2	พืชไร่	620.72	627.97	7.25
A3	ไม้ยืนต้น	30.68	44.23	13.55
A4	พืชสวน	20.53	7.76	-12.76
A5	พืชไม้ดอกไม้ประดับ	4.37	0	-4.37
F2	ป่าผลัดใบ	4,998.20	5,046.10	47.90
M1	ทุ่งหญ้าและไม้ละเมาะ	29.02	12.26	-16.75
U2	หมู่บ้าน	11.42	14.47	3.05
U3	พื้นที่สถาบัน	942.48	942.48	0.00
U4	ถนน	0.31	0.31	0.00
U6	สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ	3.22	3.72	0.49

6. สรุปผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่าการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของป่าผสมผลัดใบภายในมหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี ช่วงเวลาปี 2557 กับปี 2567 มีพื้นที่เพิ่มขึ้น 47.9 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.72 ของพื้นที่ทั้งหมด แต่เมื่อทดสอบข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแล้ว ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการทดสอบ Wilcoxon Signed-Rank Test ค่าสถิติ 15.0 ค่า p-value = 0.674 ที่มากกว่า 0.05 และการประเมินการเปลี่ยนแปลงของสังคมพืชและการประเมินการการเจริญเติบโต (Growth) ของพืชป่าผสมผลัดใบข้อมูลจากปี 2557 ถึงปี 2567 พบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) เท่ากับ 0.812 เซนติเมตร/ปี เมื่อทดสอบ Paired T-Test เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DBH ปี 2557และ 2567 ของต้นไม้เดิม ค่า t-statistic = 6.75 p-value = 1.09×10^{-7} มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ย DBH ระหว่างปี 2557 และ 2567 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีดัชนีความสำคัญของพืชในป่าผสมผลัดใบ มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรีได้แก่ ต้นปอลาย *Grewia eriocarpa* มีค่ามากสุดที่ 52.67 ในการสุ่มตัวอย่างแปลงขนาด 40 x 40 เมตรปี 2567 ซึ่งตรงกับดัชนีความสำคัญของพืชในแปลงถาวรปี 2557 และค่าดัชนีความหลากชนิดพันธุ์ในพื้นที่น้อย

เอกสารอ้างอิง

[1] ดอกรัก มารอด และ อุทิศ กุฏอินทร์. (2552). *นิเวศวิทยาป่าไม้.* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวนศาสตร์ กองทุนจัดพิมพ์ตำราป่าไม้.

[2] เต็ม สมิตินันทน์.(2557). ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย (ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม). สำนักงานหอพรรณไม้สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืชกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.กรุงเทพฯ. 810 หน้า.

[3] ธรรมรัตน์ พุทธไทย และ ภากร ณ ลำปาง. (2557). *ความหลากหลายของพืชล้มลุกที่ขึ้นบนหินในป่าผสมผลัดใบ บริเวณมหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี.* เอกสารประกอบการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิชาการเครือข่ายงานวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้ประเทศไทย: องค์ความรู้ด้านนิเวศวิทยาต่อการปรับตัวตามการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิชาการเครือข่ายงานวิจัยนิเวศวิทยาป่า

ไม้ประเทศไทย: องค์ความรู้ด้านนิเวศวิทยาต่อการปรับตัวตามการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. (หน้า 94-104). สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา สำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ.

[4] มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี (2565).*ประวัติความเป็นมา*.มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี https://ka.mahidol.ac.th/th/facilities/digital-herbarium/

[5] วิชาญ ปรึกษากร (2565). *การศึกษานิเวศวิทยาของป่าบริเวณพื้นที่โครงการอุทยานธรรมชาติวิทยาอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลสวนผึ้ง อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี*, 20 กันยายน 2567.https://www.psproject.org/

[6] ศรีบุญเรือง คมสัน, พิทักษ์ตันสกุล ณ., & พิทักษ์ตันสกุล ป. (2561). *รูปแบบและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ป่าชุมชนเขาหินปูน จังหวัดกาญจนบุรี*. วารสารสุโขทัยธรรมาธิราช, 31(2), 90–109. สืบค้น จาก https://so05.tcithaijo.org/index.php/stouj/article/view/206769

[7] สุระ พัฒนเกียรติ.(2546). *ระบบภูมิสารสนเทศในทางนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อม.* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: ยูไนเต็ดโปรดักชัน.

[8] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). (2552). *ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์.* นนทบุรี: บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).

[9] Plant of the World Online (2566) *Grewia eriocarpa Juss*, First published in Ann. Mus. Natl. Hist. Nat. 4: 93 (1804) สืบค้น 20 กันยายน 67 จาก https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:834215-1 Plant of the World Online

[10] UNEP (16 ต.ค. 2553).*Annual report.*UN environment programme.https://www.unep.org/resources/annual-report/unep-2009-annual-report

[11] Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K., and Kira, T. (1965). Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand II. Plant biomass.

[12] **Curtis, R. O., & Marshall, D. D. (2005).** *Permanent-plot procedures for silvicultural and yield research*. General Technical Report PNW-GTR-634. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 86 p.

ภูมิศาสตร์กับการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของป่าชุมชนบ้านหนองบัว อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น

ปุริมฤทธิ์ โปร่งใจ*, พชรพล สายอินทร์, พลากร กอบัว, กวิสรา แทนชิน, และกัญญ์วรา ชะทา

โรงเรียนเมืองพลพิทยาคม ตำบลลอมคอม อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น
** Corresponding author: purimvtthipornsci@gmail.com*

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของป่าชุมชนบ้านหนองบัว อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น ด้วยหลักการทางภูมิศาสตร์เทคนิค ภูมิศาสตร์กายภาพ และภูมิศาสตร์มนุษย์ มีระยะเวลาในการศึกษา 6 เดือน เครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ 1) ภูมิศาสตร์เทคนิค ใช้โปรแกรม Agisoft Metashape และโปรแกรม SNAP วิเคราะห์ข้อมูลจากภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับ ปี 2567 และภาพถ่ายดาวเทียม Sentinal-2 ปี 2562 จากนั้นนำข้อมูลมาซ้อนทับกันแสดงความแตกต่างรูปแบบแผนที่ Digital Surface Model 2) ภูมิศาสตร์กายภาพ ใช้แบบสำรวจภาคสนาม วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการลงสำรวจพื้นที่ และ 3) ภูมิศาสตร์มนุษย์ ใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง วิเคราะห์ข้อมูลผ่านทฤษฎีสามเส้า ผลการศึกษา 1) ผลด้านภูมิศาสตร์เทคนิค พบว่า จุดเสี่ยงที่ 1 พื้นที่หายไป 0.71 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 2 พื้นที่หายไป 0.46 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 3 พื้นที่หายไป 0.64 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 4 พื้นที่หายไป 0.36 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 5 พื้นที่หายไป 0.1 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 6 พื้นที่หายไป 0.65 ไร่ และจุดเสี่ยงที่ 7 พื้นที่หายไป 0.91 ไร่ รวมทั้งสิ้น 3.83 ไร่ 2) ผลด้านภูมิศาสตร์กายภาพ พบว่า จุดเสี่ยงที่ 6 เป็นการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ตามทฤษฎีนิเวศวิทยาป่าไม้ มีการกักเซาะของพื้นที่จากธารน้ำ เนื่องจากพื้นที่ราบลุ่ม สำหรับจุดเสี่ยงที่ 7 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชุมชนเกิดจากการสัญจรของประชาชน เนื่องจากอยู่ใกล้กับแหล่งท่องเที่ยงทางธรณีวิทยา "โสกผีดิบ" 3) ผลด้านภูมิศาสตร์มนุษย์ พบว่า จุดเสี่ยงที่ 1-5 เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นการบุกรุกพื้นที่ทำเกษตรกรรม เนื่องจากประชาชนยังไม่ทราบขอบเขตพื้นที่ป่าชัดเจน และพื้นที่จุดเสี่ยงข้างต้นมีพื้นที่อยู่ตามแนวขอบเขตป่า ซึ่งติดกับพื้นที่ทำของประชาชนตามกรรมสิทธิ์ทางกฎหมาย

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ / ป่าชุมชนบ้านหนองบัว / ภูมิศาสตร์เทคนิค / ภูมิศาสตร์กายภาพ / ภูมิศาสตร์มนุษย์

Geographic and spatial changes of Nong Bua community forest, Phon District, Khon Kaen Province, Thailand

Purimrit Prongjai*, Phacharaphon Sai-in, Phalakorn Korbua, Kawisara Tanchin, and Kanwara Chatha

Muang Phon Phitthayakhom School, Lomkhom Subdistrict, Phon District, Khon Kaen Province, Thailand.
** Corresponding author: purimvthhipomgci@gmail.com*

Abstract

This study aimed to analyze the spatial changes in the community forest of Ban Nong Bua, Phon District, Khon Kaen Province using the principles of technical geography, physical geography, and human geography. The study period was 6 months. The tools used were: 1) Geographic techniques, using the Agisoft Metashape program and SNAP programs to analyze data from UAV images in 2024 and Sentinal-2 satellite images in 2019. The data were then overlaid to show differences in the patterns of the Digital Surface Model map. 2) Physical geography, using field surveys, and analyzing data by surveying the area. 3) Human geography, using semi-structured interviews. Data analysis using triangulation theory. Results of the study 1) Geographic techniques results found that risk point 1 lost 0.71 rai, risk point 2 lost 0.46 rai, risk point 3 lost 0.64 rai, risk point 4 lost 0.36 rai, risk point 5 lost 0.1 rai, risk point 6 lost 0.65 rai, and risk point 7 lost 0.91 rai, totaling 3.83 rai. 2) Physical geography results found that risk point 6 was a spatial change according to the theory of forest ecology, with erosion of the area from streams due to the lowland area. For risk point 7, the change in the community forest area was caused by people traveling because it was near the geological tourist attraction "Sok Phi Di." 3) Human geography results found that risk points 1-5 were caused by human activities encroaching on agricultural areas because people did not clearly know the boundaries of the forest area. The above risk points are located along the forest boundary, adjacent to the people's legally owned land.

Keywords: Spatial change / Nong Bua community forest / Geographic techniques / Physical geography / Human geography

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเสื่อมโทรมของพื้นที่ป่าไม้ได้กลายเป็นปัญหาเชิงพื้นที่ที่สำคัญ โดยเฉพาะในพื้นที่ป่าชุมชน ซึ่งเป็นพื้นที่ป่าที่อยู่ในการดูแลของประชาชนและมีความสัมพันธ์กับการดำรงชีวิตของคนในชุมชนโดยตรง หนึ่งในปัญหาที่พบอย่างเด่นชัดคือ การบุกรุกพื้นที่ป่าเพื่อทำการเกษตร ซึ่งมักเกิดจากความไม่ชัดเจนของขอบเขตพื้นที่ป่าชุมชน และการขาดเครื่องมือในการติดตามการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ในระยะยาว [1] พื้นที่ป่าชุมชนบ้านหนองบัว อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น เป็นกรณีศึกษาที่สะท้อนให้เห็นถึงปัญหาดังกล่าวอย่างเป็นรูปธรรม พื้นที่บางส่วนของป่าชุมชนมีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่สามารถชี้ชัดสาเหตุได้จากการสังเกตทั่วไป ปัญหานี้นำไปสู่การลดลงของพื้นที่ป่าจริง ซึ่งอาจกระทบต่อระบบนิเวศ ความหลากหลายทางชีวภาพ และการดำรงชีวิตของชุมชนในระยะยาว นอกจากนี้ ลักษณะภูมิประเทศบางส่วนที่เป็นที่ราบลุ่มยังมีความอ่อนไหวต่อการกัดเซาะและน้ำท่วม ทำให้พื้นที่บางจุดมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพอย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้ การประยุกต์ใช้ "ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS)" จึงเป็นทางเลือกสำคัญในการแก้ไขและป้องกันปัญหาดังกล่าวอย่างเป็นระบบ โดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถทำหน้าที่เป็นเครื่องมือในการจัดเก็บ วิเคราะห์ แสดงผล และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ได้อย่างแม่นยำ และเมื่อนำมาผสมผสานกับข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) และข้อมูลภาคสนาม จะสามารถช่วยระบุพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลง ความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลง และสาเหตุที่เกี่ยวข้องทั้งจากปัจจัยทางธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ [2] หลักการที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ อ้างอิงจากสามแขนงทางภูมิศาสตร์ ได้แก่ ภูมิศาสตร์เทคนิค ภูมิศาสตร์กายภาพ และภูมิศาสตร์มนุษย์ ซึ่งมีบทบาทร่วมกันในการวิเคราะห์ปัญหาอย่างรอบด้าน โดยภูมิศาสตร์เทคนิคเน้นการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อประมวลและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ ภูมิศาสตร์กายภาพใช้สำหรับทำความเข้าใจลักษณะทางธรรมชาติของพื้นที่ที่อาจเป็นตัวแปรของการเปลี่ยนแปลง เช่น การกัดเซาะหรือการสะสมของตะกอน ส่วนภูมิศาสตร์มนุษย์เน้นการศึกษาพฤติกรรม ความเข้าใจ และกิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลต่อพื้นที่ป่า การใช้หลักการทั้งสามนี้ร่วมกันจึงทำให้สามารถอธิบายสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงได้อย่างครอบคลุม และนำไปสู่การวางแผนฟื้นฟูและบริหารจัดการป่าอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น [3]

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยที่ยืนยันถึงประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชุมชน เช่น งานวิจัย [4] ที่ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และภาพถ่ายดาวเทียมในการตรวจสอบแนวเขตป่าชุมชนในจังหวัดแพร่ พบว่า สามารถจำแนกพื้นที่ที่มีการบุกรุกได้อย่างชัดเจน และช่วยวางแนวทางป้องกันการขยายตัวของพื้นที่เกษตรอย่างผิดกฎหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้ง งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และเทคนิคการจำแนกภาพ (Image Classification) เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งสามารถระบุแนวโน้มการเสื่อมโทรมของป่าได้แม่นยำ การศึกษาครั้งนี้จึงไม่เพียงแต่จะช่วยตอบคำถามทางวิชาการเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของป่าชุมชน แต่ยังมีนัยสำคัญในเชิงปฏิบัติ โดยสามารถนำผลลัพธ์ไปใช้ในการออกแบบนโยบายป่าไม้ระดับชุมชน เสริมสร้างกลไกการมีส่วนร่วมของประชาชนในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน

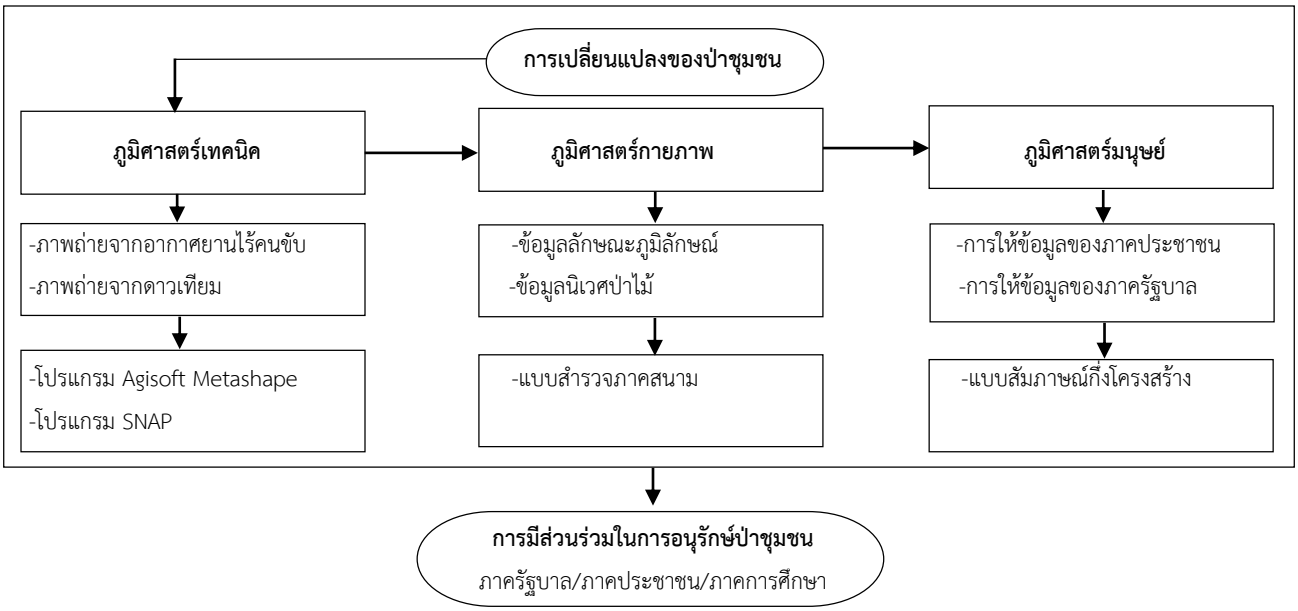
2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของป่าชุมชนบ้านหนองบัว อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น ด้วยหลักการทางภูมิศาสตร์เทคนิค ภูมิศาสตร์กายภาพ และภูมิศาสตร์มนุษย์

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงสำรวจ โดยนำข้อมูลจากหลักการทางภูมิศาสตร์เทคนิค ภูมิศาสตร์กายภาพ และภูมิศาสตร์มนุษย์ มาร่วมในการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเป็นลำดับขั้นตอน ซึ่งมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. ตัวแปรต้น คือ การเปลี่ยนแปลงของป่าชุมชน
2. ตัวแปรตาม คือ ภูมิศาสตร์เทคนิค, ภูมิศาสตร์กายภาพ, ภูมิศาสตร์มนุษย์
3. สถานที่ดำเนินงาน คือ ป่าชุมชนบ้านหนองบัว ตำบลโสกนกเต็น อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น เนื้อที่ 153-0-35 ไร่
4. ระยะเวลาดำเนินงาน คือ ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2567 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2568 รวมเวลา 6 เดือน
5. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา 1) ด้านภูมิศาสตร์เทคนิค ได้แก่ ภาพถ่ายดาวเทียม, ภาพถ่ายทางอากาศ, ข้อมูลรูปแบบ Polygon, และข้อมูลรูปแบบ Point 2) ด้านภูมิศาสตร์กายภาพ ได้แก่ ข้อมูลเชิงสำรวจ 3) ด้านภูมิศาสตร์มนุษย์ ได้แก่ ข้อมูลเชิงคุณภาพ
6. กรอบแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา คณะผู้จัดทำได้เริ่มศึกษาสภาพปัญหาของป่าชุมชนบ้านหนองบัวในปัจจุบัน จากนั้นสู่การสำรวจทางภูมิศาสตร์เทคนิค โดยได้นำภาพถ่ายในอดีตและปัจจุบันมาซ้อนทับกันวิเคราะห์ข้อมูลความแตกต่างเชิงพื้นที่ผ่านโปรแกรมทางภูมิสารสนเทศเพื่อให้ทราบตำแหน่งจุดเสี่ยง ขั้นตอนต่อมาการสำรวจทางภูมิศาสตร์กายภาพ โดยได้ลงพื้นที่ภาคสนาม สำรวจพื้นที่จริงตามจุดเสี่ยง เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น และขั้นตอนสุดท้าย คือ การศึกษาทางภูมิศาสตร์มนุษย์ โดยผ่านการสัมภาษณ์เชิงลึก เพื่อประกอบข้อมูลการวิเคราะห์ และหาสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชุมชน เมื่อได้ข้อมูลจึงนำสู่กระบวนการเสนอข้อมูลไปยังภาครัฐบาล ภาคประชาชน ภาคการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับป่าชุมชนบ้านหนองบัว อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการศึกษา

4. วิธีการศึกษา

4.1 ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ด้านภูมิศาสตร์เทคนิค

4.1.1 ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinal-2 คือ คณะผู้จัดทำได้นำภาพถ่ายดาวเทียมมาประมวลผลในโปรแกรม SNAP โดยดาวน์โหลดจากผลิตภัณฑ์ของเว็บไซต์ ESA Science Hub โดยใช้ในการวิเคราะห์ค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของป่าชุมชนบ้านหนองบัว ซึ่งภาพที่นำมาประมวลผลเป็นภาพในเดือนธันวาคม พุทธศักราช 2562 ถึง พุทธศักราช 2567 รวมระยะเวลา 5 ปี โดยประมวลผลในโปรแกรม SNAP การปรับแต่งข้อมูลภาพ (Pre-processing) เพื่อขจัดสิ่งรบกวนและข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในข้อมูลดิบ เช่น การแก้ไขค่าความผิดเพี้ยนเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) และการปรับสมดุลสี (Radiometric Correction) หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลที่ผ่านการปรับแต่งเข้าสู่การคำนวณค่าดัชนีพรรณพืช (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) การคำนวณ NDVI เป็นขั้นตอนสำคัญในกระบวนการนี้ เนื่องจากค่าดัชนีดังกล่าวสามารถแสดงถึงสุขภาพและความหนาแน่นของพืชพรรณในพื้นที่ป่า โดยใช้ข้อมูลแถบสเปกตรัมที่สะท้อนจากพื้นผิวโลก NDVI ถูกคำนวณจากค่าความแตกต่างระหว่างการสะท้อนแสงในแถบใกล้อินฟราเรด (Near-Infrared: NIR) และแถบแสงสีแดง (Red) โดยมีสูตรการคำนวณเป็น (NIR - Red) / (NIR + Red) ค่าที่ได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง 1 โดยค่าที่ใกล้เคียง 1 บ่งชี้ถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณหนาแน่นและสุขภาพดีในขณะที่ค่าที่ใกล้เคียง -1 บ่งชี้ถึงพื้นที่ที่ปราศจากพืชพรรณ

4.1.2 ภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) คือ คณะผู้จัดทำได้นำโดรนรุ่น DJI Mini 4 Pro เก็บภาพถ่ายทางอากาศที่เป็นภาพในปัจจุบัน และมีความละเอียดสูง โดยวางแผนการบินในระยะ 90 เมตร จากพื้นที่ตามพระราชกิจจานุเบกษากำหนด ซึ่งการเก็บภาพในแต่ละภาพให้ซ้อนทับกัน 60% เพื่อลดอัตราการคาดเคลื่อนของภาพ จากนั้นนำภาพทั้งหมดประมวลผลด้วยโปรแกรม Agisoft Metashape ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่มีความเชี่ยวชาญในการสร้างแผนที่และแบบจำลองสามมิติจากภาพถ่ายทางอากาศ โปรแกรมนี้เริ่มต้นด้วยการนำเข้าภาพถ่ายทั้งหมด และใช้เทคนิคการวิเคราะห์จุดร่วม (Tie Points) ในการจัดตำแหน่งภาพเพื่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานของพื้นที่แบบสามมิติ ต่อมาสร้างแบบจำลองความหนาแน่นของจุด (Dense Point Cloud) ซึ่งเป็นการแปลงข้อมูลจากจุดร่วมให้กลายเป็นแบบจำลองที่มีความละเอียดสูง จากนั้นโปรแกรมจะสร้างโมเสกภาพ (Orthomosaic) ที่มีการปรับแก้ให้ภาพทุกส่วนตรงกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์อย่างแม่นยำ และยังสามารถสร้างข้อมูลแบบดิจิทัลของพื้นผิว (Digital Surface Model หรือ DSM) เพื่อแสดงความสูงของพืชพรรณและภูมิประเทศ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปซ้อนทับข้อมูลผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinal-2 เพื่อหาความแตกต่างของพื้นที่ และทำให้ทราบพื้นที่เสี่ยง

4.2 ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ด้านภูมิศาสตร์กายภาพ

เครื่องมือหลักที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภูมิศาสตร์กายภาพคือ "แบบสำรวจภาคสนาม" ซึ่งได้รับการออกแบบหัวข้อบันทึกข้อมูลอย่างเป็นระบบเพื่อให้สามารถบันทึกข้อมูลสภาพพื้นที่จริงได้อย่างครบถ้วนผ่านการสังเกต ครอบคลุมทั้งเรื่องลักษณะภูมิประเทศ ความลาดชัน ลักษณะทางธรณีวิทยา การไหลของน้ำในฤดูต่าง ๆ สภาพดิน ความหนาแน่นของพืชพรรณ และร่องรอยของการกัดเซาะหรือเปลี่ยนแปลงของผืนดิน ข้อมูลที่ได้จากแบบสำรวจภาคสนามจะถูกนำมาวิเคราะห์เชิงพื้นที่ร่วมกับข้อมูลทางภูมิศาสตร์เทคนิคที่ได้จากภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์

4.3 ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ด้านภูมิศาสตร์มนุษย์

เครื่องมือหลักที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภูมิศาสตร์มนุษย์คือ "แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง" คณะผู้จัดทำได้กำหนดกลุ่มผู้ให้ข้อมูลหลัก (Key Informants) ที่ครอบคลุมทั้งภาครัฐและภาคประชาชน ได้แก่ เจ้าหน้าที่องค์การบริหารส่วนตำบล กำนัน ผู้ใหญ่บ้าน เจ้าหน้าที่จากกรมป่าไม้ โดยประเด็นสำคัญที่ใช้ในการสัมภาษณ์ ได้แก่ การรับรู้ของชาวบ้านต่อแนวเขตของป่าชุมชน ความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง การใช้ประโยชน์จากที่ดินในปัจจุบันและอดีต การมีส่วนร่วมของชุมชนในการจัดการป่า และความคิดเห็นต่อบทบาทของหน่วยงานภาครัฐในกระบวนการจัดการพื้นที่ป่า ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ทั้งหมดจะถูกบันทึก วิเคราะห์ และถอดความตามหลักของการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) เพื่อหาประเด็นร่วม รูปแบบพฤติกรรม หรือแรงจูงใจที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าในมิติของมนุษย์

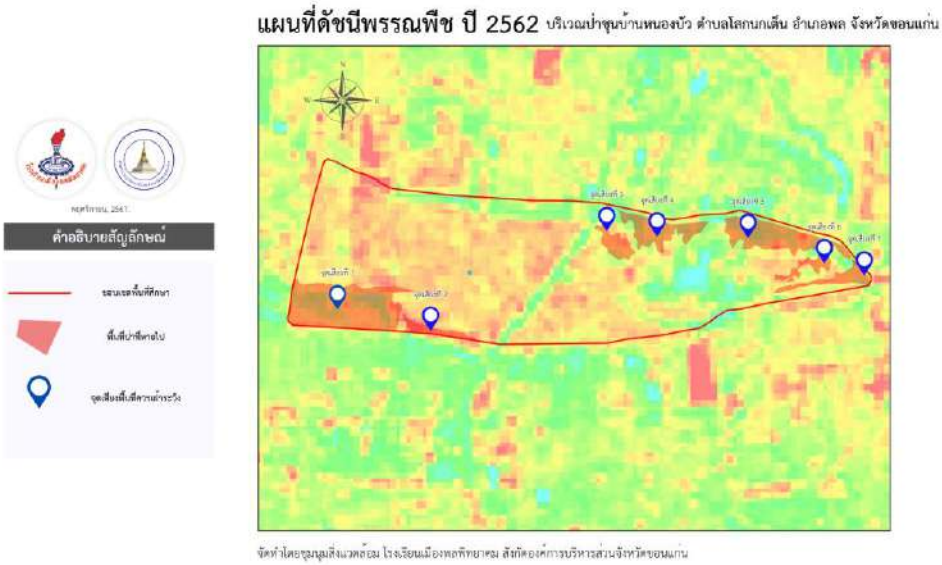
5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของป่าชุมชนบ้านหนองบัว อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น ด้านภูมิศาสตร์เทคนิค

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของป่าชุมชนบ้านหนองบัว อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น ด้านภูมิศาสตร์เทคนิค โดยการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ที่ถ่ายใน พุทธศักราช 2567 และข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 ใน พุทธศักราช 2562 ซึ่งข้อมูลทั้งสองชุดถูกนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบเชิงเวลาผ่านโปรแกรม Agisoft Metashape และ โปรแกรม SNAP ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลเชิงภาพและเชิงพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพสูงในการสร้างแบบจำลองภูมิประเทศแบบดิจิทัล (Digital Surface Model: DSM) ผลการวิเคราะห์ พบว่า พื้นที่ป่าชุมชนมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน โดยเฉพาะบริเวณที่ระบุว่าเป็น "จุดเสี่ยง" จำนวน 7 จุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลดลงของพื้นที่ป่าอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อนำแบบจำลองภูมิประเทศแบบดิจิทัล (DSM) ของปี 2567 ซ้อนทับกับข้อมูลในปี 2562 พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะผิวดินและความหนาแน่นของพืชพรรณ ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการลดลงของความปกคลุมของพืชในพื้นที่ที่เคยมีความหนาแน่นมาก่อน โดยในภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) สามารถตรวจสอบรายละเอียดในระดับความละเอียดสูง ซึ่งในบางจุดสอดคล้องกับการรายงานของชาวบ้านเกี่ยวกับการใช้พื้นที่ ข้อมูลจากแบบจำลองภูมิประเทศแบบดิจิทัล (DSM) แสดงให้เห็นว่า จุดเสี่ยงที่ 1 ถึง 7 มีพื้นที่ป่าลดลงรวมกันประมาณ 3.83 ไร่ โดยเฉพาะจุดเสี่ยงที่ 7 มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด รองลงมาคือจุดที่ 1 และจุดที่ 3 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ปรากฏเป็นรูปแบบของการลดระดับความสูงผิวดินในบริเวณที่เคยมีไม้ยืนต้นจำนวนมาก

5.1.1 ผลการวิเคราะห์จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinal-2

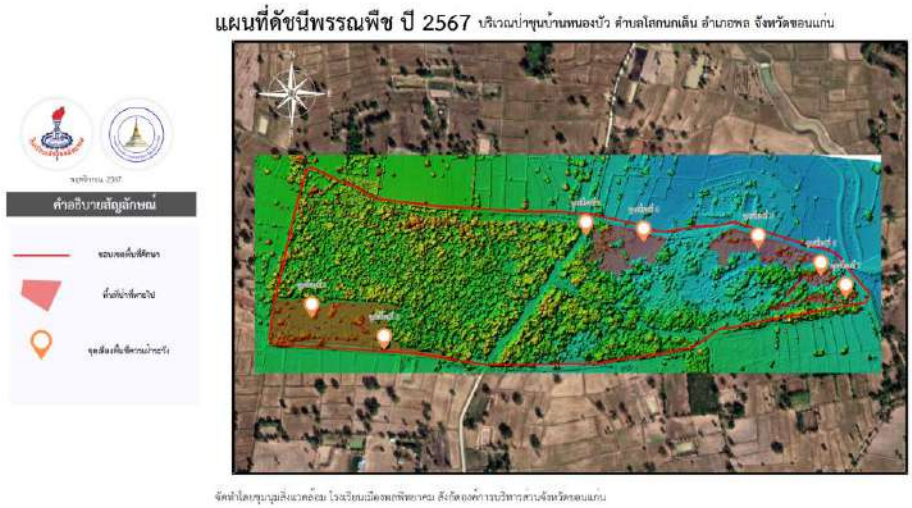
รูปที่ 2 แผนที่ดัชนีพรรณพืช (NDVI) พุทธศักราช 2562 พบว่า จุดเสี่ยงที่ 1 พื้นที่หายไป 10 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 2 พื้นที่หายไป 0.6 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 3 พื้นที่หายไป 1.93 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 4 พื้นที่หายไป 2.35 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 5 พื้นที่หายไป 4.55 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 6 พื้นที่หายไป 0.64 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 7 พื้นที่หายไป 0.45 ไร่ รวมพื้นที่หายไปทั้งสิ้น 20.52 ไร่ จากทั้งหมด 153 ไร่ คงเหลือ 132.48 ไร่



รูปที่ 2 แผนที่ดัชนีพรรณพืช (NDVI) พุทธศักราช 2562

5.1.2 ผลการวิเคราะห์จากภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV)

รูปที่ 3 แผนที่ดัชนีพรรณพืช (NDVI) พุทธศักราช 2567 พบว่า จุดเสี่ยงที่ 1 พื้นที่หายไป 10.71 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 2 พื้นที่หายไป 1.06 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 3 พื้นที่หายไป 2.57 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 4 พื้นที่หายไป 2.71 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 5 พื้นที่หายไป 4.65 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 6 พื้นที่หายไป 1.29 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 7 พื้นที่หายไป 1.36 ไร่ รวมพื้นที่หายไปทั้งสิ้น 24.35 ไร่ จากทั้งหมด 153 ไร่ คงเหลือ 128.65 ไร่



รูปที่ 3 แผนที่ดัชนีพรรณพืช (NDVI) พุทธศักราช 2567

5.1.3 ผลการเปรียบเทียบภาพถ่ายดาวเทียม Sentinal-2 และภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV)

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) แสดงถึงความแตกต่างของพื้นป่าชุมชนบ้านหนองบัวหมู่ที่ 3 ตำบลโสกนกเต็น อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น ซึ่งมีพื้นที่ 153 ไร่ โดยผลที่ได้จากวิเคราะห์ทางสารสนเทศภูมิศาสตร์จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinal-2 ในพุทธศักราช 2562 และภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ในพุทธศักราช 2567 รวมระยะเวลา 5 ปี พบว่า จุดเสี่ยงที่ 1 พื้นที่หายไป 0.71 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 2 พื้นที่หายไป 0.46 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 3 พื้นที่หายไป 0.64 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 4 พื้นที่หายไป 0.36 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 5 พื้นที่หายไป 0.1 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 6 พื้นที่หายไป 0.65 ไร่ และจุดเสี่ยงที่ 7 พื้นที่หายไป 0.91 ไร่ รวมทั้งสิ้น 3.83 ไร่

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI)

พุทธศักราช 2562	จำนวนพื้นที่ควรเฝ้าระวัง (ไร่)	พุทธศักราช 2567	จำนวนพื้นที่ควรเฝ้าระวัง (ไร่)	ความแตกต่าง	พิกัดทางภูมิศาสตร์
จุดเสี่ยงที่ 1	10.00	จุดเสี่ยงที่ 1	10.71	-0.71	15.832658, 102.684778
จุดเสี่ยงที่ 2	0.60	จุดเสี่ยงที่ 2	1.06	-0.46	15.832248, 102.686339
จุดเสี่ยงที่ 3	1.93	จุดเสี่ยงที่ 3	2.57	-0.64	15.833802, 102.689617
จุดเสี่ยงที่ 4	2.35	จุดเสี่ยงที่ 4	2.71	-0.36	15.834030, 102.690300
จุดเสี่ยงที่ 5	4.55	จุดเสี่ยงที่ 5	4.65	-0.1	15.834023, 102.692287
จุดเสี่ยงที่ 6	0.64	จุดเสี่ยงที่ 6	1.29	-0.65	15.833549, 102.693186
จุดเสี่ยงที่ 7	0.45	จุดเสี่ยงที่ 7	1.36	-0.91	15.833093, 102.692970
รวมทั้งสิ้น	20.52		24.35	3.83	

5.2 การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของป่าชุมชนบ้านหนองบัว อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น ด้านภูมิศาสตร์กายภาพ

จากการลงพื้นที่สำรวจ พบว่า จุดเสี่ยงที่ 6 เป็นการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ตามทฤษฎีนิเวศวิทยาป่าไม้ มีการกักเซาะของพื้นที่จากธารน้ำ เนื่องจากพื้นที่ราบลุ่มจึงทำให้ป่าไม้บริเวณจุดเสี่ยงที่ 6 มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด สำหรับจุดเสี่ยงที่ 7 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชุมชนเกิดจากการสัญจรของประชา เนื่องจากอยู่ใกล้กับแหล่งท่องเที่ยงทางธรณีวิทยา "โสกผีดิบ" จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ จากปรากฏกาณ์เชิงพื้นที่ที่เกิดขึ้นทำให้เห็นใน 2 ประเด็น คือ การเปลี่ยนแปลงของป่าจากมนุษย์ และการเปลี่ยนแปลงของป่าจากธรรมชาติ ในมิติของภูมิศาสตร์กายภาพจากการสำรวจ พบว่า ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของป่าชุมชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่มและอยู่ใกล้แหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น ลำห้วยและธารน้ำขนาดเล็ก ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อกระบวนการกัดเซาะและการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางกายภาพของพื้นที่ พื้นที่ที่ตรวจพบการเปลี่ยนแปลงเด่นชัด ได้แก่ จุดเสี่ยงที่ 6 พบว่า มีการสูญเสียพื้นที่ป่าอย่างต่อเนื่อง อันเนื่องมาจากกระบวนการกัดเซาะของกระแสน้ำในฤดูฝน เมื่อวิเคราะห์ลักษณะทางธรณีสัณฐานของพื้นที่พบว่า พื้นที่ดังกล่าวมีความลาดเอียงน้อยและเป็นพื้นที่รับน้ำจากแหล่งน้ำที่ไหลผ่านตลอดทั้งปี ทำให้ดินมีความชุ่มน้ำสูงและมีความอ่อนไหวต่อการชะล้างพังทลาย โดยเฉพาะในบริเวณที่ไม่มีพืชพรรณคลุมดินหนาแน่น ส่งผลให้การจับยึดของรากพืชไม่เพียงพอต่อการป้องกันการพังทลายของหน้าดิน ซึ่งถือเป็นตัวแปรสำคัญในการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ป่า นอกจากนี้ ยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่เสี่ยงบางจุดมีความสัมพันธ์กับลักษณะธรณีวิทยาเฉพาะตัว เช่น พื้นที่ใกล้แหล่ง

ท่องเที่ยวทางธรณี "โสกผีดิบ" ที่มีลักษณะเป็นชั้นหินทรายซึ่งมีความเปราะบางต่อแรงกระทำจากภายนอก เมื่อรวมกับการที่บริเวณดังกล่าวมีการสัญจรของประชาชนและนักท่องเที่ยวค่อนข้างบ่อย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของผิวดินและการสะสมของตะกอนในลักษณะที่ผิดไปจากธรรมชาติเดิม ซึ่งไม่เพียงส่งผลต่อสภาพแวดล้อมโดยรวมของป่าชุมชนเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบต่อการคงอยู่ของพันธุ์ไม้ท้องถิ่นที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมเฉพาะทางนั้นด้วย จากผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัย [5] ที่ได้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของป่าไม้ในพื้นที่ลุ่มน้ำกวงตอนบน จังหวัดเชียงใหม่ ที่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพจากภูมิลักษณ์

นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้นยังสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบด้านภูมิอากาศ โดยเฉพาะปริมาณน้ำฝนที่มีแนวโน้มผันแปรอย่างมีนัยสำคัญในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ส่งผลให้ป่าชุมชนต้องเผชิญกับสภาวะทั้งน้ำหลากและภัยแล้งในบางฤดู ลักษณะดังกล่าวส่งผลต่อสมดุลของระบบนิเวศทางกายภาพโดยตรง เช่น การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างชั้นดิน ความสามารถในการซึมซับน้ำของดินลดลง การเกิดร่องน้ำใหม่ หรือการเปลี่ยนเส้นทางการไหลของน้ำ ซึ่งไม่เพียงแต่ก่อให้เกิดการสูญเสียพื้นที่ป่าในเชิงปริมาณเท่านั้น [6] ยังเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภูมิประเทศเดิมที่มีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศของพื้นที่ป่าชุมชนด้วย ในเชิงระบบนิเวศป่าไม้ ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพดังกล่าวส่งผลต่อความหลากหลายของพืชพรรณและสัตว์ป่า เนื่องจากพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะและชะล้างหน้าดินมักไม่สามารถฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดินได้ในระยะเวลาอันสั้น ทำให้พืชท้องถิ่นที่ต้องการสภาพดินที่มีสารอาหารและความชื้นสูงไม่สามารถเติบโตได้ ส่งผลให้โครงสร้างทางนิเวศวิทยาของพื้นที่เปลี่ยนไป โดยเฉพาะในเขตชายป่าซึ่งมีลักษณะเปราะบางสูงและเป็นแนวกันชนสำคัญของระบบนิเวศภายใน การศึกษานี้ยัง พบว่า ความเข้าใจต่อสภาพภูมิศาสตร์กายภาพที่ยังมีข้อจำกัด ประเด็นการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัย [7]

5.3 การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของป่าชุมชนบ้านหนองบัว อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น ด้านภูมิศาสตร์มนุษย์

โครงการป่าชุมชนบ้านหนองบัว ตั้งอยู่ที่บ้านหนองบัว หมู่ที่ 3 ตำบลโสกนกเต็น อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น เป็นป่าประเภทที่ดินในหนังสือสำคัญสำหรับที่หลวง รวมทั้งสิ้น 1 แปลง เนื้อที่ 153-0-35 ไร่ โดยมีหลักการและเหตุผลในการจัดตั้งป่า คือ ด้วยบ้านหนองบัวมีความประสงค์ที่จะให้สมาชิกในชุมชนมีส่วนร่วมในการดูแลรักษาและฟื้นฟูป่าเพื่อให้ป่ามีความอุดมสมบูรณ์ เกิดประโยชน์กับชุมชนทั้งทางตรงและทางอ้อม และเพื่อให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการป่าร่วมกับ เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานโครงการป่าชุมชนของกรมป่าไม้ จึงได้ร่วมกันจัดทำโครงการป่าชุมชนเสนอกรมป่าไม้ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร [8] เพื่อขออนุมัติให้เจ้าหน้าที่ร่วมกับชุมชนดำเนินโครงการดังกล่าว โดยมีองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นรวมทั้ง หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐและภาคเอกชนให้การสนับสนุน และร่วมดำเนินการเพื่อให้ทรัพยากรป่าไม้ ในท้องถิ่นเกิดความอุดมสมบูรณ์ และเกิดประโยชน์กับชุมชนอย่างยั่งยืนสืบไป วัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อให้ราษฎรมีส่วนร่วมในการดูแลรักษาทรัพยากรป่าไม้ 2) เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อชุมชน รวมทั้งขยายผลไปยังชุมชนโดยรอบ เพื่อให้เกิดการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วนและพัฒนาไปสู่การสร้างเครือข่ายป่าชุมชน ข้อมูลการขึ้นทะเบียนปีที่ขึ้นทะเบียน 2562 ปีที่สิ้นสุด 2572 ผู้ตรวจสอบ คือ นายวิษณุวัฒน์ เรืองสวัสดิ์สภาพป่า คือ เป็นป่าเต็งรัง มีความหนาแน่นประมาณ 70% ของพื้นที่

ทั้งนี้ จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ในป่าชุมชนบ้านหนองบัวด้วยภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ (UAV) พบว่า การนำภาพถ่ายดาวเทียมในเดือนธันวาคม พุทธศักราช 2562 มาซ้อนทับข้อมูลกับภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ เพื่อหาความแตกต่างของพื้นที่ป่าจากดัชนีพรรณพืช (NDVI) สามารถกำหนดจุดเสี่ยงได้ทั้งหมด 7 จุดเสี่ยง โดยข้อมูลการลงพื้นที่สำรวจภาคสนามและการสัมภาษณ์เชิงลึกจากกลุ่มเป้าหมาย ทำให้ทราบข้อมูล คือ จุดเสี่ยงที่ 1-5 เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นการบุกรุกพื้นที่ทำเกษตรกรรม เนื่องจากประชาชนยังไม่ทราบขอบเขตพื้นที่ป่าชัดเจน และพื้นที่จุดเสี่ยงข้างต้นมีพื้นที่อยู่

ตามแนวขอบเขตป่า ซึ่งติดกับพื้นที่ทำเกษตรกรรมของประชาชนตามกรรมสิทธิ์ทางกฎหมาย หลังการประมวลผลจากภูมิศาสตร์ เทคนิค และกายภาพ ด้วยการสัมภาษณ์ข้อมูลจากหน่วยงานภาครัฐ และภาคประชาชน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องก่อนสรุปผลการดำเนินงาน พบว่า การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของป่าชุมชนบ้านหนองบัว ส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมการดำรงชีวิตของมนุษย์ อีกทั้ง การเปลี่ยนแปลงของป่าอย่างต่อเนื่องมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมาให้การสนับสนุนการปลูกป่าทดแทน แต่ยังขาดการติดตามผลการปลูกอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ต้นไม้ที่ปลูกไม่เจริญเติบโต และพื้นที่ฝั่งตะวันออกของป่าเป็นแหล่งท่องเที่ยวทางธรณีวิทยาจึงอาจส่งผลต่อการใช้ประโยชน์จากป่าเพื่อสนองความต้องการทางท่องเที่ยว ซึ่งพบเห็นได้ชัดเจนจากจุดเสี่ยงที่ 6-7 จากผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัย [9] ที่ระบุว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ชุมชนซึ่งอยู่ใกล้แหล่งทรัพยากรธรรมชาติ มักมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าอย่างต่อเนื่องโดยมีทั้งปัจจัยจากมนุษย์และธรรมชาติเป็นแรงขับเคลื่อนสำคัญ

6. สรุปผลการศึกษา

ป่าชุมชนบ้านหนองบัว ตำบลโสกนกเต็น อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น เป็นตัวอย่างของพื้นที่ที่สะท้อนถึงความเปราะบางดังกล่าว แม้ว่าป่าชุมชนแห่งนี้จะมีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของชาวบ้าน เช่น การเป็นแหล่งอาหาร ยาสมุนไพร และวัสดุก่อสร้าง ตลอดจนการเป็นพื้นที่กักเก็บน้ำและป้องกันการพังทลายของดิน แต่ป่าแห่งนี้กำลังเสื่อมโทรมลงอย่างต่อเนื่อง ปัญหาที่พบได้บ่อยในพื้นที่นี้คือการบุกรุกป่าเพื่อทำการเกษตร การเก็บเกี่ยวทรัพยากรจากป่าอย่างไม่ยั่งยืน และการขาดการจัดการที่เหมาะสมสำหรับฟื้นฟูพื้นที่เสื่อมโทรม ความเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ไม่เพียงส่งผลต่อความยั่งยืนของทรัพยากรในชุมชน ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาได้ว่า 1) ผลด้านภูมิศาสตร์เทคนิค พบว่า จุดเสี่ยงที่ 1 พื้นที่หายไป 0.71 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 2 พื้นที่หายไป 0.46 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 3 พื้นที่หายไป 0.64 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 4 พื้นที่หายไป 0.36 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 5 พื้นที่หายไป 0.1 ไร่ จุดเสี่ยงที่ 6 พื้นที่หายไป 0.65 ไร่ และจุดเสี่ยงที่ 7 พื้นที่หายไป 0.91 ไร่ รวมทั้งสิ้น 3.83 ไร่ 2) ผลด้านภูมิศาสตร์กายภาพ พบว่า จุดเสี่ยงที่ 6 เป็นการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ตามทฤษฎีนิเวศวิทยาป่าไม้ มีการกักเซาะของพื้นที่จากธารน้ำ เนื่องจากพื้นที่ราบลุ่ม สำหรับจุดเสี่ยงที่ 7 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชุมชนเกิดจากการสัญจรของประชาชน เนื่องจากอยู่ใกล้กับแหล่งท่องเที่ยงทางธรณีวิทยา "โสกผีดิบ" 3) ผลด้านภูมิศาสตร์มนุษย์ พบว่า จุดเสี่ยงที่ 1-5 เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นการบุกรุกพื้นที่ทำเกษตรกรรม เนื่องจากประชาชนยังไม่ทราบขอบเขตพื้นที่ป่าชัดเจน และพื้นที่จุดเสี่ยงข้างต้นมีพื้นที่อยู่ตามแนวขอบเขตป่า ซึ่งติดกับพื้นที่ทำของประชาชนตามกรรมสิทธิ์ทางกฎหมาย ดังนั้น จากผลการศึกษาข้างต้นคณะผู้จัดทำมีข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย คือ ควรสร้างพื้นที่ชุมชนแห่งการเฝ้าระวังในการแจ้งเตือนภัยสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และประชาชนบ้านหนองบัวโดยตรง เพื่อเป็นสื่อกลางในการปฏิบัติตามนโยบาย และการประสานความร่วมมือในประเด็นอนุรักษ์ป่าชุมชน

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมป่าไม้. (2563). แผนแม่บทการส่งเสริมการจัดการป่าชุมชน พ.ศ. 2563 - 2570, 2 เมษายน 2568. https://www.forest.go.th/CommunityForest/archives/4252

[2] สุชาติ ชินวงศ์วัฒนา และคณะ. (2562). การประยุกต์ใช้ GIS เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่ป่าชุมชน. วารสารภูมิสารสนเทศ, 15(1), 11-27.

[3] ศิริวรรณ พุทธรักษา และคณะ. (2564). การประเมินการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าชุมชนโดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม. วารสารสิ่งแวดล้อมไทย, 27(2), 45-58.

[4] ลลิตา จันทร์เพ็ญ และคณะ. (2561). การตรวจสอบการบุกรุกพื้นที่ป่าชุมชนด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[5] จินตนา อมรสงวนสิน. (2554). การมีส่วนร่วมและศักยภาพของพื้นที่ในการจัดการและอนุรักษ์ป่าของชุมชนในพื้นที่ลุ่มน้ำกวงตอนบน จังหวัดเชียงใหม่. วารสารวนศาสตร์, 30(3), 54-66.

[6] ศูนย์การฟื้นฟูระบบนิเวศป่าฝนเขตร้อนมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2561). การประเมินความเสื่อมโทรมของป่า, 15 พฤศจิกายน 2567. https://www.forru.org/th/library/0000250

[7] ณัฐพล วงษ์รัมย์. (2560). การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในเขตเทศบาลตำบลหนองเต็ง อำเภอกระสัง จังหวัดบุรีรัมย์. วารสารรมยสาร, 1 (2), 300-305.

[8] ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมป่าไม้. (2562). โครงการป่าชุมชนบ้านหนองบัว, 10 มกราคม 2568. https://shorturl.asia/ZPQpH

[9] พรพรรณ เจิดอัศวสินง. (2566). การประยุกต์ใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อจัดทำฐานข้อมูลลักษณะภูมิประเทศป่าชุมชนสำหรับการบริหารจัดการป่าชุมชนท้องที่จังหวัดตาก. สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้: กรุงเทพมหานคร.

การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน

Oral Presentation

ขยายผลนวัตกรรมและยกระดับกระบวนการเลือกตั้งออนไลน์อย่างโปร่งใส ด้วยระบบ MU Vote

มนิตา รัตนเสถียร และ อวยชัย แสงฟ้า

หน่วยพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ กองบริหารงานทั่วไป สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยมหิดล
* Corresponding author: manita.kho@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบเลือกตั้งออนไลน์ มหาวิทยาลัยมหิดล (MU Vote System) พัฒนาระบบเพื่อสร้างความเที่ยงธรรม โปร่งใส ตรวจสอบได้ทุกกระบวนการ ถูกต้องตามหลักการธรรมาภิบาล (Good Governance) และสามารถนำไปปรับใช้ตามเงื่อนไขการเลือกตั้งของทุกส่วนงานในมหาวิทยาลัยมหิดลได้อย่างยืดหยุ่น รองรับการใช้งานทั้งนักศึกษา บุคลากรภายใน โดยระบบดังกล่าวช่วยยกระดับกระบวนการเลือกตั้งออนไลน์ได้อย่างโปร่งใส โดยสามารถเข้าผ่านลิงค์ URL https://muvote.mahidol.ac.th/ และ Login ผ่าน Mahidol ADFS ที่เป็นมาตรฐานสากล รองรับการใช้งานผ่าน Web Browsers ทำให้ผู้โหวตได้สัมผัสประสบการณ์ของการเลือกตั้งในรูปแบบการเลือกตั้งแบบออนไลน์เปิดใช้ระบบได้ทุกที่ทุกเวลา นำไปสู่การเลือกตั้งในรูปแบบไร้กระดาษ เสมือนการจำลองคูหาการเลือกตั้งในรูปแบบออนไลน์ ส่งผลให้ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายทุกกระบวนการในการเลือกตั้ง โดยผลงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในด้านการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน เนื่องจากได้มีการขยายผลไปยังส่วนงานที่ใช้งานจริงซึ่งตั้งแต่ปี 2566 โดยได้มีการอบรมขยายผลการใช้งานไปยังผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง และปัจจุบันได้ขยายผลนวัตกรรมไปยังส่วนงานภายในมหาวิทยาลัยมหิดลที่สนใจใช้งานมากกว่า 10 ส่วนงาน และได้เก็บรวบรวมผลคะแนนการประเมินระบบ MU Vote จากความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบที่ขึ้นใช้งานจริง และได้นำข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งานจริงมาพัฒนาระบบต่อยอดสร้างระบบที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: การเลือกตั้งออนไลน์มหาวิทยาลัยมหิดล / รูปแบบไร้กระดาษ / ประหยัดค่าใช้จ่าย / เลือกตั้งได้ทุกที่ทุกเวลา / ขยายผลการใช้งานจริง

Expanding Innovation and Advancing Transparent Online Election Processes through MU Vote System

Manita Rattanasatian and Uaychai Saengfa

Information Development Unit, the General Administration Division, Office of the President Mahidol University
* Corresponding author: manita.kho@mahidol.ac.th

Abstract

The Mahidol University Online Voting System (MU Vote System) was developed to ensure fairness, transparency, and verifiability in every step of the election process, aligning with the principles of good governance. The system is designed flexibility and apply for the specific election conditions of various departments within Mahidol University. It supports Mahidol students and staffs are enhancing the integrity and transparency of online elections. Accessible via https://muvote.mahidol.ac.th/, the system uses Mahidol authentication via ADFS that international standards for security login and more compatible support for all web browsers. Voters can access the MU Vote platform in anytime, anywhere, experiencing a fully digital, paperless voting process that simulates a real voting. Also, this system can save costs in every voting process. The project focuses to develop the organization in sustainability because of the MU Vote system had been implemented since 2023 by teaching for the administrator and the relevant stakeholders. As currently, this innovation had been expanding by more than 10 departments within Mahidol University and collected the satisfaction data of MU Vote from the real voter and the user's feedback to improve the system continues towards more effectiveness.

Keywords: MU Vote System / Paperless Voting / Cost Efficiency / Anytime-Anywhere Voting / System Expansion

1. บทนำ

ในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของ Covid-19 หลายปีที่ผ่านมา นอกเหนือจากการเรียนการสอน และการประชุมในรูปแบบออนไลน์แล้ว กองบริหารงานทั่วไป สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยมหิดลมีภารกิจการดำเนินงานด้านการจัดให้มีการเลือกตั้งในที่ประชุมต่าง ๆ ซึ่งถือเป็นหนึ่งในสิ่งที่ต้องดำเนินการอย่างเร่งด่วน โดยปัจจุบันได้ดำเนินการจัดให้มีการเลือกตั้งในที่ประชุมต่าง ๆ ภายในที่ประชุมทีมบริหาร เช่น คณะกรรมการประจำมหาวิทยาลัยมหิดล การเลือกตั้งกรรมการสภาคณาจารย์ประจำ เป็นต้น โดยก่อนปี 2023 ที่ผ่านมาทางกองบริหารงานทั่วไปยังใช้การเลือกตั้งในรูปแบบกระดาษ และเครื่องมือผ่านโปรแกรม Lime Survey มาประยุกต์ ซึ่งพบว่ายังมีสภาพปัญหา(Pain Point) ในด้านกระบวนการติดตามผู้เข้าร่วมการโหวต การสิ้นเปลืองทรัพยากรกระดาษในแต่ละการเลือกตั้ง ความล่าช้าในการสรุปผลนับคะแนน ปัญหาในการโหวตซ้ำกรณีคะแนนเท่ากัน และการตั้งค่าระบบสำหรับการเปลี่ยนแปลงเกณฑ์ในการเลือกตั้งที่แตกต่างกันในแต่ละการเลือกตั้ง เป็นต้น

ดังนั้น ทางหน่วยพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ จึงได้เข้ามามีบทบาทในการเก็บรวบรวมเพื่อศึกษาความต้องการก่อนการพัฒนาระบบ และนำสภาพปัญหา(Pain Point) ที่พบจากกระบวนการเลือกตั้งวิธีแบบกระดาษ หรือกระบวนการเดิม (Manual) มาวิเคราะห์ให้เกิดการเลือกตั้งในรูปแบบใหม่ ให้พัฒนาจนกลายเป็นระบบ MU Vote ซึ่งทีมงานได้ดำเนินการพัฒนาในรูปแบบเว็ปแอปพลิเคชัน (Web Application) ใช้ผ่านเครื่องมือ Django Platform โดยใช้ภาษา Python ซึ่งเป็นภาษา Programming ที่สากล ทันสมัย เหมาะกับการพัฒนาระบบ Software สมัยใหม่ และได้ศึกษาข้อมูลแนวคิดการพัฒนาระบบการเลือกตั้งออนไลน์ผู้นำนิสิตมหาวิทยาลัยพะเยา[5] มาใช้ในการทำให้ระบบปลอดภัยเกี่ยวกับยืนยันตัวตนผ่านหลัก CIA อีกทั้งนำเทคโนโลยีการปกปิดข้อมูลหลังการเลือกตั้งไม่ให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องเห็น โดยระบบนี้ผู้ดูแลระบบและผู้เปิดปิดระบบจะเห็นแค่คะแนนผลสรุปเท่านั้น เห็นเฉพาะข้อมูลที่ตนเองเลือกเท่านั้น และจะไม่สามารถเห็นว่าใครเลือกใครได้เลย หลังจากที่ได้เปิดใช้ระบบดังกล่าวเมื่อต้นปี 2023 ทางทีมงานได้รวบรวมข้อมูลด้านสถิติการใช้งานและความพึงพอใจหลังการใช้งานระบบอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการขยายผลการใช้งานระบบให้กับหลายส่วนงานภายใต้สำนักงานอธิการบดี และคณะหรือส่วนงานอื่น ๆ ที่อยู่ภายใต้ ม.มหิดล เนื่องจากระบบดังกล่าวได้เข้าไปสนับสนุนการสร้างนวัตกรรมและใช้เทคโนโลยีให้เกิดประโยชน์ในด้านกระบวนการเลือกตั้งออนไลน์ได้อย่างดี และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการเลือกตั้งในแต่องค์ประชุมที่มีรูปแบบแตกต่างกันได้อย่างยืดหยุ่น สะดวก รวดเร็ว มีความโปร่งใส มีความเป็นส่วนตัว ระบบสามารถแบ่งสิทธิ์การใช้งานได้อย่างชัดเจน และตรวจสอบข้อมูลผ่านระบบยืนยันตัวตน SSO ของ Mahidol ADFS ได้ตามมาตรฐานสากล โดยทุกกระบวนการในระบบการเลือกตั้งออนไลน์ (MU Vote System) รองรับนโยบายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล(PDPA) และถูกต้องตามหลักการธรรมาภิบาล (Good Governance) สำหรับมหาวิทยาลัยมหิดล

2. วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาระบบที่ใช้ในการเลือกตั้งในรูปแบบออนไลน์สร้างความเที่ยงธรรม โปร่งใส ตรวจสอบได้ทุกกระบวนการ ถูกต้องตามหลักการธรรมาภิบาล (Good Governance) และสามารถนำไปปรับใช้ตามเงื่อนไขการเลือกตั้งของทุกส่วนงานในมหาวิทยาลัยมหิดลได้อย่างยืดหยุ่น รองรับการใช้งานทั้งนักศึกษา บุคลากรภายใน ขยายผลการใช้งานไปยังผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการเลือกตั้งออนไลน์ได้อย่างปลอดภัย สะดวก และรวดเร็ว

3. ขอบเขตของการศึกษา

การพัฒนาระบบการเลือกตั้งออนไลน์(MU Vote System) ดำเนินการในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) ด้วยภาษา Python ให้รองรับเลือกตั้งออนไลน์ในรูปแบบทันสมัย เปิดใช้งานระบบได้สะดวกทุกที่และทุกเวลา รองรับเว็บไซต์แบบใหม่ (Responsive Web Design) ใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) ที่นิยมในท้องตลาดปัจจุบัน ได้แก่ Chrome,

Safari, UC Browser, Firefox, Opera และ Internet Explorer เป็นต้น โดยระบบดังกล่าวจะนำมาใช้ในการเลือกตั้งออนไลน์สำหรับคณะกรรมการประจำมหาวิทยาลัยมหิดล และรองรับการเลือกตั้งออนไลน์สำหรับที่ประชุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัยมหิดลจัดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โปร่งใส ตรวจสอบข้อมูลการโหวตได้อย่างเป็นรูปธรรมตามหลักธรรมาภิบาล (Good Governance) [1] โดยทางผู้สร้างสรรค์ได้มีการออกแบบและวิเคราะห์ระบบจากการรวบรวมความต้องการจากงานเลขานุการกิจและสภาคณาจารย์ (Secretariat Unit) กองบริหารงานทั่วไป สำนักงานอธิการบดี ซึ่งในปัจจุบันมีการเลือกตั้ง 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบกระดาษ (Manual) และใช้ผ่านระบบ Lime Survey ซึ่งระบบ Lime Survey ที่ใช้ในปัจจุบันได้ขอความอนุเคราะห์จากกองเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาประยุกต์ใช้ แต่ระบบดังกล่าวไม่สามารถนำไปใช้กับการเลือกตั้งได้กับทุกการประชุมได้ เนื่องจากยังค่อนข้างพบข้อจำกัดในด้านการตั้งค่าระบบ เพราะการเลือกตั้งในแต่ละองค์ประชุมจะมีเงื่อนไขค่อนข้างซับซ้อน และการตรวจสอบคะแนนโหวตจำเป็นต้องอาศัยระบบพื้นฐานที่มีการยืนยันตัวตนสร้างความปลอดภัย ตรวจสอบความถูกต้องหลังจากการโหวตได้อย่างรวดเร็ว และสร้างความโปร่งใสให้กับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องได้อย่างต่อเนื่อง

จากปัญหาดังกล่าวจึงเป็นที่มาในการพัฒนาระบบเลือกตั้งออนไลน์ (MU Vote System)โดยเฉพาะ และได้ศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมจาก การออกแบบและพัฒนาระบบลงคะแนนเลือกตั้งออนไลน์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร[4] เข้ามาประยุกต์ เพื่อให้ตอบโจทย์การเลือกตั้งออนไลน์ที่มีประสิทธิภาพ ครอบคลุมทุกเงื่อนไขสำหรับการเลือกตั้งในแต่ละองค์ประชุมที่มีรูปแบบแตกต่างกัน รวมทั้งฟังก์ชันด้านความปลอดภัยสำหรับผู้ใช้งานในตรวจสอบการเข้าถึงระบบหลายชั้นก่อนการเข้าใช้งานระบบ พร้อมทั้งฟังก์ชันการตรวจสอบข้อมูลย้อนหลัง (History Log) จากการเลือกตั้งที่ผ่านมา โดยระบบดังกล่าวยังสามารถแบ่งตามระดับสิทธิ์การเข้าถึงโดยเฉพาะได้หลายบทบาทหน้าที่ซึ่งผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องเข้าออกระบบใหม่หลายครั้ง หากได้รับสิทธิ์หรือการตั้งค่าตั้งแต่แรกสามารถเข้าเมนูที่เกี่ยวข้องตามสิทธิ์ที่ตั้งค่าได้อย่างอัตโนมัติ ที่สำคัญระบบดังกล่าวยังมีความสามารถพิเศษในการตั้งค่าเงื่อนไขได้หลายกรณี

4. วิธีการศึกษา

4.1 เครื่องมือในการพัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบการเลือกตั้งออนไลน์ (MU Vote System) ดำเนินการในรูปแบบเว็ปแอปพลิเคชัน (Web Application) ใช้ภาษา Python ในการพัฒนาระบบให้รองรับการเลือกตั้งออนไลน์ในรูปแบบทันสมัย โดยเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Django Framework พัฒนาบน โปรแกรม Visual Studio Code 2022 Version 1.70.0 หรือสูงกว่า โดยรันระบบผ่าน Linux Server: Ubuntu version 20.04 และสร้างบน Docker Architecture เหตุผลที่ผู้พัฒนาจำเป็นต้องเลือกเครื่องมือ Django โดยใช้ภาษา Python ในการพัฒนาระบบ เนื่องจากมันสามารถประยุกต์กับการสร้างระบบที่ทันสมัย ปัจจุบันได้รับความนิยมสูง มีเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นในการพัฒนาเว็บมาให้ครบครันในเฟรมเวิร์คเดียว มีคอมมิวนิตี้ขนาดใหญ่ มีรีซอร์สและแหล่งให้เรียนรู้และศึกษามากมาย มี Documentation ที่สุดยอดในการศึกษาเรียนรู้ มีความปลอดภัยสูง และมี Design ที่เป็นระบบระเบียบ ดีต่อ SEO และใช้ ORM (Object Relational Mapping)โดยไม่ต้องเขียน SQL

ยกตัวอย่างบริษัทที่ใช้ Django [9] ในการพัฒนา software development เช่น Instagram, Nasa, Spotify, Heroku, Mozilla, Bitbucket เป็นต้น ซึ่งการพัฒนาในเครื่องมือดังกล่าวช่วยในการเปิดระบบรองรับการใช้งานทุกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเปิดผ่านเว็บเบราว์เซอร์ที่นิยมในท้องตลาดได้ ส่งผลให้ผู้พัฒนาสร้างระบบที่มีฟังก์ชันรองรับการเลือกตั้งโดยเฉพาะได้เป็นอย่างดี ดังนั้นหลังจากพัฒนาระบบ จึงขอสรุปฟังก์ชันการใช้งานหลักๆ มีดังต่อไปนี้

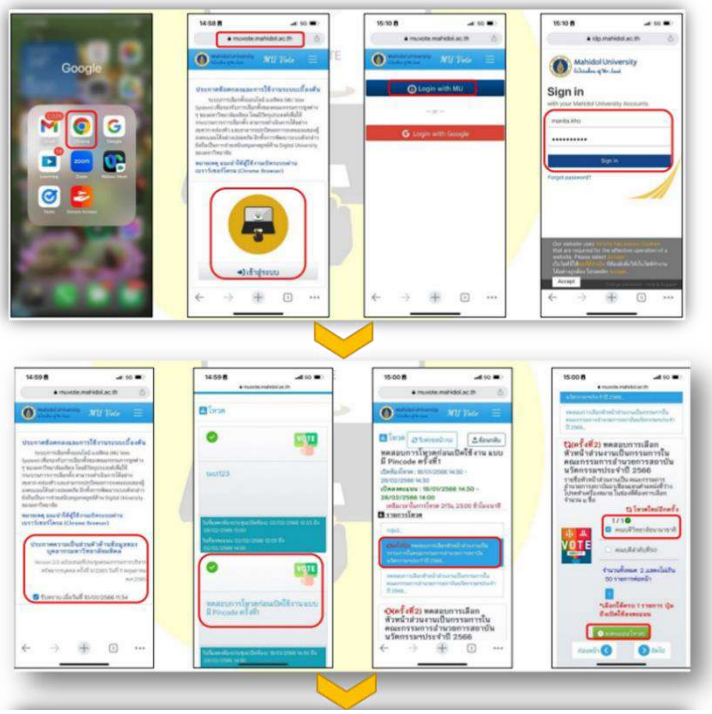
✓ ระบบเข้าใช้งานได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และปลอดภัย โดยบุคลากรหรือนักศึกษา ม.มหิดลสามารถเข้ามาใช้ระบบโดย SSO Login ในรูปแบบ Mahidol Authentication (ADFS) ดังรูปที่1 ซึ่งรูปแบบการเข้าระบบแบบนี้จะเป็นมาตรฐานในการเข้าใช้งานระบบที่ปลอดภัย เนื่องจากใช้ได้เฉพาะบุคลากรหรือนักศึกษา ม.มหิดล เท่านั้น บุคคลภายนอกที่ไม่ได้รับการอนุญาตหรือเพิ่มสิทธิ์ในระบบจะไม่สามารถเข้าใช้งานได้ ซึ่งวิธีการดังกล่าวได้ศึกษาตัวอย่างจากการพัฒนาระบบเลือกตั้งออนไลน์ จากผู้นำนิสิตมหาวิทยาลัยพะเยาให้มีความมั่นคงปลอดภัย[5]เข้ามาประยุกต์ด้วย

✓ ระบบมีฟังก์ชันการตรวจสอบข้อมูลประวัติการเลือกตั้งย้อนหลังทั้งหมดตามสิทธิ์ที่ตนเองได้รับการเข้าถึงระบบโดยเฉพาะเท่านั้นสร้างความโปร่งใสในการตรวจสอบข้อมูลในระบบ MU Vote

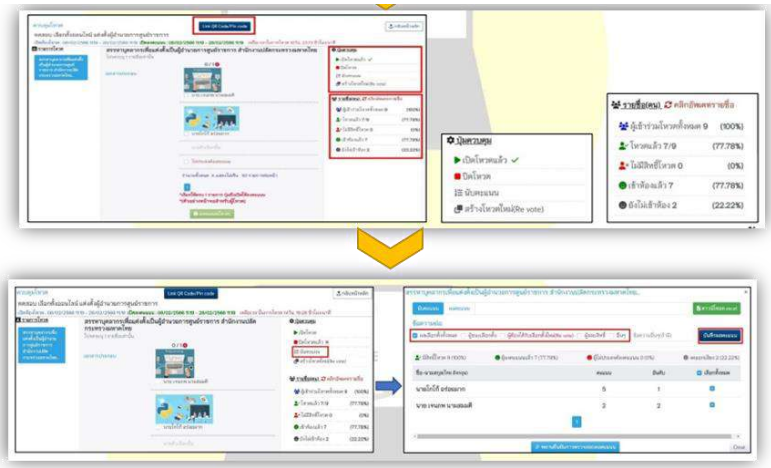
✓ ระบบสามารถแบ่งระดับสิทธิ์การเข้าถึงโดยเฉพาะได้หลายบทบาทหน้าที่ส่งผลดีให้กับผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องเข้าออกระบบใหม่หลายครั้ง

✓ ระบบสามารถตั้งค่าการโหวตซ้ำได้ สำหรับกรณีที่มีคะแนนเท่ากัน เพื่อตัดสินหาผู้ชนะ

✓ ระบบสามารถตั้งค่าผู้ควบคุมการโหวต เพื่อดำเนินการเปิดโหวต ปิดโหวต และสรุปผลคะแนนหลังปิดระบบโหวตได้อย่างรวดเร็ว ตามรูปที่ 2 เนื่องจากระบบสามารถสรุปรายงานผลคะแนนส่งออกในรูปแบบไฟล์เป็น Excel หลังปิดผลการโหวตได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว



รูปที่ 1 แสดงวิธีการ Login เข้าระบบ MU Vote เพื่อเข้าสู่เมนูโหวต



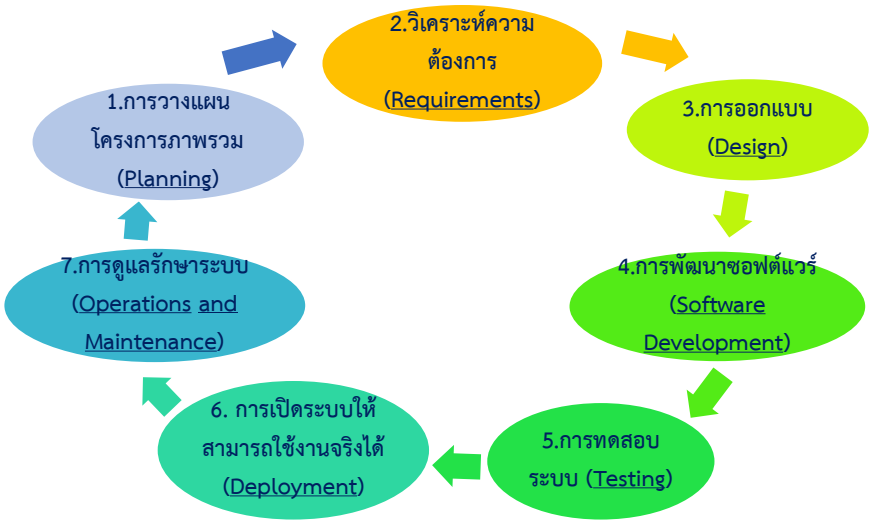
รูปที่ 2 แสดงหน้า Monitor สำหรับผู้ควบคุมระบบ MU Vote และหน้าจอเรียงลำดับสรุปผลคะแนนหลังการปิดโหวต

จากฟังก์ชันที่กล่าวมาทำให้ผู้โหวตได้สัมผัสประสบการณ์ของการเลือกตั้งในรูปแบบการเลือกตั้งออนไลน์แบบ Realtime สามารถเปิดใช้งานระบบได้ทุกที่ทุกเวลา และทุกกระบวนการอยู่ในรูปแบบการเลือกตั้งแบบไร้กระดาษ(Paperless Solution) เนื่องจากไม่ได้ใช้กระดาษในระบบ เน้นบันทึก ตั้งค่า และคลิกเปิด สรุปผลจากระบบได้เลยแบบอัตโนมัติ ส่งผลดีเพราะช่วยลดต้นทุนในการจัดตั้งงบประมาณในการนำไปจัดเตรียมทรัพยากรก่อนการเลือกตั้ง และที่สำคัญได้มีการขยายผลการใช้งานระบบ MU Vote ไปยังส่วนงานต่าง ๆ ภายใน ม.มหิดลให้ใช้งานได้อย่างทั่วถึง เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนแห่งสหประชาชาติ (SDGs) และระบบดังกล่าวยังช่วยสร้างความท้าทายใหม่ให้กับบุคลากร ม.มหิดล ด้านการเปลี่ยนแปลงสู่โลกดิจิทัล (Digital Transformation)[8]ได้อย่างยั่งยืน

4.2 วงจรการพัฒนาระบบในปัจจุบัน

ทีมผู้พัฒนาได้ดำเนินการทำงานโดยใช้วงจรการพัฒนาระบบในรูปแบบ Systems Development Life Cycle (SDLC) [7] ตามรูปที่ 3 ซึ่งรูปแบบวงจรการพัฒนานี้จะทำให้สามารถมองเห็นการทำงานภาพรวม หรือกระบวนการทำงานทั้งหมดตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำในการพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ (Software Development) ของระบบการเลือกตั้งออนไลน์ได้เป็นอย่างดี ปัจจุบันทางทีมผู้พัฒนาได้ดำเนินการพัฒนาระบบครบทุกขั้นตอนในวงจร SDLC ซึ่งระยะเวลาการดำเนินการดังกล่าวได้เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม 2565 เป็นต้นมา และเปิดระบบให้สามารถใช้งานจริงได้ (Deployment) ในขั้นตอนที่ 6 เริ่มใช้งานตั้งแต่ในเดือนมกราคม 2566 ปัจจุบันทางทีมผู้พัฒนาได้ดำเนินการจนถึงขั้นตอนที่ 7 ในการดูแลรักษาระบบตามขั้นตอนสุดท้าย พร้อมกับให้คำปรึกษาการเปิดใช้งานระบบ ควบคู่การอบรมขยายผลการใช้งานระบบอีกด้วย หลังจากทางผู้ใช้งานนำร่องได้ใช้งานระบบครบ 1 ปีเต็ม ทางทีมผู้พัฒนาได้วางแผนการขยายผลใช้งานไปที่ส่วนงานภายใน มหาวิทยาลัยมหิดลให้สามารถเข้ามาใช้งานระบบได้เพิ่มเติม ซึ่งทางทีมฯ ได้จัดอบรมผู้ดูแลระบบส่วนงานกระจายการใช้งานระบบ MU Vote ตั้งแต่ปี 2567 อย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

นอกจากนี้ทางทีมงานได้วางแผนการพัฒนาระบบในระยะที่สองอย่างต่อเนื่องในช่วงเดือนมีนาคม 2568 ที่ผ่านมาตามข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งาน เพื่อปรับปรุงหน้าตา หรือ User Interface (UI) ให้สวยขึ้น และช่วยให้ระบบมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น โดยนำหลักการปฏิบัติงาน PDCA เข้ามาทบทวนกระบวนงานตามลำดับด้วย



รูปที่ 3 แสดงวงจรการพัฒนาระบบ MU Vote ในรูปแบบ SDLC ทั้ง 7 ขั้นตอน

4.3 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลและการนำเสนอ

ทางหน่วยพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศได้รวบรวมข้อมูลสถิติกลุ่มตัวอย่างการประเมินความพึงพอใจ การจัดเก็บข้อมูลความพึงพอใจในระบบ MU Vote หลังมีการใช้ระบบ โดยพัฒนาระบบเพิ่มเติมให้แสดง Pop up เพื่อกรอกคะแนนความพึงพอใจหลังจากใช้งานระบบในครั้งแรกด้วย และหลังจากนั้นทางทีมฯ จึงได้นำข้อมูลดังกล่าวมาจัดทำเป็นรายงานเพื่อเสนอในรูปแบบ Dashboard โดยเน้นคำนวณความพึงพอใจภาพรวม และแจกแจงตามคำอธิบายการให้คะแนน Software จัดเก็บแยกกลุ่มประเภทย่อยในการประเมินผลแต่ละด้านของ Software ให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งรายละเอียดมีทั้งหมด 5 ด้าน ตามรูปที่ 4 ซึ่งเป้าของระดับผลคะแนนประเมินความพึงพอใจหลังจากที่ได้ขยายผลการใช้งานให้กับส่วนงานหลังใช้งานระบบ MU Vote แล้ว ควรอยู่ในระดับ 4.5 คะแนนขึ้นไป (จากเต็ม 5 คะแนน)

รูปที่ 4 แสดงตัวอย่าง หน้าจอ Pop up การให้คะแนนความพึงพอใจหลังการใช้ระบบ MU Vote

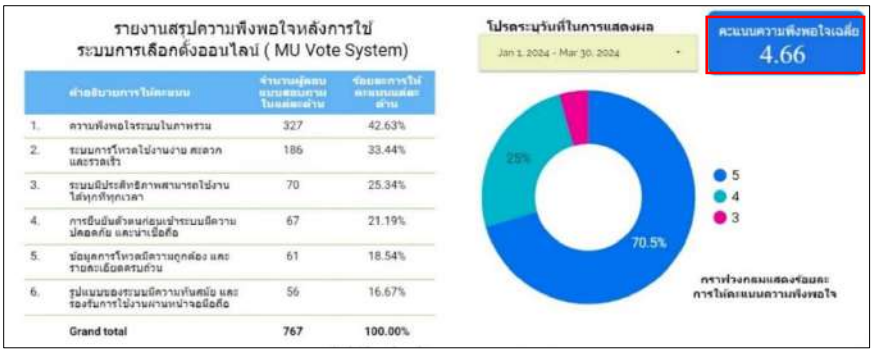
4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

เราได้วิเคราะห์ข้อมูลจากการประเมินความพึงพอใจระบบ MU Vote สำหรับผู้ใช้งานระบบ โดยนำข้อมูลความพึงพอใจที่รวบรวมได้จากแบบสอบถามหน้าระบบจะนำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ประกอบด้วยความถี่ (Frequency) ร้อยละ (Percentage) และค่าเฉลี่ย (Mean) การวัดระดับความต้องการใช้แบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด โดยมีเกณฑ์ให้คะแนนในแต่ละระดับดังนี้

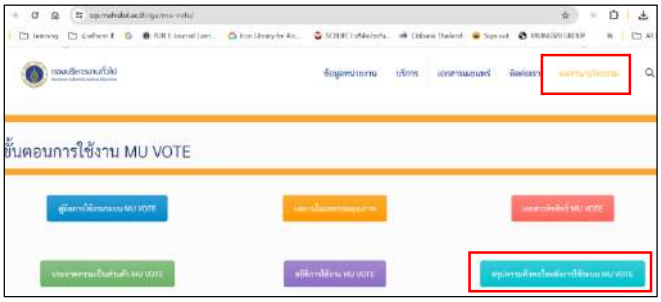
โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่าแบบตัวเลข (Numerical Rating Scales) [2] แบ่งออกเป็น 5 ระดับ ดังนี้ 5 = มากที่สุด, 4 = มาก, 3 = ปานกลาง, 2 = น้อย, 1 = น้อยที่สุด (ซึ่งในระบบ หากมีการระบุคะแนนต่ำกว่า 2 จะต้องระบุคำอธิบายที่ไม่พึงพอใจด้วย) จากผลคะแนนความพึงพอใจหลังใช้งานระบบจากผู้ใช้งานทั้งหมด โดยได้เริ่มจัดเก็บในระบบมาตั้งแต่เดือนธันวาคม 2566 ในปีที่ผ่านมา สรุปเป็นค่าเฉลี่ยภาพรวมอยู่ที่ 4.66 ในรูปที่ 5 เป็นคะแนนที่เป็นไปมากกว่าเป้าตัวชี้วัดที่กำหนดไว้ โดยคิดจากจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามหลังการใช้ระบบ 327 ท่าน ซึ่งได้แจกแจงแบ่งเป็นระดับคะแนนมีทั้งหมด 5 ด้าน ดังนี้

1. ระบบการโหวตใช้งานง่าย สะดวก และรวดเร็ว ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ที่ 4.60
2. ระบบมีประสิทธิภาพสามารถใช้งานได้ทุกทีทุกเวลา ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ที่ 4.70
3. การยืนยันตัวตนก่อนเข้าระบบมีความปลอดภัย และน่าเชื่อถือ ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ที่ 4.72
4. ข้อมูลการโหวตมีความถูกต้อง และรายละเอียดครบถ้วน ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ที่ 4.77
5. รูปแบบของระบบมีความทันสมัย และรองรับการใช้งานผ่านหน้าจอมือถือ ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ที่ 4.71

โดยสรุปแล้วค่าเฉลี่ยในแต่ละด้านเกินเป้าตัวชี้วัดที่กำหนดไว้ โดยเป้าของเราที่วางไว้อยู่ที่ประมาณ 4.55 ในเกณฑ์คะแนนเริ่มต้นของระดับมากที่สุด และได้นำรายงาน Dashboard สรุปภาพรวมความพึงพอใจแสดงให้เห็นบนหน้าเว็บไซต์กองบริหารงานทั่วไปด้วย[6] โดยคลิกไปที่ เมนู ผลงานนวัตกรรม ระบบ MU Vote ตามรูปที่ 6



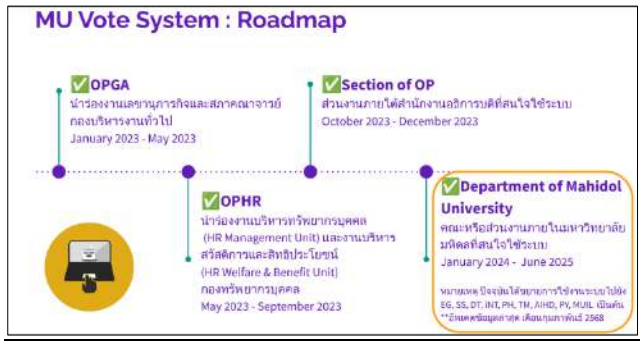
รูปที่ 5 แสดงรายงาน Dashboard คะแนนความพึงพอใจภาพรวมหลังการเข้าใช้งานระบบ MU Vote



รูปที่ 6 แสดงช่องทางการเข้าดูรายงาน Dashboard คะแนนความพึงพอใจ จาก Website กองบริหารงานทั่วไป

4.5 สถิติที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการขยายผลระบบ

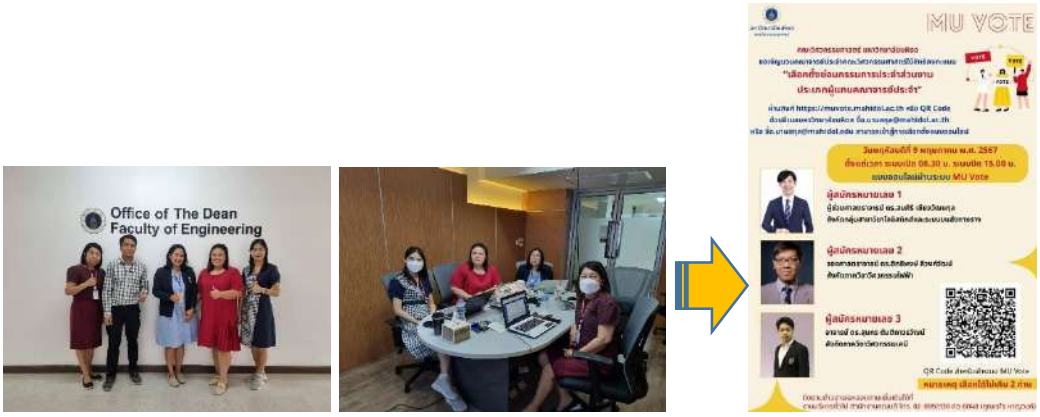
จากการใช้งานระบบ MU Vote ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2023 หรือปี พ.ศ. 2566 ที่ผ่านมา โดยเราได้สรุปเป็นภาพ Road Map ตามรูปที่ 7 ซึ่งทางทีมฯได้ทำการขยายผลการใช้งานไปหลายส่วนงาน โดยได้ทำหนังสือแจ้งเวียน เลขที่ อว 78/ว 3871 เมื่อวันที่ 10 มิถุนายน 2566 เรื่องประชาสัมพันธ์การใช้งานระบบเลือกตั้งออนไลน์ (MU Vote) ให้หัวหน้าส่วนงาน/ผู้อำนวยการสำนักงานอธิการบดีทราบ ดังรูปที่ 8 เพื่อเป็นช่องทางในการติดต่อขอความอนุเคราะห์ขอใช้งานระบบ และทางทีมฯได้เตรียมข้อมูลในการอบรมระบบให้กับผู้ดูแลระบบแต่ละส่วนงานที่แจ้งขอให้ระบบ MU Vote ตามลำดับ



รูปที่ 7 แผนภาพ Road Map การขยายผลการใช้งานระบบ MU Vote

รูปที่ 8 แสดงภาพหนังสือแจ้งเวียนเพื่อประชาสัมพันธ์ ก่อนการขยายผลการใช้งานระบบ MU Vote ไปยังส่วนงาน

หลังจากที่เราได้ประชาสัมพันธ์ไปนั้น ในระยะแรกเราได้ไปอบรมให้ส่วนงานที่แจ้งขอความอนุเคราะห์การใช้งานระบบ เพื่อให้ส่วนงานได้รับสิทธิ์เป็น ผู้ดูแลระบบในแต่ละส่วนงาน และช่วย Monitor ระบบในช่วงเปิดระบบของแต่ละส่วนงาน และหลังจากนั้นหากทางส่วนงานสามารถดำเนินการจัดการตั้งค่าระบบได้เอง โดยช่วงแรกหน่วยพัฒนาระบบได้เป็นวิทยากรสอนการอบรมให้ก่อนในช่วงเช้าไม่เกิน 3 ชั่วโมง กรณีผู้อบรมไม่เกิน 10 ท่าน ยกตัวอย่าง ทางสำนักงานคณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ได้อบรมเฉพาะทีมดูแลระบบ และทางทีมงานดังกล่าวได้ตั้งค่าระบบและนำข้อมูลไปประชาสัมพันธ์ก่อนการเลือกตั้ง ตามรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงภาพตัวอย่างการไปอบรมที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ และแสดงโปสเตอร์ประชาสัมพันธ์ หลังมีการขยายผลการใช้งานจริงระบบ MU Vote ไปยังส่วนงาน

หลังจากที่แต่ละส่วนงานได้นำระบบไปใช้ทางทีมพัฒนาฯได้จัดเก็บสถิติที่การใช้งานจัดเก็บการขยายผลไปยังหน่วยงานหรือส่วนงานที่ใช้งานจริง โดยได้สรุปเป็นตารางการแจกแจงข้อมูลความถี่สถิติในการนำระบบไปใช้ แยกตามกอง/หน่วยงานที่นำไปใช้ เรียงตามจำนวนมากที่สุดของสถิติคนเข้าระบบ MU Vote ตามตารางที่ 1 โดยเป้าหมายที่ได้วางไว้สำหรับแผนการขยายผลระบบ MU Vote ไว้ในรอบ 6 เดือนหลังมีการประชาสัมพันธ์ จะมีการขยายผลอย่างน้อย 4-5 ส่วนงานขึ้นไป และจัดเก็บสถิติความถี่ในการใช้ระบบเกินกว่า 1 ครั้งไปในหลายส่วนงานด้วย

ตารางที่ 1 การแจกแจงข้อมูลความถี่สถิติในการนำระบบไปใช้ แยกตามกอง/หน่วยงานที่นำไปใช้หลังอบรมใช้ระบบงาน เรียงตามจำนวนมากที่สุด

กอง/หน่วยงาน ดำเนินการหลัก	ความถี่ในการนำระบบไปใช้ (ครั้ง)	สถิติคนเข้าระบบ MU Vote	สถิติคนโหวตในระบบ MU Vote
กองบริหารงานทั่วไป (หน่วยสภาคณาจารย์)	3	1051	924
กองกฎหมาย	2	468	419
กองบริหารงานทั่วไป (งานเลขานุการกิจฯ)	6	190	184
คณะวิศวกรรมศาสตร์ (สำนักงานคณบดี)	5	154	148
วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา	3	141	134
หอสมุดและคลังความรู้มหาวิทยาลัยมหิดล	1	112	111
คณะศิลปศาสตร์ (สำนักงานคณบดี)	3	87	86
คณะสาธารณสุขศาสตร์	1	69	65
คณะสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์	1	64	63
กองทรัพยากรบุคคล	2	55	54
ศูนย์บริหารสินทรัพย์	1	36	36
สถาบันบริหารจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม	1	36	36
กองบริหารงานวิจัย	1	16	16
สถาบันพัฒนาสุขภาพอาเซียน	1	8	7
รวมจำนวนทั้งหมด	**31**	**2487**	**2283**

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

โดยเราได้นำข้อมูลจำนวนหน่วยงานในการขยายผลการใช้งานระบบ MU Vote ให้กับส่วนงานที่ประสงค์ขอใช้งานระบบการเลือกตั้งออนไลน์ และส่วนงานสามารถนำไปประยุกต์ต่อยอดใช้ประโยชน์ในองค์กรได้จริง นำมาสรุปเป็นสถิติการขยายเข้าใช้งานระบบไปยังส่วนงานแสดงให้เห็นบนหน้าเว็บไซต์กองบริหารงานทั่วไป ในเมนู สถิติการใช้งาน MU Vote และเมื่อคลิกเปิดดูที่กราฟวงกลม เพื่อแสดงร้อยละควอไทล์ของสถิติการเข้าใช้งานระบบ MU Vote แยกตามส่วนงานที่ขอใช้งานมีสถิติใช้มากที่สุดในรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่า เกือบครึ่ง หรือร้อยละ 48.4 (15 ครั้ง) ในส่วนงานภายในสำนักงานอธิการบดีมีความถี่เข้าใช้งานค่อนข้างบ่อย และส่วนงานที่ใช้บ่อยสุด 2 อันดับแรกรองลงมา ได้แก่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สำนักงานคณบดี ร้อยละ 16.1 (6 ครั้ง) และวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา ร้อยละ 9.7 (3 ครั้ง) ตามลำดับ

รูปที่ 10 แสดงร้อยละควอไทล์ของสถิติการเข้าใช้งานระบบ MU Vote แยกตามส่วนงานที่ขอใช้งานมีสถิติใช้มากที่สุด

6. สรุปผลการศึกษา

การนำระบบการเลือกตั้งออนไลน์มหาวิทยาลัยมหิดล (MU Vote System) รองรับรูปแบบใหม่ที่ใช้ในระบบการเลือกตั้งรูปแบบออนไลน์ มาใช้งานได้จริงในการเลือกตั้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ โปร่งใส ตรวจสอบได้ทุกขั้นตอน ช่วยอำนวยความสะดวกกับผู้ใช้งานในการเลือกตั้งออนไลน์ได้ทุกที่ทุกเวลา สร้างความท้าทายในการเรียนรู้ด้านเทคโนโลยีนวัตกรรมที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงการเลือกตั้งไปจากเดิมมาก อีกทั้งข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีที่เข้ามามีบทบาทอย่างรวดเร็วทำให้การสร้างระบบดังกล่าวจะต้องเร่งระยะเวลาในการพัฒนาอย่างจำกัด รวมทั้งความซับซ้อนในกระบวนการเลือกตั้งก็ทำให้มีความยากต่อการคิดออกแบบระบบให้ครอบคลุม เพราะต้องสร้างระบบให้ช่วยลดระยะเวลาในการเข้าคูหาการเลือกตั้งแทนของเดิม ระบบจะต้องสามารถตรวจสอบสิทธิ์การเลือกตั้งได้ล่วงหน้า มีระบบแจ้งเตือนผ่านทางอีเมล์ หรือ Scan QR Code เพื่อเข้าโหวตเลือกตั้งตามสิทธิ์ที่ได้รับโดยตรงในแต่ละการเลือกตั้ง และสรุปผลการเลือกตั้งหลังการปิดโหวตได้ทันที เพื่อให้ทราบผลคะแนนได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังช่วยสนับสนุนเครื่องมือเลือกตั้งออนไลน์ให้กับส่วนงานภายใน และองค์กรที่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัยมหิดลที่ยังต้องการทรัพยากรดังกล่าว และที่สำคัญระบบนี้ยังลดการใช้ทรัพยากรที่สิ้นเปลืองในกระบวนการเลือกตั้ง เช่น กระดาษ เป็นต้น

นอกจากนี้ทีมงานได้นำระบบดังกล่าวไปยื่นดำเนินการจดลิขสิทธิ์ระบบต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว เหตุผลที่จดลิขสิทธิ์ระบบนี้ เนื่องจากจะช่วยสร้างมาตรฐานด้านทรัพย์สินทางปัญญาสร้างความภาพภูมิใจให้กับผู้พัฒนาระบบและผู้เกี่ยวข้องในการพัฒนาระบบหรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในมหาวิทยาลัยมหิดล รวมทั้งสนับสนุนความยั่งยืนในการพัฒนาระบบให้กับองค์กรที่สามารถนำไปต่อยอดเป็นผลงานนวัตกรรมและนำไปประชาสัมพันธ์ได้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น ไม่เพียงแต่จำกัดใช้แค่ภายในองค์กรหรือมหาวิทยาลัยมหิดลเท่านั้น หากมหาวิทยาลัยหรือสถาบันองค์กรการศึกษาอื่นที่สนใจและคิดว่ามีฟังก์ชันการเลือกตั้งสอดคล้องใกล้เคียงกับระบบ MU Vote นี้ สามารถเข้ามาติดต่อที่ สถาบันบริหารจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม (iNT) มหาวิทยาลัยมหิดล เพื่อขอใช้ระบบและนำเครื่องมือนี้ไปใช้ได้ สนับสนุนให้องค์กรที่นำไปใช้ต่อยอดจะช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายในการเริ่มต้นจัดจ้างพัฒนาระบบจากองค์กรภายนอกซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการพัฒนาสูงมากในปัจจุบัน รวมทั้งต้องรอระยะเวลาในสร้างพัฒนาระบบอีกอย่างน้อย 1-2 ปี เป็นต้น

สรุปหลังได้การขยายผลพัฒนานวัตกรรมที่ผ่านมา นอกจากทางทีมผู้พัฒนาได้นำข้อมูลเชิงสถิติค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในแต่ละด้านมาพิจารณาแล้ว เรายังได้นำข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งานเพิ่มเติมเกี่ยวกับด้านฟีเจอร์หน้าจอระบบ ได้แก่ ควรปรับปรุงหน้าจอ Interface ให้ใช้งานง่ายขึ้น มาพัฒนาเพิ่มติม ซึ่งข้อมูลดังกล่าวทำให้ทางทีมได้วางแผนเตรียมที่จะพัฒนาปรับปรุงระบบต่อยอดในระยะถัดไปซึ่งได้วางแผนปรับปรุงและพัฒนาระบบในปี 2568 ตามลำดับ โดยใช้หลักการ PDCA [3] หรือ Plan-Do-Check-Act ซึ่ง

เป็นวงจรที่ช่วยให้การทำงานของเราที่สร้างผลลัพธ์ที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้นและช่วยยกระดับกระบวนการเลือกตั้งออนไลน์อย่างโปร่งใสด้วยระบบ MU Vote อย่างยั่งยืนในองค์กรที่นำไปใช้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] สุจิตรา บุณยรัตพันธุ์ (2549). รายงานวิจัยเรื่องประชาชนและธรรมาภิบาล : การสำรวจทัศนคติ ของคนไทยในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, กรุงเทพฯ: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

[2] บัวรัตน์ ศรีนิล. (2560) จากหน้าที่ 2 ในส่วน 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล. https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2561/mba91261chsta_ch3.pdf

[3] ณัฏฐ์ณพัชร์ อ่อนตาม (2562). เทคนิคการบริหารงานแบบ PDCA (Deming Cycle). วารสารสมาคมพัฒนาวิชาชีพการบริหารการศึกษาแห่งประเทศไทย

[4] นายเปรมชัย เชิงฉลาด (2565) . การออกแบบและพัฒนาระบบลงคะแนนเลือกตั้งออนไลน์. มหาวิทยาลัยศิลปากร

[5] ณัฐวุฒิ ดาวทอง. (2565). รายงานการวิจัย การพัฒนาระบบเลือกตั้งออนไลน์ ผู้นำนิสิตมหาวิทยาลัยพะเยาให้มีความมั่นคงปลอดภัย

[6] เว็บไซต์กองบริหารทั่วไป เมนู ผลงานนวัตกรรม ระบบ MU Vote. https://op.mahidol.ac.th/ga/mu-vote/

[7] เกียรติพงษ์ อุดมธนธีระ. วงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle : SDLC).

