มหาวิทยาลัยมหิดล
คณะสิ่งแวดล้อม
และทรัพยากรศาสตร์

EN SUSTAINABLE DEVELOPMENT

NATIONAL CONFERENCE #2

การประชุมวิชาการระดับชาติ การพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 2

5 มิถุนายน 2569

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

E-PROCEEDINGS

REAL WORLD IMPACT

คณะกรรมการวิชาการ

การประชุมวิชาการระดับชาติ การพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 2

(EN Sustainable Development National Conference # 2; 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.ต่อลาภ คำโย	สาขาวิชาเกษตรป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ
5.	รศ. ดร.นพพล อรุณรัตน์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
6.	รศ. ดร.ภศิชา ไชยแก้ว	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7.	รศ. ดร.พันธนา ตอเงิน	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8.	รศ. ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9.	ผศ. ดร.ประดับดวง เกียรติศักดิ์ศิริ	คณะสาธารณสุขศาสตร์ ม.ธรรมศาสตร์ ศูนย์ลำปาง
10.	ผศ. ดร.ภูมิศร์ ทับทิมแดง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
11.	ผศ. ดร.พรสิริ ชาติปรีชา	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
12.	ผศ. ดร.ศุภศิลป์ ทวีศักดิ์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
13.	ผศ. ดร.เสาวลักษณ์ ไกรนรา	สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
14.	ดร.ไตรรัตน์ เมืองทองอ่อน	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
15.	ดร.ปพิชญา ศรีเทพ	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะทำงาน

การประชุมวิชาการระดับชาติ การพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 2

(EN Sustainable Development National Conference # 2; ENSD Conference)

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

1.	คณบดี	ที่ปรึกษา
2.	รองศาสตราจารย์ ดร.นพพล อรุณรัตน์	ประธานคณะทำงาน
3.	ศาสตราจารย์ ดร. ดวงรัตน์ อินทร	คณะทำงาน
4.	รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมรัตน์ พุทธไทย	คณะทำงาน
5.	รองศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา เสรีนนท์ชัย	คณะทำงาน
6.	รองศาสตราจารย์ ดร.กฤตณะ พฤกษากร	คณะทำงาน
7.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียาพร เกิดฤทธิ์	คณะทำงาน
8.	อาจารย์ ดร.จักรพล พันธุวงศ์ภักดี	คณะทำงาน
9.	อาจารย์ ดร.อภิสิทธิ์ ภาสดา	คณะทำงาน
10.	อาจารย์ ดร.ภาณุวัฒน์ ประเสริฐพงษ์	คณะทำงาน
11.	นางภาณี นาคไร่ขิง	คณะทำงาน
12.	นางสาวศรีสุภางค์ ลิมป์กาญจนวัฒน์	คณะทำงาน
13.	นางสาวปาลิดา เจริญสุข	คณะทำงาน
14.	นางสาวยุพา วิระยาลัย	คณะทำงาน
15.	นายปริญญา เชาวน์วิวัฒนาพร	คณะทำงาน
16.	นางสาวศุภลักษณ์ วัฒนาเฉลิมยศ	คณะทำงาน
17.	นางสวัสดิรักษ์ ใสงาม	คณะทำงาน
18.	นางสาวนภารัตน์ ขนันทัย	คณะทำงาน
19.	นายยุทธพล ผ่องพลีศาล	คณะทำงาน
20.	นางสาวจิราพัชร จำปาสิงห์	คณะทำงาน
21.	นางสาวอิสรีย์ อภิญญา	คณะทำงาน
22.	นางสาวณัฐกานต์ รัชกุล	คณะทำงาน

คณะทำงาน (ต่อ)

23. นางศิรินพัชร จามรดุสิต	คณะทำงานและเลขานุการ
24. นางสาววิลินธร ชูโต	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ
25. นางสาวสุรีกานต์ โตไทยะ	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ
26. นายปฐมพต ฉินสวัสดิ์พันธุ์	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ

กำหนดการ

วันศุกร์ที่ 5 มิถุนายน 2569

Time	Event
08.30 - 09.20 น.	ลงทะเบียนผู้เข้าร่วมงาน (ห้องประชุม 4224)
09.00 - 09.20 น.	**กล่าวรายงานการจัดงานวันสิ่งแวดล้อมโลก "ENVI Mahidol Open House World Environment Day"** โดย รองศาสตราจารย์ ดร.กิติกร จามรดุสิต คณบดีคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล **กล่าวเปิดงานวันสิ่งแวดล้อมโลก "ENVI Mahidol Open House World Environment Day"** โดย ศาสตราจารย์ นายแพทย์ปิยะมิตร ศรีธรา อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหิดล
09.20 – 10.30 น.	**เวทีเสวนาพิเศษ (ห้องประชุม 4224)** **หัวข้อ: Next Move to Net Zero : เตรียมองค์กรให้พร้อมสู่ยุคคาร์บอนต่ำ** **วิทยากร : 1) ดร.สวนิตย์ บุญญาสุวัฒน์** คณะทำงาน BCG Model สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย **2) ดร.ปฏิมา สินธุภิญโญ** Lead of ESG Governance & Integration, SCG **3) รองศาสตราจารย์ ดร.กิติกร จามรดุสิต** คณบดีคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล **ผู้ดำเนินรายการ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรันย์ ศรีรัตนา ทาบูกานอน** รองคณบดีฝ่ายการศึกษาและวิเทศสัมพันธ์ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

Time	Event
10.30 - 11.00 น.	**POSTER SESSION** **บริเวณโถงหน้าห้องประชุมชั้น 2**
	ENSD 2026-04 การประเมินความเป็นไปได้ในการบริหารจัดการขยะ: กรณีศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการรื้อร่อนขยะเก่ากับการจัดหาพื้นที่ฝังกลบใหม่ของเทศบาลเมืองน่าน จรินทนา เชื้อสะอาด และ สุรัตน์ เศษโพธิ์
	ENSD 2026-07 การสำรวจไมโครพลาสติกในน้ำทะเลบริเวณพื้นที่หมู่เกาะแสมสาร จังหวัดชลบุรี เพื่อส่งเสริมความตระหนักรู้ด้านนิเวศวิทยาและสิ่งแวดล้อมทางทะเล สิรีพัชร จีนสิน, รุ่งทิพย์ วงศ์เลอศักดิ์, อารมณ์ มุจรินทร์, และ รัชนีวรรณ สุมิตรากิจ
	ENSD 2026-08 การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาค่าฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดนครสวรรค์ จิตราพันธ์ มหันโต และ วริยา ชาติสุทธิ์
	ENSD 2026-12 การหาลักษณะโปรไฟล์ของสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในสารสกัดจากพืชวงศ์มะม่วง สมฤทัย สุขีเกตุ, เพ็ญพิลาส ประกอบปราณ, ฐิติรัตน์ ธนสารสมบัติ, ณัฏฐธิดา มีดี, พิชรฎา โชติพิทยสุนนท์, มาท์เทียส ณวพรรษก์ โหงว, รมิดา อายะวรรณา, ภัคพล วรเดชจำเริญ, อชิตะ สุวรรณศรี, และ สมาน แก้วไวยุทธ
	ENSD 2026-13 การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพืชวงศ์มะม่วง เพ็ญพิลาส ประกอบปราณ, สมฤทัย สุขีเกตุ, พิมพ์วลัญช์ กิตติไกวัล, กมลลักษณ์ ธิติกุลประเสริฐ, วรรณิษา เอี่ยมสอาด, โสภณวิชญ์ จงเจริญยานนท์, พิมพ์ญาฎา จินดาโชตสิริ, เมธัส รุจิธานนท์, รพิรัตน์ พิพิธพัฒนากร, และ สมาน แก้วไวยุทธ