[8] วัชรพจน์ ทรัพย์สงวนบุญ. การเปลี่ยนผ่านทางดิจิทัลขององค์กรภาครัฐเพื่อยกระดับความสามารถทางการแข่งขันของประเทศไทย. บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[9] Withoutcoffee Icantbedev (2565). พัฒนาเว็บด้วย Django Framework (Python) ฉบับเต็มปี 2024 https://devhub.in.th/blog/django-python

การเปรียบเทียบการลดน้ำสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปาภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์มาตรวัดน้ำประปา

กมลพรรณ จงคงคาวุฒิ* และฐิตารีย์ วรรณาภรณ์สกุล

งานสาธารณูปโภคและระบบอาคาร กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม
* Corresponding author: kamolphan.jon@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นศึกษาการลดปริมาณน้ำสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปาของมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ผู้วิจัยจึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลสถิติการใช้น้ำประปาภายในภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา โดยการเก็บข้อมูลการใช้น้ำประปาย่อยจากอาคารต่างๆภายในนำข้อมูลย้อนหลังเป็นระยะเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 – 2566 และศึกษาผลของการเปลี่ยนอุปกรณ์มาตรวัดน้ำประปาเป็นแบบดิจิตอลอุลตร้าโซนิคต่อการลดการสูญเสียน้ำ ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนมาตรวัดน้ำประปาชนิดอุลตร้าโซนิค ช่วยลดปริมาณน้ำสูญเสียได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยปริมาณน้ำสูญเสียลดลงถึงร้อยละ 65.95 เมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้มาตรวัดน้ำประปาดิจิตอลอุลตร้าโซนิค มีความแม่นยำสูงและสามารถตรวจจับการรั่วไหลของน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถบริหารจัดการน้ำประปาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการสูญเสียน้ำประปาอีกด้วย ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการน้ำประปาในพื้นที่อื่นๆ เพื่อลดปริมาณน้ำสูญเสียและส่งเสริมการใช้น้ำอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: สูญเสีย / มาตรวัดน้ำประปา / ดิจิตอลอุลตร้าโซนิค / มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา

Comparison of Water Loss Reduction in the Water Supply System within Mahidol University, Salaya Campus by Changing Water Meter Equipment

Kamolphan Jongkongkawutthi* and Thitaree Wannapornsakul

Physical systems and Environment, Mahidol University, Thailand.

* Corresponding author: kamolphan.jon@mahidol.ac.th

Abstract

This research aimed to investigate the effectiveness of digital ultrasonic water meters in reducing non-revenue water within the Mahidol University Salaya campus. By analyzing five years of water consumption data from individual buildings (2019-2023), the study evaluated the impact of replacing traditional water meters with digital ultrasonic technology. The results demonstrated a substantial reduction of 65.95% in non-revenue water following the implementation of digital ultrasonic meters. This significant decrease highlights the enhanced accuracy and efficiency of these meters in detecting leaks, enabling more precise water management and reducing operational costs. The findings of this study offer valuable insights for the broader water management community, providing a compelling case for the adoption of digital ultrasonic water meters to minimize water loss and foster sustainable water practices

Keywords: non-revenue water / water meter / digital ultrasonic / Mahidol University Salaya

1. บทนำ

มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ตั้งอยู่เลขที่ 999 ถนนพุทธมณฑล สาย 4 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม มีพื้นที่ 1,242 ไร่ 20 ตารางวา หรือประมาณ 2 ตารางกิโลเมตร ประกอบด้วย หน่วยงาน 45 หน่วยงาน มีการใช้น้ำประปาตั้งแต่ปี 2552 ซึ่งติดตั้งมาตรน้ำโดยการประปาส่วนภูมิภาค ตามมาตรฐานการประปา บริเวณด้านหน้ามหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา จำนวน 1 มาตร และในปีเดียวกันจึงได้ติดตั้งมาตรวัดน้ำประปาอาคารหน่วยงานต่างๆ ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ซึ่งปัจจุบันมีอาคารติดตั้งมาตรวัดน้ำประปา จำนวนทั้งหมด 93 อาคาร

มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา มีการศึกษาข้อมูลสถิติการสูญเสียน้ำประปาในระบบจ่ายน้ำ ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำสูญเสียเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ หนึ่งในนั้นคืออุปกรณ์การวัดน้ำประปาที่ใช้งานมานาน ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้น้ำประปาของแต่ละอาคาร ภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา

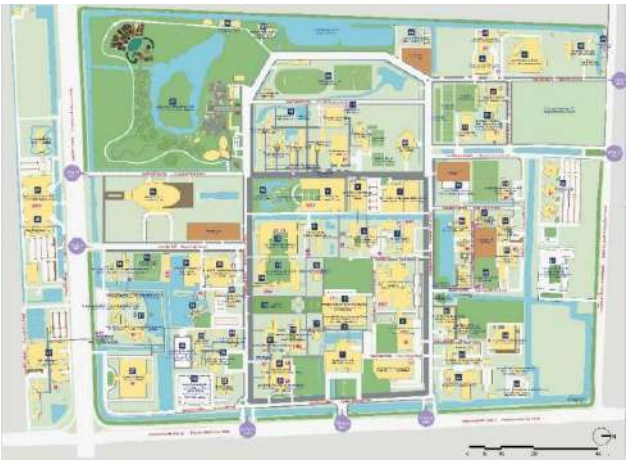
ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการลดการสูญเสียน้ำประปาภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา จึงได้วางแผนบริหารการจัดการน้ำประปา โดยเริ่มต้นจากการเปลี่ยนอุปกรณ์วัดน้ำประปา และริเริ่มจัดทำโครงการเปลี่ยนมาตรวัดน้ำประปาดิจิตอล โดยการใช้วัดมาตรน้ำแบบอุลตร้าโซนิค (Ultrasonic Water Meter) แทนมาตรวัดน้ำประปาแบบใบพัด เพื่อลดการคลาดเคลื่อน และการเก็บรวบรวมข้อมูลวัดน้ำประปาในเส้นท่อจ่ายน้ำประปา เริ่มเปลี่ยนอุปกรณ์จ่ายน้ำประปาในปี 2564 ในระยะแรก จนถึงปัจจุบัน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการลดน้ำสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปาภายในมหาวิทยาลัยมหิดล โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์มาตรวัดน้ำประปา
2. เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนบริหารจัดการน้ำสูญเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในปัจจุบันและในอนาคตได้

3. ขอบเขตของการศึกษา

มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ตั้งอยู่เลขที่ 999 ถนนพุทธมณฑล สาย 4 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม มีพื้นที่ 1,242 ไร่ 20 ตารางวา หรือประมาณ 2 ตารางกิโลเมตร โดยพื้นที่โครงการที่ดำเนินการศึกษาในปัจจุบัน ติดตั้งมาตรน้ำประปาดิจิตอลแบบอุลตร้าโซนิค มีจำนวนทั้งหมด 90 มาตร และมาตรวัดน้ำประปาแบบใบพัด มีจำนวนทั้งหมด 3 มาตร



รูปที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา [1]

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลสถิติปริมาณน้ำประปา ภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 ถึงปี 2566 ในการศึกษาปริมาณน้ำสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปาจากการเปลี่ยนอุปกรณ์มาตรวัดน้ำประปา โดยใช้ทฤษฎีการคำนวณการสูญเสียค่าน้ำประปาเฉลี่ย จะดำเนินการคำนวณได้โดย ดังสมการที่ 1 [2]

$$\text{การสูญเสียน้ำประปา} = \left[\frac{W_t - W_s - W_f}{W_t}\right] \times 100\% \quad \text{สมการที่ 1 [2]}$$

โดย W_t คือปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำประปาหลัก ของระบบจ่ายน้ำภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา

W_s คือผลรวมของปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำย่อยของแต่อาคาร ภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา

W_f คือปริมาณน้ำที่มีการสูญเสียจากการใช้ประโยชน์สาธารณะส่วนกลาง เช่น รดน้ำต้นไม้ ล้างพื้นถนน ล้างหัวดับเพลิง ล้างท่อจ่ายน้ำประปา เป็นต้น โดยที่ปริมาณน้ำไม่ได้ผ่านมาตรวัดน้ำประปา

โดยข้อมูลที่ผู้วิจัยนำมาวิเคราะห์ข้อมูลการสูญเสียน้ำประปา มีองค์ประกอบดังนี้

1. ปริมาณน้ำประปาจากมาตรวัดน้ำประปาหลักของระบบจ่ายน้ำภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ซึ่งติดตั้งโดยการประปาส่วนภูมิภาค
2. ปริมาณน้ำประปาจากมาตรวัดน้ำประปาย่อยของแต่ละอาคาร ภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ซึ่งติดตั้งโดยมหาวิทยาลัยมหิดล
3. ปริมาณน้ำประปาที่ใช้สาธารณะประโยชน์ โดยไม่ผ่านการเก็บข้อมูลจากมาตรวัดน้ำประปา
4. มาตรวัดน้ำประปาแบบใบพัด ซึ่งประกอบด้วยใบพัดที่สามารถหมุนและถ่ายทอดผ่านกลไกของมาตรวัดน้ำปรากฏเป็นหน่วยน้ำแสดงบนหน้าปัดมาตรวัดน้ำ ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 มาตรวัดน้ำประปาแบบใบพัด [3]

5. มาตรวัดน้ำประปาดิจิตอลแบบอุลตร้าโซนิค เป็นแบบ Ultrasonic Transit time ด้วย dual - beam sensors โดยวัดเวลาที่แตกต่างของคลื่นเสียงซึ่งเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นน้ำจาก sensor ด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ตามทิศทางการไหลของน้ำและทิศทางทวนกระแสน้ำ โดย sensor แต่ละตัวจะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวส่งสัญญาณและรับสัญญาณคลื่นเสียง เวลาที่แตกต่างนี้ (time differential) จะใช้ในการคำนวณหาความเร็วของน้ำ ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 มาตรวัดน้ำประปาดิจิตอลแบบอุลตร้าโซนิค [3]

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ซึ่งทางผู้วิจัยได้นำข้อมูล และรวบรวมสถิติปริมาณการใช้น้ำประปาภายในมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา พร้อมทั้งเปรียบเทียบข้อมูลการสูญเสียน้ำประปา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2562 จนถึง พ.ศ.2566

ตารางที่ 1 ตารางสรุปริมาณการใช้น้ำประปา ประจำปี 2562 - 2566 (หน่วยเป็น ลบ.ม.) [4]

ลำดับ	ปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำประปาหลัก (กปภ.)	รวมปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำย่อยของแต่ละอาคาร	ปริมาณน้ำส่วนกลาง
2562	899,520	834,907	150
2563	681,682	628,083	350
2564	518,990	471,406	22,500
2565	627,021	601,114	1,200
2566	727,312	703,937	4,800

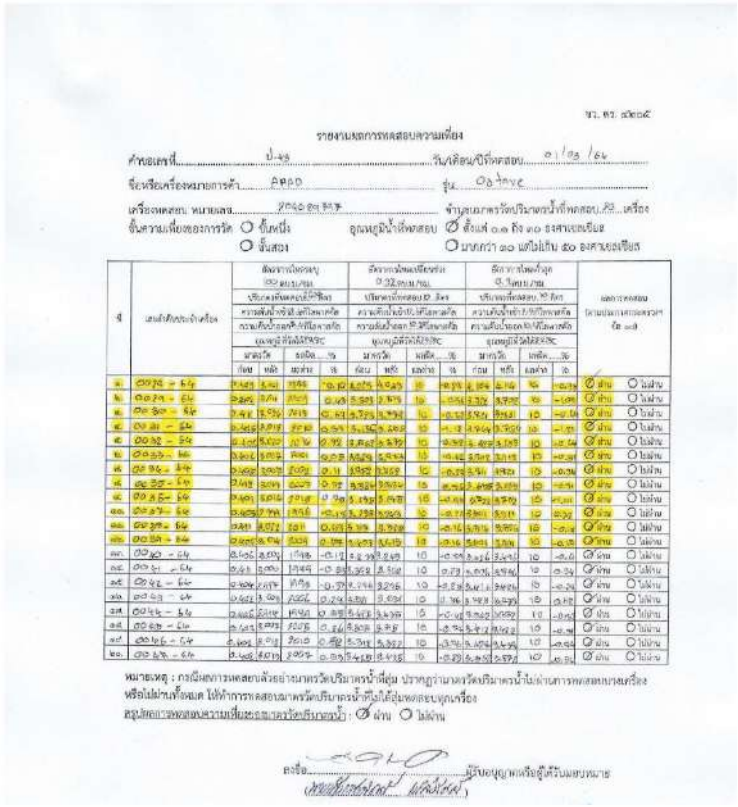
โดยจากข้อมูลข้างต้นมีการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปาในแต่ละเดือน ตามรายละเอียดดังนี้

1. ใบแจ้งหนี้ค่าน้ำประปา มหาวิทยาลัยมหิดล การประปาส่วนภูมิภาคสาขาอ้อมน้อย

2. การจดปริมาณการใช้น้ำประปาของแต่ละอาคารภายในมหาวิทยาลัยมหิดล โดยหน่วยระบบน้ำและเครื่องกล งานสาธารณูปโภคและระบบอาคาร กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล

รูปที่ 4 หน้ามาตรบ่งบอกปริมาณการใช้น้ำประปาแบบใบพัด ของแต่ละอาคารย่อย [3]

รูปที่ 5 หน้ามาตรบ่งบอกปริมาณการใช้น้ำประปาดิจิตอลแบบอุลตร้าโซนิค ของแต่ละอาคารย่อย [3]



รายงานผลการทดสอบความเที่ยง

รูปที่ 6 ตัวอย่างข้อมูลรายงานการทดสอบความเที่ยงตรง มาตรวัดน้ำดิจิตอลแบบอุลตร้าโซนิคที่ติดตั้งภายในมหาวิทยาลัยมหิดล โดยสำนักงานชั่งตวงวัดกระทรวงพาณิชย์ [3]

5.ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์โดยการนำข้อมูลปริมาณน้ำประปาจากมาตรวัดน้ำประปา จากตารางที่ 1 มาแทนค่าตามสมการการสูญเสียน้ำประปา ดังสมการที่ 1 [2] ดังนี้

$$\text{การสูญเสียน้ำประปา} = \left[\frac{W_t - W_s - W_f}{W_t}\right] \times 100\% \text{ สมการที่ 1 [2]}$$

โดย W_t คือปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำประปาหลัก ของระบบจ่ายน้ำภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา

W_s คือผลรวมของปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำย่อยของแต่อาคาร ภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา

W_f คือปริมาณน้ำที่มีการสูญเสียจากการใช้ประโยชน์สาธารณะส่วนกลาง เช่น รดน้ำต้นไม้ ล้างพื้นถนน ล้างหัวดับเพลิง ล้างท่อจ่ายน้ำประปา เป็นต้น โดยที่ปริมาณน้ำไม่ได้ผ่านมาตรวัดน้ำประปา

5.1 ผลการศึกษาข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปาในปี พ.ศ.2562

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำประปา ประจำปี 2562 (หน่วยเป็น ลบ.ม.) [4]

ลำดับ	ปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำประปาหลัก (กปภ.)	รวมปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำย่อยของแต่ละอาคาร	ปริมาณน้ำส่วนกลาง
มกราคม	76,432	78,776	6
กุมภาพันธ์	74,699	65,300	16
มีนาคม	82,148	81,225	5
เมษายน	75,628	68,185	12
พฤษภาคม	87,464	82,466	11
มิถุนายน	64,899	59,391	18
กรกฎาคม	64,171	53,395	22
สิงหาคม	72,135	69,566	9
กันยายน	73,434	66,042	12
ตุลาคม	75,062	77,227	8
พฤศจิกายน	78,319	71,291	10
ธันวาคม	75,159	62,043	21
รวม	899,520	834,907	150
	ปริมาณการสูญเสียน้ำประปา ปี 2562		7.17%

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในปี พ.ศ.2562 พบว่า ปริมาณการใช้น้ำประปาจากมาตรวัดน้ำประปาหลักของระบบจ่ายน้ำภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา (W_t) ในระยะเวลารวม 1 ปี = 899,520.00 ลูกบาศก์เมตร ผลรวมของปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำย่อยของแต่อาคาร ภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา (W_s) ในระยะเวลารวม 1 ปี = 834,907.00 ลูกบาศก์เมตร และ ปริมาณน้ำที่มีการสูญเสียจากการใช้ประโยชน์สาธารณะส่วนกลาง (W_f) ในระยะเวลารวม 1 ปี = 150.00 ลูกบาศก์เมตร โดยได้คำนวณการอัตราการรั่วไหลของระบบเมนจ่ายน้ำประปา ดังตารางที่ 2 ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากข้างต้นแทนค่าในสมการที่ 1 [2] จะได้ค่าการสูญเสียน้ำประปา ดังนี้

$$\left[\frac{899{,}520.00 - 834{,}907 - 150}{899{,}520.00}\right] \times 100\% = 7.37\ \%$$

ดังนั้น ในปี พ.ศ.2562 ปริมาณการสูญเสียน้ำประปา โดยประมาณ อยู่ที่ 7.37 % ซึ่งในปี พ.ศ.2562 มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ใช้มาตรวัดน้ำประปาแบบใบพัด

5.2 ผลการศึกษาข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปาในปี พ.ศ.2563

ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำประปา ประจำปี 2563 (หน่วยเป็น ลบ.ม.) [4]

ลำดับ	ปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำประปาหลัก (กปภ.)	รวมปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำย่อยของแต่ละอาคาร	ปริมาณน้ำส่วนกลาง
มกราคม	79,102	73,958	11
กุมภาพันธ์	76,565	63,205	32
มีนาคม	61,357	55,636	36
เมษายน	44,808	40,247	41
พฤษภาคม	45,989	43,189	19
มิถุนายน	39,732	41,337	3
กรกฎาคม	42,187	47,249	4
สิงหาคม	62,059	50,905	68
กันยายน	54,686	49,026	59
ตุลาคม	58,671	60,163	5
พฤศจิกายน	60,226	52,409	42
ธันวาคม	56,300	50,759	30
รวม	681,682	628,083	350
ปริมาณการสูญเสียน้ำประปา ปี 2563			7.81%

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในปี พ.ศ.2563 พบว่า ปริมาณการใช้น้ำประปาจากมาตรวัดน้ำประปาหลักของระบบจ่ายน้ำภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา (W_t) ในระยะเวลารวม 1 ปี = 681,682 .00 ลูกบาศก์เมตร ผลรวมของปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำย่อยของแต่อาคาร ภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา (W_s) ในระยะเวลารวม 1 ปี = 628,083.00 ลูกบาศก์เมตร และ ปริมาณน้ำที่มีการสูญเสียจากการใช้ประโยชน์สาธารณะส่วนกลาง (W_f) ในระยะเวลารวม 1 ปี = 350.00 ลูกบาศก์เมตร โดยได้คำนวณการอัตราการรั่วไหลของระบบเมนจ่ายน้ำประปา ดังตารางที่ 3 ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากข้างต้นแทนค่าในสมการที่ 1 [2] จะได้ค่าการสูญเสียน้ำประปา ดังนี้

$$\left[\frac{681,682 - 628,083 - 350}{681,682}\right] \times 100\% = 7.81\ \%$$

ดังนั้น ในปี พ.ศ.2563 ปริมาณการสูญเสียน้ำประปา อยู่ที่ 7.81 % โดยประมาณ ซึ่งในปี พ.ศ.2563 มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ใช้มาตรวัดน้ำประปาแบบใบพัด

5.3 ผลการศึกษาข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปาในปี พ.ศ.2564

ตารางที่ 4 ตารางเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำประปา ประจำปี 2564 (หน่วยเป็น ลบ.ม.) [4]

ลำดับ	ปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำประปาหลัก (กปภ.)	รวมปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำย่อยของแต่ละอาคาร	ปริมาณน้ำส่วนกลาง
มกราคม	47,788	38,461	3,000
กุมภาพันธ์	54,818	47,766	2,900
มีนาคม	61,945	55,570	2,500
เมษายน	46,710	43,221	2,900
พฤษภาคม	48,623	43,825	2,500
มิถุนายน	43,806	38,512	2,200
กรกฎาคม	35,637	33,404	2,200
สิงหาคม	33,464	29,684	2,200
กันยายน	33,654	31,468	1,600
ตุลาคม	32,015	31,834	250
พฤศจิกายน	38,688	35,202	130
ธันวาคม	41,842	42,459	120
รวม	518,990	471,406	22,500
	ปริมาณการสูญเสียน้ำประปา ปี 2564		4.83%

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในปี พ.ศ.2564 พบว่า ปริมาณการใช้น้ำประปาจากมาตรวัดน้ำประปาหลักของระบบจ่ายน้ำภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา (W_t) ในระยะเวลารวม 1 ปี = 518,990.00 ลูกบาศก์เมตร ผลรวมของปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำย่อยของแต่อาคาร ภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา (W_s) ในระยะเวลารวม 1 ปี = 471,406.00 ลูกบาศก์เมตร และ ปริมาณน้ำที่มีการสูญเสียจากการใช้ประโยชน์สาธารณะส่วนกลาง (W_f) ในระยะเวลารวม 1 ปี = 22,500.00 ลูกบาศก์เมตร โดยค่าน้ำสูญเสียจำนวนมากเป็นผลมาจากมีโครงการปรับปรุงระบบท่อ หัวดับเพลิง ส่วนกลาง ภายในมหาวิทยาลัยมหิดล ดังตารางที่ 4 ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากข้างต้นแทนค่าในสมการที่ 1 [2] จะได้ค่าการสูญเสียน้ำประปา ดังนี้

$$\left[\frac{518{,}990 - 471{,}406 - 22{,}500}{518{,}990}\right] \times 100\% = 4.83\ \%$$

ดังนั้น ในปี พ.ศ.2564 ปริมาณการสูญเสียน้ำประปา อยู่ที่ 4.83 % โดยประมาณ ซึ่งในปี พ.ศ.2564 มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ได้ดำเนินการเริ่มโครงการเปลี่ยนมาตรวัดน้ำประปาดิจิตอล ระยะที่ 1 จำนวน 24 มาตร และยังคงเหลือมาตรวัดน้ำประปาแบบใบพัด จำนวน 66 มาตร

5.4 ผลการศึกษาข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปาในปี พ.ศ.2565

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำประปา ประจำปี 2565 (หน่วยเป็น ลบ.ม.) [4]

ลำดับ	ปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำประปาหลัก (กปภ.)	รวมปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำย่อยของแต่ละอาคาร	ปริมาณน้ำส่วนกลาง
มกราคม	47,125	43,341	150
กุมภาพันธ์	47,968	47,311	5
มีนาคม	51,467	46,645	120
เมษายน	48,665	41,719	145
พฤษภาคม	50,992	54,305	0
มิถุนายน	45,619	45,026	10
กรกฎาคม	43,034	39,983	7
สิงหาคม	58,354	55,284	123
กันยายน	61,625	63,117	0
ตุลาคม	59,434	54,111	340
พฤศจิกายน	60,620	59,411	180
ธันวาคม	52,118	50,861	120
รวม	627,021	601,114	1,200
ปริมาณการสูญเสียน้ำประปา ปี 2565			3.94%

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในปี พ.ศ.2565 พบว่า ปริมาณการใช้น้ำประปาจากมาตรวัดน้ำประปาหลักของระบบจ่ายน้ำภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา (W_t) ในระยะเวลารวม 1 ปี = 627,021.00 ลูกบาศก์เมตร ผลรวมของปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำย่อยของแต่อาคาร ภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา (W_s) ในระยะเวลารวม 1 ปี = 601,114.00 ลูกบาศก์เมตร และ ปริมาณน้ำที่มีการสูญเสียจากการใช้ประโยชน์สาธารณะส่วนกลาง (W_f) ในระยะเวลารวม 1 ปี = 1,200.00 ลูกบาศก์เมตร โดยได้คำนวณการอัตราการรั่วไหลของระบบเมนจ่ายน้ำประปาและการบำรุงรักษาระบบท่อหัวดับเพลิง ดังตารางที่ 5 ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากข้างต้นแทนค่าในสมการที่ 1 [2] จะได้ค่าการสูญเสียน้ำประปา ดังนี้

$$\left[\frac{627{,}021 - 601{,}114 - 1{,}200}{627{,}021}\right] \times 100\% = 3.94\ \%$$

ดังนั้น ในปี พ.ศ.2565 ปริมาณการสูญเสียน้ำประปา อยู่ที่ 3.94 % โดยประมาณ ในปี พ.ศ.2565 มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ได้ดำเนินการเริ่มโครงการเปลี่ยนมาตรวัดน้ำประปาดิจิตอล ระยะที่ 2 จึงทำให้มีมาตรวัดน้ำประปาแบบดิจิตอลจำนวน 24 มาตร รวมจากโครงการระยะที่ 1 เป็นจำนวน 48 มาตร และยังคงเหลือมาตรวัดน้ำประปาแบบใบพัด จำนวน 42 มาตร

5.5 ผลการศึกษาข้อมูลปริมาณการใช้น้ำประปาในปี พ.ศ.2566

ตารางที่ 6 ตารางเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำประปา ประจำปี 2566 (หน่วยเป็น ลบ.ม.) [4]

ลำดับ	ปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำประปาหลัก (กปภ.)	รวมปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำย่อยของแต่ละอาคาร	ปริมาณน้ำส่วนกลาง
มกราคม	59,387	56,110	560
กุมภาพันธ์	58,122	55,864	15
มีนาคม	73,738	73,675	0
เมษายน	62,645	57,518	605
พฤษภาคม	62,543	61,915	35
มิถุนายน	48,605	51,377	0
กรกฎาคม	52,255	49,087	250
สิงหาคม	59,805	56,653	490
กันยายน	67,440	64,980	310
ตุลาคม	61,528	60,632	960
พฤศจิกายน	65,344	62,877	725
ธันวาคม	55,900	53,244	850
รวม	727,312	703,937	4,800
ปริมาณการสูญเสียน้ำประปา ปี 2566			2.55%

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในปี พ.ศ.2566 พบว่า ปริมาณการใช้น้ำประปาจากมาตรวัดน้ำประปาหลักของระบบจ่ายน้ำภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา (W_t) ในระยะเวลารวม 1 ปี = 727,312.00 ลูกบาศก์เมตร ผลรวมของปริมาณน้ำประปามาตรวัดน้ำย่อยของแต่อาคาร ภายในพื้นที่ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา (W_s) ในระยะเวลารวม 1 ปี = 703,937.00 ลูกบาศก์เมตร และ ปริมาณน้ำที่มีการสูญเสียจากการใช้ประโยชน์สาธารณะส่วนกลาง (W_f) ในระยะเวลารวม 1 ปี = 4,800.00 ลูกบาศก์เมตร โดยค่าน้ำสูญเสียจำนวนมากเป็นผลมาจากมีโครงการปรับปรุงระบบท่อ หัวดับเพลิง ส่วนกลาง ภายในมหาวิทยาลัยมหิดล ดังตารางที่ 6 ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากข้างต้นแทนค่าในสมการที่ 1 [2] จะได้ค่าการสูญเสียน้ำประปา ดังนี้

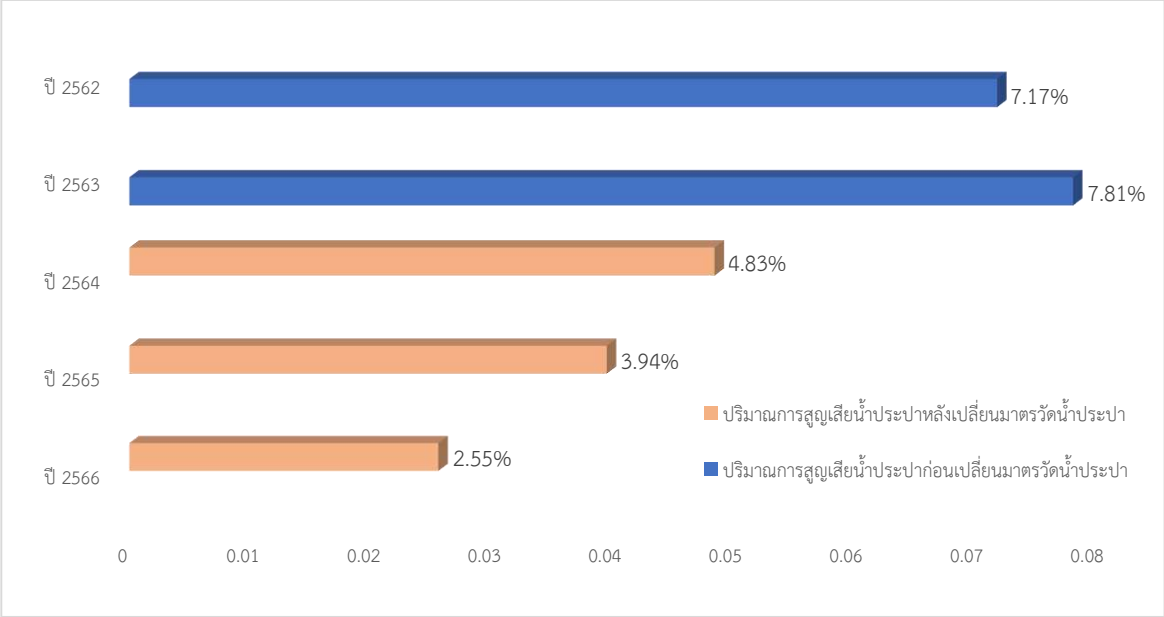
$$\left[\frac{727{,}312 - 703{,}937 - 4{,}800}{727{,}312}\right] \times 100\% = 2.55\ \%$$

ดังนั้น ในปี พ.ศ.2566 ปริมาณการสูญเสียน้ำประปา อยู่ที่ 2.55 % โดยประมาณ ในปี พ.ศ.2566 มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ได้ดำเนินการเริ่มโครงการเปลี่ยนมาตรวัดน้ำประปาดิจิตอล ระยะที่ 3 (สุดท้าย) จึงทำให้มีมาตรวัดน้ำประปาแบบดิจิตอล จำนวน 42 มาตร รวมจากโครงการระยะที่ 1 และโครงการระยะที่ 2 เป็นจำนวน 90 มาตร

6. สรุปผลการศึกษา

จากข้อมูลที่ทางผู้วิจัยได้ทำกรวิเคราะห์ปริมาณน้ำสูญเสียจากการดำเนินการเปลี่ยนมาตรวัดน้ำประปาดิจิตอลแบบอุลตร้าโซนิคแล้ว พบว่าสามารถลดการสูญเสียน้ำประปาอย่างเห็นได้ชัดจากการเปลี่ยนอุปกรณ์มาตรวัดน้ำประปา โดยก่อนเริ่มโครงการเปลี่ยนมาตรวัดน้ำประปาดิจิตอล ในปี พ.ศ. 2562 และปี พ.ศ. 2563 ปริมาณน้ำสูญเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 7.37 % และ 7.81 % ตามลำดับ และเมื่อหน่วยระบบน้ำและเครื่องกล งานสาธารณูปโภคและระบบอาคาร กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล เริ่มดำเนินการโครงการเปลี่ยนมาตรวัดน้ำประปาดิจิตอล ระยะที่ 1 ในปี 2564 ส่งผลการเปลี่ยนแปลงในการลดการสูญเสียน้ำประปาอย่างเห็นได้ชัด โดยปริมาณน้ำสูญเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 4.83 % ในปี พ.ศ. 2565 และปี พ.ศ. 2566 ปริมาณน้ำสูญเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 3.94 % และ 2.55 % ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำสูญเสียลดลงร้อยละ 65.95 % เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำสูญเสียก่อนดำเนินงานเปลี่ยนมาตรวัดน้ำประปาดิจิตอลแบบอุลตร้าโซนิค

ดังนั้นจากงานวิจัยนี้สามารถบ่งบอกได้ว่าการเปลี่ยนอุปกรณ์มาตรวัดน้ำประปาแบบใบพัดเป็นมาตรวัดน้ำประปาดิจิตอลแบบอุลตร้าโซนิคสามารถลดน้ำสูญเสียในระบบจ่ายน้ำประปาภายในมหาวิทยาลัยมหิดลได้ นำข้อมูลมาแนวทางในการวางแผนบริหารจัดการน้ำสูญเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำ ภายในมหาวิทยาลัยมหิดลได้เป็นอย่างดี อีกทั้งสามารถใช้เป็นโครงการศึกษาเพื่อนำร่องในการลดปริมาณน้ำสูญเสียเชิงกายภาพได้ ซึ่งหากเป็นพื้นที่จ่ายระบบเมนน้ำประปาไปยังพื้นที่ต่างๆ จะยังช่วยลดปริมาณน้ำสูญเสีย และยังเป็นการพัฒนาการจัดการบริหารการจ่ายระบบน้ำประปาสู่ความยั่งยืน



รูปที่ 7 แสดงผลสรุปปริมาณการสูญเสียน้ำประปา ปี 2562 – 2566

เอกสารอ้างอิง

[1] มหาวิทยาลัยมหิดล. (2562). แผนผังมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา.
[2] การประปาส่วนภูมิภาค (กปภ.) (2556). ข้อกำหนดขอบเขตของงาน (TOR) งานจ้างบริหารจัดการและควบคุมน้ำสูญเสีย การประปาส่วนภูมิภาค สาขาขอนแก่น(ชั้นพิเศษ) จังหวัดขอนแก่น. เข้าถึงได้จาก: https://www.pwa.co.th/purchase/tor/f1/201209/20120928113547.pdf
[3] มหาวิทยาลัยมหิดล. (2564). โครงการติดตั้งมาตรวัดน้ำประปาดิจิตอล ระยะที่ 1 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 1 งาน.
[4] หน่วยระบบน้ำและเครื่องกล กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล. รายงานสถิติการใช้น้ำประปา. เข้าถึงได้จาก: https://op.mahidol.ac.th/pe/2018/3109/#1583492212055-6b960ddc-73ca

การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ กรณีศึกษา: สถานประกอบการซ่อมแซมทองรูปพรรณและเครื่องประดับแห่งหนึ่ง

ฟาติมะฮ์ เยี่ยมนิคม[1,2*]

[1]วิทยาลัยอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร
[2]คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร
* Corresponding author: fatimah.ynk@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) ของสถานประกอบการซ่อมแซมทองรูปพรรณและเครื่องประดับแห่งนึง โดยศึกษากระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) และควบคุมปริมาณสารเคมีในกระบวนการ ได้แก่ โพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3), สารส้ม ($Al_2(SO_4)_3(NH_4)_2SO_4 \cdot 24H_2O$) และกรดไนตริก ($HNO_3$) พร้อมทั้งประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ มุ่งลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและเพิ่มความยั่งยืนในอุตสาหกรรม ครอบคลุมการพัฒนาการจัดการของเสียอย่างเหมาะสม การลดสารเคมีแต่ยังคงคุณภาพสีของชิ้นงานตามมาตรฐานของสถานประกอบการ ผลการศึกษาในช่วง 3 เดือนภายหลังการปรับปรุงพบว่าการลดปริมาณสารเคมีลง 20% จากกระบวนการเดิมนั้นยังคงรักษาคุณภาพสีของชิ้นงานให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสถานประกอบการ ส่งผลให้แนวโน้มการใช้สารเคมีลดลงเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของปีก่อนหน้า และพบแนวโน้มการลดลงของปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อจำกัดในการวิจัยจึงไม่สามารถระบุปริมาณที่ลดลงได้อย่างแน่ชัด การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศครอบคลุมองค์ประกอบหลัก ได้แก่ การบริหารทรัพยากรบุคคล การปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงาน และการเลือกนวัตกรรมหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ สามารถลดการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ถึง 18.942% ส่งผลให้กระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณมีมูลค่าทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าที่สูงขึ้น แม้ว่าค่า Eco-efficiency จะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจาก 1.773 ไปยัง 1.783 $kgCO_2e/kg$ แต่แสดงถึงแนวโน้มที่ดีต่อการจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการอุตสาหกรรมสีเขียว งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางปฏิบัติสำหรับการจัดการสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตใกล้เคียงกัน และสนับสนุนข้อมูลสำหรับการกำหนดนโยบายการดำเนินธุรกิจที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เสริมสร้างศักยภาพการแข่งขันสอดคล้องกับมาตรฐานสิ่งแวดล้อมทั้งในประเทศและระดับสากล

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ / ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม / กระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ / การจัดการของเสีย / การลดสารเคมี

Eco-Efficiency Assessment: A Case Study of a Gold Jewelry and Ornament Repair Establishment

Fatimah Yaimnikom[1,2*]

[1]*College of Creative Industry, Srinakharinwirot University, Thailand.*
[2]*Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University, Thailand.*
* Corresponding author: fatimah.ynk@g.swu.ac.th

Abstract

This article presents an evaluation of the eco-efficiency of a gold and jewelry refurbishment facility by analyzing the refurbishment process and controlling the use of key chemicals, including potassium nitrate (KNO_3), alum ($Al_2 (SO_4)_3 (NH_4)_2 SO_4 \cdot 24H_2O$) and nitric acid ($HNO_3$). The research assesses both environmental and economic impacts, focusing on reducing environmental effects and promoting sustainability in the industry. It also emphasizes proper waste management and chemical reduction while ensuring that the color quality of refurbished products meets the establishment's standards. The results from a three-month period after implementing improvements showed that reducing chemical quantities by 20% from the original process maintained the color quality of workpieces within the establishment's standard criteria. This resulted in a downward trend in chemical usage compared to the previous year's average and a decreasing trend in waste generation. However, due to research limitations, the exact reduction amount could not be precisely determined. Key elements of the eco-efficiency assessment included human resource management, process modification, and the use of suitable innovations or technology. These adjustments decreased Carbon Footprint by 18.942%, resulting in a greater value-added coefficient that indicates increased economic worth of the gold jewelry repair process. Although the eco-efficiency value changed only slightly from 1.773 to 1.783 kgCO2e/kg, it indicates a positive trend toward efficient resource management, aligning with green industry principles. This research presents practical guidelines for environmental management in industries with similar production processes and provides information to support environmentally friendly business policy formulation. It enhances competitive potential in line with both domestic and international environmental standards.

Keywords: Eco-Efficiency / Environmental Management System / Gold Jewelry Refurbishment / Waste Management / Chemical Reduction

1. บทนำ

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับในประเทศไทยส่วนใหญ่ล้วนเป็นธุรกิจขนาดย่อม (SMEs) ดำเนินการธุรกิจตั้งแต่ในกิจการกลุ่มเครื่องประดับจากการใช้วัสดุที่มีค่า เช่น ทองคำ เงิน แพลตินัม เป็นต้น ไปจนถึงกลุ่มเครื่องประดับจากการใช้วัสดุที่ไม่ได้มาจากธรรมชาติ [1] แม้ว่าภาคอุตสาหกรรมนี้จะมีการพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีการผลิตอย่างต่อเนื่อง แต่ยังพบปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ เช่นการศึกษาในกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) มีการใช้สารเคมีหลายประเภทและอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชมโดยรอบ การศึกษานี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์กระบวนการภายในสถานประกอบการที่ดำเนินธุรกิจค้าปลีกทองรูปพรรณ เพื่อตรวจสอบและประเมินระดับมลพิษที่เกิดขึ้นในกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ โดยใช้แนวคิดด้านสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมทองคำและเครื่องประดับในกลุ่มธุรกิจขนาดย่อม (SMEs) ในปัจจุบันยังขาดแนวทางที่ชัดเจนในการจัดการมลพิษที่เกิดขึ้นจากกระบวนการดังกล่าว ส่งผลให้เกิดความท้าทายในการควบคุมและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และปัญหาจากการร้องเรียนจากชุมชมบริเวณใกล้เคียง

ด้วยกิจการในกลุ่มอุตสาหกรรมค้าปลีกทองรูปพรรณและเครื่องประดับ มีแนวทางการให้บริการหลังการขาย เช่น การทำความสะอาดและซ่อมแซมสินค้าโดยไม่มีค่าใช้จ่าย ตลอดอายุการใช้งาน ซึ่งถือเป็นกลยุทธ์ทางการตลาดที่ช่วยสร้างความแตกต่างและเสริมสร้างความได้เปรียบเชิงการแข่งขัน เพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าในอุตสาหกรรมค้าปลีกทองรูปพรรณที่มีการแข่งขันสูง โดยลักษณะการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) มีกระบวนการตัดแต่งและทำความสะอาดให้สวยงามตามมาตรฐาน [2] เป็นผลทำให้มีการใช้ทรัพยากร สารเคมี และวัสดุอุปกรณ์สิ้นเปลือง ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ได้แก่ การจัดการน้ำทิ้งและน้ำเสียจากกระบวนการ การจัดการคุณภาพอากาศ การจัดการสารเคมี และการจัดการของเสียทั้งที่เป็นอันตรายและไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม หรือแม้แต่การปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) กระบวนการผลิตสู่สิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก การประเมินมลพิษสิ่งแวดล้อมจึงเป็นขั้นตอนสำคัญในการจัดหาแนวทางการลดและป้องกันมลพิษอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีความจำเป็นต่อการพัฒนากระบวนการทำงาน การสร้างนวัตกรรมด้านการจัดการ และการกำหนดรูปแบบการดำเนินงานที่สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้เหลือน้อยที่สุด [3] โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้จัดทำคู่มือระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management System : EMS) เพื่อเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการแข่งขันด้านการค้าในระดับประเทศ การนำระบบการปฏิบัติงานเหล่านี้ไปปรับใช้ในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม สถานประกอบการ หรือแม้แต่องค์กรเล็กๆ ทั่วไปนั้นก็เพื่อสร้างความได้เปรียบในเรื่องการบริหารจัดการในการผลิต ส่งออก อันเป็นการสร้างโอกาสในด้านดุลการค้า

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการดำเนินงานด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบและได้รับการรับรองตามมาตรฐานสากล (ISO 14001) ส่วนใหญ่เป็นโรงงานที่มีขนาดใหญ่ในขณะที่โรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมจำนวนมากที่ยังไม่มีการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบเนื่องด้วยข้อจำกัดทั้งในเรื่องของความรู้เกี่ยวกับการจัดการสิ่งแวดล้อม บุคลากร และปัจจัยด้านเงินทุน [4] การสนับสนุนภาคอุตสาหกรรมของประเทศเพื่อมุ่งสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development) เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงและการพัฒนาที่เป็นรูปธรรมให้เห็นผลที่ชัดเจนและจับต้องได้ แนวคิดหลักที่สำคัญในหลายโครงการที่จัดขึ้นในประเทศ คือ การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement) และการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development) ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นแรงขับเคลื่อนภาคอุตสาหกรรมที่เกิดความสมัครใจในการมีเจตนาดำเนินธุรกิจให้เป็นมิตรต่อชุมชน สังคม สิ่งแวดล้อม รวมถึงการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน นำไปสู่การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นในด้านสิ่งแวดล้อม ครอบคลุมไปจนถึงการเกิดของเสียและมลพิษ แนวทางการพัฒนาเหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบ

สิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิต และในด้านการจัดการของเสียและมลพิษที่เกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรม เพื่อหาตัวบ่งชี้ที่สำคัญในการเพิ่มความสามารถการลดใช้สารเคมีและทรัพยากรอื่นๆ [5, 6] สร้างสมดุลความก้าวหน้าในด้านเศรษฐกิจและลดการใช้ทรัพยากรซึ่งมีความสำคัญในการเพิ่มมูลค่าโดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง [7] อย่างไรก็ตามยังพบว่ากระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) ยังขาดการศึกษาที่ชัดเจนด้านการจัดการสารเคมี การจัดการของเสียที่ปนเปื้อนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในระดับสถานประกอบการขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ข้อมูลจากการวิจัยนี้ก็เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดการสร้างสมดุลระหว่างความก้าวหน้าทางเศรษฐกิจและปกป้องรักษาระบบนิเวศไปพร้อมๆ กัน เพิ่มภาพลักษณ์ที่ดีให้กับองค์กร ได้รับการยอมรับจากลูกค้า สามารถลดความขัดแย้งต่อผู้บริโภคและชุมชุมรอบโรงงาน ประหยัดค่าใช้จ่ายในระยะยาวเนื่องจากสามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตและใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่า มีผลต่อการประหยัดต้นทุนการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมบริเวณโรงงานและรอบโรงงาน [8]

จากประเด็นข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบจากกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ โดยให้ความสำคัญกับการลดใช้สารเคมีเพื่อลดปริมาณของเสีย และลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมไม่ว่าจะเป็นไอระเหย ฟูม จากกระบวนการใช้สารเคมี น้ำเสียจากกระบวนการที่ไม่ได้รับการบำบัดก่อนปล่อยสู่สาธารณะ และผลกระทบที่ได้รับการร้องเรียนจากชุมชนบริเวณใกล้เคียง เป็นต้น ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจะถูกนำมาประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของสถานประกอบกิจการทองคำและเครื่องประดับ เพื่อพัฒนาแนวทางการดำเนินธุรกิจที่สมดุลระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจและการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษากระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) ในสถานประกอบกิจการ และควบคุมปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการได้แก่ โพแทสเซียมไนเตรท หรือดินประสิว (Potassium nitrate: KNO_3) สารส้ม (Aluminum Ammonium Sulfate: $Al_2(So_4)_3(NH_4)2SO_424H_2O$) และกรดไนตริก ($HNO_3$)
2. ประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) ของสถานประกอบการซ่อมแซมทองรูปพรรณและเครื่องประดับ

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ผลจากกระบวนการทำงานของแผนกซ่อมแซมทองรูปพรรณในสถานประกอบการแห่งหนึ่งที่ประกอบธุรกิจค้าปลีกทองรูปพรรณ โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1.การศึกษาปริมาณและชนิดของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ ดังรูปที่ 2 ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีการใช้สารเคมีในปริมาณมากที่สุดภายในสถานประกอบการ และมีแนวโน้มส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ดำเนินการ โดยขอบเขตการศึกษาจะไม่รวมสารเคมีในกระบวนการอื่นๆ เนื่องจากเป็นความลับทางการค้าของสถานประกอบการ สารเคมีที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่

- โพแทสเซียมไนเตรท หรือดินประสิว (Potassium nitrate: KNO_3)
- สารส้ม (Aluminum Ammonium Sulfate: $Al_2(So_4)_3(NH_4)2SO_424H_2O$)
- กรดไนตริก (HNO_3)

2. การประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency) ได้แก่ ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้สารเคมีในกระบวนการ

4. วิธีการศึกษา

การศึกษาในงานวิจัยนี้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลทั่วไป และข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของสถานประกอบการอุตสาหกรรมซ่อมแซมทองรูปพรรณและเครื่องประดับแห่งหนึ่งในประเทศไทย โดยนำแนวคิดอุตสาหกรรมสีเขียว (Green Industry: GI) มาปรับใช้ให้เกิดการพัฒนากระบวนการที่เหมาะสม มีเป้าหมายเพื่อลดอัตราการใช้สารเคมี และของเสียลดลงในกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2567 จนถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ข้อมูลดังกล่าวจะถูกประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency Analysis) รายละเอียดและขั้นตอนการวิจัยดำเนินตามกรอบการวิจัย ดังรูปที่ 1

4.1 การออกแบบการวิจัยและการรวบรวมข้อมูล

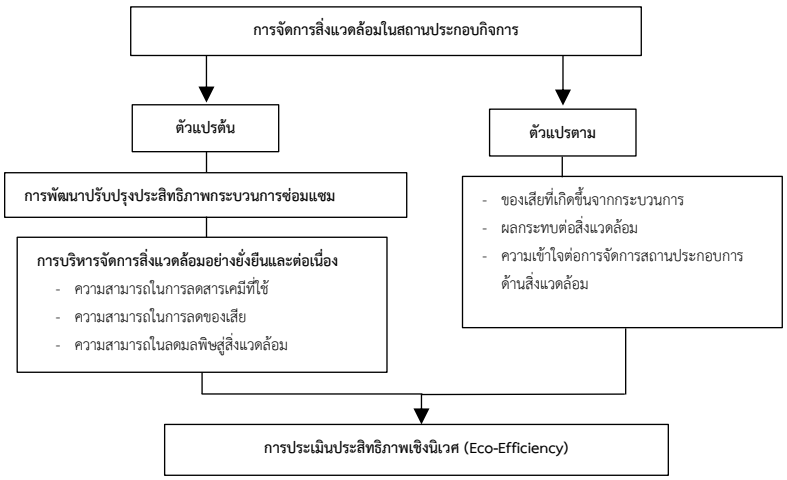
ขั้นตอนที่ 1 ดำเนินการศึกษากระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอน โดยเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสังเกตและสอบถามข้อมูลจากการปฏิบัติงานของพนักงานในพื้นที่และรวบรวมเอกสารการจัดการสิ่งแวดล้อมของสถานประกอบการจากหน่วยงานที่รับผิดชอบ

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการปฏิบัติงาน โดยเริ่มจากการวิเคราะห์สารเคมีที่ใช้ในส่วนของการต้ม ล้าง ทำสี สินค้าประเภททองรูปพรรณเท่านั้น

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์ปัญหาสิ่งแวดล้อม ตามแนวคิดในหลักวิชาการค้นคว้าข้อกำหนด กฎหมาย รวมถึงมาตรฐานที่บังคับใช้กับกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) ทบทวนความรู้ความเข้าใจทั้งในด้านการวิเคราะห์ ด้านการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากเอกสารทางวิชาการ บทความ คู่มือ รวมทั้งตัวอย่างหรือกรณีศึกษาการจัดการสิ่งแวดล้อมที่สอดคล้องเพื่อให้สถานประกอบการ และพนักงาน ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทดลองโดยคำนวณการใช้สารเคมีในอัตราที่ลดลงร้อยละ 10 ร้อยละ 15 ร้อยละ 20 ร้อยละ 25 ร้อยละ 30 และร้อยละ 50 จากปริมาณสารเคมีเดิมที่ใช้ โดยเริ่มการทดลองเบื้องต้น (Preliminary Experiment) การทดลองเชิงปฏิบัติ (Implementation Experiment) และการปรับปรุงกระบวนการ (Process Optimization) ตามลำดับ ซึ่งอ้างอิงข้อมูลในแต่ละการทดลองจากการตรวจวัดคุณภาพของทองรูปพรรณตามมาตรฐานของบริษัท

ขั้นตอนที่ 5 รวบรวมและสรุปผลการวิจัยเพื่อประเมินความสามารถของการพัฒนากระบวนการในการลดอัตราการใช้สารเคมี ลดการเกิดของเสีย รวมถึงลดมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม โดยประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency)



รูปที่ 1 กรอบแนวทางการศึกษาวิจัย

4.2 การประเมินค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าจากการลดใช้สารเคมี

การวิเคราะห์คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าจากการลดสารเคมี (V_C) ใช้ในการวิเคราะห์มูลค่าเพิ่มที่เกิดขึ้นจากการลดต้นทุนเพิ่มผลประโยชน์ทางธุรกิจ [9] เพื่อเพิ่มประโยชน์และความยั่งยืนในการดำเนินกิจการ โดยวิเคราะห์ค่าก่อนและหลังการปรับลดสารเคมีในกระบวนการ ตลอดช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลตั้งแต่ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ดังสมการที่ 1, 2 นิยามสมการดังนี้

(1) **ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าก่อนการลดสารเคมี (V_a)**

$$= \frac{\text{มูลค่าทองรูปพรรณ (บาท)} - \text{ต้นทุนสารเคมีในกระบวนการเดิม (บาท)}}{\text{ต้นทุนสารเคมีในกระบวนการเดิม (บาท)}}$$

(2) **ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าหลังการลดสารเคมี (V_b)**

$$= \frac{\text{มูลค่าทองรูปพรรณ (บาท)} - \text{ต้นทุนสารเคมีในกระบวนการใหม่ (บาท)}}{\text{ต้นทุนสารเคมีในกระบวนการใหม่ (บาท)}}$$

(V_a)	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าก่อนปรับปรุงกระบวนการ
(V_b)	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าหลังปรับปรุงกระบวนการ
มูลค่าทองรูปพรรณ	คือ	ราคาขายออกทองรูปพรรณถัวเฉลี่ย 3 เดือนต่อปริมาณทองทั้งหมดในกระบวนการ โดยใช้ข้อมูลจากสมาคมค้าทองคำ [10]
ต้นทุนสารเคมีในกระบวนการเดิม	คือ	ราคาต้นทุนของสารเคมีที่ใช้เปรียบเทียบจากปริมาณการใช้ในกระบวนการเดิม
ต้นทุนสารเคมีในกระบวนการใหม่	คือ	ราคาต้นทุนของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการใหม่

4.3 การประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency)

การประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของสถานประกอบกิจการ สำหรับงานวิจัยนี้ อ้างอิงจากวิธีการประเมินจากการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจของ The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2000) [11] การเลือกตัวชี้วัดในการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของภาคธุรกิจนั้นๆ สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) ใช้ตัวชี้วัดในแง่ของต้นทุนจากปริมาณการใช้สารเคมีที่ลดลง สอดคล้องกับปริมาณการคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ซึ่งจะช่วยแสดงให้เห็นถึงความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม แสดงตามสมการดังนี้

$$\textbf{Eco-efficiency (ค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ)} = \frac{\textbf{Product or service value (รายได้หรือมูลค่าเพิ่ม)}}{\textbf{Environmental impact (ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม)}}$$

ในการศึกษาครั้งนี้ประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจตามช่วงเวลาในการเก็บข้อมูล โดยเปรียบเทียบการใช้สารเคมีกับการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ ในปริมาณทองรูปพรรณที่เท่ากัน มีการปรับใช้สมการจาก [7] ในการคำนวณ โดยค่า EE ที่สูงขึ้นแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นจากการปรับปรุงกระบวนการ แสดงตามสมการที่ 3 ดังนี้

(3)

$$EE = \frac{C_{(total)}}{\sum EI}$$

EE	คือ	ประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจากการลดสารเคมีในกระบวนการ ($kgCO_2e$/กิโลกรัม)
$C_{(total)}$	คือ	ต้นทุนสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการที่ทำการศึกษาทั้งหมด (กิโลกรัม)
$\sum EI$	คือ	ผลรวมของปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้สารเคมีในกระบวนการ ($kgCO_2e$/กิโลกรัม)

และนำมาคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงจากปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์สู่สิ่งแวดล้อมที่ลดลงจากการลดสารเคมีในกระบวนการทำให้ประสิทธิภาพด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมดีขึ้นทำให้ค่า %CO_2 Reduction สูงขึ้นเมื่อเทียบกับกระบวนการเดิม แสดงตามสมการที่ 4

(4)
$$\%CO_2\ \text{Reduction} = \frac{\Sigma EI_a - \Sigma EI_b}{\Sigma EI_a} \times 100$$

%CO_2 Reduction คือ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงการปลดปล่อย CO_2 จากการปรับปรุงกระบวนการ

ΣEI_a คือ ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปลดปล่อยจากการใช้สารเคมีในกระบวนการเดิม (kgCO_2e/กิโลกรัม) ข้อมูลในตารางที่ 4

ΣEI_b คือ ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปลดปล่อยจากการใช้สารเคมีในกระบวนการใหม่ (kgCO_2e/กิโลกรัม) ข้อมูลในตารางที่ 4

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

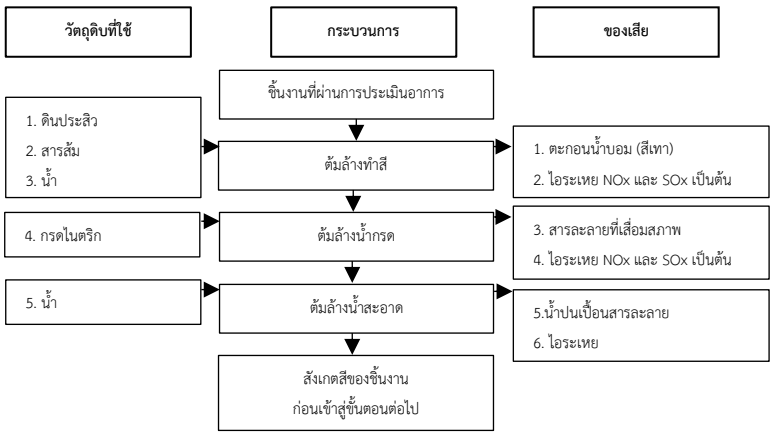
จากการศึกษากระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) ผู้วิจัยได้ศึกษาเฉพาะกระบวนการ 3 ขั้นตอน (รูปที่ 2) จากทั้งหมด 14 ขั้นตอนจากในกระบวนการซ่อมแซมทั้งหมด เพื่อมุ่งเน้นการฟื้นฟูสภาพชิ้นงานให้กลับคืนสู่คุณภาพที่เหมาะสมตามมาตรฐานของสถานประกอบการ ในการควบคุมปริมาณสารเคมีและของเสียที่เกิดขึ้นเพื่อศึกษาการพัฒนาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการ โดยการปรับลดสารเคมีที่ร้อยละ 20 จากสัดส่วนเดิม เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมมากที่สุดในการพัฒนาครั้งนี้

จากการวิเคราะห์ขั้นตอนในกระบวนการ สามารถลำดับแนวทางการปรับปรุงได้ ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมคน คือ การสร้างความเข้าใจในสิ่งที่พนักงานกำลังปฏิบัติงานด้วยเทคนิคการสร้างพฤติกรรมใหม่ เพื่อให้พนักงานรับรู้ สร้างความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการทำงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผ่านการอบรมในหัวข้อที่เกี่ยวข้อง เช่น การจัดการสารเคมี ความปลอดภัยในการทำงาน และการรับมือเหตุฉุกเฉิน โดยสร้างพฤติกรรมเชิงบวก ลดพฤติกรรมเสี่ยง พร้อมทั้งส่งเสริมกิจกรรมร่วม เช่น กิจกรรม 5ส และ Big Cleaning Day ให้เป็นรากฐานในการพัฒนาอย่างยั่งยืน

2. การปรับปรุงกระบวนการทำงาน ให้ความสำคัญกับการควบคุมและการลดใช้สารเคมี โดยกำหนดมาตรฐานในการชั่งตวง และวัดปริมาณสารเคมีอย่างแม่นยำ เพื่อลดของเสียและมลพิษจากกระบวนการ พัฒนาแนวทางการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยปรับลดการใช้ทรัพยากรให้เหมาะสมกับลักษณะงาน พร้อมควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบ

3. การนำเครื่องมือและนวัตกรรมมาใช้ให้เป็นไปตามมาตรฐาน หลังจากปรับปรุงใน 2 ระดับแล้ว จะเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงการทำงานควบคู่ไปกับการพัฒนาพนักงานมากขึ้น การนำเทคโนโลยีเป็นลำดับสุดท้ายในการพัฒนาเพื่อไม่เพิ่มต้นทุนในการผลิตให้กับองค์กร และสามารถจัดการกับปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างเหมาะสมกับรูปแบบการทำงานของสถานประกอบกิจการ



รูปที่ 2 แสดงกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) ที่ทำการศึกษาวิจัย

5.1 ผลการจำแนกประเภทและปริมาณการใช้สารเคมีที่ทำการศึกษา

จากการศึกษาพบว่าสารเคมีทั้งหมด 3 ชนิดในกระบวนการที่ทำการศึกษานั้น มีปริมาณการใช้ที่ไม่แน่นอนเนื่องจากก่อนการปรับปรุงกระบวนการไม่มีการเก็บข้อมูลปริมาณในการใช้จึงศึกษาจากยอดปริมาณการสั่งซื้อในเดือนนั้นๆ คือระหว่างเดือนกันยายน ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2567 สำหรับข้อมูลการใช้สารเคมีหลังจากการปรับปรุงกระบวนการทั้ง 3 เดือน ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ตามปริมาณทองรูปพรรณทั้งหมดที่เข้าสู่กระบวนการอยู่ที่ 786 กิโลกรัม หรือ 51.7 บาททองคำ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการสารเคมีที่ศึกษาและปริมาณที่ใช้ในช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (หน่วยเป็นกิโลกรัม)

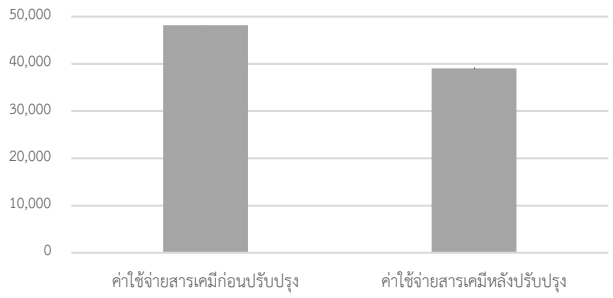
ชื่อสามัญ		ดินประสิว	สารส้ม	กรดไนตริก
ชื่อวิทยาศาสตร์		Potassium nitrate	Aluminium Sulfate	Nitric Acid 68%
สูตรทางเคมี		KNO_3	$Al_2(So_4)_3(NH_4)2SO_424H_2O$	HNO_3
Cas No.		7758-09-0	7697-37-2	10043-01-3
ปริมาณการใช้	กันยายน 2567	150	30	15
	ตุลาคม 2567	135	30	15
	พฤศจิกายน 2567	225	30	15
	ธันวาคม 2567	95	22	14
	มกราคม 2568	117	28	14
	กุมภาพันธ์ 2568	104	24	14

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบปริมาณสารเคมีที่ใช้ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการตามปริมาณทองรูปพรรณที่เท่ากัน (หน่วยเป็นกิโลกรัม)

ชื่อสามัญ	ดินประสิว	สารส้ม	กรดไนตริก	รวมปริมาณสารเคมี
ชื่อวิทยาศาสตร์	Potassium nitrate	Aluminium Sulfate	Nitric Acid 68%	ที่ใช้ต่อปริมาณ
สูตรทางเคมี	KNO_3	$Al_2(So_4)_3(NH_4)2SO_424H_2O$	HNO_3	ทองรูปพรรณ
Cas No.	7758-09-0	7697-37-2	10043-01-3	786 กิโลกรัม
ปริมาณสารเคมีที่ใช้ก่อน*	**393**	**92**	**45**	**530**
ปริมาณสารเคมีที่ใช้หลัง	**316**	**74**	**42**	**432**

หมายเหตุ: *แสดงปริมาณการใช้สารเคมีในกระบวนการเดิมตามปริมาณทองรูปพรรณที่เท่ากันกับปริมาณการใช้สารเคมีหลังปรับปรุงกระบวนการ

จากตารางที่ 2 เมื่อเทียบปริมาณสารเคมีที่ใช้ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการตามปริมาณทองรูปพรรณที่เท่ากันคือ 786 กิโลกรัม หรือ 51.7 บาททองคำ แสดงให้เห็นปริมาณการใช้สารเคมีที่ลดลงทั้ง 3 ชนิดที่ทำการศึกษา ค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีที่ทำการศึกษาหลังปรับปรุงกระบวนการทั้งหมด 39,023 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายการใช้สารเคมีก่อนปรับปรุงกระบวนการตามปริมาณทองรูปพรรณที่เท่ากันอยู่ที่ 48,207 บาท ซึ่งลดลงประมาณ 19.1% สะท้อนให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการดำเนินงาน โดยสามารถลดการใช้สารเคมีพร้อมควบคุมต้นทุนการใช้วัตถุดิบไปพร้อมกัน ดังรูปที่ 3



ค่าใช้จ่ายการใช้สารเคมีก่อนและหลังในกระบวนการ	
ก่อน (บาท)	48,207
หลัง (บาท)	39,023
ต้นทุนการลดใช้สารเคมี (บาท)	9,184

หมายเหตุ: คำนวณค่าใช้จ่ายจากปริมาณการใช้สารเคมีตามตารางที่ 2

รูปที่ 3 ค่าใช้จ่ายการใช้สารเคมีก่อนและหลังของทั้งหมดในกระบวนการที่ศึกษา

5.2 ผลการจำแนกชนิดและปริมาณของเสีย

การจัดแยกประเภทของเสียทั้งหมดภายใต้กระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) ทั้ง 3 ขั้นตอน ตามหลักการคัดแยกประเภทของเสียตามวิธีบำบัด/กำจัด อ้างอิงมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมและตามหลักมาตรฐานสากล [12] พบของเสียที่ต้องกำจัดทั้งหมด 2 ประเภท ได้แก่ ตะกอนน้ำบอม และ น้ำกรดที่ใช้แล้ว ดังตารางที่ 3

ปริมาณของเสียก่อนปรับปรุงกระบวนการ (เดือนกันยายน พ.ศ. 2567 - เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2567) เฉพาะตะกอน-น้ำบอมที่สามารถรวบรวมได้ในการศึกษาครั้งนี้ ทั้งหมดประมาณ 120 กิโลกรัม เมื่อเทียบกับปริมาณของเสียหลังการปรับปรุงกระบวนการมีปริมาณของเสียลดลงอยู่ประมาณ 25% เนื่องจากข้อจำกัดทางการวิจัยปริมาณน้ำกรดที่ใช้แล้วก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ มีการใช้ซ้ำโดยมีปริมาณรวมกันอยู่ที่ประมาณ 120 ลิตร

ตารางที่ 3 ประเภทของเสียในกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ

รหัส	ประเภทของเสีย	ความหมาย	รูปตัวอย่าง
S01	ตะกอนน้ำบอม	ตะกอนสีเทา-ขาว ลักษณะขุ่น ชื้นและสามารถละลายเมื่อมีอุณหภูมิสูง มีส่วนผสมของดินประสิว (Potassium nitrate: KNO_3) และสารส้ม (Aluminium Ammonium Sulfate:$Al_2(So_4)_3(NH_4)2SO_424H_2O$)	
L01	น้ำกรดที่ใช้แล้ว	น้ำกรดที่ผ่านการใช้งานแล้ว มีส่วนผสมของน้ำ ในการเจือจางสารเคมีที่ใช้ มีลักษณะสีเขียวขุ่น มีกลิ่นแรง และมีความเป็นกรด	

5.3 ผลการประเมินค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-efficiency)

จากการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์พบว่าค่าการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปลดปล่อยจากการใช้สารเคมีในกระบวนการเดิมอยู่ที่ 298.948 $kgCO_2e$/กิโลกรัม และหลังการปรับปรุงหรือกระบวนการใหม่อยู่ที่ 242.322 $kgCO_2e$/กิโลกรัม ซึ่งผลต่างจากการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกระบวนการนี้คือ 56.626 $kgCO_2e$/กิโลกรัม ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่า factor ปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อปริมาณทองรูปพรรณทั้งหมด

ชื่อสามัญ	ค่า factor ($kgCO_2e$/หน่วย) [13, 14]	ค่า factor ปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อ 1 กิโลกรัม ($kgCO_2e$/กิโลกรัม)	ค่า factor ปริมาณสารเคมีที่ใช้ต่อปริมาณทั้งหมด ($kgCO_2e$/กิโลกรัม)		แหล่งข้อมูลอ้างอิง
			$CO_2eq_{(before)}$	$CO_2eq_{(after)}$	
ดินประสิว	**0.1010**	0.101	39.693	31.916	คู่มือการจัดการก๊าซเรือนกระจกขององค์กรตาม ISO14064-1 DIW หน้า 37
สารส้ม	**2.6600**	2.660	244.720	196.840	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007 (Ammonium sulphate)
กรดไนตริก	**0.3230**	0.323	14.535	13.566	Converted data from JEMAI Pro using Thai Electricity Grid
ผลรวมการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมด			**298.948**	**242.322**	**($kgCO_2e$/กิโลกรัม)**
ผลต่างจากการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์			**56.626**		

เมื่อคำนวณการประเมินประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจากการลดการใช้สารเคมีในกระบวนการ สามารถคำนวณตามสมการที่ 1-5 ดังนี้

(1) **ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าจากการลดสารเคมี ($V_{ก่อน}$)** $= \frac{(51.7 \times 44{,}760) - 48{,}207}{48{,}207} \longrightarrow$ **47.003**

(2) **ค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าจากการลดสารเคมี ($V_{หลัง}$)** $= \frac{(51.7 \times 44{,}760) - 39{,}023}{39{,}023} \longrightarrow$ **58.301**

(3) $EE_{(ก่อนปรับปรุงกระบวนการ)} = \frac{530 \text{ (กิโลกรัม)}}{298.948 \text{ (}kgCO_2e\text{/กิโลกรัม)}}$ **= 1.773 $kgCO_2e$/กิโลกรัม**

(4) $EE_{(หลังปรับปรุงกระบวนการ)} = \frac{432 \text{ (กิโลกรัม)}}{242.322 \text{ (}kgCO_2e\text{/กิโลกรัม)}}$ **= 1.783 $kgCO_2e$/กิโลกรัม**

(5) **$\%CO_2$ Reduction** $= \frac{298.948 - 242.322}{298.948} \times 100$ **= 18.942%**

การปรับปรุงกระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณโดยการลดการใช้สารเคมีลง 20% ส่งผลให้เกิดการลดต้นทุนและสัดส่วนที่เปลี่ยนแปลงไปจากปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปล่อยลดลงเมื่อเทียบกับก่อนและหลังที่มีการปรับปรุงกระบวนการถึง 18.942% ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการใหม่ และช่วยเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของกระบวนการผลิต โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การเพิ่มมูลค่าเพิ่มขึ้นจากส่วนต่างก่อนและหลังในการปรับปรุงอยู่ที่ 11.297 ทั้งนี้แม้ว่าค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจจากการลดสารเคมีในกระบวนการ (EE) มีความต่างกันเล็กน้อยจาก 1.773 ไปยัง 1.783 $kgCO_2e$/kg แต่ยังคงแสดงถึงแนวโน้มที่ดีต่อการจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของสถานประกอบการในการ

ปรับตัวให้สอดคล้องกับแนวทางการผลิตที่ยั่งยืน โดยยึดหลักการลดการใช้ทรัพยากรและลดผลกระทบจากสารเคมีซึ่งเป็นไปตามหลักแนวทางของ Green Industry ที่แสดงความรับผิดชอบต่อชุมชน สังคม และสิ่งแวดล้อม

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษานี้ได้ทำการศึกษากระบวนการซ่อมแซมทองรูปพรรณ (Refurbished) ตั้งแต่เดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 โดยการพัฒนา 3 ขั้นตอนหลักจาก 14 ขั้นตอน เพื่อลดการใช้สารเคมีที่มีการใช้มากที่สุด และควบคุมการเกิดของเสีย และเพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ ผลการศึกษาพบว่าการลดการใช้สารเคมีลง 20% จากกระบวนการเดิม ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ลดลงจาก 298.948 $kgCO_2e/kg$ เป็น 242.322 $kgCO_2e/kg$ (เปลี่ยนแปลง 18.942%) ควบคู่กับการลดต้นทุนด้านวัตถุดิบซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเสริมสร้างประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมซ่อมแซมทองรูปพรรณ ไม่เพียงแต่ช่วยลดผลกระทบต่อระบบนิเวศโดยตรงผ่านการลดการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์แต่ยังช่วยลดปริมาณของเสียอันตรายที่ต้องผ่านกระบวนการบำบัด ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนในการกำจัดของเสียลดลง สำหรับแนวทางการปรับปรุงกระบวนการให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อสร้างความยั่งยืนให้แก่สถานประกอบการนั้น ผู้วิจัยใช้ปัจจัยที่สำคัญสำหรับดำเนินการวิจัยนี้ทั้งหมด 3 ด้าน (1) การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมพนักงานผ่านการอบรมเพื่อเพิ่มความรู้เกี่ยวกับการจัดการสารเคมีและความปลอดภัย (2) การปรับปรุงกระบวนการทำงานให้มีประสิทธิภาพ ด้วยการควบคุมการใช้สารเคมีอย่างแม่นยำ และ (3) การนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการโดยไม่เพิ่มต้นทุนการผลิต แนวทางเหล่านี้สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริงอย่างต่อเนื่องในอุตสาหกรรมประเภทนี้ จากข้อจำกัดของการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ระยะเวลาการเก็บข้อมูล ความพร้อมของข้อมูล และขอบเขตของการประเมินการปล่อยปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่อาจจะยังไม่ครอบคลุมทุกมิติของกระบวนการซ่อมแซม ดังนั้นการศึกษาในอนาคตควรมีการขยายระยะเวลาการเก็บข้อมูลให้ครอบคลุมปีฐานในกระบวนการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง และนำโปรแกรมหรือนวัตกรรมมาเป็นตัวช่วยในการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการประเมินและลดความคลาดเคลื่อน ซึ่งจะช่วยให้สถานประกอบการสามารถกำหนดกลยุทธ์การพัฒนาอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เสริมสร้างและผลักดันองค์กรสู่อนาคตของการผลิตที่มีความรับผิดชอบและยั่งยืนในทุกมิติ

เอกสารอ้างอิง

[1] จักรกฤษณ์ ดวงพัสตรา. (2563). การเพิ่มการมีส่วนร่วมของวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมในโซ่คุณค่าอัญมณีและเครื่องประดับของโลก. วารสารวิทยาการจัดการ ปีที่ 37 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2563.

[2] จักราธิป จูรกรรณ์, สุดา สุวรรณาภิรมย์ และพรชัย ดีไพาลกุล. (2565). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความสำเร็จในการดำเนินธุรกิจเครื่องประดับและอัญมณีของ*ผู้ประกอบการในเขตกรุงเทพมหานคร. ปีที่ 7 ฉบับที่ 3 กันยายน–ธันวาคม 2565.

[3] อรุบล โชติพงศ์. (2558). โครงการการพัฒนาระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[4] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. คู่มือการจัดทำระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. (2560). https://greenindustry.diw.go.th/webgi/wp-content/uploads/2022/11/EMS_Implementation_Guide.pdf

[5] Cheerawit Rattanapana, Thunwadee Tachapattaworakul Suksarojb and Weerawat Ounsanehab. (2012). Development of Eco-efficiency Indicators for Rubber Glove Product by Material Flow Analysis. Procedia - Social and Behavioral Sciences 40 (99–106).

[6] Jenifer Vásquez ab, Giulia Bruno, Luca Settineri and Santiago Aguirre. (2018). Conceptual Framework for Evaluating the Environmental Awareness and Eco-efficiency of SMEs. Procedia CIRP 78 (347–352).

[7] Korkiat Kertpakpraek. (2007). Eco-efficiency evaluation of petroleum and petrochemical group in the Map Ta Phut industrial estate, Rayong province, Thailand.

[8] จิรโมท รัตนวัน. (2562). ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเข้าร่วมโครงการอุตสาหกรรมสีเขียว Green Industry ของโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่ภาคใต้. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

[9] จตุภูมิ เขตจัตุรัส. (2552). การวัดมูลค่าเพิ่ม: วิธีการทางเลือกในการวัดคุณภาพการศึกษา. วารสารศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีที่ 32 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2552.

[10] สมาคมค้าทองคำ. ราคาทองคำถัวเฉลี่ยประจำเดือนธันวาคม 2567 - กุมภาพันธ์ 2568. https://www.goldtraders.or.th/AvgPriceList.aspx

[11] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Efficiency Learning Module https://docs.wbcsd.org/2006/08/EfficiencyLearningModule.pdf

[12] คู่มือการจัดการของเสียสารเคมีและของเสียอันตราย. สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ. ศูนย์การจัดการพลังงาน สิ่งแวดล้อม ความปลอดภัยและอาชีวอนามัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[13] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. สำนักสนธิสัญญาและยุทธศาสตร์. คู่มือการวัดปริมาณและการรายงานผลการ ปลดปล่อย และลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกระดับองค์กร ตามแนวทางมาตรฐาน ISO 14064-1.

[14] แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ภายใต้โครงการส่งเสริมการใช้คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ 2554 พิมพ์ครั้งที่ 3.

การพัฒนาระบบบริหารจัดการห้องประชุม กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล

อิสสรียา จิตวรานนท์, ธิระพงศ์ เหมทานนท์*

กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม
*Corresponding author: isareeya.chi@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำระบบบริหารจัดการห้องประชุม ซึ่งอยู่ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันโดยนำแอปพลิเคชัน AppSheet มาพัฒนาระบบ โดยสามารถตรวจสอบข้อมูล เพิ่ม ลบ และแก้ไขโดยนำเอา Software เข้ามาช่วยในการจัดเก็บข้อมูลให้เป็นระบบเพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่บุคลากรของมหาวิทยาลัยมหิดลสำหรับการจองห้องประชุมและช่วยอำนวยความสะดวกแก่เจ้าหน้าที่ให้สามารถตรวจสอบความพร้อมใช้งานของห้องประชุม ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการวิจัยพบว่าการนำแอปพลิเคชัน AppSheet มาใช้ในการบริการจัดการห้องประชุม ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1.ข้อมูลทั่วไป 2. ความพึงพอใจในการใช้ระบบจองห้องประชุม พบว่า

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ประกอบด้วย เพศ หน่วยงานที่ใช้บริการ มีดังนี้ เพศของกลุ่มตัวอย่าง คือ เพศชาย คิดเป็นร้อยละ 21.2 และเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 78.8 สำหรับข้อมูลหน่วยงานที่ใช้งานห้องประชุม มี 2 หน่วยงานที่ใช้งานหลัก ได้แก่ บุคลากรกองกายภาพและสิ่งแวดล้อม ตอบแบบสอบถาม 45 คน คิดเป็นร้อยละ 52.90 และบุคลากรงานบริหารพัสดุ กองคลัง ตอบแบบสอบถาม 40 คน คิดเป็นร้อยละ 47.10

ส่วนที่ 2 ระดับความพึงพอใจในการใช้ระบบจองห้องประชุมของกองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล พบว่าได้ค่าเฉลี่ยรวม 4.89 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.34 อยู่ในระดับมากที่สุด และจากทั้ง 4 ด้านพบว่า มีความพึงพอใจมากที่สุดในด้านการให้บริการของเจ้าหน้าที่รับจองห้องประชุมได้ค่าเฉลี่ย 4.94 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.29 รองลงมาเป็นด้านกระบวนการและขั้นตอนการให้บริการจองห้องประชุมได้ค่าเฉลี่ย 4.93 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.30 ด้านคุณภาพการให้บริการได้ค่าเฉลี่ย 4.93 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.31 และด้านสิ่งอำนวยความสะดวกได้ค่าเฉลี่ย 4.74 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.50 ตามลำดับ

สรุปได้ว่าระบบบริหารจัดการห้องประชุมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสามารถใช้งานได้จริงและตรงกับความต้องการใช้งานของผู้ใช้งานสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนซึ่งเน้นพัฒนาในการเข้าถึงเทคโนโลยีและความรู้เป็นสิ่งสำคัญและส่งเสริมการเติบโตทางเศรษฐกิจที่ยั่งยืน ครอบคลุม SDG 11 (เมืองและชุมชนยั่งยืน) SDG 17 (ความร่วมมือเพื่อเป้าหมาย)

คำสำคัญ: ระบบบริหารจัดการห้องประชุม / การจองห้องประชุมออนไลน์ / ห้องประชุม / แอปพลิเคชัน AppSheet

Development of a Meeting Room Management System for the Division of Physical Plant and Environment, Mahidol University

Isareeya Chitvaranont, Thiraphong Hemthanon*

Division of Physical and Environmental Management, Mahidol University, Thailand
*Corresponding author: isareeya.chi@mahidol.ac.th

Abstract

This research aims to develop a meeting room management system in the form of a web application by utilizing the AppSheet platform. The system enables users to check, add, delete, and modify meeting room reservations while incorporating software to systematically store and manage data. This enhances convenience for Mahidol University personnel in booking meeting rooms and assists administrative staff in efficiently managing room availability.

The study results indicate that implementing AppSheet in meeting room management consists of two main aspects : General Information

The sample group consists of 21.2% male and 78.8% female respondents.Two primary user groups were identified: 52.90% from the Division of Physical and Environmental Affairs (45 respondents) and 47.10% from the Procurement Administration, Finance Division (40 respondents).

User Satisfaction with the Reservation System. The overall average satisfaction score was 4.89, with a standard deviation of 0.34, indicating a very high level of satisfaction. Among the four evaluated aspects, the highest satisfaction was in the service provided by reservation staff, with an average score of 4.94 and a standard deviation of 0.29.The reservation process and procedures ranked second, with an average score of 4.93 and a standard deviation of 0.30. Service quality received an average score of 4.93 and a standard deviation of 0.31. Facilities and amenities received an average score of 4.74 with a standard deviation of 0.50.

In conclusion, the meeting room management system developed in this study proves to be effective, practical, and aligns with user needs. The system supports sustainable development goals (SDGs) by enhancing access to technology and knowledge while promoting sustainable economic growth. Specifically, the research aligns with SDG 11 (Sustainable Cities and Communities) and SDG 17 (Partnerships for the Goals).

Keywords: Meeting Room Management System / Online Meeting Room Booking / Meeting Rooms / AppSheet Application

1. บทนำ

กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล มีการให้บริการห้องประชุมในอาคารศาลายา จำนวน 4 ห้อง คือห้องประชุม 1 ขนาดห้องประชุม 55 ตรม. รองรับผู้ใช้งานจำนวน 33 คน ห้องประชุม 2 ขนาดห้องประชุม 28.40 ตรม. รองรับผู้ใช้งานจำนวน 10 คน ห้องประชุม 3 ขนาดห้องประชุม 12.28 ตรม. รองรับผู้ใช้งานจำนวน 5 คน และห้องประชุม 4 ขนาดห้องประชุม 12.03 ตรม. รองรับผู้ใช้งานจำนวน 4 คน แบ่งเป็น ห้องประชุมขนาดใหญ่ 1 ห้อง ขนาดกลาง 1 ห้อง และขนาดเล็ก 2 ห้อง จากการเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติการใช้บริการห้องประชุมของกองกายภาพและสิ่งแวดล้อม พบว่า ในปี พ.ศ. 2567 มีผู้จองใช้บริการห้องประชุมทั้งสิ้นจำนวน 384 ครั้ง โดยใช้ห้องประชุมขนาดใหญ่จำนวน 224 ครั้ง ขนาดกลางจำนวน 108 ครั้ง และขนาดเล็กจำนวน 52 ครั้ง

ในปัจจุบัน การนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานเป็นอย่างมาก กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล ได้เล็งเห็นประโยชน์ของการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้จัดกิจกรรมต่าง ๆ ของกองกายภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น การอบรม การประชุม และ Video Conference อย่างไรก็ตาม เนื่องจากระบบจองห้องประชุมของมหาวิทยาลัยเกิดเหตุขัดข้อง ส่งผลให้ไม่มีระบบจองห้องประชุมที่เป็นมาตรฐาน ทำให้ผู้ที่ต้องการใช้ห้องประชุมต้องใช้วิธีการโทรแจ้งผู้ดูแลห้องประชุมและผู้ดูแลห้องประชุมทำการลงบันทึกใน Microsoft excel โดยทำการบันทึกเรียงเป็นรายการเพื่อจองใช้ห้องประชุม ซึ่งอาจก่อให้เกิดข้อผิดพลาด เช่น ข้อมูลการจองไม่ถูกต้องคลาดเคลื่อน หรือ การจองห้องซ้ำซ้อน

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบจัดการห้องประชุม โดยใช้ AppSheet เป็นเครื่องมือหลักในการพัฒนา Web Application เพื่อช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถ บริหารจัดการห้องประชุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความซับซ้อนของกระบวนการทำงาน รวมถึงช่วยจัดเก็บข้อมูลการจองให้อยู่ในระบบที่เป็นระเบียบ ลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการดำเนินงานแบบเดิม

2. วัตถุประสงค์

1. ช่วยอำนวยความสะดวกกับผู้ต้องการจองห้องประชุมและช่วยแบ่งเบาภาระของผู้ดูแลห้องประชุม
2. ช่วยบริหารการจอง ยกเลิกห้องประชุม หรือแก้ไขเวลาการใช้งานห้องประชุมลดความซ้ำซ้อนของการจอง
3. เพื่อให้ผู้ที่ต้องการจองห้องประชุมสามารถตรวจสอบสถานะของห้องประชุมผ่านปฏิทินการใช้ห้องประชุมผ่านทางเว็บไซต์กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล
4. เพื่อใช้งานทรัพยากรส่วนกลาง (ห้องประชุม) ที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

3. ขอบเขตของการศึกษา

3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่ศึกษา

ศึกษาและพัฒนาระบบเพื่อใช้กับงานบริหารและพัฒนาระบบ กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ให้บริการห้องประชุม

3.2 ขอบเขตด้านกลุ่มเป้าหมาย

3.2.1 กลุ่มผู้ใช้แอปพลิเคชัน ได้แก่ บุคลากรกายภาพและสิ่งแวดล้อม บุคลากรงานบริหารพัสดุ กองคลัง บุคลากรภายนอกมหาวิทยาลัยและผู้ที่ต้องการใช้บริการห้องประชุม

3.2.2 เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับ การบริหารจัดการห้องประชุม

3.3 ขอบเขตด้านเนื้อหา

3.3.1 การพัฒนาระบบจองห้องประชุมผ่านแอปพลิเคชัน ซึ่งประกอบด้วย การจอง ยกเลิก หรือแก้ไขข้อมูลการจอง

3.3.2 ระบบบริหารจัดการห้องประชุมสำหรับเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระบบเพื่อช่วยให้สามารถตรวจสอบและบริหารการใช้งานห้องประชุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.3.3 การออกแบบระบบที่สามารถจัดเก็บข้อมูลการใช้งานห้องประชุมเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์และปรับปรุงการให้บริการในอนาคตต่อไป

3.4 ขอบเขตด้านระยะเวลา

การศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบดำเนินการในช่วง ปี พ.ศ. 2567

4. วิธีการศึกษา

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

4.1 ศึกษาปัญหาและวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการขอจองใช้ห้องประชุมของกองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล โดยสำรวจปัญหาและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น ปัญหาหลักของกระบวนการจองห้องประชุมในระบบงานเดิมคือ ผู้ที่ต้องการใช้ห้องประชุมไม่สามารถตรวจเช็คหรือจองห้องเองได้ต้องใช้วิธีการโทรสอบถามจากผู้ดูแล เจ้าหน้าที่จะเก็บบันทึกข้อมูลการจองห้องประชุมลงใน Microsoft excel ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการค้นหา มีบันทึกข้อมูลการจองซ้ำซ้อน ไม่สามารถวางแผนเตรียมความพร้อมของห้องประชุมได้ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้รับบริการ และภาพลักษณ์การให้บริการงานของกองกายภาพและสิ่งแวดล้อม

จากนั้นผู้วิจัยจึงรวบรวมประเด็นปัญหาต่าง ๆ มาวิเคราะห์เพื่อกำหนดแนวทางในการแก้ไข พร้อมศึกษาความต้องการของผู้ใช้งานเพื่อแก้ปัญหาการจองห้องประชุมซ้ำซ้อนที่เป็นปัญหาหลัก จึงได้จัดทำระบบบริหารจัดการห้องประชุมขึ้นมา โดยมุ่งเน้นให้ทุกคนสามารถดูรายงานการจองได้และสามารถเข้าระบบและจองห้องได้ และมีเจ้าหน้าที่คอยตรวจเช็คความถูกต้องและแก้ไขต่างๆ

4.2 ออกแบบและพัฒนาระบบบริหารจัดการห้องประชุม

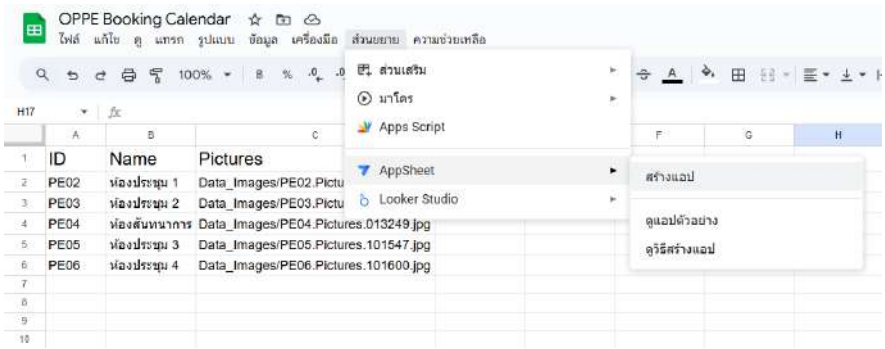
การออกแบบแอปพลิเคชันจองห้องประชุมโดยนำแอปพลิเคชัน AppSheet มาใช้ในการบริการจัดการห้องประชุมเป็นกระบวนการพัฒนาส่วนประสานงานระหว่างแอปพลิเคชันกับผู้ใช้งาน (User Interface - UI) ซึ่งครอบคลุมทั้งส่วนการรับข้อมูลและการแสดงผล เพื่อให้การใช้งานสะดวกและเหมาะสมกับกลุ่มผู้ใช้แต่ละประเภท

ขั้นตอนการสร้างระบบ

4.2.1 สร้างฐานข้อมูลและจะนำเอา Google sheet มาใช้เป็นระบบเก็บข้อมูลโดยแบ่งออกเป็น 4 ตารางคือ 1) ข้อมูลห้องประชุม (Data) 2) ข้อมูลการใช้บริการ (Bookings) 3) ข้อมูลผู้ใช้บริการ (Users) และ 4) ข้อมูลผู้ดูแลระบบ (Admin) ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 1-6

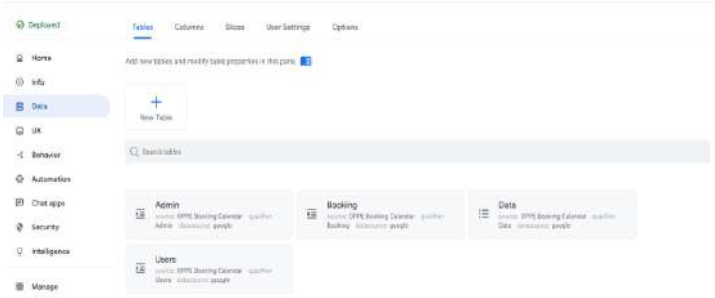
รูปที่ 1 แสดงฐานข้อมูลระบบบริหารจัดการห้องประชุมโดยสร้างฐานข้อมูลใน Google sheet มาใช้เป็นระบบเก็บข้อมูล [4]

4.2.2 การสร้างระบบคือ โดยเลือกที่ ส่วนขยาย แล้วก็เลือก AppSheet



รูปที่ 2 การออกแบบแอปพลิเคชันจองห้องประชุมโดยนำแอปพลิเคชัน AppSheet มาใช้ในการบริการจัดการห้องประชุม ในส่วนการประสานงานระหว่างแอปพลิเคชันกับผู้ใช้งาน [2]

4.2.3 เมื่อได้ระบบมา จะได้ข้อมูลฐานข้อมูลที่ได้สร้างไว้ข้างต้น



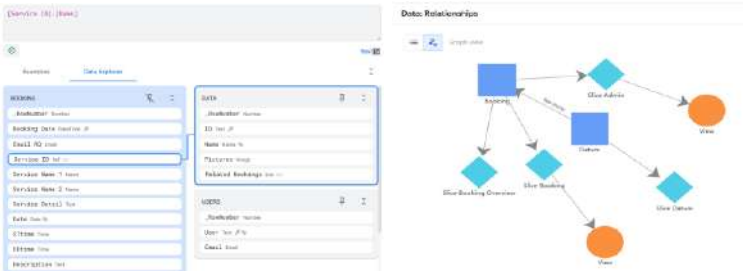
รูปที่ 3 ตารางแสดงฐานข้อมูลในแอปพลิเคชัน AppSheet ที่เชื่อมโยงกับ Google Sheet ที่กล่าวมาในข้างต้น [3]

4.2.4 ดำเนินการตั้งค่าต่างๆเพิ่มเติม เช่น

4.2.4.1 ตั้งค่า Key และตั้งค่าการแสดงผล (โดยตั้งค่าที่สำคัญคือ Code เพื่อป้องกันการจองห้องซ้ำ)

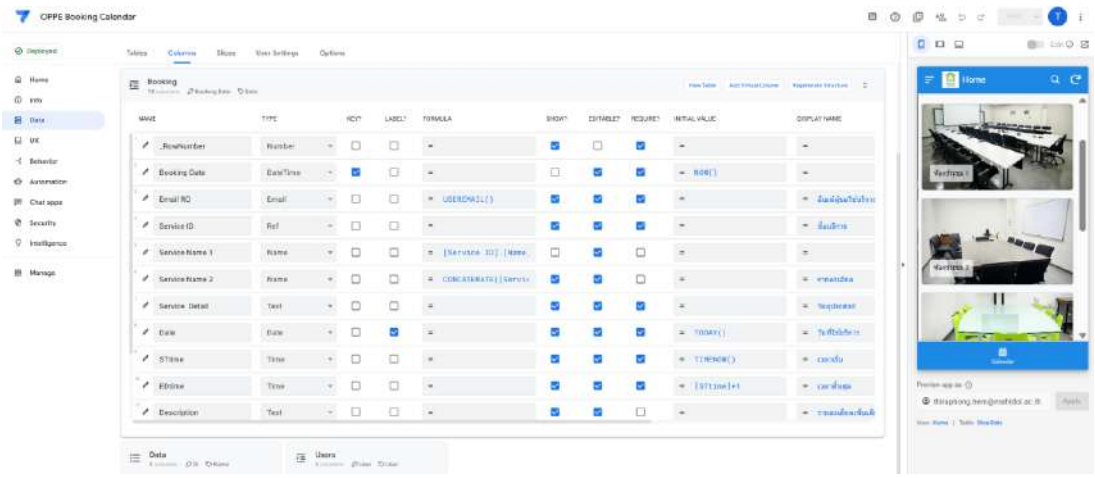
รูปที่ 4 การตั้งค่าการแสดงผลเพิ่มเติมในแอปพลิเคชัน AppSheet โดยการตั้งค่า Key เพื่อป้องกันการจองห้องซ้ำ [5]

4.2.4.2 สร้างความเชื่องโยงของข้อมูลเพื่อให้แต่ละตารางสัมพันธ์กัน



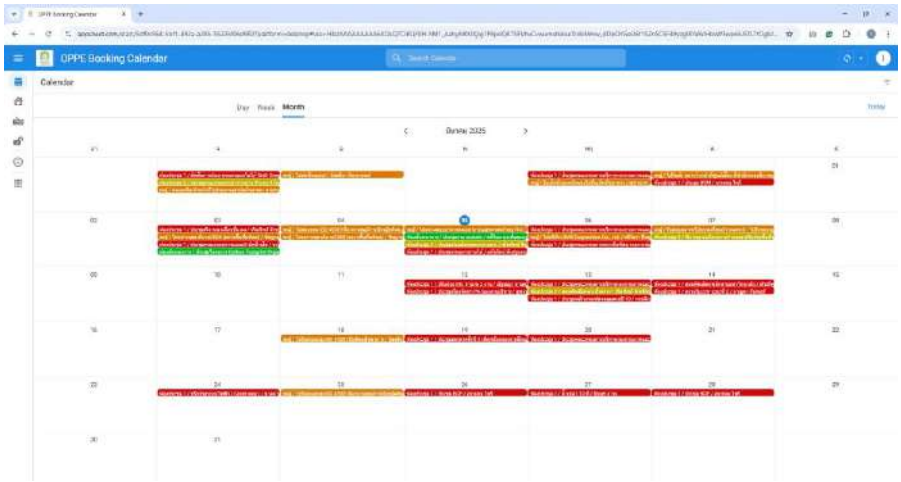
รูปที่ 5 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลในการออกแบบแอปพลิเคชันจองห้องประชุมเพื่อกำหนดสิทธิ ของผู้ใช้งานในการเข้าถึงฐานข้อมูล [5]

4.2.4.3 ออกแบบ Ui ให้สวยงาม ใส่รูปและปรับแต่งให้เหมาะกับการใช้งาน ตามภาพในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การออกแบบโดยใช้ Ui ปรับแต่งให้เหมาะกับการใช้งานแอปพลิเคชันจองห้องประชุม [1]

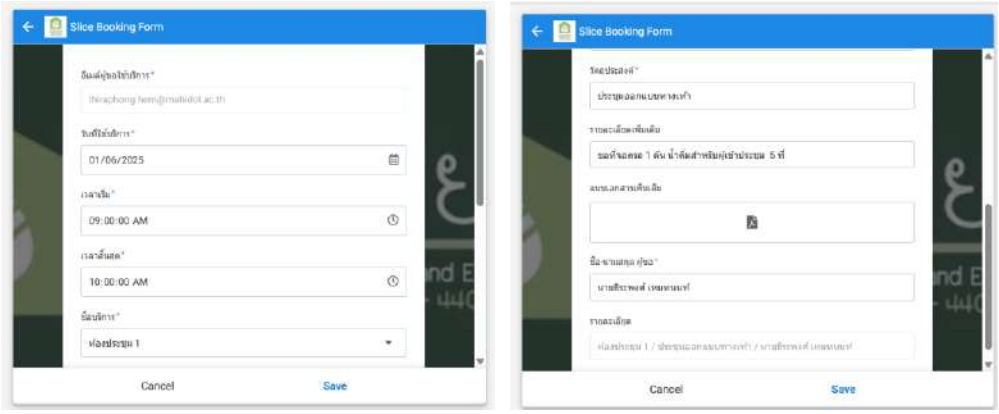
ทั้งนี้ ระบบช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดและปรับเปลี่ยน ประเภทของข้อมูล (Data Type) ได้อย่างเหมาะสมหลังจากตั้งค่าระบบเรียบร้อยแล้วจะมีการทดสอบข้อมูล เพื่อให้แน่ใจว่าการทำงานของแอปพลิเคชันมีประสิทธิภาพและเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย นอกจากนี้ยังสามารถปรับแต่งส่วนของผู้ใช้ (User Interface - UX) เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานให้เหมาะสมกับบุคลากรของมหาวิทยาลัยมหิดลอีกด้วย ตามภาพในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงหน้าแอปพลิเคชันจองห้องประชุมโดยสามารถดูรายละเอียดเป็นรายวัน รายสัปดาห์ หรือรายเดือน และแยกสีในแต่ละห้องประชุมให้ดูง่ายขึ้นสำหรับผู้ใช้งาน [9]

แอปพลิเคชันแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ตามลักษณะการใช้งาน ได้แก่

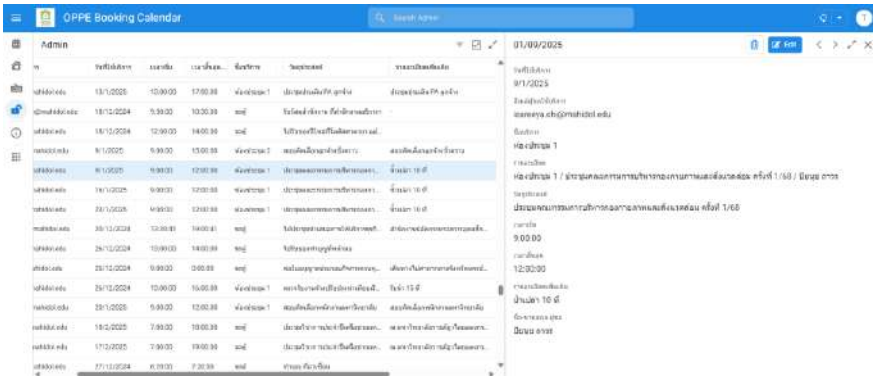
1. ส่วนการทำงานของผู้ใช้งานที่เป็นบุคลากรกองกายภาพและสิ่งแวดล้อม สามารถตรวจสอบ ข้อมูลห้องประชุมที่ว่าง เพื่อทำรายการจองห้องประชุมได้ด้วยตนเอง ตามภาพในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงหน้าแอปพลิเคชันจองห้องประชุมโดยมีการให้ใส่รายละเอียดเช่น วัน เวลา ที่ต้องการจองห้องประชุม รายละเอียดเพิ่มเติมเช่นต้องการน้ำหรือที่จอดรถ ชื่อผู้ขอใช้ เป็นต้น [7]

2. ส่วนการทำงานของผู้ดูแลระบบ

หากบุคลากรงานบริหารพัสดุ กองคลังหรือบุคลากรภายนอกมหาวิทยาลัยติดต่อขอจองใช้ห้องประชุม สามารถตรวจสอบข้อมูลห้องประชุมที่ว่างได้ที่เว็บไซต์กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม และผู้ดูแลระบบนำข้อมูลที่ได้รับจากผู้จองใช้ห้องประชุมมาดำเนินการจองห้องประชุม เพื่อเตรียมความพร้อมก่อนให้บริการห้องประชุม จากนั้นจัดเก็บและรวบรวมข้อมูลการใช้งานห้องประชุมเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาห้องประชุมให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานต่อไป ตามภาพในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงหน้าแอปพลิเคชันจองห้องประชุมที่ผู้ดูแลระบบสามารถแก้ไขการจองห้องประชุมเช่น เปลี่ยนเวลาการใช้ห้องประชุม หรือยกเลิกการจองห้องประชุม [8]

4.3 ทดสอบและปรับปรุงระบบ

กระบวนการทดสอบและปรับปรุงระบบก่อนเปิดใช้งานจริง โดยสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักดังนี้

4.3.1 การทดสอบระบบกับผู้ใช้งานจริง

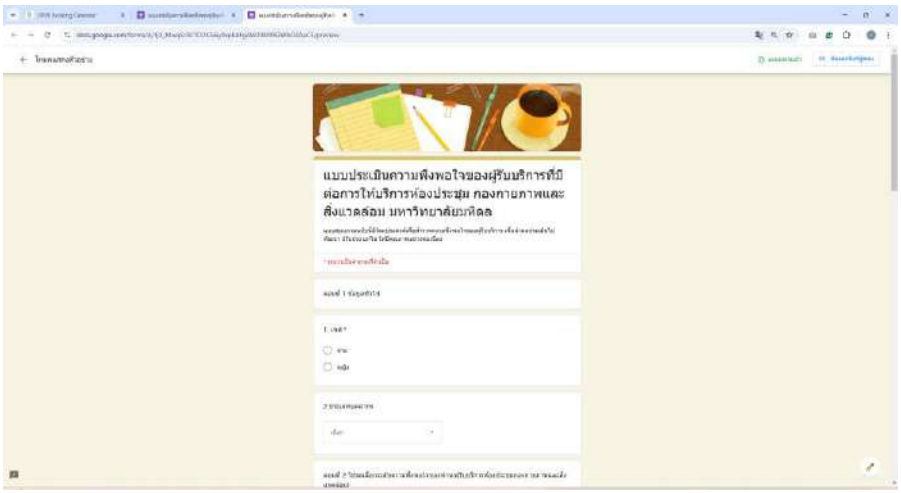
ระบบที่พัฒนาขึ้นจะถูกนำไปทดลองใช้งานกับบุคลากรภายในกองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล ในเดือน มกราคม- มีนาคม ปี พ.ศ. 2567 ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายหลักของการจัดทำระบบจองใช้ห้องประชุม การทดสอบนี้จะช่วยให้มั่นใจว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ครอบคลุมทุกฟังก์ชัน และตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ โดยมีการทดสอบในสภาพแวดล้อมจำลองหรือใช้งานจริงในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้ผู้ใช้งานได้ทดลองจองห้องประชุม ตรวจสอบสถานะห้อง และใช้งานฟังก์ชันต่าง ๆ

4.3.2 การรวบรวมข้อเสนอแนะและการปรับปรุงระบบ

หลังจากทดลองใช้ ผู้วิจัยจะเก็บรวบรวมความคิดเห็น ข้อเสนอแนะ และปัญหาต่าง ๆ จากผู้ใช้งาน เช่น ความรวดเร็วในการตอบสนอง ความถูกต้องของข้อมูล หรือ ความสะดวกในการใช้งาน เช่น หน้าตาแอปพลิเคชัน การจัดวางเมนู เพื่อนำข้อมูลที่ได้รับไป ปรับปรุงระบบ ให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น ก่อนเปิดใช้งานจริงอย่างเป็นทางการ

4.4 ประเมินผลและวิเคราะห์ข้อมูล

ทำแบบสอบถามเพื่อประเมิน (รูปที่ 10) ประสิทธิภาพของระบบ และ ความพึงพอใจของผู้ใช้งานวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับเพื่อนำไปสู่การสรุปผลการวิจัย



รูปที่ 10 สร้างแบบประเมินความพึงพอใจของผู้รับบริการที่มีต่อการให้บริการห้องประชุมกองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล เพื่อนำความพึงพอใจของผู้ใช้งานวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป [6]

นำข้อมูลมาวิเคราะห์ตามระเบียบวิธีทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม จะใช้วิเคราะห์ด้วยสถิติพื้นฐาน คิดเป็นร้อยละ

ตอนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับความพึงพอใจในการใช้งานระบบการจองห้องประชุม โดยคำนวณค่าเฉลี่ยในแต่ละรายการเพื่อทำให้ทราบความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างต่อระดับการใช้งานห้องประชุมโดยวิเคราะห์ตามเกณฑ์ ดังต่อไปนี้

ค่าเฉลี่ย 4.51 – 5.00 หมายความว่า มากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.51 – 4.50 หมายความว่า มาก

ค่าเฉลี่ย 2.51 – 2.50 หมายความว่า ปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.51 – 2.50 หมายความว่า น้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.50 หมายความว่า น้อยที่สุด

หาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อทำให้เห็นถึงการกระจายของความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อความพึงพอใจในการใช้งานระบบการจองห้องประชุม

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1.ข้อมูลทั่วไป 2. ความพึงพอใจในการใช้ระบบจองห้องประชุม พบว่า ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ประกอบด้วย เพศ หน่วยงานที่ใช้บริการ มีดังนี้ เพศของกลุ่มตัวอย่าง คือ เพศชาย คิดเป็นร้อยละ 21.2 และเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 78.8 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงเพศของกลุ่มตัวอย่างที่ตอบแบบสอบถาม

ลำดับ	เพศ	ร้อยละ
1	ชาย	21.20
2	หญิง	78.80

สำหรับข้อมูลหน่วยงานที่ใช้งานห้องประชุม มี 2 หน่วยงานที่ใช้งานหลัก ได้แก่ บุคลากรกองกายภาพและสิ่งแวดล้อม ตอบแบบสอบถาม 45 คน คิดเป็นร้อยละ 52.90 และบุคลากรงานบริหารพัสดุ กองคลัง ตอบแบบสอบถาม 40 คน คิดเป็นร้อยละ 47.10 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลหน่วยงานที่ใช้งานห้องประชุม

ลำดับ	หน่วยงาน	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1	บุคลากรกองกายภาพและสิ่งแวดล้อม	45	52.90
2	บุคลากรงานบริหารพัสดุ กองคลัง	40	47.10
3	บุคลากรภายนอกมหาวิทยาลัย	0	0

ส่วนที่ 2 ระดับความพึงพอใจในการใช้ระบบจองห้องประชุมของกองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล พบว่าได้ค่าเฉลี่ยรวม 4.89 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.34 อยู่ในระดับมากที่สุด และจากทั้ง 4 ด้านพบว่า มีความพึงพอใจมากที่สุดในด้านการให้บริการของเจ้าหน้าที่รับจองห้องประชุมได้ค่าเฉลี่ย 4.94 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.29 รองลงมาเป็นด้านกระบวนการและขั้นตอนการให้บริการจองห้องประชุมได้ค่าเฉลี่ย 4.93 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.30 ด้านคุณภาพการให้บริการได้ค่าเฉลี่ย 4.93 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.31 และด้านสิ่งอำนวยความสะดวกได้ค่าเฉลี่ย 4.74 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.50 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความพึงพอใจ

รายการที่ประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับ
1. ด้านกระบวนการและขั้นตอนการให้บริการจองห้องประชุม			
1.1 ขั้นตอนในการขอใช้บริการมีความคล่องตัว ไม่ซับซ้อน	4.93	0.30	มากที่สุด
1.2 ขั้นตอนในการให้บริการมีความชัดเจนสะดวกรวดเร็ว	4.93	0.30	มากที่สุด
รวม	4.93	0.30	มากที่สุด
2. ด้านการให้บริการของเจ้าหน้าที่รับจองห้องประชุม			
2.1 ให้บริการด้วยความสุภาพ เอาใจใส่ กระตือรือร้น เต็มใจให้บริการและช่วยแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง	4.93	0.30	มากที่สุด
2.2 ผู้ให้บริการให้บริการด้วยความเสมอภาคตามลำดับ ก่อน-หลัง	4.94	0.28	มากที่สุด
รวม	4.94	0.29	มากที่สุด
3.ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก			
3.1 ความพร้อมของอุปกรณ์/เครื่องมือ ให้บริการ	4.59	0.62	มากที่สุด
3.2 ความเหมาะสมของสถานที่ให้บริการ	4.89	0.38	มากที่สุด
รวม	4.74	0.50	มากที่สุด
4.ด้านคุณภาพการให้บริการ			
4.1 ได้รับบริการตามความต้องการ	4.94	0.28	มากที่สุด

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความพึงพอใจ (ต่อ)

รายการที่ประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับ
4.2 ให้บริการด้วยความรวดเร็ว ทันตามกำหนด	4.93	0.34	มากที่สุด
4.3 คุณภาพของงานที่ได้รับบริการ	4.93	0.30	มากที่สุด
รวม	4.93	0.31	มากที่สุด
รวมทั้งหมด	4.89	0.34	มากที่สุด

6. สรุปผลการศึกษา

จากการพัฒนาระบบบริหารจัดการห้องประชุมโดยใช้ AppSheet และการทดสอบการใช้งานกับบุคลากรที่เกี่ยวข้อง พบว่าระบบสามารถช่วยแก้ปัญหาการจองห้องประชุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความผิดพลาดและความซ้ำซ้อนของการจองห้องประชุมได้เป็นอย่างดี และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานพบว่า โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยให้การบริหารจัดการทรัพยากรส่วนกลาง (ห้องประชุม) มีประสิทธิภาพสูงสุดและสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals - SDGs) ได้แก่ SDG 11 การพัฒนาเมืองและชุมชนที่ยั่งยืน โดยใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยให้การใช้ทรัพยากรร่วมกันมีประสิทธิภาพมากขึ้น และ SDG 17 การส่งเสริมความร่วมมือเพื่อการพัฒนา โดยอำนวยความสะดวกให้กับบุคลากรภายในองค์กรให้สามารถใช้งานทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่า อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับหน่วยงานอื่นที่มีความต้องการระบบลักษณะเดียวกันได้อีกด้วยอย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตที่สามารถนำไปปรับปรุงเพิ่มเติม ได้แก่

6.1 การขยายขอบเขตของระบบอาจเพิ่มฟังก์ชันแจ้งเตือนผ่านอีเมลเพื่อให้ผู้ใช้งานได้รับข้อมูลการจองห้องประชุม

6.2 พัฒนาให้ผู้จองห้องประชุมสามารถแก้ไขเปลี่ยนแปลงการจองห้องประชุมได้ด้วยตนเอง

เอกสารอ้างอิง

[1] ธิระพงศ์ เหมทานนท์. (2567). การออกแบบโดยใช้ Ui. เข้าถึงจาก https://shorturl.asia/j2dMx

[2] ธิระพงศ์ เหมทานนท์. (2567). การเพิ่มส่วนขยายด้วย AppSheet. เข้าถึงจาก https://docs.google.com/spreadsheets/d/1np6SDy1mNyGkwFvXSzsM8cSktca6x9yCUKeydmUd5xc/edit?gid=0#gid=0

[3] ธิระพงศ์ เหมทานนท์. (2567). ฐานข้อมูลในแอปพลิเคชัน AppSheet. เข้าถึงจาก https://shorturl.asia/KiqEN

[4] ธิระพงศ์ เหมทานนท์. (2567). ฐานข้อมูลระบบบริหารจัดการห้องประชุม. เข้าถึงจาก https://docs.google.com/spreadsheets/d/1np6SDy1mNyGkwFvXSzsM8cSktca6x9yCUKeydmUd5xc/edit?gid=0#gid=0

[5] ธิระพงศ์ เหมทานนท์. (2567). ตั้งค่าแสดงผลเพิ่มเติมในแอปพลิเคชัน AppSheet. เข้าถึงจาก https://shorturl.asia/KiqEN

[6] อิสสรียา จิตวรานนท์. (2567). แบบประเมินความพึงพอใจของผู้รับบริการที่มีต่อการให้บริการห้องประชุมกองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล. เข้าถึงจาก https://docs.google.com/forms/d/1jX_MwqSr3UTCl2K5i6y0xpKdFgAW208F892WbO3AeCE/preview

[7] เว็บไซต์กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม. (2567). หน้าแอปพลิเคชันจองห้องประชุม. เข้าถึงจาก https://shorturl.asia/c6dzT

[8] เว็บไซต์กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม. (2567). หน้าแอปพลิเคชันจองห้องประชุมแก้ไขโดยผู้ดูแลระบบ. เข้าถึงจาก https://shorturl.asia/wqa4Y

[9] เว็บไซต์กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม. (2567). หน้าแอปพลิเคชันจองห้องประชุมแบบเห็นรายเดือน. เข้าถึงจาก https://shorturl.asia/duXvE

การพัฒนาต้นแบบระบบการจัดการที่จอดรถงานพิธีพระราชทานปริญญาบัตร มหาวิทยาลัยมหิดล ปีการศึกษา 2566

ธิระพงศ์ เหมทานนท์*, อิสสรียา จิตวรานนท์

กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม

*Corresponding author: thiraphong.hem@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนาต้นแบบระบบการจัดการที่จอดรถงานพิธีพระราชทานปริญญาบัตร ปีการศึกษา 2566 2) ผู้วิจัยสำรวจปัญหาที่จอดรถและหาแนวทางการแก้ปัญหา โดยผู้วิจัยได้เสนอแนวทางรูปแบบการจัดการที่จอดรถที่เป็นประโยชน์สูงสุดต่อผู้ใช้พื้นที่จอดรถและพื้นที่การจราจรโดยรอบมหาวิทยาลัยมหิดลและพื้นที่ใกล้เคียง พร้อมทั้งข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบการจัดการที่จอดรถดังกล่าวต่อไป 3) เพื่อช่วยในการอำนวยความสะดวกแก่บัณฑิตและญาติบัณฑิตในพิธีพระราชทานปริญญาบัตร ปีการศึกษา 2566 ให้ได้รับความสะดวกรวดเร็ว มีจุดจอดรถที่แน่นอน ประหยัดเวลาในการหาที่จอด ไม่เกิดการจราจรติดสะสมและช่วยลดค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากการสูญเสียพลังงานเชื้อเพลิงหรือลดมลพิษที่เพิ่มขึ้น

โดยผู้วิจัยนำแอปพลิเคชันมาพัฒนาระบบตั้งแต่เก็บรวมรวมข้อมูลที่จอดรถภายในมหาวิทยาลัยมหิดล นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และดำเนินการทำระบบจัดการที่จอดรถงานพิธีพระราชทานรับปริญญาบัตร ปีการศึกษา 2566 โดยให้บัณฑิตจองที่จอดรถเข้ามาในระบบและทางกองกายภาพและสิ่งแวดล้อมเป็นผู้ระบุพื้นที่จอดรถให้ โดยจำนวนบัตรจอดรถที่จัดสรรให้จำนวนรวมทั้งหมด 2,896 ใบ จากการที่มหาวิทยาลัยได้พัฒนาต้นแบบระบบการจัดการที่จอดรถงานพิธีพระราชทานปริญญาบัตร ปีการศึกษา 2566 จากเดิมที่มีการใช้สถานที่จอดรถที่บริเวณถนนอุทยานในงานพิธีพระราชทานปริญญาบัตรปีการศึกษา 2565 จำนวน 3,500 คัน ทำให้การจราจรโดยรอบมหาวิทยาลัยมีการคล่องตัว ลดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุบริเวณโดยรอบ บริหารจัดการระบบจราจรมีความคล่องตัว ลดปัญหาการจราจรติดขัดโดยรอบมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนซึ่งเน้นพัฒนาในการเข้าถึงเทคโนโลยีและความรู้เป็นสิ่งสำคัญและส่งเสริมการเติบโตทางเศรษฐกิจที่ยั่งยืน ครอบคลุม SDG 11 (เมืองและชุมชนยั่งยืน) SDG 17 (ความร่วมมือเพื่อเป้าหมาย)

คำสำคัญ: ระบบการจัดการที่จอดรถ / แพลตฟอร์ม AppSmith และ AppSheet / ที่จอดรถงานพิธีพระราชทานปริญญาบัตร มหาวิทยาลัยมหิดล

Development of a Prototype Parking Management System for the Mahidol University Commencement Ceremony Academic Year 2023

Thiraphong Hemthanon*, Isareeya Chitvaranont

Division of Physical and Environmental Management, Mahidol University, Thailand

*Corresponding author: thiraphong.hem@mahidol.ac.th

ABSTRACT

The purposes of the research were to design and develop a prototype parking management system for the Mahidol University Commencement Ceremony 2023, investigate parking problems and identify solutions, proposing optimal parking management strategies beneficial to parking users and traffic flow around Mahidol University and nearby areas, along with recommendations for further system development and facilitate graduates and their families attending the Mahidol University Commencement Ceremony 2023 by providing convenience, speed, designated parking spaces, time savings in finding parking, reduced traffic congestion, and decreased expenses related to fuel consumption and pollution.

The researchers has developed the system using an application starting with the collection of parking data within Mahidol University. This data was analyzed and used to implement a parking management system for the Commencement Ceremony 2023, allowing graduates to reserve parking spaces through the system, with the Division of Physical Plant and Environment allocating the parking areas. A total of 2,896 parking passes were allocated. The university's development of this prototype parking management system for the Commencement Ceremony 2023 in contrast to the 3,500 vehicles parked along Uthayan Road during the 2022 ceremony, resulted in improved traffic flow around the university, reduced risk of accidents in the vicinity, more efficient traffic management, and alleviated traffic congestion around Mahidol University, Salaya. This aligns with the Sustainable Development Goals, emphasizing the importance of access to technology and knowledge and promoting sustainable economic growth, specifically SDG 11 (Sustainable Cities and Communities) and SDG 17 (Partnerships for the Goals).

Keywords: Parking Management System / AppSmith and AppSheet Platform / Parking for Mahidol University Commencement Ceremony

1. บทนำ

พิธีพระราชทานปริญญาบัตรเป็นหนึ่งในพิธีสำคัญที่จัดขึ้นเป็นประจำทุกปีของมหาวิทยาลัยมหิดลซึ่งมีบัณฑิตและญาติเดินทางมาเข้าร่วมเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านการจราจรและการจัดการที่จอดรถ โดยเฉพาะในบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัยและพื้นที่ใกล้เคียงซึ่งปัญหาดังกล่าวอาจก่อให้เกิดความล่าช้าในการเดินทาง และความไม่คล่องตัวของการจราจร รวมถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีการพัฒนาระบบการจัดการที่จอดรถที่มีประสิทธิภาพซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการจัดสรรพื้นที่จอดรถให้เป็นไปอย่างมีระบบระเบียบ ช่วยลดระยะเวลาการค้นหาที่จอดรถ และช่วยบรรเทาปัญหาการจราจรติดขัด ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาต้นแบบระบบการจัดการที่จอดรถสำหรับงานพิธีพระราชทานปริญญาบัตร ปีการศึกษา 2566 โดยใช้แอปพลิเคชันเพื่ออำนวยความสะดวกในการจองที่จอดรถและการบริหารจัดการพื้นที่จอดรถอย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและพัฒนาต้นแบบระบบการจัดการที่จอดรถสำหรับงานพิธีพระราชทานปริญญาบัตร ปีการศึกษา 2566 ให้มีประสิทธิภาพและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้
2. ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาการจัดการที่จอดรถในช่วงงานพิธีพระราชทานปริญญาบัตร รวมถึงเสนอแนวทางแก้ไขที่ช่วยลดปัญหาการจราจรติดขัดและเพิ่มความสะดวกให้แก่ผู้ใช้
3. พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อใช้ในการจองที่จอดรถล่วงหน้า และบริหารจัดการพื้นที่จอดรถโดยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถควบคุมและจัดสรรพื้นที่จอดรถได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. เพื่อประเมินผลกระทบของระบบการจัดการที่จอดรถที่พัฒนาขึ้น โดยเปรียบเทียบกับรูปแบบการจัดการที่จอดรถในปีก่อนหน้า เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิผลของระบบ
5. สนับสนุนแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืนตามเป้าหมาย SDG 11 (เมืองและชุมชนยั่งยืน) และ SDG 17 (ความร่วมมือเพื่อเป้าหมาย) ผ่านการปรับปรุงระบบการจัดการจราจรและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3. ขอบเขตของการศึกษา

3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่ศึกษา

ศึกษาและพัฒนาระบบการจัดการที่จอดรถภายในมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา และพื้นที่ใกล้เคียงที่ได้รับผลกระทบจากงานพิธีพระราชทานปริญญาบัตร ปีการศึกษา 2566

3.2 ขอบเขตด้านกลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายหลักของการศึกษานี้ ได้แก่ บัณฑิตและญาติของบัณฑิตที่เข้าร่วมพิธี ตลอดจนบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการจัดงาน และหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านการจราจรและการจัดสรรที่จอดรถ

3.3 ขอบเขตด้านเนื้อหา

3.3.1 การศึกษาแนวทางการบริหารจัดการที่จอดรถในงานพิธีพระราชทานปริญญาบัตร

3.3.2 การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อให้บัณฑิตสามารถจองที่จอดรถล่วงหน้า

3.3.3 การกำหนดแนวทางการบริหารจัดการพื้นที่จอดรถโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจและการวิเคราะห์

3.3.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้นกับรูปแบบการจัดการที่จอดรถในปีก่อนหน้า

3.4.ขอบเขตด้านระยะเวลา

การศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบดำเนินการในช่วง ปี พ.ศ. 2567

4. วิธีการศึกษา

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

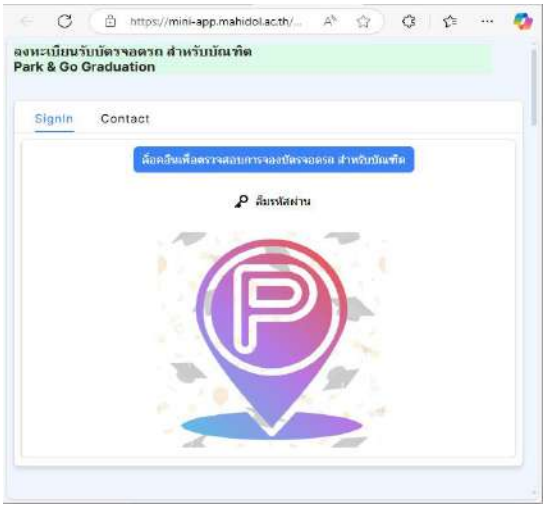
4.1 ศึกษาปัญหาและวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการที่จอดรถในงานพิธีพระราชทานปริญญาบัตรของมหาวิทยาลัยมหิดลจากปีก่อนหน้า โดยสำรวจปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจราจรและการจัดสรรพื้นที่จอดรถโดยใช้การเก็บข้อมูลภาคสนาม สัมภาษณ์หน่วยงานที่รับผิดชอบ และสอบถามความคิดเห็นของบัณฑิตและผู้ใช้บริการ

พบว่าปัญหาหลักคือการจราจรโดยรอบติดขัดมากเนื่องจากมหาวิทยาลัยไม่อนุญาตให้นำรถเข้ามาจอดภายในมหาวิทยาลัย และที่จอดรถภายนอกมีไม่เพียงพอต่อความต้องการ ส่งผลต่อการจราจรติดขัดเป็นวงกว้างรอบๆพื้นที่มหาวิทยาลัย

4.2 ออกแบบและพัฒนาระบบบริหารจัดการที่จอดรถ

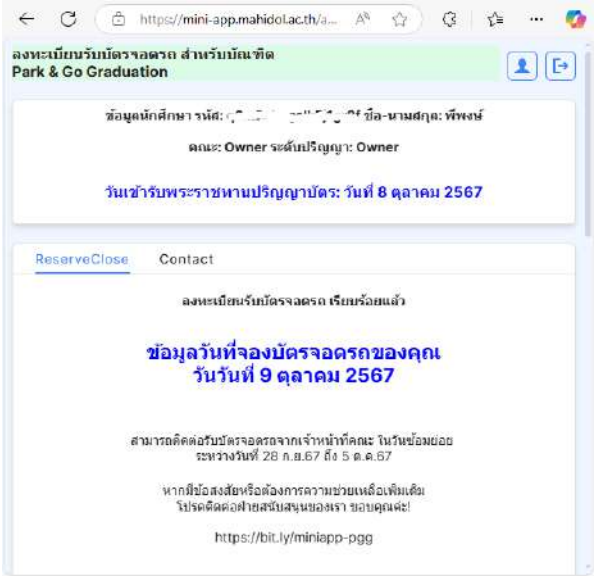
ออกแบบโครงสร้างของระบบการจัดการที่จอดรถด้วยแพลตฟอร์ม AppSmith โดยการจองที่จอดรถล่วงหน้าจะดำเนินการผ่านระบบเว็บแอปพลิเคชัน บัณฑิตสามารถเข้าสู่ระบบเพื่อทำการจองที่จอดรถล่วงหน้าได้ โดยมีสิทธิเลือกได้ 1 วัน (วันซ้อมใหญ่ 6 ตุลาคม 2567 หรือวันรับจริง 8-9 ตุลาคม 2567) โดยทางกองกายภาพและสิ่งแวดล้อมเป็นผู้กำหนดพื้นที่จอดรถภายในมหาวิทยาลัยจำนวนไม่เกิน 2,000 คัน/วัน โดยสามารถล็อกอินของอีเมล name.sur@student.mahidol.ac.th หรือ name.sur@alumni.mahidol.ac.th เพื่อลงทะเบียนขอรับบัตรจอดรถ ระหว่างวันที่ 4-6 กันยายน และรอบเพิ่มเติมในวันที่ 13 กันยายน 25679 ตัวอย่างระบบ ตามรูปประกอบที่ 1-4



รูปที่ 1 รูปหน้าหลักของระบบลงทะเบียนจองรับบัตรจอดรถ สำหรับบัณฑิต จะมีปุ่มล็อคอินเพื่อเข้าระบบลงทะเบียนรับบัตรจอดรถ [1]

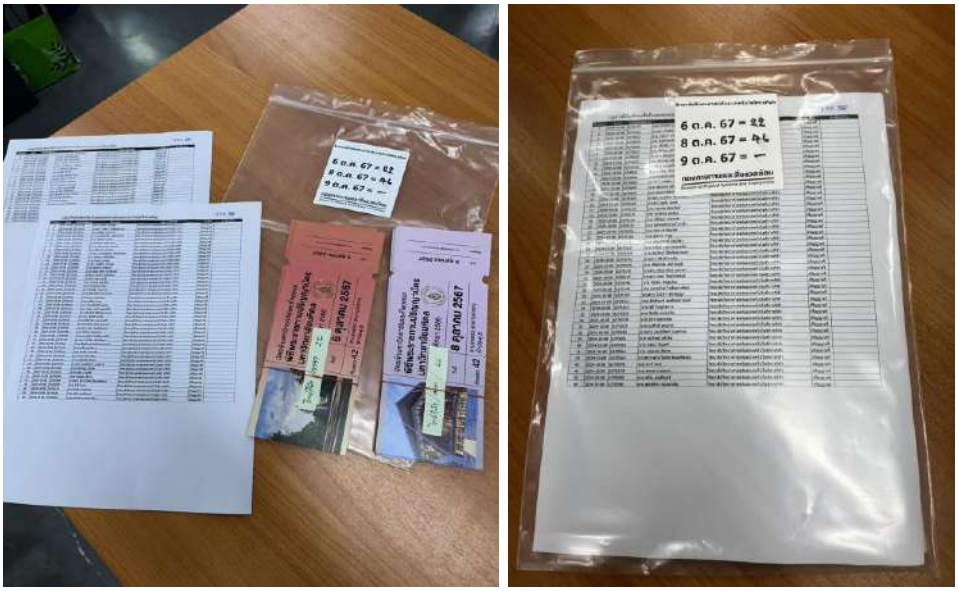
รูปที่ 2 รูปแสดงข้อมูลส่วนตัวของบัณฑิตที่จะเข้ารับพระราชทานปริญญาบัตรเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและด้านล่างของระบบจะแสดงกำหนดการที่จะเปิดให้บัณฑิตลงทะเบียนจองรับบัตรจอดรถ [1]

รูปที่ 3 รูปแสดงจำนวนที่จอดรถทั้งหมดและที่จอดรถที่เปิดให้ทำการจองในแต่ละวันเมื่อมีการจองระบบจะเพิ่มในส่วนที่จองแล้ว โดยมีแถบสีเป็นตัวบอกวันและปริมาณการจอง เช่น วันที่ 6 ตุลาคม 2567 แสดงเป็นแถบสีน้ำเงินหากมีการจองเข้ามาระบบจะมีแถบสีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเต็มตามยอดคือ 2,000 คัน เป็นต้น [1]



รูปที่ 4 รูปแสดงผลการจองบัตร เมื่อจองเสร็จระบบจะมีข้อมูลแจ้งผลการจองและกำหนดการรับบัตร [1]

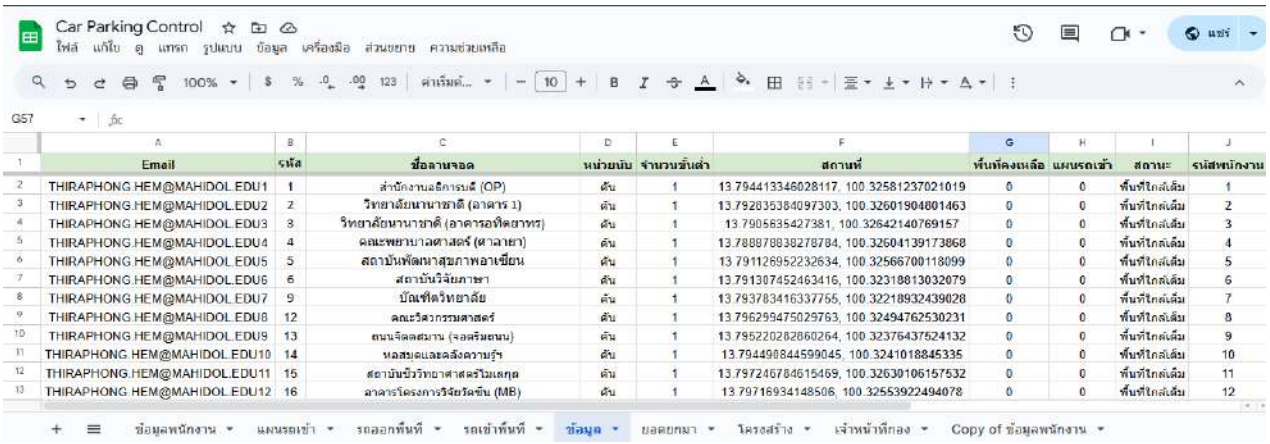
เมื่อกระบวนการจัดสรรที่จอดรถเสร็จสิ้น ระบบจะทำการยืนยันรายชื่อบัณฑิตที่ได้รับสิทธิ์จอดรถ จากนั้นกองกายภาพและสิ่งแวดล้อมจะดำเนินการจัดสรรพื้นที่จอดรถให้เหมาะสมกับจำนวนและความต้องการของผู้ใช้บริการ พร้อมจัดทำบัตรจอดรถเฉพาะบุคคลสำหรับบัณฑิตแต่ละราย จากนั้นบัตรจอดรถจะถูกส่งไปยังคณะต้นสังกัดของบัณฑิตเพื่อแจกจ่ายบัตรให้กับบัณฑิตต่อไป ตามรูปประกอบที่ 5



รูปที่ 5 เมื่อปิดระบบการจอง ทางเจ้าหน้าที่จะสั่งพิมพ์บัตรจอดรถตามข้อมูลการจองและรายชื่อผู้จองแยกเป็นวันและคณะ จัดการนำส่งให้แต่ละคณะเพื่อส่งต่อให้บัณฑิต [2]

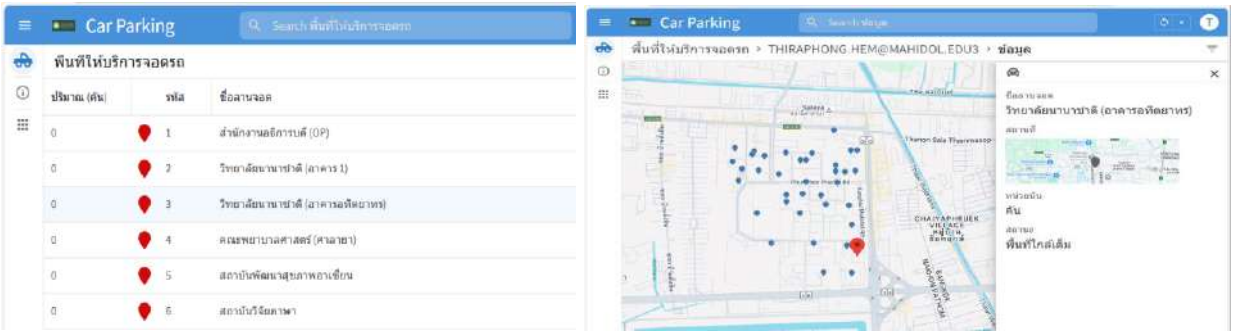
โดยมีผู้ใช้ระบบจองที่จอดรถทั้งหมดจำนวน 2,896 คน แบ่งเป็นวันที่ 6 ตุลาคม 2567 จำนวน 1,122 คน วันที่ 8 ตุลาคม 2567 จำนวน 1,183 คน วันที่ 9 ตุลาคม 2567 จำนวน 591 คน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 50.92 จากบัณฑิตที่เข้ารับพระราชทานปริญญาบัตร ปีการศึกษา 2566 จำนวน 5,687 คน เมื่อบัณฑิตได้รับบัตรจอดรถจะแสดงข้อมูลลานจอดรถที่ทางกองกายภาพและสิ่งแวดล้อมระบุเอาไว้

ในพิธีพระราชทานปริญญาบัตร ปีการศึกษา 2566 มหาวิทยาลัยงดให้บริการรถบัสรับส่งจากถนนอุทยาน และไม่อนุญาตให้จอดรถบริเวณถนนอุทยานเพื่อลดปัญหาการจราจรติดขัดรอบมหาวิทยาลัย ซึ่งในงานพิธีพระราชทานปริญญาบัตรปีการศึกษา 2565 มีรถจอดที่ถนนอุทยานถึง 3,500 คัน ทั้งนี้กองกายภาพและสิ่งแวดล้อมได้กำหนดเส้นทางเข้า-ออกมหาวิทยาลัยโดยใช้ประตูที่ใกล้จุดจอดรถแต่ละพื้นที่มากที่สุด เพื่อให้การจัดการจราจรมีประสิทธิภาพ ลดความแออัด และอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้บริการ นอกจากนี้ ยังมีการใช้ Google Sheets และ AppSheet เพื่อจัดทำฐานข้อมูลและแผนที่เส้นทางไปยังที่จอดรถ ช่วยให้บัณฑิตได้รับข้อมูลที่ชัดเจนและเดินทางได้สะดวกยิ่งขึ้น ตามรูปประกอบที่ 6-8

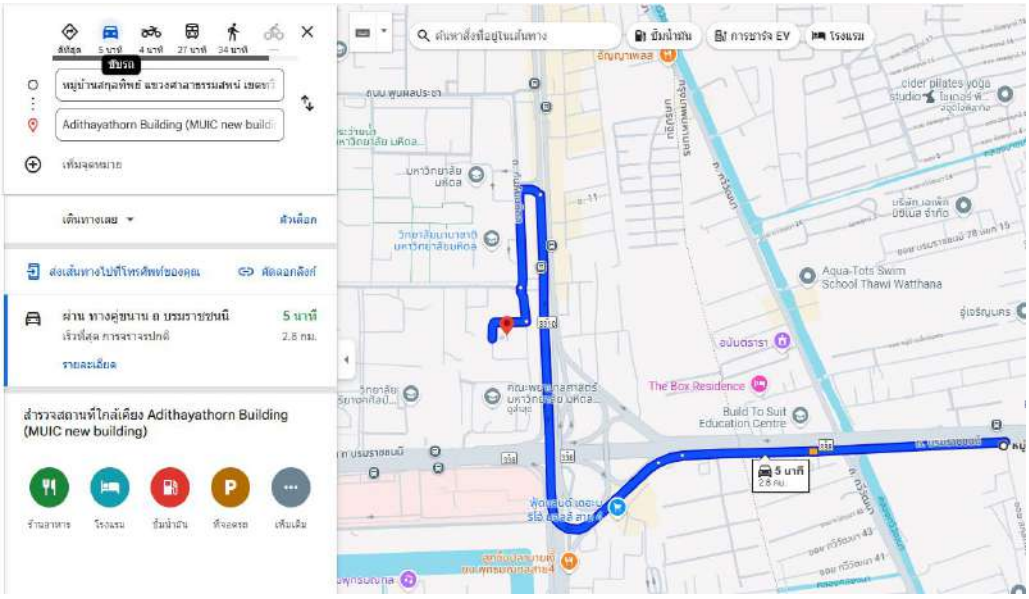


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Email	รหัส	ชื่อลานจอด	หน่วยนับ	จำนวนชั้นต่ำ	สถานที่	พื้นที่คงเหลือ	แผนรถเข้า	สถานะ	รหัสพนักงาน
2	THIRAPHONG.HEM@MAHIDOL.EDU1	1	สำนักงานอธิการบดี (OP)	คัน	1	13.794413346028117, 100.32581237021019	0	0	พื้นที่ใกล้เต็ม	1
3	THIRAPHONG.HEM@MAHIDOL.EDU2	2	วิทยาลัยนานาชาติ (อาคาร 1)	คัน	1	13.792835384097303, 100.32601904801463	0	0	พื้นที่ใกล้เต็ม	2
4	THIRAPHONG.HEM@MAHIDOL.EDU3	3	วิทยาลัยนานาชาติ (อาคารอทิตยาทร)	คัน	1	13.7905835427381, 100.32642140769157	0	0	พื้นที่ใกล้เต็ม	3
5	THIRAPHONG.HEM@MAHIDOL.EDU4	4	คณะพยาบาลศาสตร์ (ศาลายา)	คัน	1	13.788878838278784, 100.32604139173868	0	0	พื้นที่ใกล้เต็ม	4
6	THIRAPHONG.HEM@MAHIDOL.EDU5	5	สถาบันพัฒนาสุขภาพอาเซียน	คัน	1	13.791126952232634, 100.32566700118099	0	0	พื้นที่ใกล้เต็ม	5
7	THIRAPHONG.HEM@MAHIDOL.EDU6	6	สถาบันวิจัยภาษา	คัน	1	13.791307452463416, 100.32318813032079	0	0	พื้นที่ใกล้เต็ม	6
8	THIRAPHONG.HEM@MAHIDOL.EDU7	9	บัณฑิตวิทยาลัย	คัน	1	13.793783416337755, 100.322189324439028	0	0	พื้นที่ใกล้เต็ม	7
9	THIRAPHONG.HEM@MAHIDOL.EDU8	12	คณะวิศวกรรมศาสตร์	คัน	1	13.796299475029763, 100.32494762530231	0	0	พื้นที่ใกล้เต็ม	8
10	THIRAPHONG.HEM@MAHIDOL.EDU9	13	ถนนจิตตสมาน (จอดริมถนน)	คัน	1	13.79522028286264, 100.32376437524132	0	0	พื้นที่ใกล้เต็ม	9
11	THIRAPHONG.HEM@MAHIDOL.EDU10	14	หอสมุดและคลังความรู้ฯ	คัน	1	13.794490844599045, 100.3241018845335	0	0	พื้นที่ใกล้เต็ม	10
12	THIRAPHONG.HEM@MAHIDOL.EDU11	15	สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล	คัน	1	13.797246784615469, 100.32630106157532	0	0	พื้นที่ใกล้เต็ม	11
13	THIRAPHONG.HEM@MAHIDOL.EDU12	16	อาคารโครงการวิจัยวัคซีน (MB)	คัน	1	13.79716934148506, 100.32553922494078	0	0	พื้นที่ใกล้เต็ม	12

รูปที่ 6 แสดงฐานข้อมูลจุดจอดรถ เช่น ชื่อลานจอดและสถานที่ ตัวฐานข้อมูลนี้จะเป็น Google Sheet และใช้ Appsheet เป็นระบบเพิ่มความสะดวกในการเลือกลานจอด [3]



รูปที่ 7 จะเป็นหน้าระบบลานจอดรถ โดยใช้ AppSheet ในการแสดงข้อมูลลานจอดและเมื่อเลือกลานจอดระบบจะแสดงจุดจอดโดยจะมีชื่อลานจอดและแผนที่ลานจอด นอกจากนั้นยังสามารถดูรายละเอียดลานจอดได้และยังสามารถคลิกให้เปิดระบบนำทางได้ด้วย [4]



รูปที่ 8 รูปแสดงเส้นทางที่เลือกไปยังลานจอดที่ได้เลือกผ่านระบบลานจอดของ Appsheet ในส่วนนี้จะเป็นการใช้ Google Map นำทางจากจุดที่ท่านอยู่มายังลานจอดรถที่กองกายภาพและสิ่งแวดล้อมกำหนด [4]

4.3 ประสิทธิภาพในการบริหารจัดการที่จอดรถ

ระบบช่วยให้เจ้าหน้าที่กองกายภาพและสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยสามารถบริหารจัดการที่จอดรถได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ตามรูปประกอบที่ 9

รูปที่ 9 รูปบริเวณลานจอดประตู 8 ลานจอดอาคารเจรจานวัตกรรม เป็นลานจอดที่ใหญ่ที่สุดรับรถได้มากกว่า 700 คัน [5]

4.4 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน

ระบบช่วยลดการเผาผลาญเชื้อเพลิงจากการวนหาที่จอดภายในมหาวิทยาลัย และการจราจรโดยรอบมหาวิทยาลัยมีความคล่องตัว ลดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ บริหารจัดการระบบจราจรมีความคล่องตัว ซึ่งส่งผลทำให้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอีกด้วย ตามรูปประกอบที่ 10-12

รูปที่ 10 รูปบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัยในพิธีพระราชทานปริญญาบัตร ปีการศึกษา 2565 เป็นรูปของปีที่ยังไม่มีระบบจองที่จอดรถและใช้ถนนอุทยานเป็นที่จอดรถของบัณฑิตที่จะเข้ารับพระราชทานปริญญาบัตร จะมีปริมาณรถบนถนนโดยรอบมหาวิทยาลัยข้อนข้างหนาแน่นเนื่องจากมีรถที่มาจอดรอรับ-ส่งคน ทำให้การจราจรติดขัด ส่งผลต่อผู้ใช้รถโดยรอบมหาวิทยาลัย [5]

รูปที่ 11 รูปอุบัติเหตุบริเวณถนนอุทยานในพิธีพระราชทานปริญญาบัตร ปีการศึกษา 2565 เนื่องจากปริมาณรถที่มากทำให้การบริหารจัดการลำบากและผู้ที่จะมาร่วมงานพิธีพระราชทานปริญญาบัตรไม่ค่อยให้ความร่วมมือทำให้การจอดรถไม่เป็นระเบียบและเป็นสาเหตุทำให้เกิดอุบัติเหตุ [5]

รูปที่ 12 รูปบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัยในพิธีพระราชทานปริญญาบัตร ปีการศึกษา 2566 หลังจากนำระบบจองลานจอดรถและระบบนำทางมาใช้ บัณฑิตที่จองที่จอดรถนำรถมาจอดในพื้นที่มหาวิทยาลัย ทำให้ปริมาณรถที่มาจอดเพื่อรับ-ส่งก็ลดน้อยลง ลดปัญหารถติด ลดการเกิดอุบัติเหตุ [5]

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการที่จอดรถสำหรับงานพิธีพระราชทานปริญญาบัตร ปีการศึกษา 2566 พบว่าระบบสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการที่จอดรถและลดปัญหาการจราจรติดขัดรอบมหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา โดยมีผลการศึกษาที่สำคัญดังนี้

5.1 การใช้งานระบบจองที่จอดรถ

จากการศึกษาข้อมูลระบบการจัดการที่จอดรถงานพิธีพระราชทานปริญญาบัตรปีการศึกษา 2566 พบว่าบัณฑิตและญาติบัณฑิตได้รับการอำนวยความสะดวกในการใช้ระบบจองรถบัณฑิตสามารถจองที่จอดรถผ่านแอปพลิเคชันได้สะดวก รวดเร็ว ลดเวลาในการหาที่จอด และมีการใช้ Google Sheets และ AppSheet เพื่อจัดทำฐานข้อมูลและแผนที่เส้นทางไปยังที่จอดรถ ช่วยให้บัณฑิตได้รับข้อมูลที่ชัดเจนและเดินทางได้สะดวกยิ่งขึ้นรวมทั้งได้รับการยืนยันที่จอดรถก่อนวันเข้าร่วมพิธี ซึ่งจากต้นแบบดังกล่าวได้มีบัณฑิตสนใจใช้ระบบการจองที่จอดรถเป็นจำนวน 2,896 คน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 50.92 ของบัณฑิตที่เข้าร่วมพิธีพระราชทานปริญญาบัตรปีการศึกษา 2566

5.2 การลดปัญหาการจราจรและการบริหารพื้นที่จอดรถ

ระบบสามารถกระจายพื้นที่จอดรถให้เป็นระเบียบมากขึ้น ลดความแออัดของรถยนต์ที่เข้าออกภายในมหาวิทยาลัย การกำหนดเส้นทางเข้า-ออกมหาวิทยาลัยตามประตูที่ใกล้จุดจอดรถมากที่สุดช่วยให้การบริหารจัดการจราจรภายในมหาวิทยาลัยมีประสิทธิภาพ ลดความหนาแน่นของการจราจรในบางจุด และบริเวณภายนอกมหาวิทยาลัยก็ไม่มีปัญหารถติดสะสมเหมือนปีก่อนๆหน้า

6. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่าการนำระบบจองที่จอดรถล่วงหน้ามาใช้สามารถช่วยแก้ปัญหาการจราจรและเพิ่มความสะดวกให้แก่บัณฑิตและผู้เข้าร่วมพิธีได้อย่างมีประสิทธิภาพ การที่ผู้ใช้สามารถจองที่จอดรถล่วงหน้าได้ทำให้ลดความแออัดบริเวณจุดจอดรถหลัก ลดระยะเวลาการหาที่จอดรถ และช่วยให้การเดินทางภายในมหาวิทยาลัยเป็นไปอย่างราบรื่น นอกจากนี้การกำหนดเส้นทางเข้า-ออกมหาวิทยาลัยที่เหมาะสมตามจุดจอดรถยังช่วยให้การบริหารจัดการจราจรเป็นไปอย่างมีระบบ ลดปัญหาการติดขัดสะสมในบางจุด ซึ่งส่งผลให้ภาพรวมของการจราจรดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปีที่ผ่านมา

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าระบบจะสามารถช่วยแก้ปัญหาการจราจรและอำนวยความสะดวกได้ แต่ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น การประชาสัมพันธ์ให้บัณฑิตและผู้ใช้บริการทราบถึงระบบการจองที่จอดรถล่วงหน้าอาจยังไม่ทราบทั่วถึงกัน และการรองรับจำนวนผู้ใช้ที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคต ซึ่งอาจต้องพัฒนาให้ระบบสามารถรองรับปริมาณการใช้งานที่มากขึ้น ดังนั้น ควรมีการพัฒนาระบบเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและรองรับการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้นในอนาคต รวมถึงการประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อให้การบริหารจัดการพื้นที่จอดรถเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

[1] กองเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหิดล
https://mini-app.mahidol.ac.th/app/park-go-graduation/main-66c842defea8d702766c03c4
[2] ธิระพงศ์ เหมทานนท์ กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล
[3] ธิระพงศ์ เหมทานนท์ กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1g2nzw3EBZ9AwTnzixB7RL5yvlmjN6SUCBXzhAh_J0Pk/edit?gid=372490220#gid=372490220

[4] ธิระพงศ์ เหมทานนท์ กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล https://www.appsheet.com/start/6f2367d9-e059-4433-a36e-d8687278dce6?Platform=desktop#appName=ExtensionCarParking

[5] อิสสรียา จิตวรานนท์ กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล

การออกแบบผลิตภัณฑ์หัตถกรรมร่วมสมัย: การต่อยอดงานจักสานกระติบข้าวเหนียวและสิ่งทอจากใยคล้าวัสดุเหลือทิ้งเพื่อความยั่งยืน

เกศินี ศรีสอเมือง และ ธนสิทธิ์ จันทะรี*

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
* Corresponding author: kesisr@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นแนวทางสำคัญในการส่งเสริมการพัฒนาอย่างยั่งยืน อีกทั้งการออกแบบผลิตภัณฑ์จากการต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่นเป็นแนวทางสำคัญในการส่งเสริมความยั่งยืนของหัตถกรรมไทยและเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับชุมชน บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยการผลิตเส้นด้ายและการออกแบบผลิตภัณฑ์สิ่งทอจากแกนต้นคล้าวัสดุเหลือทิ้ง ที่มุ่งเน้นการพัฒนาแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ผสมผสานเทคนิคการจักสานคล้าเข้ากับสิ่งทอจากใยคล้าซึ่งเป็นผลจากการพัฒนาวัสดุเหลือทิ้งจากงานหัตถกรรม เพื่อนำเสนอผลิตภัณฑ์ร่วมสมัยและเป็นการต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่น

บทความนี้ใช้แนวคิดด้านเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) เน้นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด และการออกแบบที่ยั่งยืน (Sustainable design) มีกรอบการศึกษา โดยมีแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้เทคนิคงานจักสานแบบดั้งเดิมร่วมกับการใช้ประโยชน์จากวัสดุและองค์ประกอบใหม่ในงานออกแบบ การต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่นจากปรับรูปทรงจากการขึ้นรูปกระติบข้าวเหนียว สู่รูปแบบใหม่ให้มีความทันสมัย การเลือกใช้วัสดุแบบสีธรรมชาติ และการเพิ่มประโยชน์ทางการใช้งานให้เหมาะสมกับวิถีชีวิตแบบร่วมสมัยของผู้บริโภค ผลการพัฒนาแสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุจากคล้ารวมถึงสิ่งทอจากใยคล้าวัสดุเหลือทิ้งเป็นการต่อยอดภูมิปัญญาดั้งเดิมผ่านการออกแบบที่สามารถช่วยสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีจุดเด่นและเน้นการใช้ประโยชน์ที่ลดของเสียจากวัสดุ เชื่อมโยงกับรากวัฒนธรรมท้องถิ่น และเสริมสร้างแนวทางการสร้างรายได้ให้กับชุมชน นอกจากนี้ยังส่งเสริมแนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์และความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากรท้องถิ่น

คำสำคัญ: ใยคล้า / วัสดุเหลือทิ้ง / จักสานคล้า / ภูมิปัญญาท้องถิ่น / เศรษฐกิจหมุนเวียน

Contemporary Handicraft Product Design: Extending Sticky Rice Basket Wickerwork and Textiles from Calathea Fiber Waste Materials for Sustainability

Kesinee Srisormueang and Thanasit Chantharee*

Faculty of Architecture, Khon Kaen University, Nai Mueang Subdistrict, Mueang District, Khon Kaen Province
** Corresponding author: kesisr@kku.ac.th*

Abstract

The utilization of agricultural waste materials is a significant approach to promoting sustainable development. Additionally, product design that builds upon local wisdom is a crucial strategy for promoting the sustainability of Thai handicrafts and increasing economic value for communities. This article is part of research on yarn production and textile product design from core fibers of Calathea waste, focusing on developing design approaches that integrate traditional Calathea wickerwork techniques with textiles made from Calathea fibers derived from handicraft waste materials, to present contemporary products that extend local wisdom.

This article applies the concept of Circular Economy, emphasizing optimal resource utilization, and Sustainable Design principles as a framework. The product development approach focuses on applying traditional wickerwork techniques together with the utilization of new materials and elements in design, extending local wisdom by adapting the form of sticky rice containers into modern shapes, using natural-colored materials, and enhancing functionality to suit contemporary consumer lifestyles. The development results demonstrate that using Calathea materials, including textiles from Calathea fiber waste, extends traditional wisdom through design that helps create products with distinctive features while emphasizing waste-reducing material utilization, connecting with local cultural roots, and reinforcing income-generating pathways for communities. Furthermore, it promotes the concept of creative economy and sustainability in local resource utilization.

Keywords: Calathea Fiber / Waste Materials / Calathea Wickerwork / Local Wisdom / Circular Economy

1. บทนำ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์หัตถกรรมจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นแนวทางสำคัญในการส่งเสริมการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะในบริบทของชุมชนที่มีภูมิปัญญาท้องถิ่นเป็นทุนทางวัฒนธรรม ชุมชนบ้านโคก ตำบลกุดทัน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น เป็นชุมชนที่มีการสืบทอดภูมิปัญญาการจักสานคล้ามาอย่างยาวนาน โดยเฉพาะการทำกระติบข้าวเหนียวที่ได้รับการยอมรับในด้านความประณีตและความทนทานของผลิตภัณฑ์ การจักสานคล้าในชุมชนนี้มีการคัดเลือกวัตถุดิบและลวดลายที่สืบทอดกันมาหลายชั่วอายุคน และต้นคล้าเป็นพืชท้องถิ่นที่ผู้คนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือใช้ประโยชน์ในการจักสานกระติบข้าวเหนียวมาอย่างยาวนาน อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตมีการใช้เฉพาะส่วนเปลือกนอก ทำให้เกิดเศษวัสดุเหลือทิ้งจากส่วนแกนในจำนวนมาก การนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่จึงสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนให้ความสำคัญจากการกับการจัดการของเสียจากการผลิต ส่งเสริมการสร้างของเสียในปริมาณที่ต่ำ [1] ก็ารพัฒนาผลิตภัณฑ์หัตถกรรมจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นแนวทางสำคัญในการส่งเสริมการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะในบริบทของชุมชนที่มีภูมิปัญญาท้องถิ่นเป็นทุนทางวัฒนธรรม

(ก) เส้นคล้าที่ยังไม่เอาไส้คล้าออก

(ข) การขูดไส้คล้าออกเพื่อเอาเปลือกใช้ในงานจักสาน

รูปที่ 1 แสดงวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการจักสาน (ก) เส้นคล้าที่ยังไม่เอาไส้คล้าออก และ (ข) การขูดไส้คล้าออกเพื่อเอาเปลือกใช้ในงานสาน

งานหัตถกรรมพื้นถิ่นไม่เพียงแต่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ใช้สอยเท่านั้น แต่ยังมีคุณค่าหลากมิติที่เชื่อมโยงกับพื้นที่และวัฒนธรรม ทั้งคุณค่าทางเศรษฐกิจ คุณค่าทางสังคม คุณค่าทางสุนทรียภาพ คุณค่าทางประวัติศาสตร์ และคุณค่าเชิงสัญลักษณ์ [2] โดยการสร้างคุณค่า (value creation) ผ่านการจัดการทรัพยากรเชิงกลยุทธ์เป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน การพัฒนาต่อยอดงานจักสานคล้าเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมสมัยจึงต้องคำนึงถึงการรักษาคุณค่าดั้งเดิมไว้ ขณะเดียวกันก็ต้องสร้างคุณค่าใหม่ที่ตอบสนองผู้บริโภคปัจจุบัน

การออกแบบผลิตภัณฑ์หัตถกรรมร่วมสมัยที่ผสมผสานเทคนิคจักสานแบบดั้งเดิมเข้ากับนวัตกรรมการแปรรูปวัสดุ นอกจากจะช่วยลดปัญหาขยะเหลือทิ้งแล้ว ยังเป็นการต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่นให้ร่วมสมัย ตามแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนเชิงสร้างสรรค์ [3]

การวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาแนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์หัตถกรรมร่วมสมัยจากการผสมผสานเทคนิคจักสานคล้าแบบดั้งเดิมเข้ากับสิ่งทอจากใยคล้าที่เป็นวัสดุเหลือทิ้ง โดยประยุกต์แนวคิดการออกแบบที่ยั่งยืนและเศรษฐกิจหมุนเวียน เพื่อสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองการใช้งานร่วมสมัย ขณะเดียวกันก็รักษาคุณค่าทางวัฒนธรรมและส่งเสริมการพัฒนาที่ยั่งยืนของชุมชน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์หัตถกรรมร่วมสมัยที่ผสมผสานเทคนิคจักสานคล้าแบบดั้งเดิมเข้ากับสิ่งทอจากใยคล้า โดยประยุกต์ใช้แนวคิดการออกแบบที่ยั่งยืนและเศรษฐกิจหมุนเวียน
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์หัตถกรรมร่วมสมัยที่ต่อยอดจากกระติบข้าวเหนียว สะท้อนอัตลักษณ์ทางวัฒนธรรมของชุมชนและตอบสนองการใช้งานในปัจจุบัน

3. ขอบเขตของการศึกษา

บทความนี้การผลิตเส้นด้ายและการออกแบบผลิตภัณฑ์สิ่งทอจากแกนต้นคล้าวัสดุเหลือทิ้ง เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) มุ่งเน้นการสร้างสรรค์และพัฒนาผลิตภัณฑ์หัตถกรรมร่วมสมัยจากคล้าและสิ่งทอจากใยคล้าวัสดุเหลือทิ้งในกระบวนการจักสาน โดยมีขอบเขตการศึกษาดังนี้

1. ขอบเขตด้านพื้นที่ ดำเนินการวิจัยในพื้นที่ชุมชนบ้านโคก ตำบลกุดทัน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
2. ขอบเขตด้านเนื้อหา
   - การศึกษาภูมิปัญญาและกระบวนการจักสานคล้าแบบดั้งเดิม
   - การผสมผสานเทคนิคงานจักสานและสิ่งทอ
   - การออกแบบผลิตภัณฑ์ตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและการออกแบบที่ยั่งยืน
3. ขอบเขตด้านการออกแบบ
   - ประเภทผลิตภัณฑ์: สำหรับใช้ในชีวิตประจำวัน
   - วัสดุ: เปลือกคล้าสำหรับจักสานและสิ่งทอจากใยคล้าจากส่วนแกนในที่เหลือทิ้ง
   - แนวคิดการออกแบบ: การใช้วัสดุที่คุ้มค่า และต่อยอดรูปทรงและลวดลายจากกระติบข้าวเหนียว
   - เทคนิคการผลิต: ผสมผสานงานจักสานกับสิ่งทอและเย็บ

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) โดยใช้วิธีการวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Method Research) ระหว่างการวิจัยเชิงคุณภาพและเชิงปฏิบัติการ มีวิธีการรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. การศึกษาข้อมูล
   - ศึกษาแนวคิดการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ยั่งยืน
   - ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากวัสดุเหลือทิ้ง
2. การศึกษาเทคนิคและกระบวนการขึ้นรูปจักสานกระติบข้าวเหนียว
   - ศึกษาภูมิปัญญาการจักสานคล้าในชุมชนบ้านโคก
   - สังเกตการณ์กระบวนการผลิตกระติบข้าวของชุมชนบ้านโคก
   - ศึกษาเทคนิคการจักสานและลวดลายดั้งเดิม

3. การทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตามแนวคิดการออกแบบที่ยั่งยืน
   - ทดลองเทคนิคการผสมผสานวัสดุและการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์
   - ประยุกต์ใช้หลักการออกแบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Eco-design)
4. การวิเคราะห์และสรุปผลผลิตภัณฑ์ต้นแบบ
   - ด้านการออกแบบและการใช้งาน
   - ความเป็นไปได้ในการผลิต
   - การสร้างมูลค่าเพิ่มและการอนุรักษ์ภูมิปัญญา
   - ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

4. กรอบแนวคิด

การวิจัยนี้ประยุกต์ใช้กรอบแนวคิดด้านเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และการออกแบบที่ยั่งยืน (Sustainable Design) เป็นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ [4] แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน ซึ่งเป็นระบบที่ทรัพยากรถูกใช้ซ้ำ นำกลับมาใช้ใหม่ และฟื้นฟูผ่านรูปแบบการไหลเวียนที่ช้าลง (slowing flows) ปิดวงจร (closing loops) และลดการใช้ทรัพยากรใหม่ (narrowing loops) งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่การลดใช้ทรัพยากรใหม่ โดยการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการจักสานให้กลายเป็นวัตถุดิบใหม่ โดยคำนึงถึงวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ตั้งแต่การออกแบบระยะเริ่มต้น นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้ในส่วนของการออกแบบที่คำนึงถึงการใช้ประโยชน์สูงสุดจากวัสดุ และคุณค่าทางวัฒนธรรมและความเชื่อมโยงกับการใช้ทุนทางวัฒนธรรมที่เป็นวัตถุ ทั้งด้านวัสดุท้องถิ่นและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์จักสานคล้าท้องถิ่นมาประยุกต์สู่การออกแบบผลิตภัณฑ์ประกอบกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

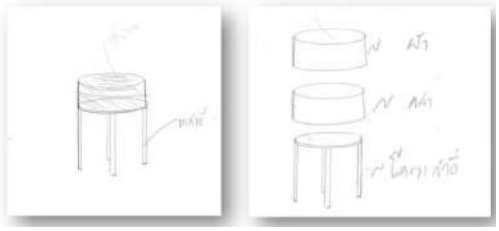
รูปที่ 2 แสดงกรอบวิจัยและแนวคิดการออกแบบผลิตภัณฑ์

5. กระบวนการขึ้นต้นแบบผลิตภัณฑ์

ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ได้ลงพื้นที่ เพื่อศึกษากระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่กลุ่มจักสานกระติบข้าวเหนียวจากคล้าบ้านโคก ตำบลกุดธาตุ อำเภอหนองนาคำ จังหวัดขอนแก่น เพื่อศึกษากระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ของกลุ่มจักสาน เพื่อสามารถนำเอารูปแบบผลิตภัณฑ์จักสานจากคล้า สู่การประยุกต์ร่วมกับการออกแบบผลิตภัณฑ์จากใยคล้า

การออกแบบและการขึ้นต้นแบบประกอบด้วย

(1) การวาดแบบร่างโครงร่างผลิตภัณฑ์



(ก) แบบร่างผลิตภัณฑ์ และ (ข) โครงร่างและส่วนประกอบผลิตภัณฑ์

รูปที่ 3 แสดง โครงร่างผลิตภัณฑ์ (ก) แบบร่างผลิตภัณฑ์ และ (ข) โครงร่างและส่วนประกอบผลิตภัณฑ์

(2) การศึกษาการขึ้นรูปและจักสานจากชุมชนบ้านโคก

(ก) กระบวนการสานขึ้นรูปกระติบข้าวเหนียว (ข) การขึ้นรูปจักสานและปรับขนาดใหม่

รูปที่ 4 แสดงการขึ้นรูปโครงสร้างภายนอก (ก) กระบวนการสานขึ้นรูปกระติบข้าวเหนียว และ (ข) การขึ้นรูปจักสานและปรับขนาดใหม่

(3) การผลิตและประกอบต้นแบบจากผ้าทอมือใยคล้าผสมไหมอีรี่ ซึ่งเป็นผลผลิตจาจากการทดลองวัสดุเหลือใช้จากแกนใส้ในต้นคล้า

(ก) ภาพเบาะกลมรองนั่งจากผ้าทอใยคล้าผสมไหมอีรี่ (ข) ใยคล้ามีใช้ในเบาะรองนั่ง

รูปที่ 5 แสดง (ก) ภาพเบาะกลมรองนั่งจากผ้าทอใยคล้าผสมไหมอีรี่ (ข) ใยคล้ามีใช้ในเบาะรองนั่ง

(ก) ภาพเบาะกลมรองนั่งจากจักสานคล้าและผ้าทอใยคล้า

(ข) ทางเลือกการใช้งานเมื่อใช้วางประกอบเก้าอี้

รูปที่ 6 แสดง (ก) ภาพเบาะกลมรองนั่งจากจักสานคล้าและผ้าทอใยคล้า และ (ข) ทางเลือกการใช้งานเมื่อใช้วางประกอบเก้าอี้

(4) การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ทางเลือก โดยได้พัฒนาส่วนประกอบเก้าอี้ไม้สตูลหัวเหลี่ยม ที่เป็นรูปแบบที่ลดการสูญเสียของผ้า และเป็นทางเลือกอีกรูปแบบ ซึ่ง เป็นผลิตภัณฑ์อีกประโยชน์ใช้สอยที่นำส่วนเบาะรองนั่งมาประกอบเป็นเก้าอี้สตูล หลักการออกแบบแบบ Modular ที่สามารถปรับรูปแบบการใช้งานเป็นเบาะรองนั่ง หรือใช้เป็นเก้าอี้นั่ง ในรูปแบบที่หลากหลายแบบร่วมสมัย

รูปที่ 7 แสดงภาพเบาะสี่เหลี่ยมรองนั่งจากคล้าและผ้าทอใยคล้า และทางเลือกการใช้งานเมื่อใช้วางประกอบเก้าอี้

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การออกแบบผลิตภัณฑ์หัตถกรรมร่วมสมัยจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรคือแนวทางการพัฒนาที่กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ไม่เพียงแต่ตอบโจทย์การพัฒนาอย่างยั่งยืนเท่านั้น หากยังเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับทรัพยากรและภูมิปัญญาท้องถิ่นอย่างสร้างสรรค์

5.1 ผลการศึกษารูปแบบผลงานวิชาการ

การศึกษาวิจัยนี้ มีผลการวิเคราะห์เป็นรูปแบบผลงานวิชาการที่ประกอบด้วยองค์ประกอบ 4 ประการ ดังนี้

5.1.1 รูปแบบการบูรณาการภูมิปัญญาท้องถิ่นกับหลักการออกแบบร่วมสมัย

ผลการศึกษาได้นำเสนอรูปแบบการบูรณาการที่มีความเป็นระบบและสามารถถ่ายทอดไปสู่ชุมชนอื่นๆ ได้ โดยเริ่มจากการทำความเข้าใจคุณค่าของภูมิปัญญาท้องถิ่น ในมิติของวัสดุ เทคนิค และคุณค่าทางวัฒนธรรม และนำมาวิเคราะห์ร่วมกับทฤษฎี

การออกแบบร่วมสมัย กรณีศึกษาคล้าและกระติบข้าวนี้ได้แสดงให้เห็นถึงกระบวนการวิเคราะห์ทั้งในการเลือกใช้วัสดุ การพัฒนาเทคนิคการผลิต รวมถึงการสร้างสรรค์รูปแบบใหม่ในการประยุกต์สู่การใช้งานในบริบทปัจจุบัน

รูปแบบการออกแบบนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของภูมิปัญญาดั้งเดิม ที่ต่อยอดสู่ผลิตภัณฑ์ใหม่ ที่เป็นส่วนสำคัญต่อความยั่งยืนของการพัฒนา

5.1.2 กรอบแนวคิดการวิเคราะห์วัสดุเหลือทิ้งเพื่อการสร้างมูลค่าเพิ่ม

การวิเคราะห์ศักยภาพของวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตหัตถกรรมดั้งเดิม โดยพิจารณาปัจจัยสำคัญ ในด้านมิติกายภาพ (คุณสมบัติทางกายภาพ ความเป็นไปได้ในการแปรรูป) และมิติสิ่งแวดล้อม (ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การย่อยสลาย วัฏจักรชีวิต) กรอบแนวคิดนี้นำเสนอขั้นตอนการวิเคราะห์ เริ่มจากการสำรวจและจำแนกประเภทวัสดุเหลือทิ้ง การศึกษาความเป็นไปได้ในการแปรรูป ไปจนถึงการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวัสดุเหลือทิ้งอื่นๆ นอกเหนือจากคล้าได้

5.1.3 แนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียนสำหรับงานหัตถกรรม

ผลการศึกษาได้พัฒนาเป็นแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์หัตถกรรมไทยที่สอดคล้องกับหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน ซึ่งประกอบด้วยหลักการสำคัญดังนี้

(1) การออกแบบโดยคำนึงถึงการใช้วัสดุอย่างคุ้มค่า (Design for material efficiency) ซึ่งมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดและลดของเสียให้เหลือน้อยที่สุด [4] โดยนำเอาใส้คล้า วัสดุเหลือทิ้งจากงานจักสานหัตถกรรมไทยมาใช้ผ่านการแปรรูปใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

(2) การออกแบบที่คำนึงถึงการนำกลับมาใช้ใหม่ (Design for recyclability) ซึ่งพิจารณาถึงวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์หลังหมดอายุการใช้งาน โดยพิจารณาใยคล้าที่ใช้ในเบาะรองนั่ง หลังหมดอายุการใช้งานสามารถนำไปแปรรูปเพื่อสิ่งทอหรือย่อยสลายตามธรรมชาติได้

(3) การออกแบบเพื่อการปรับเปลี่ยน (Design for adaptability) ซึ่งให้ความสำคัญกับความยืดหยุ่นในการใช้งานที่หลากหลาย [5]

(4) แนวทางการออกแบบนี้จากกรณีศึกษาของผลิตภัณฑ์เบาะรองนั่งและเก้าอี้สตูลจากคล้าและใยคล้า สามารถนำไปปรับใช้กับงานหัตถกรรมไทยประเภทอื่นได้

5.1.4 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อความยั่งยืน

ผลการศึกษาได้นำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ซึ่งบูรณาการมิติสิ่งแวดล้อม และวัฒนธรรมเข้าด้วยกัน ประกอบด้วยการจัดหาวัตถุดิบอย่างยั่งยืน กระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การออกแบบและการจัดการผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน

การพัฒนาผลิตภัณฑ์นี้คือการให้ความสำคัญกับการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยมุ่งเน้นความยั่งยืนในระยะยาว โดยคำนึงถึงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ การออกแบบที่คำนึงถึงวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เริ่มต้นจากการเลือกวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมหรือนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และการนำวัสดุเหลือใช้มาแปรรูปเป็นวัตถุดิบใหม่ ตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน [6]

ในด้านการจัดหาวัตถุดิบ ผลการศึกษาพบว่าการใช้คล้าซึ่งเป็นวัสดุท้องถิ่นที่สามารถหาได้ในระยะทางไม่เกิน 50 กิโลเมตรจากแหล่งผลิต ช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการขนส่งได้ เมื่อเทียบกับการใช้วัสดุนำเข้า นอกจากนี้ การนำแกนในคล้าที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ ยังช่วยลดปริมาณขยะจากกระบวนการจักสานลง สอดคล้องกับหลักการของเศรษฐกิจหมุนเวียนที่เน้นการปิดวงจร (closing loops) และลดการใช้ทรัพยากรใหม่ (narrowing loops) [4]

สำหรับกระบวนการผลิต การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ลดการใช้น้ำและพลังงาน ตามแนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต [7] ประยุกต์ใช้โดยการตัดกระบวนการย้อมสีออกและใช้สีธรรมชาติของวัสดุช่วยลดการใช้น้ำและการปนเปื้อนของสารเคมีลงสู่แหล่งน้ำ เมื่อเทียบกับกระบวนการผลิตสิ่งทอทั่วไปที่มักมีการใช้สารเคมีในการย้อมสีและการเตรียมเส้นใย

ด้านการจัดการหลังหมดอายุการใช้งาน มุ่งเน้นการเลือกใช้วัสดุที่สามารถหมุนเวียนกลับเข้าสู่ระบบนิเวศ เส้นใยคล้าและเปลือกคล้าเป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

ผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่า การพัฒนาผลิตภัณฑ์ตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนที่ใช้คล้าและใยคล้าเป็นวัตถุดิบ ไม่เพียงช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ยังเป็นการต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่น เป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาอย่างยั่งยืน

ผลการออกแบบผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้นคือ เบาะรองนั่งที่ได้แรงบันดาลใจจากกระติบข้าวเหนียว โดยประยุกต์รูปทรงและลวดลายดั้งเดิมให้ร่วมสมัย มีการใช้เทคนิคผสมผสานระหว่างการจักสานและสิ่งทอ ผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะสำคัญ ดังนี้:

รูปทรงที่ได้แรงบันดาลใจจากกระติบข้าวเหนียว ปรับให้มีความร่วมสมัยและประโยชน์ใช้สอยที่เหมาะกับการใช้งานปัจจุบัน จากการวิจัยมีการผสมผสานผ้าทอจากใยคล้าในส่วนประกอบและการตกแต่งที่มีการออกแบบตามแนวคิด Circular economy และผสมผสานการออกแบบผลิตภัณฑ์จากแนวคิดที่ยั่งยืน sustainable Designเบาะร่วมกับการนำเอาทุนทางวัฒนธรรมที่เป็นวัตถุ

มาออกแบบและสร้างสรรค์เป็นผลิตภัณฑ์ร่วมสมัยเบาะรองนั่งและเก้าอี้ไม้สตูลประกอบเบาะผ้าทอจากใยคล้าผสมกับไหมอีรี่มีลักษณะอ่อนนุ่มแต่ยังคงความทนทานตามลักษณะเฉพาะของเส้นใยคล้า ผ้าที่ทอจากเส้นใยคล้าผสมไหมอีรี่นี้ เหมาะสำหรับใช้ในงานผลิตภัณฑ์ตกแต่งบ้าน เช่น เบาะรองนั่งและเก้าอี้ไม้สตูล โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีคุณสมบัติที่ดีในด้านการใช้งานและสอดคล้องกับแนวคิดการออกแบบที่ยั่งยืน (Sustainable Design) ซึ่งเน้นการใช้วัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่า

5.2 การประเมินผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากจักสานคล้า

5.2.1 ด้านการออกแบบและการใช้งาน

<u>จุดแข็งด้านการออกแบบ เป็นการผสมผสานรูปแบบ:</u> การบูรณาการระหว่างลวดลายจักสานดั้งเดิมกับรูปทรงร่วมสมัย สร้างความน่าสนใจและความแปลกใหม่

<u>ความเป็นเอกลักษณ์:</u> ลักษณะเฉพาะของเส้นใยคล้าและเทคนิคการจักสานเฉพาะถิ่นสร้างผลิตภัณฑ์ที่ไม่เหมือนใคร

<u>ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์:</u> สามารถประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์หลายประเภท ทั้งของตกแต่งบ้าน เครื่องใช้ส่วนตัว และเครื่องประดับ

5.2.2 การวิเคราะห์ด้านการใช้งาน

<u>ความทนทาน:</u> โครงสร้างจักสานมีความแข็งแรง เหมาะสำหรับการใช้งานในระยะยาว

<u>การใช้งานหลายบริบท:</u> สามารถใช้งานได้ทั้งภายในและภายนอกบ้าน โดยต้องคำนึงถึงการปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะกับสภาพแวดล้อม

<u>น้ำหนักและความกะทัดรัด:</u> ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเบา สะดวกในการเคลื่อนย้าย

5.2.3 ความเป็นไปได้ในการผลิต

<u>การจัดหาวัตถุดิบ:</u> สามารถหาได้ในท้องถิ่น

<u>ความยั่งยืนของวัตถุดิบ:</u> จำเป็นต้องมีการวางแผนการจัดการทรัพยากรคล้าอย่างยั่งยืน รวมถึงการปลูกทดแทน

<u>คุณภาพและความสม่ำเสมอ:</u> การสร้างมาตรฐานในการคัดเลือกและเตรียมวัตถุดิบเพื่อให้ได้คุณภาพที่สม่ำเสมอ

<u>การจัดเก็บและการรักษา:</u> ต้องมีระบบการจัดเก็บวัตถุดิบที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพ

<u>ทักษะช่างฝีมือ:</u> ต้องมีการพัฒนาและถ่ายทอดทักษะให้ช่างรุ่นใหม่อย่างต่อเนื่อง

5.2.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

การวิเคราะห์แนวทางการออกแบบโดยคำนึงถึงวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ หรือผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมของช่วงผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยนำแนวทางการแบ่งช่วงชีวิตผลิตภัณฑ์ มาเป็นแนวทางเพื่อการตัดสินใจในการเลือกใช้กระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ โดยคำนึงจากกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ใน 3 กระบวนการหลัก ได้แก่

<u>การจัดหาวัตถุดิบ:</u> เน้นวัตถุดิบที่สามารถหาวัตถุดิบได้ในท้องถิ่น ผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของปิยะนุช เจริญสุขวัฒนา [8] ที่ระบุว่าการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในท้องถิ่นตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการขนส่ง เมื่อเทียบกับการใช้วัสดุนำเข้า ในกรณีของคล้าซึ่งเป็นพืชท้องถิ่นที่พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การเก็บเกี่ยวสามารถทำได้ในระยะทางไม่เกิน 50 กิโลเมตรจากแหล่งผลิต และการนำส่วนแกนในที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ยังช่วยลดปริมาณขยะจากกระบวนการจักสานลงได้ ซึ่งเป็นการสร้างคุณค่าสูงสุดจากทรัพยากรที่มีอยู่

<u>กระบวนการผลิต:</u> เลือกตัดกระบวนการย้อมในกระบวนการผลิตออก ใช้สีธรรมชาติ ลดการสูญเสียน้ำจากการย้อม และลดการปนเปื้อนจากสีเคมีซึ่งเป็นขั้นตอนที่สามารถลดได้ โดยเน้นการใช้สีธรรมชาติของวัตถุดิบ

<u>การจัดการหลังหมดอายุการใช้งาน:</u> คล้าและใยคล้า ที่เป็นวัสดุหลักทั้งด้านโครงสร้างภายนอก ผ้าห่อหุ้ม และใยที่ใช้ในชั้นรองด้านใน ล้วนสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบสามารถนำไปย่อยสลายได้ในธรรมชาติ

5.2.5 การออกแบบตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน

<u>การใช้วัสดุหมุนเวียน:</u> ส่งเสริมการใช้วัสดุจากธรรมชาติที่สามารถทดแทนได้

<u>การออกแบบเพื่อความยั่งยืน:</u> ออกแบบให้มีอายุการใช้งานยาวนาน สามารถซ่อมแซมได้

<u>การนำกลับมาใช้ใหม่:</u> พิจารณาการแปรรูปหรือนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่เมื่อหมดอายุการใช้งาน

<u>ของเสียเป็นศูนย์:</u> วางแผนการใช้ประโยชน์จากเศษวัสดุในกระบวนการผลิต

5.2.6 คุณค่าเชิงสุนทรียภาพและสัญลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น

<u>การผสมผสานวัสดุ:</u> ความกลมกลืนและความขัดแย้งเชิงสร้างสรรค์ระหว่างวัสดุธรรมชาติและการใช้งานจากการออกแบบร่วมสมัย

<u>พื้นผิวและสัมผัส:</u> ลักษณะพื้นผิวที่เป็นธรรมชาติและการรับรู้ผ่านการสัมผัส

<u>รูปทรงและสัดส่วน:</u> ความสมดุลของรูปทรงที่ผสมผสานระหว่างการใช้งานและความงาม

5.2.7 คุณค่าเชิงสัญลักษณ์

<u>การสื่อถึงรากเหง้าทางวัฒนธรรม:</u> ลวดลายและเทคนิคที่สะท้อนงานจักสานของชุมชน

<u>การเชื่อมโยงกับภูมิปัญญาท้องถิ่น:</u> การสืบทอดและต่อยอดความรู้ดั้งเดิม

5.2.8 ผลกระทบต่อการรับรู้

<u>การสร้างประสบการณ์:</u> การใช้ผลิตภัณฑ์ก่อให้เกิดประสบการณ์ที่เชื่อมโยงกับวัฒนธรรมและธรรมชาติ
<u>การสร้างความตระหนัก:</u> กระตุ้นการตระหนักถึงคุณค่าของงานหัตถกรรมและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม
<u>การสร้างความภาคภูมิใจ:</u> ก่อให้เกิดความภูมิใจในมรดกทางวัฒนธรรมทั้งในผู้ผลิตและผู้ใช้

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ต้นแบบในมิติต่างๆ เหล่านี้จะช่วยให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์จักสานคล้าสามารถรักษาสมดุลระหว่างคุณค่าดั้งเดิมและความต้องการของตลาดปัจจุบัน รวมทั้งสร้างความยั่งยืนทั้งในเชิงวัฒนธรรม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม

นอกจากนี้ การพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์เบาะรองนั่ง ได้ประยุกต์สู่การออกแบบเพื่อการใช้งานในรูปแบบเก้าอี้สตูล ในที่ได้รับการออกแบบให้มีรูปลักษณ์ที่เรียบง่ายและร่วมสมัย โดยการนำแนวคิดการออกแบบแบบโมดูลาร์ (Modular Design) มาใช้เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สามารถปรับเปลี่ยนและประกอบได้หลายรูปแบบ

การออกแบบเก้าอี้สตูลแบบโมดูลาร์กับเบาะรองนั่งได้นำแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนมาประยุกต์ใช้ โดยแต่ละชิ้นส่วนถูกออกแบบให้ถอดประกอบง่าย ส่วนโครงสร้างเก้าอี้สตูลผลิตจากไม้ธรรมชาติ ขณะที่เบาะรองนั่งออกแบบเป็นโมดูลแยกต่างหากที่ทำให้ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการใช้งานได้หลากหลาย สอดคล้องกับแนวคิดการออกแบบเพื่อการปรับเปลี่ยนและใช้งานที่หลากหลายตามแนวคิด [9] นำเสนอ นอกจากนี้ เบาะรองนั่งยังออกแบบตามหลักการรีไซเคิล โดยใช้เส้นใยจากต้นคล้าซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง การนำแกนคล้าที่เหลือจากการจักสานมาแปรรูปเป็นเส้นใยสำหรับยัดไส้เบาะ นับเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือทิ้งตามแนวคิดการออกแบบเพื่อการรีไซเคิลที่เมื่อหมดอายุการใช้งาน ผู้ใช้สามารถแยกผ้าหุ้มเบาะออกจากเส้นใยคล้าได้อย่างง่ายดาย และเส้นใยคล้าสามารถนำกลับไปสู่กระบวนการสร้างสรรค์สิ่งทอ หรือนำกลับสู่ธรรมชาติได้อย่างสมบูรณ์เพราะเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

การออกแบบผลิตภัณฑ์นี้แสดงให้เห็นว่าการผสมผสานภูมิปัญญาดั้งเดิมกับเทคนิคการออกแบบร่วมสมัยสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยเฉพาะการประยุกต์รูปทรงและลวดลายดั้งเดิมให้เข้ากับประโยชน์ใช้สอยร่วมสมัย การใช้สีและวัสดุธรรมชาติยังช่วยส่งเสริมแนวคิดการออกแบบอย่างยั่งยืน

การออกแบบเก้าอี้สตูลแบบโมดูลาร์กับเบาะรองนั่งที่ใช้เส้นใยจากต้นคล้าสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน [10] ในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เอื้อต่อการถอดประกอบและรีไซเคิล และการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นร่วมกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับยุทธศาสตร์การพัฒนาเศรษฐกิจหมุนเวียนในประเทศไทยที่เน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและการสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจให้กับชุมชน โดยการนำแกนคล้าที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งมาแปรรูปเป็นเส้นใยสำหรับเบาะรองนั่งนั้นไม่เพียงลดของเสีย แต่ยังสร้างมูลค่าเพิ่มและส่งเสริมการอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นอีกด้วย

ผลิตภัณฑ์เบาะรองนั่งและเก้าอี้สตูลนี้พัฒนาขึ้นไม่เพียงมีประโยชน์ใช้สอย แต่ยังสะท้อนถึงการผสมผสานเทคนิคดั้งเดิมกับแนวคิดการออกแบบที่ผสานทุนวัฒนธรรมทางวัตถุ ที่สามารถนำไปขยายผลสู่ผลิตภัณฑ์อื่นๆ เพื่อเพิ่มความหลากหลายและความยั่งยืนในอนาคต การวิจัยนี้ไม่เพียงแต่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของวัสดุเหลือทิ้งในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าสูง แต่ยังนำเสนอแนวทางการออกแบบที่ส่งเสริมการอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นควบคู่ไปกับการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนอย่างยั่งยืน ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถต่อยอดเป็นต้นแบบให้ชุมชนนำไปปรับใช้ และขยายผลสู่ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยเรื่อง "การออกแบบผลิตภัณฑ์หัตถกรรมร่วมสมัย: การต่อยอดงานจักสานกระติบข้าวเหนียวและสิ่งทอจากใยคล้าวัสดุเหลือทิ้ง เพื่อความยั่งยืนของชุมชน" เป็นบทความวิจัยที่ได้รับทุนจาก กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) : งบประมาณด้าน ววน. ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2566 (ผ่านหน่วยงาน)

ซึ่งสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือจากบุคคลและหน่วยงานหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณแหล่งทุน ผู้ร่วมวิจัย และคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนทุนวิจัยและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้อันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] สมาคมส่งเสริมการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน. (2022). Circular economy policy forum report 2022 ภายใต้โครงการบูรณาการและขับเคลื่อนภาคส่วนของไทยสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน. นนทบุรี: สมาคมส่งเสริมการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน (ประเทศไทย).

[2] Azudin, N.F., Johari, A., & Ferdousi, N. (2023). Value creation and co-creation through strategic resource management for competitive advantage: Exploring the mediating effect of capabilities. Heliyon, 9(4), e15761. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15761

[3] จรัสพิมพ์ วังเย็น, ธวัชชัย แสงน้ำเพชร, อาภาพรรณ ยุเหล็ก, และพจนา นูมหันต์. (2556). การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผ้าขาวม้าโดยใช้แนวคิดภูมิปัญญาท้องถิ่นกับแนวคิดการออกแบบแฟชั่นเพื่อพัฒนาอาชีพและผลิตภัณฑ์ชุมชน อำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น.

[4] Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular economy: The concept and its limitations. Ecological Economics, 143, 37-46. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800916300325

[5] สมบัติ พันธวิศิษฏ์ และ ธนัท วงศ์ชัยสุวัฒน์. (2563). การประยุกต์ใช้หลักการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่, 12(3), 210-225.

[6] รัตนพล มณีรัตน์, วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์, & สมพร ปานยินดี. (2560). การประยุกต์ใช้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนในการพัฒนาผลิตภัณฑ์หัตถกรรมไทย. วารสารวิชาการนวัตกรรมสื่อสารสังคม, 5(2), 68-78.

[7] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2562). คู่มือการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์. สวทช.

[8] ปิยะนุช เจริญสุขวัฒนา และ กฤษณ์ ปิติสุคนธรัตน์. (2564). การจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนในประเทศไทย. วารสารสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 47(1), 92-112.

[9] Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. Journal of Industrial and Production Engineering, 33(5), 308-320. https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124

[10] นิรมล สุธรรมกิจ. (2560). เศรษฐกิจหมุนเวียน: แนวคิดและการปรับใช้ในบริบทประเทศไทย. วารสารเศรษฐศาสตร์และนโยบายสาธารณะ, 8(15), 1-17.

[11] วิสาขา ภู่จินดา. (2563). การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เพื่อการออกแบบที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. วารสารสิ่งแวดล้อม, 24(2), 24-35.

[12] ปิยะนุช เจริญสุขวัฒนา และ กฤษณ์ ปิติสุคนธรัตน์. (2564). การจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนในประเทศไทย. วารสารสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 47(1), 92-112.

การปรับพฤติกรรมและส่งเสริมการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างยั่งยืน ภายในภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ชนม์ปุญญ์ แย้มมา* โสภา ชินเวชกิจวานิชย์ และ ภัทรศิริ ฟักแก้ว

ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
*Corresponding author: chonnapoon.yae@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้ เป็นการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน อันเป็นเป้าหมายสำคัญของภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยได้ดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล ที่ชั้น 2 ของอาคารพิชิต สกุลพราหมณ์ เป็นระยะเวลา 12 เดือน (มกราคม - ธันวาคม 2567) ในรูปแบบการแจกแจงความถี่ (Frequency) ค่าร้อยละ (Percentage) และค่าเฉลี่ย (Mean) ผ่านโปรแกรม Microsoft Excel และแสดงผลในรูปแบบสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) เพื่อประเมินแนวโน้มและรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้า

ผลการศึกษาพบว่า ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปี 2567 อยู่ในช่วง 1129 – 1543 kWh/เดือน เมื่อพิจารณาประกอบกับจำนวนบุคลากรและนักศึกษารวมของภาควิชาในแต่ละเดือน พบว่าอัตราการใช้ไฟฟ้าต่อจำนวนคนมีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 32.9 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อคนต่อเดือน (kWh/คน/เดือน) โดยเป็นการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศไม่น้อยกว่าร้อยละ 43 จากผลการศึกษานี้ นำไปสู่การกำหนดแนวทางลดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างยั่งยืนให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ได้แก่ (1) การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมและส่งเสริมความตระหนักรู้ในการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และ (2) การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในภาควิชา ซึ่งการดำเนินโครงการนี้คาดหวังว่าจะเป็นการช่วยให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาควิชาอย่างมีประสิทธิภาพคุ้มค่า และยังมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมเป้าหมายสนับสนุนความยั่งยืนและผลกระทบต่อโลกแห่งความเป็นจริง (Real World Impact) ของมหาวิทยาลัยมหิดล ที่มีนโยบายมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Emissions) ผ่านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

คำสำคัญ: การประหยัดพลังงาน / การลดก๊าซเรือนกระจก / การพัฒนาที่ยั่งยืน / ความเป็นกลางทางคาร์บอน / ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล

Behavioral Adjustment and Promotion of Sustainable Electricity Usage within the Department of Sanitary Engineering, Faculty of Public Health, Mahidol University

Chonnapoon Yeamma*, Sopa Chinwetkitvanich, and Pattarasiri Fagkaew

Department of Sanitary Engineering, Faculty of Public Health, Mahidol University
*Corresponding author: chonnapoon.yae@mahidol.ac.th

Abstract

This study focused on efficient and sustainable electricity consumption of the Department of Sanitary Engineering, Faculty of Public Health, Mahidol University. The electricity usages of the department that located in Pichit Sakulphram building (building no.2) over a 12-month period (January – December 2024) were monitored and recorded. These data were analyzed by using frequency distribution, percentage, and mean values through Microsoft Excel. Descriptive statistics were applied to assess trends and patterns in electricity consumption.

The results showed that the electricity consumption of the Department in 2024 was in the range of 1129 to 1543 kWh/ month. In consideration of total personnels (staffs and students) at the moments, the highest electricity usage rate was observed at 32.9 kWh/person/month. In addition, air conditioning accounted for not less than 43% of the total consumption. From these findings, guidelines for enhancing electricity efficiency within the department were proposed, which emphasized on: (1) promoting behavioral changes and raising awareness of efficient electricity consumption, and (2) improving energy efficiency to reduce electricity consumption. This initiatives was expected to not only help reduce energy consumption of the department, but also support Mahidol University's sustainability goals and real-world impact commitment to achieve carbon neutrality and net-zero greenhouse gas emissions (especially through electricity consumption reduction).

Keywords: Energy conservation / Greenhouse gas reduction / Sustainable development / Carbon neutrality / Department of sanitary engineering

1. บทนำ

ในยุคปัจจุบัน การใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนได้กลายเป็นเป้าหมายสำคัญในทุกระดับ ตั้งแต่ระดับประเทศจนถึงระดับองค์กรย่อยต่าง ๆ เพื่อสนับสนุนการพัฒนาที่ยั่งยืนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ประเทศไทยได้วางแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิให้เป็นศูนย์ (Net Zero Emission) และส่งเสริมการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) โดยเฉพาะการปฏิบัติการเพื่อต่อสู้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Action) ซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในทุกภาคส่วนของสังคม

มหาวิทยาลัยมหิดล ในฐานะสถาบันการศึกษาชั้นนำของประเทศ ได้ตระหนักถึงความสำคัญของการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยกำหนดนโยบายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาด โดยมีเป้าหมายที่จะลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและสนับสนุนการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่า [1]

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ดำเนินโครงการ We Go 10 เพื่อส่งเสริมการลดใช้พลังงานไฟฟ้าในระดับคณะ โดยมีเป้าหมายที่จะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของบุคลากรและนักศึกษาในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างน้อยร้อยละ 10 ซึ่งจะส่งผลต่อการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสนับสนุนเป้าหมายของการเป็นองค์กรที่มีความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม [2]

ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล ซึ่งเป็นหนึ่งในภาควิชาของคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้มุ่งเน้นการพัฒนาการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพภายในภาควิชา ผ่านการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานของบุคลากรและนักศึกษาให้สอดคล้องกับเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสนับสนุนการพัฒนาอย่างยั่งยืนในระดับประเทศและระดับโลก

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
2. เพื่อส่งเสริมความตระหนักรู้และปรับพฤติกรรมเรื่องการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างคุ้มค่า และเหมาะสมต่อบุคลากร นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
3. เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มุ่งสู่พลังงานสะอาด และความเป็นกลางทางคาร์บอน ตามเป้าหมายของประเทศ อย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและยั่งยืน

3. ระเบียบวิธีการศึกษา

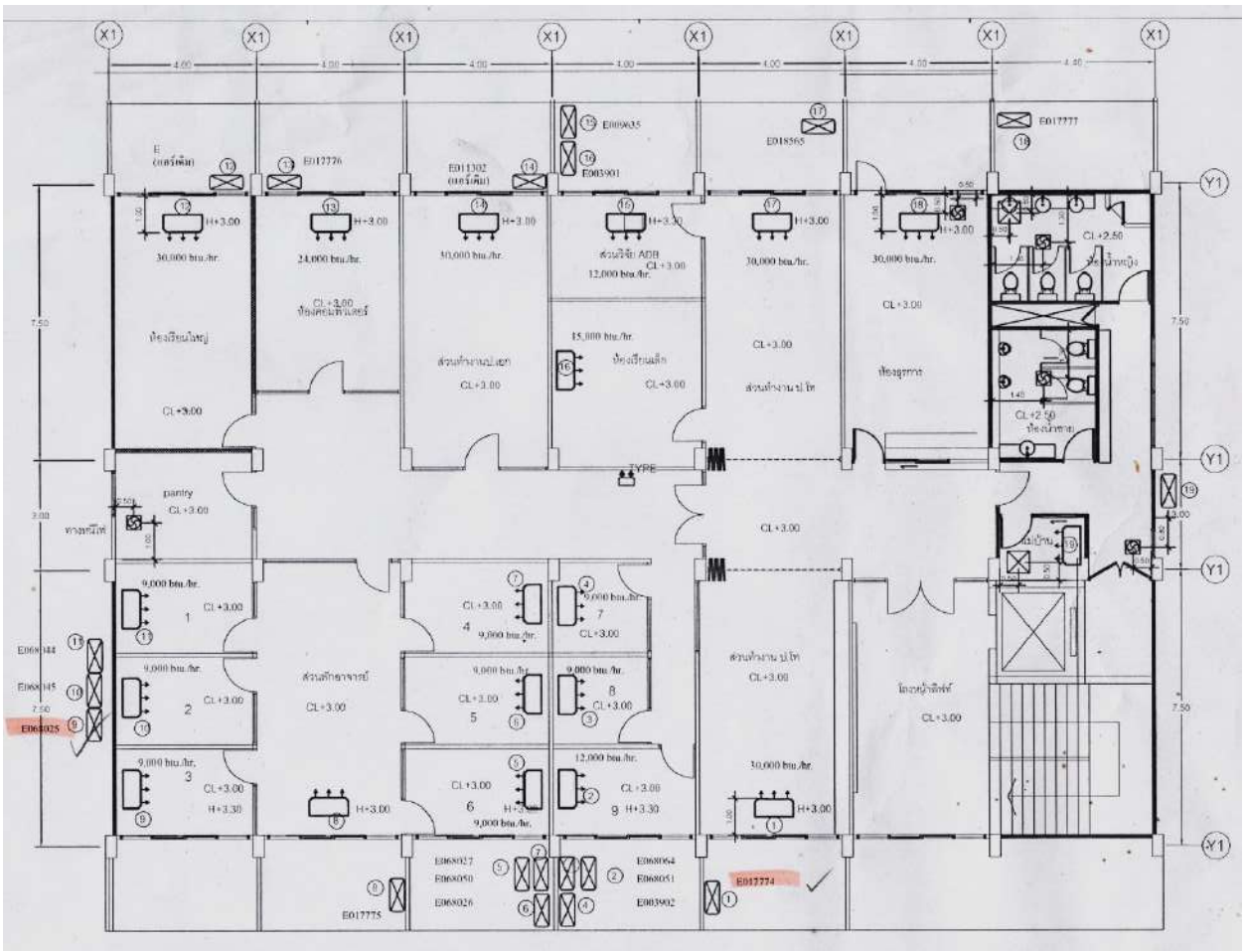
บทความวิชาการนี้เป็นบทความเชิงพรรณนา โดยการทบทวนวรรณกรรมและการถอดบทเรียนจากการทำงานจริง ผ่านการรวบรวมข้อมูลจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการการลดลงของการใช้ไฟฟ้าอย่างยั่งยืน โดยมีการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล ทั้งในด้านการเรียนการสอนและการดำเนินงานวิจัย
2. ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า
3. เสนอแนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ของคณะสาธารณสุขศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล

4. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า (kWh) ช่วงเวลา 12 เดือน (ระหว่าง มกราคม - ธันวาคม 2567) พื้นที่อาคาร 2 ชั้น 2 ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
2. การวิเคราะห์ข้อมูลและแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel

ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล ตั้งอยู่ภายในอาคารพิชิต สกุลพราหมณ์ (อาคาร 2) ชั้น 2 โดยพื้นที่ภายในภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล ประกอบด้วยห้องเรียนสำหรับนักศึกษา ในระดับปริญญาโทและปริญญาเอก ห้องพักสำหรับอาจารย์ และห้องธุรการของภาควิชาฯ จากการสำรวจพบว่า มีความชำรุดทรุดโทรดเป็นอันมาก มีพื้นที่ไม่เพียงพอต่อการจัดการด้านการเรียนการสอนและการค้นคว้าของนักศึกษาและอาจารย์ จึงเสนอโครงการปรับปรุงภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล เพื่อที่จะได้พัฒนาพื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดสำหรับการเรียน การสอนและกิจกรรมของภาควิชาฯ และได้รับอนุมัติให้เริ่มปรับปรุงภาควิชาฯ ตามขั้นตอนแล้วเสร็จเมื่อปี พ.ศ.2560 โดยมีผังภาควิชาฯ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ผังภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

การปรับปรุงภาควิชาฯ เมื่อ พ.ศ.2560 นั้น ภาควิชาฯ ได้นำครุภัณฑ์เดิมมาใช้ในการปรับปรุง คือ เครื่องปรับอากาศ ขนาด 12,000 BTU เป็นครุภัณฑ์ของปีงบประมาณ 2554 จำนวน 1 เครื่อง ติดตั้งใช้งานห้องพักแม่บ้านของภาควิชา และขนาด 30,000 BTU เป็นครุภัณฑ์ของปีงบประมาณ 2558 จำนวน 2 เครื่อง ซึ่งติดตั้งไว้ใช้งานในห้องเรียน และห้องพักนักศึกษาปริญญาเอก ส่วนเครื่องปรับอากาศอีก 16 เครื่อง เป็นครุภัณฑ์ของปีงบประมาณ 2560 ที่มาพร้อมการปรับปรุงภาควิชา ประกอบด้วย (1) ขนาด 30,000 BTU จำนวน 4 เครื่อง (2) ขนาด 24,000 BTU จำนวน 1 เครื่อง (3) ขนาด 17,000 BTU จำนวน 1 เครื่อง (4) ขนาด 14,000 BTU จำนวน 2 เครื่อง และ(5) ขนาด 9,000 BTU จำนวน 8 เครื่อง รวมเครื่องปรับอากาศทั้งหมด เป็น 19 เครื่อง ปัจจุบันมีบุคลากรของภาควิชาฯ จำนวน 15 คน และนักศึกษาจำนวน 32 คน

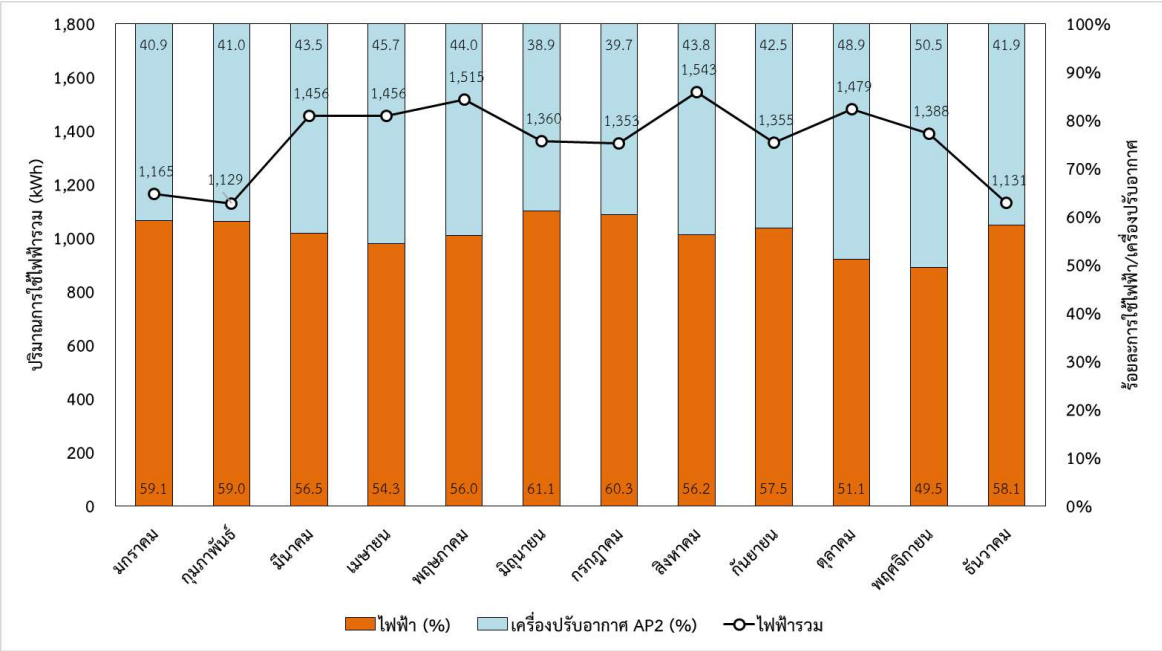
การเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ดำเนินการโดยรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในหน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมง(kWh) จากตู้อุปกรณ์บันทึกปริมาณการใช้ไฟฟ้า (รูปที่ 2) ซึ่งติดตั้งบริเวณห้องไฟฟ้า อาคาร 2 ชั้น 2 ประกอบด้วยกัน 2 ส่วน คือส่วนที่ 1 เป็นตู้บันทึกมิเตอร์การใช้ไฟฟ้าโดยรวม และในส่วนที่ 2 เป็นตู้บันทึกมิเตอร์สำหรับวัดการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศโดยเฉพาะ จึงทำให้ทราบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล ในแต่ละวัน จากนั้นผู้เก็บข้อมูลมิเตอร์ไฟฟ้า จะทำการบันทึกลงโปรแกรม Microsoft Excel

รูปที่ 2 ตู้บันทึกปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

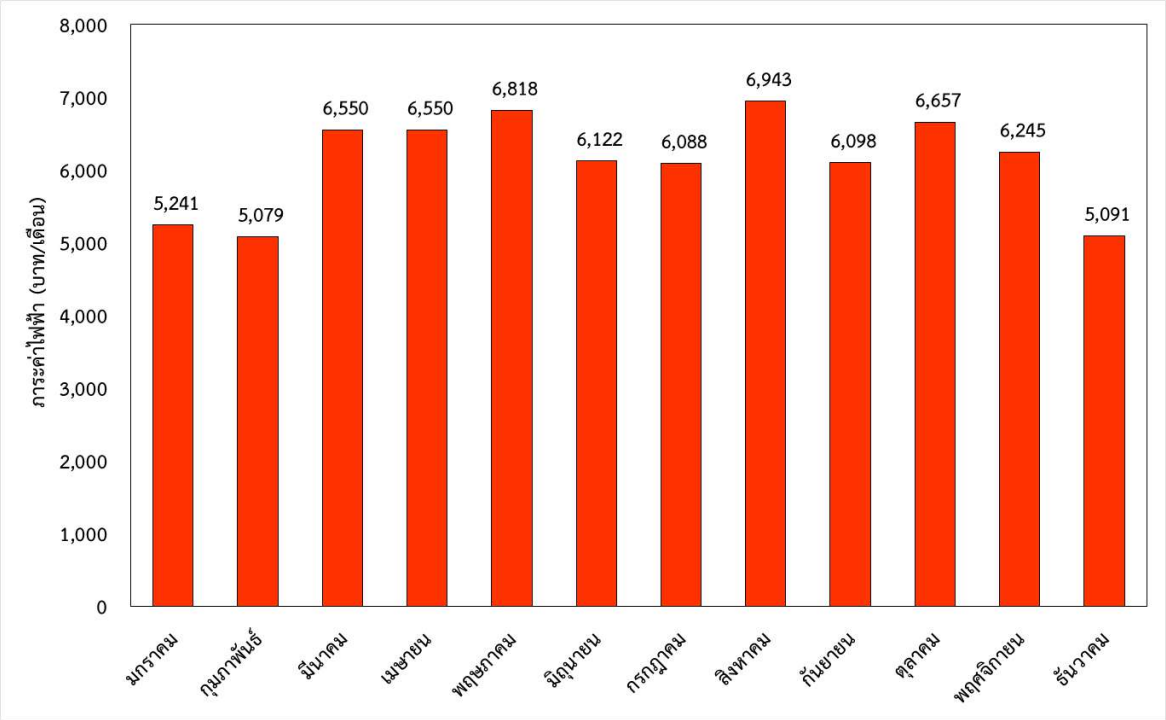
5. ผลการศึกษาวิจัยและการอภิปรายผล

สัดส่วนของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า สามารถแสดงดัง (รูปที่3) จะเห็นได้ว่า ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของภาควิชาฯ ตลอดทั้งปี มีค่าเท่ากับ 16,329.40 kWh เมื่อนำมาคำนวณค่าไฟฟ้า (4.5บาทต่อหน่วย) [3] จะเท่ากับจำนวนเงิน 73,482.30 บาทต่อปี ซึ่งหากพิจารณาเป็นรายเดือน จะพบว่า ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยต่อเดือนสูงสุดอยู่ในเดือนสิงหาคม (จำนวน 1,543 kWh) เป็นจำนวนเงินประมาณ 6,943 บาท และต่ำสุดอยู่ในเดือนกุมภาพันธ์ (จำนวน 1,129 kWh) เป็นจำนวนเงินประมาณ 5,079 บาท (รูปที่ 4) ในขณะที่ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดทั้งปี มีค่าเท่ากับ 7,118.80 kWh หรือคิดเป็นจำนวนเงินเท่ากับ 32,034.60 บาท ซึ่งสัดส่วนปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียว (แถบสีฟ้า) คิดเป็นร้อยละ 43 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดภายในภาควิชา

นอกจากนี้ หากพิจารณาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อเดือน ในช่วง 12 เดือน พบว่า มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 1,360.78 kWh โดยช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน 2567 เป็นช่วงเดือนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด

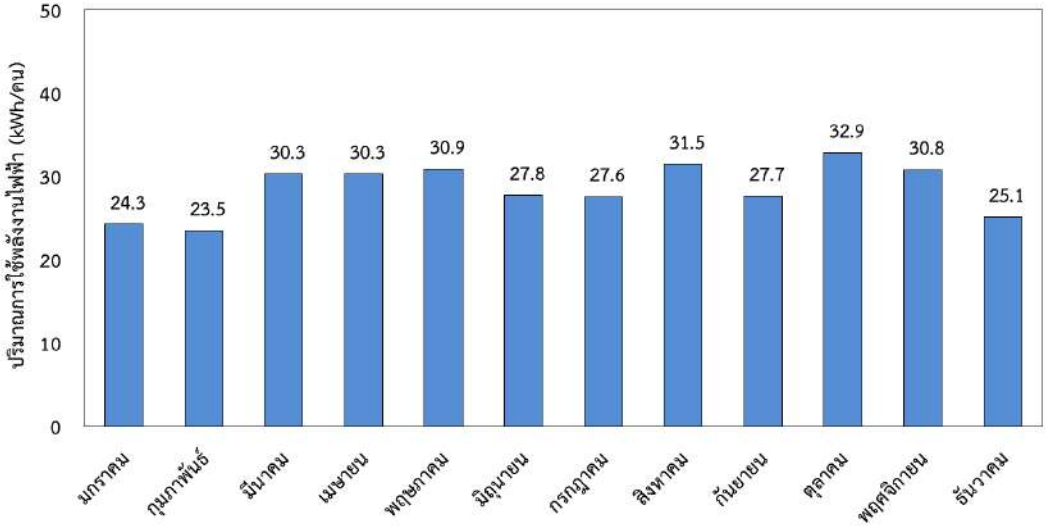


รูปที่ 3 ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายเดือนในหน่วย kWh และการใช้เครื่องปรับอากาศ (AP2) สำหรับปี พ.ศ. 2567



รูปที่ 4 ภาระค่าไฟฟ้า (บาท/เดือน) (** อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ยเรียกเก็บเท่ากับ 4.5 บาทต่อหน่วย (We Go 10) [3])

จากรูปที่ 5 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อคนของบุคลากรและนักศึกษา แสดงให้เห็นค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อคน โดยแบ่งออกเป็นช่วงที่ 1 เดือน มกราคม - เมษายน 2567 มีจำนวน 48 คน มีการใช้ไฟฟ้าเดือนมีนาคมและเมษายนสูงสุดเท่ากับ 30.3 kWhต่อคน ช่วงที่ 2 เดือนพฤษภาคม - กันยายน 2567 มีจำนวน 49 คน มีการใช้ไฟฟ้าเดือนสิงหาคมสูงสุดเท่ากับ 31.5 kWhต่อคน และช่วงที่ 3 เดือนตุลาคม - ธันวาคม 2567 มีจำนวน 45 คน มีการใช้ไฟฟ้าเดือนตุลาคมสูงสุด เท่ากับ 32.9 kWhต่อคน พบว่า การใช้ไฟฟ้าแต่ละช่วงเดือนมีความสอดคล้องการเรียนการสอนที่ช่วงเปิดเทอมจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างมากกว่าช่วงปิดเทอม อีกทั้ง ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ายังขึ้นกับสภาพอากาศและเทศกาล



รูปที่ 5 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อคน

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของการดำเนินงานในภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล ตลอดระยะเวลา 12 เดือน โดยอ้างอิงการคำนวณจากหลักการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร (Carbon Footprint of Organization: CFO) ตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) พบว่า มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิอยู่ที่ 8,163.07 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2e$) ซึ่งยังไม่รวมถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่คาดว่าจะเกิดจากการดำเนินงานในภาควิชาฯ อื่น ๆ เช่น การใช้ทรัพยากรน้ำ การเดินทางของบุคลากร รวมถึงการจัดการของเสีย เป็นต้น ดังนั้น ในขั้นต่อไป จะเป็นการดำเนินงานเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการดำเนินงานด้านอื่น ๆ นำไปสู่การนำเสนอนโยบายในการดำเนินโครงการเพื่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก **การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน** ใช้มาตรการปิดไฟและอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อไม่ใช้งาน **ลดการใช้ทรัพยากรและของเสีย** ลดการใช้กระดาษโดยเปลี่ยนเป็นเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ส่งเสริมการรีไซเคิลและการจัดการขยะที่เหมาะสม **ลดการเดินทางที่ไม่จำเป็น** สนับสนุนการประชุมออนไลน์แทนการเดินทาง

6. ผลการศึกษาที่สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน

การดำเนินการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา 12 เดือน ทำให้เกิดความรับรู้ และหาแนวทางในลดการใช้พลังงานในระดับภาควิชา ที่มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในระดับคณะ อันเป็นส่วนหนึ่งของการขับเคลื่อนมหาวิทยาลัยสู่อนาคตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน SDGs เป้าหมายที่ 7 พลังงานสะอาดและสามารถเข้าถึงได้สำหรับทุกคน (Affordable and Clean Energy) และเป้าหมายที่ 13 การดำเนินการด้าน

สภาพภูมิอากาศ (Climate Action) ซึ่งมุ่งเน้นในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาด และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

7. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าของภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล พบว่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของบุคลากรและนักศึกษามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากสถานการณ์ในบริบทของภาควิชาและสภาพอากาศที่แปรปรวน ทั้งนี้ ทางภาควิชามีความมุ่งมั่นที่จะส่งเสริมให้เกิดการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าที่สุดในชีวิตประจำวันของบุคลากรและนักศึกษา เพื่อสร้างผลกระทบเชิงบวกต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

นอกจากนี้ การลดการใช้พลังงานไฟฟ้ายังนำไปสู่การลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของประเทศในการมุ่งสู่พลังงานสะอาดและความเป็นกลางทางคาร์บอน สะท้อนให้เห็นว่าแนวทางที่ภาควิชากำลังดำเนินการอยู่นั้นสามารถสนับสนุนเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นรูปธรรมและยั่งยืน ทั้งมุ่งหวังให้เห็นถึงความสำคัญของการบริหารจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพภายในองค์กร เพื่อให้เกิดผลกระทบเชิงบวกต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

[1] มหาวิทยาลัยมหิดล. (n.d.). ก้าวสู่ศูนย์ 9 to Zero. เข้าถึงได้จาก https://op.mahidol.ac.th/pe/9-to-zero/

[2] คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2567). นโยบายการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมและการอนุรักษ์พลังงานอย่างยั่งยืน. เข้าถึงได้จาก https://www.ph.mahidol.ac.th/saving/ (สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2568)

[3] คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (n.d.). โครงการ "We Go 10" คณะสาธารณสุขศาสตร์ร่วมใจ...ลดใช้พลังงาน. (สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2568)

[4] พรรณภาภรณ์ เม้าราษี & มัลลิกา ปัญญาคะโป. (2021). สถานการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าและแนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า กรณีศึกษาวิทยาลัยเทคนิคโพธาราม จังหวัดราชบุรี. *PBRU Science Journal, 18*(1), 1-10.

[5] สำนักงานคณะกรรมการข้อมูลข่าวสารของราชการ. (n.d.). โครงการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในสำนักงาน. เข้าถึงได้จาก https://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER5/DRAWER027/GENERAL/DATA0001/00001383.PDF (สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2568)

[6] กระทรวงพลังงาน. (2567). คู่มือโครงการลดการใช้พลังงานในภาครัฐ ปีงบประมาณ 2567. เข้าถึงได้จาก https://e-report.energy.go.th/ (สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2568)

[7] จรัสพงษ์ จงมีสุข. (2558). ปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่อยู่อาศัยในเขตพื้นที่การให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง. (วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

[8] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก.(n.d.). Emission Factor (CFO). เข้าถึงได้จาก https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=YjNKbllXNXBlbUYwYVc5dVgyVnRhWE56YVc5dQ (สืบค้นเมื่อ 17 มกราคม 2568)

พลวัตของการเรียนรู้ตลอดชีวิตและทุนมนุษย์กับการขับเคลื่อนองค์กรสู่ความยั่งยืน

อารยา แสงขาว* และประจวบ ทองศรี

สาขาการศึกษาตลอดชีวิต คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร
* Corresponding author: araya.saengkhao@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้มุ่งวิเคราะห์พลวัตของการเรียนรู้ตลอดชีวิตและทุนมนุษย์ที่ส่งผลต่อการขับเคลื่อนองค์กร โดยอาศัยแนวคิดด้านการบริหารทรัพยากรมนุษย์ ทฤษฎีทุนมนุษย์ และกรอบแนวคิดด้านความยั่งยืนขององค์กร บทความวิชาการนี้ได้ทำการทบทวนวรรณกรรม วิเคราะห์ สังเคราะห์ และศึกษากรณีตัวอย่างขององค์กรที่ประสบความสำเร็จในการพัฒนาระบบการเรียนรู้และการบริหารทุนมนุษย์ ผลการศึกษาพบว่า การเรียนรู้ตลอดชีวิตช่วยเพิ่มความสามารถในการปรับตัวของพนักงาน เสริมสร้างนวัตกรรม และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ขณะที่ทุนมนุษย์ที่ได้รับการพัฒนาอย่างเหมาะสมส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันและการเติบโตขององค์กรในระยะยาว ในยุคที่การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีและเศรษฐกิจเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว องค์กรต้องให้ความสำคัญกับการพัฒนาศักยภาพของบุคลากรผ่านแนวคิดการเรียนรู้ตลอดชีวิตและการเสริมสร้างทุนมนุษย์ เพื่อให้สามารถปรับตัวและสร้างความยั่งยืนในระยะยาว

นอกจากนี้พลวัตของการเรียนรู้ตลอดชีวิตและทุนมนุษย์ในองค์กร ประกอบด้วย (1) ความสำคัญของการเรียนรู้ตลอดชีวิต การเรียนรู้ตลอดชีวิตเป็นกระบวนการที่ไม่สิ้นสุด ซึ่งช่วยให้บุคลากรสามารถปรับตัวและพัฒนาตนเองให้ทันต่อความเปลี่ยนแปลงของโลกธุรกิจในยุคปัจจุบัน (2) ทุนมนุษย์และการพัฒนาองค์กร ทุนมนุษย์เป็นสิ่งที่มีมูลค่าสูงที่สุดในองค์กร การลงทุนในทุนมนุษย์ผ่านการฝึกอบรม การพัฒนาทักษะ และการสร้างแรงจูงใจให้พนักงานพัฒนาตัวเองอยู่เสมอ ถือเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่องค์กร ทุนมนุษย์ที่มีคุณภาพสามารถช่วยให้ธุรกิจเติบโตได้เร็วขึ้น สร้างนวัตกรรม และรักษาความได้เปรียบในการแข่งขันได้อย่างยั่งยืน (3) ความสัมพันธ์ระหว่างการเรียนรู้ตลอดชีวิตและทุนมนุษย์ต่อความยั่งยืนขององค์กร องค์กรที่ให้ความสำคัญกับการเรียนรู้ตลอดชีวิตและการพัฒนาทุนมนุษย์จะสามารถสร้างความได้เปรียบในการแข่งขัน และสามารถปรับตัวเข้ากับความเปลี่ยนแปลงในตลาดได้ดีขึ้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน

คำสำคัญ: การเรียนรู้ตลอดชีวิต / ทุนมนุษย์ / ความยั่งยืนขององค์กร / การพัฒนาทรัพยากรมนุษย์

The Dynamics of Lifelong Learning and Human Capital in Driving Organizational Sustainability

Araya Saengkhao* and Prachuab Tongsri

Department of Lifelong Education, Faculty of Education, Srinakharinwirot University, Bangkok
* Corresponding author: araya.saengkhao@g.swu.ac.th

Abstract

This academic article aims to analyze the dynamics of lifelong learning and human capital in propelling organizations toward sustainability. Drawing on concepts from human resource management, human capital theory, and organizational sustainability frameworks, the article reviews relevant literature, synthesizes key findings, and examines case studies of organizations that have successfully implemented learning systems and human capital management strategies. The findings reveal that lifelong learning enhances employees' adaptability, fosters innovation, and improves work performance. Concurrently, the strategic development of human capital significantly contributes to long-term organizational competitiveness and growth.

In an era marked by rapid technological and economic changes, organizations must prioritize the development of human potential through lifelong learning and investment in human capital to remain adaptive and achieve sustainable success. The dynamics of lifelong learning and human capital in organizations can be categorized into three key areas (1) The Importance of Lifelong Learning – Lifelong learning is a continuous process that empowers individuals to adapt and evolve in response to the changing business landscape. (2) Human Capital and Organizational Development – Human capital is the most valuable asset of any organization. Investing in human capital through training, skill development, and motivational strategies creates added value and accelerates business growth, promotes innovation, and ensures sustainable competitive advantage. (3) The Relationship between Lifelong Learning, Human Capital, and Organizational Sustainability – Organizations that prioritize lifelong learning and human capital development are more capable of gaining competitive advantage, adapting to market shifts, and enhancing operational efficiency.

Keywords: Lifelong learning / Human capital / Organizational sustainability / Human resource development

1. บทนำ

โลกในปัจจุบันหรือโลกในศตวรรษที่ 21 ที่กำลังเจอกับการก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีและสภาพแวดล้อมทางเศรษฐกิจที่ซับซ้อน ทำให้ตลาดแรงงานจึงจำเป็นต้องปรับตัวตามไปด้วย การปรับโครงสร้างองค์กรเป็นเรื่องที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ และระบบการผลิตในปัจจุบันเองก็เป็นระบบที่ซับซ้อนซึ่งต้องปรับเพื่อที่จะรักษาความได้เปรียบของตัวเองไว้ ส่งผลให้ลักษณะของตลาดแรงงาน องค์กร และระบบการผลิตต้องปรับตัวอยู่ตลอดเวลา [1] ทักษะที่เคยไม่จำเป็นในอดีตอาจจะทำให้ไม่สารมารถรับมือกับความท้าทายปัจจุบัน ทำให้แนวคิด "การเรียนรู้ตลอดชีวิต"(Lifelong Learning) กลายเป็นวิธีกลไกที่สำคัญมากในการเผชิญกับความไม่แน่นอนในอนาคต [2] (2021) ไม่ว่าจะเป็นในระดับบุคคลหรือกลุ่ม การเรียนรู้ตลอดชีวิตประกอบด้วยการศึกษาแบบมีโครงสร้างที่เป็นทางการ (formal) ไม่เป็นทางการ (non-formal) และไม่เป็นทางการแบบอิสระ (informal) รวมถึงการเชื่อมโยงกับการพัฒนาทักษะใหม่ (reskilling) และการยกระดับทักษะเดิม (upskilling) อย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นการฝึกอบรม เพื่อการพัฒนาทักษะที่รู้แล้วให้ดียิ่งขึ้นในขณะเดียวกัน แนวคิด "ทุนมนุษย์" (Human Capital) ที่ได้กลายเป็นที่กล่าวถึงอย่างกว้างขวาง ซึ่งหมายถึงความรู้ ความสามารถ ทักษะ และคุณสมบัติที่บุคคลสามารถนำมาสู่องค์กร [3] และ [4] ได้กล่าวถึงความสำคัญของการลงทุนในทุนมนุษย์ ว่าเป็นวิธีในการยกระดับผลิตภาพของแรงงานและความสามารถในการแข่งขันในระยะยาว ดังนั้นทุนมนุษย์จึงไม่ควรถูกมองว่าเป็นเพียงต้นทุนที่เพิ่มขึ้น แต่คือทรัพยากรเชิงกลยุทธ์ที่มีความสำคัญซึ่งจำเป็นต้องถูกนำมาใช้ในการจัดการในแต่ละส่วนของเศรษฐกิจที่ฐานความรู้และนวัตกรรม

องค์กรสมัยใหม่ได้รับความคาดหวังจากทุกทิศทาง ตั้งแต่ปลายฝ่ายผู้มีส่วนได้เสียทุกฝ่าย มีความต้องการด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และศีลธรรม (Environmental, Social and Governance: ESG)) ซึ่งได้กลายเป็นกรอบอ้างอิงหลักในการประเมินความยั่งยืนขององค์กร [5] ความยั่งยืนไม่เพียงแต่เป็นเป้าหมายระยะยาว แต่ยังเป็นบูรณาการในกิจวัตรประจำวันที่เกี่ยวข้องระหว่างทรัพยากรมนุษย์ กระบวนการ และคุณค่าร่วม ที่แบ่งปันกันทั่วทั้งธุรกิจ โดยผู้มีส่วนได้เสียทั้งหมด และนี่เป็นวิธีในการรับรองความรับผิดชอบของธุรกิจต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม เพื่อให้องค์กรสามารถดำเนินธุรกิจได้อย่างรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม ในขณะเดียวกันก็ยังสามารถสร้างผลตอบแทนทางเศรษฐกิจได้อย่างต่อเนื่อง [6] (2020)

บทความวิชาการฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาพลวัตของการเรียนรู้ตลอดชีวิตและทุนมนุษย์ในบริบทขององค์กรสมัยใหม่ โดยมุ่งเน้นวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการพัฒนาศักยภาพบุคลากรและการขับเคลื่อนองค์กรสู่เป้าหมายแห่งความยั่งยืน ตลอดจนเสนอแนะแนวทางเชิงนโยบายเพื่อสร้างระบบนิเวศแห่งการเรียนรู้ตลอดชีวิต ที่เอื้อต่อการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืนในระยะยาว

2. กรอบแนวคิดและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. พลวัต (Dynamics) มาจากรากศัพท์ภาษากรีก dynamis ซึ่งหมายถึง "พลัง" หรือ "ความสามารถในการเปลี่ยนแปลง" ในทางวิชาการ [7] ได้ให้คำอธิบายว่า พลวัตคือกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องภายในระบบองค์กร ทั้งในด้านโครงสร้าง กลยุทธ์ การบริหารคน หรือวัฒนธรรมองค์กร โดยพลวัตจะผลักดันให้เกิดการเคลื่อนไหว การปรับตัว และการพัฒนาอย่างไม่หยุดนิ่งในโลกของการจัดการองค์ความรู้และการพัฒนาทุนมนุษย์ "พลวัต" จึงไม่ใช่สิ่งที่เกิดขึ้นโดยบังเอิญ แต่เป็นกระบวนการที่ถูกกระตุ้นโดยปัจจัยต่าง ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี (Digital Disruption) การเปลี่ยนแปลงเชิงเศรษฐกิจและสังคม (Globalization, Aging Society) การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการทำงานของคนรุ่นใหม่ เป็นต้น

พลวัตมีอิทธิพลต่อแนวทางการบริหารองค์กร ทำให้โมเดลการจัดการแบบเดิมไม่เพียงพออีกต่อไป องค์กรจึงต้องพัฒนาให้สามารถตอบสนองต่อพลวัตได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การเปลี่ยนผ่านสู่การเป็น "องค์กรแห่งการเรียนรู้" ที่เน้นการปรับตัวและการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง (Senge, 1990) นอกจากนี้ พลวัตไม่ใช่เพียงความเปลี่ยนแปลงภายนอก แต่มักเกิดจาก "แรงภายใน" ขององค์กรเอง เช่น วัฒนธรรมองค์กรที่เปิดรับการเรียนรู้ ภาวะผู้นำที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ และระบบที่เอื้อต่อการพัฒนาทุนมนุษย์

สรุปได้ว่า "พลวัต" คือพลังที่ผลักดันให้มนุษย์และองค์กรเติบโตขึ้นทุกวัน มันคือแรงที่บังคับให้เราต้อง "เรียนรู้" ไม่ใช่เพราะความจำเป็นเท่านั้น แต่เพราะมันเป็นทางเดียวที่จะอยู่รอดและเติบโตได้ในโลกที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว หากองค์กรเข้าใจพลวัตอย่างลึกซึ้ง และสามารถออกแบบระบบการเรียนรู้ให้ตอบสนองต่อพลวัตได้อย่างยืดหยุ่น ก็จะเป็นก้าวสำคัญสู่ "ความยั่งยืน" การเรียนรู้ตลอดชีวิต: ความหมาย ประเภทของการเรียนรู้ และกระบวนการที่เน้นผู้คนทุกช่วงวัย

2. การเรียนรู้ตลอดชีวิต องค์การยูเนสโก [8] ได้ให้คำจำกัดความของ "การเรียนรู้ตลอดชีวิต" (Lifelong Learning) ว่าเป็นกระบวนการที่บุคคลได้พัฒนาความรู้ ทักษะ ความสามารถ และเจตคติอย่างต่อเนื่องในทุกช่วงของชีวิต ไม่ว่าจะเกิดขึ้นในรูปแบบทางการ (formal) นอกระบบ (non-formal) หรืออย่างไม่เป็นทางการ (informal) ซึ่งมีความหมายว่า

การเรียนรู้ตลอดชีวิตไม่ได้หมายถึงการกลับไปเรียนในระบบการศึกษาแบบดั้งเดิมเท่านั้น แต่เป็นการเรียนรู้ในชีวิตจริง ผ่านประสบการณ์ การทำงาน การลองผิดลองถูก หรือแม้กระทั่งการพูดคุยแลกเปลี่ยนกับผู้อื่น หัวใจของการเรียนรู้ตลอดชีวิตคือ "ความตื่นรู้ในตนเองว่าการเรียนรู้ไม่มีที่สิ้นสุด" และนี่คือคุณสมบัติสำคัญของคนและองค์กรที่ต้องการอยู่รอดและเติบโตอย่างยั่งยืน โดยการเรียนรู้ตลอดชีวิต ได้แบ่งประเภทของการเรียนรู้ออกเป็น 3 ลักษณะ เพื่อเข้าใจการเรียนรู้ตลอดชีวิตอย่างรอบด้าน จำเป็นต้องเข้าใจลักษณะของการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน ซึ่ง [8] ได้จำแนกไว้เป็น 3 รูปแบบหลัก ได้แก่

1) การเรียนรู้ในระบบ (Formal Learning) การเรียนรู้ที่มีโครงสร้าง มีวัตถุประสงค์ชัดเจน เช่น การเรียนในโรงเรียน มหาวิทยาลัย หรือหลักสูตรที่ได้รับการรับรองโดยสถาบันต่าง ๆ
2) การเรียนนอกระบบ (Non-formal Learning) การเรียนรู้ที่มีโครงสร้างเช่นกันแต่เกิดขึ้นนอกระบบการศึกษา เช่น การฝึกอบรม การสัมมนา หรือกิจกรรมพัฒนาทักษะในองค์กรหรือชุมชน
3) การเรียนรู้อย่างไม่เป็นทางการ (Informal Learning) เป็นการเรียนรู้ที่ไม่มีโครงสร้างตายตัว เกิดขึ้นจากการดำเนินชีวิตประจำวัน เช่น การดูวิดีโอสอนออนไลน์ การเรียนรู้จากเพื่อนร่วมงาน หรือการอ่านหนังสือด้วยตนเอง

ประเภทของการเรียนรู้สามารถเชื่อมโยงและส่งเสริมกันได้อย่างมีพลวัต โดยเฉพาะเมื่อองค์กรออกแบบระบบที่ส่งเสริมการเรียนรู้หลากหลายช่องทางและเข้าถึงได้ทุกระดับ กระบวนการเรียนรู้ตลอดชีวิตที่เน้นผู้คนทุกช่วงวัย หนึ่งในคุณลักษณะสำคัญของการเรียนรู้ตลอดชีวิตคือ "ความเป็นธรรมในการเข้าถึง" คือ ผู้คนทุกกลุ่มอายุ ทุกพื้นฐานทางสังคม และทุกระดับการศึกษา ควรมีโอกาสในการเรียนรู้อย่างเท่าเทียม [2] เสนอว่า การเรียนรู้ตลอดชีวิตควรมีการออกแบบที่สอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของแต่ละวัย ได้แก่ วัยเด็กและเยาวชน ควรเน้นการเรียนรู้ผ่านประสบการณ์จริง เช่น โครงการ STEM การเรียนรู้เชิงบูรณาการ และการใช้เทคโนโลยีอย่างสร้างสรรค์ วัยทำงาน ควรส่งเสริมทักษะใหม่ ๆ (upskilling) และทักษะทดแทน (reskilling) ผ่านรูปแบบการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่น เช่น คอร์สออนไลน์ หรือการเรียนรู้จากการทำงาน (on-the-job training) ผู้สูงอายุ ควรมีโอกาสเรียนรู้เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิต เช่น การใช้เทคโนโลยีพื้นฐาน การดูแลสุขภาพ หรือการมีส่วนร่วมในกิจกรรมชุมชนการเรียนรู้จึงไม่ใช่สิ่งที่สงวนไว้เฉพาะช่วงวัยใดช่วงวัยหนึ่ง หากแต่เป็นโอกาสที่ควรเปิดกว้างสำหรับทุกคน

ในยุคที่ปัจจุบัน "การเรียนรู้ไม่ควรถูกจำกัดอยู่ในห้องเรียน หรือจำกัดแค่ในวัยเด็ก" โลกยุคปัจจุบันที่เต็มไปด้วยความเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้การเรียนรู้กลายเป็นทักษะพื้นฐานของการดำรงอยู่ และเป็นเงื่อนไขสำคัญของการพัฒนาทุนมนุษย์ให้สามารถขับเคลื่อนองค์กรสู่ความยั่งยืน

3. พลวัตของการเรียนรู้ตลอดชีวิต (Dynamics of Lifelong Learning) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่ต่อเนื่องของรูปแบบ วิธีการ ทักษะ และบริบทของการเรียนรู้ตลอดช่วงชีวิต ซึ่งสะท้อนถึงความยืดหยุ่น ความทันสมัย และความสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ [9] การเรียนรู้ตลอดชีวิตในปัจจุบันไม่ได้มีลักษณะแบบเดียวกับเมื่อสิบปีก่อน และจะไม่เหมือนเดิมในอีกสิบปีข้างหน้า เพราะมันเคลื่อนที่ไปพร้อมกับเทคโนโลยี สังคม เศรษฐกิจ และวัฒนธรรมการทำงานที่เปลี่ยนไป เช่น จากเดิมที่พนักงานอบรมประจำปี ปัจจุบันพวกเขาสามารถเข้าเรียนคอร์สออนไลน์ได้ทันทีผ่านโทรศัพท์มือถือหรือคอมพิวเตอร์ กระบวนการของพลวัตการเรียนรู้ตลอดชีวิต สามารถสังเกตได้ผ่านการเปลี่ยนแปลงในระดับต่าง ๆ ดังนี้

1) ระดับบุคคล ผู้เรียนมีความสามารถในการเลือกเรียนรู้ตามจังหวะชีวิตของตนเอง (self-directed learning) การเปลี่ยนจากผู้รับความรู้ มาเป็นผู้แสวงหาและออกแบบเส้นทางการเรียนรู้ของตน

2) ระดับองค์กร จากการอบรมแบบรวมกลุ่ม กลายเป็นการสนับสนุนให้เกิด "วัฒนธรรมแห่งการเรียนรู้" (learning culture) ในที่ทำงาน
3) ระดับระบบ ภาครัฐและภาคธุรกิจร่วมกันพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและนโยบายที่ส่งเสริมการเรียนรู้ทุกช่วงวัย เช่น แพลตฟอร์มดิจิทัล ระบบ E-learning และ micro-credentials

องค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (2021) ระบุว่า องค์กรที่ปรับระบบการเรียนรู้ให้มีความคล่องตัวและตอบโจทย์เฉพาะบุคคล (personalized learning) จะมีโอกาสพัฒนาแรงงานที่มีศักยภาพสูง และปรับตัวได้ดีในยุคเปลี่ยนผ่าน พลวัตของการเรียนรู้ตลอดชีวิตมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาองค์กรในหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็น การเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขัน ที่พนักงานพร้อมที่เรียนรู้อย่างต่อเนื่องจะมีความสามารถที่ทันสมัยและพร้อมตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงทางธุรกิจ กระตุ้นนวัตกรรม การเรียนรู้อย่างไม่หยุดนิ่งนำไปสู่ความคิดสร้างสรรค์และการทดลองสิ่งใหม่ สนับสนุนความยั่งยืน องค์กรที่ปลูกฝังวัฒนธรรมแห่งการเรียนรู้ จะสามารถรักษาและต่อยอดศักยภาพของทุนมนุษย์ในระยะยาว ตามที่ [10] ได้กล่าวไว้ว่า "องค์กรแห่งการเรียนรู้" (Learning Organization) คือองค์กรที่ทุกคนสามารถขยายความสามารถของตนเพื่อสร้างผลลัพธ์ที่ต้องการ และที่ซึ่งการเรียนรู้ร่วมกันกลายเป็นส่วนหนึ่งของวัฒนธรรม

สรุปได้ว่า พลวัตการเรียนรู้ตลอดชีวิตนั้น "มีชีวิต" คือกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เป็นสิ่งที่หมุนเคลื่อนตามพลวัตของโลกภายนอก และถูกกระตุ้นจากพลวัตภายในของผู้เรียนเอง ไม่ได้เปลี่ยนเฉพาะผู้เรียนเท่านั้น แต่ยังเปลี่ยนวิธีคิดขององค์กร และการออกแบบระบบการพัฒนาคนในอนาคต พลวัตของมันจึงเปรียบเสมือน "ชีพจร" ขององค์กรยุคใหม่ ที่เต้นอยู่เสมอไม่หยุดนิ่ง และขับเคลื่อนองค์กรให้มีชีวิต มีความยืดหยุ่น และก้าวสู่ความยั่งยืนได้อย่างแท้จริง

4. ทุนมนุษย์ (Human Capital) เป็นแนวคิดทางเศรษฐศาสตร์ที่ได้รับการพัฒนาโดยนักเศรษฐศาสตร์รางวัลโนเบล Gary Becker [3] ซึ่งอธิบายว่าทุนมนุษย์คือ "ความรู้ ความสามารถ สุขภาพ และทักษะของบุคคลที่สามารถนำมาใช้ในการสร้างผลผลิตทางเศรษฐกิจได้" หรือพูดง่าย ๆ คือ มนุษย์คือทรัพยากรที่มีมูลค่า และการพัฒนาคนก็เป็นการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจเช่นเดียวกับ

การลงทุนในเครื่องจักรหรือเทคโนโลยี ทุนมนุษย์ไม่ได้มีเพียง "มูลค่า" เท่านั้น แต่ยังมี "ความหมาย" เพราะการพัฒนาคนไม่ใช่แค่เพื่อให้ทำงานได้ดีขึ้น แต่เพื่อให้คนสามารถใช้ศักยภาพของตนอย่างเต็มที่ มีคุณภาพชีวิตที่ดี และสามารถเติบโตไปพร้อมกับองค์กร

4. กระบวนการพัฒนาทุนมนุษย์ การสร้างและพัฒนาทุนมนุษย์ไม่ใช่เรื่องที่เกิดขึ้นโดยบังเอิญ แต่ต้องอาศัย "กระบวนการลงทุนเชิงระบบ" ซึ่งประกอบด้วยหลายมิติที่สัมพันธ์กัน ได้แก่ [4] [11]

1) การศึกษาและการฝึกอบรม (Education & Training) การจัดการเรียนรู้เพื่อเพิ่มพูนทักษะ ความรู้ และสมรรถนะในการทำงาน การส่งเสริมทั้ง การเรียนรู้ในระบบ (Formal Learning) และ การเรียนรู้อย่างไม่เป็นทางการ (Informal Learning)
2) สุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี (Health & Well-being) สุขภาพที่ดีคือพื้นฐานของการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ องค์กรควรสนับสนุนทั้งสุขภาพกายและสุขภาพจิต
3) แรงจูงใจและความผูกพัน (Motivation & Engagement) คนที่รู้สึกมีคุณค่าและได้รับการยอมรับ จะมีพลังในการพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง การมีเป้าหมาย รู้บทบาท และเห็นคุณค่าของงาน เป็นส่วนหนึ่งของทุนมนุษย์เชิงคุณภาพ
4) ทักษะแห่งอนาคต (Future Skills) เช่น ความสามารถในการคิดเชิงระบบ การสื่อสาร การใช้เทคโนโลยี การปรับตัว และการเรียนรู้ตลอดชีวิต

องค์กรที่ประสบความสำเร็จในยุคใหม่มักมีนโยบายที่เอื้อต่อการพัฒนาทุนมนุษย์ในทุกด้าน ทั้งผ่านแผนพัฒนาอาชีพ (career development plans), การเรียนรู้แบบยืดหยุ่น, และการสร้างวัฒนธรรมแห่งการเติบโต (growth mindset culture)

5. แนวคิดการพัฒนาองค์กรอย่างการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development) หมายถึง การเติบโตที่ตอบสนองต่อความต้องการของปัจจุบันโดยไม่ทำลายศักยภาพของคนรุ่นถัดไปในการตอบสนองความต้องการของตนเอง (Brundtland Report, 1987) เมื่อนำแนวคิดนี้มาประยุกต์ใช้ในระดับองค์กร เราเรียกว่า "การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน" (Organizational

Sustainability) ตามแนวทางของ [6] (2020) การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืนหมายถึง "การดำเนินธุรกิจที่สามารถสร้างผลกำไรควบคู่ไปกับการเคารพสิทธิมนุษยชน การคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม การบริหารจัดการแรงงานอย่างเป็นธรรม และการมีธรรมาภิบาลที่ดี" การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืนจึงไม่ใช่แค่เรื่อง "สิ่งแวดล้อม" อย่างที่หลายคนเข้าใจ แต่ยังรวมถึงการลงทุนใน "คน" และ "ความรู้" อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นรากฐานของการเติบโตในระยะยาว แนวคิดหลักขององค์กรที่ยั่งยืน

องค์กรที่มุ่งสู่ความยั่งยืนจะมีแนวคิดหลักดังต่อไปนี้ [5] [12]

1) 3P – People, Planet, Profit ให้ความสำคัญกับ คน (ทั้งภายในและภายนอกองค์กร), สิ่งแวดล้อม, และ ผลกำไรอย่างสมดุล
2) การเติบโตแบบองค์รวม (Holistic Growth) ไม่วัดความสำเร็จเพียงตัวเลขรายได้ แต่รวมถึงคุณค่าทางสังคม คุณภาพชีวิตของพนักงาน และผลกระทบเชิงบวกต่อชุมชน
3) การเรียนรู้และการปรับตัว (Learning & Adaptability) ความสามารถขององค์กรในการเรียนรู้จากการเปลี่ยนแปลงและปรับระบบภายในให้ทันต่อความท้าทายใหม่ ๆ

การพัฒนาองค์กรให้ยั่งยืนนั้น "ต้องเริ่มจากคน" องค์กรที่ลงทุนกับทุนมนุษย์และสนับสนุนการเรียนรู้ตลอดชีวิต จะมีความสามารถในการปรับตัว สร้างนวัตกรรม และรักษาความสามารถในการแข่งขันได้ดีกว่าองค์กรที่มองข้ามประเด็นนี้ การส่งเสริมให้เกิด วัฒนธรรมแห่งการเรียนรู้ (Learning Culture) ภายในองค์กรจึงเป็นหัวใจของการขับเคลื่อนสู่ความยั่งยืน เพราะเมื่อพนักงานมีศักยภาพ องค์กรก็มีศักยภาพตามไปด้วย

สรุปได้ว่า "ความยั่งยืนขององค์กร" ไม่ใช่เป้าหมายที่แยกขาดจาก "คน" หรือ "การเรียนรู้" หากแต่เป็นสิ่งที่ต้องเดินไปด้วยกัน องค์กรที่อยากอยู่รอดในระยะยาว จำเป็นต้องปลูกฝังวัฒนธรรมที่สนับสนุนการเติบโตของคนในทุกระดับ

6. ความสัมพันธ์ระหว่าง พลวัต การเรียนรู้ตลอดชีวิต พลวัตของการเรียนรู้ตลอดชีวิต ทุนมนุษย์ และแนวคิดการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน แนวคิดทั้งห้านี้ไม่ได้เป็นองค์ประกอบแยกส่วน หากแต่มีความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างและกระบวนการที่หลอมรวมกันเป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนองค์กรในศตวรรษที่ 21 ให้สามารถเผชิญกับความท้าทายและเติบโตอย่างยั่งยืน

พลวัตของการเรียนรู้ตลอดชีวิต (Dynamics of Lifelong Learning) เป็นกลไกเชื่อมโยงที่สำคัญ คือการเปลี่ยนแปลงในวิธีเรียนรู้เอง ทั้งในแง่ของเครื่องมือ เทคโนโลยี วิธีคิด และบริบทของผู้เรียนในแต่ละวัย [9] [2] แนวคิดนี้ทำให้เราเข้าใจว่า การเรียนรู้ไม่สามารถใช้วิธีเดิมกับทุกคนได้อีกต่อไป การออกแบบระบบการเรียนรู้จึงต้องคำนึงถึงความหลากหลาย ความคล่องตัว และความเป็นปัจเจกบุคคล การเรียนรู้ตลอดชีวิต คือ คำตอบต่อพลวัต เมื่อความเปลี่ยนแปลงกลายเป็นสิ่งปกติ

การเรียนรู้ตลอดชีวิต (Lifelong Learning) จึงกลายเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด เพราะเป็นแนวคิดที่เปิดโอกาสให้คนสามารถพัฒนาทักษะ ความรู้ และเจตคติได้อย่างต่อเนื่องและยืดหยุ่น ตลอดช่วงชีวิต [8] โดยเฉพาะในองค์กร การเรียนรู้ตลอดชีวิตไม่ใช่แค่การฝึกอบรม แต่รวมถึงการสร้างวัฒนธรรมที่สนับสนุนการเรียนรู้จากงานจริง จากเพื่อนร่วมงาน และจากการลงมือทำ

ทุนมนุษย์ เป้าหมายของการเรียนรู้ และรากฐานของความยั่งยืน ผลลัพธ์ของการเรียนรู้ตลอดชีวิตคือการสร้าง "ทุนมนุษย์" (Human Capital) ซึ่งหมายถึงทักษะ ความรู้ สุขภาพ และศักยภาพของคน ที่สามารถนำไปใช้เพื่อเพิ่มคุณค่าทางเศรษฐกิจและสังคมได้ [3] องค์กรที่มีระบบพัฒนาทุนมนุษย์อย่างมีประสิทธิภาพจะสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน และตอบสนองต่อพลวัตของโลกได้ดีกว่าองค์กรทั่วไป [11]

แนวคิดการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน จุดรวมของทุกองค์ประกอบ เมื่อองค์กรเผชิญกับพลวัต เรียนรู้อย่างต่อเนื่อง และลงทุนกับทุนมนุษย์อย่างเหมาะสม ผลลัพธ์ที่ได้คือ "การพัฒนาอย่างยั่งยืน" (Sustainable Development) ในระดับองค์กร องค์กรที่ยั่งยืนไม่ได้หมายถึงเพียงการทำกำไร แต่รวมถึงการมีธรรมาภิบาล การเคารพสิทธิมนุษยชน และการสร้างคุณค่าให้กับสังคมและสิ่งแวดล้อม [6] โดยเฉพาะในโมเดล 3P People – Planet – Profit [5] จะเห็นได้ชัดว่า "People" คือจุดเริ่มต้น และต้องได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องผ่านการเรียนรู้และการลงทุนในทุนมนุษย์ความสัมพันธ์ระหว่างพลวัต การเรียนรู้ตลอดชีวิต ทุนมนุษย์ และการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืนนั้นเป็นเหมือน วงจรชีวิตขององค์กรยุคใหม่

3.การศึกษากรณีตัวอย่างขององค์กรในประเทศไทยและประเทศญี่ปุ่น ที่ประสบความสำเร็จในการพัฒนาระบบการเรียนรู้และการบริหารทุนมนุษย์

การศึกษากรณีตัวอย่างขององค์กร ผู้เขียนได้เลือกศึกษากรณีตัวอย่างขององค์กรที่มีแนวทางในการพัฒนาการเรียนรู้และทุนมนุษย์อย่างโดดเด่นในสองประเทศ ได้แก่ ประเทศไทย และ ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีบริบททางวัฒนธรรมและเศรษฐกิจที่ต่างกัน แต่มีแนวโน้มในการขับเคลื่อนองค์กรด้วยทุนมนุษย์ที่น่าสนใจ

3.1.กรณีศึกษาในประเทศไทย บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด (SCG) เป็นหนึ่งในองค์กรไทยที่ได้รับการยอมรับอย่างสูงในด้าน การพัฒนาคนและนวัตกรรม โดยมีการวางระบบ "องค์กรแห่งการเรียนรู้" อย่างชัดเจน ไม่ว่าจะเป็น SCG Academy และระบบ e-Learning การเรียนรู้ข้ามสายงาน (cross-functional learning) และการส่งเสริมให้พนักงานทุกระดับมีส่วนร่วมในการคิดค้นนวัตกรรม แนวทางนี้ไม่เพียงช่วยเพิ่มขีดความสามารถของพนักงาน แต่ยังทำให้ SCG สามารถปรับตัวกับภาวะเศรษฐกิจและความเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีได้อย่างต่อเนื่อง (SCG Sustainability Report, 2022)

3.2. กรณีศึกษาในประเทศญี่ปุ่น: บริษัทโตโยต้า มอเตอร์ (Toyota Motor Corporation) บริษัทมีแนวทางการพัฒนาคนที่ลึกซึ้ง โดยเฉพาะแนวคิด "Kaizen" หรือการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งฝังอยู่ในวัฒนธรรมการทำงานและการเรียนรู้ขององค์กร โดยองค์กรส่งเสริมให้พนักงาน เรียนรู้จากงานประจำ แลกเปลี่ยนความรู้ในแนวราบ (horizontal knowledge sharing) และรวมถึงมีระบบการฝึกอบรมอย่างเป็นระบบ เช่น Toyota Technical Skills Academy แนวทางดังกล่าวได้แสดงให้เห็นว่า "การเรียนรู้" ไม่ใช่กิจกรรมแยกส่วน แต่เป็น "ชีวิตประจำวันของการทำงาน" [10]

4.ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษากรณีทั้งสองประเทศ การขับเคลื่อนองค์กรอย่างยั่งยืน จำเป็นต้องมี

1. ความเข้าใจต่อพลวัต ที่เกิดขึ้นทั้งภายนอกและภายในองค์กร
2. ระบบการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่น สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลง
3. การลงทุนในทุนมนุษย์ อย่างเป็นระบบ

เพราะในท้ายที่สุด ความสามารถในการแข่งขันขององค์กรไม่ได้ขึ้นอยู่กับเครื่องจักรหรือเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว แต่อยู่ที่ "คุณภาพของคน" และ "วัฒนธรรมการเรียนรู้" ที่องค์กรนั้นปลูกฝัง

5. สรุปผลการศึกษา

บทความวิชาการฉบับนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง พลวัตของการเรียนรู้ตลอดชีวิต และ ทุนมนุษย์ ที่มีต่อการ ขับเคลื่อนองค์กรให้บรรลุความยั่งยืน โดยอาศัยการทบทวนวรรณกรรม วิเคราะห์เชิงแนวคิด และศึกษากรณีองค์กรที่ประสบความสำเร็จทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ เช่น SCG และ Toyota

1) การเรียนรู้ตลอดชีวิต คือ กลไกปรับตัวของบุคลากร ผลการศึกษายืนยันว่า "การเรียนรู้ตลอดชีวิต" เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้พนักงานสามารถรับมือกับความเปลี่ยนแปลงของโลกธุรกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงด้านเทคโนโลยี โครงสร้างเศรษฐกิจ หรือพฤติกรรมผู้บริโภค [8] [2] การส่งเสริมการเรียนรู้ในองค์กรไม่เพียงแต่เพิ่มสมรรถนะของบุคลากร แต่ยังช่วยจุดประกายความคิดสร้างสรรค์ และพัฒนานวัตกรรมที่เป็นแรงขับเคลื่อนสำคัญในยุคที่การแข่งขันสูง

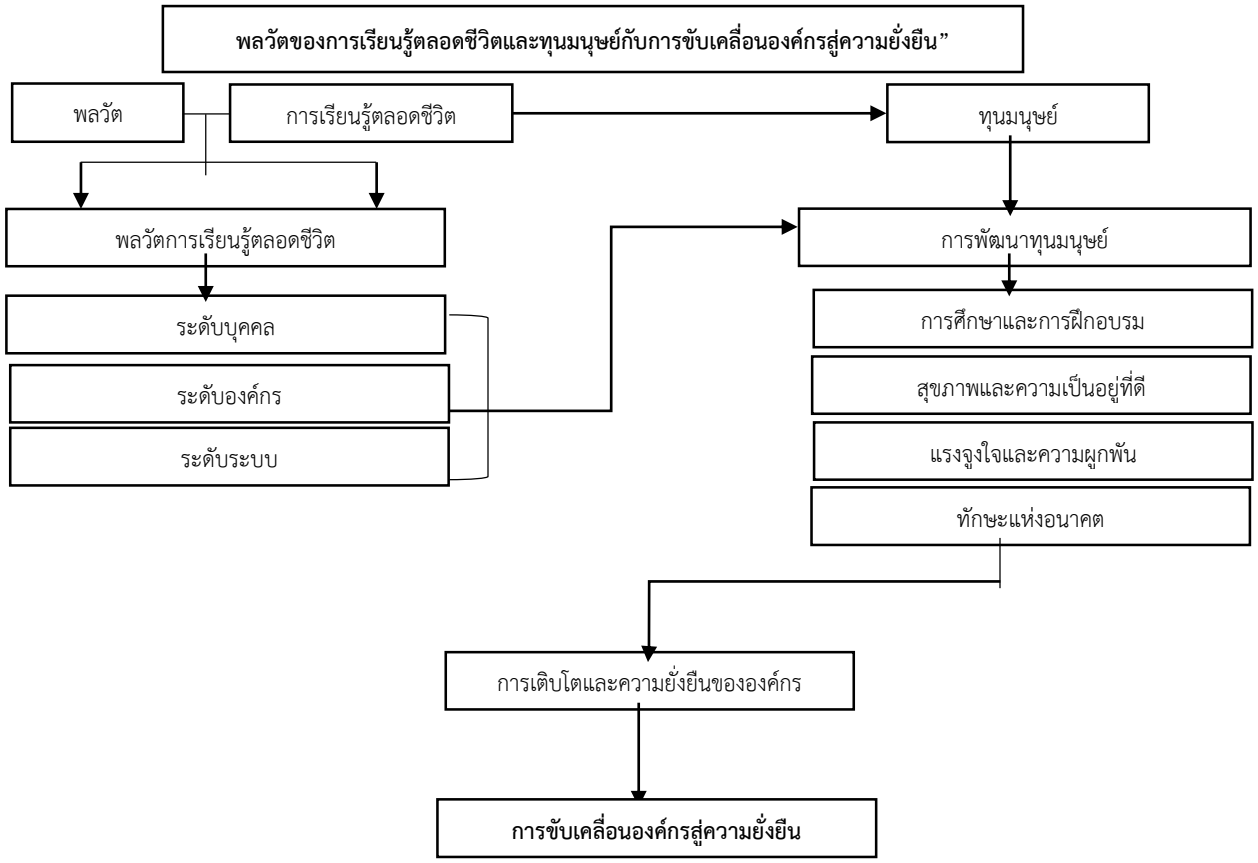
2) ทุนมนุษย์ รากฐานของความสามารถในการแข่งขัน"ทุนมนุษย์" ไม่ใช่แค่แรงงาน แต่คือศักยภาพที่สามารถพัฒนาและเพิ่มมูลค่าได้อย่างต่อเนื่อง ผ่านการศึกษา การฝึกอบรม และระบบสนับสนุนในองค์กร [3] [11] องค์กรที่ให้ความสำคัญกับการพัฒนาทุนมนุษย์ในเชิงกลยุทธ์ มักมีความสามารถในการสร้างนวัตกรรม รักษาความได้เปรียบ และเติบโตได้อย่างยั่งยืนในระยะยาว

3) ความสัมพันธ์เชิงระบบระหว่างการเรียนรู้ ทุนมนุษย์ และความยั่งยืน

การเรียนรู้ตลอดชีวิตและทุนมนุษย์มีความสัมพันธ์ที่ "เกื้อหนุนซึ่งกันและกัน" และทำหน้าที่ร่วมกันเป็น "พลังขับเคลื่อน" ไปสู่ความยั่งยืนขององค์กร [7] [5] องค์กรที่มีการออกแบบระบบนิเวศการเรียนรู้ (learning ecosystem) อย่างครอบคลุม เช่น การ

เรียนรู้ที่เกิดขึ้นจากงานจริง, การใช้เทคโนโลยีเพื่อเสริมการเรียนรู้ และการวัดผลอย่างยืดหยุ่น จะสามารถดึงศักยภาพของบุคลากรออกมาได้อย่างเต็มที่

องค์กรยุคใหม่ควรปลูกฝังวัฒนธรรมการเรียนรู้ตลอดชีวิตในทุกระดับ ลงทุนในทุนมนุษย์อย่างต่อเนื่องและรอบด้านใช้การเรียนรู้เป็นเครื่องมือสำคัญในการปรับองค์กรให้ทันโลก ประเมินความสำเร็จขององค์กรจากทั้ง "ผลลัพธ์ทางธุรกิจ" และ "ผลลัพธ์ด้านการพัฒนาคน" เพราะความยั่งยืนขององค์กรในวันนี้และอนาคต เริ่มต้นจากการ "เรียนรู้" และ "พัฒนาคน" อย่างต่อเนื่องเสมอ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผัง สรุปความคิดรวบยอด "พลวัตของการเรียนรู้ตลอดชีวิตและทุนมนุษย์กับการขับเคลื่อนองค์กรสู่ความยั่งยืน"
ที่มา: การสังเคราะห์ข้อมูลของผู้จัดทำ

เอกสารอ้างอิง

[1] World Economic Forum. (2020). *The future of jobs report 2020*. https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report- 2020

[2] OECD. (2 0 2 1) . * Skills for a digital world: The importance of lifelong learning in the 2 1 st century*. https://www.oecd.org/education/skills-for-a-digital-world.pdf

3] Becker, G. S. (1993). Human capital: A theoretical and empirical analysis with special reference to education (3rd ed.). University of Chicago Press.

[4] Schultz, T. W. (1961). Investment in human capital. *The American Economic Review, 51*(1), 1–17.

[5] Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Capstone Publishing.

[6] United Nations Global Compact. (2020). *Integrating the SDGs into Corporate Reporting: A Practical Guide*. https://www.unglobalcompact.org

[7] Senge, P. M. (1990). *The fifth discipline: The art & practice of the learning organization*. Doubleday.

[8] UNESCO Institute for Lifelong Learning. (2016). *3rd Global report on adult learning and education (GRALE 3)*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245913

[9] World Bank. (2019). *The Human Capital Project*. https://www.worldbank.org/en/publication/human-capital

[10] Liker, J. K. (2004). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill.

[11] Robbins, S. P., & Judge, T. A. (2019). Organizational behavior (18th ed.). Pearson.

[12] WBCSD. (2021). *Vision 2050: Time to Transform*. https://www.wbcsd.org

[13] Brundtland Commission. (1987). *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Oxford University Press.

[14] Schuetze, H. G., & Casey, C. (2006). Models and meanings of lifelong learning: Progress and barriers on the road to a learning society. *Compare: A Journal of Comparative and International Education, 36*(3), 279–287.

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เพื่อลดเวลาในการดำเนินงานของบุคลากรสายสนับสนุนสู่ความยั่งยืนในอนาคต

ชิตณัช ธชีพันธ์*, อภิรมย์ ฉายเพิ่มศักดิ์, และฆนัท พูลสวัสดิ์

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

* Corresponding author: chitanut.tac@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพของ Generative AI ได้แก่ ChatGPT, Gemini และ Copilot ในการช่วยลดเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานของบุคลากรสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัย โดยใช้เกณฑ์ Functional Suitability ตามมาตรฐาน ISO/IEC 25010:2023 ซึ่งประกอบด้วย 3 ด้าน ได้แก่ ความครบถ้วน (Functional Completeness) ความถูกต้อง (Functional Correctness) และความเหมาะสม (Functional Appropriateness)

การวิจัยดำเนินการโดยทดสอบ AI ทั้งสามแพลตฟอร์มกับ 4 หัวข้อและ 20 สถานการณ์ปัญหาจริงที่เกี่ยวข้องกับงานสนับสนุน ผลการศึกษาพบว่า Gemini ได้รับคะแนนเฉลี่ยสูงสุดในทุกมิติการประเมิน โดยมีความครบถ้วน 4.2 คะแนน ความถูกต้อง 4.3 คะแนน และความเหมาะสม 4.1 คะแนน ขณะที่ ChatGPT มีคะแนนเฉลี่ยรองลงมา และ Copilot มีคะแนนต่ำสุด โดยเฉพาะด้านความเหมาะสม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเพียง 3.3 คะแนน ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า Generative AI สามารถช่วยลดเวลาการทำงานและเพิ่มความถูกต้องของข้อมูลได้อย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการศึกษา หน่วยงานควรพิจารณานำ Gemini มาใช้เป็นเครื่องมือหลักในการสนับสนุนการทำงานของบุคลากร พร้อมทั้งจัดทำแนวทางปฏิบัติและฝึกอบรมการใช้งาน AI อย่างเหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดเวลาในการดำเนินงาน โดยงานวิจัยในอนาคตควรขยายกลุ่มตัวอย่าง เพิ่มการศึกษาด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งาน และวิเคราะห์ความเหมาะสมของ AI แพลตฟอร์มสำหรับงานประเภทต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำไปใช้นาคต และเสนอให้มีการศึกษาต่อเพิ่มเติมเกี่ยวกับ AI อื่นๆ ที่อาจมีประสิทธิภาพสูงขึ้นจากการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง

คำสำคัญ: Generative AI / Chatgpt / Functional Suitability / บุคลากรสายสนับสนุน / การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน

Application of Artificial Intelligence Technology to Reduce Processing Time of Support Staff Towards Future Sustainability

Chitanut Tachepan*, Apirom Chaypermsak, Kanat Poolsawasd

Computer Engineering Department, Faculty of Engineering, Mahidol University
* Corresponding author: chitanut.tac@mahidol.ac.th

Abstract

This study aimed to evaluate the potential of generative AI tools specifically ChatGPT, Gemini, and Copilot in reducing time and improving operational efficiency among university support staff. The evaluation was based-on the Functional Suitability criteria from ISO/IEC 25010:2023 standard, which includes three dimensions: Functional Completeness, Functional Correctness, and Functional Appropriateness.

The research involved testing these three AI platforms across four topic areas with 20 real-world support scenarios. The results revealed that Gemini achieved the highest average scores across all evaluation dimensions, scoring 4.2 in Functional Completeness, 4.3 in Functional Correctness, and 4.1 in Functional Appropriateness. ChatGPT ranked second overall, while Copilot received the lowest scores, particularly in Functional Appropriateness with an average score of only 3.3. The findings indicated that generative AI significantly reduces operation time and improves data accuracy.

Based on these findings, the organization should consider adopting Gemini as a primary support tool, alongside the development of best practice guidelines and appropriate user training to maximize operational efficiency and time-saving benefits. Future research should expand the sample size, assess user satisfaction, and analyze AI platform suitability across diverse operational tasks to further optimize implementation. Additionally, ongoing studies are recommended to explore other generative AI tools that may offer higher performance due to continuous technological advancements.

Keywords : Generative AI / ChatGPT / Functional Suitability / Support Staff / Performance enhancement

1. บทนำ

ในยุคดิจิทัลที่เทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนองค์กร ความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและบริหารจัดการเวลาอย่างมีประสิทธิผล กลายเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาองค์กรให้เติบโตอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะสำหรับบุคลากรสายสนับสนุน ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีบทบาทสำคัญในการดำเนินงานเบื้องหลัง ไม่ว่าจะเป็นงานสารสนเทศต่าง ๆ การออกแบบสื่อ การจัดการเอกสาร การประสานงาน การให้บริการข้อมูล หรือการดูแลงานธุรการต่าง ๆ ที่ช่วยให้กระบวนการภายในองค์กรดำเนินไปอย่างราบรื่น งานเหล่านี้มักมีความซ้ำซ้อนและใช้เวลาในการดำเนินงานสูง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความคล่องตัวและประสิทธิภาพขององค์กรโดยรวม

การลดเวลาในการดำเนินงานโดยไม่กระทบคุณภาพของงาน จึงเป็นเป้าหมายสำคัญที่องค์กรยุคใหม่ให้ความสำคัญ ซึ่งสามารถบรรลุได้ผ่านการนำเทคโนโลยีดิจิทัลและระบบอัตโนมัติมาใช้ โดยเฉพาะเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) [1] ที่สามารถช่วยในงานสนับสนุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การวิเคราะห์ข้อมูล การตรวจสอบข้อมูล ตลอดจนการตอบคำถามทั่วไป โดยรายงานของ วสันต์ เกิดสวัสดิ์ และคณะ (2024) ชี้ให้เห็นว่าองค์กรที่นำ AI มาใช้สามารถปรับปรุงกระบวนการทำงาน ลดภาระงานที่ซ้ำซ้อน และเพิ่มความสามารถของบุคลากรในการทำงานเชิงกลยุทธ์ได้ดีขึ้น [2] ซึ่งสอดคล้องงานวิจัยของจิรกร ฐาวิรัตน์(2025) ระบุว่า AI ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้และลดความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงทรัพยากรทางการศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถประยุกต์ใช้กับงานสนับสนุนในองค์กรได้เช่นกัน [3]

สำหรับการใช้ AI ยังมีบทบาทสำคัญในการจัดการความรู้ในองค์กร ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Jarrahi, Askay, Eshraghi และ Smith (2024) [4] และงานวิจัยของ Igbokwe (2023) [5] ที่แสดงให้เห็นว่า AI ช่วยในการจัดระเบียบข้อมูลและเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดการความรู้ภายในองค์กรได้อย่างมีระบบ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทาง Knowledge Management ในการดำเนินงานของบุคลากรสายสนับสนุน โดยเฉพาะงานที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการเอกสารและข้อมูลสำคัญ

นอกจากนี้ การลดเวลาในการดำเนินงานจากงานที่ซ้ำซ้อนยังสอดคล้องกับเป้าหมายของความยั่งยืนในองค์กร ซึ่งครอบคลุมทั้ง 3 มิติหลัก ได้แก่ เศรษฐกิจ (ประหยัดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร) สังคม (เสริมสร้างสภาพแวดล้อมการทำงานที่เอื้อต่อสุขภาวะของบุคลากร) และสิ่งแวดล้อม (ลดการใช้ทรัพยากร เช่น กระดาษและพลังงาน) ทางด้านงานวิจัยของ Aydın, Karaarslan และ Bacanin (2025) ได้กล่าวถึงการใช้ Generative AI ในการสร้างเอกสารอัตโนมัติ ซึ่งช่วยลดปริมาณการใช้ทรัพยากรได้อย่างมีนัยสำคัญ [6]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์และเครื่องมือดิจิทัล ในการช่วยลดเวลาในการดำเนินงานของบุคลากรสายสนับสนุน พร้อมทั้งประเมินผลความสำเร็จในการแก้ไขปัญหาผ่าน Generative AI [7] หลายแพลตฟอร์ม เพื่อนำไปสู่ข้อเสนอแนะในการปรับใช้ที่เหมาะสมสำหรับองค์กรในระยะยาว ทั้งในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพงาน การสร้างความยั่งยืน และการพัฒนาศักยภาพบุคลากรให้พร้อมเผชิญกับความเปลี่ยนแปลงในอนาคตอย่างยั่งยืนและมั่นคง

2. วัตถุประสงค์

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน โดยประเมินความสามารถของ Generative AI ในการสนับสนุนการแก้ไขปัญหา และลดความซ้ำซ้อนของงานสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัย

3. ขอบเขตของการศึกษา

3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การศึกษานี้มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการลดระยะเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานของบุคลากรสายสนับสนุนในมหาวิทยาลัย โดยพิจารณาการใช้ Generative AI ได้แก่ ChatGPT, Gemini และ Copilot เพื่อแก้ไขปัญหาและสนับสนุนการทำงานในลักษณะต่าง ๆ เช่น การจัดทำเอกสาร การวิเคราะห์ข้อมูล

3.2 ขอบเขตด้านบุคคล

การวิจัยนี้ดำเนินการโดยผู้วิจัย 2 กลุ่ม ซึ่งดำรงตำแหน่ง นักวิชาการสารสนเทศ และ เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป โดยทั้งสองจะเป็นผู้ทดสอบการใช้ AI ในการแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับงานสนับสนุน และบันทึกผลลัพธ์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเทคโนโลยีดังกล่าว

3.3 ขอบเขตด้านเทคโนโลยี

ใช้เฉพาะเครื่องมือ Generative AI ที่ให้บริการฟรี ได้แก่ ChatGPT, Gemini และ Copilot โดยวัดผลจากความสามารถในการแก้ไขปัญหาและความแม่นยำของคำแนะนำที่ได้รับ

3.4 ขอบเขตด้านการประเมินผล

การประเมินผลในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ Generative AI ทั้ง 3 แพลตฟอร์ม ได้แก่ ChatGPT, Gemini และ Copilot ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในงานสายสนับสนุน โดยใช้เกณฑ์ Functional Suitability ตามมาตรฐาน ISO/IEC 25010:2023 ซึ่งประกอบด้วย 3 ด้าน ได้แก่ ความครบถ้วน (Functional Completeness), ความถูกต้อง (Functional Correctness) และ ความเหมาะสม (Functional Appropriateness) โดยจะให้คะแนนในระดับ 1–5 สำหรับแต่ละด้าน พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับวิธีการแก้ไขแบบดั้งเดิม เพื่อระบุว่า AI สามารถช่วยลดเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานได้มากน้อยเพียงใด ตลอดจนพิจารณาความสอดคล้องในการนำไปประยุกต์ใช้ในบริบทขององค์กรเพื่อความยั่งยืนในอนาคต

4. วิธีการศึกษา

4.1 ขั้นตอนการวิจัย

กระบวนการวิจัยนี้ถูกออกแบบอย่างเป็นระบบและมีลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา โดยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดปัญหาและแนวทางแก้ไขเบื้องต้น

โดยผู้วิจัย 2 คน ซึ่งดำรงตำแหน่ง นักวิชาการสารสนเทศ และ เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป จะร่วมกันระบุปัญหาที่พบจากการดำเนินงานจริงในงานสายสนับสนุน โดยมุ่งเน้น 4 หัวข้อหลัก ได้แก่

- การจัดการชุดข้อมูล
- การแก้ไขปัญหาผู้ใช้งาน
- การแก้ไขปัญหา Network
- การจัดการเว็บไซต์ และข้อมูลเผยแพร่

ในแต่ละหัวข้อหลัก จะกำหนด 5 สถานการณ์ปัญหา ที่เกิดขึ้นจริงและผู้วิจัยเคยแก้ปัญหาดังกล่าวมาแล้ว โดยสถานการณ์เหล่านี้จะถูกนำไปใช้เป็นกรณีศึกษาในการทดสอบประสิทธิภาพของ AI สำหรับแต่ละปัญหา จะกำหนดแนวทางแก้ไขเบื้องต้นโดยใช้วิธีการแบบดั้งเดิม ซึ่งจะใช้เป็น เกณฑ์เปรียบเทียบ กับผลลัพธ์ที่ได้จากเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบการทดสอบและเลือกเครื่องมือ AI

คัดเลือก Generative AI จำนวน 3 แพลตฟอร์ม ได้แก่

- ChatGPT
- Gemini
- Copilot

ทั้งหมดเป็นเวอร์ชันที่สามารถใช้งานได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย เพื่อให้การทดสอบเป็นไปอย่างเท่าเทียม จากนั้นจึงออกแบบชุดคำถามและปัญหา ที่ต้องการให้ AI แก้ไข โดยคำถามจะครอบคลุมงานสนับสนุนที่พบได้ โดยผู้วิจัยได้ทำการกำหนด บริบทและข้อความ ที่ใช้ในการสอบถามให้เหมือนกันทุกแพลตฟอร์ม เพื่อความสอดคล้องในการประเมินผล โดยใช้เกณฑ์การประเมินตาม ISO/IEC 25010:2023 ในหัวข้อ Functional Suitability [8]

ขั้นตอนที่ 3 การดำเนินการทดลอง

ดำเนินการทดสอบโดยนำ 5 สถานการณ์ปัญหา ไปสอบถามกับ AI ทั้ง 3 แพลตฟอร์ม โดยใช้ข้อความเดียวกันและบริบทเดียวกันในการสอบถาม เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้สามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างยุติธรรม จากนั้นบันทึกคำตอบและคำแนะนำ ที่ได้รับจาก AI อย่างละเอียด พร้อมระบุจุดแข็งและจุดอ่อนของคำตอบ

ขั้นตอนที่ 4 การประเมินผลลัพธ์

ประเมินผลคำตอบจาก AI โดยใช้เกณฑ์การประเมินตาม ISO/IEC 25010:2023 ในหัวข้อ Functional Suitability ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ด้านหลัก ได้แก่

- Functional Completeness (ความครบถ้วน)
- Functional Correctness (ความถูกต้อง)
- Functional Appropriateness (ความเหมาะสม)

สำหรับแต่ละด้าน จะให้คะแนนตาม 5 ระดับ ดังนี้

- ระดับ 1: Very Poor (แย่มาก) – ไม่สามารถตอบได้ หรือคำตอบไม่เกี่ยวข้อง
- ระดับ 2: Poor (แย่) – คำตอบขาดเนื้อหาสำคัญ และไม่สามารถนำไปใช้ได้
- ระดับ 3: Fair (พอใช้ได้) – คำตอบครอบคลุมบางส่วน แต่ยังไม่สมบูรณ์
- ระดับ 4: Good (ดี) – คำตอบถูกต้องและเหมาะสม สามารถนำไปใช้ได้
- ระดับ 5: Excellent (ดีเยี่ยม) – คำตอบครบถ้วน ถูกต้อง และมีคำแนะนำเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์

จากนั้นจึงสร้างตารางเปรียบเทียบคะแนน ของ AI ทั้ง 3 แพลตฟอร์มในแต่ละสถานการณ์ปัญหา เพื่อดูแนวโน้มความสามารถในการแก้ไขปัญหา

ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์และสรุปผล

ในการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบ ระหว่างผลลัพธ์จาก AI กับแนวทางแก้ไขแบบของผู้ปฏิบัติงาน ผู้วิจัยพิจารณาจาก

- ความครบถ้วน ความถูกต้อง และความเหมาะสมของคำตอบ
- ระบุ ข้อดี-ข้อเสีย ของแต่ละแพลตฟอร์ม AI พร้อมให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการนำ AI ไปปรับใช้ในงานสนับสนุนจริง

จากนั้นจึงทำการสรุป ข้อเสนอแนะ สำหรับการประยุกต์ใช้ AI เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดเวลาในการดำเนินงาน และส่งเสริมความยั่งยืนขององค์กรในระยะยาว

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้ใช้ การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ (Comparative Analysis) [9] เพื่อประเมินประสิทธิภาพของ Generative AI ทั้ง 3 แพลตฟอร์ม ได้แก่ ChatGPT, Gemini และ Copilot ในการสนับสนุนงานสายสนับสนุน โดยใช้ สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ในการสรุปผลลัพธ์ของคำตอบจาก AI ในแต่ละสถานการณ์ ตามเกณฑ์ ISO/IEC 25010:2023 ในด้าน Functional Suitability ซึ่งแบ่งเป็น 3 ด้าน ได้แก่ Functional Completeness, Functional Correctness, และ Functional Appropriateness โดยใช้ระดับคะแนน 1–5 ในแต่ละด้าน

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการประเมิน ความเหมาะสมในการใช้งาน (Functional Suitability) ของโมเดลปัญญาประดิษฐ์ 3 ประเภท ได้แก่ ChatGPT, Gemini และ Copilot ตามมาตรฐาน ISO/IEC 25010:2023 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของซอฟต์แวร์ โดยเน้นการวิเคราะห์ใน 3 มิติหลัก ได้แก่ ความครบถ้วน (Functional Completeness), ความถูกต้อง (Functional Correctness), และความเหมาะสม (Functional Appropriateness) ทั้งนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาเพื่อคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าร้อยละของคะแนนที่ได้รับในแต่ละด้าน และแสดงผลลัพธ์เชิงเปรียบเทียบในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบแพลตฟอร์มตาความเหมาะสมในการใช้งาน

มิติการประเมิน	ระบบ AI	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	เปรียบเทียบ
Functional Completeness (ความครบถ้วน)	ChatGPT	3.9	0.79	Gemini มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ที่ 4.2
	Gemini	4.2	0.77	
	Copilot	3.5	0.89	
Functional Correctness (ความถูกต้อง)	ChatGPT	4.2	0.77	Gemini มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ที่ 4.3
	Gemini	4.3	0.8	
	Copilot	3.6	1.05	
Functional Appropriateness (ความเหมาะสม)	ChatGPT	3.9	0.85	Gemini มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ที่ 4.1
	Gemini	4.1	0.85	
	Copilot	3.3	0.92	

จาก ตารางที่ 1 สามารถสรุปได้ว่า Gemini เป็นโมเดลที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในทุกมิติของการประเมิน โดยเฉพาะในด้านความครบถ้วนของข้อมูล (Functional Completeness) ซึ่งได้รับคะแนนเฉลี่ย 4.2 คะแนน คิดเป็น 84% ของคะแนนเต็ม สะท้อนถึงความสามารถของโมเดลในการให้ข้อมูลที่สมบูรณ์และครอบคลุมประเด็นที่เกี่ยวข้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่ ChatGPT มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 3.9 คะแนน (78%) ซึ่งแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพที่ดีแต่ยังคงต่ำกว่า Gemini ในบางหัวข้อ ส่วน Copilot มีคะแนนเฉลี่ยต่ำสุดที่ 3.5 คะแนน (70%) โดยเฉพาะในบางงานที่ต้องการการสังเคราะห์ข้อมูลที่ซับซ้อน

ในด้าน ความถูกต้องของข้อมูล (Functional Correctness) พบว่า Gemini และ ChatGPT มีคะแนนเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน โดย Gemini มีค่าเฉลี่ยที่ 4.3 คะแนน (86%) และ ChatGPT มีค่าเฉลี่ยที่ 4.2 คะแนน (84%) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมเดลทั้งสองสามารถให้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำและเชื่อถือได้ อย่างไรก็ตาม Copilot ได้รับคะแนนเฉลี่ยต่ำสุดที่ 3.6 คะแนน (72%) พร้อมค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงที่สุด (SD = 1.05) ซึ่งอาจสะท้อนถึงความไม่แน่นอนของผลลัพธ์ที่ได้จากโมเดลนี้

ขณะที่ด้านความเหมาะสมของคำตอบ (Functional Appropriateness) Gemini ยังคงมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.1 คะแนน (82%) รองลงมาคือ ChatGPT ที่ 3.9 คะแนน (78%) และ Copilot ที่ 3.3 คะแนน (66%) ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า Gemini สามารถให้คำตอบที่ตรงกับบริบทของคำถามและสามารถนำไปใช้งานได้จริงได้ดีกว่าโมเดลอื่น ในขณะที่ Copilot มีคะแนนเฉลี่ยต่ำสุดและมีความผันผวนสูงในบางกรณี ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของการใช้งานในบริบทที่ต้องการคำตอบที่มีความแม่นยำสูง

จากผลการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ Gemini เป็นโมเดลที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุดในทุกด้าน และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำกว่าหรือเท่ากับ ChatGPT ในเกือบทุกกรณี ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการให้คำตอบที่ ครบถ้วน ถูกต้อง และเหมาะสมต่อการใช้งาน มากที่สุด ChatGPT ตามมาเป็นอันดับที่สอง โดยมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับ Gemini แต่ยังมีบางหัวข้อที่อาจไม่สามารถให้ข้อมูลได้ครบถ้วนเท่า Copilot มีคะแนนเฉลี่ยต่ำสุดในทุกมิติของการประเมิน และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด ซึ่งบ่งชี้ถึงความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพคำตอบ ดังนั้น Copilot อาจไม่เหมาะสำหรับการใช้งานทั่วไปที่ต้องการความแม่นยำสูง แต่สามารถนำไปใช้ในงานเฉพาะทางที่ต้องการแนวทางการแก้ไขที่ยืดหยุ่น ผลลัพธ์จากการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ Generative AI ให้เหมาะสมกับลักษณะของงานที่ต้องการ และแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการสนับสนุนการดำเนินงานของบุคลากรสายสนับสนุนในองค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งาน Generative AI ได้แก่แพลตฟอร์ม ChatGPT, Gemini และ Copilot เพื่อสนับสนุนการทำงานของบุคลากรสายสนับสนุน โดยเฉพาะในการ ลดความซ้ำซ้อนในการทำงาน และส่งเสริมความยั่งยืนภายในองค์กร ผ่านการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และระบบดิจิทัลมาใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า AI ทั้งสามแพลตฟอร์ม ได้แก่ Gemini, ChatGPT และ Copilot มีศักยภาพในการสนับสนุนงานในองค์กร โดยผลการประเมินคะแนนเฉลี่ยแสดงให้เห็นว่า Gemini มีประสิทธิภาพโดยรวมดีที่สุดในทุกด้าน ได้แก่ ความครบถ้วน (Functional Completeness), ความถูกต้อง (Functional Correctness), และความเหมาะสม (Functional Appropriateness) โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับสูง รองลงมาคือ ChatGPT ที่มีประสิทธิภาพในระดับดีและสามารถใช้งานได้อย่างหลากหลาย ในขณะที่ Copilot แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดในบางหัวข้อที่เฉพาะเจาะจง

7.ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. หน่วยงานควรเลือกใช้ AI แพลตฟอร์ม Gemini เป็นเครื่องมือหลักในการสนับสนุนการทำงานของบุคลากร เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงสุดในการศึกษาทุกด้าน

2. จัดทำแนวทางปฏิบัติหรือคู่มือการใช้งาน AI ให้กับบุคลากร เพื่อให้สามารถใช้งานแพลตฟอร์มได้อย่างเต็มประสิทธิภา

3. พัฒนาโปรแกรมอบรมหรือหลักสูตรฝึกอบรมบุคลากรเกี่ยวกับการใช้งาน AI เพื่อให้บุคลากรมีความเข้าใจและสามารถนำไปใช้งานจริงได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

4. ติดตามและประเมินผลการใช้งานแพลตฟอร์ม AI อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถปรับปรุงและพัฒนาการใช้งานได้อย่างเหมาะสมที่สุด

7.2ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรขยายกลุ่มตัวอย่างในการประเมินเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สะท้อนผลการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้น

2. อาจพิจารณาเพิ่ม AI แพลตฟอร์มอื่นๆ ที่ต้องสมัครสมาชิกหรือเสียค่าใช้จ่ายในการใช้งาน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแพลตฟอร์มต่างๆ ได้อย่างชัดเจนขึ้น

3. ควรเพิ่มการศึกษาในด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งาน เพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมในการพัฒนาการใช้งานแพลตฟอร์ม AI

4. อาจศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะงานกับแพลตฟอร์ม AI ที่เหมาะสม เพื่อการเลือกใช้งานแพลตฟอร์ม AI ที่ตรงกับลักษณะงานแต่ละประเภทมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). Artificial intelligence: A modern approach (4th ed.). Pearson

[2] วสันต์ เกิดสวัสดิ์, สหพัฒน์ หอมจันทร์, กันต์ฐมณีญา นฤโฆษกิตติกีรติ (2567). ปัจจัยสนับสนุนที่มีผลต่อประสิทธิผลในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ในองค์กรภาครัฐและภาคเอกชนในยุคปัญญาประดิษฐ์. วารสารสหวิทยาการวิจัยและนวัตกรรมการศึกษา, 3(2), 31-50.

[3] จิรกร ฐาวิรัตน์ (2568). AI กับการศึกษา: ตัวช่วยสุดอัจฉริยะ เพื่อพัฒนาการเรียนรู้. วารสารสังคมศึกษาปริทรรศน์, 1(2), 98-99.

[4] Jarrahi, M. H., Askay, D., Eshraghi, A., & Smith, D. (2024). Artificial intelligence and knowledge management: Enhancing organizational efficiency. Knowledge Management Review, 22(3), 215-230.

[5] Igbokwe, I. C. (2023). Application of artificial intelligence in education and business: A case study approach. International Journal of Advanced Technology, 45(2), 98-115.

[6] Aydın, Ö., Karaarslan, E., & Bacanin, N. (2025). Generative AI in academic writing: A comparison of platforms and their effectiveness. Journal of Educational Technology, 38(4), 120-135.

[7] OpenAI. (n.d.). Generative models. OpenAI. Retrieved March 18, 2025, from https://openai.com/index/generative-models/.

[8] ISO/IEC. (2023). ISO/IEC 25010:2023: Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models.

[9] King, G., Keohane, R. O., & Verba, S. (1994). Designing social inquiry: Scientific inference in qualitative research. Princeton University Press.

อิทธิพลของประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง

นรินทร์ ขำแจ่ม และ พิมพ์มณี รัตนวิชา*

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
** Corresponding author: pimmanee@cbs.chula.ac.th*

บทคัดย่อ

การท่องเที่ยวมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ หนึ่งในเทคโนโลยีที่ส่งเสริมสื่อท่องเที่ยวให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น คือการท่องเที่ยวเสมือนจริง ซึ่งเป็นการจำลองสภาพแวดล้อมของสถานที่ท่องเที่ยวผ่านระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถรับรู้และโต้ตอบกับสื่อในรูปแบบที่เสมือนจริง ช่วยในการวางแผนและสร้างแรงจูงใจในการท่องเที่ยว

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง โดยใช้โมเดลเอส-โอ-อาร์ (Stimulus-Organism-Response) โดยมีกลุ่มตัวอย่าง คือคนไทยเจเนอเรชันแซด จำนวน 147 คน ที่ไม่เคยท่องเที่ยวในสถานที่ที่ใช้ในการศึกษามาก่อน แบ่งหน่วยตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มที่รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง และ 2) กลุ่มที่รับชมวิดีโอ เพื่อวิเคราะห์ตัวแปร 6 ด้าน ได้แก่ การรับรู้คุณภาพของข้อมูล การรับรู้คุณภาพของการบริการ การรับรู้คุณภาพของระบบ การรับรู้ความสนุกสนาน การปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริง และความจดจ่อ รวมทั้งวิเคราะห์ความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มที่รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง มีค่าตัวแปรทั้ง 6 ด้าน และความตั้งใจเยี่ยมชมสถานที่จริง สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับชมวิดีโออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจเยี่ยมชมสถานที่จริงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือการรับรู้คุณภาพของการบริการ การรับรู้คุณภาพของระบบ และความจดจ่อของผู้ใช้

ผู้ประกอบการในธุรกิจท่องเที่ยวสามารถนำผลการวิจัยมาใช้สร้างกลยุทธ์ เพิ่มแรงจูงใจให้นักท่องเที่ยวตัดสินใจที่จะมาเยี่ยมชมสถานที่ท่องเที่ยวจริง รวมถึงนำไปใช้ปรับปรุงการท่องเที่ยวเสมือนจริงให้มีคุณภาพ เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวแบบยั่งยืน

คำสำคัญ: การท่องเที่ยวเสมือนจริง / การท่องเที่ยวไทย / ประสบการณ์การท่องเที่ยว / ความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง / โมเดลเอส-โอ-อาร์

Influence of Virtual Tour Experience on Intention to Visit Real Destination

Narint Khumjam and Pimmanee Rattanawicha*

Faculty of Commerce and Accountancy, Chulalongkorn University, Pathumwan, Bangkok, Thailand
** Corresponding author: pimmanee@cbs.chula.ac.th*

Abstract

Tourism plays an important role in the economic development of a country. One of the technologies that enhances the effectiveness of tourism media is virtual tour, which simulates the environment of tourist attractions through computer systems. This allows users to perceive and interact with media in a realistic manner, helping with travel planning and increasing motivation to travel.

This study examines the effects of virtual tour experiences on intentions to visit real destinations using the Stimulus-Organism-Response (S-O-R) model. The sample consisted of 147 Thai Generation Z individuals who had never visited the study location. Participants were divided into two groups: 1) Virtual Tour Experience group and 2) Traditional Video-watching group. Six key variables (Perceived Information Quality, Perceived Service Quality, Perceived System Quality, Perceived Enjoyment, Telepresence, and Concentration) were analyzed as well as Intention to Visit Real Destination. The results indicate that the Virtual Tour Experience group demonstrated statistically significant higher scores in all six variables and in Real Destination Visit Intention compared to the video group. The variables significantly correlated with Visit Intention were Perceived Service Quality, Perceived System Quality, and Concentration.

Tourism business operators can use the research findings to develop strategies that increase motivation for tourists to decide to visit real tourist attractions. Additionally, the findings can be applied to improve the quality of virtual tour experiences in order to promote sustainable tourism.

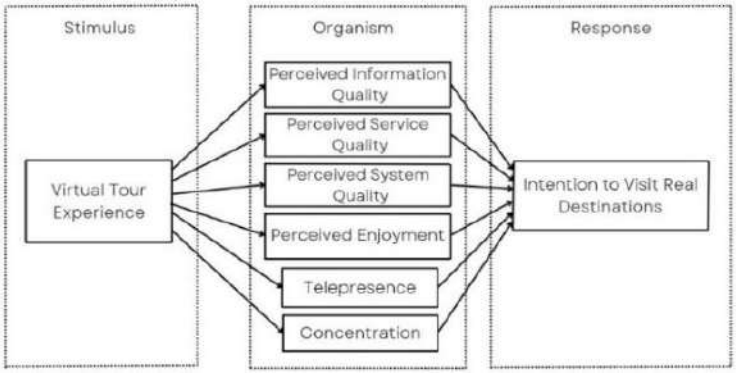
Keyword: Virtual Tours / Tourism in Thailand / Virtual Tour Experience / Intention to Visit Real Destinations / S-O-R Model

1. บทนำ

รายได้จากการท่องเที่ยวมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ โดยสถานการณ์ของการท่องเที่ยวของประเทศไทยนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน ทั้งภายในประเทศและภายนอกประเทศ อาทิเช่น ทิศทางเศรษฐกิจของการท่องเที่ยวโลก พฤติกรรมของนักเท่องเที่ยว และสถานการณ์ความไม่สงบภายในประเทศ ในขณะเดียวกันเทคโนโลยีก็เข้ามามีบทบาทมากขึ้นต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน รวมถึงทำให้การเข้าถึงข้อมูลด้านการท่องเที่ยวทำได้สะดวกมากยิ่งขึ้น การนำเทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้เพื่อพัฒนาสื่อด้านการท่องเที่ยวจะเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยให้เกิดการส่งเสริมและพัฒนาการท่องเที่ยวไทยอย่างยั่งยืน และหนึ่งในเทคโนโลยีที่น่าจะเข้ามามีบทบาทต่อการท่องเที่ยว คือ เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์กับการท่องเที่ยวในลักษณะของการท่องเที่ยวเสมือนจริง หรือ Virtual Tour

เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้ผู้ใช้เกิดความรู้สึกเสมือนจริง ทั้งภาพและเสียง อาจมีการจำลองสภาพแวดล้อมในลักษณะ 360 องศา ซึ่งผู้ใช้สามารถรับรู้และโต้ตอบกับสื่อในรูปแบบที่เสมือนจริง เมื่อนำเทคโนโลยีความจริงเสมือนมาประยุกต์กับการท่องเที่ยว ในลักษณะการท่องเที่ยวเสมือนจริง หรือ Virtual Tour จะทำให้เกิดการพัฒนารูปแบบการนำเสนอสถานที่ท่องเที่ยวที่มีความน่าสนใจและสมจริงยิ่งขึ้น

การศึกษานี้อ้างอิงแนวคิดของโมเดลเอส-โอ-อาร์ (Stimulus-Organism-Response Model) [3] ซึ่งใช้อธิบายถึงสาเหตุของพฤติกรรม เริ่มจากการที่บุคคลเผชิญสิ่งเร้า (S-Stimulus) จะกระตุ้นให้เกิดกระบวนการภายใน (O-Organism) ที่แตกต่างไปของแต่ละบุคคล และนำไปสู่พฤติกรรมที่แสดงออกในท้ายที่สุด (R-Response) ในการศึกษานี้ สิ่งเร้า (S-Stimulus) คือการได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง (Virtual Tour Experience) และเพื่อให้เห็นผลที่เกิดจากการกระตุ้นโดยประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงได้อย่างชัดเจน ผู้วิจัยจะนำผลที่ได้รับจากการชมวิดีโอการท่องเที่ยว (VDO) มาเปรียบเทียบ ว่าทั้งสองรูปแบบของประสบการณ์การท่องเที่ยว กระตุ้นให้เกิดกระบวนการภายใน (O-Organism) สะท้อนออกมาเป็นค่าของตัวแปร 6 ตัวแปรที่แตกต่างกันหรือไม่อย่างไร ได้แก่ 3 ตัวแปร จากแบบจำลองความสำเร็จของระบบสารสนเทศ (IS Success Model) [4] คือ การรับรู้คุณภาพของข้อมูล (Perceived Information Quality) การรับรู้คุณภาพของการบริการ (Perceived Service Quality) และการรับรู้คุณภาพของระบบ (Perceived System Quality) ส่วนอีก 3 ตัวแปร มาจากทฤษฎีภาวะลื่นไหล (Flow Theory) ได้แก่ การรับรู้ความสนุกสนาน (Perceived Enjoyment) การปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริง (Telepresence) และความจดจ่อ (Concentration) [1] ซึ่งจะนำไปสู่การตอบสนอง (R-Response) ได้แก่ ความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง (Intention to Visit Real Destination) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาว่า ประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง (Stimulus) ทำให้ค่าตัวแปร (Organism) ทั้ง 6 ตัวแปร ได้แก่ การรับรู้ถึงคุณภาพของข้อมูล การรับรู้ถึงคุณภาพของการบริการ การรับรู้ถึงคุณภาพของระบบ การรับรู้ถึงความสนุกสนาน การปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริง และความจดจ่อ แตกต่างจากการได้รับชมวิดีโอการท่องเที่ยว หรือไม่
2. เพื่อศึกษาว่า ประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง (Stimulus) ทำให้ความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง (Response) แตกต่างจากการได้รับชมวิดีโอการท่องเที่ยว หรือไม่
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปร (Organism) ทั้ง 6 ตัวแปร ได้แก่ การรับรู้ถึงคุณภาพของข้อมูล การรับรู้ถึงคุณภาพของการบริการ การรับรู้ถึงคุณภาพของระบบ การรับรู้ถึงความสนุกสนาน การปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริง และความจดจ่อ ที่มีต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง (Response) เมื่อผู้ใช้ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง (Stimulus)
4. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง (Response) ก่อนและหลังผู้ใช้ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง (Stimulus)

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้ ต้องการศึกษาว่าประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงมีผลต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง หรือไม่ โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

3.1 ประชากรและหน่วยตัวอย่าง

ประชากรในการศึกษาครั้งนี้ คือคนไทยกลุ่มเจเนอเรชันแซด (Generation Z) หรือผู้ที่เกิดปี พ.ศ. 2540 ถึงปี พ.ศ. 2552 เนื่องจากคนเจเนอเรชันนี้ให้ความสนใจและใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ เป็นปกติในชีวิตประจำวัน และต้องเป็นผู้ที่ยังไม่เคยเดินทางไปเยี่ยมชมสถานที่ที่ใช้ในการศึกษามาก่อน โดยคำนวณจำนวนหน่วยตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม G*Power สำหรับการทดสอบ t-Test ที่กำหนดค่าขนาดอิทธิพล เท่ากับ 0.5 ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05 และอำนาจการทดสอบเท่ากับ 0.90 ได้จำนวนหน่วยตัวอย่างไม่น้อยกว่า 140 คน (แบ่งเป็นผู้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง จำนวนไม่น้อยกว่า 70 คน และผู้รับชมวิดีโอการท่องเที่ยว จำนวนไม่น้อยกว่า 70 คน)

3.2 รูปแบบสื่อที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยว

เนื่องจากงานวิจัยนี้ ต้องการศึกษาอิทธิพลของประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง ดังนั้น นอกจากสื่อที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยวในรูปแบบการท่องเที่ยวเสมือนจริง (Virtual Tour-VT) แล้ว ผู้วิจัยได้เลือกรูปแบบสื่อที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยว เพิ่มอีกหนึ่งรูปแบบซึ่งมีความแตกต่างจาก Virtual Tour ได้แก่ วิดีโอการท่องเที่ยว (Video-VDO) เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการใช้สื่อทั้งสองรูปแบบมาเปรียบเทียบและยืนยันผล โดยสื่อที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยวในการศึกษาครั้งนี้ คือสื่อแนะนำการท่องเที่ยวถ้ำพระยานคร จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ที่เผยแพร่โดยองค์การกระจายเสียงและแพร่ภาพสาธารณะแห่งประเทศไทย (Thai Public Broadcasting Service: Thai PBS) ทั้งสองรูปแบบ มีเนื้อหาและความยาวเท่ากัน คือ 3 นาที 40 วินาที

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้แบ่งกระบวนการเก็บข้อมูลตลอดทั้งงานวิจัยออกเป็น 2 ขั้น ประกอบด้วย 1) การศึกษาขั้นต้น และ 2) การเก็บข้อมูลจริง

1. การศึกษาขั้นต้น ผู้วิจัยเลือกสื่อที่ให้ข้อมูลการท่องเที่ยว 2 รูปแบบ ได้แก่ การท่องเที่ยวเสมือนจริง (Virtual Tour) และวิดีโอการท่องเที่ยว (เพื่อเป็นตัวแทนของ Non-virtual Tour) เลือกสถานที่ท่องเที่ยว เป็นถ้ำพระยานคร จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จากนั้นให้หน่วยตัวอย่างที่ไม่เคยท่องเที่ยวถ้ำพระยานคร จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มาก่อน จำนวน 30 คน ทำแบบสอบถามที่ประกอบด้วย 5 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นข้อมูลเบื้องต้นของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนที่ 2 เป็นข้อคำถามเกี่ยวกับความตั้งใจในการไปเที่ยวถ้ำพระยานคร (โดยให้คะแนน จาก 0 คือไม่มีความตั้งใจไปเที่ยว จนถึง 10 มีความตั้งใจไปเที่ยวสูงสุด) หลังจากนั้นให้หน่วยตัวอย่างแต่ละคนรับชมสื่อที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับถ้ำพระยานคร เพียง 1 รูปแบบ (การท่องเที่ยวเสมือนจริง หรือวิดีโอการท่องเที่ยว) เมื่อรับชมสื่อที่ให้ข้อมูลการท่องเที่ยวเสร็จแล้ว หน่วยตัวอย่างจะตอบแบบสอบถามส่วนที่ 3 ซึ่งเป็นข้อคำถามเพื่อทดสอบความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับถ้ำพระยานครที่ได้รับจากสื่อการท่องเที่ยว แบบสอบถามส่วนที่ 4 เป็นการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ 6 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา จำนวนรวม 23 ข้อ ซึ่งได้มาจากงานวิจัยในอดีต (เป็นการให้หน่วยตัวอย่างแสดงความคิดเห็น คือ 1 ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง จนถึง 5 เห็นด้วยอย่างยิ่ง) และแบบสอบถามส่วนที่ 5 เป็นข้อคำถามความตั้งใจในการไปเที่ยวถ้ำพระยานคร หลังจากได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง หรือได้รับชมวิดีโอแล้ว (โดยให้คะแนน จาก 0 คือไม่มีความตั้งใจไปเที่ยว จนถึง 10 มีความตั้งใจไปเที่ยวสูงสุด) ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากแบบสอบถามส่วนที่ 4 ไปทดสอบคุณภาพของข้อคำถามด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค (Cronbach's Alpha Coefficient) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัคของแต่ละตัวแปร ได้แก่ การรับรู้ถึงคุณภาพของข้อมูล การรับรู้ถึงคุณภาพของการบริการ การรับรู้ถึงคุณภาพของระบบ การรับรู้ถึงความสนุกสนาน การปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริง และความจดจ่อ มีค่า 0.781, 0.768, 0.674, 0.866, 0.710 และ 0.881 ตามลำดับ ผู้วิจัยได้นำผลจากการศึกษาขั้นต้นไปปรับปรุงแบบสอบถามตามความคิดเห็นที่ได้รับจากหน่วยตัวอย่าง โดยเฉพาะข้อคำถามของตัวแปรการรับรู้ถึงคุณภาพของระบบ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค ต่ำกว่า 0.7 เล็กน้อย

2. การเก็บข้อมูลจริง เป็นการนำแบบสอบถามที่ผ่านการทดสอบคุณภาพแล้ว มาใช้เก็บข้อมูลจากหน่วยตัวอย่าง ซึ่งเป็นคนไทย เจเนอเรชันแซด หรือผู้ที่เกิดปี พ.ศ. 2540 ถึงปี พ.ศ. 2552 จำนวนไม่น้อยกว่า 140 คน ด้วยวิธีการเลือกหน่วยตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) และเป็นการเก็บข้อมูลแบบการเผชิญหน้าระหว่างผู้วิจัยและหน่วยตัวอย่างทีละคน โดยให้หน่วยตัวอย่างรับชมสื่อที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยว ผ่านอุปกรณ์แท็บเล็ตของผู้วิจัย แล้วตอบแบบสอบถามออนไลน์ โดยก่อนเริ่มเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง ผู้วิจัยจะทดสอบความเร็วของอินเทอร์เน็ต (Speed Test) เพื่อให้แน่ใจว่าความเร็วของอินเทอร์เน็ตมีความใกล้เคียงกัน ไม่มีผลกระทบต่อการเก็บข้อมูล

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

สถิติที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลมี 2 รูปแบบ ดังนี้

1. การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เพื่อนำมาอธิบายลักษณะของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ ความถี่ และค่าร้อยละ รวมถึงเพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลของตัวแปร ได้แก่ การหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ซึ่งถึงแม้ว่าข้อมูลความคิดเห็นของหน่วยตัวอย่างเกี่ยวกับตัวแปรต่าง ๆ จะเป็นข้อมูลลักษณะ

Likert Scale (1 ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง – 5 เห็นด้วยอย่างยิ่ง) แต่การวัดค่าตัวแปรแต่ละตัว ได้จากการใช้ข้อถามหลายข้อ แล้วนำค่าที่ได้จากข้อคำถามทุกข้อมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นค่าของแต่ตัวแปรนั้น ๆ ทำให้สามารถนำข้อมูลของแต่ละตัวแปรมาวิเคราะห์ในลักษณะ Continuous Variable [2]

2. การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงอนุมาน (Interferential Statistics) เพื่อตอบคำถามงานวิจัย ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ดังนี้

- เพื่อวิเคราะห์ว่าประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง ทำให้ค่าการรับรู้ถึงคุณภาพของข้อมูล การรับรู้ถึงคุณภาพของการบริการ การรับรู้ถึงคุณภาพของระบบ การรับรู้ถึงความสนุกสนาน การปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริง และความจดจ่อ แตกต่างจากการได้รับชมวิดีโอการท่องเที่ยว หรือไม่ ผู้วิจัยใช้การทดสอบที (t-Test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่ได้รับจากสองรูปแบบของการให้ข้อมูลการท่องเที่ยว
- เพื่อวิเคราะห์ว่าประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง ทำให้ความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง แตกต่างจากการได้รับชมวิดีโอการท่องเที่ยว หรือไม่ ผู้วิจัยใช้การทดสอบที (t-Test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง ที่ได้รับจากสองรูปแบบของการให้ข้อมูลการท่องเที่ยว
- เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรการรับรู้ถึงคุณภาพของข้อมูล การรับรู้ถึงคุณภาพของการบริการ การรับรู้ถึงคุณภาพของระบบ การรับรู้ถึงความสนุกสนาน การปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริง และความจดจ่อ ที่มีต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง เมื่อผู้ใช้ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง ผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient)
- เพื่อเปรียบเทียบความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง ก่อนและหลังผู้ใช้ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง ผู้วิจัยใช้การทดสอบที แบบ Paired Sample t-Test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง ก่อนและหลังผู้ใช้ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ในขั้นของการเก็บข้อมูลจริง ผู้วิจัยเก็บข้อมูลจากนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นหน่วยตัวอย่างเจเนอเรชันแซด ระหว่างเดือนมีนาคม - เมษายน พ.ศ. 2568 ได้มาจำนวนทั้งสิ้น 217 คน แต่ต้องตัดข้อมูลของหน่วยตัวอย่างจำนวน 70 คนออก เนื่องจากหน่วยตัวอย่างตอบคำถามวัดความเข้าใจเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยว หรือคำถามวัดความตั้งใจในการทำแบบสอบถามไม่ผ่านเกณฑ์ ทำให้เหลือแบบสอบถามที่มีคุณภาพ สามารถนำไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อได้จำนวน 147 ชุด เป็นข้อมูลของหน่วยตัวอย่างที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง จำนวน 71 คน และหน่วยตัวอย่างที่ได้รับชมวิดีโอการท่องเที่ยว จำนวน 76 คน

5.1 ผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า หน่วยตัวอย่างจำนวน 147 คน เป็นเพศชาย 55 คน (ร้อยละ 37.4) แบ่งเป็นหน่วยตัวอย่างที่ได้รับประสบการณ์ท่องเที่ยวเสมือนจริง จำนวน 24 คน และได้รับชมวิดีโอการท่องเที่ยว จำนวน 31 คน และเป็นเพศหญิง 92 คน (ร้อยละ 62.6) แบ่งเป็นหน่วยตัวอย่างที่ได้รับประสบการณ์ท่องเที่ยวเสมือนจริง จำนวน 47 คน และได้รับชมวิดีโอการท่องเที่ยว จำนวน 45 คน

1. จากตารางที่ 1 ผลการทดสอบสมมติฐาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า (1) ผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง มีการรับรู้ถึงคุณภาพของข้อมูลสูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ (H1) โดยผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงมี

ค่าเฉลี่ยการรับรู้ถึงคุณภาพของข้อมูล ($\bar{X}$ 4.361, SD = 0.494) สูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ ($\bar{X}$ = 4.053, SD = 0.499) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (2) ผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง มีการรับรู้ถึงคุณภาพของการบริการสูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ (H2) โดยผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงมีค่าเฉลี่ยการรับรู้ถึงคุณภาพของการบริการ ($\bar{X}$ = 4.258, SD = 0.640) สูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ ($\bar{X}$ = 3.859, SD = 0.602) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (3) ผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงมีการรับรู้ถึงคุณภาพของระบบสูงกว่ าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ (H3) โดยผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงมีค่าเฉลี่ยการรับรู้ถึงคุณภาพของระบบ ($\bar{X}$ = 4.225, SD = 0.694) สูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ ($\bar{X}$ = 4.039, SD = 0.632) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (4) ผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงมีการรับรู้ถึงความสนุกสนานสูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ (H4) โดยผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงมีค่าเฉลี่ยการรับรู้ถึงความสนุกสนาน ($\bar{X}$ = 4.272, SD = 0.669) สูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ ($\bar{X}$ = 3.890, SD = 0.689) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (5) ผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงจะมีรับรู้ถึงการปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริงสูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ (H5) โดยผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงมีค่าเฉลี่ยของการปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริง ($\bar{X}$ = 3.764, SD = 0.643) สูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ ($\bar{X}$ = 3.339, SD = 0.818) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (6) ผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงจะมีความจดจ่อสูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ (H6) โดยผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงมีค่าเฉลี่ยความจดจ่อ ($\bar{X}$ = 3.549, SD = 0.858) สูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ ($\bar{X}$ = 3.311, SD = 0.798) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบสมมติฐานสำหรับ 6 ตัวแปร เมื่อรูปแบบของสื่อการท่องเที่ยว หรือสิ่งเร้า (Stimuli) แตกต่างกัน

สมมติฐาน	ข้อความ	Mean	Std.	Sig.	ผลการทดสอบสมมติฐาน
H1	ผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงจะมี**การรับรู้ถึงคุณภาพของข้อมูล** สูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ	4.361 (VT) 4.053 (VDO)	0.494 (VT) 0.499 (VDO)	<.001	ยอมรับ H1
H2	ผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงจะมี**การรับรู้ถึงคุณภาพของการบริการ** สูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ	4.258 (VT) 3.859 (VDO)	0.640 (VT) 0.602 (VDO)	<.001	ยอมรับ H2
H3	ผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงจะมี**การรับรู้ถึงคุณภาพของระบบ** สูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ	4.225 (VT) 4.039 (VDO)	0.694 (VT) 0.632 (VDO)	.046	ยอมรับ H3
H4	ผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงจะมี**การรับรู้ถึงความสนุกสนาน** สูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ	4.272 (VT) 3.890 (VDO)	0.669 (VT) 0.689 (VDO)	<.001	ยอมรับ H4
H5	ผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงจะมี**การรับรู้ถึงการปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริง** สูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ	3.764 (VT) 3.339 (VDO)	0.643 (VT) 0.818 (VDO)	<.001	ยอมรับ H5
H6	ผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงจะมี**ความจดจ่อ** สูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ	3.549 (VT) 3.311 (VDO)	0.858 (VT) 0.798 (VDO)	.041	ยอมรับ H6

2. จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบสมมติฐาน H7 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ค่าเฉลี่ยความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง หลังที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง ($\bar{X}$ = 7.07, SD = 1.53) มีค่าสูงกว่า ค่าเฉลี่ยความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริงหลังการรับชมวิดีโอ ($\bar{X}$ = 6.46, SD = 2.23) อย่างมีนัยสำคัญสูงมากทางสถิติ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง หลังการได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง และหลังการรับชมวิดีโอ

สมมติฐาน	ข้อความ	Mean	Std.	Sig.	ผลการทดสอบสมมติฐาน
H7	ความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริงหลังการได้รับการท่องเที่ยวเสมือนจริง สูงกว่าความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง หลังการรับชมวิดีโอ	7.07 (Post VT) 6.46 (Post VDO)	1.53 (Post VT) 2.23 (Post VDO)	.028	ยอมรับ H7

3. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรการรับรู้ถึงคุณภาพของข้อมูล การรับรู้ถึงคุณภาพของการบริการ การรับรู้ถึงคุณภาพของระบบ การรับรู้ถึงความสนุกสนาน การปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริง และความจดจ่อ ที่มีต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง เมื่อผู้ใช้ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง จากตารางที่ 3 พบว่า ตัวแปรที่ส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% มี 2 ตัวแปร ได้แก่ การรับรู้ถึงคุณภาพของการบริหาร (H9) (r= 0.338) และการรับรู้ถึงคุณภาพของระบบ (H10) (r= 0.371) และมีตัวแปรจำนวน 1 ตัวแปรที่ส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ ความจดจ่อที่มีต่อสื่อการท่องเที่ยวเสมือนจริง (H13) (r= 0.203)

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปร 6 ตัว ที่มีผลต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง เมื่อผู้ใช้ได้รับประสบการณ์ท่องเที่ยวเสมือนจริง

สมมติฐาน	ข้อความ	Correlation Coefficient	Sig.	ผลการทดสอบสมมติฐาน
H8	**การรับรู้ถึงคุณภาพของข้อมูล**จากประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง	0.168	.081	ปฏิเสธ H8
H9	**การรับรู้ถึงคุณภาพของการบริการ**จากประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง	0.388**	.002	ยอมรับ H9
H10	**การรับรู้ถึงคุณภาพของระบบ**จากประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง	0.371**	< .001	ยอมรับ H10
H11	**การรับรู้ถึงความสนุกสนาน**จากประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง	0.184	.062	ปฏิเสธ H11
H12	**การปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริง**จากประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง	0.167	.081	ปฏิเสธ H12
H13	**ความจดจ่อ**ที่มีต่อประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงส่งผลเชิงบวกต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง	0.203*	.045	ยอมรับ H13

4. จากตารางที่ 4 การทดสอบสมมติฐาน H14 พบว่า ค่าเฉลี่ยความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริงหลังจากที่ผู้ใช้ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง ($\bar{x}$ = 7.07, SD = 1.53) สูงกว่าความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริงของผู้ใช้ก่อนที่จะได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง ($\bar{x}$ = 5.48, SD = 2.22) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง ก่อนและหลังการได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง

สมมติฐาน	ข้อความ	Mean	Std.	Sig.	ผลการทดสอบสมมติฐาน
H14	ความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริงหลังได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงมีค่าสูงกว่าความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริงก่อนได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง	7.07 (Post VT) 5.48 (Pre VT)	1.53 (Post VT) 2.22 (Pre VT)	<.001	ยอมรับ H14

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาอิทธิพลของประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงที่มีต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง ด้วยการศึกษาตัวแปร จำนวน 6 ตัวแปร ได้แก่ การรับรู้ถึงคุณภาพของข้อมูล การรับรู้ถึงคุณภาพของการบริการ การรับรู้ถึงคุณภาพของระบบ การรับรู้ถึงความสนุกสนาน การปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริง และความจดจ่อ สามารถอภิปรายผลได้ ดังนี้

1. การรับรู้ถึงคุณภาพของข้อมูล พบว่า ผู้ที่ได้ประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงจะรับรู้ถึงคุณภาพของข้อมูล สูงกว่าผู้ใช้ที่รับชมวิดีโอการท่องเที่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การท่องเที่ยวเสมือนจริงจะให้ประสบการณ์ที่มีมิติและความสมจริง ทำให้ผู้ใช้รับรู้คุณภาพของข้อมูลอย่างชัดเจน สอดคล้องกับงานของ Zhang et al. [9] ที่พบว่า ความชัดเจนของข้อมูลและความเข้าใจของเนื้อหา มีผลโดยตรงต่อผลสัมฤทธิ์ทางการใช้

2. การรับรู้ถึงคุณภาพของการบริการ พบว่า ผู้ที่ได้ประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงจะรับรู้ถึงคุณภาพของการบริการสูงกว่าผู้ใช้ที่รับชมวิดีโอการท่องเที่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สามารถอธิบายได้ว่า การท่องเที่ยวเสมือนจริงจะสร้างประสบการณ์เสมือนจริง ที่ส่งผลให้ผู้ใช้งานรู้สึกว่าได้รับบริการที่ครบถ้วน ทันสมัย และใส่ใจ ผู้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง จะมีความรู้สึกร่วมและเชื่อมโยงกับสภาพแวดล้อม ส่งผลให้ประเมินบริการด้านอื่น ๆ เช่น การเข้าถึงข้อมูลหรือการนำเสนอ เป็นไปในทางบวกมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นตัวแปรที่ส่งผลเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง เป็นการสนับสนุนแนวคิดของ Delone & McLean [5] ที่กล่าวว่า คุณภาพของการบริการมีผลต่อความพึงพอใจและประสบการณ์โดยรวมของผู้ใช้

3. การรับรู้ถึงคุณภาพของระบบ พบว่า ผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงมีการรับรู้ถึงคุณภาพของระบบสูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอการท่องเที่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากการท่องเที่ยวเสมือนจริงสามารถสร้างประสบการณ์ที่ทำให้เกิดความรู้สึกร่วม ส่งผลให้รู้สึกว่าระบบทำงานได้ดีและน่าเชื่อถือ ในขณะที่วิดีโอการท่องเที่ยวจะมีข้อจำกัดด้านการมีปฏิสัมพันธ์และความรู้สึกเชื่อมโยงกับระบบที่ต่ำกว่า ทำให้คุณภาพของระบบถูกประเมินต่ำกว่าการท่องเที่ยวเสมือนจริง ตัวแปรการรับรู้คุณภาพของระบบยังเป็นอีกหนึ่งตัวแปรสำคัญที่ส่งผลเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญต่อความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง เป็นการสนับสนุนแนวคิดของ Delone & McLean [5] ซึ่งระบุว่า คุณภาพของระบบเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการใช้งาน ความพึงพอใจและผลสัมฤทธิ์ของระบบ การรับรู้ถึงคุณภาพของระบบที่ดี เช่น ความเสถียร และความเร็วในการโหลด

4. การรับรู้ถึงความสนุกสนาน พบว่า ผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงมีการรับรู้ถึงความสนุกสนานได้สูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การรับรู้ถึงความสนุกสนานไม่สัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริงหลังที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง และมีความสัมพันธ์ระดับปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริงหลังที่ได้รับชมวิดีโอ โดยการท่องเที่ยวเสมือนจริงมีลักษณะเสมือนจริง มีมิติ และมีปฏิสัมพันธ์ที่ทำให้ผู้ใช้รู้สึกมีส่วนร่วมและตื่นเต้น รวมถึงสภาพแวดล้อมที่ตอบสนองต่อการเคลื่อนไหวหรือการมองเห็นแบบดื่มด่ำน้อย อาจเป็นเพราะไม่ได้รับการออกแบบให้ดึงดูดหรือชัดเจนเพียงพอในส่วนของการท่องเที่ยวเสมือนจริง ซึ่งเป็นการสนับสนุนแนวคิดของ Flow Theory ที่กล่าวว่า ความสนุกสนาน เป็นแรงจูงใจภายในสำคัญ และส่งผลต่อความตั้งใจใช้งานและการมีส่วนร่วมของผู้ใช้ [7]

5. การปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริง พบว่า ผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงมีการรับรู้ถึงการปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริงได้สูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแน่นอนว่าการท่องเที่ยวเสมือนจริงจะทำให้ผู้ใช้งานรู้สึกว่า ตัวเองอยู่ในสถานที่จริงมากกว่า การรับชมวิดีโอซึ่งมีข้อจำกัดทางด้านมิติภาพ การตอบสนอง มุมมอง สอดคล้องกับแนวคิดของ Steuer [8] และ Lombard & Ditton [6] ที่กล่าวว่า การปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริง คือ ความรู้สึกของการ "อยู่ที่นั่น" ซึ่งมีผลอย่างมากต่อประสบการณ์ผู้ใช้งาน

6. ความจดจ่อ พบว่า ผู้ใช้ที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงมีความจดจ่อสูงกว่าผู้ที่ได้รับชมวิดีโอ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่า เทคโนโลยีการท่องเที่ยวเสมือนจริงมีศักยภาพในการดึงดูดความสนใจของผู้ใช้งานให้อยู่กับเนื้อหาได้ดีกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen & Tsai [4] ที่ระบุว่า ผู้ใช้ที่รู้สึกว่าเนื้อหาน่าเชื่อถือและมีโครงสร้างดี จะสามารถโฟกัสที่เนื้อหาและประมวลผลได้ดีกว่า และลักษณะการได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง ทำให้ผู้ใช้อยู่ในสภาวะไหล (Flow State) อีกทั้งยังพบว่า ความจดจ่อมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง แสดงว่ายิ่งผู้ใช้มีสมาธิและความสนใจต่อประสบการณ์เสมือนจริงมากเท่าไร ก็จะยิ่งส่งผลต่อการประเมินคุณภาพและความพึงพอใจต่อประสบการณ์มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดจาก Flow Theory ระบุว่าเมื่อบุคคลมีสมาธิอย่างเต็มที่ต่อกิจกรรมที่กำลังทำอยู่ จะสร้างประสบการณ์ที่ดี [7]

7. ความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริง หลังที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง มีค่าสูงกว่าความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริงหลังการรับชมวิดีโอ อย่างมีนัยสำคัญสูงมากทางสถิติ สามารถอธิบายตามแนวคิดของโมเดลเอส-โอ-อาร์ (Stimulus-Organism-Response Model) ได้ว่า เมื่อผู้ใช้ได้รับสิ่งเร้า (S-Stimulus) คือการได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง ซึ่งกระตุ้นให้เกิดกระบวนการภายใน (O-Organism) สะท้อนออกมาเป็นค่าของตัวแปร 6 ตัวแปร คือการรับรู้คุณภาพของข้อมูล การรับรู้คุณภาพของการบริการ การรับรู้คุณภาพของระบบ การรับรู้ความสนุกสนาน การปรากฏตัวทางไกลเสมือนจริง และความจดจ่อ จากการศึกษาที่พบว่าค่าตัวแปรทั้ง 6 ตัวแปรของกลุ่มที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับชมวิดีโออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ก็จะนำไปสู่การตอบสนอง (R-Response) ได้แก่ ความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริงที่สูงกว่าในกลุ่มที่ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงเช่นกัน

8. จากการศึกษาที่พบว่า ความตั้งใจในการเยี่ยมขมสถานที่จริงหลังจากที่ผู้ใช้ได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริงสูงกว่าความตั้งใจในการเยี่ยมชมสถานที่จริงของผู้ใช้ก่อนที่จะได้รับประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความตั้งใจเยี่ยมชมสถานที่จริงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือการรับรู้คุณภาพของการบริการ การรับรู้คุณภาพของระบบ และความจดจ่อของผู้ใช้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการในธุรกิจท่องเที่ยวที่สามารถนำการท่องเที่ยว

แบบเสมือนจริงมาใช้เป็นหนึ่งในกลยุทธ์เพื่อเพิ่มแรงจูงใจให้นักท่องเที่ยวตัดสินใจที่จะมาเยี่ยมชมสถานที่ท่องเที่ยวจริง รวมถึงนำไปใช้ปรับปรุงการท่องเที่ยวเสมือนจริงให้มีคุณภาพ โดยเฉพาะคุณภาพของระบบ และบริการ สร้างความจดจ่อที่ผู้ใช้มีให้กับสถานที่ท่องเที่ยวเพื่อนำไปสู่การส่งเสริมการท่องเที่ยวแบบยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] สโรชา หมื่นสิทธิ์. (2564). *ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจซื้อผ่านแพลตฟอร์มความเป็นจริงเสมือน* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี, สาขาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ.

[2] Analysing Likert Scale/Type Data. Available online: www.st-andrews.ac.uk/media/ceed/students/mathssupport/Likert.pdf (access on 4 April 2025).

[3] Buxbaum, O. (2016). The S-O-R-Model. In: Key Insights into Basic Mechanisms of Mental Activity. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29467-4_2.

[4] Chen, H., & Tsai, M. J. (2021). The impact of source credibility and message structure on users' cognitive engagement in social media environments. *Journal of Media Psychology*, 33(2), 89–101.

[5] DeLone, W. H., & McLean, E. R. (2003). The DeLone and McLean model of information systems success: A ten-year update. *Journal of Management Information Systems, 19*(4), 9–30.

[6] Lombard, M. & Ditton, T. (1997). Presence and television. *Human Communication Research, 26*(1), 75–98.

[7] Ozkara, B. Y., Ozmen, M., & Kim, J. W. (2017). Examining the effect of flow experience on online purchase: A novel approach to the flow theory based on hedonic and utilitarian value. *Journal of Retailing and Consumer Services, 37*, 119–131.

[8] Steuer, J. (1992). *Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence*. *Journal of Communication, 42*(4), 73–93.

[9] Zhang, L. J., Wang, H., & Du, X. (2020). Teacher clarity and student learning outcomes: The mediating role of content understanding. *Language Teaching Research*, 24(3), 345–367.

ชุดสาธิตการทำงานระบบหัวกรอของยูนิตทันตกรรม สำหรับประกอบการอบรมและบรรยาย

ณัฐวิชช์ วงษ์ฮ้อเจริญ[1], กมล ยอดญาติไทย[1], นพพล อิ่มศิลป์[1], ปฐมพงศ์ แสงพันธ์[1], ปรีชา แก้วชูเงิน[1], สิทธิพร หาพร[1], สุลักษณ์ คงเลิศ[1], อรพธู กุลวิไชยศักดิ์[1], และ นิติรุจน์ กุลวิไชยศักดิ์[2]

[1]หน่วยซ่อมบำรุง งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล
[2]คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนโยธี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400
** Corresponding author: nitiroot.kun@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

หน่วยซ่อมบำรุง งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม คณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล มีภารกิจหน้าที่ในการอบรมให้ความรู้ด้านการบำรุงรักษาเครื่องมือทางทันตกรรมแก่นักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์ ซึ่งที่ผ่านมาการอบรมให้ความรู้สังเกตพบว่านักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์ยังขาดความรู้ความเข้าใจในการอบรมทางด้านยูนิตทันตกรรม เนื่องจากระบบการทำงานของยูนิตทันตกรรมค่อนข้างซับซ้อนจึงส่งผลกระทบต่อความรู้ความเข้าใจของนักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์ในการอบรม นั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาและออกแบบจัดทำชุดสาธิตการทำงานระบบหัวกรอของยูนิตทันตกรรมสำหรับประกอบการอบรมและบรรยายโดยการนำวัสดุอุปกรณ์ของยูนิตทันตกรรมที่มีใช้งานอยู่มาประกอบในการจัดทำ และนำชุดสาธิตไปใช้งานประกอบการอบรมและบรรยาย หลังจากปรับปรุง พบว่า นักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์มีผลรวมคะแนนจากการทดสอบความรู้มากกว่าร้อยละ 90 และมีความพึงพอใจต่อการใช้ชุดสาธิตการทำงานระบบหัวกรอของยูนิตทันตกรรมไปใช้ประกอบการอบรมและบรรยายมกกว่าร้อยละ 90 และได้พัฒนาจัดทำ QR Code เพื่อให้นักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์สามารถเข้าไปทบทวนความรู้ได้ตลอดเวลา ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายพัฒนาความรู้ความร่วมมือส่งเสริมการการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals :SDGs) คือเป้าหมายที่ 17

คำสำคัญ: ยูนิตทันตกรรม / ระบบหัวกรอฟัน / ชุดสื่อสาธิต

Demonstration Set of Dental Unit Drill Head System for Training and Lectures

Nattawit Wonghocharoen[1], Kamol Yodyatithai[1], Noppol Imsin[1], Pathompong Saengpun[1], Preecha Kaewchuengen[1], Sitthiphon Haphon[1], Sulak Kongleut[1], Onpathu Kunvichaisak[1], and Nitirut Kunvichaisak[2*]

[1]Maintenance Unit, Physical and Environmental Division, Mahidol University
[2]Faculty of Dentistry, Mahidol University, Yothi Road, Thung Phayathai Subdistrict, Ratchathewi District, Bangkok 10400
Corresponding author: nitiroot.kun@mahidol.ac.th

The Maintenance Unit, Physical and Environmental Unit, Faculty of Dentistry, Mahidol University, has a mission to train dental assistant students on dental instrument maintenance. In the past, it was found that dental assistant students lacked knowledge and understanding in dental unit training because the dental unit's operation system was quite complicated, which affected the knowledge and understanding of dental assistant students during the training. This research aimed to solve this problem and design a dental unit drill system demonstration kit for training and lectures by using existing dental unit materials and equipment to create the kit and use the demonstration kit for training and lectures. After the improvement, it was found that dental assistant students had a total score of more than 90 percent from the knowledge test and were more than 90 percent satisfied with using the dental unit drill system demonstration kit for training and lectures. A QR Code was also developed so that dental assistant students could review their knowledge at any time, which is in line with the goal of knowledge development and cooperation to promote sustainable development (Sustainable Development Goals: SDGs), which is goal 17.

Keywords: Dental unit / Handpiece system / Demonstration media set

1. บทนำ

หน่วยซ่อมบำรุง งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม มีภารกิจหน้าที่ในการอบรมให้ความรู้ด้านการบำรุงรักษาเครื่องมือทางทันตกรรมแก่นักศึกษาทันตแพทย์และนักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์ เพื่อการใช้งานอย่างถูกต้องและรองรับการให้บริการผู้ป่วยอย่างมีประสิทธิภาพ ยูนิตทันตกรรม คือ เครื่องมือสำหรับอำนวยความสะดวกแก่การรักษาทางทันตกรรมซึ่งการอบรมให้ความรู้แก่ผู้ใช้งานจึงมีความจำเป็นสำคัญเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อการรักษาผู้ป่วยขณะใช้งาน ซึ่งที่ผ่านมาการอบรมให้ความรู้ของนักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์ หน่วยซ่อมบำรุงได้สังเกตและสอบถามผู้เรียนพบว่าผู้เรียนขาดความรู้ความเข้าใจ แรงดึงดูด สับสนและมองภาพอุปกรณ์ชื่อเรียกไม่ถูกต้องเนื่องจากระบบยูนิตทันตกรรมมีความซับซ้อน ส่งผลกระทบต่อการอบรมให้ความรู้จากปัญหาที่ดังกล่าวหน่วยซ่อมบำรุงจึงได้คิดค้นและแก้ไขปัญหาโดยการนำวัสดุอุปกรณ์ของระบบยูนิตทันตกรรมที่มีใช้งานอยู่มาประกอบในการจัดทำชุดสาธิตการทำงานระบบหัวกรอของยูนิตทันตกรรม เพื่อใช้ประกอบการอบรมให้ความรู้แก่นักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์ หลังจากปรับปรุงพัฒนารูปแบบการอบรม ซึ่งสอดคล้องกับความร่วมมือในการร่วมกันหาแนวทางแก้ไข พัฒนาปรับปรุง การทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ เป้าหมายของการส่งเสริมองค์พัฒนาองค์ความรู้ที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals :SDGs) คือเป้าหมายที่ 17

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ผู้เข้ารับการอบรมมีความารู้ความเข้าใจมากยิ่งขึ้น
2. เพื่อการพัฒนาชุดสาธิตการทำงานระบบหัวกรอของยูนิตทันตกรรมได้อย่างชัดเจนและเข้าใจง่าย
3. เพื่อใช้เป็นสื่อประกอบการบรรยายและฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการให้การถ่ายทอดองค์ความรู้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. เพื่อเป้าหมายความร่วมมือการพัฒนาองค์ความรู้อย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals :SDGs)

3. ขอบเขตของการศึกษา

โรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (พญาไท) สถานที่ตั้ง เลขที่6 ถนนโยธี แขวงทุ่ง พญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400

4. วิธีการศึกษา/ดำเนินการ

4.1 กำหนดแผนงานและแบ่งที่หน้าที่ผู้รับผิดชอบ
4.2 ศึกษาข้อมูลและเตรียมวัสดุอุปกรณ์ประกอบ
4.3 ประกอบและติดตั้งอุปกรณ์พร้อมทดสอบการทำงาน
4.4 ถ่ายทำบันทึกวีดีโอชุดสาธิตพร้อมจัดทำ QR Code
4.5 ใช้ประกอบการอบรมและบรรยาย
4.6 วัดประเมินผล

ตารางที่ 1 แสดงแผนงานและแบ่งที่หน้าที่ผู้รับผิดชอบ

ลำดับ	ขั้นตอน	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลาการดำเนินการ					
			ปี 2567			ปี 2568		
			ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.	ศึกษาข้อมูลและออกแบบ	นิติรุจน์, ณัฐวิชช์	↔					
2.	เตรียมวัสดุอุปกรณ์	ณัฐวิชช์, ปฐมพงษ์		↔				
3.	ติดตั้งอุปกรณ์และทดสอบการทำงาน	กมล, นพพล, สุลักษณ์, ปรีชา		↔	↔			
4.	ถ่ายทำบันทึกวีดีโอความรู้ชุดสาธิต พร้อม QR Code	นิติรุจน์, สิทธิพร, ปรีชา			↔			
5.	นำชุดสื่อสาธิตใช้ประกอบการอบรมและบรรยาย ทดสอบความรู้ ก่อน-หลัง การอบรม	ณัฐวิชช์, ปฐมพงษ์, กมล, นพพล, สุลักษณ์, อรพธู				↔	↔	
6.	วัดและประเมินผล	นิติรุจน์, นพพล, สุลักษณ์, อรพธู						↔

4.2 รายการวัสดุอุปกรณ์ประกอบรายละเอียด ดังนี้

4.2.1 แผ่นไม้ขนาด 90X60 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น
4.2.2 วาล์วปรับน้ำ จำนวน 2 ตัว
4.2.3 วาล์วปรับลม จำนวน 2 ตัว
4.2.4 เกจวัดแรงดัน จำนวน 1 ตัว
4.2.5 ข้อต่อสามทาง จำนวน 3 ตัว
4.2.6 บล็อกทองเหลืองแยกลม-น้ำ จำนวน 2 ตัว
4.2.7 Foot Switch ควบคุม จำนวน 1 ตัว
4.2.8 สายน้ำ ขนาด 4*2 มิลลิเมตร จำนวน 5 เมตร
4.2.9 สายลม ขนาด 4*2 มิลลิเมตร จำนวน 1 เมตร
4.2.9 โครงเหล็กขนาด 25*25*3 มิลลิเมตร จำนวน 1 เมตร
4.2.10 ทีวีขนาด 14 นิ้ว จำนวน 1 เครื่อง
4.2.11 แผ่นสติกเกอร์ขนาด 60*40 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น

4.3 ขั้นตอนการประกอบและติดตั้งอุปกรณ์ พร้อมทดสอบการทำงาน

4.3.1 กำหนดตำแหน่งการวางอุปกรณ์ทดสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์




4.3.2 ถ่ายทำบันทึกวีดีโอความรู้ชุดสาธิต พร้อม QR Code



4.3.3 ใช้ประกอบการอบรมนักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์ชั้นปีที่1 และมีการทดสอบความรู้ก่อน-หลังการอบรมของนักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์



4.3.4 ผลการทดสอบความรู้และความพึงพอใจของนักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์จำนวน 60 คน ในการใช้ชุดสาธิตการทำงานระบบหัวกรองของยูนิตทันตกรรมสำหรับประกอบการอบรมและบรรยาย

ตัวชี้วัด	เป้าหมายร้อยละ	คะแนนร้อยละของการประเมิน	
		ก่อนอบรม	หลังอบรม
1. ผลการทดสอบความรู้นักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์	60	ร้อยละ 33.33	ร้อยละ 90
2.ผลการประเมินความพึงพอใจนักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์	80	-	ร้อยละ 90

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการดำเนินการจัดทำชุดสาธิตการทำงานระบบหัวกรองของยูนิตทันตกรรมสำหรับประกอบการอบรมและบรรยายโดยการนำวัสดุอุปกรณ์ของยูนิตทันตกรรมที่มีใช้งานอยู่มาประกอบในการจัดทำและนำชุดสาธิตไปใช้งานประกอบการอบรมและบรรยาย โดยให้ทำการทดสอบความรู้ก่อนการอบรมและความพึงพอใจในการใช้ชุดสาธิตการทำงานระบบหัวกรองของยูนิตทันตกรรมสำหรับประกอบการอบรมและบรรยายของนักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์จำนวน 60 คน หลังจากอบรมให้ความรู้พบว่านักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์มีผลรวมคะแนนจากการทดสอบความรู้มากกว่าร้อยละ 90 และมีความพึงพอใจต่อการใช้ชุดสาธิตการทำงานระบบหัวกรอ

ของยูนิตทันตกรรมไปใช้ประกอบการอบรมและบรรยายมกกว่าร้อยละ 90 ส่งเสริมการการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals :SDGs) คือเป้าหมายที่ 17

6. สรุปผลการศึกษา

การจัดทำชุดสาธิตการทำงานระบบหัวกรอของยูนิตทันตกรรมสำหรับประกอบการอบรมและบรรยายโดยการนำวัสดุอุปกรณ์ของยูนิตทันตกรรมที่มีใช้งานอยู่มาประกอบในการจัดทำและนำชุดสาธิตไปใช้งานประกอบการอบรมและบรรยาย ส่งผลให้นักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์ได้สัมผัสมองเห็นภาพของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้งานระบบยูนิตทันตกรรมและสามารถอธิบายหลักการทำงานและการดูแลบำรุงรักษาได้อย่างถูกต้อง ซึ่งผลจาการทดสอบความรู้หลังอบรมพบว่านักศึกษาผู้ช่วยทันตแพทย์มีผลรวมคะแนนจากการทดสอบความรู้มากกว่าร้อยละ 90 ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายการส่งเสริมการการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals :SDGs) คือเป้าหมายที่ 17

เอกสารอ้างอิง

[1] กองแผนงาน มหาวิทยาลัยมหิดล. (2567). แผนยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล ระยะ 20 ปี พ.ศ. 2561 – 2580.

[2] อัญญารัตน์สอนสนาม และคณะ. (2565). การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) รายวิชาวัสดุอุตสาหกรรมและการผลิต.

[3] มงคล จิตรโสภิณ. (2565). การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านร่วมกับการเรียนรู้แบบโครงงานผ่าน Google Classroom รายวิชาการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนรู้.

[4] อาฉ๊ะ บิลทีม, ทักษิณา นพคุณวงศ์และศศิลักษณ์ไชยตัน. (2565).การพัฒนาสื่อการสอนด้วยการ์ตูนแอนิเมชัน 3 มิติเรื่องการคัดแยกขยะ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเซาธ์อีสท์

[5] อัษฎา วรรณกายนต์และคณะ. (2566). การพัฒนาสื่อเพื่อการเรียนรู้และการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเกษตรในการทำหัวเชื้อจุลินทรีย์จากธรรมชาติ. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบน้ำหัวกรอของยูนิตทันตกรรม

ณัฐวิชช์ วงษ์ฮ้อเจริญ[1],ปฐมพงศ์ แสงพันธ์[1],นิติรุจน์ กุลวิไชยศักดิ์[1], และอรพธู กุลวิไชยศักดิ์[2*]

[1]หน่วยซ่อมบำรุง งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม
[2]คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนโยธี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400
* Corresponding author: onpathu.kun@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

หน่วยซ่อมบำรุง งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล มีหน้าที่ดูแล ตรวจเช็ค ซ่อมแซมยูนิตทันตกรรมให้มีความพร้อมใช้งานอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับการให้ผู้ป่วยของโรงพยาบาลทันตกรรม พบปัญหาการใช้งานยูนิตทันตกรรมของแต่ละคลินิกที่ต้องเตรียมน้ำในขวดเพื่อเติมใช้งานในระบบหัวกรอฟันของยูนิตทันตกรรมและหลังเลิกงานต้องถอดขวดน้ำไปล้างทำความสะอาดรวมทั้งในส่วนของการระหว่างการรักษาผู้ป่วยผู้ช่วยทันตแทพย์ต้องคอยสังเกตปริมาณน้ำในขวดให้เพียงพอต่อการใช้งานตลอดเวลาซึ่งหากน้ำในขวดหมดส่งผลกระทบต่อการใช้งานระบบหัวกรอฟันของยูนิตทันตกรรมในการรักษาผู้ป่วยของทันตแพทย์ นั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและปรับปรุงประสิทธิภาพระบบน้ำหัวกรอฟันของยูนิตทันตกรรมให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดขั้นตอนการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าภายในคลินิก รวมทั้งลดการใช้น้ำอย่างคุ้มค่า เนื่องจากระบบเมนน้ำที่ใช้งานภายในยูนิตทันตกรรมเป็นน้ำโอโซนที่สามารถนำมาใช้กับชุดขวดน้ำระบบน้ำหัวกรอฟัน ผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงและออกแบบระบบจ่ายน้ำของยูนิตทันตกรรม โดยทำการเชื่อมต่อเมนน้ำโอโซนเข้ากับระบบน้ำหัวกรอฟันของยูนิตทันตกรรมและทำการติดตั้งชุดวาล์วควบคุมแยกระบบน้ำระบบลมของชุดขวดน้ำระบบหัวกรอฟันจากเดิมที่ใช้งานสำหรับไล่น้ำภายในสายหัวกรอหลังเลิกใช้งาน เพื่อป้องกันปัญหาการอุดตันภายในสายน้ำหัวกรอ หลังปรับปรุงพบว่าสามารถลดเวลาในปฏิบัติงานของเจ้าหน้าภายในคลินิกได้ถึง 240 นาทีต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 57.14 ของการปฏิบัติงานรวมทั้งลดการใช้น้ำเฉลี่ยวันละ 300 มิลลิลิตรต่อยูนิต คิดเป็นร้อยละ 20 ของปริมาณน้ำที่เหลือใช้งานภายในขวดน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของการบริหารจัดการน้ำตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals :SDGs) คือเป้าหมายที่ 6

คำสำคัญ: ยูนิตทันตกรรม / ระบบน้ำหัวกรอ / ระบบน้ำโอโซน

IMPROVEMENT OF THE HANDPIECE WATER SUPPLY SYSTEM IN DENTAL

Nattawit Wonghocharoen[1], Pathompong Saengpun[1], Nittirut Kunvichaisak[1], and Onpathu Kunvichaisak[2*]

[1]Maintenance Unit, Physical and Environmental Division
[2]Faculty of Dentistry, Mahidol University, Yothi Road, Thung Phayathai Subdistrict, Ratchathewi District, Bangkok 10400
** Corresponding author: onpathu.kun@mahidol.ac.th*

Abstract

The Maintenance Unit, Physical and Environmental Affairs, Faculty of Dentistry, Mahidol University, is responsible for taking care of, checking, and repairing dental units to ensure continuous readiness to support patients at the dental hospital. Problems with the dental unit usage in each clinic were found, requiring water in bottles to be refilled for use in the dental unit's dental drill system and removing the bottle after work to clean it. During patient treatment, dental assistants must monitor the amount of water in the bottle to ensure it is sufficient for use at all times. If the bottle runs out, it will affect the dentist's use of the dental unit's dental drill system to treat patients. This research aims to study and improve the efficiency of the dental unit's dental drill water system to be more efficient and reduce the steps required by clinic staff, as well as reduce water usage in a cost-effective manner. Since the main water system used in the dental unit is ozone water that can be used with the dental drill water bottle set, the researcher has improved and designed the dental unit's water supply system by connecting the ozone main water to the dental unit's dental drill water system and installing a separate water and air control valve set for the original dental drill water bottle set used to drain water inside the drill line after use. To prevent the problem of clogging in the water pipe of the drill head, after the improvement, it was found that the working time of the staff in the clinic was reduced by 240 minutes per day, which is 57.14 percent of the work, including reducing the average water usage of 300 milliliters per unit per day, which is 20 percent of the amount of water left in the water bottle, which is in line with the water management goals according to the Sustainable Development Goals (SDGs), which is Goal 6.

Keywords: Dental unit / Handpiece water system / Ozone water system

1. บทนำ

หน่วยซ่อมบำรุง งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล มีหน้าที่ดูแล ตรวจเช็ค ซ่อมแซมยูนิตทันตกรรมให้มีความพร้อมใช้งานอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับการให้ผู้ป่วยของโรงพยาบาลทันตกรรมใช้งานอย่างต่อเนื่องปัจจุบันโรงพยาบาลพยาบาลคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล มียูนิตทันตกรรมรองรับการเรียนการสอนและให้การบริการรักษาผู้ป่วยรวมจำนวน 602 ตัว ยูนิตทันตกรรมเป็นเครื่องมืออำนวยความสะสะดวกให้แก่ทันตแพทย์สำหรับการทำหัตถการรักษาผู้ป่วยในแต่ละวันเจ้าหน้าที่ภายในคลินิกต้องคอยดูแลเตรียมความพร้อมในการใช้งานให้กับทันตแพทย์และนักศึกษาทันตแพทย์ในการลงปฏิบัติงานคอยเติมน้ำในขวดเพื่อสำหรับใช้งานประจำวันหลังเลิกงานต้องคอยถอดเปลี่ยนขวดน้ำล้างทำความสะอาดและในระหว่างการลงปฏิบัติงานรักษาผู้ป่วยนักศึกษาทันตแพทย์ต้องเคยสังเกตปริมาณน้ำในขวดน้ำที่ใช้งานบางครั้งไม่ทันสังเกตน้ำในขวดหมดส่งผลกระทบต้องหยุดทำการรักษาผู้ป่วยและเปลี่ยนขวดน้ำใหม่ จากปัญหาดังกล่าวที่ส่งผลกระทบต่อการปฏิบัติงานทีมช่างยูนิตทันตกรรมพยายามแก้ไขปัญหาการใช้งานยูนิตทันตกรรม โดยนำหลักการระบบลีน (LEAN) คือ การปรับการบริหารจัดการองค์กรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นผ่านการลดกระบวนการทำงานที่ไม่สร้างมูลค่าพร้อมความสามารถในการปรับตัวเพื่อสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement) เพื่อใช้ในการลดขั้นตอนการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ภายในคลินิก รวมทั้งแนวทางการประหยัดการใช้น้ำอย่างคุ้มค่าซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของการบริหารจัดการน้ำตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals :SDGs) คือเป้าหมายที่ 6 และการสร้างเครือข่ายความร่วมมือในการร่วมกันหาแนวทางแก้ไข พัฒนา ปรับปรุง การทำงานอย่างมีประสิทธิภาพในการรองรับการให้บริการผู้ป่วย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาไดอะแกรมระบบการทำงานของยูนิตทันตกรรมที่ใช้งานพบว่าเมนน้ำที่จ่ายเข้ายูนิตทันตกรรมประจำอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา เป็นระบบน้ำโอโซนที่ใช้งานในระบบยูนิตทันตกรรมโดยมีการตรวจวัดคุณภาพน้ำตามมาตรฐานจึงได้ทำการเชื่อมต่อเมนน้ำโอโซนจ่ายเข้าระบบน้ำหัวกรอฟัน และติดตั้งชุดวาล์วควบคุม (2-way valve) เพื่อทำการแยกระบบน้ำระบบลมของชุดขวดน้ำระบบหัวกรอฟันเดิม เพื่อใช้สำหรับไล่น้ำที่ค้างภายในท่อน้ำของสายหัวกรอหลังจากเลิกใช้งานประจำวัน เพื่อป้องกันปัญหาการอุดตันภายในระบบสายน้ำหัวกรอ [1] [2] [3] [4]

2. วัตถุประสงค์

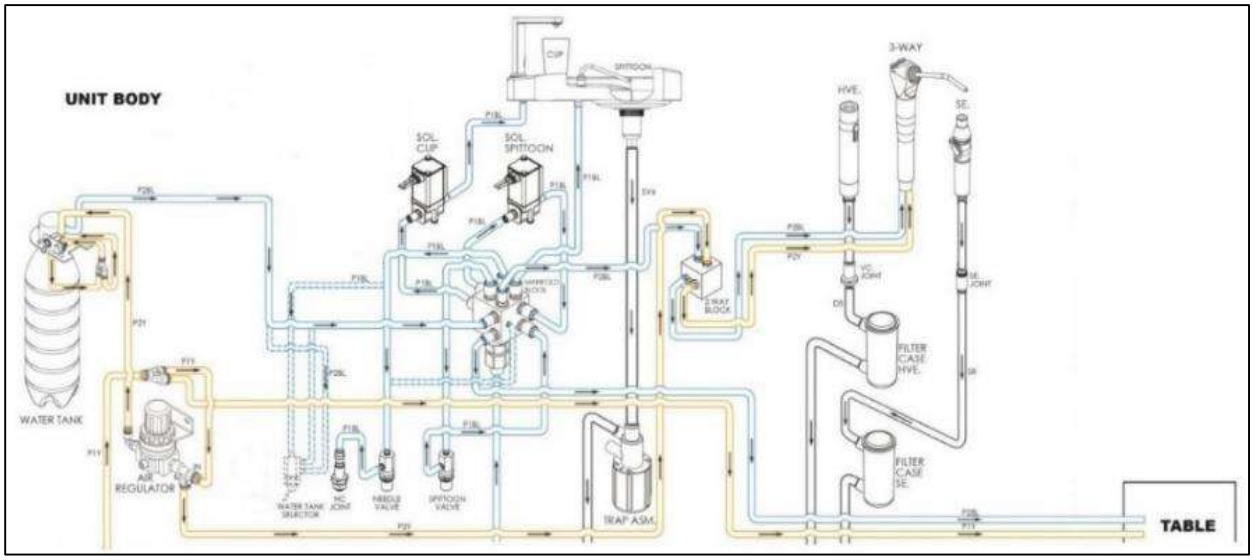
1. เพื่อปรับปรุงระบบน้ำหัวกรอของยูนิตทันตกรรมให้สามารถรองรับการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ
2. เพื่อลดขั้นตอนการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ภายในคลินิก
3. เพื่อลดการใช้น้ำและสอดคล้องนโยบายการจัดการน้ำตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

3. ขอบเขตของการศึกษา

โรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (พญาไท) สถานที่ตั้ง เลขที่6 ถนนโยธี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400

4. วิธีการศึกษา

4.1 ศึกษาไดอะแกรมการทำงานของระบบน้ำหัวกรอฟันของยูนิตทันตกรรม (ก่อนปรับปรุง)

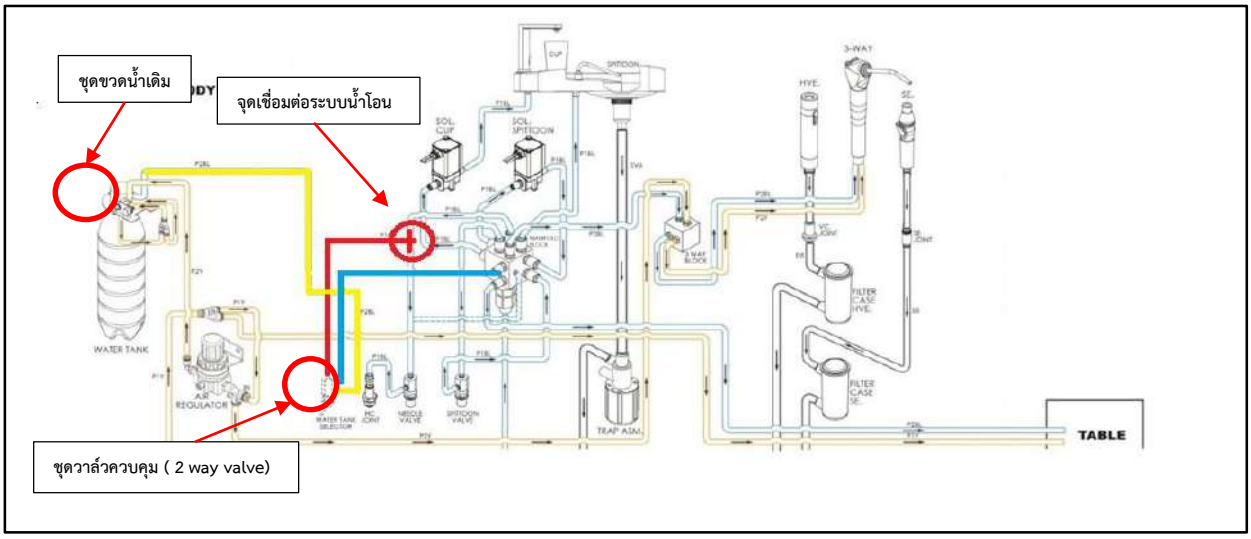


รูปที่ 1 แสดงไดอะแกรมการทำงานระบบน้ำหัวกรอยี่ห้อ Siamdent รุ่น SX3000

4.2 ออกแบบไดอะแกรมการทำงานของระบบน้ำหัวกรอของยูนิตทันตกรรม (หลังปรับปรุง)

4.2.1 ชุดขวดน้ำเดิม (สัญลักษณ์โค้ชสายสีเหลือง) ทำหน้าที่ จ่ายลมสำหรับไล่น้ำที่ค้างภายในสายหัวกรอ

4.2.2 ชุดวาล์วควบคุม (2-WayValve) สัญลักษณ์โค้ชสายสีน้ำเงิน ทำหน้าที่ ควบคุมน้ำหรือลมตามที่ปรับเลือกตำแหน่ง เช่น เลือกระบบน้ำ (โดยทำการบิดก้านโยกไปด้านซ้าย) สำหรับจ่ายน้ำให้ระบบหัวกรอของยูนิตทันตกรรม เลือกระบบลม (โดยทำการบิดก้านโยกไปด้านลม) สำหรับจ่ายลมเพื่อไล่น้ำค้างภายในสายหัวกรอหลังเลิกใช้งาน



รูปที่ 2 แสดงการออกแบบไดอะแกรมจุดเชื่อมต่อระบบน้ำหัวกรอของยูนิตทันตกรรม

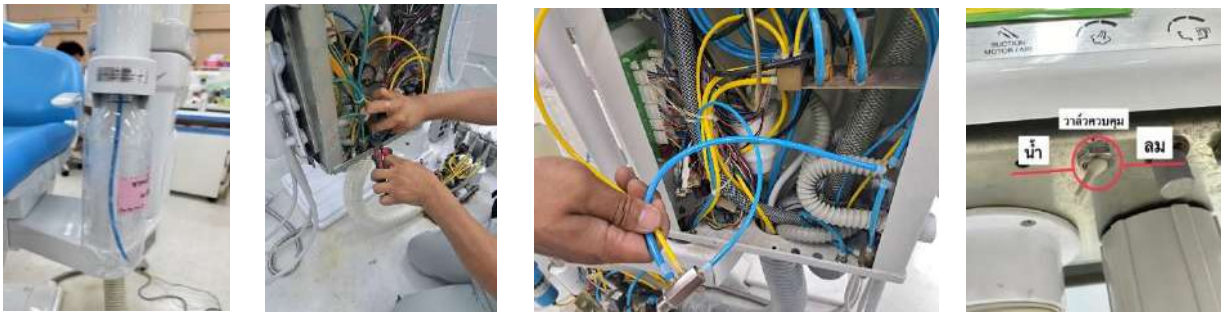
4.3 ขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์สำหรับติดตั้ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 ชุดวาล์วควบคุม (2-way Valve) จำนวน 1 ตัว
4.3.2 ข้อต่อสามทางทองเหลืองขนาด 6 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตัว
4.3.3 ตัวล็อคสายลมขนาด 4 มิลลิเมตร จำนวน 4 ตัว
4.3.4 ตัวล็อคสายลมขนาด 6 มิลลิเมตร จำนวน 3 ตัว

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างอุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่อระบบน้ำหัวกรอของยูนิตทันตกรรม

4.4 ขั้นตอนการประกอบติดตั้ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 ทำการเชื่อมต่อระบบน้ำโอโซนกับเมนจ่ายน้ำเข้ายูนิตทันตกรรม
4.4.2 ติดตั้งวาล์วควบคุม (2-way Valve)
4.4.3 เชื่อมต่อท่อน้ำโอโซน (สีฟ้า) ต่อกับวาล์วควบคุม (2-way valve)
4.4.4 เชื่อมต่อท่อลม (สีเหลือง) ต่อกับวาล์วควบคุม (2-way valve)



รูปที่ 4 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เชื่อมต่อระบบน้ำหัวกรอของยูนิตทันตกรรม

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

หลังจากทำการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบน้ำหัวกรอของยูนิตทันตกรรมพบว่าสามารถลดระยะเวลาในการเตรียมขวดน้ำและล้างทำความสะอาดขวดน้ำประจำวันของเจ้าหน้าที่ภายในคลินิกเฉลี่ยวันละ 240 นาทีต่อวัน และสามารถช่วยแก้ไขปัญหาน้ำในขวดหมดระหว่างการใช้งานยูนิตทันตกรรมที่ส่งผลกระทบให้ต้องหยุดทำการรักษาผู้ป่วย รวมทั้งการช่วยประหยัดน้ำเฉลี่ยวันละ 300 มิลลิลิตรต่อยูนิต ซึ่งปกติในการเตรียมขวดน้ำเจ้าหน้าที่จะทำการเติมน้ำในขวดเพื่อนำใช้งานระบบน้ำหัวกรอฟันต่อวันเฉลี่ยนจำนวน 1,500 มิลลิลิตรต่อยูนิต และหลังเลิกใช้งานพบปริมาณน้ำคงเหลือภายในขวดเฉลี่ยวันละ 300 มิลลิลิตรต่อยูนิต

6. สรุปผลการศึกษา

จากการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบน้ำหัวกรอฟันของยูนิตทันตกรรมให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลดขั้นตอนการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าภายในคลินิกรวมทั้งลดการใช้น้ำอย่างคุ้มค่า เนื่องจากระบบเมนน้ำที่ใช้งานภายในยูนิตทันตกรรมเป็นระบบน้ำโอโซนที่สามารถรองรับการใช้งานกับระบบน้ำหัวกรอฟัน [5] [6] [7] [8] ผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงและออกแบบระบบจ่ายน้ำของยูนิตทันตกรรมโดยทำการเชื่อมต่อเมนน้ำโอโซนเข้ากับระบบน้ำหัวกรอฟันของยูนิตทันตกรรมและทำการติดตั้งชุดวาล์วควบคุมแยกระบบน้ำระบบลมของชุดขวดน้ำระบบหัวกรอฟันเดิมที่ใช้งานไว้สำหรับไล่น้ำภายในสายหัวกรอหลังเลิกใช้งานเพื่อป้องกันปัญหาการอุดตันภายในสายน้ำหัวกรอ หลังปรับปรุงพบว่าสามารถลดระยะเวลาในการเตรียมขวดน้ำและ การล้างทำความสะอาดขวดน้ำประจำวันของเจ้าหน้าที่ภายในคลินิกเฉลี่ยวันละ 240 นาทีต่อวัน และสามารถช่วยแก้ไขปัญหาน้ำในขวดหมดระหว่างการใช้งานที่ส่งผลกระทบต่อการรักษาผู้ป่วย รวมทั้งการช่วยประหยัดน้ำซึ่งมีปริมาณน้ำคงเหลือภายในขวดน้ำหลังเลิกใช้งานเฉลี่ยวันละ 300 มิลลิลิตรต่อยูนิต และสอดคล้องกับเป้าหมายของการบริหารจัดการน้ำตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals :SDGs) คือเป้าหมายที่ 6

เอกสารอ้างอิง

[1] กชกรณ์ ชุมพลวงศ์ และศักดิ์ดา ศิริภัทรโสภณ. (2561) การประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีน .วารสารนวัตกรรมการศึกษาและวิจัย.

[2] วิชัย ก้องเกียรตินคร. (2563). ผลของการประยุกต์ใช้แนวคิดแบบลีนในการปรับปรุงระบบเติมเต็มยาคงคลังของงานเภสัชกรรม โรงพยาบาลศรีนครินทร์

[3] ศศิชา ทองอาไพ และวิมลิน เหล่าศิริถาวร. (2562). การลดเวลาและชิ้นงานระหว่างกระบวนการผลิตในการผลิตชิ้นส่วนตู้รถเข็นโดยใช้เทคนิคการผลิตแบบลีน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[4] กองแผนงาน มหาวิทยาลัยมหิดล. (2567). แผนยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล ระยะ 20 ปี พ.ศ. 2561 – 2580.

[5] ประดิษฐ์ วงศ์มณีรุ่ง.(2552).1-2-3 ก้าวสู่ลีน (Lean in action). กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).

[6] ภัทรนิษฐ์ บุญวัง.(2559).การประยุกต์แนวคิดแบบลีนเพื่อลดความสูญเปล่าในการผลิต:กรณีศึกษา บริษัท ABCจำกัด. งานนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน,คณะโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

[7] Ozone in Laundry: Measurable Economic Benefits, American Laundry News, July 2007.

[8] Federal Technolgy Alert: Ozone Treatment For Cooling Towers, The New Technology Demonstration Program, U.S. Department Of Energy, 1998.

แนวทางการออกแบบเพื่อความยั่งยืนในงานขอนแก่นมาราธอนนานาชาติ: การประยุกต์จากกรณีศึกษาระดับนานาชาติสู่บริบทของจังหวัดขอนแก่น

มนต์ธิดา เลิศนิมานรดี[1*]

[1]คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
* Corresponding author: montile@kku.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการพัฒนาที่ยั่งยืนมีความสำคัญกับด้านต่างๆ ในสังคมทั่วโลก รวมไปถึงงานวิ่งมาราธอนซึ่งไม่เพียงเป็นกิจกรรมส่งเสริมสุขภาพ แต่ยังเป็นเวทีสำคัญในการสื่อสารคุณค่าทางสิ่งแวดล้อม วัฒนธรรม และความร่วมมือของชุมชน งานขอนแก่นมาราธอนนานาชาติ (KKIM) เป็นงานมาราธอนระดับภูมิภาคและยังเป็นสนามวิ่งมาราธอนแห่งแรกในภาคอีสาน ที่มีผู้สมัครเข้าร่วมกิจกรรมวิ่งเป็นจำนวนมากในแต่ละปี จึงมีศักยภาพในการยกระดับกิจกรรมให้สอดคล้องกับแนวคิด Green Event และ Sustainable Development Goals (SDGs) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์แนวทางการออกแบบกิจกรรมและของที่ระลึกในงานวิ่งมาราธอนที่เน้นความยั่งยืนและการมีส่วนร่วมของชุมชน โดยอ้างอิงจากกรณีศึกษางานมาราธอนนานาชาติ 10 แห่ง ทั้งในเอเชีย ยุโรป อเมริกา และออสเตรเลีย ผ่านการวิเคราะห์เนื้อหาเชิงคุณภาพจากเว็บไซต์ทางการ บทความข่าว รายงานกิจกรรม และเอกสารที่เกี่ยวข้อง ผลการศึกษาระบุว่า แนวทางเพื่อความยั่งยืนสามารถจำแนกได้เป็น 4 มิติหลัก ได้แก่ (1) ด้านวัสดุ เน้นการใช้วัสดุรีไซเคิล ย่อยสลายได้และระบบการจัดการขยะอย่างเป็นระบบ (สอดคล้องกับ SDG 12, 13) (2) ด้านการออกแบบใช้ของที่ระลึกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสะท้อนอัตลักษณ์ท้องถิ่นอย่างสร้างสรรค์ (SDG 11) (3) ด้านการตลาดและการสื่อสารเพื่อกำหนดธีมงานที่ส่งเสริมภาพลักษณ์สีเขียวและสื่อสารผ่านช่องทางที่หลากหลาย (SDG 17) (4) ด้านการมีส่วนร่วมของภาคส่วนต่าง ๆ และชุมชน ที่ส่งเสริมบทบาทของชุมชน ภาคธุรกิจ มหาวิทยาลัย และกลุ่มเปราะบางในการร่วมขับเคลื่อนงาน (SDG 3, 10) ข้อเสนอจากการศึกษาได้นำไปสู่แนวทางการประยุกต์ใช้กับงานขอนแก่นมาราธอนนานาชาติ อาทิ การใช้วัสดุท้องถิ่นเหลือใช้ การสร้างเครือข่ายความร่วมมือกับกลุ่มชุมชน และการออกแบบกิจกรรมที่มีส่วนร่วม เพื่อยกระดับเป็นงานวิ่งต้นแบบที่ทั้งยั่งยืน มีอัตลักษณ์ และตอบโจทย์ SDGs อย่างเป็นรูปธรรม

คำสำคัญ: งานมาราธอนขอนแก่น / การออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม / เศรษฐกิจชุมชน / ของที่ระลึกที่ยั่งยืน / เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

Applying Global Best Practices in Sustainable Marathon Design: A Case for the Khon Kaen International Marathon

Montida Lertnimanoradee[1*]

[1] *Faculty of Architecture, Khon Kaen University, Mueang District, Khon Kaen, Thailand.*
** Corresponding author: montile@kku.ac.th*

Abstract

In the present day, sustainable development plays a vital role across various sectors worldwide, including marathon events. Marathons are no longer solely health-promoting activities but have become platforms for communicating values related to the environment, culture, and community collaboration. The Khon Kaen International Marathon (KKIM), a prominent regional event and the first full marathon in Northeastern Thailand, attracts thousands of participants annually. It holds strong potential to align with the concepts of Green Events and the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs). This research aims to synthesize design and operational guidelines for sustainable marathon activities and souvenir products, emphasizing community participation. The study draws on qualitative content analysis of ten international marathon cases across Asia, Europe, the Americas, and Australia. Data sources include official marathon websites, news articles, event reports, and related documents. The findings reveal four key dimensions of sustainable practices (1) Materials: Emphasizing the use of recycled or biodegradable materials and systematic waste management (aligned with SDG 12 and SDG 13), (2) Design: Focusing on environmentally friendly souvenirs that reflect local identity and creativity (aligned with SDG 11), (3) Marketing and Communication: Creating eco-conscious event themes and communicating sustainability efforts through various media channels (aligned with SDG 17), and (4) Multi-stakeholder and Community Engagement: Encouraging involvement from local communities, businesses, universities, and marginalized groups (aligned with SDG 3 and SDG 10). Based on these insights, practical recommendations for KKIM include utilizing locally available or upcycled materials, collaborating with community-based enterprises, and developing participatory activities. These approaches not only enhance the sustainability and cultural relevance of the marathon but also position KKIM as a model for sustainable sports events in the region, with tangible contributions to the SDGs

Keywords: Khon Kaen Marathon / Eco-Friendly Product Design / Community-Based Economy / Sustainable Souvenirs / Sustainable Development Goals (SDGs)

1. บทนำ

ในปัจจุบัน กระแสการออกกำลังกายเพื่อสุขภาพได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การวิ่งมาราธอน ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ได้รับความสนใจทั้งในระดับสมัครเล่นและระดับอาชีพ จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2558 มีการจัดงานวิ่งมาราธอนในประเทศไทยมากกว่า 600 รายการ คิดเป็นมูลค่ารวมกว่าห้าพันล้านบาท และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดในปี 2561 มีรายการวิ่งเพิ่มขึ้นเป็น 990 รายการทั้วประเทศ [1] สำหรับงานขอนแก่นมาราธอนนานาชาตินั้น ในปี 2568 มีจำนวนผู้เข้าวิ่งสูงถึง 16,000 คน ภายใต้แนวคิด "Food ก็ Fun Run ก็ ม่วน" ฉลอง 20 ปี สนามวิ่งมาราธอนรายการแรกในภาคอีสาน [8] แสดงถึงการแข่งขันมาราธอนไม่เพียงแต่เป็นกิจกรรมเพื่อส่งเสริมสุขภาพเท่านั้น แต่ยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างกระแสทางเศรษฐกิจ สังคม และการท่องเที่ยวของแต่ละพื้นที่

หนึ่งในงานวิ่งมาราธอนที่มีความสำคัญในระดับประเทศคือ งานขอนแก่นมาราธอนนานาชาติ (Khon Kaen International Marathon) ซึ่งจัดขึ้นเป็นครั้งแรกเมื่อวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2547 โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อส่งเสริมสุขภาพของประชาชน การแข่งขันกีฬา และการท่องเที่ยวจังหวัดขอนแก่น รวมถึงการยกระดับมาตรฐานการวิ่งของไทยสู่ระดับนานาชาติ จากบทสัมภาษณ์รศ. ดร.กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย กล่าวว่า ในปี พ.ศ. 2561 งานขอนแก่นมาราธอนนานาชาติได้รับมาตรฐานเส้นทางวิ่งจาก สมาคมมาราธอนนานาชาติ (AIMS) และมีการนำเทคโนโลยี RFID มาใช้เพื่อติดตามเวลาการแข่งขันของนักวิ่ง ทั้งยังดึงดูดผู้เข้าร่วมกว่า 50,000 คน ซึ่งเป็นจำนวนสูงสุดตั้งแต่มีการจัดงาน [22] การแข่งขันแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ มาราธอน (42.195 กิโลเมตร) ฮาล์ฟมาราธอน (21.10 กิโลเมตร) มินิมาราธอน (11.55 กิโลเมตร) เดิน-วิ่งเพื่อสุขภาพ (4.5 กิโลเมตร) ผู้ลงสมัครในแต่ละระยะจะได้รับของที่ระลึกจากงาน เช่น เสื้อวิ่งมาราธอน กระเป๋า หมายเลขวิ่ง (Bib Number) และเหรียญรางวัลที่จะได้หลังจากเข้าเส้นชัย

การจัดกิจกรรมวิ่งมาราธอนไม่เพียงแต่เป็นการแข่งขันกีฬา หากยังเป็นโอกาสในการสื่อสารประเด็นสำคัญสู่สังคม หนึ่งในนั้นคือแนวคิดความยั่งยืน (Sustainable Design) ซึ่งรวมถึงการออกแบบ "ของที่ระลึก" หรือของแจกประจำงานวิ่งอย่างน้ำดื่ม เสื้อที่ระลึก เหรียญรางวัล ประกาศนียบัตร และอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในงานให้สอดคล้องกับหลักความยั่งยืนและเป็ยมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การออกแบบที่อย่างยั่งยืนมีความสำคัญเพราะกิจกรรมวิ่งใหญ่ ๆ มักก่อให้เกิดขยะและใช้ทรัพยากรมาก การใช้วัสดุรีไซเคิลหรือย่อยสลายได้ในการผลิตเสื้อหรือเหรียญจึงช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังเป็นการสร้างจิตสำนึกให้ผู้เข้าร่วม ในปีพ.ศ. 2561 งานลอนดอนมาราธอน ประเทศอังกฤษซึ่งเป็นหนึ่งในหกรายการของ Abbott World Marathon Majors รวมถึงโตเกียว, บอสตัน, เบอร์ลิน, ชิคาโก และนิวยอร์กซิตี้ [12] สร้างขยะขวดน้ำพลาสติกถึง 920,000 ใบ ดังนั้นผู้จัดงานจึงริเริ่มลดขยะพลาสติกที่ไม่จำเป็นและมุ่งหมายให้เป็นงานวิ่งที่มิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ในปี 2562 บริษัทสตาร์ตอัพในอังกฤษชื่อ Skipping Rocks Lab ได้เปิดตัวลูกบอลที่มีน้ำอยู่ภายใน เรียกว่า "Ooho" ซึ่งผลิตมาจากเนื้อเยื่อของสาหร่ายที่พัฒนามาเป็นถุงที่มีขนาดเล็กพอดีคำ กินได้ไม่มีรสชาติ โดยสกัดเอาสีเขียวและกลิ่นออกไปและสามารถบรรจุของเหลวได้หลายชนิดทั้งน้ำดื่มและเกลือแร่สำหรับนักกีฬา อีกทั้งยังย่อยสลายได้เองภายใน 6 สัปดาห์ ให้ ทำให้มีความเหมาะกับการบริโภคและเหมาะสำหรับกิจกรรมที่ผู้เข้าร่วมต้องเคลื่อนไหว เช่น นักวิ่งและผู้ชมในงานเทศกาลดนตรี [6] นอกจากการนำแคปซูลหยดน้ำมาใช้แล้วยังมีมาตรการอื่นๆ เพื่อลดขยะพลาสติกอีก เช่น ปรับลดจำนวนสถานีน้ำดื่มจาก 26 เป็น 19 จุด และทดลองใช้เข็มขัดห้อยกระบอกน้ำที่ทำจากพลาสติกรีไซเคิลสำหรับนักวิ่งให้พกน้ำดื่มได้ระหว่างวิ่งโดยลดการทิ้งขวดน้ำที่ยังดื่มไม่หมดระหว่างการวิ่ง [21]

ในด้านเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDG) ข้อที่ 11 สนับสนุนให้มีความเชื่อมโยงทางเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อมในทางบวกของพื้นที่เมือง กึ่งเมือง และชนบท (Sustainable Cities and Communities) โดยเฉพาะเป้าหมายย่อย 11.3 ที่มุ่งเน้นการเพิ่มขีดความสามารถในการวางแผนและบริหารจัดการการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์อย่างมีส่วนร่วมและยั่งยืนภายในปี 2573 [17] นอกจากนี้ การมีส่วนร่วมของชุมชนในกิจกรรมทางวัฒนธรรมยังสอดคล้องกับแนวคิดของ "Culture 21" หรือ "Agenda 21 for Culture" ซึ่งเสนอให้วัฒนธรรมเป็นเสาหลักที่สี่ของการพัฒนาที่ยั่งยืน ควบคู่กับเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม. แนวคิดนี้เน้นย้ำถึงบทบาทของวัฒนธรรมในการส่งเสริมความหลากหลายทางวัฒนธรรม สิทธิมนุษยชน และการพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืนผ่านการมีส่วนร่วมของประชาชน [23]

ดังนั้น การออกแบบของที่ระลึกในบริบทกิจกรรมวิ่งให้คำนึงถึงความยั่งยืนและชุมชนมีบทบาทสำคัญต่อความสำเร็จและภาพลักษณ์ของงานวิ่งในยุคปัจจุบันการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนในกิจกรรมเช่นนี้ไม่เพียงแต่ช่วยสร้างความผูกพันระหว่าง

งานวิ่งกับผู้คนในพื้นที่ แต่ยังเสริมสร้างความภาคภูมิใจในวัฒนธรรมท้องถิ่น และสนับสนุนการพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืนนอกจากนี้ การออกแบบของที่ระลึกให้สะท้อนอัตลักษณ์ท้องถิ่นหรือเรื่องราวของชุมชน ยังช่วยสร้างความผูกพันระหว่างงานวิ่งกับผู้คนในพื้นที่ สนับสนุนการมีส่วนร่วมของชุมชนและภูมิใจในวัฒนธรรมของตนเอง จึงเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับ SDG 11 และแนวคิดของ Culture 21 ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดงานมาราธอนในจังหวัดขอนแก่น เพื่อส่งเสริมความยั่งยืนและความภาคภูมิใจในวัฒนธรรมท้องถิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเชื่อมโยงกับ SDGs หลายประการ ได้แก่ สุขภาพ (SDG 3), การบริโภคและผลิตอย่างรับผิดชอบ (SDG 12), การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (SDG 13) และความร่วมมือเพื่อการพัฒนา (SDG 17)

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์แนวทางปฏิบัติที่ดี (best practices) จากงานวิ่งมาราธอนระดับนานาชาติที่มีการดำเนินงานด้านความยั่งยืนและการมีส่วนร่วมของชุมชนอย่างมีประสิทธิภาพ

2. เพื่อพัฒนาแนวทางหรือข้อเสนอแนะในการออกแบบของที่ระลึกและการจัดงานวิ่งมาราธอนที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในบริบทของจังหวัดขอนแก่น

3. ขอบเขตของการศึกษา

3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การศึกษานี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์แนวทางความยั่งยืน (Sustainability Approach) และการมีส่วนร่วมของชุมชน (Community Engagement) ในการจัดกิจกรรมวิ่งมาราธอน โดยเฉพาะการออกแบบของที่ระลึกที่สะท้อนอัตลักษณ์ท้องถิ่นและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการดำเนินกิจกรรมที่ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของชุมชนในบริบทของงานวิ่งมาราธอน

3.2 ขอบเขตด้านพื้นที่และกรณีศึกษา

การศึกษานี้ครอบคลุมการวิเคราะห์กรณีศึกษางานวิ่งมาราธอนนานาชาติ 10 แห่ง ได้แก่ 1. ลากูน่าภูเก็ตมาราธอน (ประเทศไทย) 2. เกียวโตมาราธอน (ญี่ปุ่น) 3. ฟูจิมาราธอนนานาชาติ (ญี่ปุ่น) 4.โตเกียวมาราธอน (ญี่ปุ่น) 5. ชิคาโกมาราธอน (สหรัฐอเมริกา) 6. บอสตันมาราธอน (สหรัฐอเมริกา) 7.นิวยอร์กมาราธอน (สหรัฐอเมริกา) 8.เบอร์ลินมาราธอน (เยอรมนี) 9. ลอนดอนมาราธอน (สหราชอาณาจักร) 10. ซิดนีย์มาราธอน (ออสเตรเลีย) โดยในจำนวนนี้ รวมถึงหกรายการของ Abbott World Marathon Majors ได้แก่ โตเกียว บอสตัน ลอนดอน เบอร์ลิน ชิคาโก และนิวยอร์ก ซึ่งเป็นงานวิ่งมาราธอนที่มีชื่อเสียงระดับโลกและมีมาตรฐานสูงสุดในด้านการจัดการและการส่งเสริมความยั่งยืน นอกจากนี้ ยังรวมถึงงานวิ่งในเมืองรองที่มีการดำเนินงานด้านความยั่งยืนและการมีส่วนร่วมของชุมชนอย่างโดดเด่น เช่น ลากูน่าภูเก็ตมาราธอน ฟูจิ เกียวโต และสนามใหม่ที่มีความน่าสนใจอย่างซิดนีย์มาราธอน ซึ่งมีการดำเนินโครงการด้านความยั่งยืนและความรับผิดชอบต่อสังคม (CSR) อย่างต่อเนื่อง การเลือกกรณีศึกษาจากหลากหลายทวีปและบริบทที่แตกต่างกันนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้มุมมองที่หลากหลายทั้งจากสนามระดับโลกและสนามในเมืองรอง ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในบริบทของจังหวัดขอนแก่นได้อย่างเหมาะสม โดยเน้นการวิเคราะห์สองประเด็นหลักคือ แนวทางความยั่งยืน (Sustainability Approach) และการมีส่วนร่วมของชุมชน (Community Engagement)

4. วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหาเชิงคุณภาพ (Qualitative Content Analysis) ซึ่งเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีลักษณะหลากหลายและซับซ้อน [7] โดยดำเนินการตามขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน [20] ดังนี้ 1) การรวบรวมข้อมูล ทำการสืบค้นข้อมูลโดยใช้คำสำคัญ เช่น "ความยั่งยืนในงานมาราธอน (Sustainability Approach)" "การมีส่วนร่วมของชุมชนในงานมาราธอน (Community Engagement in Marathon Events)" "งานวิ่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Eco-Friendly Marathon)" และ "งานมาราธอนสีเขียว (Green Marathon)". แหล่งข้อมูลประกอบด้วยเว็บไซต์ทางการของงานวิ่งแต่ละงาน เช่น Tokyo Marathon Foundation, London Marathon Events Boston Athletic Association (BAA) Chicago Marathon, New York Road Runners ตลอดจนข่าวประชาสัมพันธ์ล่าสุด (ปี 2023-2024) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ. ข้อมูลที่รวบรวมประกอบด้วยคำ

ประกาศพันธกิจของผู้จัดงาน รายงานผลการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมและสังคม โครงการหรือกิจกรรมเพื่อความยั่งยืน รวมถึงโครงสร้างหรือโมเดลการมีส่วนร่วมของชุมชน 2. การวิเคราะห์เนื้อหา ข้อมูลที่ได้ถูกประมวลและตีความเพื่อระบุหัวข้อหรือแนวความคิดหลักที่ปรากฏซ้ำ ๆ ในหลายกรณีศึกษา [5] เช่น การใช้วัสดุรีไซเคิลและอัปไซเคิล การลดขยะ การออกแบบของที่ระลึกจากวัตถุดิบยั่งยืน การจัดการขยะในงาน (ด้านสิ่งแวดล้อม) และการสนับสนุนชุมชนท้องถิ่น (ด้านชุมชน) 3. การสังเคราะห์และเปรียบเทียบ เปรียบเทียบแนวปฏิบัติของแต่ละงานวิ่งเพื่อดึงเอาประเด็นที่โดดเด่นและบทเรียนที่เป็นประโยชน์ จากนั้นจัดกลุ่มแนวปฏิบัติตามหัวข้อที่กำหนด ได้แก่ ด้านวัสดุ ด้านการออกแบบ ด้านกลยุทธ์การตลาดและการประชาสัมพันธ์ ด้านชุมชนยั่งยืน 4. การสังเคราะห์และเปรียบเทียบ จากผลการสังเคราะห์นำมาพิจารณาเป็นแนวทางหรือข้อเสนอแนะที่เหมาะสมกับบริบทของงานขอนแก่นมาราธอนนานาชาติ โดยคำนึงถึงทรัพยากรและชุมชนในท้องถิ่น [9]

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาสรุปแนวปฏิบัติเพื่อความยั่งยืนและการมีส่วนร่วมของชุมชนจากกรณีศึกษาทั้ง 10 งานวิ่ง โดยจัดกลุ่มตามหัวข้อสำคัญ ได้แก่ ด้านวัสดุ (Materials), ด้านการออกแบบ (Design), ด้านการตลาด (Marketing) และ ด้านชุมชน (Community Engagement) ดังต่อไปนี้

5.1 ด้านวัสดุ

การลดขยะ ส่งเสริมการใช้ซ้ำและลดของเสีย งานวิ่งสนามใหญ่อย่างบอสตันมาราธอน โตเกียวมาราธอน เบอร์ลินมราธอน และลอนดอนมาราธอน ให้ความสำคัญกับการลดขยะพลาสติก โดยมีแนวทางแยกเก็บขวดน้ำดื่มพลาสติกที่จุดให้น้ำเพื่อนำไปรีไซเคิลกลับเป็นขวดใหม่ (ระบบ Bottle to Bottle) เพื่อลดปริมาณของเสีย โดยทางโตเกียวจะรีไซเคิลแก้วน้ำกระดาษที่จุดบริการน้ำให้นำไปแปรรูปเป็นกระดาษชำระ [19] ส่วนสนามซิดนีย์มาราธอน 2024 ได้ออกแบบขวดน้ำดื่มสำหรับแจกนักวิ่งที่เส้นชัยให้ทำจากพลาสติกรีไซเคิล (rPET) 100% และจัดตั้งถังรีไซเคิล "Return and Earn" ณ จุดฟื้นฟูร่างกายหลังเส้นชัยสำหรับให้นักวิ่งทิ้งขวดคืนโดยทุกๆ 1 ขวดที่รีไซเคิลจะบริจาคเงิน 0.10 ดอลลาร์ออสเตรเลียให้แก่องค์กรการกุศลชุมชนชาวพื้นเมือง (TriMob) ซึ่งในปี 2024 สามารถเก็บขวดได้ถึง 43,869 ขวด คิดเป็นเงินกว่า $4,386 (ประมาณหนึ่งแสนบาท) สนับสนุนชุมชนชนเผ่าพื้นเมืองโดยตรง [18] อีกทั้งเบอร์ลินมาราธอน ได้จัดจุดบริการน้ำแบบ refill station ให้สำหรับนักวิ่งที่นำขวดหรือถุงน้ำส่วนตัวมาเติม เพื่อลดการใช้แก้วครั้งเดียวทิ้ง อีกทั้งยังมีจุดเก็บคืนผ้าห่มกันหนาว (thermal blankets) ที่แจกให้นักวิ่งหลังเข้าเส้นชัยเพื่อนำไปอัดก้อนและส่งกลับโรงงานผลิตเป็นผ้าห่มใหม่ต่อไป [2] ที่งานฟูจิมาราธอนนานาชาติ และโตเกียวมาราธอนได้ยกเลิกการแจกหมุดติดเบอร์วิ่งในชุดอุปกรณ์นักวิ่ง โดยขอความร่วมมือให้นักวิ่งนำหมุดมาเองหรือใช้วิธีอื่นแทน ซึ่งช่วยลดทั้งขยะพลาสติกจากถุงบรรจุหมุดและลดการใช้โลหะอย่างสิ้นเปลือง [13]

อีกกลยุทธ์ด้านวัสดุคือ*การนำกลับมาใช้ใหม่* งานบอสตันฯ โดยสมาคม B.A.A. ได้ทำการรวบรวมขวดพลาสติกที่นักวิ่งใช้ เพื่อนำส่งให้บริษัทรีไซเคิลกลับมาเป็นม้านั่งและโต๊ะปิกนิกสำหรับบริจาคให้โรงเรียนในเขตบอสตันอีกด้วย [3] เช่นเดียวกับชิคาโกมาราธอน ได้รวบรวมผ้าห่มฟอยล์กันหนาว (heat sheets) ที่นักวิ่งใช้หลังเข้าเส้นชัย เพื่อส่งไปแปรรูปเป็นวัสดุไม้สังเคราะห์ (แผ่นกระดานไม้ผสมพลาสติก) นำมาประกอบเป็นม้านั่งและติดตั้งในสวนชุมชนท้องถิ่น ส่วนขยะอินทรีย์จากจุดให้อาหารก็นำไปเข้าโรงปุ๋ยหมักและนำปุ๋ยที่ได้ไปมอบให้สวนชุมชนในฤดูใบไม้ผลิถัดมา รวมถึงเก็บเสื้อผ้าที่นักวิ่งทิ้งตอนออกสตาร์ทบริจาคแก่องค์กร Illinois AmVETS เพื่อช่วยเหลือทหารผ่านศึกและนำน้ำดื่มหรืออาหารที่เหลือหลังงานมอบแก่ธนาคารอาหารของชิคาโก (Chicago Food Depository) [4] จากกรณีศึกษาดังกล่าวถือเป็นการ เปลี่ยนของใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ถาวรในชุมชน ส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียนในงานวิ่ง และชี้ให้เห็นว่าการจัดการขยะหลังจบงานสามารถทำอย่างสร้างสรรค์ให้เกิดประโยชน์ต่อทั้งสิ่งแวดล้อมและสังคม

งานขอนแก่นมาราธอนนานาชาติสามารถประยุกต์ใช้แนวคิดด้านวัสดุที่ยั่งยืนจากกรณีศึกษาระดับโลกได้อย่างเหมาะสมกับบริบทของเมือง โดยอาจเริ่มจากการออกแบบระบบจัดการขยะในวันงาน เช่น การตั้งจุดรับคืนขวดน้ำดื่มสำหรับรีไซเคิล การแจกน้ำผ่านขวด rPET หรือสถานีเติมน้ำเพื่อลดภาชนะใช้ครั้งเดียว และสามารถต่อยอดด้วยการรวบรวมเสื้อผ้า กระเป๋า หรือรองเท้าที่ผู้เข้าร่วมไม่ใช้แล้ว เพื่อนำไปบริจาคให้ชุมชนในจังหวัด เช่น เด็กในพื้นที่ห่างไกล หรือผู้ยากไร้ นอกจากนี้ควรพิจารณาร่วมมือกับกลุ่ม

รีไซเคิลและอัปไซเคิลในท้องถิ่น เช่น โรงงานจัดการขยะ หรือนักออกแบบเพื่อนำของเสียมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชน เป็นงานฝีมือ ซึ่งจะช่วยสนับสนุนเศรษฐกิจหมุนเวียนในพื้นที่ และสามารถจัดกิจกรรมสร้างการมีส่วนร่วม เช่น การเชิญชวนนักวิ่งบริจาคเสื้อหรือของใช้เพื่อแปรรูปต่อหลังงานจบลง ตลอดจนสื่อสารผ่านช่องทางประชาสัมพันธ์ภายใต้แนวคิด "ทุกการวิ่ง สร้างประโยชน์สู่ชุมชน" เพื่อยกระดับภาพลักษณ์งานวิ่งให้สอดคล้องกับ SDGs และสร้างแรงจูงใจให้นักวิ่งกลับมามีส่วนร่วมอย่างต่อเนื่อง

5.2 ด้านการออกแบบ

การออกแบบของที่ระลึกและสัญลักษณ์ของงาน นอกจากตัวงานแล้วการออกแบบสิ่งของเครื่องใช้ในงานก็ถูกใช้สื่อสารข้อความได้ งานวิ่งบางแห่งได้นำวัสดุเหลือใช้มาดัดแปลงเป็นของที่ระลึกที่มีดีไซน์เฉพาะตัวและมีเรื่องราว งานวิ่งหลายแห่งได้พัฒนาการผลิตเหรียญรางวัลหรือของที่ระลึกจากวัสดุที่ยั่งยืน ด้านเหรียญรางวัล สนามแข่งเกียวโตและโตเกียวมาราธอนมีนวัตกรรมโดดเด่นคือการผลิตเหรียญรางวัล (เหรียญทอง) จากขยะอิเล็กทรอนิกส์หรือเศษโลหะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ใช้แล้ว [10] สอดคล้องกับแนวความคิดของสนามลอนดอนซึ่งได้เริ่มดำเนินนโยบายด้านความยั่งยืน ในปี 2025 โดยเหรียญที่ระลึกทั้งหมดผลิตจากโลหะผสมสังกะสีรีไซเคิล (recycled zinc alloy) ซึ่งกระบวนการผลิตแบบหล่อสังกะสี (zinc die-casting) นี้ใช้พลังงานน้อยกว่ากระบวนการหล่อโลหะอื่นๆ เช่น อะลูมิเนียม นอกจากนี้ เหรียญถูกสั่งผลิตในปริมาณมากเพื่อลดการขนส่ง และขนส่งทางเรือเพื่อประหยัดพลังงาน เหรียญและสายคล้องคอที่เหลือจากงานจะถูกรีไซเคิลภายในสหราชอาณาจักร *ด้านของที่ระลึกประเภทเครื่องนุ่งห่ม* ลอนดอนฯ ยังผลิตเสื้อที่ระลึกจากโพลีเอสเตอร์รีไซเคิล 100% และถุงฝากของ (kit bags) ทำจากชีวพลาสติกอ้อย (ซึ่งย่อยสลายได้) [11] เช่นเดียวกันบอสตันฯ โดยสมาคม B.A.A. ร่วมมือกับผู้สนับสนุน (Adidas) ผลิตเสื้อแจ็คเก็ตที่ระลึกสำหรับนักวิ่งจากวัสดุรีไซเคิลมากกว่า 50% เป็นพลาสติกมหาสมุทร และถุงฝากของนักวิ่ง (gear check bag) ผลิตจากโพลีเอสเตอร์รีไซเคิล 100% [3] และสนามโตเกียวฯ ได้เตรียมกระเป๋าที่ทำจากขยะทะเลรีไซเคิลเพื่อใช้งานและสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำในปีถัดไป ทั้งนี้แนวทางดังกล่าวจึงทำให้ลดอัตราการผลิตใหม่ โตเกียวมาราธอนมีการนำธงโตเกียวมาราธอนที่ใช้ประดับงานในแต่ละปี ซึ่งปกติหลังงานมักกลายเป็นขยะ มาตัดเย็บใหม่เป็นกระเป๋าที่ระลึกออกจำหน่าย เพื่อให้นักวิ่งได้ซื้อเก็บไว้ และยังเป็นการสนับสนุนการจ้างงานผู้พิการผ่านการจ้างเย็บกระเป๋าเหล่านี้ [19]

ในการออกแบบของที่ระลึกและสัญลักษณ์ประจำงานขอนแก่นมาราธอนนานาชาติ ควรให้ความสำคัญกับการใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ควบคู่กับการถ่ายทอดอัตลักษณ์ท้องถิ่นของจังหวัดขอนแก่น เช่น การนำผ้าไหม ผ้าฝ้าย หรือวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น เช่น ถุงข้าวสารถุงปุ๋ยจากงานเกษตร เศษกากอ้อยหรือข้าวโพด เศษผ้าไหมจากการตัดเย็บ แบนเนอร์เก่าหรือผ้าเวทีจากงานกิจกรรมต่างๆ มาออกแบบเป็นกระเป๋า สายคล้องเหรียญรางวัล หรือเหรียญรางวัล โดยร่วมมือกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน เช่น กลุ่มแปรรูปกระเป๋าทุ่งเศรษฐี หรือกลุ่มผู้พิการในพื้นที่เพื่อเพิ่มโอกาสการจ้างงาน นอกจากนี้ยังสามารถศึกษาแนวทางจากลอนดอน โตเกียวและบอสตันมาราธอน ซึ่งใช้วัสดุรีไซเคิล เช่น ขยะทะเล ขยะอิเล็กทรอนิกส์ หรือเส้นใยจากพลาสติก มาออกแบบเป็นของระลึก โดยสามารถต่อยอดแนวคิดเหล่านี้ให้เข้ากับบริบทขอนแก่น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สื่อสารได้ทั้งคุณค่าทางวัฒนธรรม ความยั่งยืน และนวัตกรรมด้านการออกแบบที่มีความหมายต่อผู้เข้าร่วมงานและชุมชนท้องถิ่น

5.3 ด้านการตลาดและการสื่อสาร

การสร้างแบรนด์และภาพลักษณ์ด้านความยั่งยืน งานวิ่งมาราธอนระดับโลกในปัจจุบันนิยมประชาสัมพันธ์จุดแข็งด้านความยั่งยืนอย่างชัดเจนเพื่อดึงดูดผู้สนับสนุนและผู้เข้าร่วมที่ใส่ใจสิ่งแวดล้อม ซึ่งสนามชิคาโก สร้างความน่าเชื่อถือด้วยการเข้าร่วมการรับรองจาก Council for Responsible Sport อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2010 จนได้รับระดับสูงสุด Evergreen Level ในปี 2016 และต่อมาได้รับสถานะ Evergreen Inspire ในปี 2018 ซึ่งมอบให้แก่งานที่ผ่านการรับรองความยั่งยืนหลายครั้งและเป็นผู้นำสร้างแรงบันดาลใจด้านนี้ ชิคาโกโปรโมทความสำเร็จนี้ผ่านช่องทางสื่อต่าง ๆ ทำให้นักวิ่งและผู้สนับสนุนรับรู้ว่าการเข้าร่วมงานนี้คือการเป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมที่รับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมอย่างจริงจัง [4] ในทำนองเดียวกัน New York Road Runners ซึ่งจัดงานนิวยอร์กมาราธอน ได้ประกาศเป้าหมาย Net Zero 2040 และในปี 2024 ได้เป็นองค์กรวิ่งแรกของโลกที่ได้รับการรับรองมาตรฐานความยั่งยืนระดับ Gold จาก Council for Responsible Sport จากความพยายามในการตั้งเป้าลดก๊าซเรือนกระจกตลอดจนโครงการสร้างความเสมอภาคเพื่อชุมชนด้อยโอกาส [14]

นอกจากการสร้างแบรนด์หลายๆ งานได้นำเสนอ การกำหนดแนวคิดหลักหรือธีมของงาน ที่สื่อถึงความยั่งยืนสามารถสร้างการรับรู้และแรงบันดาลใจ ตั้งแต่ปี 2012 จนถึงปัจจุบัน สนามเกียวโตฯ ได้วางแนวความคิดงานวิ่งว่า *"Do You KYOTO? Marathon"* เพื่อสื่อความหมายว่า "คุณได้ทำอะไรเพื่อสิ่งแวดล้อมหรือยัง?" ทำให้งานนี้ถูกยกเป็นกิจกรรมต้นแบบของเมืองสีเขียว งานเกียวโตมาราธอนผ่านการรับรองเป็น Eco Event โดยเทศบาลเมือง เนื่องจากดำเนินมาตรการครบตามเกณฑ์สีเขียว 5 ข้อของเมือง [10] ในปี 2024 นิวยอร์กมาราธอน มีแนวความคิดว่า *"Team for Climate"* เพื่อสนับสนุนการลดการปล่อยคาร์บอนและส่งเสริมการมีส่วนร่วมของนักวิ่งในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม [14] เบอร์ลินมาราธอนได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO 20121 ในปี 2024 สำหรับการจัดงานที่ยั่งยืน ครอบคลุมด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม เช่น ส่งเสริมให้ผู้เข้าร่วมเดินทางด้วยรถสาธารณะ โครงการรีไซเคิล และนำเสนอด้านความยังยืนผ่านช่องทางออนไลน์ [2] เช่นเดียวกันกับ ลอนดอนมาราธอนที่ส่งเสริมการจัดงานภายใต้แนวคิดการลดขยะและการปล่อยคาร์บอน ในปี2023 และได้รับการรับรองระดับ Gold จาก Council for Responsible Sport และใช้แอปพลิเคชัน ReScore ในการวัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของงานวิ่ง [11] ในส่วนของประเทศไทยในปี 2024 ลากูน่าภูเก็ตมาราธอนจัดงานวิ่งภายใต้แนวคิด *"Awake Your Inner Dragon"* เพื่อส่งเสริมการออกกำลังกายและการใช้ชีวิตที่มีสุขภาพดี โดยเชื่อมโยงงานวิ่งกับท้องถิ่นและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมผ่านกิจกรรมต่างๆ [15] ทั้งนี้รวมไปถึง การออกแบบเส้นทางและโครงสร้างงาน หลายงานออกแบบให้ผู้เข้าร่วมเดินทางสะดวกด้วยระบบขนส่งมวลชนฟรี เช่น เบอร์ลินฯ ผู้ถือบิบ (Bib) หมายเลขวิ่งสามารถขึ้นระบบขนส่งสาธารณะในกรุงเบอร์ลินได้ฟรีในช่วงวันงาน เพื่อส่งเสริม Green Mobility, สนามซิดนีย์ฯ จัดบริการให้ผู้เข้าร่วมและอาสาสมัครขึ้นรถไฟฟ้าและรถสาธารณะฟรี และเพิ่มจำนวน รถนำขบวนไฟฟ้า (electric lead vehicles) เป็นสองเท่าในปี 2024 แทนรถน้ำมัน รวมถึงส่งเสริมให้ผู้ชมใช้จักรยานไฟฟ้า (Lime e-bikes) เดินทางมายังเส้นทาง โดยจัดจุดจอดจักรยานไฟฟ้าไว้ตามที่ต่าง ๆ [18] และสนามชิคาโกฯ ออกแบบเส้นทางวิ่งเป็นวงจรปิด (closed-loop course) ในตัวเมือง ช่วยลดระยะทางที่นักวิ่งและผู้ชมต้องเดินทางไปจุดปล่อยตัวและเส้นชัย เน้นการเข้าถึงโดยรถสาธารณะง่ายขึ้นเพื่อลดการใช้รถส่วนตัว [4]

งานขอนแก่นมาราธอนควรพิจารณากำหนดพันธกิจด้านความยั่งยืนให้ชัดเจน และสื่อสารสิ่งที่ดำเนินการผ่านสื่อประชาสัมพันธ์และโซเชียลมีเดียของงานไม่ว่าจะเป็นด้านสิ่งแวดล้อม การสร้างสุขภาพที่ดี หรืองานวิ่งที่มีส่วนร่วมกับชุมชนอย่างยั่งยืน เพื่อสร้างการรับรู้และคุณค่าของแบรนด์งานวิ่งแก่ผู้คนภายนอกและนำมาปรับใช้เป็นธีมประจำปีเพื่อสร้างการรับรู้ในเชิงกลยุทธ์ ขอนแก่นสามารถประชาสัมพันธ์กิจกรรมและมาตรการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้วัสดุรีไซเคิลและอัปไซเคิลในการผลิตของที่ระลึก การออกแบบเส้นทางวิ่งที่ลดการใช้รถยนต์ และการใช้ระบบขนส่งมวลชนหรือจักรยานไฟฟ้าในวันงาน ซึ่งควรมีการสื่อสารอย่างต่อเนื่องผ่านสื่อสังคมออนไลน์ เว็บไซต์ และสื่อท้องถิ่น นอกจากนี้ ควรพิจารณาเข้าร่วมโครงการรับรองความยั่งยืนระดับสากล เช่น Council for Responsible Sport หรือกำหนดเป้าหมาย Net Zero เพื่อสร้างความเชื่อมั่นจากผู้สนับสนุนและนักวิ่งทั้งไทยและต่างชาติ ตลอดจนส่งเสริมให้ผู้เข้าร่วมรู้สึกว่าเป็นส่วนหนึ่งของความเปลี่ยนแปลงที่ดี สะท้อนแนวคิด "วิ่งเพื่อเมือง วิ่งเพื่อโลก" อันเหมาะสมกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (SDGs)

5.4 ด้านการมีส่วนร่วมของภาคส่วนต่างๆ และชุมชน

การมีส่วนร่วมของผู้สนับสนุนในด้านความยั่งยืน ผู้จัดงานหลายแห่งผสานความร่วมมือกับผู้สนับสนุนหรือภาคธุรกิจเพื่อขับเคลื่อนความยั่งยืน ความร่วมมือกับแบรน์สินค้ากีฬาต่างๆ ในการผลิตรองเท้าและชุดกีฬา อาทิ ความร่วมมือระหว่างลอนดอนมาราธอนและแบรนด์ New Balance, บอสตันมาราธอนร่วมมือกับแบรนด์ Adidas การผนึกกำลังกับภาคเอกชนและการนำเทคโนโลยีมาช่วยในงานวิ่ง เช่น ลอนดอนฯร่วมกับบริษัท Tata Consultancy Services (TCS) ในการพัฒนาแอป ReScore เพื่อเก็บข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมของงานและหาแนวทางปรับปรุง เช่น ข้อมูลจาก ReScore ชี้ให้เห็นว่าส่วนใหญ่การปล่อยคาร์บอนมาจากการเดินทางของผู้เข้าร่วม ทำให้ปี 2023 ผู้จัดเพิ่มสัดส่วนการใช้รถไฟฟ้าในงานเป็น 57% เพื่อขนส่ง [11] ในทำนองเดียวกัน Sydney Marathon ซึ่งมี TCS เป็นผู้สนับสนุนหลัก ก็ได้เปิดตัวโครงการ goIT Marathon Challenge เชิญชวนนักเรียนเสนอไอเดียด้านนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืนของงานวิ่ง โดย TCS จะนำแนวคิดไปใช้พัฒนาการจัดงานต่อไป การดึงชุมชนนักเรียนและเยาวชนมาร่วมกิจกรรมนี้เป็นทั้ง CSR และการตลาดที่สร้างภาพลักษณ์ด้านนวัตกรรมและความรับผิดชอบของงานซิดนีย์มาราธอน [18] ทั้งนี้ ขอนแก่นมาราธอนสามารถจัดกิจกรรมประกวดแนวคิดหรือนวัตกรรมสีเขียวสำหรับงานวิ่งร่วมกับมหาวิทยาลัยหรือองค์กร

ท้องถิ่น แม้กระทั่งนักวิ่งที่เคยมาร่วมแข่งในสนามนี้ เพื่อให้เกิดการมีส่วนร่วมและได้แนวคิดสดใหม่และตรงกับความต้องการมาพัฒนางานไปพร้อมกันกับองค์กร

ซึ่งสอดคล้องกับกลยุทธ์ต่อมาคือ การสร้างความรู้สึกเป็นชุมชนที่มีเป้าหมายร่วมกัน ในกรณีของเบอร์ลินฯ ส่งเสริมให้นักวิ่งวิ่งเพื่อองค์กรการกุศลหลากหลายตามความสนใจ ทั้งด้านสิ่งแวดล้อม เด็กยากไร้ ผู้ป่วยโรคมะเร็ง เรื่องน้ำสะอาด สวัสดิภาพสัตว์ ฯลฯ ผู้ที่สมัครวิ่งกับองค์กรการกุศลที่เป็นพันธมิตรจะได้รับสิทธิบัตรการันตีการเข้าแข่งขัน พร้อมทั้งได้เข้าร่วมในกลุ่ม Charity Runners ในทุกปีสนามเบอร์ลินฯ มีเงินบริจาคจากโครงการการกุศลรวมหลายล้านยูโรเพื่อสนับสนุนกิจกรรมเหล่านี้ นอกจากนี้เบอร์ลินยังทำงานร่วมกับ Berliner Stadtmission (มูลนิธิช่วยเหลือคนไร้บ้านในเบอร์ลิน) เก็บรวบรวมรองเท้าวิ่งและเสื้อผ้าสภาพดีจากนักวิ่งบริจาคให้คนขัดสน และเก็บอาหารที่เหลือให้ Berliner Tafel (ธนาคารอาหารของเมือง) แสดงถึงการเชื่อมโยงงานวิ่งกับองค์กรชุมชนท้องถิ่นโดยตรง [2] ในทำนองเดียวกับสนามนิวยอร์กฯ ที่มีระบบให้นักวิ่งเลือกวิ่งการกุศล (ผ่าน NYRR หรือผ่านมูลนิธิต่าง ๆ) นอกจากนี้ NYRR ยังมีโครงการ Team for Kids ซึ่งระดมทุนนักวิ่งเพื่อสนับสนุนโปรแกรมวิ่งในโรงเรียนสำหรับเยาวชนในนิวยอร์ก และในปี 2024 ได้เปิดตัว NYRR Team for Climate ในงาน NYC Marathon โดยมีนักวิ่ง 250 คน ร่วมวิ่งทุนราว $800,000 เพื่อซื้อคาร์บอนเครดิตสนับสนุนโครงการปลูกป่า (carbon offset) เพื่อลดโลกร้อน [16]

ในด้านต่อมา การสนับสนุนชุมชนท้องถิ่นและเศรษฐกิจท้องถิ่น งานวิ่งมาราธอนมักมีผู้เข้าร่วมนับหมื่น ซึ่งส่งผลเศรษฐกิจอย่างมากต่อเมืองนั้นๆ สำหรับประเทศไทยสนามลากูน่าภูเก็ตมาราธอนสามารถกระตุ้นเศรษฐกิจการท่องเที่ยวภูเก็ตหลายร้อยล้านบาทผ่านการจองที่พัก การกินใช้ของนักท่องเที่ยว และทางผู้จัดให้ความสำคัญกับการแบ่งปันประโยชน์ให้ชุมชนท้องถิ่นทุกปี เช่น การเชิญชุมชนมาขายสินค้าหรืออาหารพื้นเมืองในงาน และที่สำคัญคือการเชิญชวนผู้เข้าร่วมบริจาคสนับสนุนกองทุนเพื่อเด็ก (Children First Fund, CFF) ของมูลนิธิลากูน่าภูเก็ต ซึ่งช่วยเหลือเด็กกำพร้าและด้อยโอกาสกว่า 400 คนในจังหวัดภูเก็ต ขณะเดียวกัน ตัวเส้นทางวิ่งเองของลากูน่าภูเก็ตมาราธอนก็ออกแบบให้ผ่านหมู่บ้านและพื้นที่ชุมชน เปิดโอกาสให้ชาวบ้านสองข้างทางได้มีส่วนร่วมเชียร์และค้าขาย สร้างบรรยากาศอบอุ่นภายใต้แนวความคิด "วิ่งเที่ยววิถีไทย" ที่นักวิ่งต่างชาติประทับใจ [15] ในกรณีของชิคาโกมาราธอนได้ร่วมมือกับเทศบาล จัดโปรแกรม Local Business Program ชวนธุรกิจรายย่อยท้องถิ่นกว่า 50 แห่งเข้ามามีส่วนร่วม โดยตั้งบูธในงาน Expo หรือออกโปรโมชั่นดึงนักวิ่งและผู้ชมไปอุดหนุนร้านค้าเหล่านั้นช่วงสัปดาห์งานวิ่ง ซึ่งช่วยกระตุ้นเศรษฐกิจฐานรากและสร้างความภาคภูมิใจให้ธุรกิจชุมชนที่ได้เป็นส่วนหนึ่งของงานใหญ่ [4] ทางสนามซิดนีย์ฯ มีกลุ่มนัดวิ่งตามชุมชนต่างๆ รวมตัวนักวิ่งซ้อมและเตรียมตัวตลอดปี รวมถึงกิจกรรมวิ่งเก็บขยะหลังจบงานเพื่อทำความสะอาดเมือง โดยได้รับความร่วมมืออย่างดีจากชาวซิดนีย์กิจกรรมเหล่านี้ล้วนช่วยหลอมรวมผู้คนในชุมชนเข้ากับงานวิ่งอย่างแนบแน่น เกิดเป็นเครือข่ายคนรักสุขภาพและชาวเมืองซึ่งเกิดผลลัพธ์ที่ทำประโยชน์ต่อเมืองของตนเอง [18] ในส่วนของงานโตเกียวมาราธอนของประเทศญี่ปุ่นได้ดำเนินโครงการที่มีเป้าหมายในการส่งเสริมความยั่งยืนและการมีส่วนร่วมของชุมชน โดยเฉพาะการสร้างรายได้ให้กับผู้พิการผ่านการผลิตของที่ระลึกจากวัสดุอัปไซเคิล การตัดเย็บกระเป๋าเหล่านี้ดำเนินการโดยผู้พิการจากองค์กรที่สนับสนุนการจ้างงานและการใช้ชีวิตอย่างอิสระของผู้พิการ เช่น NPO Support of Employment, Living and Participation (SELP) และ Leda Craft ซึ่งเป็นการสร้างโอกาสในการมีรายได้และความภาคภูมิใจในงานฝีมือของตนเอง และรายได้ส่วนหนึ่งจากการจำหน่ายกระเป๋าเหล่านี้ถูกบริจาคให้กับ Tokyo Goodwill Bank (Tokyo Council of Social Welfare) เพื่อสนับสนุนกิจกรรมสังคมและการพัฒนาชุมชน [19]

การจัดงานขอนแก่นมาราธอนนานาชาติสามารถนำแนวทางเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ได้ โดยการร่วมมือกับภาคธุรกิจท้องถิ่นและสถาบันการศึกษาในการพัฒนาเทคโนโลยีหรือโครงการที่ส่งเสริมความยั่งยืน เช่น การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับวัดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของงานวิ่ง หรือการจัดประกวดแนวคิดนวัตกรรมสีเขียวสำหรับงานวิ่งร่วมกับมหาวิทยาลัย นอกจากนี้ การเชิญชวนชุมชนมาขายสินค้าหรืออาหารพื้นเมืองในงาน และการจัดโปรแกรมสนับสนุนธุรกิจรายย่อยท้องถิ่น จะช่วยกระตุ้นเศรษฐกิจฐานรากและสร้างความภาคภูมิใจให้ธุรกิจชุมชนที่ได้เป็นส่วนหนึ่งของงานใหญ่ สุดท้าย การส่งเสริมให้นักวิ่งวิ่งเพื่อองค์กรการกุศลหรือโครงการเพื่อสังคมในพื้นที่ เช่น การระดมทุนเพื่อสนับสนุนการศึกษา สุขภาพ หรือสิ่งแวดล้อม จะช่วยสร้างความผูกพันระหว่างงานวิ่งกับผู้คนในพื้นที่ และเสริมสร้างความภาคภูมิใจในวัฒนธรรมท้องถิ่น

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษากรณีงานวิ่งมาราธอนระดับนานาชาติ 10 แห่ง พบว่าแนวทางสู่ความยั่งยืนในการจัดกิจกรรมมาราธอนสามารถถ่ายทอดผ่าน 4 มิติหลัก ได้แก่ (1) ด้านวัสดุ ซึ่งมุ่งเน้นการใช้วัสดุรีไซเคิลหรือย่อยสลายได้ การลดการใช้ทรัพยากร และการส่งเสริมเศรษฐกิจหมุนเวียน สอดคล้องกับ SDG 12 (การบริโภคและการผลิตอย่างรับผิดชอบ) และ SDG 13 (การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ) (2) ด้านการออกแบบ ที่ให้ความสำคัญกับของที่ระลึกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถถ่ายทอดอัตลักษณ์ท้องถิ่นได้อย่างสร้างสรรค์ เชื่อมโยงกับ SDG 11 (เมืองและชุมชนที่ยั่งยืน โดยเฉพาะข้อย่อยที่ 11.3 ว่าด้วยการมีส่วนร่วมในการพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน และ 11.4 ซึ่งระบุถึงการส่งเสริมการอนุรักษ์มรดกทางวัฒนธรรม) (3) ด้านการตลาดและการสื่อสาร ที่เน้นการสร้างภาพลักษณ์ของงานวิ่งให้เป็นกิจกรรมที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชน ผ่านธีมงาน กลยุทธ์ด้านสื่อ และการขอการรับรองจากองค์กรด้านความยั่งยืน ซึ่งสอดคล้องกับ SDG 17 (ความร่วมมือเพื่อการพัฒนา) และ (4) ด้านการมีส่วนร่วมของภาคส่วนต่าง ๆ และชุมชน ที่สะท้อนบทบาทของภาคีในระดับท้องถิ่น ทั้งภาคธุรกิจ มหาวิทยาลัย กลุ่มผู้พิการ หรือชุมชน ในการร่วมออกแบบ ผลิต และขับเคลื่อนกิจกรรมร่วมกัน สนับสนุนทั้ง SDG 3 (สุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี) และ SDG 10 (ลดความเหลื่อมล้ำ)

ทั้งนี้ การวิเคราะห์ทั้ง 4 มิติดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มใหม่ของการจัดกิจกรรมมาราธอนในฐานะเครื่องมือส่งเสริมการพัฒนาอย่างยั่งยืน ทั้งในเชิงสุขภาพ สังคม วัฒนธรรม และสิ่งแวดล้อม สำหรับบริบทของจังหวัดขอนแก่น แนวปฏิบัติที่ดีจากงานวิ่งระดับโลกเหล่านี้สามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างเป็นรูปธรรม เช่น การออกแบบของที่ระลึกจากวัสดุท้องถิ่นหรือเหลือใช้ การกำหนดแนวความคิดในการจัดงานที่สะท้อนวัฒนธรรมอีสาน การจัดระบบจัดการขยะที่มีประสิทธิภาพ และการสร้างเครือข่ายความร่วมมือกับภาคีในพื้นที่ แนวทางดังกล่าวสามารถยกระดับงานขอนแก่นมาราธอนให้เป็นต้นแบบของกิจกรรมกีฬาที่ยั่งยืนในระดับภูมิภาค พร้อมทั้งสนับสนุนการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ได้อย่างครอบคลุมและต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

[1] BLT Bangkok. (2561). *BLT Bangkok.* คนไทยแห่วิ่ง 15 ล้านคนดันงานวิ่งพุ่งนับพัน - เงินสะพัด 5พันล้านบาท 20 กุมภาพันธ์ 2568. file:///C:/Users/ADMIN/Downloads/addd5f03-d6f3-43a5-8ed6-c0a50b5e31ed.pdf

[2] BMW Berlin Marathon. (2568). *BMW Berlin Marathon*. 15 เมษายน 2568, https://www.bmw-berlin-marathon.com/en/sustainability/sustainability-at-the-bm#:~:text=Refreshment%20points

[3] Boston Athletic Association. (2568). *Boston Athletic Association*. 15 เมษายน 2568, https://www.baa.org/about/sustainability#:~:text=Partnering%20with%20adidas%20and%20the,tables%20for%20Boston%20Public%20Schools

[4] Chicago Marathon Offcial. (2568). *Chicago Marathon*. 10 เมษายน 2568, https://www.chicagomarathon.com/get-involved/sustainability/#:~:text=,installation%20in%20local%20community%20gardens

[5] Columbia University Mailman School of Public Health. (2568). *Columbia University Mailman School of Public Health*. 19 เมษายน 2568, https://www.publichealth.columbia.edu/research/population-health-methods/content-analysis?utm_source=chatgpt.com

[6] Honsinger, L. (2568). *Race Directors HG*. 18 กุมภาพันธ์ 2568, https://www.racedirectorshq.com/listen/ooho-287/

[7] Hsieh, H. F., & Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. Qualitative Health Research, 1277–1288.บ

[8] Khon Kaen International Marathon Official Website. (2568). *Khon Kaen Marathon*. 15 กุมภาพันธ์ 2568, https://www.khonkaen marathon.com/4519/

[9] Krippendorff, K. (2561). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology.* SAGE Publications.

[10] Kyoto Marathon Official. (2568). *Kyoto Marathon Official*. 15 เมษายน 2568, https://kyoto-marathon.com/en/info/concept/#:~:text=,44

[11] London Marathon Events. (2568). *London Marathon Events*. 30 มีนาคม 2568, https://www.londonmarathonevents.co.uk/london-marathon

[12] Lucas-Hill, J. (2568). *Run247*. 16 เมษายน 2568, https://run247.com/running-news/marathon-news/london-marathon-history-course-records?utm_source=chatgpt.com

[13] Mt Fuji Marathon Official. (2568). *Mt Fuji Marathon*. 16 เมษายน 2568, https://mtfujimarathon.com/environment/#:~:text=, and%20help%20us%20collect%20them

[14] New York Road Runners official. (2568). *New York Road Runners*. 2 เมษยน 2568, https://www.nyrr.org/run/photos-and-stories/2024/team-for-climate?utm_source=chatgpt.com

[15] Phuket Marathon Official. (2568). *Phuketmarathon*. 16 เมษายน 2568, https://phuketmarathon.com/?utm_source=chatgpt.com

[16] Running USA Official. (2568). *Running USA*. 5 มีนาคม 2568, https://www.runningusa.org/industry-news/new-york-road-runners-announces-record-breaking-demand-for-2025-tcs-new-york-city-marathon-drawing-with-more-than-200000 applications/#:~:text=New%20York%20Road%20Runners%20Announces,raising%20nearly%20%24800%2C000

[17] SDG Move. (2568). *SDG Move*. 19 เมษายน 2568, https://www.sdgmove.com/2016/10/07/goal-11-sustainable-cities-and-communities/

[18] TCS Sydney Marathon Official. (2568). *TCS Sydney Marathon*. 2 เมษายน 2568, https://www.tcssydneymarathon.com /sustainability#:~:text=Charitable%20Contributions

[19] Tokyo Marathon Official. (2568). *Tokyo Marathon*. 16 เมษายน 2568, https://www.marathon.tokyo/en/about/ sustainability/#:~:text=station,sda.or.jp

[20] Yan Zhang, B. M. (2548). Qualitative Analysis of Content. *Human Brain Mapping*.

[21] ทีมข่าวสิ่งแวดล้อม. (2562). *Greennews*. 30 เมษายน 2568 https://greennews.agency/?p=18935

[22] เพียรศักดิ์, ภ. (2558). *skyscrapercity*. 5 เมษายน 2568, https://www.skyscrapercity.com/threads/khon-kaen-skyline-of-the-northeast.202698/page-450

[23] สำนักงานบริการวิชาการ, ม. (2567). 29 มีนาคม 2568, *SUAS*. Retrieved from SUAS Website: https://suas.su.ac.th/?p=2845

การออกแบบและพัฒนาระบบสำรองด้วยกูเกิลไซต์ สำหรับใช้จัดการประชุมวิชาการในสภาวะโครงสร้างพื้นฐานด้านไอทีมีปัญหา กรณีศึกษา: งานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4

ธวัชชัย ก้านศรีรัตน์*, ฤทธิรงค์ พันธ์ดี, และพรชนก นุชนารถ

กลุ่มวิชาการและหลักสูตร โครงการจัดตั้งวิทยาเขตนครสวรรค์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลเขาทอง อำเภอพยุหะคีรี จังหวัดนครสวรรค์
* Corresponding author: thawatchai.kan@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบสำรองด้วยกูเกิลไซต์(Google Sites) สำหรับจัดการประชุมวิชาการในสภาวะที่โครงสร้างพื้นฐานด้านไอทีมีปัญหา ในสภาวะที่ระบบเครือข่ายอาจมีความไม่เสถียรได้ตลอดเวลา การพัฒนานี้ใช้นำร่องในงานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 4 ณ โครงการจัดตั้งวิทยาเขตนครสวรรค์ มหาวิทยาลัยมหิดล ใช้วิธีการศึกษาเชิงปฏิบัติการร่วมกับการออกแบบระบบ เพื่อสร้างแพลตฟอร์มสำรองบนกูเกิลไซต์ โดยผสานเครื่องมือใน Google Workspace เช่น Google Drive, Sheet กับ google script และ Forms เพื่ออำนวยความสะดวกในการจัดเก็บเอกสาร การลงทะเบียน และการเผยแพร่ข้อมูล ผลการศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างแบบสุ่มตามความสะดวก จำนวน 85 คน พบว่า เว็บไซต์สำรองที่พัฒนาขึ้น มีขนาดตัวอักษรและรูปแบบตัวอักษรที่อ่านได้ง่าย ผลความพึงพอใจโดยรวมที่มีต่อเว็บไซต์อยู่ในระดับมากที่สุด การนำข้อมูลบนเว็บไซต์ไปใช้ประโยชน์และความเหมาะสมของข้อมูลภายในเว็บไซต์ อยู่ในระดับมาก จุดเด่นคือ หากระบบโครงสร้างพื้นฐานด้านไอทีมีปัญหาสามารถเข้าถึงผ่านอินเตอร์เน็ตบนโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์พกพาได้ทันที ทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการปรับใช้กับสถานการณ์วิกฤตต่าง ๆ ตลอดจนประหยัดต้นทุนเพราะการพัฒนาเว็บไซต์และที่เกี่ยวข้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขฟรี จากที่กล่าวมา แสดงให้เห็นว่ากูเกิลไซต์เป็นแพลตฟอร์มที่เหมาะสม สำหรับการออกแบบระบบสำรองจัดการประชุมวิชาการทั้งในภาวะปกติและวิกฤต นอกจากนี้ ยังสอดคล้องการสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยเฉพาะ SDG 9.c เรื่องการเพิ่มการเข้าถึงเทคโนโลยีด้านข้อมูลและการสื่อสาร และพยายามที่จะจัดให้มีการเข้าถึงอินเตอร์เนตโดยถ้วนหน้า

คำสำคัญ: ระบบสำรอง / กูเกิลไซต์ / การจัดการประชุมวิชาการ / โครงสร้างพื้นฐานไอที

Design and Implementation of a Google Sites-Based Backup System for Managing Academic Conferences during IT Infrastructure Disruptions Case Study of the 4th Inter-Institutional Public Health Conference

Thawatchai Kansrirat* Ritthirong Pundee, and Pornchanok Nutchanart

Academic and Curriculum Division, Nakhonsawan Campus, Mahidol University, Thailand
* Corresponding author: *thawatchai.kan@mahidol.ac.th*

Abstract

This study aims to design and implementation a backup system using Google Sites for managing academic conferences in situations where IT infrastructure disruptions, particularly under unstable network conditions. The development was piloted at the 4th Inter-Institutional Public Health Academic Conference, held at the NakhonSawan Campus Project, Mahidol University. The study employed participatory action research combined with system design to create a backup platform on Google Sites, integrating Google Workspace tools such as Google Drive, Sheets, Scripts, and Forms to facilitate document storage, registration, and data dissemination. The results, based on feedback from 85 convenience participants, showed that the developed backup website featured easily readable font sizes and styles. Overall satisfaction with the website was at the highest level, while the usability and appropriateness of the website's content were rated as high. A key advantage was that if IT infrastructure failed, the system could still be accessed immediately via mobile internet and portable devices, offering flexibility in crisis situations. Additionally, it was cost-effective, as the website and related tools were developed under free-tier conditions. The findings demonstrate that Google Sites is a suitable platform for designing backup systems to manage academic conferences, both under normal and crisis conditions. Furthermore, this approach aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 9.c, which focuses on enhancing access to information and communications technology (ICT) and striving to provide universal and affordable internet access.

Keywords: Backup system / Google sites / Academic conferences / IT infrastructure

1. บทนำ

ในยุคปัจจุบันที่เทคโนโลยีสารสนเทศมีบทบาทสำคัญต่อการดำเนินงานในทุกภาคส่วน โดยเฉพาะการจัดประชุมวิชาการระดับนานาชาติ จำเป็นต้องใช้ระบบดิจิทัลเพื่ออำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ เช่น การบริหารจัดการ การสื่อสาร และการเผยแพร่องค์ความรู้ [1] อย่างไรก็ตามโครงสร้างพื้นฐานด้านไอทีอาจประสบปัญหาด้านความเสถียรหรือความปลอดภัย ทำให้การจัดงานมีประสิทธิภาพไม่เต็มที่ [2] ดังนั้นการมีระบบสำรองที่สามารถทำงานได้ แม้ในสภาวะโครงสร้างพื้นฐานไอทีมีปัญหา จึงเป็นแนวทางสำคัญเพื่อลดความเสี่ยงและรักษาความต่อเนื่องของการจัดงาน

สำหรับงานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบันระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 เป็นกรณีศึกษาที่สะท้อนถึงความจำเป็นในการพัฒนาระบบเว็บไซต์สำรองเพื่อเป็นสื่อกลางข้อมูล เนื่องจากมีผู้เข้าร่วมประชุมมาจากหลากหลายที่ และต้องพึ่งพาระบบออนไลน์สำหรับการลงทะเบียน การนำเสนอผลงาน และการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น [3] ระบบการทำงานที่เป็นไอทีมากขึ้น แต่ยังพบข้อจำกัดจึงขาดความคล่องตัว รูปแบบของระบบทำงานในรูปแบบใหม่ภายใต้ระบบงานไอทีทั้งข้อจำกัดและประโยชน์ [1] ดังนั้น การนำชุดเครื่องมือในกูเกิลเวิร์กสเปซซึ่งเป็นเครื่องมือที่เข้าถึงง่าย มีความยืดหยุ่น และไม่ต้องการโครงสร้างพื้นฐานที่ซับซ้อน จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการออกแบบผู้ศึกษาจึงได้เลือกเครื่องมือที่ชื่อว่ากูเกิลไซต์มาพัฒนาเป็นระบบเว็บไซต์สำรอง

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบสำรองด้วยกูเกิลไซต์ (Google Sites) สำหรับเผยแพร่ข้อมูลการประชุมวิชาการในสภาวะที่โครงสร้างพื้นฐานไอทีมีปัญหา โดยมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการ ลดความเสี่ยงจากความล้มเหลวทางเทคนิค และส่งเสริมการมีส่วนร่วมของผู้เข้าร่วมงาน [4] นอกจากนี้ยังนำเสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลอย่างเหมาะสม ตามบริบทของงานวิชาการ [5] อาศัยกรอบแนวคิดการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัล [6] และการออกแบบแพลตฟอร์มที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน [7] ผลการศึกษาคาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานวิชาการในการเตรียมความพร้อมรับมือกับสภาวะที่โครงสร้างพื้นฐานไอทีมีปัญหา ตลอดจนเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาเพื่อเผยแพร่ข้อมูลวันงานประชุมวิชาการที่มีความคล่องตัวและไม่ต้องกังวลในการใช้งานว่าจะเข้าถึงไม่ได้ ซึ่งสอดคล้องการสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยเฉพาะ SDG 9 ในด้านการสร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านดิจิทัลที่ยืดหยุ่นอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์

1.เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบสำรองด้วยกูเกิลไซต์สำหรับการจัดการประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน

2.เพื่อเก็บสถิติการใช้งานเว็บไซต์ประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบันด้วยกูเกิลแอนะลิติกส์

3.เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อเว็บไซต์สาธารณสุขระหว่างสถาบันครั้งที่ 4

3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผู้เข้าร่วมประชุมสามารถเข้าถึงข้อมูลเกี่ยวกับงานประชุมวิชาการฯได้ตลอดเวลา ได้ทุกอุปกรณ์พกพา เช่น คอมพิวเตอร์ โน๊ตบุ๊ค โทรศัพท์มือถือ ไอแพด แท็บเล็ต เป็นต้น

4. ขอบเขตของการศึกษา

การออกแบบและพัฒนาระบบสำรองด้วยกูเกิลไซต์ สำหรับใช้จัดการประชุมวิชาการในครั้งนี้ ใช้ในงานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 ณ โครงการจัดตั้งวิทยาเขตนครสวรรค์ มหาวิทยาลัยมหิดล วันที่ 9 พฤษภาคม 2567

5. ข้อตกลงเบื้องต้น

การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้พิจารณาถึงความแตกต่างระหว่าง เพศ วัย อายุ สภาพการทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม

6. วิธีการศึกษา

6.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ผู้เข้าร่วมประชุมจำนวนงานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 จำนวน 235 คน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ เป็นแบบสุ่มตามความสะดวก (Convenience Sampling) [9] จำนวน 85 คน [10]

6.2 เครื่องมือที่ใช้

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล มีรายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยดังนี้

1. เว็บไซต์งานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 ณ โครงการจัดตั้งวิทยาเขตนครสวรรค์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่พัฒนาโดยใช้ชุดเครื่องมือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน (Google Workspace) โดยใช้เครื่องมือที่ชื่อว่ากูเกิลไซต์ ดังรูปที่ 1 มี 5 ขั้นตอนประกอบด้วย ขั้นตอน 1) วิเคราะห์เนื้อหาข้อมูล ประกอบด้วย 1.1) กำหนดการประชุมฯ 1.2) ข้อมูลการประชุมฯ 1.3) ลงทะเบียน 1.4) เอกสารดาวน์โหลด 1.5) ตรวจสอบลำดับในการนำเสนอ 1.6) อัตราค่าธรรมเนียม รายงานการประชุม 1.7) กรรมการวิพากษ์ผลงาน 1.8) ติดต่อ ขั้นตอน 2) กำหนดรูปแบบและโครงสร้างเว็บไซต์ ขั้นตอน 3) การออกแบบ 4) ขั้นตอนพัฒนาเว็บไซต์งานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 ด้วยกูเกิ้ลไซต์ ขั้นตอน 5) เก็บสถิติการใช้งานเว็บไซต์ประชุมวิชาการฯด้วยกูเกิลแอนะลิติกส์ (Google Analytics)

รูปที่ 1 งานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 (ออกแบบและพัฒนาด้วยกูเกิลไซต์ทั้งหมด)
ตำแหน่งที่อยู่ของเว็บไซต์ : https://sites.google.com/view/phmuna-conference/

2. สอบถามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ด้วยคำถามปลายเปิด เกี่ยวกับความสะดวกการใช้งานเว็บไซต์งานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 ที่ออกแบบและพัฒนาด้วยกูเกิลไซต์

3. การประเมินหาค่าความเที่ยงตรง (IOC) ของแบบแบบประเมินความพึงพอใจของผู้เข้าใช้งานเว็บไซต์วันงานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 จากผู้เชี่ยวชาญ

4. แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เข้าใช้งานเว็บไซต์วันงานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4

6.3 การเก็บข้อมูล

ผู้ศึกษาได้ทำการเก็บข้อมูลการประเมินความพึงพอใจ ของผู้เข้าร่วมประชุมงานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 ณ โครงการจัดตั้งวิทยาเขตนครสวรรค์ มหาวิทยาลัยมหิดล วันที่ 9 พฤษภาคม 2567

6.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์แบบประเมินโดยหาค่าร้อยละ ความเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

7. ผลการศึกษา

ผลการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ด้วยกูเกิลไซต์ และผลประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บไซต์สำหรับใช้จัดการประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 ณ โครงการจัดตั้งวิทยาเขตนครสวรรค์ มหาวิทยาลัยมหิดล พบว่า

7.1 ผลการออกแบบและพัฒนางานเว็บไซต์ประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบันครั้งที่ 4 ด้วยกูเกิลไซต์ ในความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ด้านความสะดวกเกี่ยวกับการใช้งานเว็บไซต์งาน เน้นการใช้งานเป็นหลัก ด้วยการเป็นเครื่องมือที่ใช้ฟรี ธีมของเว็บไซต์ที่มีให้เลือกใช้ไม่หลากหลาย แต่ด้วยศักยภาพของกูเกิลทำให้ผู้ใช้งานไม่ต้องกังวลว่าจะเข้าใช้งานไม่ได้ สามารถนำมาใช้สนับสนุนในงานประชุมวิชาการได้

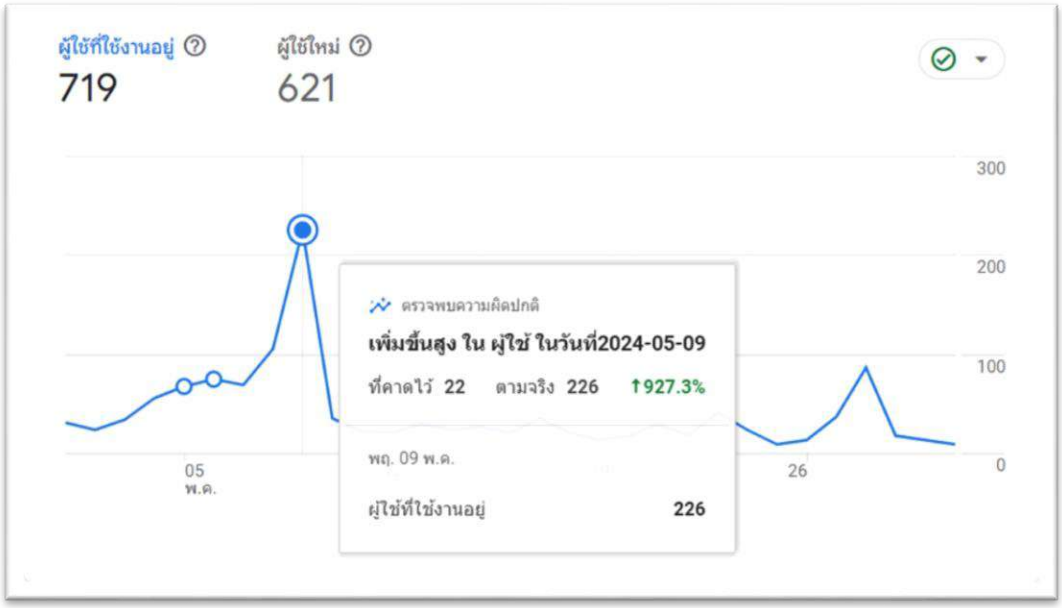
7.2 ผลประเมินความถูกต้องของเว็บไซต์จากผู้เชี่ยวชาญ ด้วยคำถามปลายเปิด

ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสรุปได้ว่า เว็บไซต์ที่พัฒนาด้วยกูเกิลไซต์ เน้นการใช้งานเป็นหลัก เพราะเครื่องมือในกูเกิลเวิร์กสเปรส (google workspace) ตอบโจทย์ตามวัตถุประสงค์ของงานประชุมอยู่แล้ว สามารถนำมาใช้เป็นเว็บไซต์สำรองในกรณีที่เว็บไซต์หลักมีปัญหา หากความกังวลเรื่องระบบไอที ที่มีโครงสร้างพื้นฐานมีปัญหา ให้ใช้เว็บไซต์สำรองนี้เป็นเว็บประชาสัมพันธ์ข้อมูลหลักงานประชุมวิชาการฯจะเหมาะสมกว่า

7.3 ผลการประเมินความเที่ยงตรงของแบบประเมินความพึงพอใจสำหรับผู้ใช้งานเว็บไซต์ประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบันครั้งที่ 4 โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน นำมาวิเคราะห์หาค่าความเที่ยงตรง IOC (Item Objective Congruence Index) แล้วได้ค่า IOC ที่มีค่าตั้งแต่ 0.67–1.00 ถือว่าใช้ได้ ผู้ศึกษาจึงได้ดำเนินการจัดทำแบบประเมินความพึงพอใจใช้กับกลุ่มตัวอย่างต่อไป

7.4 ผลการเก็บสถิติการใช้งานเว็บไซต์วันจัดงานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบันครั้งที่ 4 วันที่ 9 พฤษภาคม 2567 ด้วยกูเกิลแอนะลิติกส์ พบว่าสามารถรองรับการเข้าใช้งาน 226 คน จากผู้เข้าร่วมประชุม 235 คน คิดเป็นร้อยล่ะ 96.17 % และตลอดเดือน พฤษภาคม 2567 พบว่ามีผู้เยี่ยมชม จำนวน 719 คน ผู้ใช้งาน จำนวน 621 คน ดังรูปที่ 2

7.5 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เข้าใช้งานเว็บไซต์วันงานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 จำนวน 85 คน เพศหญิง จำนวน 66 คน เพศชาย จำนวน 19 คน นำมาวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าร้อยละ (percentage) ดังตารางที่ 1–4 ผลค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ตารางที่ 5



รูปที่ 2 สถิติเข้าใช้งานเว็บไซต์งานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 วันที่ 9 พ.ค. 2567

จากตารางที่ 1 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ที่มาทำแบบประเมินความพึงพอใจ เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 77.65 ในขณะที่ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 22.35

จากตารางที่ 2 พบว่าอายุของผู้ตอบแบบสอบถามอันดับแรกเป็น ช่วงอายุ 18-25 ปี มีสัดส่วนสูงสุดร้อยละ 74.12 แสดงให้ว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็น Gen Z รองลงมาคือช่วงอายุ 26-35 ปี เป็นช่วงวัยทำงาน คิดเป็นร้อยละ 17.65 สำหรับกลุ่มอายุ 36 ปีขึ้นไป มีร้อยละ 8.24

จากตารางที่ 3 พบว่ากลุ่มใหญ่ที่สุดเป็นนักศึกษากำลังศึกษาระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 71.76 กำลังศึกษาระดับปริญญาโท คิดเป็น ร้อยละ 18.82 จบระดับปริญญาตรีคิดเป็น ร้อยละ 4.71 จบระดับปริญญาโท คิดเป็นร้อยละ 5.88 จบระดับปริญญาเอก คิดเป็นร้อยละ 3.53

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามเพศ

รายการ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1. เพศ		
1.1 หญิง	66	77.65
1.2 ชาย	19	22.35
รวม	85	100

ตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามอายุ

กลุ่มอายุ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
18-25 ปี	63	74.12
26-35 ปี	15	17.65
36 ปีขึ้นไป	7	8.24

ตารางที่ 3 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกระดับการศึกษา

ระดับการศึกษา	จำนวน (คน)	ร้อยละ
กำลังศึกษาปริญญาตรี	62	72.94
กำลังศึกษาปริญญาโท	11	12.94
จบการศึกษาปริญญาตรี	4	4.71
จบการศึกษาปริญญาโท	5	5.88
จบการศึกษาปริญญาเอก	3	3.53

จากตารางที่ 4 จำแนกตามสภาพการทำงาน พบว่ากลุ่มมากที่สุดเป็นนักศึกษา ได้แก่ นักศึกษาระดับปริญญาตรี นักศึกษาระดับปริญญาโท รวมกันเป็นร้อยละ 85.88 ในขณะที่ตำแหน่งงานสายสนับสนุน ได้แก่ นักวิชาการสารณสุข คิดเป็นร้อยละ 5.88 นักวิทยาศาสตร์ คิดเป็นร้อยละ 1.18 พยาบาล คิดเป็นร้อยละ 1.18 สำหรับตำแหน่งสายวิชาการ ได้แก่ อาจารย์ คิดเป็นร้อยละ 3.53 ผู้ช่วยศาตราจารย์ คิดเป็นร้อยละ 2.35

จากตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจผู้เข้าใช้งานเว็บไซต์ พบว่า ความพึงพอใจโดยรวมต่อเว็บไซต์ประชุมวิชาการฯ มีค่าเฉลี่ย 4.53 อยู่ในระดับมากที่สุด ขนาดตัวอักษร และรูปแบบตัวอักษร บนเว็บไซต์อ่านได้ง่าย มีค่าเฉลี่ย 4.52 อยู่ในระดับมากที่สุด ความพึงพอใจน้อยที่สุดได้แก่ การจัดรูปแบบในเว็บไซต์ง่ายต่อการอ่านและการใช้งาน มีค่าเฉลี่ย 4.34 อยู่ในระดับมาก และความน่าสนใจของเว็บไซต์หน้าแรก มีค่าเฉลี่ย 4.34 อยู่ในระดับมากเช่นกัน

ตารางที่ 4 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามสภาพการทำงาน

สถานภาพ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
นศ.ปริญญาตรี	62	72.94
นศ.ปริญญาโท	11	12.94
นักวิชาการสาธารณสุข	5	5.88
อาจารย์	3	3.53
ผู้ช่วยศาตราจารย์	2	2.35
นักวิทยาศาสตร์	1	1.18
พยาบาล	1	1.18

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจผู้เข้าใช้งานเว็บไซต์วันงานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4

รายการ	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความหมาย
1.ความน่าสนใจของเว็บไซต์หน้าแรก	4.35	0.73	มาก
2.การจัดรูปแบบในเว็บไซต์ง่ายต่อการอ่านและการใช้งาน	4.34	0.78	มาก
3. ความสะดวกในการใช้งานเมนูบนเว็บไซต์	4.41	0.74	มาก
4.การจัดหมวดหมู่ ง่ายและสะดวกต่อการค้นหาเนื้อหาภายในเว็บไซต์	4.39	0.80	มาก
5.ขนาดตัวอักษร และรูปแบบตัวอักษร อ่านได้ง่าย	4.52	0.68	มากที่สุด
6. การนำข้อมูลบนเว็บไซต์ไปใช้ประโยชน์	4.45	0.71	มาก
7.ความเหมาะสมของข้อมูลภายในเว็บไซต์	4.45	0.69	มาก
8.ความพึงพอใจโดยรวมต่อเว็บไซต์ประชุมวิชาการฯ	4.53	0.61	มากที่สุด

8. สรุปผล

สำหรับการออกแบบและพัฒนาระบบสำรองด้วยกูเกิลไซต์สำหรับใช้จัดการประชุมวิชาการในสภาวะโครงสร้างพื้นฐานด้านไอทีมีปัญหา กรณีศึกษา งานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 พบว่า

8.1 ผลการออกแบบและพัฒนาระบบสำรองด้วยกูเกิลไซต์ (Google Sites) จากการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ด้วยกูเกิลไซต์สำหรับการจัดการประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 พบว่า กูเกิลไซต์เป็นเครื่องมือที่สร้างเว็บไซต์ที่เน้นการใช้งานจริง แม้จะมีข้อจำกัดเรื่องของฟรี เช่น ธีมเว็บไซต์ที่ไม่หลากหลาย และฟังก์ชันการออกแบบที่ค่อนข้างพื้นฐาน แต่ข้อดีคือ ความเสถียรของระบบ และความสามารถเข้าถึงได้โดยไม่ต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐานไอทีที่ซับซ้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จักรินทร์ ศิลารัตน์ [11] ที่เว็บไซต์ของเดิมมีความซับซ้อน เขาจึงมีแนวคิดที่จะนำเทคโนโลยี Google Workspace เข้ามาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเว็บไซต์สถาบันการสอนวิชาศึกษาทั่วไปด้วยกูเกิลไซต์ เพื่อนำมาเป็นเว็บไซต์ประชาสัมพันธ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการข้อมูลดิจิทัล สามารถบริหารจัดการเว็บไซต์ได้อย่างรวดเร็ว สามารถจัดการได้ทุกที่ทุกเวลา โดยไม่มีข้อจำกัด อย่างไรก็ตาม ผู้เชี่ยวชาญยังบอกว่า ด้วยศักยภาพของกูเกิลผู้ใช้งานไม่ต้องกังวลว่าจะเข้าใช้งานไม่ได้ ดังนั้น กูเกิลไซต์สามารถใช้สนับสนุนเผยแพร่เนื้อหางานประชุมวิชาการได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุพิชชา ยานะพันธ์ อรวรรณ แท่งทองและพันธ์ศักดิ์ พึ่งงาม [12] ที่ได้ใช้กูเกิลไซต์สร้างเว็บไซต์โรงเรียนบ้านยังน้อย เพื่อประชาสัมพันธ์และความสะดวกให้กับ คณะครู อาจารย์ และนักเรียนเพื่อจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ นอกจากนี้ อนุชา [13] ยังกล่าวอีกว่า สำหรับผู้ที่มองหาวิธีสร้างเว็บไซต์ที่ไม่ต้องการความซับซ้อน Google Sites ถือเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการสร้างเว็บไซต์อย่างรวดเร็วและมีคุณภาพ

8.2 ผลการเก็บสถิติการใช้งานประชุมวิชาการด้วยกูเกิลแอนะลิติกส์ (Google Analytics) จากการติดตามสถิติการใช้งานเว็บไซต์ในวันจัดงานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 วันที่ 9 พฤษภาคม 2567) พบว่า ระบบกูเกิลไซต์สามารถรองรับผู้ใช้งานได้ 226 คน จากผู้เข้าร่วมทั้งหมด 235 คน คิดเป็น 96.17% ซึ่งแสดงถึง มีประสิทธิภาพที่ดีมากรองรับปริมาณผู้ใช้งานครั้งล่ะมากๆ ตลอดระยะเวลาการใช้งานประชุม จากการสังเกตุวันจัดงานประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 4 ตัวผู้ศึกษาไม่มีรายงานปัญหาใดๆ เกี่ยวกับการเข้าถึงเว็บไซต์ไม่ได้ ดังนั้น จึงสะท้อนให้เห็นถึงความเสถียรและน่าเชื่อถือของระบบ ที่พัฒนาด้วยชุดเครื่องมือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานบน Google Workspace โดยมีกูเกิลไซต์เป็นเครื่องมืออยู่ในชุด Google Workspace นี้ด้วย

8.3 ผลประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อเว็บไซต์สาธารณสุขระหว่างสถาบันครั้งที่ 4 จากตารางที่ 1 ถึง ตารางที่ 3 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากเป็นเพศหญิง ร้อยล่ะ 77.65 ช่วงกลุ่มอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม 18-25 ปี มีสัดส่วนสูงสุดร้อยละ 74.1 และส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาที่กำลังศึกษาปริญญาตรีและสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีแล้ว คิดเป็นร้อยละ 85.88 สำหรับการประเมินความพึงพอใจที่มีความพึงพอใจโดยรวมต่อเว็บไซต์ประชุมวิชาการฯ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.53 อยู่ในระดับมากที่สุด ขนาดตัวอักษรและรูปแบบตัวอักษร อ่านได้ง่าย ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 อยู่ในระดับมากที่สุด การนำข้อมูลบนเว็บไซต์ไปใช้ประโยชน์ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.45 อยู่ในระดับมาก ความเหมาะสมของข้อมูลภายในเว็บไซต์ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.45 อยู่ในระดับมากและความสะดวกในการใช้งานเมนูบนเว็บไซต์ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.41 อยู่ในระดับมากเช่นกัน ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับบทความ ของ อนุชา [13] ที่บอกว่า Google Sites เป็นเครื่องมือสร้างเว็บไซต์ที่มีความง่ายและสะดวกสบาย เหมาะสำหรับการสร้างเว็บไซต์แบบง่ายๆ ถือเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการสร้างเว็บไซต์อย่างรวดเร็วและมีคุณภาพใช้งานง่าย

9. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณ ผู้เชี่ยวชาญที่คอยให้เสนอแนะสิ่งที่ดีที่สุดสำหรับบทความนี้ ได้แก่ อ.ดร.วิภา จักรชัยกุล อดีตอาจารย์สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชมงคลพระนคร ผศ.ดร.คณิศร จี้กระโทก รองคณบดี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อ.ดร.สุดารัตน์ อินทรัตน์ นักวิชาการศึกษาชำนาญการพิเศษ สำนักงานปลัดกระทรวงศึกษาธิการ ตลอดจนคุณอรุณ เล้าเฮง เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิจัย คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดีที่กรุณาช่วยตรวจทานเครื่องมือวิจัยและให้คำแนะนำต่างๆ อาจารย์ ดร.ณัฐฐิญา อัครวิวัฒน์ดำรง หัวหน้ากลุ่มวิชาการและหลักสูตร โครงการจัดตั้งวิทยาเขตนครสวรรค์ อาจารย์แพทย์หญิงมนทกานติ์ โอประเสริฐสวัสดิ์ รองอธิการบดีฝ่ายโครงการจัดตั้งวิทยาเขตนครสวรรค์ ที่ส่งเสริมและสนับสนุนในการสร้างสรรค์ผลงานต่างๆ จนได้ออกมาเป็นผลงานบทความ สำหรับบทความนี้จะไม่มีทางสำเร็จหากไม่ได้รับการสนับสนุนจากบุคคลข้างต้นที่กล่าวมา ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ปุญณิศา ไทยช่วย. (2022) การเปลี่ยนผ่านสู่การเป็นองค์กรดิจิทัลของสำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา(สารนิพนธ์ รัฐประศาสนศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย). chula digital collection. https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/10654/

[2] มณีนุช ภูยังดี, สุมาลี ศรีพุทธรินทร์, และจารุวรรณ เขียวน้ำชุม. (2021). สภาพปัจจุบัน สภาพที่พึงประสงค์ และแนวทางพัฒนาการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการบริหารจัดการสถานศึกษาของโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษานครพนม เขต 1.วารสารรัชต์ภาคย์, 15(40), 249–263. สืบค้น จาก https://so05.tci-thaijo.org/index.php/RJPJ/article/view/250031

[3] วัชราภรณ์ ต๊ะพรมมา, พูนชัย ยาวิราช, และไพรภ รัตนชูวงศ์. (2022). แนวทางการบริหารจัดการระบบปฏิบัติการเทคโนโลยีสารสนเทศ โรงเรียนราชประชานุเคราะห์ 15 (เวียงเก่าแสนภูวิทยาประสาท) ที่สอดคล้องกับการศึกษา 4.0. วารสารครุศาสตร์วิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, 6(3), 23-60. สืบค้น จาก https://so05.tci-thaijo.org/index.php/jeducrru/article/view/253375

[4] เทพศักดิ์ บุณยรัตพันธุ์. (2023). การจัดการสมรรถนะด้านดิจิทัลของทรัพยากรมนุษย์ กับการออกแบบรูปแบบการทำงานเป็นทีมที่มีความคล่องตัวสูง: ความท้าทายขององค์กรในยุคดิจิทัล. วารสารสังคมศาสตร์ นิติรัฐศาสตร์, 7(1), 1–33. สืบค้น จาก https://so02.tci-thaijo.org/index.php/Lawpol_Journal/article/view/260683

[5] เอมอร เสือจร, รัฐศิรินทร์ วังกานนท์, และเฉลิมพล ศรีหงษ์. (2024). การนำนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีดิจิทัลมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน : กรณีศึกษา กองส่งเสริมและพัฒนาการจัดการศึกษาท้องถิ่น กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น. วารสารรามคำแหง ฉบับรัฐประศาสนศาสตร์, 7(1), 285–315. สืบค้น จาก https://so16.tci-thaijo.org/index.php/RJPA/article/view/399

[6] สุดาวดี ชัยเดชทยากุล, สิริพร ทิวะสิงห์, ยุวดี เพชระ, เมธยา เสามะลี, สุพัชญ์ สีนะวัฒน์, และจันทรรัตน สิทธิสมจินต์. (2024). กระบวนการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลให้แก่บุคลากรสำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยขอนแก่น. PULINET Journal, 11(2), 219–234. สืบค้น จาก https://so14.tci-thaijo.org/index.php/PJ/article/view/741

[7] โชคธำรงค์ จงจอหอ, และ วศิน เหลี่ยมปรีชา. (2564).การพัฒนาแพลตฟอร์มดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจแบ่งปันสำหรับผู้ประกอบการสารสนเทศ : กรณีศึกษาธุรกิจรับตรวจสอบรายการบรรณานุกรมและเอกสารอ้างอิงทางวิชาการ. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร). https://nuir.lib.nu.ac.th/dspace/handle/123456789/5285

[8] มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี. (ม.ป.ป.). บทที่ 6 การสุ่มตัวอย่าง สืบค้นจาก https://www.udru.ac.th/oldsite/attachments/elearning/01/07.pdf

[9] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (มปป.). การสุ่มตัวอย่างเพื่อการวิจัย สืบค้น จาก https://plan.eng.cmu.ac.th/wpcontent/uploads/2015/07/sampling.pdf

[10] จักรินทร์ ศิลารัตน์. (2568). การพัฒนาเว็บไซต์หน่วยงานสนับสนุนวิชาการโดยใช้เทคโนโลยี Google Workspace กรณีศึกษา สถาบันการสอนวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยขอนแก่น. วารสารวิชาการ ปขมท., 14(1), e1381. https://so19.tcithaijo.org/index.php/CUASTJournal/article/view/1381

[11] สุพิชชา ยานะพันธ์, อรวรรณ แท่งทอง, และพันธ์ศักดิ์ พึ่งงาม. (2565). การพัฒนาเว็บไซต์ประชาสัมพันธ์ของโรงเรียนบ้านรังย้อย งานประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 14 (ECTI-CARD 2022) (หน้า 123-127). ลพบุรี, ประเทศไทย.

[12] อนุชา (31 ตุลาคม 2024) Google Sites คืออะไร? คู่มือการใช้งานเว็บไซต์ฟรีจาก Google สืบค้นจาก https://www.hostinglotus.com/blog/2024/10/31/google-sites-คืออะไร-คู่มือการใช้ง/

แนวทางการเสริมสร้างเด็กและเยาวชนต้นแบบความเป็นพลเมืองโดยใช้หลักการสุจริตโมเดล (SUJARIT Model) ภายใต้การใช้แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนเป็นกระแสหลัก

สุภชัย อุดคำ[1*]

[1]*คณะรัฐศาสตร์และรัฐประศาสนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*
* Corresponding author: Jeng20062546@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความเรื่อง "แนวทางการเสริมสร้างเด็กและเยาวชนต้นแบบความเป็นพลเมืองโดยใช้หลักการสุจริตโมเดล (SUJARIT Model) ภายใต้การใช้แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนเป็นกระแสหลัก" นำเสนอแนวทางการเสริมสร้างเด็กและเยาวชนให้เป็นพลเมืองต้นแบบที่มีจิตสำนึกต่อสังคมและโลก โดยใช้หลักการสุจริตโมเดล (SUJARIT Model) ภายใต้แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนเป็นหลักในการศึกษาและพัฒนาหลักการควบคู่กับธัมมจักกัปปวัตนสูตรของพระพุทธศาสนา ซึ่งเสนอแนวทางดำเนินชีวิตโดยอย่างสมดุลหรือทางสายกลางอย่างยั่งยืน และควบคู่กับการบริหารองค์กรในรูปแบบการบูรณาการตามหลักการของรัฐประศาสนศาสตร์แนวใหม่ หลักการสุจริตโมเดลประกอบด้วย การเป็นผู้ลงมือทำ (Acter) การแสดงเหตุผล (Justify) การเลือกกลุ่มเป้าหมาย (Target) ความเข้าใจ (Understand) การเกิดความตระหนักในความจริง (Realize) และการบูรณาการ (Integrate) ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อสร้างสังคมที่ยั่งยืน โมเดลนี้มองว่าการพัฒนาเกิดจากการกระทำของมนุษย์ที่มีจิตสำนึกความเป็นพลเมือง และพลเมืองที่มีศักยภาพจะนำไปสู่การพัฒนาที่สมดุลระหว่างสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้หลักสุจริตโมเดลมุ่งให้เกิดการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน (Sustainability Organization Development) โดยการประยุกต์ใช้หลักการเพื่อสร้างบุคลากรและวัฒนธรรมองค์กรที่ตระหนักถึงความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม การเป็นผู้ลงมือทำอย่างมีความรับผิดชอบ (Acter) การแสดงเหตุผลถึงผลกระทบต่อสังคมและโลก (Justify) การกำหนดเป้าหมายที่สอดคล้องกับการพัฒนา (Target) ความเข้าใจถึงความเชื่อมโยงระหว่างองค์กรกับบริบททางสังคมและสิ่งแวดล้อม (Understand) การตระหนักถึงความจริงและความท้าทายด้านความยั่งยืน (Realize) และการบูรณาการการพัฒนาที่ยั่งยืนเข้าสู่ทุกภาคส่วน (Integrate) นำไปสู่การพัฒนาองค์กรที่ยั่งยืนในระยะยาว

คำสำคัญ: การพัฒนาที่ยั่งยืน / สุจริตโมเดล / ความเป็นพลเมือง / การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน

Guidelines for Strengthening the Role Models for Children and Youths as Citizens Using the Principles of the SUJARIT Model Under the Mainstream Application of the Framework of Sustainable Development

Supachai Audkham[1*]

[1]*Faculty of Political Science and Public Administration, Chiang Mai University*
** Corresponding author: Jeng20062546@gmail.com*

Abstract

This article presents Guidelines for Strengthening the role models for children and youths as citizens using the principles of the SUJARIT Model under the mainstream application of the framework of sustainable development. This study integrates the SUJARIT Model with the Buddhist principle of the Middle Way (Dhammacakkappavattana Sutta), advocating for a balanced and sustainable approach to life, alongside the principles of New Public Administration for integrated organizational management. The SUJARIT Model comprises six key principles: Acter, Justify, Target, Understand, Realize, and Integrate, with the overarching goal of fostering a sustainable society. The model posits that development stems from the actions of conscious citizens, leading to a harmonious balance among social, economic, and environmental dimensions. Furthermore, the SUJARIT Model aims to achieve Sustainability Organization Development by applying its principles to cultivate personnel and an organizational culture that embraces social and environmental responsibility. This involves responsible action (Acter), justifying decisions based on their impact on society and the world (Justify), setting goals aligned with sustainable development (Target), comprehending the interconnectedness between the organization and its socio-environmental context (Understand), acknowledging the complexities and challenges of sustainability (Realize), and integrating sustainable development into all aspects of the organization (Integrate), ultimately leading to long-term organizational sustainability.

Keywords: Sustainable Development / SUJARIT Model / Citizenship / Sustainability Organization Development

1. บทนำ

เด็กและเยาวชนเป็นกลไกสำคัญต่อการขับเคลื่อนแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยเฉพาะการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในปี ค.ศ 2030 ให้สำเร็จได้ด้วยศักยภาพของเด็กและเยาวชนไทยโดยการรวมตัวกันเพื่อสร้างการมีส่วนร่วมต่อสังคม จุดแข็งของเยาวชนไทยที่ทราบได้อย่างเด่นชัดประกอบไปด้วย [1] 1) เป็นคนมีเหตุผล มีพฤติกรรมกล้าถาม กล้าตอบ กล้าโต้เถียง ซึ่งผู้ใหญ่จะมองว่าหัวแข็ง ไม่มีสัมมาคารวะ แต่ลักษณะมีเหตุมีผลดังกล่าวเป็นคุณสมบัติที่เหมาะกับโลกปัจจุบันอันเป็นยุคโฆษณา 2) เป็นตัวของตัวเอง ต้องการทำอะไรก็ทำที่ตัวเองเห็นว่าดีถูกต้อง เช่น การยืน การพูด ถกเถียง การแต่งตัว แม้แต่การเข้าไปในวัดคุยกับพระหากผู้ใหญ่ไม่เข้าใจความเป็นตัวของวัยรุ่นก็จะตำหนิหรือหาว่าไม่มีมารยาท ไม่มีสัมมาคารวะ และ 3) ความกล้าความสนใจกว้างกว่า การก้าวทันวิทยาการใหม่ ๆ วัยรุ่นเป็นคนรุ่นใหม่จะกล้ามากกว่าเดิม กล้าเรียน กล้าทำงาน กล้าเป็นนักร้อง กล้าเป็นนางแบบ รู้เรื่องคอมพิวเตอร์ อินเตอร์เนท รู้ความเคลื่อนไหว ความเป็นไปต่าง ๆ ของสังคม และโลก ทั้งที่ใกล้และไกลตัว

จากรายงานการทบทวนการดำเนินการตามวาระการพัฒนาที่ยั่งยืน ค.ศ. 2030 โดยสมัครใจของไทย พุทธศักราช 2564 ได้รายงานเกี่ยวกับความท้าทายต่อการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศไทยว่า ความท้าทายอนึ่งที่สำคัญคือการจัดตั้งกลไกที่ชัดเจนในการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครต่อการขับเคลื่อนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศไทย สำหรับภาคประชาสังคมและเครือข่ายอาสาสมัครโดยเฉพาะกลุ่มเยาวชนแล้ว มุมมองในภาพรวมของเยาวชนรุ่นใหม่จะเป็นบุคคลที่มีความตื่นตัว และให้ความสำคัญเรื่องความยั่งยืน โดยทราบได้ชัดจากความนิยมที่มีต่อสินค้าและบริการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่ถึงอย่างไรก็ตามความท้าทายในการขับเคลื่อนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนนั่นคือเยาวชนยังไม่เกิดการตระหนักรู้เกี่ยวกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนเท่าที่ควร นอกจากจากนี้ยังเกิดการสร้างภาพลักษณ์ขององค์กรธุรกิจที่ไม่ยั่งยืนผ่านการให้ทุนการศึกษาแก่เยาวชนเพื่อลดแรงเสียดทานจากผู้ได้รับผลกระทบ [2] ฉะนั้นแล้วจึงมีความจำเป็นที่จะต้องนำกลุ่มเด็กเยาวชนเข้ามาเป็นภาคีการพัฒนาสอดคล้องกับแผนการขับเคลื่อนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนสำหรับประเทศไทย (Thailand's SDG Roadmap) เปิดโอกาสแก่กลุ่มเด็กและเยาวชนได้เรียนรู้และผลักดันประเด็นการพัฒนาที่ยั่งยืนที่สำคัญ อันจะนำไปสู่การจัดทำนโยบายสาธารณะที่ขับเคลื่อนด้วยเยาวชน (youth-driven public policy) เพื่อตอบสนองความต้องการของประเทศและโลกในมิติของการบรรลุเป้าหมายตามแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืนซึ่งเป็นแนวคิดกระแสหลักในปัจจุบัน

แนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืนเริ่มเข้ามามีบทบาทในกระแสการพัฒนาสังคมโลกนับตั้งแต่ ปี ค.ศ.1972 (พ.ศ. 2515) โดยสหประชาชาติจัดให้มีการประชุมสุดยอดว่าด้วยสิ่งแวดล้อมของมนุษย์ (Human Environment) ณ กรุงสตอกโฮล์ม ประเทศสวีเดน ซึ่งมีข้อเรียกร้องให้ทั่วโลกคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดอย่างมีประสิทธิภาพ ต่อมาในปี ค.ศ.1983 (พ.ศ. 2526) สหประชาชาติได้จัดตั้งสมัชชาโลกว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา (World Commission on Environment and Development) หรือเป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า Brundtland Commission ซึ่งได้เรียกร้องให้ประชากรทั่วโลกเปลี่ยนแปลงวิถีการดำชีวิตให้สอดคล้องกับข้อจำกัดของธรรมชาติรวมทั้งรักษาสิ่งแวดล้อม อันเป็นจุดกำเนินของแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน [3] ซึ่งเป็นสนอแนะจากคณะกรรมาธิการโลกว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา (World Commission on Environment and Development) หรือ คณะกรรมาธิการบรันท์แลนด์ (Brundtand Comission) โดยที่รายงานของคณะกรรมาธิการบรันท์แลนด์ (Brundtland Report) ที่เสนอต่อสหประชาชาติในพ.ศ. 2530 เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง ต่อมาในชื่ออนาคตของเรา (Our common future) ต่อจากนั้นองค์การสหประชาชาติได้เรียกร้องได้ทั่วโลกคำนึงถึงถึงถึงถึงตอบสนองของธรรมชาติโดยได้จัดประชุมสุดยอดของโลกว่าด้วยสิ่งแวดล้อมและการพัฒนา (UN Confenference on Environment and Development: UNCED) เมื่อ พ.ศ. 2535 ณ กรุงรีโอเดอจาเนโร ประเทศบราซิล ซึ่งเป็นที่มาของแผนแม่บทโลกที่เป็นกรอบทิศทางการพัฒนาประเทศไปสู่ความยั่งยืน ในการประชุมครั้งนั้น ประเทศสมาชิกจำนวน 178 ประเทศรวมทั้งประเทศได้ร่วม ลงนามในการปฏิบัติตามแผนแม่บทดังกล่าว ซึ่งอีก10 ปีต่อมาจึงขยายแนวคิดไปสู่การประชุมสุดยอดระดับโลกว่าด้วยพัฒนาที่ยั่งยืน (World summit on sustainable development) เพื่อกระตุ้นให้ประเทศต่าง ๆ หันมาให้ความสนใจกำหนดกรอบทิศทางการพัฒนาประเทศอย่างองค์รวม มุ่งสู่ดุลยภาพการพัฒนา [4] ด้วยเหตุนี้จึงทราบได้ว่าปัจจุบันเป็นที่ยอมรับว่าแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืนถือเป็นแนวคิดกระแสหลัก (Mainstream Thought) ที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในวงวิชาการและสังคมตั้งแต่ช่วงศตวรรษที่ 20

คำจำกัดความดั้งเดิมและเป็นที่รู้จักมากที่สุดของการพัฒนาที่ยั่งยืนมาจากรายงาน Brundtland กล่าวถึงการพัฒนาอย่างยั่งยืนคือการพัฒนาที่ตอบสนองความต้องการในปัจจุบันโดยไม่กระทบต่อความสามารถของคนรุ่นต่อไปในการตอบสนองความต้องการของตนเอง โดยมีแนวคิดหลักสองประการ ได้แก่ แนวคิดเรื่อง "ความต้องการ" โดยเฉพาะความต้องการพื้นฐานของคนจนทั่วโลก ซึ่งควรให้ความสำคัญสูงสุดกับความต้องการดังกล่าว และแนวคิดเรื่องข้อจำกัดที่กำหนดโดยสถานะของเทคโนโลยีและการจัดระเบียบทางสังคมต่อความสามารถของสิ่งแวดล้อมในการตอบสนองความต้องการในปัจจุบันและอนาคต [5] แนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable development) เป็นการพัฒนาทางเลือกเป็นการพัฒนาจากข้างล่าง (Development from below) และให้ความสำคัญต่อศักยภาพของมนุษย์ (Agency) ในการเปลี่ยนแปลงสังคม โดยยึดเอาประชาชนเป็นศูนย์กลางของการพัฒนา (People-centered orientation) [6] สมัชชาสหประชาชาติได้กล่าวเพิ่มเติมอีกว่าแนวทางในการเจริญเติบโตและการพัฒนาของมนุษย์ที่มุ่งตอบสนองความต้องการในปัจจุบัน โดยไม่กระทบต่อความสามารถของคนรุ่นอนาคตในการตอบสนองความต้องการของตนเอง [7] นอกจากนี้คำจำกัดความแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืนในปัจจุบัน องค์การสหประชาชาติ ยังคงตอกย้ำนิยามจากรายงาน Brundtland อีกครั้งในปี 2566 ว่าการพัฒนาอย่างยั่งยืนคือการพัฒนาที่ตอบสนองความต้องการในปัจจุบันโดยไม่กระทบต่อความสามารถของคนรุ่นต่อไปในการตอบสนองความต้องการของตนเอง [8] Scottish Government กล่าวว่า การพัฒนาที่ยั่งยืนคือการพัฒนาที่อยู่ภายในขอบเขตของระบบนิเวศของโลก และสนับสนุนความสามารถของคนรุ่นปัจจุบันและอนาคตทั่วโลกในการตอบสนองความต้องการของตนเองอย่างเท่าเทียมกัน [9] และ Deloitte ซึ่งได้เสนอแนวคิด Sustainable Abundance ซึ่งมุ่งเน้นการลดการใช้ทรัพยากรและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พร้อมกับการเพิ่มคุณค่ามนุษย์ โดยเน้นการนวัตกรรมอย่างต่อเนื่อง ความร่วมมือ และการปรับเปลี่ยนแนวทางธุรกิจแบบดั้งเดิม [10]

จากการศึกษาเกี่ยวกับแนวคิดการพัฒนาที่ยืนส่งให้ทราบว่าการพัฒนาอย่างยั่งยืนจะประสบความสำเร็จได้เพราะพลเมือง แนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน มีความเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับพลเมืองในหลายมิติ เนื่องจากการพัฒนาที่ยั่งยืนมุ่งเน้นการตอบสนองความต้องการของปัจจุบันโดยไม่ทำลายโอกาสของคนรุ่นอนาคต โดยมีผลกระทบต่อชีวิต ซึ่งสามารถตั้งข้อสรุปได้ดังนี้

(1) การพัฒนาที่ยั่งยืนเป็นแนวคิดที่ให้ความสำคัญกับการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ เพื่อให้มนุษย์พัฒนางานที่เกิดความสมดุลกันระหว่างสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม

(2) การพัฒนาที่ยั่งยืนเกิดจากการที่ทุกคนทราบประเด็นการพัฒนาเฉกเช่นเดียวกันไม่ว่าจะอยู่หนแห่งใดก็ตาม

(3) การพัฒนาที่ยั่งยืนให้ความสำคัญกับการลงมือทำเพื่อให้ประสบความสำเร็จตามแผนที่ตกลงร่วมกันไว้

(4) การพัฒนาที่ยั่งยืนเป็นการทำงานเชิงการบูรณาการและความร่วมมือทั้งในระดับบุคคล กลุ่มสังคม และองค์กร

ในปัจจุบันองค์การสหประชาชาติได้ออกแบบแนวทางพลโลกศึกษา (Global Citizenship Education: GOED) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ซึ่งเป็นวาระการพัฒนาภายหลังปี 2558 ระยะ 15 ปี (พ.ศ. 2559 - 2573) ที่ผู้นำประเทศสมาชิกสหประชาชาติจำนวน 193 ประเทศ ได้ร่วมกันลงนามรับรองพันธสัญญาทางการเมืองระดับผู้นำ ในเอกสาร Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development เพื่อกำหนดทิศทางการพัฒนาที่ยั่งยืนของโลก โดยในส่วนของประเทศไทย กระทรวงศึกษาธิการได้รับมอบหมายให้เป็นหน่วยงานรับผิดชอบหลักในเป้าหมายที่ 4 สร้างหลักประกันว่าทุกคนมีการศึกษาที่มีคุณภาพอย่างครอบคลุมและเท่าเทียม และสนับสนุนโอกาสในการเรียนรู้ตลอดชีวิต โดยให้ความสำคัญกับเป้าประสงค์ที่ 4.7 สร้างหลักประกันว่า ผู้เรียนทุกคนได้รับความรู้และทักษะที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน รวมไปถึงการศึกษาสำหรับการพัฒนาที่ยั่งยืนและการมีวิถีชีวิตที่ยั่งยืน สิทธิมนุษยชน ความเสมอภาคระหว่างเพศการส่งเสริมวัฒนธรรมแห่งสันติภาพและไม่ใช้ความรุนแรง ความเป็นพลเมืองของโลก เคารพในความหลากหลายทางวัฒนธรรม และมีส่วนร่วมในวัฒนธรรมพัฒนาที่ยังยืน ภายในปี 2573 [11]

ประเด็นที่สำคัญของการขับเคลื่อนแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืนด้วยพลังของมนุษย์นั่นคือการรีบเร่งต่อการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ให้มีพลังหรือศักยภาพให้เร็วที่สุด หากประเทศใดที่เริ่มสร้างพลเมืองได้รวดเร็วตั้งแต่ปัจจุบันจะส่งผลให้ประเทศเหล่านั้นมีทรัพยากรที่มีค่าที่สุดนั่นคือมนุษย์ที่พร้อมจะขับเคลื่อนภารกิจให้ประสบความสำเร็จต่อไปได้ แต่ถึงอย่างไรก็ตามมีสองประเด็นที่สำคัญก่อนที่ทุกประเทศจะเริ่มสร้างพลเมือง กล่าวคือ ประเด็นแรกพลเมืองกลุ่มใดคือพลเมืองกลุ่มที่สำคัญที่สุดต้องเริ่มพัฒนา

ซึ่งคำตอบที่สำคัญนั่นก็คือ กลุ่มเด็กและเยาวชน และประเด็นสุดท้ายแล้วสิ่งใดที่ควรพัฒนาต่อกลุ่มเด็กและเยาวชน ซึ่งคำตอบที่สำคัญที่สุดนั่นคือการปลูกจิตสำนึกโดยการสร้างความต่อเนื่องในการกระทำที่รับผิดชอบต่อส่วนรวมนั่นเอง

2. วัตถุประสงค์

1.เพื่อศึกษาแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนซึ่งเป็นกระแสหลัก

2.เพื่อนำเสนอแนวทางการเสริมสร้างเด็กและเยาวชนให้เป็นพลเมืองต้นแบบที่มีจิตสำนึกต่อสังคมและโลก โดยใช้หลักการสุจริตโมเดล (SUJARIT Model) ภายใต้แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน

3. ขอบเขตของการศึกษา

บทความนี้เป็นการวิเคราะห์แนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืนซึ่งถือเป็นแนวคิดกระแสหลักในปัจจุบัน โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1.แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน

2.ความสัมพันธ์ระหว่างการพัฒนาที่ยั่งยืนกับหลักธรรมธัมมจักกัปปวัตตนสูตรของพระพุทธศาสนาในมิติการสร้างพลเมือง

3.การพัฒนาเยาวชนให้พร้อมสู่การเป็นพลเมืองภายใต้แนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน

4. วิธีการศึกษา

บทความนี้มีลักษณะเป็นบทความเชิงแนวคิด (Conceptual Paper) ซึ่งเป็นบทความทางวิชาการที่มุ่งเน้นการพัฒนาแนวคิด ทฤษฎี หรือกรอบความคิดเกี่ยวกับประเด็นด้านการพัฒนาที่ยั่งยืน และความเป็นพลเมือง จะเน้นไปที่การสังเคราะห์และบูรณาการแนวคิดต่างๆ ตามลำดับดังต่อไปนี้

1.แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development)

2.หลักธรรมธัมมจักกัปปวัตตนสูตรของพระพุทธศาสนา

3.หลักการของรัฐประศาสนศาสตร์แนวใหม่

4.หลักการสุจริตโมเดล (SUJARIT Model)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การศึกษาพลเมืองภายใต้แนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable development) ส่งผลให้ทราบว่าการพัฒนาอย่างยั่งยืนจะประสบความสำเร็จได้เพราะพลเมือง ซึ่งมาจากการให้ความสำคัญกับการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ การที่มนุษย์ทุกคนทราบประเด็นการพัฒนาเฉกเช่นเดียวกันไม่ว่าจะอยู่หนแห่งใดก็ตาม และการที่มนุษย์ทุกคนที่เห็นพ้องต้องกันเกิดการการลงมือทำเพื่อให้ประสบความสำเร็จ โดยเกิดการทำงานเชิงการบูรณาการและความร่วมมือทั้งในระดับบุคคล กลุ่มสังคม และองค์กร ทั้งหมดนี้กล่าวได้ว่าเป็นแนวเพื่อการขับเคลื่อนไปข้างหน้าพร้อมๆ กันอย่างไม่หยุดยั้งภายใต้เงื่อนไขของการการให้ความสำคัญกับการสร้างสมดุลเพื่อให้กับขับเคลื่อนนั้นสามารถไปข้างหน้าได้อย่างยั่งยืน จากการศึกษาจนเข้าใจแนวทางการศึกษาพลเมืองภายใต้แนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable development) นั้น หากวิเคราะห์ถึงแนวทางดังกล่าวอย่างแท้จริงจะสามารถตระรู้ว่าแนวทางที่วิเคราะห์มีความสอดคล้องกับแนวทางของหลักธัมมจักกัปปวัตตนสูตรของพระพุทธศาสนา

หลักธัมมจักกัปปวัตตนสูตร เกิดจากคำว่า ธัมม-จักก-ปวัตตน-สูตร ซึ่งแปลได้ว่า สูตรว่าด้วยเรื่องการปล่อยธรรมจักรให้หมุนไปที่ใครจะต้านทานให้ถอยกลับไม่ได้ คือ สัจจะที่ใครจะต้านทานได้ [12] พระพุทธเจ้าทรงแสดงพระธรรมเทศนาอันบรรยายถึงอริยสัจสี่ประการ ที่ไม่เคยมีใครค้นพบมาก่อนก็เท่ากับ "ทรงหมุนกงล้อ" ที่ไม่มีใครสามารถจะหยุดได้ แต่กงล้อที่ทรงหมุนเป็น "กงล้อแห่งธรรม" หรือ "กงล้อแห่งความจริงอันประเสริฐ" ล้อธรรมหมุนไปยังทิศทางใด จะขจัดทำลายโมหะอวิชชาออกจากจิตใจของผู้คน ให้ได้พบแสงสว่างแห่งชีวิต บันดาลแต่ความสงบสันติสุขแก่ชาวโลก ไม่เหมือนล้อรถศึกของมหาราชทางโลก ที่พัดพาเอากลิ่นอายแห่งการฆ่าฟันตามไปด้วย เพราะเหตุฉะนี้ พระพุทธองค์จึงมีพระนามอีกอย่างว่า "พระธรรมราชา" (พระราชาแห่งธรรม)

มีพระสารีบุตรอัครสาวกช่วยเผยแผ่พระธรรม เป็น "พระธรรมเสนาบดี" [13] จากหลักธรรมแห่งพระธรรมราชานั้นถือเป็กหลักการที่ผู้นำสามารถมาใช้ในการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน (Sustainability Organization Development) ได้เป็นอย่างดี ซึ่งหลักสำคัญที่พระองค์ทรงแสดงนั้นเรียกว่าอริยมรรค พระธนายุพงศ์ อาสนธิ์ กล่าวว่า อริยมรรคเป็นข้อปฏิบัติที่เป็นทางสายกลางอันประเสริฐ ซึ่งนำไปสู่การแก้ปัญหาของชีวิตเพื่อให้มีชีวิตที่ดีงามถูกต้องสมบูรณ์ทางจิตใจ และปัญญา มีองค์ประกอบซึ่งเป็นวิธีปฏิบัติอันถูกต้อง 8 ประการ สรุปรวมลงได้ในไตรสิกขา [14] สรุปได้ว่าหลักธัมมจักกัปปวัตตนสูตรเปรียบเสมือนการเคลื่อนวงล้อแห่งธรรมอย่างมีทิศทางและไม่หยุดยั้ง ภายใต้เงื่อนไขการลงมือปฏิบัติตามในธรรมที่ควรเจริญนั้นคืออริยมรรคจึงจะทำให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนในเชิงปฏิบัติ (Sustainable development in action)

จากที่กล่าวข้างต้นว่าหลักธัมมจักกัปปวัตตนสูตรเป็นการพัฒนาที่ยั่งยืนในเชิงปฏิบัติ (Sustainable development in action) เป็นการปฏิบัติในทางสายกลาง ซึ่งธเนศ เกษศิลป์ ให้นิยามว่าเป็นแนวทางของการเข้าใจสภาพของสรรพสิ่งอย่างแท้จริงว่าสิ่งหนึ่งมีความเกิดขึ้นเพราะปัจจัยอะไร ตั้งอยู่ได้อย่างไร และสิ่งเหล่านั้นเสื่อมสลายไปเพราะอะไร แล้วนำมาแก้ไขหรือหาทางออกให้กับสังคมโดยแนวทางที่ถูกต้อง (สัมมาทิฐิ) [15] ส่วนพิบูล ชัชวานิชย์ กล่าวว่าเป็นทางแห่งความหลุดพ้นจากความยึดมั่นถือมั่นเป็นทางแห่งการดับทุกข์โดยสิ้นเชิง [16] และหรรษา ธมมหาโส กล่าวว่าพระพุทธเจ้าทรงนำเสนอให้เป็นทางเลือกในการปฏิบัติเพื่อให้หลุดจากกับดักของทุกข์คือความขัดแย้งและความรุนแรง [17] ฉะนั้นจะทราบได้ว่าธรรมจักรซึ่งเป็นทางสายกลางนั้นถือเป็นแนวทางที่เป็นประโยชน์แก่กลลุ่มเด็กและเยาวชนเพื่อสร้างความเป็นพลเมือง โดยผู้ศึกษาจะให้นิยามการเป็นแนวทางนี้ว่าเป็นภาพคงที่ (Static) ที่มีคุณภาพ

ถึงอย่างไรก็ตามการพัฒนากลุ่มเด็กและเยาวชนให้มุ่งไปสู่การเป็นองค์กรที่มีสมรรถนะสูง (High Performance Organization) จำเป็นจะต้องสร้างพลังของบุคคลผู้เป็นพลเมืองที่มากกว่าภาพคงที่ด้วยการพัฒนาพลังแห่งพลวัตหรือภาพเคลื่อนไหว (Dynamic) หมายถึง การดำเนินการอย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างประสบการณ์ของการทำงานจนเกิดระดับความเข้าใจต่อการรับผิดชอบสังคมจนกระทั่งมีความลึกซึ่งถึงการทำคุณประโยชน์เพื่อสาธารณะหรือเรียกอีกประการหนึ่งคือการสร้างจิตสำนึกอย่างยั่งยืน ซึ่งมีปัจจัยทั้งหมด 6 ประการ อันประกอบไปด้วย การเป็นผู้ลงมือทำ (Acter) ด้วยตนเอง การเลือกกลุ่มเป้าหมาย (Target) ความเข้าใจ (Understand) การเกิดความตระหนักในความจริง (Realize) การบูรณาการ (Interest) การแสดงเหตุผล (Justify) หากเด็กและเยาวชนสามารถลงมือปฏิบัติอย่างต่อเนื่องได้จะส่งให้เกิดการเป็นพลเมืองที่มีคุณและสร้างการพัฒนาที่ยั่งยืนให้เกิดขึ้น และสิ่งสำคัญที่สุดคือหากกลุ่มเด็กและเยาวชนสามารถบริหารจัดการองค์กรโดยใช้วิธีการนี้จะส่งผลให้เกิดการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน (Sustainability Organization Development)

เมื่อเข้าใจแนวทางการศึกษาพลเมืองภายใต้แนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืนและเกิดความตระหนักถึงหลักธัมมจักกัปปวัตตนสูตรของพระพุทธศาสนาแล้ว สามารถสังเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการพัฒนาที่ยั่งยืนกับหลักธัมมจักกัปปวัตนสูตรของพระพุทธศาสนา เพื่อให้เกิดแนวทางการเสริมสร้างต้นแบบความเป็นพลเมือง ภายใต้การใช้แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนเป็นกระแสหลักได้ทั้งหมด 4 ประการ ดังต่อไปนี้

ประการแรกแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืนต้องให้ความสำคัญกับพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ เพื่อให้มนุษย์พัฒนางานที่เกิดความสมดุลกันระหว่างสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งพัฒนาทรัพยากรมนุษย์จะต้องพัฒนาให้มนุษย์เป็นผู้ลงมือทำในสิ่งที่ดี (สัมมากัมมันตะ) ทำด้วยความต่อเนื่องสม่ำเสมอ (สัมมาวายามะ) จนกระทำเกิดจิตที่ตั้งมั่น (สัมมาสมาธิ) ที่จะทำกลายเป็นจิตสำนึกของการเป็นผู้ลงมือทำ (Acter) แต่ถึงอย่างไรก็ตามการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์นอกจากจะพัฒนาตนเองเองแล้วผู้ลงมือทำหรือบุคคลที่หนึ่งจำเป็นจะต้องพัฒนาบุคคลที่สองหรือบุคคลที่สามซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมาย (Target) ที่ทำงานร่วมกับเรา เพื่อให้เกิดการทำงานหรือดึงชีพร่วมกันอย่างสุจริต (สัมมาอาชีวะ)

ประการที่สองแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืนคือการที่ทุกคนทราบประเด็นการพัฒนาเฉกเช่นเดียวกันไม่ว่าจะอยู่หนแห่งใดก็ตามเป็นสิ่งที่เกิดต่อจากการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ทั้งบุคคลที่หนึ่ง สอง และสาม โดยที่ผู้ลงมือทำหรือบุคคลที่หนึ่งกระด้วยความคิดจากใต้จิตสำนึกโดยชอบ (สัมมาสังกัปปะ) จนสามารถความเข้าใจ (Understand) โจทย์ของสังคมหรือสาเหตุแห่งทุกข์ได้ ส่วนกลุ่มเป้าหมาย (Target) หรือบุคคลที่สองและสองมีรู้สภาวะที่เกิดขึ้นจริงในขณะปัจจุบัน (สัมมาสติ) สามารถเกิดความตระหนักในความจริง (Realize) ของสังคมได้

ประการที่สามแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืนเป็นการทำงานเชิงการบูรณาการและความร่วมมือทั้งในระดับบุคคล กลุ่มสังคม และองค์กร ซึ่งเป็นการปฏิบัติต่อจากการที่ทุกคนเห็นประเด็นการพัฒนาเฉกเช่นเดียวกัน โดยผู้ลงมือทำ (Acter) และกลุ่มเป้าหมาย (Target) มีการเจรจาต่อกัน (สัมมาวาจา) ในประเด็นเดียวกันเพื่อให้เกิดเป้าหมายที่สำเร็จร่วมกัน โดยเป้าหมายเกิดการทำงานอย่างบูรณการ (Interest)

ประการสุดท้ายแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืนเป็นการให้ความสำคัญกับการลงมือทำเพื่อให้ประสบความสำเร็จตามแผนที่ตกลงร่วมกัน ซึ่งเป็นการปฏิบัติต่อจากการทำงานเชิงการบูรณาการและความร่วมมือทุกระดับ โดยที่ผู้ลงมือทำ (Acter) และกลุ่มเป้าหมาย (Target) มีแผนการทำงานและมีศักยภาพการทำงานร่วมกันเป็นองค์กรที่มีความสมดุลทางศักยภาพอันเกิดมาจากความเห็นชอบรวมทั้งยอมรับ (สัมมาทิฏฐิ) ในแผนในการทำงานร่วมกัน ซึ่งเครื่องมือที่สำคัญที่จำเป็นต้องพัฒนาให้เกิดขึ้นในองค์กรนั่นคือการสร้างมนุษย์ให้มีความกล้าแสดงออกโดยใช้การแสดงเหตุผล (Justify)เป็นเครื่องมือหลักในการดำเนินตลอดการทำงาน

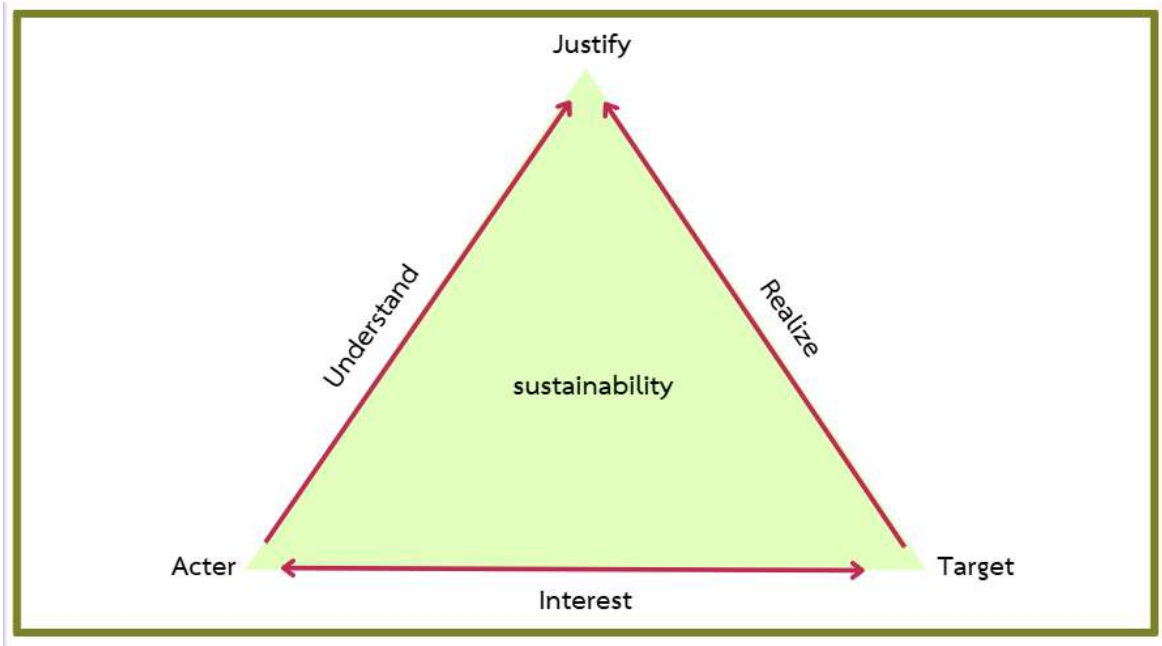
จากการนำเสนอแนวทางการเสริมสร้างต้นแบบความเป็นพลเมือง ภายใต้การใช้แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนเป็นกระแสหลักได้ทั้งหมด 4 ประการ สามารถสรุปได้ ตามตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการพัฒนาที่ยั่งยืนกับหลักธัมมจักกัปปวัตนสูตรของพระพุทธศาสนา

ความสัมพันธ์ระหว่างการพัฒนาที่ยั่งยืนกับหลักธัมมจักกัปปวัตนสูตรของพระพุทธศาสนา		
แนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable development)	**ธัมมจักกัปปวัตนสูตร (Sustainable development in action) อริยมรรค คือ ธรรมที่ควรเจริญ**	**การสังเคราะห์เพื่อให้เกิดการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน (Sustainability Organization Development)**
	ภาพคงที่ (Static)	**ภาพเคลื่อนไหวหรือพลวัต (Dynamic)**
การพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ เพื่อให้มนุษย์พัฒนางานที่เกิดความสมดุลกันระหว่างสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม	สัมมากัมมันตะ (การกระทำชอบ)	การเป็นผู้ลงมือทำ (Acter)
	สัมมาวายามะ (ความพยายามชอบ)	
	สัมมาสมาธิ (ความตั้งจิตมั่นชอบ)	
	สัมมาอาชีวะ (การเลี้ยงชีพชอบ)	การเลือกกลุ่มเป้าหมาย (Target)
การที่ทุกคนทราบประเด็นการพัฒนาเฉกเช่นเดียวกันไม่ว่าจะอยู่หนแห่งใดก็ตาม	สัมมาสังกัปปะ (ความดำริชอบ)	ความเข้าใจ (Understand)
	สัมมาสติ (การระลึกชอบ)	การเกิดความตระหนักในความจริง (Realize)
การทำงานเชิงการบูรณาการและความร่วมมือทั้งในระดับบุคคล กลุ่มสังคม และองค์กร	สัมมาวาจา (การเจรจาชอบ)	การบูรณาการ (Interest)
ให้ความสำคัญกับการลงมือทำเพื่อให้ประสบความสำเร็จตามแผนที่ตกลงร่วมกัน	สัมมาทิฏฐิ (ความเห็นชอบ)	การแสดงเหตุผล (Justify)

แนวทางการเสริมสร้างเด็กและเยาวชนต้นแบบความเป็นพลเมืองโดยจำเป็นจะต้องใช้หลักการสุจริตโมเดล (SUJARIT Model) ซึ่งใช้แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนเป็นกระแสหลัก สำหรับแนวทางสำคัญในการพัฒนาศักยภาพของเด็กและเยาวชนเครื่องมือของสุจิตโมเดลให้จำลองการพัฒนาเด็กและเยาวชนเป็นรูปแบบของการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (Motion of a Projectile) ในทางฟิสิกส์กล่าวคือการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นแนวโค้ง ในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่อย่าง เสรีด้วยแรงโน้มถ่วงคงที่ สำหรับการให้นิยามในทางการพัฒนาแล้วการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (Projectile) เป็นการพัฒนาในรูปแบบโปรเจค (Project) ถึงแม้หลักการแปลภาษาอังกฤษเป็นไทยจะแปลโปรเจคเป็นคำว่าโครงการที่จะต้องระบุโครงร่างของงานที่จะทำเท่านั้น แต่ในนิยามของผู้ศึกษาแล้ว รูปแบบโปรเจค (Project) คือการทำงานในรูปแบบ "การทำงานให้สำเร็จทุกระบบ" กล่าวคือจะต้องมีเด็กและเยาวชนเป็นผู้ทำมือทำ (Acter) แล้วลงมือทำด้วยความเข้าใจ (Understand) ในโจทย์ที่เกิดขึ้นในสังคม เด็กและเยาวชนซึ่งเป็นผู้ทำมือทำจะต้องเลือกกลุ่มเป้าหมาย (Target) ในการแก้ไขโจทย์ประเด็นสังคมร่วมกันโดยที่กลุ่มเป้าหมายนั้นจะต้องมีความตระหนักรู้ (Realize) ในสิ่งที่เกิดต่อสังคมเฉกเช่นเดียวกับเด็กและเยาวชน โดยสิ่งที่

สำคัญคือทั้งเด็กและเยาวชนผู้ลงมือทำและกลุ่มเป้าหมายจะต้องทำงานร่วมกันด้วยความต่อเนื่องในการบูรณาการ (Interest) การทำงาน และจะต้องทำงานร่วมกันโดยใช้ตรรกะพื้นฐานของการมีเหตุผล (Justify) ในการทำงาน เป็นไปตามแนวทางการเสริมสร้างต้นแบบความเป็นพลเมืองโดยใช้หลักการสุจริตโมเดล (SUJARIT Model) ภายใต้การใช้แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนเป็นกระแสหลัก ดังนี้



รูปที่ 1 แสดงแนวทางการเสริมสร้างต้นแบบความเป็นพลเมืองโดยใช้หลักการสุจริตโมเดล (SUJARIT Model) ภายใต้การใช้แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนเป็นกระแสหลัก

หากกระทำเช่นนี้ได้จะถือเป็นการพัฒนาเยาวชนให้เป็นพลเมืองได้อย่างยั่งยืน เกิดการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน (Sustainability Organization Development) และสร้างสังคมแห่งความยั่งยืนให้เกิดขึ้นได้ กล่าวคือ มีการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมอย่างสมดุลจากการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์

6. สรุปผลการศึกษา

แนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนซึ่งเป็นกระแสหลักจะเป็นแนวคิดสำคัญที่จำเป็นจะต้องมีเด็กและเยาวชนซึ่งเป็นพลเมืองร่วมเป็นกลไกสำคัญ แต่ถึงอย่างไรก็ตามจำเป็นจะต้องเกิดการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ในกลุ่มเด็กและเยาวชนตั้งแต่การสร้างเลือกใช้แนวทางที่คงที่และมีคุณภาพนั่นคือหลักธัมมจักกัปปวัตตนสูตร ซึ่งแนวทางนี้เองจะเสริมให้เกิดแนวปฏิบัติที่เป็นพลวัตหรือภาพเคลื่อนไหว (Dynamic) คือหลักการสุจริตโมเดล (SUJARIT Model) เป็นแนวทางการเสริมสร้างเด็กและเยาวชนต้นแบบความเป็นพลเมืองโดยใช้และสร้างการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน (Sustainability Organization Development) กล่าวคือกลุ่มเด็กและเยาวชนจะมีมุมมองการพัฒนาที่ไม่ได้คิดถึงตัวเองเพียงมิติเดียวหรือบุคคลที่หนึ่ง แต่ยังพัฒนาตนกลุ่มของตนเองให้เป็นองค์กรที่มีสมรรถนะสูง (High Performance Organization) เพื่อบุคคลที่สองคือคนรอบตัวและสิ่งแวดล้อมรอบตัว และยังกระทบถึงบุคคลที่สามนั่นคือสังคมและโลกซึ่งจะเป็นผลกระทบเชิงบวกที่ใหญ่ที่สุดทั้งสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

[1] วีระศักดิ์ บุญญดิษฐ์, พงษ์ศักดิ์ สุวรรณมาลย์, สุนทร อรุณโณและณัฏฐณิชา วรรณมณี. (2564). หลักการบริหารกับการพัฒนาที่ยั่งยืนของสังคมไทย. *มหาจุฬาตานีปริทรรศน์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ราชวิทยาลัย*, 3(6), 33-41

[2] กระทรวงการต่างประเทศ. (2564). *รายงานทบทวนการดำเนินการตามวาระการพัฒนาที่ยั่งยืน ค.ศ.2030 โดยสมัครใจของไทย พุทธศักราช 2564*. https://www.sdgport-th.org/2022/10/thailand-vnr-2021/

[3] บานชื่น นักการเรียน และ เพ็ญศรีบางบอน. (2559). การพัฒนาที่ยั่งยืน Sustainable Development. *สิรินธรปริทรรศน์*, 17(2), 64-69. https://so06.tcithaijo.org/index.php/jsrc/article/download/211501/146524

[4] วีระศักดิ์ บุญญดิษฐ์ และคณะ, "*หลักการบริหารกับการพัฒนาที่ยั่งยืนของสังคมไทย*," 33-41.

[5] Karen Whitfield. (2015). *Quick Guide to Sustainable Development: History and Concepts*. https://senedd.wales/media/n2icsxaw/qg15-003.pdf

[6] อัจฉรา รักยุติธรรม. (2554). การพัฒนาทางเลือกกระแสหลัก. *วารสารสังคมวิทยามานุษยวิทยา*, 30(2), 14-43. https://socanth.tu.ac.th/wpcontent/uploads/2012/09/JSA-30-2atchara.pdf?fbclid=IwAR2ejdNPTUAN3QrZwGOIKqH3F3Fu3d53XTLTN5WQZ8a1-NAqeJF_vdQ_PU

[7] United Nations General Assembly. (1987*). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.* https://shorturl.asia/xrnFM

[8] United Nations. (2023*). Fast Facts What is Sustainable Development?.* https://shorturl.asia/y2knM

[9] Scottish Government. (2023). *Wellbeing and Sustainable Development Bill: consultation analysis.* https://shorturl.asia/njJOh

[10] Deloitte. (2024). *Sustainability and Abundance? A Futurist Explains How It Can Happen*. https://shorturl.asia/RjvVD

[11] สำนักงานวิชาการและมาตรฐานการศึกษา. (2565). *พลโลกศึกษา: หัวเรื่อง และวัตถุประสงค์การเรียนรู้.* ศูนย์สื่อและสิ่งพิมพ์แก้วเจ้าจอม มหาวิทยาลัยสวยสุนันทา.

[12] จำนงค์ ทองประเสริฐ. (2561). *พระพุทธเจ้ากับแผนการกู้อิสรภาพ.* เอดิสัน เพรส โพรดักส์.

[13] เสฐียรพงษ์ วรรณปก. (2562). *ธัมมจักกัปปวัตตนสูตร | กงล้อแห่งความจริงอันประเสริฐ*. https://www.matichonweekly.com/column/article_173928.

[14] พระธนายุพงศ์ อาสนธิ์. (2565). อริยมรรคในฐานะเครื่องมือสร้างความสำเร็จในชีวิต. *พระธรรมทูต*, 2(1), 40-53

[15] ธเนศ เกษศิลป์. (2561). วิถีทางสายกลาง เพื่อความอยู่ร่วมกันของสังคมและลดการเบียดเบียนธรรมชาติแบบบูรณาการ. *ปรัชญาปริทรรศน์,* 23(1), 82-91. https://shorturl.asia/bqyGK

[16] พิบูล ชัชวานิชย์. (2567). ทางสายกลางแห่งปฏิจจสมุปบาท. *สถาบันพอดี*, 1(1), 54-68. https://shorturl.asia/qs1ux

[17] หรรษา ธมฺมหาโส. (2561*). ทางสายกลางคือทางรอดของชาวโลก.* https://www.mcu.ac.th/article/detail/343

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น

นฤมล กำลังเกื้อ[1*], อรวรรณ หนูแก้ว[2], และ วีณา คันฉ้อง[3]

[1]คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
[2]คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
[3]คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
** Corresponding author: koy_dekben_41@hotmail.com*

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงความสัมพันธ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น กลุ่มตัวอย่างคือ เด็กที่มีอายุ 6-12 ปี ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคสมาธิสั้น ที่มารับบริการที่คลินิกจิตเวชเด็กและวัยรุ่น โรงพยาบาลศูนย์ จำนวน 115 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 7 ส่วน คือ 1) แบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น และผู้ดูแลหลัก 2) แบบสอบถามทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น 3) แบบประเมิน SNAP-IV ด้านอาการขาดสมาธิ และอยู่ไม่นิ่ง/หุนหันพลันแล่น 4) แบบประเมินภาวะดื้อต่อต้าน 5) แบบประเมินการเห็นคุณค่าในตัวเอง 6) แบบประเมินสัมพันธภาพในครอบครัว และ 7) แบบประเมินการอบรมเลี้ยงดูในครอบครัว เครื่องมือที่ 2, 6 และ 7 ผ่านการตรวจสอบความตรงตามเนื้อหาจากผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน ได้ค่าดัชนีความตรงตามเนื้อหา (CVI) ของเครื่องมือที่ 2, 6 และ 7 เท่ากับ 0.95, 1.00 และ 1.00 ตามลำดับ และการตรวจสอบค่าความเที่ยงของเครื่องมือส่วนที่ 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 โดยคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาคได้ เท่ากับ .92, .94, .85, .96, .70 และ .74 ตามลำดับ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา และสถิติสหสัมพันธ์เพียร์สัน

ผลการวิจัยพบว่า ข้อมูลทั่วไปของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้นส่วนใหญ่เป็นเพศชาย ร้อยละ 85.2 และเพศหญิงร้อยละ 14.8 ระยะเวลาป่วยด้วยโรคสมาธิสั้นเฉลี่ย 3 ปี สถานภาพสมรสของบิดามารดาพบส่วนใหญ่สมรสอยู่ด้วยกัน ร้อยละ 62.6 อาศัยอยู่กับบิดามารดา ร้อยละ 83.5 ทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง (M=2.96, S.D.=0.605) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น ได้แก่ การเห็นคุณค่าในตัวเอง สัมพันธภาพในครอบครัว และการอบรมเลี้ยงดูในครอบครัว มีความสัมพันธ์ทางบวกระดับน้อยกับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01 (r = 0.297, r = 0.250 และ r = 0.265 ตามลำดับ)

ผลการวิจัยในครั้งนี้ เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับสามารถนำไปใช้ในการส่งเสริมทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้นได้

คำสำคัญ: ทักษะทางสังคม / เด็กวัยเรียนสมาธิสั้น / การเห็นคุณค่าในตัวเอง / สัมพันธภาพในครอบครัว / การอบรมเลี้ยงดูในครอบครัว

Factors Associated with Social Skills of School-Age Children with Attention Deficit-Hyperactivity Disorder

Narumon Kamlungkua[1*], Orawan Nukaew [2], And Weena Chanchong[3]

[1]Faculty of Nursing, Prince of Songkla University, Hat Yai District, Songkhla Province
[2]Faculty of Nursing, Prince of Songkla University, Hat Yai District, Songkhla Province
[3]Faculty of Nursing, Prince of Songkla University, Hat Yai District, Songkhla Province
** Corresponding author: koy_dekben_41@hotmail.com*

Abstract

The correlation research aims to exam factors related to social skills of school-age children with attention deficit-hyperactivity disorder (ADHD). The participants comprise 115 children, aged 6-12 years, diagnosed with ADHD, received treated in Child and Adolescent Psychiatric clinic at the general Hospital. The research instruments consisted of 7 parts: 1) a demographic data questionaire of children with ADHD and primary caregivers, 2) a social skill questionaire of children with ADHD, 3) a SNAP-IV part inattention and hyperactivity/impulsive , 4) a SNAP-IV part oppositional defiant, 5) a Rosenberg self-esteem questionnaire. 6) a family relationship questionnaire, and 7) a family rearing questionnaire. Content validity of Instrument part 2, 6 and 7 were verified by 3 experts, and CVI of 2, 6 and 7 yielded at 0.95, 1.00 and 1.00 respectively,. Reliability of instrument part 2, 3, 4, 5, 6 and 7 was tested by using Alpha Kronbach Coefficients, yielding value of .92, .94, .85, .96, .70 and .74, respectively. The data were analyzed using descriptive statistics and Pearson correlation statistics.

The results showed that the demographic data of school-age children with ADHD was majority 85.2 percent of males and 14.8 percent of females, mean of diagnosis time was 3 years. Moreover, parents' marital status were married and stay together, and 62.6 percent of those children lived with parents. Consideration, 83.5 percent of school-age children with ADHD are moderest social skills (M=2.96, S.D.=0.605). Factors of school-age children included self-esteem, family relationship, and family rearing were statistically significant positive and small level of correlation with the social skills of school-age children with ADHD at .01 (r = .297, r = .250 and r = .265, respectively).

The results of this research are the basic information that could implement for promote to social skills of children with DAHA.

Keywords: Social skills / School-age children with ADHD / Self-esteem / Family relationships / Family rearing

1. บทนำ

โรคสมาธิสั้น (Attention Deficit Hyperactivity Disorder: ADHD) เป็นโรคที่มีความบกพร่องในการทำหน้าที่ของสมอง ส่งผลให้เกิดความผิดปกติด้านพฤติกรรม การศึกษาในต่างประเทศ พบอัตราความชุกของโรคสมาธิสั้น ร้อยละ 5.29 พบในเด็กร้อยละ 6.48 และวัยรุ่น ร้อยละ 2.74 [1] และการศึกษาเด็กอายุน้อยกว่า 18 ปี พบโรคสมาธิสั้นร้อยละ 7.2 [2] ในประเทศไทยพบเด็กโรคสมาธิสั้น ร้อยละ 8.1 เพศชาย ร้อยละ 12 และเพศหญิง ร้อยละ 4.2 [3] โรคสมาธิสั้นมีอาการสำคัญ 3 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มอาการขาดสมาธิ (inattention) 2) กลุ่มอาการหุนหันพลันแล่น (impulsivity) และ 3) กลุ่มอาการซุกซน อยู่ไม่นิ่ง (hyperactivity) เริ่มแสดงอาการก่อนอายุ 12 ปี แสดงอาการทั้งที่บ้าน และที่โรงเรียน สาเหตุการเกิดโรคสมาธิเชื่อว่าเกิดจากหลายปัจจัย ได้แก่ การถ่ายทอดทางพันธุกรรม พบร้อยละ 75 การหลั่งสารโดปามีน และนอร์แอดรีนาลีนที่ไม่สมดุล การลดลงของขนาดและการทำงานของสมองส่วนหน้า [4] และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม การเลี้ยงดูในครอบครัวที่ไม่เหมาะสม เป็นสาเหตุการเกิดโรคสมาธิสั้นได้ [5] ผลกระทบของโรคสมาธิสั้น ส่งผลกระทบต่อเด็ก ด้านการเรียน การทำงานการควบคุมอารมณ์ การปรับตัวในการเข้าสังคม และด้านครอบครัว [3] ปัญหาด้านพฤติกรรม เด็กมักดื้อรั้น ต่อต้าน [6] เด็กมักทำร้ายเพื่อนหรือคนใกล้ชิด ส่งผลให้ไม่ได้รับการยอมรับ ขาดความภาคภูมิใจ ส่งผลให้เกิดความรู้สึกมีคุณค่าในตัวเองต่ำ [7] ปัญหาด้านอารมณ์ มักพบว่าเด็กไม่สามารถควบคุมอารมณ์ได้ หงุดหงิด โกรธง่าย ปัญหาด้านการเรียน พบว่าไม่มีสมาธิ วอกแวกง่าย ทำงานไม่สำเร็จ ปัญหาด้านความรู้สึกมีตราบาป เด็กมักถูกตีตราว่าเป็นโรค ทำให้รู้สึกมีปมในจิตใจ [3] ปัญหาที่กล่าวมาแล้วข้างต้น มีความเกี่ยวข้อง และส่งผลกระทบต่อความบกพร่องในการเข้าสังคมของเด็กสมาธิสั้น ซึ่งจะเป็นปัญหาต่อเนื่องไปจนถึงวัยผู้ใหญ่

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น มีปัจจัยด้านตัวเด็กและด้านครอบครัว ดังนี้ ปัจจัยด้านตัวเด็ก พบว่า (1) การเห็นคุณค่าในตัวเอง มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ($r=.556$, $P<.05$) [8] (2) อาการขาดสมาธิ มีความสัมพันธ์ทางลบกับทักษะทางสังคมของเด็กสมาธิสั้น ชั้นประถมศึกษา ($\beta=-8.8$, $P<0.001$) [9] (3) อาการขาดสมาธิ ที่มีอาการอยู่ไม่นิ่ง/หุนหันพลันแล่นร่วมด้วย มีความสัมพันธ์ทางลบกับทักษะทางสังคมของเด็กสมาธิสั้น ชั้นประถมศึกษา ($\beta=-7.3$, $P<0.001$) [9] (4) อาการดื้อต่อต้าน มีความสัมพันธ์ทางลบกับทักษะทางสังคมของเด็กสมาธิสั้น ชั้นประถมศึกษา ($\beta=-5.9$, $P<0.001$) [9] ปัจจัยด้านครอบครัว พบว่า (1) การเลี้ยงดูเชิงบวก มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กสมาธิสั้น ชั้นประถมศึกษา ($\beta=0.2$, $P=0.04$) [9] (2) การเลี้ยงดูเชิงลบ มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กสมาธิสั้น ชั้นประถมศึกษา ($\beta=-0.3$, $P=0.009$) [9] (3) ความสัมพันธ์ภายในครอบครัว มีความสัมพันธ์ทางบวกกับทักษะทางสังคมของเด็กและเยาวชนชาย ($r=.226$, $p<.01$) [10] และ (4) ความสัมพันธ์ภายในครอบครัว มีความสัมพันธ์ทางลบกับทักษะทางสังคมของเด็กสมาธิสั้น ($r=-.277$) [11]

ทักษะทางสังคม หมายถึง ความสามารถในการสื่อสารและการมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น สามารถบอกความรู้สึกและความต้องการได้ มีการควบคุมอารมณ์และแสดงออกด้านพฤติกรรมได้อย่างเหมาะสม สามารถแบ่งองค์ประกอบได้ 6 ด้าน 1) การแสดงออกทางอารมณ์ เป็นความสามารถในการแสดงความรู้สึก 2) ความไวในการรับรู้ เป็นความสามารถในการรับรู้อารมณ์ของผู้อื่น 3) การควบคุมทางอารมณ์ของตนเอง เป็นความสามารถในการแสดงออกทางอารมณ์ที่เหมาะสม 4) การแสดงออกทางสังคม เป็นความสามารถในการมีปฏิสัมพันธ์ และการพูดคุยกับผู้อื่น 5) ความไวในการรับรู้ทางสังคม เป็นความสามารถในการเข้าใจในสิ่งที่ผู้อื่นสื่อสาร และ 6) การควบคุมทางสังคม เป็นความสามารถในการแสดง และควบคุมพฤติกรรมให้มีความเหมาะสม [12]

โดยสรุปจากการทบทวนวรรณกรรม พบว่ามีการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กทั่วไป และการศึกษาในเด็กสมาธิสั้น พบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคม มีปัจจัยด้านตัวเด็ก และปัจจัยด้านครอบครัว ปัจจัยด้าน

ตัวเด็ก ได้แก่ อาการขาดสมาธิ อาการขาดสมาธิร่วมกับอาการอยู่ไม่นิ่ง/หุนหันพลันแล่น และการเห็นคุณค่าในตัวเอง ส่วนปัจจัยด้านครอบครัว ได้แก่ สัมพันธภาพในครอบครัว และการอบรมเลี้ยงดูในครอบครัว ซึ่งพบว่าการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้นยังมีน้อย ส่วนใหญ่พบการศึกษาในต่างประเทศ ส่วนในประเทศไทย พบการศึกษาในกลุ่มเด็กทั่วไป เด็กมัธยม เยาวชน และเด็กออทิสติก ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาปัจจัยดังกล่าว เพื่อนำสิ่งที่ได้จากการวิจัย นำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อส่งเสริมทักษะทางสังคมของเด็กสมาธิสั้นต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระดับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น
2. เพื่อศึกษาปัจจัยด้านตัวเด็ก และปัจจัยด้านครอบครัวที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น

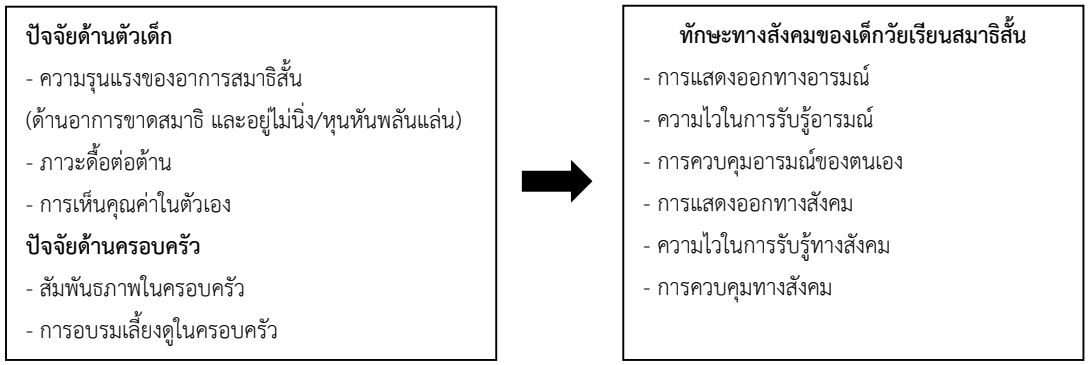
3. ขอบเขตของการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น ซึ่งทำการศึกษาในเด็กอายุ 6-12 ปี ที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคสมาธิสั้น ตามเกณฑ์ ICD-10 และผู้ดูแลหลักของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น อายุตั้งแต่ 20 ปีขึ้นไป ดูแลเด็กอย่างต่อเนื่อง 6 เดือนขึ้นไป ที่มารับบริการที่คลินิกจิตเวชเด็กและวัยรุ่น โรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช

4. วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงความสัมพันธ์ (Correlation Research) ที่ศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น ประกอบไปด้วย 2 ด้าน คือ ปัจจัยด้านตัวเด็ก และปัจจัยด้านครอบครัว

กลุ่มตัวอย่าง คือ เด็กที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคสมาธิสั้น ตามเกณฑ์ ICD-10 มีอายุ 6-12 ปี ที่มารับบริการคลินิกจิตเวชเด็กและวัยรุ่น โรงพยาบาลศูนย์ และผู้ดูแลหลักของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น มีอายุ 20 ปีขึ้นไป ดูแลเด็กอย่างต่อเนื่อง อย่างน้อย 6 เดือนขึ้นไป โดยมีกรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง วิเคราะห์อำนาจการทดสอบ (Power analysis) คำนวณด้วยโปรแกรม G*Power 3.1.9.4 [13] กำหนดค่าอิทธิพลขนาดกลาง (medium effect size) เท่ากับ 0.3 ค่าความคลาดเคลื่อน (α) เท่ากับ 0.05 และเลือกค่าอำนาจการทดสอบ (Statistical Power) เท่ากับ 0.906 จึงได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 115 ราย [14]

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วยเครื่องมือ 7 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป แบ่งออกเป็น ข้อมูลทั่วไปของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น และข้อมูลทั่วไปของผู้ดูแลเด็กของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเอง ตามแนวคิดของริจิกโอ [12] ร่วมกับทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง มีค่าดัชนีความตรงเชิงเนื้อหา (CVI) เท่ากับ .95 และค่าความเที่ยงของเครื่องมือ คำนวณโดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค เท่ากับ .92

ส่วนที่ 3 แบบประเมินความรุนแรงของอาการสมาธิสั้น ใช้แบบประเมิน SNAP-IV (Short Form) ฉบับภาษาไทย ของณัทธร พิทยรัตน์เสถียร [15] นำใช้ 2 ด้าน คือ ด้านอาการขาดสมาธิ และด้านอาการอยู่ไม่นิ่ง/หุนหันพลันแล่น มีค่าความเที่ยงของเครื่องมือ คำนวณโดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค เท่ากับ .94

ส่วนที่ 4 แบบประเมินภาวะดื้อต่อต้าน ใช้แบบประเมิน SNAP-IV (Short Form) ฉบับภาษาไทย ของณัทธร พิทยรัตน์เสถียร [15] นำใช้ 1 ด้าน คือ ด้านอาการดื้อต่อต้าน มีค่าความเที่ยงของเครื่องมือ คำนวณโดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค เท่ากับ .85

ส่วนที่ 5 แบบประเมินการเห็นคุณค่าในตัวเอง (Rosenberg Self-Esteem Scale Thai Revised) ฉบับภาษาไทย ของชนัสนันท์ การัยภูมิ [16] มีค่าความเที่ยงของเครื่องมือ คำนวณโดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค เท่ากับ .96

ส่วนที่ 6 แบบประเมินสัมพันธภาพในครอบครัว ของอวาทิพย์ แว [17] มีค่าดัชนีความตรงเชิงเนื้อหา (CVI) เท่ากับ 1.00 มีค่าความเที่ยงของเครื่องมือ คำนวณโดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค เท่ากับ .70

ส่วนที่ 7 แบบประเมินการอบรมเลี้ยงดูในครอบครัว ของอวาทิพย์ แว [17] มีค่าดัชนีความตรงเชิงเนื้อหา (CVI) เท่ากับ 1.00 มีค่าความเที่ยงของเครื่องมือ คำนวณโดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค เท่ากับ .74

4.1 รวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลโดยวิธีการตอบแบบสอบถาม ผู้เก็บข้อมูล คือ พยาบาลวิชาชีพที่ผ่านการอบรมด้านการวิจัยในมนุษย์ ผู้ตอบแบบสอบถาม คือ เด็กวัยเรียนสมาธิสั้น และผู้ดูแลหลัก ใช้เวลาตอบแบบสอบถาม 20-30 นาที เก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนมีนาคม 2568 เก็บรักษาข้อมูลไว้ไม่เกิน 3 ปี นับจากวันเก็บข้อมูล งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เลขที่ PSU IRB 2024-St-Nur 040 (Internal) (เมื่อ 12 ธันวาคม 2567) และโรงพยาบาลมหาราชนครศรีธรรมราช เลขที่ B007/2568 (เมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2568)

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้สถิติสหสัมพันธ์เพียร์สัน

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น พบว่าเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น จำนวน 115 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย ร้อยละ 85.2 มีอายุเฉลี่ย 10 ปี โดยมีอายุระหว่าง 10-12 ปี มากที่สุด ร้อยละ 51.1 ส่วนใหญ่นับถือศาสนาพุทธ ร้อยละ 91.3 ระดับ

การศึกษาประถมศึกษาปีที่ 5 มากที่สุด ร้อยละ 23.5 มีประวัติการซ้ำชั้นเรียน ร้อยละ 6.1 มีโรคทางกายที่พบมากที่สุดคือ โรคภูมิแพ้ ร้อยละ 8.7 ป่วยด้วยโรคสมาธิสั้นเฉลี่ย 3 ปี สถานภาพสมรสของบิดามารดาส่วนใหญ่ สมรส/อยู่ด้วยกัน ร้อยละ 62.6

ส่วนที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ดูแลหลักของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 87.8 มีอายุเฉลี่ย 44 ปี มีอายุระหว่าง 24-44 ปี ร้อยละ 58.9 ส่วนใหญ่นับถือศาสนาพุทธ ร้อยละ 91.3 สถานภาพสมรส/อยู่ด้วยกัน ร้อยละ 69.6 ระดับการศึกษามัธยมศึกษา ร้อยละ 32.2 ส่วนใหญ่มีอาชีพรับจ้าง ร้อยละ 23.5 มีโรคประจำตัว ร้อยละ 22.6 ส่วนใหญ่ป่วยด้วยโรคความดันโลหิตสูง ร้อยละ 10.4 โรคไขมันในเลือดสูง ร้อยละ 9.6 และป่วยด้วยโรคเบาหวาน ร้อยละ 7.0 ตามลำดับ

5.2 การวิเคราะห์ทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น

การวิเคราะห์ทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น นำเสนอด้วยค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้นโดยภาพรวม และรายด้าน (N=115)

ทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น	M	S.D.	ระดับ
ความไวในการรับรู้ทางสังคม	3.14	0.837	ปานกลาง
ความไวในการรับรู้	3.07	0.809	ปานกลาง
การแสดงออกทางสังคม	3.03	0.797	ปานกลาง
การควบคุมทางสังคม	2.96	0.832	ปานกลาง
การแสดงออกทางอารมณ์	2.85	0.761	ปานกลาง
การควบคุมอารมณ์ของตนเอง	2.73	0.855	ปานกลาง
โดยรวม	2.96	0.605	ปานกลาง

จากตารางที่ 1 พบว่าระดับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้นมีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง (M=2.96, S.D.=0.605) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า ระดับของทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้นทั้ง 6 ด้าน อยู่ในระดับปานกลาง โดยด้านที่มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุด คือ ด้านความไวในการรับรู้ทางสังคม (M=3.14, S.D.=0.837 และด้านที่มีคะแนนเฉลี่ยต่ำสุดคือ ด้านการควบคุมอารมณ์ของตนเอง (M=2.73, S.D.= 0.855)

5.3 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สันของปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น

วิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สันของปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น ที่ประกอบด้วยปัจจัยด้านตัวเด็ก และปัจจัยด้านครอบครัว ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สันของปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น (N=115)

ตัวแปร	1 (1.1)	1 (1.2)	2	3	4	5	6
1. ความรุนแรงของอาการสมาธิสั้น							
1.1 ด้านอาการขาดสมาธิ	1						
1.2 ด้านอยู่ไม่นิ่ง/หุนหันพลันแล่น	.756**	1					
2. ภาวะดื้อต่อต้าน	.580**	.727**	1				
3. การมีคุณค่าในตัวเอง	-.119	-.177	-.086	1			
4. สัมพันธภาพในครอบครัว	-.219*	-.198*	-.155	.338**	1		
5. การอบรมเลี้ยงดูในครอบครัว	-.165	-.113	-.032	.325**	.551**	1	
6. ทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น	-.064	-.107	-.103	.297**	.250**	.265**	1

หมายเหตุ **p < 0.01

จากตารางที่ 2 พบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น ได้แก่ การเห็นคุณค่าในตัวเอง (r=.297, p<0.01) สัมพันธภาพในครอบครัว (r=.250, p<0.01) และการอบรมเลี้ยงดูในครอบครัว (r=.265, p<0.01) มีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยกับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.1

5.4 ผลการศึกษาข้อมูลผลงานวิชาการในฐานข้อมูล Scopus

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ พบว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การมีคุณค่าในตัวเอง (r=.297, p<.01) สัมพันธภาพในครอบครัว (r=.250, p<.01) และการอบรมเลี้ยงดูในครอบครัว (r=.265, p<.01) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

การเห็นคุณค่าในตัวเอง พบว่าเด็กวัยเรียนสมาธิสั้นมีการเห็นคุณค่าในตัวเองในระดับมาก ร้อยละ 63.5 (M=2.82, S.D.=0.567) และการเห็นคุณค่าในตัวเอง มีความสัมพันธ์กันทางบวกในระดับน้อยกับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (r=.297, p<.01) สอดคล้องกับการศึกษาของนุชรี บัวโค [8] ที่ศึกษาพบว่าการเห็นคุณค่าในตนเอง มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 (r=.556, p<.05) สามารถอธิบายได้ว่า การเห็นคุณค่าในตัวเองยิ่งมาก ส่งผลให้ทักษะทางสังคมยิ่งมากด้วยเช่นกัน การเห็นคุณค่าในตัวเองทำให้เด็กรู้สึกว่าตนเองมีความสำคัญ และได้รับการยอมรับจากผู้อื่น ช่วยให้เด็กสามารถใช้ชีวิตอยู่ร่วมกับผู้อื่นได้ ส่งผลทำให้เด็กมีทักษะทางสังคมที่ดีขึ้นด้วย [18] การเห็นคุณค่าในตัวเอง จึงช่วยลดผลกระทบด้านสัมพันธภาพกับผู้อื่นของเด็กสมาธิสั้นได้

สัมพันธภาพในครอบครัว พบว่าสัมพันธภาพในครอบครัวของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้นอยู่ในระดับปานกลาง ร้อยละ 67.9 (M=2.16, S.D.=0.360) และสัมพันธภาพในครอบครัว มีความสัมพันธ์กันทางบวกในระดับน้อยกับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (r=.250, p<.01) สอดคล้องกับการศึกษาของพรพรรณ มากบุญ [10] ที่ศึกษาพบว่าสัมพันธภาพในครอบครัว มีความสัมพันธ์ทางบวกกับทักษะทางสังคมของเด็กและเยาวชนชาย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (r=.226, p<.01) สามารถอธิบายได้ว่า ครอบครัวที่มีระดับของสัมพันธภาพในครอบครัวที่สูง ก็จะยิ่งส่งผลต่อทักษะทางสังคมมากขึ้นตามไปด้วย การมีปฏิสัมพันธ์ที่ดี มีความเข้าอกเข้าใจกัน พูดคุยปรึกษาหารือกันในครอบครัว ส่งผลให้เด็กสามารถเข้าสังคม และมีทักษะในการปฏิบัติตัวและใช้ชีวิตร่วมกับผู้อื่นได้ สัมพันธภาพในครอบครัว จึงช่วยลดผลกระทบด้านสัมพันธภาพกับผู้อื่นของเด็กสมาธิสั้นได้

การอบรมเลี้ยงดูในครอบครัว พบว่าการอบรมเลี้ยงดูในครอบครัวของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น อยู่ในระดับปานกลาง ร้อยละ 61.8 (M=2.23, S.D.=0.325) และพบว่าการอบรมเลี้ยงดูในครอบครัว มีความสัมพันธ์กันทางบวกในระดับน้อยกับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (r=.265, p<0.01) สอดคล้องกับการศึกษาของอนัญญา ชัยวัฒนพงศ์ [9] ที่ศึกษาพบว่าการเลี้ยงดูเชิงบวก มีความสัมพันธ์ทางบวกกับทักษะทางสังคมของเด็กสมาธิสั้น ชั้นประถมศึกษา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (β=0.2, P=0.04) และพบว่าการเลี้ยงดูเชิงลบ มีความสัมพันธ์ทางลบกับทักษะทางสังคมของเด็กสมาธิสั้น ชั้นประถมศึกษา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (β=−0.3, P=0.009) สามารถอธิบายได้ว่า การอบรมเลี้ยงดูในทางบวก เช่น มีการดูแลเอาใจใส่ อบรมสั่งสอนเด็ก และการใช้กฎระเบียบที่ไม่เคร่งครัดจนเกินไป ส่งผลต่อทักษะทางสังคมที่ดีขึ้น เด็กจะปฏิบัติต่อผู้อื่นตามสิ่งที่ได้รับการเลี้ยงดูมา และการเลี้ยงดูเชิงลบ เช่น ขาดการดูแลเอาใจใส่เด็ก การลงโทษเด็กทางด้านร่างกาย ส่งผลให้เด็กเกิดการเรียนแบบพฤติกรรม เมื่อเกิดความขัดแย้งกับผู้อื่น เด็กมักจะใช้ความรุนแรงในการแก้ไขปัญหา ส่งผลให้ไม่ได้รับการยอมรับจากผู้อื่น มีปัญหาด้านการขาดทักษะทางสังคมตามมา การอบรมเลี้ยงดูในครอบครัว จึงช่วยลดผลกระทบด้านสัมพันธภาพกับผู้อื่นของเด็กสมาธิสั้นได้

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษา พบว่าทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้นโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง (M= 2.96, S.D.=0.605) โดยด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ ด้านความไวในการรับรู้ทางสังคม (M= 3.14, S.D.= 0.837) และด้านที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด คือ ด้านการควบคุมอารมณ์ของตนเอง (M= 2.73, S.D.= 0.855) และเมื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้น โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน พบว่าตัวแปรปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้นมี 3 ตัวแปร ได้แก่ การเห็นคุณค่าในตัวเอง (r=0.297, p<0.01) สัมพันธภาพในครอบครัว (r=0.250, p<0.01) และการอบรมเลี้ยงดูในครอบครัว (r=0.265, p<0.01) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยกับทักษะทางสังคมของเด็กวัยเรียนสมาธิสั้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.1

เอกสารอ้างอิง

[1] Polanczyk, G., de Lima, M., Horta, B., Biederman, J., & Rohde, L. (2007). The worldwide prevalence of ADHD. *A systematic review and metaregression analysis, 164*(6), 948-8.

[2] Thomas, R., Sanders, S., Doust, J., Beller, E., Glasziou, P. (2015). Prevalence of attention-deficit/hyperactivity disorder. *A systematic review and meta-analysis, 135*(4), 994-1001.

[3] ชาญวิทย์ พรนภดล. (2561). *โรคสมาธิสั้น*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ศิริราช คณะแพทย์ศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล.

[4] นวนันท์ ปิยะวัฒน์กูล, กุศลาภรณ์ ชัยอุดมสม, ศิริวรรณ ปิยวัฒนเมธา และ นรักษ์ ชาติบัญชาชัย. (2562). *จิตเวชศาสตร์ Psychiatry* (พิมพ์ครั้งที่ 3). ขอนแก่น: ภาควิชาจิตเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลับขอนแก่น.

[5] พรชฎา ศรีสิงหสงคราม. (2567). Attention-Deficit / *Hyperactivity Disorder in Preschoolers.* สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2567, จาก https://ped.md.chula.ac.th/wp-content/uploads/2024/08/CUPA22-EBook-30.pdf.

[6] นันทชา สงวนกุลชัย และ จินตนา ยูนิพันธุ์. (2556). *ความสัมพันธ์ระหว่าง สภาพแวดล้อมในครอบครัวด้านสัมพันธภาพ พฤติกรรมการเป็นพ่อแม่ ภาวะซึมเศร้าของแม่และภาวะติดสุราของพ่อ กับปัญหาพฤติกรรมในเด็กสมาธิสั้น ภาคกลางตอนบน* (วิทยานิพนธ์พยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการพยาบาลสุขภาพจิตและจิตเวช, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

[7] สาวิตรี วงศ์กิติรุ่งเรือง. (2550). การสนับสนุนครอบครัวที่มีเด็กออทิสติกสเปกตรัม. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 42*(2), 35-50.

[8] นุชรี บัวโค. (2562). *ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับทักษะทางสังคมของนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษา กรุงเทพมหานคร* (วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).

[9] อนัญญา ชัยวัฒนพงศ์, วศิน เลาหวินิจ, จิรดา ประสาทพรศิริโชค และ ศศิธร ปรีชาวุฒิเดช. (2567). ทักษะทางสังคมและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในเด็กสมาธิสั้นชั้นประถมศึกษาตอนปลายที่มารับการรักษาแบบผู้ป่วยนอก แผนกจิตเวชเด็กและวัยรุ่น โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์. *วารสารสมาคมจิตแพทย์แห่งประเทศไทย, 69*(1), 17-31.

[10] พรพรรณ มากบุญ. (2555). *ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อทักษะทางสังคมของเด็กและเยาวชนชายในศูนย์ฝึกอบรมเด็กและเยาวชนชายเขต 2 จังหวัดราชบุรี* (วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร).

[11] ดรุณี งามขำ และ จินตนา ยูนิพันธุ์. (2556). ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยครอบครัวกับปัญหาพฤติกรรมของเด็กสมาธิสั้น ภาคตะวันออก. *วารสารการพยาบาลจิตเวชและสุขภาพจิต, 27*(1), 16-28.

[12] Riggio, R. E. (1986). Assessment of basic social skills. *Journal of Personality and Social Psychology*, *51*(3), 649-660.

[13] นงลักษณ์ วิรัชชัย. (2555). การกำหนดขนาดตัวอย่างและสถิติวิเคราะห์ใหม่ๆที่น่าสนใจ. สืบค้นเมื่อ 6 มกราคม 2567, จาก http://lllskill.com/web/files/GPower.pdf.

[14] Cohen, J. (1977). *Statistical power for the behavioral sciences* (2nd ed). New Yoek: Academic Press.

[15] ณัทธร พิทยรัตน์เสถียร, ธันวรุจน์ บูรณะสุขสกุล, ดุษฎี จึงศิรกุลวิทย์ และ ทรงภูมิ เบญญากร. (2557). คุณสมบัติของแบบคัดกรอง โรคสมาธิสั้นชื่อ Swanson, Nolan, and Pelham IV Scale (SNAP-IV) และ Strengths and Difficulties Questionnaire ส่วนที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมอยู่ไม่นิ่ง/สมาธิสั้น (SDQ-ADHD) ฉบับภาษาไทย. *วารสารสมาคมจิตแพทย์แห่งประเทศไทย, 59*(2), 97-110.

[16] ชนัสนันท์ การัยภูมิ และ เฉลิมขวัญ สิงห์วี. (2567). ผลของชุดกิจกรรมที่มีต่อการเห็นคุณค่าในตนเองของกลุ่มนักเรียนดุริยางค์ ทหารอากาศ ชั้นปีที่ 3 โรงเรียนดุริยางค์ทหารอากาศ. *วารสารสวนสุนันทาวิชาการและวิจัย, 17*(1), 1-11.

[17] อวาทิพย์ แว. (2550). *ปัจจัยด้านครอบครัวและสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อพฤติกรรมทางเพศของนักเรียนระดับอาชีวศึกษาในเขตเทศบาลนครยะลา* (ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์).

[18] Coopersmith, S. (1981). *The antecedents of self-esteem.* Consulting Psychologists Press.

การออกแบบผลิตภัณฑ์ด้วยการอัปไซคลิ่งผ้า Non-woven เหลือใช้ทางการแพทย์: ความร่วมมือระหว่างโรงพยาบาลกรุงเทพขอนแก่นและคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

มนต์ธิดา เลิศนิมานรดี*, เกศินี ศรีสองเมือง, และขวัญหทัย ธาดา

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
* Corresponding author: montile@kku.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นความร่วมมือระหว่างคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และโรงพยาบาลกรุงเทพขอนแก่น ซึ่งมุ่งเน้นการพัฒนาแนวทางการจัดการวัสดุเหลือใช้จากโรงพยาบาลผ่านกระบวนการ "อัปไซคลิ่ง" (Upcycling) โดยเฉพาะผ้า Non-woven ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ หมายถึงผ้าสปันบอนด์ (Spunbond Nonwoven Fabric) ซึ่งเป็นผ้าไม่ถักไม่ทอชนิดหนึ่ง ผลิตจากการหลอมเส้นใยโพลีโพรพิลีน (PP) โดยทั่วไปนิยมใช้ในโรงพยาบาลสำหรับห่อเครื่องมือแพทย์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อ เนื่องจากมีคุณสมบัติกันน้ำ น้ำหนักเบา และไม่ปนเปื้อนง่าย การดำเนินงานประกอบด้วยการศึกษาและคัดเลือกวัสดุที่มีศักยภาพ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบและการผลิตร่วมกับชุมชน โครงการใช้แนวคิด Circular Design และ Sustainable Material Management ผสานกับการพัฒนาความร่วมมือแบบข้ามภาคส่วน เพื่อยกระดับองค์กรให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผลลัพธ์ของโครงการ ได้แก่ การลดปริมาณขยะผ้าสปันบอนด์ เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ เช่น กระเป๋าใส่ยา หมวกเด็กพร้อมผ้ากันเปื้อน และเสื่อพับ รวมถึงการส่งเสริมโอกาสสำคัญสำหรับนักศึกษาในการแสดงศักยภาพโดยนำวัสดุเก่ามาแปรรูปเป็นแฟชั่นร่วมสมัย สะท้อนถึงนวัตกรรมและความใส่ใจต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการนำผ้าสปันบอนด์เหลือใช้มาสร้างสรรค์ช่วยลดการใช้ผ้าดิบได้กว่า 40 เมตร ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้คัดเลือกยังช่วยส่งเสริมอาชีพให้กับกลุ่มเปราะบางในชุมชนใกล้เคียง เช่น กลุ่มแม่บ้านตัดเย็บในพื้นที่สามเหลี่ยม จังหวัดขอนแก่น ร่วมเป็นผู้ผลิตหลัก ผลงานนี้ยังได้รับรางวัลด้านนวัตกรรม Net Zero Healthcare จาก BDMS Awards 2024 แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืนผ่านการออกแบบที่เป็นรูปธรรม การวิจัยนี้เป็นต้นแบบของการบูรณาการระหว่างการศึกษา โรงพยาบาล และชุมชน ที่ไม่เพียงช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังสร้างคุณค่าทางเศรษฐกิจ สังคม และสุขภาวะอย่างเป็นรูปธรรมในระดับท้องถิ่นและองค์กร

คำสำคัญ: การอัปไซคลิ่ง / การออกแบบอย่างยั่งยืน / การจัดการขยะโรงพยาบาล / การเสริมพลังชุมชน / เศรษฐกิจหมุนเวียน

Product Design through Upcycling of Non-Woven Medical Waste: A Collaboration between Bangkok Hospital Khon Kaen and the Faculty of Architecture, Khon Kaen University

Montida Lertnimanoradee*, Kesinee Srisongmuang, and Kwanhatai Thada

Faculty of Architecture, Khon Kaen University, Mueang District, Khon Kaen, Thailand.
** Corresponding author: montile@kku.ac.th*

Abstract

This project is a collaboration between the Faculty of Architecture, Khon Kaen University, and Bangkok Hospital Khon Kaen, focusing on the development of sustainable practices for managing hospital waste through upcycling, particularly non-woven fabrics used for sterilizing medical instruments that are non-contaminated. The process involves identifying and selecting high-potential materials, developing product prototypes, and collaborating with local communities in the production process.

The project applies Circular Design and Sustainable Material Management principles, integrated with cross-sectoral cooperation, to foster environmentally friendly innovation within organizations. The outcomes include reducing non-woven waste and creating new products such as medicine bags, baby hats with aprons, and folding mats. The initiative also provides valuable opportunities for students to showcase their creativity by transforming waste materials into contemporary fashion, reflecting both innovation and environmental consciousness. For instance, repurposing non-woven fabrics in fashion prototypes has reduced the use of virgin fabric by over 40 meters.

Additionally, selected products have supported income generation for vulnerable community groups, such as the local women's sewing group in Sam Liam, Khon Kaen, who serve as primary producers. The project was awarded the Net Zero Healthcare Innovation Award at the BDMS Awards 2024, demonstrating the potential of design-driven sustainability to transform organizations. This initiative serves as a model for integrating academia, healthcare institutions, and local communities to reduce environmental impact while creating economic, social, and health-related value at both local and organizational levels.

Keywords: Upcycling / Sustainable Design / Medical Waste Management / Community Empowerment / Circular Economy

1. บทนำ

ขยะเป็นปัญหาที่กำลังเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั่วโลก ไม่ว่าจะเป็นขยะจากครัวเรือน อุตสาหกรรม หรือหน่วยงานต่าง ๆ ปริมาณขยะที่มากเกินไปนี้ทำให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม โรงพยาบาลเป็นหนึ่งในแหล่งกำเนิดขยะที่สำคัญ ขยะที่เกิดจากการปฏิบัติงานทางการแพทย์ไม่เพียงแต่ประกอบด้วยขยะทั่วไป เช่น กระดาษ พลาสติก และอาหาร แต่ยังรวมถึงขยะที่เป็นอันตราย เช่น วัสดุที่ปนเปื้อนเชื้อโรค เครื่องมือแพทย์ใช้แล้ว และสารเคมีต่าง ๆ การจัดการขยะในโรงพยาบาลจึงต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคและสารพิษสู่สิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม วัสดุบางชนิดในโรงพยาบาลยังมีศักยภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่หรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม ซึ่งจะช่วยลดปริมาณขยะและสร้างประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสังคมได้อีกด้วย ยิ่งไปกว่านั้น แนวคิดการอัปไซคลิ่ง (Upcycling) หรือการแปรรูปวัสดุเหลือใช้ให้มีมูลค่าสูงขึ้น จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ได้รับความนิยมและความสนใจมากขึ้นในระดับสากล เนื่องจากสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) และการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

ผ้าสปันบอน (Spunbond) เป็นวัสดุที่ผลิตจากเส้นใยโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) โดยกระบวนการที่เรียกว่า Spunbond ซึ่งเป็นการฉีดพ่นพอลิเมอร์หลอมเหลวผ่านหัวฉีดขนาดเล็กเพื่อสร้างเส้นใยต่อเนื่อง จากนั้นจึงทำให้เย็นตัวและรวมกันเป็นผืนผ้า[1] ผ้าชนิดนี้นิยมใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มเครื่องมือแพทย์เพื่อการฆ่าเชื้อ เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นคือ มีความแข็งแรง น้ำหนักเบา สามารถระบายอากาศได้ดี และป้องกันการซึมผ่านของแบคทีเรียได้ อีกทั้งยังมีราคาไม่แพง อย่างไรก็ตาม หลังจากการใช้งานในโรงพยาบาล ผ้าสปันบอนที่ใช้ห่อหุ้มเครื่องมือแพทย์มักถูกทิ้งเป็นขยะ ทั้งที่ยังคงมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีและไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อโรค เนื่องจากเป็นวัสดุที่ใช้ห่อหุ้มเครื่องมือที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว[2] ขยะประเภทวัสดุเหลือใช้ทางการแพทย์ที่ไม่ปนเปื้อนสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ถึงร้อยละ 40-60 ซึ่งจะช่วยลดปริมาณขยะที่ต้องกำจัดและลดต้นทุนในการบริหารจัดการ[3] และแนวทางการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการแพทย์ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียนและพบว่า การนำวัสดุเหลือใช้มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ไม่เพียงลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังสร้างคุณค่าทางเศรษฐกิจและสังคมได้อีกด้วย[4] จึงเป็นโอกาสอันดีในการนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบอื่นๆ เพื่อมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและสร้างความยั่งยืนในทุกมิติของสังคม ทั้งนี้ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ร่วมกับโรงพยาบาลกรุงเทพขอนแก่นให้ความสำคัญกับนโยบายขับเคลื่อนองค์กร เพื่อมุ่งสู่เป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero) ลดการก่อเกิดขยะทางการแพทย์ที่นำมาสู่การเกิดภาวะโลกร้อน จึงได้จัดทำโครงการแปรรูปผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการอัปไซเคิลจากวัสดุเหลือใช้เพื่อแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่ามากขึ้น

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มจากผ้าสปันบอนด์ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการแพทย์
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ผ้าสปันบอนด์เป็นวัสดุทดแทนผ้าดิบในกระบวนการขึ้นต้นแบบตัดเย็บเสื้อผ้าสำหรับการเรียนรู้ของนักศึกษา
3. เพื่อส่งเสริมการมีส่วนร่วมระหว่างภาคเอกชน (โรงพยาบาลกรุงเทพขอนแก่น) มหาวิทยาลัย และชุมชน ในการแปรรูปวัสดุเหลือใช้ด้วยกระบวนการอัปไซคลิง
4. เพื่อประเมินผลกระทบของโครงการในมิติเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

3. กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้กรอบแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ซึ่งมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการใช้วัสดุใหม่ และยืดอายุการใช้งานของวัสดุ การบูรณาการแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนเข้ากับการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Circular Design) เป็นกุญแจสำคัญในการสร้างระบบเศรษฐกิจที่ยั่งยืนในระยะยาว เพราะช่วยให้การออกแบบคำนึงถึงวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ต้น [5] โดยมีแนวคิดที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย:

3.1 แนวคิดการอัปไซคลิง (Upcycling)

การอัปไซคลิง (Upcycling) หมายถึง กระบวนการนำวัสดุเหลือใช้มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าเพิ่ม โดยไม่ผ่านกระบวนการย่อยสลายหรือหลอมใหม่ จึงสามารถรักษาคุณสมบัติดั้งเดิมของวัสดุได้มากกว่าการรีไซเคิลทั่วไป ซึ่งมักทำให้คุณภาพของวัสดุลดลง[6] การอัปไซคลิงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นทั้งในวงการออกแบบและการจัดการสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ลดพลังงานในการผลิต และลดปริมาณขยะที่ต้องกำจัด[7] อีกทั้งยังสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ขององค์การสหประชาชาติ โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 12 ว่าด้วยการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน [8]

3.2 แนวคิดการจัดการวัสดุอย่างยั่งยืน (Sustainable Material Management)

การจัดการวัสดุอย่างยั่งยืน (Sustainable Material Management: SMM) เป็นแนวคิดที่มุ่งเน้นการใช้และจัดการวัสดุและทรัพยากรตลอดวงจรชีวิตอย่างมีประสิทธิภาพ โดยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคำนึงถึงข้อจำกัดของทรัพยากรธรรมชาติ [9] ที่บูรณาการการจัดการทรัพยากรตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ การผลิต การใช้งาน ไปจนถึงการจัดการเมื่อสิ้นสุดการใช้งาน โดยมุ่งเน้นการลดปริมาณวัสดุที่ใช้ (Reduce) การใช้ซ้ำ (Reuse) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และการสร้างมูลค่าเพิ่ม (Recovery) [10]

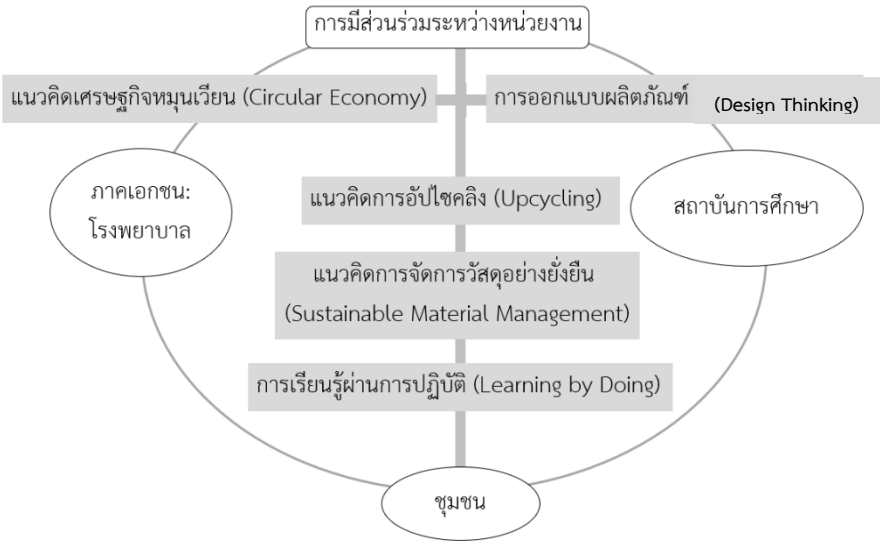
3.3 การเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติ (Learning by Doing)

เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการลงมือทำจริง เรียนรู้ผ่านประสบการณ์ตรง ซึ่งช่วยพัฒนาทักษะและความเข้าใจอย่างลึกซึ้ง[11] ในโครงการนี้ นักศึกษาได้ฝึกกระบวนการออกแบบและพัฒนาต้นแบบจากวัสดุเหลือใช้จริง

3.4 กระบวนการคิดเชิงออกแบบ (Design Thinking)

การดำเนินงานออกแบบผลิตภัณฑ์ในโครงการนี้อยู่ภายใต้แนวคิด "การคิดเชิงออกแบบ" หรือ Design Thinking ซึ่งเป็นกระบวนการออกแบบที่ให้ความสำคัญกับผู้ใช้งานเป็นศูนย์กลาง (Human-Centered Design) และเน้นการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ผ่านการเข้าใจผู้ใช้ในเชิงลึก แนวทางนี้สนับสนุนให้การออกแบบมีลักษณะเชิงทดลอง ยืดหยุ่น และส่งเสริมการมีส่วนร่วม ช่วยให้ผลิตภัณฑ์ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานในสถานการณ์จริง และสามารถขยายผลการออกแบบไปสู่การสร้างนวัตกรรมที่ยั่งยืนในระยะยาว ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1). การทำความเข้าใจผู้ใช้ (Empathize), 2). กำหนดปัญหา (Define), 3). การสร้างแนวคิด (Ideate), 4). การสร้างต้นแบบ (Prototype), 5.) การทดสอบและปรับปรุง (Test) [15]

กรอบแนวคิดการวิจัยดังแสดงในภาพที่ 1 สะท้อนการบูรณาการองค์ความรู้จากหลายด้านเพื่อพัฒนาแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์จากวัสดุเหลือใช้ โดยเชื่อมโยงแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) กับแนวคิดการออกแบบเชิงมนุษย์เป็นศูนย์กลาง (Design Thinking) และแนวคิดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การอัปไซคลิง (Upcycling), การจัดการวัสดุอย่างยั่งยืน (Sustainable Material Management), และการเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติ (Learning by Doing) ซึ่งทั้งหมดนี้ดำเนินงานร่วมกันระหว่างภาคเอกชน (โรงพยาบาล) ชุมชน และสถาบันการศึกษา โดยมีเป้าหมายเพื่อสร้างนวัตกรรมการออกแบบที่ตอบโจทย์การใช้งานจริง สอดคล้องกับบริบทของชุมชน และสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ดำเนินงานภายใต้กรอบกระบวนการ Design Thinking ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การเข้าใจผู้ใช้ (Empathize), (2) การนิยามปัญหา (Define), (3) การระดมแนวคิด (Ideate), (4) การสร้างต้นแบบ (Prototype), และ (5) การทดสอบ (Test) เพื่อให้สามารถออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากวัสดุเหลือใช้ทางการแพทย์ให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งในด้านการใช้งาน การเรียนรู้ และการนำวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม

4.1 การศึกษาและทำความเข้าใจบริบท (Empathize)

เพื่อศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับประเภทและคุณสมบัติของวัสดุเหลือใช้ทางการแพทย์ โดยเฉพาะผ้าสปันบอนด์ที่โรงพยาบาลกรุงเทพขอนแก่นใช้เป็นวัสดุห่อเครื่องมือแพทย์ ซึ่งไม่ปนเปื้อนและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จากการสัมภาษณ์บุคลากรในโรงพยาบาลกรุงเทพขอนแก่น พบว่าโรงพยาบาลมีการใช้ผ้าสปันบอนด์หลากหลายประเภท ซึ่งแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติและการใช้งาน ดังนี้

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบชนิดของผ้า Spunbond Nonwoven

ชนิดผ้าสปันบอนด์	น้ำหนัก (GSM)	สี	คุณสมบัติเด่น	การใช้งาน
1. ผ้าสปันบอนด์ SMS Fabric Wrap 55 GSM	55 GSM	ฟ้า/ฟ้าเข้ม	- กันน้ำ - ระบายอากาศได้ดี - ทนต่อแรงดึง - ไม่ปนเปื้อนง่าย	ห่อเครื่องมือแพทย์ (ผ่านการอบฆ่าเชื้อ
2. ผ้าสปันบอนด์ 30 GSM	30 GSM	ขาว/ฟ้า	- น้ำหนักเบามาก - ไม่ทนต่อแรงดึงมากนัก - ระบายอากาศดีมาก	ซับในหน้ากากอนามัย ซับในกล่องบรรจุ
3. ผ้าสปันบอนด์ 75 GSM	75 GSM	ขาว/ฟ้าเข้ม	- หนาและแข็งแรงมาก - กันน้ำดีเยี่ยม - ตัดและเย็บง่าย	ถุงผ้าใช้ซ้ำ ปลอกหมอนโรงแรม
4. ผ้า SMS (Spunbond-Meltblown-Spunbond)	45-60 GSM	ขาว/น้ำเงิน	- กันน้ำ + กันเชื้อโรคได้ดี - ป้องกันไฟฟ้าสถิต - ใช้แล้วทิ้ง	เสื้อกาวน์แพทย์แบบใช้แล้วทิ้ง ผ้าคลุมผ่าตัด

ตารางที่ 1 นำเสนอการวิเคราะห์เปรียบเทียบชนิดของผ้าสปันบอนด์ที่ใช้ในโรงพยาบาลกรุงเทพขอนแก่น ทีมวิจัยเลือกใช้ผ้า Spunbond Nonwoven SMS 55 แกรม (GSM) ที่โรงพยาบาลกรุงเทพขอนแก่นใช้ห่อเครื่องมือแพทย์ซึ่งเป็นวัสดุที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อและไม่ปนเปื้อน เนื่องจากมีคุณสมบัติกันน้ำ น้ำหนักเบา และไม่ปนเปื้อน ระบายอากาศได้ดี และมีความทนทานในระดับหนึ่ง อีกทั้งยังเหมาะสมต่อการแปรรูปและเย็บขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ใช้ซ้ำได้ในโรงพยาบาล และการทดลองทดแทนวัสดุผ้าดิบในกระบวนการเรียนรู้ของนักศึกษา

4.2 การนิยามปัญหาและโอกาสในการออกแบบ (Define)

การออกแบบผลิตภัณฑ์โดยใช้กระบวนการอัปไซคลิง (Upcycling) จำเป็นต้องพิจารณาทั้งมิติด้านนวัตกรรม ประโยชน์ใช้สอย และความเหมาะสมกับบริบทการใช้งานในโรงพยาบาล ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบควรมีความแปลกใหม่ในแง่ของฟังก์ชัน รูปแบบ หรือการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือใช้ทางการแพทย์ที่มีศักยภาพ เช่น ผ้าสปันบอนด์ที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อและไม่ปนเปื้อน ผลิตภัณฑ์ควรตอบโจทย์การใช้งานจริงภายในโรงพยาบาล ทั้งในด้าน ความแข็งแรง ทนทาน ความสะดวกในการใช้งาน (Ergonomics) ความปลอดภัย (Safety) ประโยชน์ใช้สอย (Functionality) และในด้านความสวยงามและความน่าสนใจ (Aesthetics or Sales Appeal) เป็นอีกองค์ประกอบที่สำคัญ แม้เป็นผลิตภัณฑ์จากวัสดุเหลือใช้แต่สามารถออกแบบให้มีรูปทรงน่าใช้ สะอาดตา หรือสะท้อนภาพลักษณ์องค์กร เช่น โลโก้ หรือป้ายฉลากที่บอกเล่าที่มาของวัสดุ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางจิตใจและสร้างการรับรู้ในเชิงบวกเกี่ยวกับแนวคิดการลดขยะในโรงพยาบาล ดังนั้น การออกแบบเชิงอัปไซคลิงในโรงพยาบาลจึงเป็นมากกว่าการนำของเหลือใช้มาใช้ใหม่ แต่เป็นการสร้าง คุณค่าใหม่ (Value Creation) ที่ผสานความคิดสร้างสรรค์ เข้ากับเป้าหมายด้านสิ่งแวดล้อม สุขภาวะ และความยั่งยืนขององค์กร

จากการสัมภาษณ์และเก็บข้อมูลความต้องการของบุคลากรโรงพยาบาลกรุงเทพขอนแก่น พบว่าหนึ่งในเป้าหมายสำคัญขององค์กรคือ การลดการใช้ถุงพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว (Single-use plastic) โดยเฉพาะในกระบวนการให้บริการผู้ป่วย ซึ่งมักมีการใช้ถุงพลาสติกในการบรรจุยาจำนวนมาก เพื่อตอบสนองแนวทางดังกล่าว บุคลากรจึงแสดงความต้องการผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำ

กลับมาใช้ซ้ำ (Reusable) ได้อย่างสะดวก โดยเฉพาะ "กระเป๋าใส่ยา" สำหรับให้ผู้รับบริการสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำในการเข้ารับบริการครั้งต่อไป ซึ่งจะช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกในระยะยาว นอกจากนี้ โรงพยาบาลยังมีความสนใจในการจัดทำของที่ระลึกหรือผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้ได้ทั้งภายในและนอกโรงพยาบาล เช่น ของใช้ส่วนบุคคล ของใช้สำนักงาน หรือของใช้ในกิจกรรมเพื่อสุขภาพ ที่สะท้อนภาพลักษณ์ขององค์กรในด้านความยั่งยืน ดังนั้น ทีมวิจัยจึงได้สรุปแนวทางร่วมกับผู้แทนโรงพยาบาล โอกาสในการออกแบบจึงถูกนิยามใน 2 แนวทางหลัก ได้แก่ (1) การออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบเพื่อใช้งานจริงในโรงพยาบาลที่สอดคล้องกับมาตรฐานความสะอาด ความปลอดภัย และสามารถใช้งานซ้ำได้อย่างสะดวก และกำหนดทิศทางการออกแบบต้นแบบผลิตภัณฑ์ขึ้น 3 ประเภท ได้แก่ กระเป๋าใส่ยา เสื่อรองนั่ง (สำหรับใช้ในกิจกรรมกลางแจ้งหรือการพักผ่อน ทั้งในโรงพยาบาลและในครัวเรือน) และผ้ากันเปื้อนเด็ก (ออกแบบให้ใช้ในกิจกรรมเพื่อสุขภาพหรือการดูแลเด็กในโรงพยาบาล) โดยใช้วัสดุเหลือใช้ที่มีคุณสมบัติสะอาด ปลอดภัย และสามารถกันน้ำได้ ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดได้รับการออกแบบให้ เหมาะสมกับบริบทของโรงพยาบาล คำนึงถึงการใช้งานซ้ำ ความทนทาน ความสะดวกในการทำความสะอาด และภาพลักษณ์ที่สื่อถึงความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมขององค์กร และ (2) การประยุกต์ใช้ผ้าสปันบอนด์เป็นวัสดุทดแทนในการเรียนรู้ด้านแฟชั่นและสิ่งทอของนักศึกษา เพื่อส่งเสริมแนวคิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและลดต้นทุนในกระบวนการศึกษา โดยคำนึงถึงทั้งประโยชน์ใช้สอย ความแข็งแรง ความสวยงาม และการสื่อสารภาพลักษณ์องค์กรด้านความยั่งยืน

4.3 แนวทางการออกแบบ (Ideate)

ในการดำเนินการออกแบบ ทีมวิจัยได้กำหนดกระบวนการสร้างสรรค์ต้นแบบผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้กระบวนการพัฒนารูปแบบอย่างเป็นขั้นตอน โดยแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ดังนี้

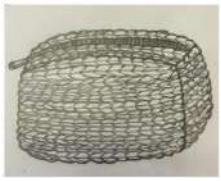
ระยะที่ 1: การออกแบบแบบร่างเบื้องต้น (Concept Sketches)

ทีมวิจัยได้จัดทำแบบร่างผลิตภัณฑ์จำนวน 3 แบบ ต่อผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท ได้แก่ กระเป๋าใส่ยา ผ้ากันเปื้อนสำหรับเด็ก และเสื่อรองนั่ง รวมทั้งสิ้นจำนวน 9 แบบร่าง โดยเน้นความหลากหลายของการใช้งาน การเลือกใช้วัสดุ การเย็บประกอบ และรูปแบบที่เหมาะสมกับผู้ใช้งานในบริบทของโรงพยาบาล

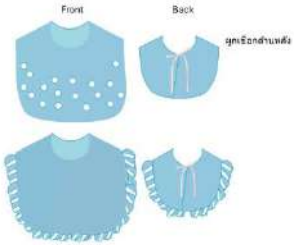
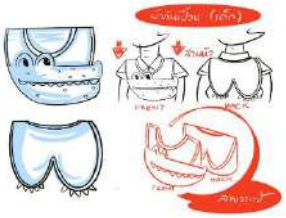
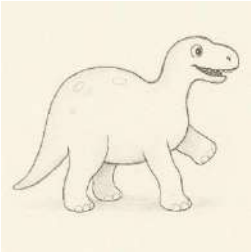
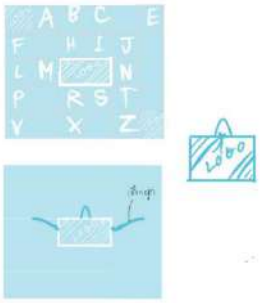
ระยะที่ 2: การคัดเลือกและพัฒนาแบบเพื่อสร้างต้นแบบ

จากการนำเสนอแบบร่างทั้ง 9 แบบต่อคณะผู้วิจัยและตัวแทนบุคลากรจากโรงพยาบาลกรุงเทพขอนแก่น ได้มีการพิจารณาร่วมกันเพื่อ คัดเลือกแบบร่างที่เหมาะสมที่สุด จำนวน 1 แบบ ต่อผลิตภัณฑ์ (รวม 3 แบบ) เพื่อนำไปสู่การพัฒนาแบบในระดับรายละเอียด (Detailed Design) และผลิตต้นแบบจริง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ตารางสรุปแบบร่างการออกแบบผลิตภัณฑ์เบื้องต้นและการคัดเลือก

ประเภท	แบบร่างที่ 1	แบบร่างที่ 2	แบบร่างที่ 3	แบบที่เลือก
กระเป๋าใส่ยา				แบบร่างที่ 3

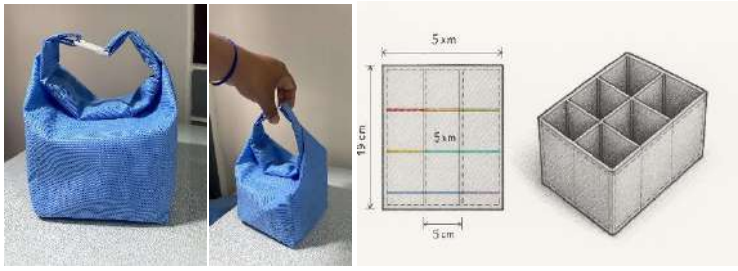
ตารางที่ 2 ตารางสรุปแบบร่างการออกแบบผลิตภัณฑ์เบื้องต้นและการคัดเลือก (ต่อ)

ประเภท	แบบร่างที่ 1	แบบร่างที่ 2	แบบร่างที่ 3	แบบที่เลือก
ผ้ากันเปื้อนเด็ก				แบบร่างที่ 1
เสื่อรองนั่ง				แบบร่างที่ 3

4.4 การสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์ (Prototype)

หลังจากทางทีมวิจัยดำเนินการออกแบบแบบร่าง 3 แบบ ต่อผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้น รวม 9 แบบร่าง และคัดเลือกแบบที่เหมาะสมที่สุดอย่างละ 1 แบบ เพื่อนำไปสร้างต้นแบบจริง รวม 3 ผลิตภัณฑ์หลัก ดังนี้

4.4.1 กระเป๋าใส่ยา ทีมวิจัยได้นำแบบร่างที่ 3 ซึ่งมีจุดเด่นด้านการออกแบบฝาปิดแบบพับเพื่อป้องกันน้ำเข้า และรูปทรงที่เหมาะสำหรับพกพา มาพัฒนาต่อในกระบวนการสร้างต้นแบบจริง ในขั้นตอนนี้ ได้มีการปรับรายละเอียดเพิ่มเติมจากแบบร่างเดิม โดยอ้างอิงจากข้อมูลการใช้งานจริงของผู้ป่วย เช่น ความจำเป็นในการแยกประเภทของยาในแต่ละช่วงเวลา (ก่อนอาหาร–หลังอาหาร เช้า กลางวัน เย็น) ทีมวิจัยจึงทดลองเพิ่มแผ่นกั้นช่องย่อยภายในกระเป๋า เพื่อแบ่งออกเป็น 9 ช่องใช้งาน โดยช่องแต่ละช่องมีความกว้าง 5 ซม. ซึ่งสามารถรองรับทั้งแผงยาและขวดยาขนาดเล็กได้ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การพัฒนาต้นแบบ ด้านการใช้งาน (หูจับกระเป๋าและช่องใส่ยาประเภทขวดหรือซอง) และช่องแยกใส่ยา

4.4.2 เสื่อพับ เลือกแบบร่างที่ 3 ซึ่งใช้การออกแบบลวดลายแนวศิลป์พร้อมจัดรูปแบบการพับเก็บได้ง่าย เด็กเสื่อรองกั้นเปื้อนในห้องพักผู้ป่วยเด็ก เกิดจากการสังเกตสำหรับกิจกรรมบนพื้นแบบชั่วคราว เช่น ทานข้าว นั่งเล่น ขนาด 90x120 ซม. ทีมวิจัยได้ทดลองใช้เทคนิคการพิมพ์ลวดลายลงบนผ้าสปันบอนด์ที่ การพิมพ์ลวดลายที่นำมาทดลองมี 2 รูปแบบ ได้แก่ 1.) การสกรีนแบบ Flex (Digital Film Transfer - DFT) เป็นการพิมพ์ลวดลายด้วยระบบดิจิทัลบนฟิล์ม จากนั้นนำมาถ่ายเทลายด้วยความร้อนลงบนผ้าสปันบอนด์ วิธีนี้ให้ภาพคมชัด สีสด 2.) การสกรีนด้วยบล็อก (Silkscreen) เป็นวิธีพิมพ์ลวดลายแบบดั้งเดิม โดยใช้แม่พิมพ์บล็อกสกรีนร่วมกับการปาดสี ลงบนผ้า โดยหนึ่งปาด หมายถึงการดันสีผ่านบล็อกหนึ่งครั้งบนผ้า (การปาดซ้ำหลายครั้งหมายถึงการเพิ่มความเข้มของสีหรือลวดลายซ้อน) จากการทดลองพบว่า การพิมพ์แบบ Flex ให้ภาพลวดลายที่สดชัดและสามารถควบคุมเฉดสีได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตาม สำหรับการใช้งานจริงในโรงพยาบาล ได้มีการปรับรูปแบบลวดลายจากเดิมที่ออกแบบให้พิมพ์เต็มผืนผ้า เป็นการพิมพ์เพียง 2 มุมของเสื่อ เพื่อให้เหมาะสมกับต้นทุนการผลิต การตั้งราคาจำหน่ายและระยะเวลาการจัดทำ ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างการพัฒนาผลิตภัณฑ์เสื่อแปรรูปโดยใช้เทคนิคการพิมพ์ลวดลายบนผ้าสปันบอนด์ การวางตำแหน่งลวดลายเพื่อให้เหมาะกับฟังก์ชันการใช้งานจริง ตลอดจนการพับเก็บที่สะดวกสำหรับการใช้งานจริง

ภาพที่3 การพัฒนาต้นแบบ ด้านการใช้งาน ทดสอบการพับ และเทคนิคการพิมพ์ลายผ้า

4.4.3 เซตผ้ากันเปื้อนพร้อมหมวกไดโนเสาร์สำหรับเด็กเล็ก เลือกแบบร่างที่ 1 ซึ่งเป็นการออกแบบผ้ากันเปื้อนพร้อมหมวกคลุมศีรษะแบบไดโนเสาร์ มีการพัฒนาและปรับปรุงในส่วนของผ้ากันเปื้อนให้เหมาะสมกับบริบทการใช้งานในโรงพยาบาล โดยเน้นการใช้วัสดุจากผ้าสปันบอนด์เพียงชนิดเดียว ลดการพึ่งพาวัสดุเสริม เช่น กระดุมหรือแถบเวลโคร (ตีนตุ๊กแก) เพื่อความเรียบง่ายในการผลิต ทีมออกแบบประยุกต์เทคนิคการสอด–ขัด หรือการทบผ้าเป็นช่องสอด เพื่อให้สามารถยึดผ้ากันเปื้อนกับลำตัวเด็กได้อย่างมั่นคงโดยไม่ต้องใช้วัสดุอื่นเพิ่มเติม ทั้งยังรักษาคุณสมบัติของการเป็นผลิตภัณฑ์ใช้แล้วทิ้งที่สะดวกและปลอดภัยสำหรับเด็กเล็กอีกด้วย ภาพที่ 4 แสดงการพัฒนาผลิตภัณฑ์และทดลองเซตผ้ากันเปื้อนพร้อมหมวกไดโนเสาร์

ภาพที่ 4 การพัฒนาต้นแบบ ด้านการใช้งาน ทดสอบประยุกต์เทคนิคการสอด–ขัด

4.5 การทดสอบต้นแบบและการเรียนรู้ผ่านนักศึกษา (Test)

ผลิตภัณฑ์ต้นแบบทั้ง 3 ชิ้น ได้แก่ กระเป๋าใส่ยา เสื่อรองนั่ง และผ้ากันเปื้อนเด็กพร้อมหมวกไดโนเสาร์ ถูกนำไปทดลองใช้งานจริงในบริบทของโรงพยาบาลกรุงเทพขอนแก่น โดยได้รับความคิดเห็นจากบุคลากรและผู้ใช้งานซึ่งนำมาพัฒนาปรับปรุงรายละเอียดเพิ่มเติม เช่น การเสริมช่องยา การเพิ่มขอบเย็บเพื่อความทนทาน และการปรับตำแหน่งพิมพ์ลวดลายให้สอดคล้องกับการผลิตซ้ำในอนาคต พร้อมกันนี้นักศึกษาชั้นปีที่ 3 จากสายวิชาแฟชั่นและสิ่งทอ ยังได้ทดลองนำผ้าสปันบอนด์มาใช้เป็นวัสดุทดแทนผ้าดิบในกระบวนการเรียนรู้ ผ่านการออกแบบและตัดเย็บต้นแบบเสื้อผ้าจำนวน 8 ชุด ซึ่งผลการประเมินพบว่าสามารถลดการใช้ผ้าดิบได้รวมกว่า 40 เมตร นับเป็นการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือใช้ทางการแพทย์อย่างเป็นรูปธรรมทั้งในภาคการศึกษาและภาคบริการสุขภาพ

ภาพที่ 5 แสดงถึงการขึ้นต้นแบบ ซึ่งนักศึกษาได้ทำการทดลองวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของผ้าสปันบอนด์ เช่น ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น การระบายอากาศ และความเหมาะสมในการตัดเย็บ เพื่อประเมินความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุทดแทนผ้าดิบหรือผ้าทดลองที่ใช้ในการเรียนการสอนปกติ โดยนักศึกษาร่วมกันวางแนวคิดการออกแบบภายใต้โจทย์ด้านสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน จากนั้นได้ทดลองใช้ผ้าสปันบอนด์ในการตัดเย็บต้นแบบเสื้อผ้า โดยมีการบันทึกขั้นตอนการออกแบบ เทคนิคการเย็บ ปัญหาที่พบ เช่น การยืดตัวของผ้า หรือการซ้อนชั้นเพื่อเพิ่มความทนทาน พร้อมแนวทางแก้ไขในแต่ละจุด

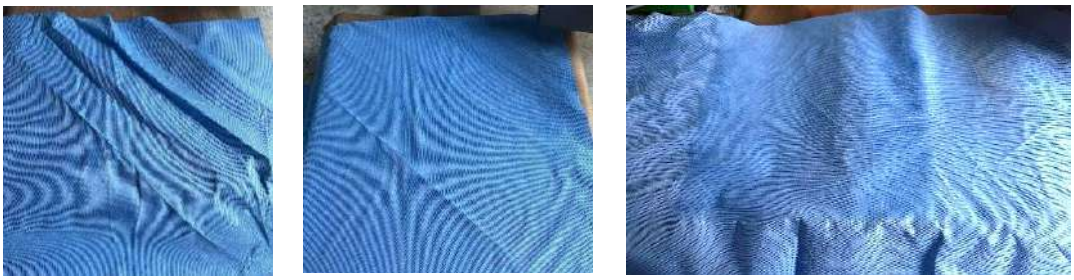
ภาพที่5 นักศึกษาทำการออกแบบและสร้างต้นแบบเสื้อผ้าจากผ้าสปันบอนด์ของโรงพยาบาล

5. ผลการวิจัย

5.1 การทดสอบความเหมาะสมของวัสดุ (Material Testing)

จากการทดสอบคุณสมบัติของผ้าสปันบอนด์ชนิด 5m5 fabric wrap ความหนา 55 แกรม (GSM) ซึ่งเป็นวัสดุที่โรงพยาบาลกรุงเทพขอนแก่นใช้ในการห่อเครื่องมือแพทย์ พบว่า วัสดุดังกล่าวมีคุณสมบัติเด่น ได้แก่ กันน้ำ น้ำหนักเบา ระบายอากาศได้ดี และมีความทนทานในระดับที่เหมาะสมสำหรับการนำกลับมาใช้ใหม่ในบริบทของการออกแบบผลิตภัณฑ์ ในการทดลองเพื่อประเมินความทนต่อความร้อน พบว่า ผ้าสปันบอนด์สามารถรีดให้เรียบได้ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20–30 วินาที โดยไม่เกิดความเสียหายกับเนื้อผ้า อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิเกิน 130 องศาเซลเซียส ผ้าจะเริ่มละลายหรือเสียรูปทรง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของวัสดุในการรับความร้อนโดยตรง ดังภาพที่ 6 แสดงถึงการทดสอบการทนต่อความร้อนของผ้าสปันบอนด์ก่อนและหลังการรีดให้เรียบด้วยความร้อนในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ดังนั้น การควรควบคุมอุณหภูมิในการรีดไม่ให้เกิน 130 องศาเซลเซียส และหลีกเลี่ยงการสัมผัสความร้อนโดยตรงเป็นเวลานาน เพื่อรักษาคุณสมบัติของวัสดุและความปลอดภัยในกระบวนการแปรรูป



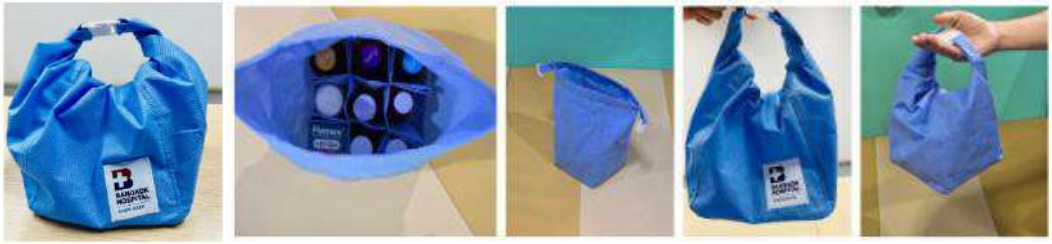
ก่อนรีด หลังรีด (อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส) หลังรีด (อุณหภูมิ เกินกว่า130 องศาเซลเซียส ผ้าจะละลาย)

ภาพที่ 6 การทดสอบการทนต่อความร้อนของผ้าสปันบอนด์เพื่อการรีดให้เรียบ

5.2 ผลการคัดเลือกและพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์

หลังจากออกแบบเบื้องต้นจำนวน 3 แบบต่อผลิตภัณฑ์ (รวม 9 แบบร่าง) ทีมวิจัยได้นำเสนอแบบต่อคณะผู้วิจัยและตัวแทนจากโรงพยาบาลกรุงเทพขอนแก่น เพื่อร่วมกันพิจารณาคัดเลือกแบบที่เหมาะสมที่สุด ผลการคัดเลือกได้แก่ ซึ่งมีรายละเอียดการเลือกแบบดังนี้

1) กระเป๋าใส่ยา ผลการออกแบบกระเป๋ายาจากผ้าสปันบอนด์ นี้ให้เป็นกระเป๋าก้นสี่เหลี่ยมจตุรัสเป็นช่องใหญ่และกว้าง จากนั้นเพิ่มหน้าที่การใช้งานด้วยการเพิ่มแผ่นกั้นช่องยาที่แบ่งพื้นที่ภายในกระเป๋าเป็น 9 ช่องย่อยเล็กๆ ความกว้างช่องละ 5 ซม. ซึ่งสามารถใส่แผงยาชนิดต่างๆและขวดยาได้ แต่ละช่องยาเย็บบอกด้วยด้ายต่างสี เพื่อใช้บอกมื้อยาที่ต่างกันไป ป้องกันการสับสนของผู้ใช้งานและแผ่นกั้นช่องยานี้สามารถถอดเข้าออกเพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนใช้งานกระเป๋าในรูปแบบอื่นได้ด้วย ขนาดกะทัดรัดพกพาง่าย ใช้อะไหล่หัวเข็มขัดพลาสติกขนาดเล็กพับเก็บด้านบนเพิ่มและลดพื้นที่การใช้งานของกระเป๋าได้ อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นหูหิ้วกระเป๋าได้สวยงาม ภาพที่ 7 แสดงถึงผลงานสำเร็จและรูปแบบการใช้งานของกระเป๋าใส่ยา



ภาพที่ 7 ถุงใส่ยาหรือใช้อเนกประสงค์ขนาด กว้าง 12*11 นิ้ว

2) เสื่อพับ แนวคิดการออกแบบให้สามารถใช้ปูรองอเนกประสงค์และให้เกิดประโยชน์สูงสุดจากการเลือกผ้าสปันบอนด์ขนาดใหญ่ที่สุดที่ การทำเสื่อจะเป็นการใช้ผ้าหนึ่งผืนไม่ให้เหลือเศษทิ้ง ไม่มีการตัดหรือต่อผ้าเพิ่ม การตัดเย็บใช้วิธีการซ้อนผ้าผืนเต็ม 5-10 ชั้นเพื่อให้เกิดความหนานุ่มขึ้นเหมาะสำหรับการปูรองนั่งในห้องพักได้ เย็บกดเป็นเส้นตารางเท่าๆกันแบบช่องตารางกริดเก้าช่องเพื่อความสวยงามและหน้าที่การใช้งานที่แน่น ไม่หลุดเลื่อน และช่วยทำให้การพับเก็บง่ายขึ้น มีสายรัดมัดด้านหลังเพื่อการพับเก็บ เก็บความเรียบร้อยของขอบผ้าอีกครั้งด้วยผ้าสีฟ้าสีเข้ม และเพื่อให้สอดคล้องกับพฤติกรรมห้องพักผู้ป่วยเด็กที่ใช้ฟูกวางพื้นจึงเลือกการตกแต่งเสื่อด้วยลายกราฟฟิกน่ารัก สดใสคาร์เรคเตอร์ผลไม้ เช่น แตงโม ส้ม แอปเปิ้ล และผักที่เด็กกินยาก เช่น บล๊อคโคลี่ ฟักทอง แครอทที่ช่วยเสริมพฤติกรรมการบริโภคผักผลไม้ให้กับเด็กๆ เลือกใช้สีโทนน้ำเงินที่เข้ากับสีฟ้าของผ้าสปันบอนด์เดิม

การคลุมโทนสีให้ใช้สีน้อยแต่ได้ภาพลักษณ์ที่ดูดี พร้อมทั้งสโลแกนโรงพยาบาล อุ่นใจเพราะอยู่ใกล้กัน สอดแทรกลงไปในลายอีกด้วย ภาพที่ 8 นี้แสดงถึงผลงานสำเร็จและลวดลายบนผลิตภัณฑ์เสื่อพับอเนกประสงค์

ภาพที่ 8 เสื่ออเนกประสงค์ อุ่นใจเพราะอยู่ใกล้กัน ขนาด 40*46 นิ้ว

3) เซตผ้ากันเปื้อนพร้อมหมวกไดโนเสาร์สำหรับเด็กเล็ก แนวทางการออกแบบให้ความรู้สึกเป็นมิตร ช่วยลดความวิตกกังวลของเด็กเมื่อต้องอยู่ในพื้นที่โรงพยาบาลและได้รับแรงบันดาลใจจาก "ไดโนเสาร์" ซึ่งเป็นสัตว์ขวัญใจของเด็ก ๆ และเป็นสัญลักษณ์ที่เชื่อมโยงกับจังหวัดขอนแก่น โดยออกแบบขึ้นเพื่อใช้งานในกิจกรรมกลุ่มเด็กเล็กภายในโรงพยาบาล เช่น การระบายสี หรือกิจกรรมเสริมสร้างจินตนาการในแผนกกุมารเวชกรรม *ผ้ากันเปื้อน* ออกแบบเป็นชิ้นเดียวแบบใช้แล้วทิ้ง โดยเลือกใช้วัสดุผ้าสปันบอนด์สีฟ้า ขนาดของผ้ากันเปื้อนคือ 19 x 22 เซนติเมตร รูปแบบเรียบง่ายเพื่อความสะดวกในการผลิตซ้ำ และไม่มีลวดลายซับซ้อน *หมวกไดโนเสาร์* ออกแบบขึ้นเพื่อสร้างความสนุกสนานและเพิ่มมิติแห่งจินตนาการให้กับเด็ก ๆ โดยใช้ผ้าสปันบอนด์ซ้อนทบกันเพื่อสร้างส่วนของเขาไดโนเสาร์ ให้ตั้งอยู่ได้ตามรูปทรงจริง เขาใช้เทคนิคการตัดและเย็บ ขนาดหมวกออกแบบให้มีเส้นรอบวง 40–45 เซนติเมตร สำหรับสวมใส่ได้กับศีรษะของเด็กวัยเล็กทั่วไป ภาพที่ 9 แสดงถึงการใช้งานเซตผ้ากันเปื้อน สำหรับทานอาหาร พ่นล้างจมูก ฉีดวัคซีน หรือกิจกรรมอื่นๆ

ภาพที่ 9 เซตหมวกไดโนเสาร์และผ้ากันเปื้อน

จากกระบวนการออกแบบร่วมกับบุคลากรโรงพยาบาลกรุงเทพขอนแก่น ทีมวิจัยได้นำเสนอผลิตภัณฑ์ต้นแบบจำนวน 3 ชิ้น ได้แก่ กระเป๋าใส่ยา เสื่อรองนั่ง และเซตผ้ากันเปื้อนพร้อมหมวกเด็ก โดยทั้งหมดออกแบบภายใต้แนวคิดการอัพไซคลิ่งผ้าสปันบอนด์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด สอดคล้องกับการใช้งานในบริบทโรงพยาบาล ทั้งด้านฟังก์ชัน ความปลอดภัย และการสื่อสารภาพลักษณ์ขององค์กรในด้านความใส่ใจสิ่งแวดล้อม ผลลัพธ์จากส่วนนี้ยังเปิดโอกาสต่อยอดการใช้วัสดุเหลือใช้อย่างสร้างสรรค์ในภาคการศึกษา ซึ่งนำไปสู่การทดลองใช้ผ้าสปันบอนด์เป็นวัสดุทดแทนในกระบวนการเรียนรู้ของนักศึกษาในส่วนถัดไป

5.3 ผลการประยุกต์ใช้วัสดุในชั้นเรียน

ผลการทดสอบพบว่า ผ้าสปันบอนด์มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการใช้ในขั้นตอนการเรียนรู้เกี่ยวกับการออกแบบและตัดเย็บเสื้อผ้า โดยเฉพาะในการขึ้นต้นแบบ เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ระบายอากาศได้ดี และสามารถเย็บได้โดยไม่ฉีกขาดง่าย อย่างไรก็ตาม ผ้ามีข้อจำกัดในด้านความยืดหยุ่นและการคืนรูป ซึ่งอาจไม่เหมาะสมสำหรับการจำลองชุดที่ต้องมีการเคลื่อนไหวหรือโครงสร้างซับซ้อน จากการดำเนินโครงการ พบว่าการใช้ผ้าสปันบอนในการขึ้นต้นแบบเสื้อผ้าจำนวน 8 ชุด สามารถลดการใช้ผ้าดิบได้ประมาณ 4-5 เมตรต่อชุด หรือรวมกว่า 40 เมตร คิดเป็นการลดปริมาณการใช้วัสดุใหม่ได้อย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิวพร ปกป้อง และคณะ[6] ที่พบว่าการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ในกระบวนการออกแบบเสื้อผ้าสามารถลดการใช้ทรัพยากรใหม่ได้ถึงร้อยละ 30-50ซึ่งส่งผลให้สามารถประหยัดต้นทุนและลดวัสดุเหลือทิ้งได้ในระดับที่จับต้องได้ สนับสนุนแนวคิด Sustainable Material Management

5.4 ผลงานการออกแบบและการแสดงผลงาน

ผลงานการออกแบบและตัดเย็บของนักศึกษาทั้ง 8 ชุด ได้รับการคัดเลือกให้ร่วมแสดงในงานแฟชั่นโชว์ ในงาน CentralWorld the best Thailand Graduate Fashion Week 2024 ภายใต้ธีมงาน Embrace the Art of Upcycling ที่จัดขึ้นที่ห้างสรรพสินค้าเซ็นทรัลเวิลด์ กรุงเทพมหานคร ซึ่งได้รับความสนใจจากผู้ชมงานและสื่อมวลชน โดยเฉพาะแนวคิดในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการแพทย์มาสร้างสรรค์เป็นผลงานแฟชั่น ดังแสดงในภาพที่ 10

ภาพที่10 ผลงานการออกแบบตัดเย็บของนักศึกษาชั้นปีที่ 3 ที่นำไปจัดแสดง

6. สรุปผลการวิจัย

6.1 ผลการออกแบบและพัฒนาเพื่อโรงพยาบาล

การวิจัยนี้ได้นำแนวคิดการอัปไซคลิงมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบสำหรับโรงพยาบาล โดยเลือกใช้วัสดุเหลือใช้ที่ผ่านการฆ่าเชื้อและปลอดภัย เช่น ผ้าสปันบอนด์ จากห่อวัสดุปลอดเชื้อของโรงพยาบาล ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการออกแบบและพัฒนาประกอบด้วยกระเป๋าใส่ยา ผ้ากันเปื้อนเด็กพร้อมหมวก และเสื่อรองนั่ง ซึ่งทั้งหมดได้รับการออกแบบโดยคำนึงถึงความปลอดภัย การใช้งานซ้ำ และความเหมาะสมในบริบทของโรงพยาบาล โครงการได้รับการตอบรับอย่างดีจากบุคลากรและผู้ป่วย รวมถึงสามารถขยายผลสู่การใช้จริงในโรงพยาบาล และได้รับรางวัลชนะเลิศในงาน BDMS Awards 2024 (ประเภท Net Zero Healthcare) จากผลงาน "Upcycling Paper Pack: ชีวิตที่สองของขยะจากโรงพยาบาล" ซึ่งสะท้อนความสำเร็จทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืนในหลายมิติ ดังนี้ ลดการใช้ถุงพลาสติก (ได้กว่า 14,825 ใบ) ลดขยะฝังกลบ (82.8

กิโลกรัม) ลดคาร์บอนฟุตพริ้นส์ (65.71 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) อีกทั้งยังสร้างอาชีพให้ชุมชนสามเหลี่ยม โดยมีรายได้รวมกว่า 30,000 บาท จากการตัดเย็บกระเป๋ากว่า 900 ใบ [12]

6.2 ผลการออกแบบและเรียนรู้เชิงปฏิบัติในระดับมหาวิทยาลัย

นอกจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อใช้งานจริงในโรงพยาบาลแล้ว โครงการนี้ยังเปิดโอกาสให้นักศึกษาระดับมหาวิทยาลัยมีส่วนร่วมในการออกแบบและสร้างต้นแบบเสื้อผ้าแฟชั่นจากวัสดุเหลือใช้เช่นเดียวกัน โดยใช้ผ้าสปันบอนด์แทนผ้าดิบในขั้นตอนการขึ้นต้นแบบจำนวน 8 ชุด จากการดำเนินโครงการ พบว่า ลดการใช้ผ้าดิบ (ได้กว่า 40 เมตร หรือเฉลี่ย 4–5 เมตรต่อชุด) ลดการใช้ทรัพยากรใหม่และพลังงานในการผลิตวัสดุได้อย่างมีนัยสำคัญ และ ลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในกระบวนการออกแบบแฟชั่น ได้สอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) จากผลการดำเนินงาน พบว่าการเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติจริง ส่งเสริมให้นักศึกษาเกิดการบูรณาการความรู้ด้านการออกแบบแฟชั่นเข้ากับแนวคิดด้านความยั่งยืน ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 [11] และงานของศิวพร ปกป้อง และคณะ [6] ที่เน้นการลดการใช้ทรัพยากรใหม่ผ่านการใช้วัสดุเหลือทิ้งในกระบวนการออกแบบ

เอกสารอ้างอิง

[1] ชนันธร มโนพัฒนกุล, ศิริพร เลิศยิ่งยศ และ สุรพล มโนวงศ์. (2564). การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผ้าไม่ทอเหลือใช้ในโรงพยาบาล. วารสารวิชาการศิลปะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 12(1), 122-136.

[2] สิรินทรา พงษ์พันธ์, พรพิมล ตั้งชัยสุริยา และ ชัยยศ อิษฎ์วรพันธุ์. (2565). การจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการแพทย์เพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่: กรณีศึกษาโรงพยาบาลในเขตกรุงเทพมหานคร. วารสารสิ่งแวดล้อม, 26(1), 88-102.

[3] นฤมล นาถประทาน, สรวิศ ตันติวรวงศ์ และ ประเสริฐ ฤกษ์เกรียงไกร. (2565). การศึกษาแนวทางการจัดการขยะทางการแพทย์เพื่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 41(2), 124-139.

[4] วรวรรณ พรพิสุทธิ์, พรทิพย์ จุลวิชิต และ พรพิมล มะลิสุวรรณ. (2566). แนวทางการจัดการวัสดุเหลือใช้ทางการแพทย์ตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน: กรณีศึกษาโรงพยาบาลมหาวิทยาลัย. วารสารสิ่งแวดล้อม, 27(1), 75-92.

[5] รุ่งทิวา ชูสกุลชาติ, จันทร์จิรา นพคุณ และ ธมลวรรณ สาระอาดร. (2565). การออกแบบเพื่อเศรษฐกิจหมุนเวียน: กรณีศึกษาผลิตภัณฑ์จากวัสดุรีไซเคิล. วารสารศิลปกรรมบูรพา, 25(1), 48-65.

[6] ศิวพร ปกป้อง, เกษม ชูรักษ์ และ ทรงวุฒิ เอกวุฒิวงศา. (2563). การพัฒนาผลิตภัณฑ์แฟชั่นจากวัสดุเหลือใช้ด้วยแนวคิดอัพไซเคิล. วารสารศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 12(2), 149-168.

[7] วนัสนันท์ นุชนารถ, พรกนก อินทราพิชญ์ และ ธราธร ศรีมฤทธิ์. (2565). การอัปไซคลิงเศษวัสดุเหลือใช้สู่ผลิตภัณฑ์แฟชั่น. วารสารสถาบันวัฒนธรรมและศิลปะ, 23(1), 210-228.

[8] สุดารัตน์ พืชน์ไพบูลย์, มลฑา พจน์วรพงษ์ และ ปริญญ์ บุญกนิษฐ. (2564). การพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างยั่งยืนกับการขับเคลื่อนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน. วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม, 17(2), 78-96.

[9] EPA (Environmental Protection Agency). (2016). Sustainable Materials Management: The Road Ahead. https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-road-ahead

[10] วีรกร อุตรนาค และ ชาญณรงค์ อินทรประเสริฐ. (2564). การจัดการวัสดุอย่างยั่งยืน: กลไกสำคัญสู่เศรษฐกิจหมุนเวียน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 7(2), 123-135.

[11] สมพร ธุรี. (2564). การเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติ: กรณีศึกษาการเรียนการสอนด้านการออกแบบแฟชั่น. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 23(3), 175-187.

[12] โรงพยาบาลกรุงเทพขอนแก่น. (2568). bangkokhospitalkhonkaen. Retrieved from bangkokhospitalkhonkaen website: https://www.bangkokhospitalkhonkaen.com/th/news/1732269889

[13] พัชรินทร์ สิรสุนทร และ วิทยา ชัยวังเย็น. (2563). แนวทางการจัดการขยะสิ่งทอในอุตสาหกรรมแฟชั่นไทย. วารสารวิชาการนวัตกรรมสื่อสารสังคม, 8(1), 68-79.

[14] วิสาขา ภู่จินดา. (2564). เศรษฐกิจหมุนเวียน: แนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืนในยุค New Normal. วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม, 17(1), 1-15.

[15] IDEO. (2020). *Design Thinking for Educators.* Retrieved from https://designthinkingforeducators.com/

การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน

Poster Presentation

องค์ความรู้จากการดำเนินโครงการบริการวิชาการเพื่อพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ด้วยโมเดลเศรษฐกิจ BCG MODEL

ศศิวิมล กาหลง*

สถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อำเภอเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี
* Corresponding author: sasivimon.kal@mail.pbru.ac.th

บทคัดย่อ

การสังเคราะห์องค์ความรู้จากการดำเนินโครงการบริการวิชาการเพื่อพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ด้วยโมเดลเศรษฐกิจ BCG MODEL ใช้แนวทางในการศึกษาด้วยระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลและสังเคราะห์ข้อมูล มีแหล่งข้อมูลในการศึกษาจากกรณีศึกษาโครงการบริการวิชาการในปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 จำนวน 10 โครงการ โดยศึกษาจากรายงานผลลัพธ์ของโครงการ จากการสังเกตการณ์ในการร่วมปฏิบัติการ การสั่งสมความรู้จากการจัดทำโครงการบริการทางวิชาการเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น ประสบการณ์การเป็นคณะทำงานในการกำกับติดตามและประเมินผลโครงการพัฒนาเชิงพื้นที่ และจากการจัดเวทีถอดบทเรียนจากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน โดยผู้ศึกษาใช้เครื่องมือในการสังเคราะห์ ได้แก่ การใช้แผนที่ผลลัพธ์ (outcome mapping) เป็นเครื่องมือในการกำหนดกรอบแนวคิดของสังเคราะห์พิจารณาข้อมูลนำเข้า กระบวนการ และผลลัพธ์จากกระบวนการ และใช้กระบวนการถอดบทเรียนเพื่อดึงความรู้และประสบการณ์ในตัวบุคคล นำมาเป็นข้อมูลในขั้นตอนกระบวนการ มีขั้นตอนสำคัญในการสังเคราะห์ 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การนำเข้าข้อมูล 2) การวิเคราะห์องค์ความรู้และความเชื่อมโยงกับระบบเศรษฐกิจ BCG และ 3) การสังเคราะห์องค์ความรู้จากกระบวนการ

ผลการสังเคราะห์ พบว่า ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี มีองค์ความรู้จากการจัดทำโครงการบริการวิชาการเพื่อพัฒนาท้องถิ่น ด้วยโมเดลเศรษฐกิจ BCG MODEL ซึ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ปลอดภัย และยั่งยืน โดยสามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มองค์ความรู้หลัก ได้แก่ (1) การส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงเกษตร (2) การจัดการทรัพยากรในภาคเกษตร (3) การแปรรูปผลผลิตเพิ่มมูลค่า และ (4) การส่งเสริมหัตถกรรมท้องถิ่น โดยแต่ละกลุ่มมีความเชื่อมโยงเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) อย่างเป็นรูปธรรม ตอบโจทย์เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ทั้งหมด 11 เป้าหมาย ได้แก่ SDG 1 ขจัดความยากจน SDG 2 ขจัดความหิวโหย SDG 6 การจัดการน้ำอย่างยั่งยืน SDG 8 การจ้างงานที่มีคุณค่าและการเติบโตทางเศรษฐกิจ SDG 9 อุตสาหกรรม นวัตกรรม และโครงสร้างพื้นฐาน SDG 10 ลดความไม่เสมอภาคภายในประเทศและระหว่างประเทศ SDG 11 เมืองและชุมชนที่ยั่งยืน SDG 12 การผลิตและบริโภคที่ยั่งยืน SDG 13 การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ SDG 15 การใช้ประโยชน์จากระบบนิเวศทางบกอย่างยั่งยืน และ SDG 17 ความร่วมมือเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

คำสำคัญ: โครงการบริการวิชาการ / การพัฒนาท้องถิ่น / โมเดลเศรษฐกิจ BCG MODEL

Knowledge Gained from Implementing Academic Service Projects for Local Development at Phetchaburi Rajabhat University Using the BCG Economic Model

Sasivimol Kalong*

Institute for the Research and Promotion Arts & Culture, Phetchaburi Rajabhat University
* Corresponding author: sasivimon.kal@mail.pbru.ac.th

Abstract

The synthesis of knowledge in academic service projects for local development at Phetchaburi Rajabhat University using the BCG Economic Model employed qualitative research methodology for data analysis and synthesis. The study sources included case studies from 10 academic service projects in the fiscal year 2024, analyzing project outcome reports, participatory observations, accumulated knowledge from implementing academic service projects for local development, experiences as part of the monitoring and evaluation team for area-based development projects, and from lesson-learned forums with 30 participants. The researcher used synthesis tools including outcome mapping as a framework to define input data, processes, and outcomes, as well as lesson extraction processes to capture tacit knowledge and personal experiences as process data. The synthesis consisted of three key steps: 1) data input, 2) knowledge analysis and connection to the BCG economic system, and 3) knowledge synthesis from the process.

The synthesis results revealed that in fiscal year 2024, Phetchaburi Rajabhat University developed knowledge from academic service projects for local development using the BCG MODEL economic model.This model emphasizes the efficient, safe, and sustainable use of resources in line with national strategies and global development agendas. The synthesized knowledge from these projects can be classified into four major thematic areas: (1) the promotion of agrotourism, (2) the management of agricultural resources, (3) value-added processing of agricultural products, and (4) the promotion of local handicrafts. Each thematic area reflects a tangible contribution to the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs). These knowledge areas address 11 Sustainable Development Goals (SDGs): SDG 1 No Poverty, SDG 2 Zero Hunger, SDG 6 Clean Water and Sanitation, SDG 8 Decent Work & Economic Growth, SDG 9 Industry, Innovation & Infrastructure, SDG 10 Reduced Inequalities, SDG 11 Sustainable Cities & Communities, SDG 12 Responsible Consumption & Production, SDG 13 Climate Action, SDG 15 Life on Land, and SDG 17 Partnerships for the Goals.

Keywords: Academic Service Projects / Local Development / BCG Economic Model

1. บทนำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จัดทำแผนยุทธศาสตร์การพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ระยะ 5 ปี (พ.ศ. 2566 - 2570) ผ่านการเห็นชอบจากสภามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อนุมัติในการประชุม ครั้งที่ 10/2565 วันที่ 17 ตุลาคม 2565 [1] โดยให้ความสำคัญกับกระบวนการมีส่วนร่วมของประชาคมใน มหาวิทยาลัย และผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholder) ผ่านกลไกการระดมสมอง มีการวิเคราะห์ สภาพแวดล้อมขององค์กร และเงื่อนไขต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปตามมิติต่าง ๆ ที่คาดว่าจะส่งผลต่อ ทิศทางการพัฒนามหาวิทยาลัย ข้อเสนอแนะจากผลการประเมินมหาวิทยาลัยในรอบปีที่ผ่านมา และที่สำคัญคือการพัฒนามหาวิทยาลัยให้สอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาล แผนพัฒนาการศึกษา และ ยุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับอุดมศึกษาในรอบ 5 ปีข้างหน้า รวมทั้งสอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลในหลายระดับ เช่น ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561–2580) ในด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขัน [8] แผนแม่บท BCG Economy Model ของรัฐบาลไทย (พ.ศ. 2564–2569) [9] และแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566–2570) [10] ซึ่งเน้นการส่งเสริมเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว เพื่อยกระดับเศรษฐกิจฐานรากอย่างยั่งยืน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดทิศทางการพัฒนามหาวิทยาลัยไปสู่การเป็นมหาวิทยาลัยที่บูรณาการศาสตร์พระราชาเพื่อพัฒนาให้เป็นมหาวิทยาลัยชั้นนำ ประกอบด้วย 5 ยุทธศาสตร์ ดังนี้ (1) การยกระดับคุณภาพ บัณฑิต (2) การผลิตและพัฒนาวิชาชีพครู (3) การวิจัยและพัฒนานวัตกรรม (4) การพัฒนาท้องถิ่น (5) การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหาร

มหาวิทยาลัยจึงได้ตระหนักถึงการวางแผน การพัฒนาแผนไปสู่การปฏิบัติ และการติดตาม ประเมินผล ขององค์กรอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล อันนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายเดียวกัน ของวิสัยทัศน์มหาวิทยาลัย "ภายในปี 2570 เป็นมหาวิทยาลัยชั้นนำด้านอาหาร การท่องเที่ยว และวิทยาการสุขภาพ ภายใต้ความเป็นมหาวิทยาลัยดิจิทัล ด้วยการบูรณาการศาสตร์ เพื่อพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน" มหาวิทยาลัยได้กำหนดประเด็นยุทธศาสตร์จำนวน 6 ยุทธศาสตร์ โดยแต่ละยุทธศาสตร์มีเป้าประสงค์เพื่อเป็นเป้าหมายในการพัฒนาจะเป็นเครื่องมือหลักที่สำคัญในการใช้เป็นกรอบทิศทางและแนวทางในพัฒนาที่ชัดเจนร่วมกัน เพื่อผลักดันและขับเคลื่อนให้การดำเนินการในภารกิจต่าง ๆ บรรลุเป้าหมายตามประเด็นยุทธศาสตร์ ทั้ง 5 ประเด็น โดยยุทธศาสตร์พัฒนาท้องถิ่นมีเป้าหมายในการพัฒนาคือ เชื่อมโยงรูปแบบ BCG เพื่อยกระดับเศรษฐกิจฐานรากสู่สากลอย่างยั่งยืน

ผู้ศึกษาปฏิบัติหน้าที่ในบทบาทหัวหน้างานงานพัฒนาท้องถิ่นและบริการวิชาการ สถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม ปฏิบัติภารกิจในการขับเคลื่อนพันธกิจของมหาวิทยาลัยด้านการให้บริการวิชาการต่อสังคม มีหน้าที่หลักในการประสานงานระหว่างหน่วยงานภายในและหน่วยงานภายนอกในการขับเคลื่อนงานบริการวิชาการแก่สังคม และดำเนินกิจกรรมที่สนับสนุน ส่งเสริมการให้บริการวิชาการที่แก้ไขปัญหาและสร้างความเข้มแข็งแก่ชุมชนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงรวมถึงเป้าประสงค์ตามยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยฯ เล็งเห็นถึงความสำคัญในการรายงานผลลัพธ์ตามเป้าประสงค์ ในการพัฒนาท้องถิ่น ได้แก่ "เชื่อมโยงรูปแบบ BCG เพื่อยกระดับเศรษฐกิจฐานรากสู่สากล อย่างยั่งยืน" จึงจัดทำองค์ความรู้การจัดทำโครงการบริการวิชาการเพื่อพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ด้วยโมเดลเศรษฐกิจหมุนเวียน BCG ขึ้นเพื่อเป็นการรายงานผลลัพธ์ตามแผนมหาวิทยาลัยฯ และเป็นองค์ความรู้ในการพัฒนาการองค์กรต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องของโครงการบริการวิชาการเพื่อพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี กับ โมเดลเศรษฐกิจ BCG

2. เพื่อสังเคราะห์องค์ความรู้จากการดำเนินงานโครงการบริการวิชาการเพื่อพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ด้วยโมเดลเศรษฐกิจ BCG บรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้เป็นงานเชิงสังเคราะห์ผลการดำเนินงานโครงการบริการวิชาการเพื่อพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี โดยมีขอบเขตของการศึกษาด้านเนื้อหา ได้แก่ โครงการบริการวิชาการเพื่อพัฒนาชุมชนท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏ

เพชรบุรี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 กรณีศึกษา จำนวน 10 โครงการ ที่มีการดำเนินงานตามมิติของโมเดล BCG และมีข้อมูลครบถ้วนสำหรับการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ ขอบเขตด้านแนวความคิด เป็นไปตามแนวความคิดเศรษฐกิจ BCG Model เป็นการพัฒนาเศรษฐกิจแบบองค์รวม ที่จะพัฒนาเศรษฐกิจ 3 มิติไปพร้อมกัน ได้แก่ เศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy) เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy)

4. วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ใช้แนวทางในการวิจัยเชิงคุณภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลและสังเคราะห์องค์ความรู้ ใช้เครื่องมือในการสังเคราะห์ ได้แก่ การใช้แผนที่ผลลัพธ์ (outcome mapping) เป็นเครื่องมือในการกำหนดกรอบแนวคิดของสังเคราะห์พิจารณาข้อมูลนำเข้า กระบวนการ และผลลัพธ์จากกระบวนการ กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ผู้ปฏิบัติงานในการจัดทำโครงการยุทธศาสตร์พัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 จำนวน 30 คน การเก็บรวบรวมข้อมูลใช้วิธีการเชิงคุณภาพ ประกอบด้วย 1) การศึกษาค้นคว้าแนวความคิดที่เกี่ยวข้องกับโมเดลเศรษฐกิจ BCG 2) การศึกษาจากแผนงานและรายงานผลโครงการยุทธศาสตร์พัฒนาท้องถิ่น 3) การสังเกตการณ์ โดยใช้การสังเกตแบบมีส่วนร่วม (participatory observation) จากประสบการณ์ในการเป็นส่วนหนึ่งในการร่วมปฏิบัติการจัดทำแผนพัฒนามหาวิทยาลัยฯ การสั่งสมความรู้จากการจัดทำโครงการบริการทางวิชาการเพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและประสบการณ์การเป็นคณะทำงานในการกำกับติดตามและประเมินผลโครงการพัฒนาเชิงพื้นที่โดยมีการลงพื้นที่ชุมชนเป้าหมายที่ดำเนินการ และ 4) การสนทนากลุ่ม โดยการจัดเวทีถอดบทเรียน ในหัวข้อมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีกับการเชื่อมโยงระบบเศรษฐกิจ BCG เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน โดยผู้ศึกษากำหนดคำถามสำคัญไว้เป็นแนวทางในการสนทนากลุ่ม

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1. ผลการวิเคราะห์สอดคล้องของโครงการบริการวิชาการเพื่อพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี กับ โมเดลเศรษฐกิจ BCG พบว่า โครงการและองค์ความรู้ที่นำไปถ่ายทอดหรือให้บริการทางวิชาการของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ในขอบเขตที่ศึกษาจำนวน 10 โครงการ มีผลการดำเนินงานสอดคล้องกับโมเดลเศรษฐกิจ BCG ดังนี้

1) โครงการพัฒนาและสนับสนุนการท่องเที่ยวเชิงเกษตร อาหาร และสุขภาพ เพื่อยกระดับรายได้อย่างยั่งยืน ให้กับชุมชนบ้านหนองน้ำดำ ตำบลห้วยแม่เพรียง อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี องค์ความรู้ที่นำไปถ่ายทอดหรือให้บริการทางวิชาการ ได้แก่ องค์ความรู้การท่องเที่ยวเชิงเกษตร" ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องกับ **BCG MODEL** ดังนี้

เศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy) เกษตรกรสามารถสร้างรายได้เสริมจากการใช้ทรัพยากรสวนเกษตรในพื้นที่ รวมถึงผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ โดยไม่ต้องพึ่งพาการขายผลผลิตเพียงอย่างเดียวโดยนักท่องเที่ยวสามารถเข้ามาสัมผัสวิถีชีวิตเกษตร ทดลองการเก็บเกี่ยวผลผลิต หรือเรียนรู้กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ เช่น การทำน้ำมันนวดจากเปลือกทุเรียน นอกจากนี้กิจกรรมการท่องเที่ยวช่วยให้ผู้คนตระหนักถึงความสำคัญของความหลากหลายทางชีวภาพ โดยประชาชนสามารถใช้สัตว์ท้องถิ่นเป็นจุดขายเพื่อดึงดูดนักท่องเที่ยว เช่น การอนุรักษ์สัตว์ป่าสงวนโดยกิจกรรมสร้างบ้านนกเงือกซึ่งเป็นนกประจำถิ่นของอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน **เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)** มีการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า เช่น นำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมารีไซเคิลหรือใช้ประโยชน์ในเชิงสร้างสรรค์ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การนำเปลือกทุเรียนมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันนวด **เศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy)** การพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากและการสร้างงานในชุมชนเกษตรกรสามารถใช้การท่องเที่ยวเป็นช่องทางเพิ่มรายได้ โดยดึงดูดนักท่องเที่ยวให้มาใช้บริการในท้องถิ่น โดยการจัดกิจกรรมเปิดชุมชนท่องเที่ยวเป็นเทศกาล เงาะ-ทุเรียน โดยประชาชนในพื้นที่ทำหน้าที่เป็นมัคคุเทศก์ พ่อครัว นักออกแบบผลิตภัณฑ์ และให้บริการในด้านอื่นๆ

2) โครงการส่งเสริมศักยภาพชุมชนห้วยข้องสู่การค้าเชิงพาณิชย์ด้วยพหุวิทยาการ องค์ความรู้ที่นำไปถ่ายทอดหรือให้บริการทางวิชาการ ได้แก่ "องค์ความรู้การปลูกข้าวหอมมะลิ ในบริบทพื้นที่น้ำน้อย" ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องกับ **BCG MODEL** ดังนี้ **เศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy)** การใช้เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อช่วยบริหารจัดการน้ำ โดยส่งเสริมการใช้จุลินทรีย์ที่ช่วยบำบัดน้ำเสีย และกำจัดสารพิษจากสารเคมีตกค้างในแปลงนา ใช้ ปุ๋ยชีวภาพ แทนปุ๋ยเคมี เพื่อลดปัญหามลพิษทางน้ำใช้ แนวคิด

เกษตรอินทรีย์ ร่วมกับระบบชลประทานที่มีประสิทธิภาพเพื่อป้องกันการชะล้างสารเคมีลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และการใช้ข้าวพันธุ์ทนแล้งที่เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่ **เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)** ส่งเสริมให้เกษตรมีการทรัพยากรน้ำอย่างคุ้มค่าในการปลูกข้าวหอมมะลิ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการปลูกข้าวแบบประหยัดน้ำ ใช้วิธีการ ปล่อยน้ำเข้า-ออกเป็นรอบ แทนการแช่น้ำตลอดเวลา (เปียกสลับแห้งแกล้งข้าว) ซึ่งช่วยลดการใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนจากการทำนาแบบน้ำขัง ซึ่งช่วยลดผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน

3) โครงการขับเคลื่อนการท่องเที่ยวชุมชนเชิงธรรมชาติ และวัฒนธรรมบ้านลิ้นช้าง อำเภอหนองหญ้าปล้อง จังหวัดเพชรบุรี องค์ความรู้ที่นำไปถ่ายทอดหรือให้บริการทางวิชาการ ได้แก่ "องค์ความรู้การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยจากส่วนผสมพริกพราน" ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องกับ **BCG MODEL** ดังนี้ **เศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy)** ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรชีวภาพเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม โดยการคัดเลือกพืชพื้นถิ่นที่มีอยู่ในพื้นที่อำเภอหนองหญ้าปล้อง ได้แก่ พริกพราน (มะแขว่น) ซึ่งเป็นพืชสมุนไพรที่มีสรรพคุณทางยา นำมาพัฒนาและเพิ่มมูลค่าโดยสกัดสารจากพริกพรานมาเป็นส่วนผสมกับน้ำมันหอมระเหย มีสรรพคุณช่วยบรรเทาอาการปวดเมื่อย

4) โครงการยกระดับเศรษฐกิจสร้างสรรค์เกษตรปลอดสาร อาหารปลอดภัย ของดีท่าคอย อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี สู่การตลาดเชิงพาณิชย์ องค์ความรู้ที่นำไปถ่ายทอดหรือให้บริการทางวิชาการ ได้แก่ "องค์ความรู้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใบหม่อนสู่การสร้างมูลค่าเพิ่มเชิงพาณิชย์ (ผงโรยข้าวใบหม่อน)" ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องกับ **BCG MODEL** ดังนี้ **เศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy)** ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรพืชที่ปลูกเป็นจำนวนมากเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม โดยนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ นำใบหม่อนที่อาจเหลือทิ้งจากการเลี้ยงไหมหรือเกษตรกรรม มาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้น ซึ่ง ใบหม่อน นอกจากจะใช้เป็นอาหารของหนอนไหม แล้วยังสามารถ ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องด้วยสรรพคุณ ช่วยต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด เหมาะสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน ลดคลอเลสเตอรอล และความดันโลหิต เสริมสร้างภูมิคุ้มกันและบำรุงช่วยลดน้ำหนักและกระตุ้นการเผาผลาญ **เศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy)** ส่งเสริมเศรษฐกิจชุมชน และสร้างงานให้เกษตรกร สร้างโอกาสทางอาชีพให้เกษตรกรและชุมชนท้องถิ่นเกษตรกรสามารถ ปลูกใบหม่อนเพื่อแปรรูปเป็นสินค้า เพิ่มรายได้โดยไม่ต้องขยายพื้นที่การเกษตร และส่งเสริมให้ชุมชนพัฒนา ผลิตภัณฑ์ OTOP จากใบหม่อนและสร้างตลาดผลิตภัณฑ์สีเขียวสินค้าจากใบหม่อนเป็นที่ต้องการในกลุ่มผู้บริโภคที่ใส่ใจสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ เป็นเศรษฐกิจสร้างสรรค์เกษตรปลอดสาร อาหารปลอดภัย

5) โครงการการพัฒนาคุณภาพชีวิตตำบลหนองโสนและยกระดับเศรษฐกิจฐานรากครบวงจรสู่การต่อยอดเชิงพาณิชย์ องค์ความรู้ที่นำไปถ่ายทอดหรือให้บริการทางวิชาการ ได้แก่ "การใช้แพลตฟอร์มดิจิทัลเพื่อเข้าถึงข้อมูลผู้สูงอายุเพื่อการติดตามด้านสุขภาพ" ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องกับ BCG MODEL ดังนี้ **เศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy)** การใช้เทคโนโลยีดิจิทัลช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดการใช้กระดาษและพลังงาน ลดการเดินทาง ลดมลพิษการมีข้อมูลที่ถูกต้องช่วยให้ประชาชนหันมาใส่ใจสุขภาพ เช่น รับประทานอาหารที่ดีต่อสุขภาพ ลดการใช้ยา และออกกำลังกายลดการใช้ยาที่ไม่จำเป็น ซึ่งช่วยลด ขยะอันตรายจากสารเคมีในยา และการสนับสนุนผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติและการแพทย์ทางเลือก โดยมีการส่งเสริมความรู้ด้านเภสัชกรรมไทย การเลือกใช้ สมุนไพรและผลิตภัณฑ์ชีวภาพ ช่วยให้ประชาชนเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แทนยาสังเคราะห์ที่อาจก่อให้เกิดมลพิษ

6) โครงการพัฒนาและยกระดับคุณภาพชีวิตชุมชนบ้านช้างแรกสู่วิสาหกิจชุมชนต้นแบบด้านเศรษฐกิจระดับประเทศ องค์ความรู้ที่นำไปถ่ายทอดหรือให้บริการทางวิชาการ ได้แก่ "องค์ความรู้การเพิ่มมูลค่าโกโก้ตลอดห่วงโซ่คุณค่า" ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องกับ BCG MODEL ดังนี้ **เศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy)** ส่งเสริมการใช้ปุ๋ยชีวภาพ และ จุลินทรีย์ชีวภาพ แทนปุ๋ยเคมี เพื่อลดสารตกค้าง เช่น การทำปุ๋ยหมักจากทะลายปาล์ม เปลือกโกโก้ ที่มีอยู่จำนวนมากในพื้นที่ ใช้ระบบ เกษตรเชิงวนเกษตร โดยการปลูกโกโก้ร่วมกับต้นไม้อื่น เช่น ยางพารา มะพร้าว เพื่อรักษาความสมดุลของระบบนิเวศ 2) การใช้เทคโนโลยีชีวภาพในการแปรรูปโกโก้ โดยใช้กระบวนการหมักโกโก้ด้วยจุลินทรีย์ ธรรมชาติ จากใบไม้ ใบตองช่วยหมักโกโก้ให้ได้กลิ่นและรสชาติที่ดีขึ้นลดการใช้สารเคมีในกระบวนการหมัก 3) การแปรรูปผลิตภัณฑ์โกโก้ที่ยั่งยืน โดยการเพิ่มมูลค่าผลผลิตโกโก้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ตามความต้องการของตลาด ได้แก่ โกโก้นิบส์ (Cocoa Nibs) โกโก้บัตเตอร์ (Cocoa Butter) และโกโก้พาวเดอร์ (Cocoa Powder) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการต่อยอดผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆได้แก่ โกโก้พร้อมชงดื่ม ชอคโกแลต ครีมบำรุงผิวและ

สบู่ผสมบัตเตอร์โกโก้ **เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)** 1) การลดของเสียและใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าในการปลูกโกโก้ โดยการลดการใช้ปุ๋ยเคมี โดยส่งเสริมการทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชและมูลสัตว์ ใช้ระบบเกษตรเชิงวนเกษตรปลูกโกโก้ร่วมกับพืชอื่น เพื่อลดการใช้พื้นที่และเพิ่มความหลากหลายของพืช เช่น ยางพารา มะพร้าว การใช้น้ำหมุนเวียน ใช้ ระบบน้ำหยด และ บ่อกักเก็บน้ำฝน ในการเพาะปลูกโกโก้ นำน้ำที่ใช้ล้างเมล็ดโกโก้ กลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต 2) การใช้พลังงานหมุนเวียนในกระบวนการแปรรูป ใช้โรงอบจากพลังงานแสงอาทิตย์ในกระบวนการตากแห้งเมล็ดโกโก้ 3) การนำของเสียจากโกโก้กลับมาใช้ใหม่โดยการใช้เปลือกโกโก้และกากโกโก้ให้เกิดประโยชน์ เปลือกโกโก้ นำมาทำเป็น ปุ๋ยอินทรีย์ ใช้บำรุงต้นโกโก้ กากโกโก้จากการสกัดโกโก้บัตเตอร์ ใช้ทำส่วนผสมครีมบำรุงผิว และสบู่โกโก้ โกโก้ที่ไม่ได้คุณภาพใช้ทำอาหารสัตว์ และทำเป็นชาเปลือกโกโก้ เปลือกโกโก้และของเสียจากโกโก้ นำไปผลิต ไบโอแก๊ส (Biogas) ใช้เป็นพลังงานสำหรับกระบวนการแปรรูปและ อัดแท่งเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล **เศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy)** 1) ส่งเสริมการปลูกโกโก้แบบยั่งยืน ใช้แนวทางเกษตรอินทรีย์ ลดการใช้สารเคมี ใช้ปุ๋ยชีวภาพแทนปุ๋ยเคมี เพื่อลดสารตกค้างในดินใช้วิธี เกษตรเชิงวนเกษตร ปลูกโกโก้ร่วมกับต้นไม้อื่น เช่น มะพร้าว หรือกล้วย ช่วยรักษาความหลากหลายทางชีวภาพ ลดการตัดไม้ทำลายป่า ส่งเสริมให้ใช้พื้นที่เดิมในการปลูกโกโก้ แทนการบุกรุกป่าใหม่ ใช้ระบบ เกษตรฟื้นฟู ที่ช่วยฟื้นฟูดินและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของระบบนิเวศ 2) สนับสนุนเศรษฐกิจท้องถิ่นและวิถียั่งยืน โดยส่งเสริมให้เกษตรกรแปรรูปโกโก้เอง ลดการพึ่งพาคนกลาง

7) โครงการอบรมเชิงปฏิบัติการการให้น้ำและใช้ชันโรงเพื่อเพิ่มผลผลิตมะพร้าวน้ำหอม องค์ความรู้ที่นำไปถ่ายทอดหรือให้บริการทางวิชาการ ได้แก่ "องค์ความรู้การเพิ่มผลผลิตมะพร้าวน้ำหอมด้วยการจัดการน้ำและชันโรง" ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องกับ BCG MODEL ดังนี้ **เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)** ถ่ายทอดความรู้การบริหารจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ใช้ระบบน้ำหมุนเวียนเพื่อลดการสิ้นเปลืองน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำ รวมถึงระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพเพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในแปลงเกษตร ปลูกพืชกรองน้ำ เช่น แหนแดงหรือกก เพื่อลดสารปนเปื้อน **เศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy)** ถ่ายทอดความรู้การเพิ่มผลผลิตมะพร้าวด้วยวิธีธรรมชาติ มะพร้าวเป็นพืชที่มี ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกัน ในต้นเดียวกันแมลงผสมเกสร เช่น ผึ้งและชันโรง ช่วยถ่ายละอองเกสร ทำให้ติดผลมากขึ้นลดความจำเป็นในการใช้แรงงานคนผสมเกสร เพิ่มคุณภาพผลผลิตโดยไม่ต้องพึ่งพาสารเคมี มะพร้าวที่ได้รับการผสมเกสรจากแมลงจะมี ผลใหญ่ขึ้น รูปทรงสวยงามช่วยให้เกษตรกรได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูงขึ้น ขายได้ราคา 2) ลดการใช้สารเคมี ส่งเสริมระบบเกษตรอินทรีย์ บางสวนใช้ ฮอร์โมนสังเคราะห์ กระตุ้นการติดผล ซึ่งอาจมีสารตกค้างถ้ามีแมลงผสมเกสรตามธรรมชาติ จะช่วยลดความจำเป็นในการใช้สารเหล่านี้ ลดการใช้สารกำจัดศัตรูพืชที่ทำลาย 3) รักษาสมดุลระบบนิเวศ ลดการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ โดยช่วยอนุรักษ์แมลงผสมเกสรที่สำคัญต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ผึ้งและชันโรง มีความสำคัญต่อการผสมเกสรพืชชนิดอื่นๆ นอกเหนือจากมะพร้าวทำให้เกิด ห่วงโซ่อาหารที่สมดุล ส่งผลให้มีการควบคุมแมลงศัตรูพืชตามธรรมชาติ สร้างอาชีพและรายได้เพิ่มเติมจากผลิตภัณฑ์ผึ้งและชันโรง ควบคู่กับสวนมะพร้าวเกษตรกรสามารถ เลี้ยงชันโรงหรือผึ้ง ในสวนมะพร้าวเพื่อเพิ่มอัตราการผสมเกสรได้ ผลผลิตเสริมจากรังชันโรง เช่น น้ำผึ้งชันโรง ซึ่งเป็นที่ต้องการในตลาดสุขภาพ

8) โครงการการพัฒนาและการยกระดับเศรษฐกิจฐานรากตำบลศาลาลัยสู่ต้นแบบการบริหารจัดการมะม่วงแบบครบวงจร องค์ความรู้ที่นำไปถ่ายทอดหรือให้บริการทางวิชาการ ได้แก่ "องค์ความรู้การสกัดสารแลคติคจากมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการเพิ่มมูลค่า" ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องกับ BCG MODEL ดังนี้ **เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)** 1) เพิ่มมูลค่าแก่ผลผลิตทางการเกษตรที่ ได้แก่ มะม่วงน้ำดอกไม้ โดยการสกัดสารกรดแลคติก เป็นการใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติแทนสารเคมี เป็นการใช้ทรัพยากรชีวภาพให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยสกัดเอนไซม์ และกระบวนการหมัก เปลือกมะม่วง อุดมไปด้วยสาร โพลีฟีนอลและสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์ดูแลผิว เนื้อมะม่วง สามารถหมักเป็นสารสกัด AHA ที่ช่วยผลัดเซลล์ผิวในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระและสารบำรุงผิวพัฒนาเป็น ผลิตภัณฑ์ชีวภาพ ได้แก่ เซรั่ม มาส์คหน้า 2) ลดการใช้สารเคมีในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางสารสกัดจากมะม่วงช่วย ทดแทนสารเคมีสังเคราะห์ ที่อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิว เป็นเครื่องสำอางจากธรรมชาติที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม **เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)** การนำมะม่วงที่เหลือทิ้งจากการคัดเกรดแต่ยังมีคุณภาพมาสกัดสารเป็นการลดขยะอาหาร โดยมะม่วงที่มีตำหนิ หรือเหลือจากกระบวนการผลิตน้ำผลไม้และแปรรูปอาหาร สามารถนำมาใช้สกัดสารสำคัญ ได้ แทนที่จะถูกทิ้งลดปริมาณขยะอินทรีย์ที่ส่งไปฝังกลบ ใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าทุก

ส่วน ใช้ทุกส่วนของมะม่วงในการผลิต สารสกัด สครับ โลชั่น และเครื่องสำอางลดการใช้วัตถุดิบใหม่จากธรรมชาติ ทำให้ทรัพยากรไม่ถูกใช้จนหมดไป 3) ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการกำจัดขยะอินทรีย์ และลดการพึ่งพาสารเคมีสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง **เศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy)** ส่งเสริมการสร้างระบบเศรษฐกิจที่ยั่งยืน โดยเกษตรกรและผู้ประกอบการสามารถสร้างรายได้จากของเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีอยู่ในพื้นที่ เกษตรกรสามารถนำผลผลิตมะม่วงที่ไม่ได้มาตรฐานที่จำหน่ายไม่ได้ราคามาจำหน่ายให้ผู้ประกอบการ และผู้ประกอบการได้เข้าถึงวัตถุดิบในต้นทุนต่ำ เป็นการเกื้อกูลระหว่างกลุ่มอาชีพระหว่างเกษตรและผู้ประกอบการ สร้างโอกาสทางอาชีพใหม่ สร้างอาชีพและรายได้ให้กับชุมชน สนับสนุนแนวคิดเศรษฐกิจที่ยั่งยืน

9) โครงการพัฒนาคุณภาพชีวิตประชาชนในโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ บ้านโป่งลึก- บางกลอย "องค์ความรู้การย้อมสีผ้าด้วยวัสดุจากธรรมชาติ" ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องกับ BCG MODEL ดังนี้ **เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)** 1) การส่งเสริมการใช้วัสดุย้อมสีธรรมชาติ เป็นการรื้อฟื้นวิถีชีวิตดั้งเดิมของกลุ่มชนชาติพันธุ์ที่มีความนิยมในการทอผ้าใช้เอง โดยใช้ทรัพยากรชีวภาพแทนสารเคมีสังเคราะห์ สีย้อมมาจากวัสดุจากธรรมชาติ เช่น เปลือกไม้ รากพืช ใบไม้ ดอกไม้ ผลไม้นำมาใช้เป็นสีย้อม แทนสารเคมีสังเคราะห์ที่เป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ ช่วยลดสารพิษตกค้างในผลิตภัณฑ์สิ่งทอ ทำให้ปลอดภัยต่อผู้ใช้ 2) เพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ผ้าทอ จากกระแสความนิยมของผู้บริโภคที่มุ่งเน้นบริโภคผลิตภัณฑ์ที่สนับสนุนความยั่งยืน และเพิ่มมูลค่าผลผลิตเหลือทิ้งจากภาคเกษตรและทรัพยากรชีวภาพ ใช้เศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น เปลือกมังคุด แก่นขนุน ฝาง ผลมะเกลื่อ มาเป็นสีย้อม ช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มจากการขายพืชหรือของเหลือใช้ และลดต้นทุนในการซื้อสีย้อมเคมี 3) ถ่ายทอดความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการพัฒนาเฉดสีธรรมชาติ ด้วยการหมัก การต้มหรือกรรมวิธีทางเคมีอย่างง่ายในการย้อมสีเส้นใยเพื่อให้เกิดสีสันสวยงาม การใช้สารช่วยติดสีจากธรรมชาติ ได้แก่ เกลือ น้ำส้มสายชู น้ำด่าง(ขี้เถ้า) การใช้จุลินทรีย์และเอนไซม์ในกระบวนการสกัดสีจากพืช ทำให้ได้สีที่คงทนและมีคุณภาพสูงขึ้น การเทคนิคการย้อมแบบชีวภาพที่ช่วยให้สีติดทนนานขึ้นโดยไม่ต้องใช้สารเคมีช่วยย้อม **เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)** 1) ส่งเสริมให้ใช้ทรัพยากรหมุนเวียนและลดของเสียโดยวัสดุที่ใช้ เช่น เปลือกไม้ ใบไม้ ผลไม้ ที่เป็นผลพลอยได้จากภาคเกษตรกรรม ช่วยลดขยะอินทรีย์ที่ตกค้าง สามารถนำเศษเหลือจากการย้อมไปใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพหรือน้ำหมักต่อไป การย้อมสีจากพืชธรรมชาติ เช่น ฝาง แก่นขนุน หรือเปลือกไม้ ลดการใช้สีย้อมสังเคราะห์ ที่มักมีโลหะหนักและสารพิษ ลดสารตกค้างในแหล่งน้ำและดิน ซึ่งช่วยป้องกันมลพิษทางน้ำ 2) ลดการใช้พลังงานและน้ำเพราะกระบวนการย้อมสีธรรมชาติใช้พลังงานต่ำกว่าการย้อมสังเคราะห์ เนื่องจากไม่ต้องใช้เครื่องจักรที่อุณหภูมิสูงและลดปริมาณน้ำเสียและมลพิษจากกระบวนการผลิต 3) สนับสนุนแฟชั่นที่ยั่งยืน (Sustainable Fashion) ลดผลกระทบจากอุตสาหกรรมฟาสต์แฟชั่น ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำและของเสียจำนวนมาก โดยสนับสนุนแบรนด์แฟชั่นที่มีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม (Eco-friendly brands) **เศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy)** การย้อมสีผ้าจากวัสดุธรรมชาติเป็นส่วนหนึ่งของ Green Economy เพราะช่วยลดมลพิษ ลดการใช้สารเคมี ลดพลังงานและน้ำ สนับสนุนเศรษฐกิจชุมชน และส่งเสริมกิจกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะพื้นที่ดำเนินการซึ่งอยู่ในพื้นที่ป่าอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน เป็นผืนป่ามรดกโลก เป็นป่าต้นน้ำของจังหวัดเพชรบุรี การลดการใช้สารเคมีในทุกกิจกรรมจะเป็นการช่วยรักษาสมดุลของผืนป่า ไม่ส่งผลกระทบต่อสัตว์ป่าและสิ่งแวดล้อมภายในป่า อีกทั้งส่งเสริมการผลิตสินค้าหัตถกรรมของชนชาติพันธุ์ ที่มีกระบวนการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ผ้าทอมือ ผ้าฝ้ายอินทรีย์ เพิ่มโอกาสทางเศรษฐกิจให้ชุมชน โดยใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นและทรัพยากรที่หาได้ในท้องถิ่นนำเสนอเป็นอัตลักษณ์ของชุมชน

10) โครงการพัฒนาชุมชนในโครงการอันเนื่องมาจากพระราชประสงค์หนองพลับ- กลัดหลวง ผลการวิเคราะห์ความสอดคล้องกับ BCG MODEL ดังนี้ **เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)** 1) การส่งเสริมการจัดตั้งกลุ่มผู้ปลูกกล้วยหอมทองโดยการรวมกลุ่มแปลงใหญ่เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพการผลิตที่มีคุณภาพ โดยการนำเทคโนโลยีมาใช้เพื่อการผลิต/การจัดการผลผลิตยกระดับมาตรฐานการผลิตกล้วยหอมทองให้ได้มาตรฐาน GAP 2) เพิ่มมูลค่าเศษวัสดุเป็นสารชีวภาพโดยนำพืช ฟาง หรือของเหลือจากการเกษตรไปแปรรูปเป็น ปุ๋ยหมัก การใช้สารชีวภาพกำจัดศัตรูพืช เช่น เชื้อราไตรโคเดอร์มา หรือแบคทีเรียบาซิลลัส แทนสารเคมีกำจัดโรค **เศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy)** 1) ส่งเสริมการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มา ใช้ประโยชน์ด้านการผลิต

ปุ๋ยหมัก ใช้หมุนเวียนในแปลงเกษตรลดการใช้สารเคมีและมลพิษทางดิน น้ำ และอากาศ ใช้วิธี เกษตรอินทรีย์ เพื่อลดสารพิษตกค้าง 2) การใช้เทคโนโลยีระบบการให้น้ำเพื่อลดต้นทุนการผลิต และบริหารจัดการน้ำให้เกิดประสิทธิภาพโดยสูงสุด โดยใช้ระบบน้ำพ่นฝอยเพื่อลดการใช้น้ำและช่วยให้ต้นกล้วยได้รับน้ำอย่างสม่ำเสมอ มีการขุดสระน้ำเพื่อเก็บน้ำฝนไว้ใช้ช่วงแล้ง **เศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy)** การส่งเสริมการปลูกกล้วยหอมทองแก่เกษตรกรในโครงการสหกรณ์หนองพลับ-กลัดหลวง เป็นการดำเนินการตามแนวทาง เกษตรยั่งยืน ส่งเสริมการผลิตด้วยมาตรฐาน GAP หรือเกษตรอินทรีย์ เพื่อเพิ่มราคำขาย มีส่วนช่วยส่งเสริมเศรษฐกิจชุมชน และสร้างความมั่นคงทางอาหาร เกษตรกรสามารถพึ่งพาตนเองได้ ลดต้นทุนจากการพึ่งพาปุ๋ยเคมีและสารเคมีสังเคราะห์ ส่งเสริม วิถีเกษตรพื้นบ้าน เกษตรกรรมทางเลือก และตลาดสินค้าเกษตรอินทรีย์ เป็นแหล่งศึกษาเรียนรู้เรื่องการ ปลูก ผลิต แปรรูป กล้วยหอมทอง อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดมลพิษ รักษาสิ่งแวดล้อม ใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 ผลการสังเคราะห์องค์ความรู้จากการดำเนินงานโครงการบริการวิชาการเพื่อพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ด้วยโมเดลเศรษฐกิจ BCG บรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) จากผลการวิเคราะห์ในข้อ 5.1 ผู้ศึกษาจึงนำผลการวิเคราะห์ ประกอบกับข้อมูลจากการสังเกตการณ์ และประสบการณ์จากการมีส่วนร่วมในการติดตามผลการดำเนินงานในพื้นที่สังเคราะห์เป็นประเด็นองค์ความรู้และตอบโจทย์เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยสามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มองค์ความรู้หลัก ได้แก่ (1) การส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงเกษตร (2) การจัดการทรัพยากรในภาคเกษตร (3) การแปรรูปผลผลิตเพิ่มมูลค่า และ (4) การส่งเสริมหัตถกรรมท้องถิ่น โยแต่ละกลุ่มมีความเชื่อมโยงเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) อย่างเป็นรูปธรรม ดังนี้

กลุ่มที่หนึ่ง โครงการที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวเชิงเกษตร เช่น บ้านหนองน้ำดำและบ้านลิ้นช้าง แสดงให้เห็นถึงการบูรณาการวิถีชีวิต วัฒนธรรม และเกษตรกรรม เพื่อสร้างกิจกรรมท่องเที่ยวที่ยั่งยืน ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางของ วรดาภา พันธ์เพ็ง (2567) ที่เน้นว่า การท่องเที่ยวโดยชุมชนภายใต้แนวคิด BCG ต้องอาศัยฐานทรัพยากรธรรมชาติ วัฒนธรรม และกระบวนการเรียนรู้ร่วมกันของชุมชน [6] การจัดการแบบนี้ยังเชื่อมโยงกับผลการวิจัยของ ดารณี อาจหาญ และคณะ (2565) ที่เสนอว่า การพัฒนา "การท่องเที่ยวเชิงอาหาร" โดยใช้ผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นและวัตถุดิบชีวภาพ เป็นการสร้างคุณค่าทางเศรษฐกิจควบคู่กับการอนุรักษ์วัฒนธรรม [3] ซึ่งมีความสอดคล้องกับ SDGs ข้อ 2, 8, 12, 13, และ 15

กลุ่มที่สอง โครงการที่มุ่งจัดการทรัพยากรในภาคเกษตร เช่น "ทำนาน้ำน้อย" และ "มะพร้าวน้ำหอมกับชันโรง" แสดงถึงการนำแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนมาประยุกต์ใช้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การใช้น้ำอย่างประหยัด การนำวัสดุเหลือใช้มาทำปุ๋ยชีวภาพ หรือการส่งเสริมเกษตรอินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ ปรีชญา รุ่งวิกรัยกานต์ และ เพ็ญศรี ชิตบุตร (2566) ที่ชี้ว่า การจัดการทรัพยากรภายในโดยอิงแนวคิด BCG ช่วยลดต้นทุนและรักษาสิ่งแวดล้อมในระยะยาว [5] สอดคล้องกับ SDGs ข้อ 2, 6, 12, 13 และ 15

กลุ่มที่สาม คือโครงการที่เน้นการแปรรูปผลผลิตเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่า เช่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากโกโก้ ใบหม่อน หรือมะม่วงน้ำดอกไม้ ซึ่งช่วยยกระดับรายได้ให้เกษตรกร และลดการสูญเสียทางอาหาร แนวทางนี้ตรงกับข้อเสนอของ สุทธิพงศ์ เปรมทวีสุข และคณะ (2566) ที่เสนอกรอบการขับเคลื่อนเศรษฐกิจชีวภาพโดยใช้พืชเศรษฐกิจในระดับต้นทาง กลางทาง และปลายทาง เพื่อเสริมศักยภาพอุตสาหกรรมชุมชน [5] สอดคล้องกับ SDGs ข้อ 1, 2, 8, 9, 12, 13 และ 15

กลุ่มที่สี่ โครงการส่งเสริมหัตถกรรมท้องถิ่น เช่น การย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติในพื้นที่บ้านโป่งลึก-บางกลอย ได้ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและภูมิปัญญาท้องถิ่นควบคู่กัน สร้างรายได้และอัตลักษณ์ให้ชุมชน ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางของ นพรัตน์ ไชยชนะ (2567) ที่ชี้ว่า การใช้ทุนทางวัฒนธรรมร่วมกับแนวคิด BCG เป็นกลยุทธ์สำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากของกลุ่มชาติพันธุ์ [4] สอดคล้องกับ SDGs ข้อ 1, 8, 10, 11, 12, 15 และ 17

เมื่อพิจารณาในภาพรวม องค์ความรู้ที่ถ่ายทอดผ่านโครงการเหล่านี้สามารถสะท้อนให้เห็นว่า แนวทางการพัฒนาท้องถิ่นด้วยโมเดล BCG ไม่เพียงตอบโจทย์ทางเศรษฐกิจ หากยังมีบทบาทในการสร้างความตระหนักเรื่องสิ่งแวดล้อม และส่งเสริมการพึ่งพาตนเองของชุมชนอย่างเป็นระบบ ทั้งนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ วรดาภา พันธ์เพ็ง (2567) ซึ่งชี้ว่า การจัดการท่องเที่ยวโดยชุมชนที่ยั่งยืนต้องมีทั้งองค์ความรู้ ทรัพยากรธรรมชาติ และกลไกชุมชนที่เข้มแข็ง [6] รวมถึงแนวทางของ ปรีชญา รุ่งวิกรัยกานต์ และเพ็ญศรี ชิตบุตร (2566) ที่ชี้ว่าการประยุกต์ใช้เศรษฐกิจหมุนเวียนในระดับท้องถิ่นสามารถบริหารจัดการทรัพยากรได้

อย่างมีประสิทธิภาพ [5] สอดคล้องกับข้อเสนอของ กิตติศักดิ์ ร่วมพัฒนา และคณะ (2566) ที่เน้นการบูรณาการทรัพยากรธรรมชาติ วัฒนธรรม และนวัตกรรมเพื่อพัฒนาตำบลให้เกิดเศรษฐกิจชุมชนอย่างยั่งยืน [2]

กล่าวโดยสรุป โครงการบริการวิชาการของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีมีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนการพัฒนาท้องถิ่นตามแนวทาง BCG Economy โดยใช้องค์ความรู้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชน ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และตอบสนองต่อเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในระดับประเทศและนานาชาติอย่างเป็นรูปธรรม

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องของโครงการบริการวิชาการเพื่อพัฒนาท้องถิ่นของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีกับแนวคิดโมเดลเศรษฐกิจ BCG (Bio-Circular-Green Economy) และสังเคราะห์องค์ความรู้ที่เกิดจากการดำเนินโครงการต่าง ๆ โดยครอบคลุม 10 โครงการบริการวิชาการของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ผลการวิเคราะห์พบว่า โครงการบริการวิชาการมีความสอดคล้องกับแนวคิด BCG Economy อย่างชัดเจน โดยมีลักษณะสำคัญดังนี้

1) เศรษฐกิจชีวภาพ (Bioeconomy) โครงการต่าง ๆ ใช้ทรัพยากรชีวภาพที่มีในท้องถิ่น เช่น พืชสมุนไพร ใบไม้ เปลือกไม้ หรือผลผลิตเกษตร มาเพิ่มมูลค่า ผ่านการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพ เครื่องสำอาง อาหารปลอดภัย และสินค้าเชิงวัฒนธรรม

2) เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) หลายโครงการเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ลดการสูญเสีย และนำของเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่ เช่น การใช้เศษพืชเป็นปุ๋ยหมัก การใช้เทคโนโลยีประหยัดน้ำ และการสกัดสารจากผลผลิตตกเกรด

3) เศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) โครงการส่วนใหญ่สนับสนุนเกษตรอินทรีย์ ลดการใช้สารเคมี รักษาความหลากหลายทางชีวภาพ และส่งเสริมกิจกรรมที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เช่น การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ และงานหัตถกรรมจากวัสดุธรรมชาติ

การสังเคราะห์องค์ความรู้พบว่า โครงการบริการวิชาการของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี สามารถตอบโจทย์เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ได้ ทั้งหมด 11 เป้าหมาย ได้แก่ SDG 1 ขจัดความยากจน SDG 2 ขจัดความหิวโหย SDG 6 การจัดการน้ำอย่างยั่งยืน SDG 8 การจ้างงานที่มีคุณค่าและการเติบโตทางเศรษฐกิจ SDG 9 อุตสาหกรรม นวัตกรรม และโครงสร้างพื้นฐาน SDG 10 ลดความไม่เสมอภาคภายในประเทศและระหว่างประเทศ SDG 11 เมืองและชุมชนที่ยั่งยืน SDG 12 การผลิตและบริโภคที่ยั่งยืน SDG 13 การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ SDG 15 การใช้ประโยชน์จากระบบนิเวศทางบกอย่างยั่งยืน SDG 17 ความร่วมมือเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน ซึ่งแสดงถึงบทบาทของมหาวิทยาลัยในการเป็นกลไกสำคัญในการถ่ายทอดความรู้และนวัตกรรมเพื่อพัฒนาท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาวิเคราะห์นี้ สามารถนำไปพัฒนาการบริหารจัดการโครงการและพัฒนาโครงการได้ ดังนี้

1) เกิดกรอบแนวคิดในการประเมินโครงการบริการวิชาการภายใต้บริบทของโมเดล BCG ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบในการประเมินหรือนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการอื่นๆที่มีความใกล้เคียงกันได้

2) ได้องค์ความรู้ที่สามารถต่อยอดเป็นงานวิจัยเชิงพัฒนา หรืองานวิชาการที่เน้นการบูรณาการเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และสังคม สามารถใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดทิศทางหรือออกแบบโครงการบริการวิชาการในอนาคตให้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน

3) ชุมชนเป้าหมายได้รับองค์ความรู้ที่สามารถนำไปใช้ได้จริงในการประกอบอาชีพ ลดต้นทุน เพิ่มมูลค่า และพึ่งพาตนเองได้มากขึ้น และเสริมสร้างศักยภาพของผู้นำชุมชน แกนนำ และกลุ่มอาชีพในการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน

4) ผลผลิตและของเหลือใช้ในชุมชนถูกแปรรูปและต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองตลาดยุคใหม่ ส่งผลต่อการพัฒนานวัตกรรมพื้นฐานในระดับท้องถิ่น และสนับสนุนการพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากในรูปแบบใหม่ที่ไม่จำเป็นต้องใช้ทรัพยากรเพิ่มแต่เน้นการใช้ทรัพยากรเดิมให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารอ้างอิง

[1] กองนโยบายและแผน มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. (2565). แผนยุทธศาสตร์การพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ระยะ 5 ปี (พ.ศ. 2566 - 2570).

[2] กิตติศักดิ์ ร่วมพัฒนา และคณะ. (2566). รูปแบบการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนบนฐานคิด Model เศรษฐกิจ BCG สู่ความยั่งยืน ตำบลโคกยาง อำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, 25(2), 111-126.

[3] ดารณี อาจหาญ และคณะ. (2565). การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงอาหารภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจ BCG. วารสารวไลยอลงกรณ์ปริทัศน์, 12(2), 276–291.

[4] นพรัตน์ ไชยชนะ. (2567). การพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากบนฐานทุนทางวัฒนธรรมโดยยุทธศาสตร์ BCG (Bio-Circular-Green Economy) กลุ่มชาติพันธุ์กะเหรี่ยงบ้านหนองบาง ตำบลลิ่นถิ่น อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี. วารสารชุมชนวิจัยและพัฒนาสังคม, 8(4).

[5] ปรีชญา รุ่งวิกรัยกานต์ และ เพ็ญศรี ชิตบุตร. (2566). โมเดลเศรษฐกิจหมุนเวียน (BCG Model) สู่แนวทางการจัดการทรัพยากรภายในศูนย์การเรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงบ้านโนนสูงจังหวัดสระแก้ว. วารสารงานวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ, 10(1), 20-31.

[6] วรดาภา พันธ์เพ็ง. (2567). แนวทางการพัฒนาการท่องเที่ยวโดยชุมชนอย่างยั่งยืนภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจแบบองค์รวม (BCG Economy Model). วารสาร มจร พุทธปัญญาปริทรรศน์, 9(5), 294-306.

[7] สุทธิพงศ์ เปรมทวีสุข และคณะ. (2566). การพัฒนาศักยภาพด้านการเกษตร โดยใช้พืชเศรษฐกิจด้วยโมเดล BCG ในจังหวัดสุพรรณบุรี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี, 4(2), 33-45.

[8] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2561). ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561–2580).

[9] สำนักงานสภานโยบายเศรษฐกิจ BCG แห่งชาติ. (2564). แผนแม่บท BCG Economy Model พ.ศ. 2564–2569.

[10] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2566). แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566–2570).

ผู้ตรวจประเมินบทความ

การประชุมวิชาการระดับชาติ การพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 1

(EN Sustainable Development National Conference # 1; ENSD Conference)

1.	ศาสตราจารย์ ดร.เบญจภรณ์ ประภักดี	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
2.	รศ. ดร.กรวรรณ ศรีงาม	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
3.	รศ. ดร.กัมปนาท ภักดีกุล	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
4.	รศ. ดร.จรัณธร บุญญานุภาพ	ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
5.	รศ. ดร.ชุลีมาศ บุญไทย อิวาย	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
6.	รศ. ดร.ต่อลาภ คำโย	สาขาวิชาเกษตรป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ
7.	รศ. ดร.นิสา เหล็กสูงเนิน	ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิจัยและความเป็นสากล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
8.	รศ. ดร.ภศิชา ไชยแก้ว	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9.	รศ. ดร.รัตนวัฒน์ ไชยรัตน์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
10.	รศ. ดร.วรชาติ วิศวพิพัฒน์	ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
11.	รศ. ดร.วรรณวิภา แก้วประดิษฐ์ พลพินิจ	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
12.	รศ. ดร.ภัทรานิษฐ์ ศรีจันทราพันธุ์	ภาควิชาศึกษาศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
13.	รศ. ดร.พันธนา ตอเงิน	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
14.	รศ. ดร.เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
15.	รศ. ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
16.	ผศ. ดร.กุลวดี แก่นสันติสุขมงคล	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
17.	ผศ. ดร.จงดี โตอิ้ม	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
18.	ผศ. ดร.ประดับดวง เกียรติศักดิ์ศิริ	คณะสาธารณสุขศาสตร์ ม.ธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง
19.	ผศ. ดร.ภูมิศร์ ทับทิมแดง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยมหิดล
20.	ผศ. ดร.มณฑิรา ยุติธรรม	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
21.	ผศ. ดร.ศุภศิลป์ ทวีศักดิ์	ภาควิชา วิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
22.	ผศ. ดร. รัชพงษ์ กลิ่นศรีสุข	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

23.	ดร.จิดาภา คุ้มกลาง	คณะสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
24.	ดร.ชิษณุพงศ์ ประทุม	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
25.	ดร.ตติยา ศิริพงศ์ปรีดา	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
26.	ดร.ไตรรัตน์ เมืองทองอ่อน	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
27.	ดร.พิสุทธิ นาคหมื่นไวย	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
28.	ดร.แพรวา วงษ์บุรี	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
29.	ดร.ภาณุวัฒน์ ประเสริฐพงษ์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
30.	ดร.ภัทรา เสมอวงษ์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
31.	ดร.วีณารัตน์ อุดทา	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
32.	ดร.วีรยุทธ สิริรัตน์เรืองสุข	สำนักวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
33.	ทพ.ทัศน์พล อธิดมเสรณี	ทันตแพทย์ ชำนาญการ โรงพยาบาลวังน้อย
34.	ผู้ช่วยอาจารย์ ศิรสิทธิ์ วงศ์วาสนา	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
35.	นายวรงค์ บุญเชิดชู	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยมหิดล
คณะสิ่งแวดล้อม
และทรัพยากรศาสตร์

ENVI MAHIDOL

ENSD

การประชุมวิชาการระดับชาติ การพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 1

EN SUSTAINABLE DEVELOPMENT NATIONAL CONFERENCE # 1

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
https://en.mahidol.ac.th/ensd