Time	Event
	ENSD 2026-14 การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลจากพืชในวงศ์มะม่วง เพ็ญพิลาส ประกอบปราณ, สมฤทัย สุขีเกตุ, ณัฏฐกฤษฎ์ ยศรุ่งเรือง, ธรรศ เลิศเกษมฤทัย, ตรีวุฒิ วงค์นิ่ม, พัฐชญาณ์ วงศ์วรการ, ภคิน เอารัตน์, นินูรอัลฟีร่า รัศมิมานโชติวงศ์, ปภาวิน ทฤษณาวดี, บุรพล ยามวินิจ, และ สมาน แก้วไวยุทธ
	ENSD 2026-20 การประเมินสมบัติเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพทางความร้อนของน้ำมันไพโรไลซิสจากพลาสติกรวมด้วยระบบเตาปฏิกรณ์แบบ Compact Skid เพื่อการจัดการขยะชุมชนอย่างยั่งยืน พชรพร ธนเลิศพิพัฒน์ และ พลวัฒน์ ดำรงกิจภากร
	ENSD 2026-27 การศึกษาการเตรียมตัวเร่งจากใบอ้อยเพื่อสังเคราะห์ 2,5-furandicarboxylic acid methyl ester (FDME) จาก galactaric acid และ dimethyl carbonate โดยใช้พลังงานความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ อันนา ตันวาณิชกุล, ปทิตตา อาภรณ์แก้ว, สุพัตตรา อินทรบุญญา, และ แอนดรูว์ ฮันท์
	ENSD 2026-36 การประยุกต์ใช้และประเมินประสิทธิภาพสีย้อมจากสารสกัดธรรมชาติรงควัตถุกลุ่มโพลีฟีนอลเพื่อทดแทนสีย้อมสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการระดับมัธยมศึกษา พิชญตม์ วงค์วรรณา, อิสรีย์ เลิศประเสริฐ, อนุสบา สังข์ผาด, ภคพร สิทธิบุตร, ญาณกร วิฑูรย์เสถียร, เทิดศักดิ์ สกุลสุข, และ จิราภรณ์ แสงประทุม
	ENSD 2026-40 การพัฒนาอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* สำหรับอุปกรณ์ IoT (Internet of Things) เพื่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน ภาณุวัชร ยาดี, วริทธิ์ภัทร พิมพ์เลิศ, กันตพัฒน์ เสงี่ยมศักดิ์, และ สมฤทัย หอมชื่น

Time	Event
	ENSD 2026-45 เว็บแอปพลิเคชันอัจฉริยะสำหรับจำแนกและทำนายระยะเวลาการสุกของกล้วยหอมทองเพื่อลดขยะอาหาร กันต์ เอี่ยมชัยมงคล, ณภัทร รณเกียรติ, พิชยินทร์ อินทรวงศ์ศักดิ์, และ จุฑาวรรณ ตรีชัย
	ENSD 2026-58 กรณีศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพ (Biochar) ร่วมกับฟางข้าวและน้ำหมักปลาต่อการปรับปรุงดินเปรี้ยวในชุดดินรังสิต เขตอำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา พัทธนันท์ คชสีห์ และ ไพลิน กิตติคุณ
	ENSD 2026-68 การศึกษาลักษณะและปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในพืช C3 และ C4 ที่เป็นอาหารสัตว์ ปิยะพร ขะบูรณ์, สิงหา ดวงเกตุ, สรรเสริญ วีระพจนานันท์, และ วรรณวิภา ห้อยกอน
	ENSD 2026-80 การเพิ่มประสิทธิภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนสำหรับเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกขนาดเล็ก พลอยไพลิน สอนดา, วุฒิติพงษ์ สุขภูศรี, พีรภาส ยิ่งกัลยา, คมสันต์ ชางชื่อมูล, และ ณัฐพล หมายมั่น
	ENSD 2026-99 การพัฒนาวิธีตรวจหาแบคทีเรียประจำถิ่นแบบรวดเร็วด้วยเทคนิคเทคโนโลยีชีวภาพโมเลกุล เพื่อการควบคุมที่มีประสิทธิภาพในระบบบำบัดน้ำเสีย วัลย์สห คุ้มครองวจี, นภัสสร บุญสร้าง, ณัฐกาญจน์ ศิริพรพันธ์, สุนทรี คำก้อนแก้ว, เบญญาภา ถาบัวรี, เวโรจน์ ต๊ะตุ้ย, และ ธีราวุฒิ ภู่สันติสัมพันธ์
	ENSD 2026-104 การศึกษาผลกระทบของความหนาแน่นจราจรต่อคุณภาพอากาศในพื้นที่กรุงเทพมหานคร เอกพสิษฐ์ จาตุธนานันท์

Time	Event			
11.00 - 12.00 น.	**นำเสนอผลงานประชุมวิชาการ การพัฒนาอย่างยั่งยืนระดับชาติ ครั้งที่ 2** (EN Sustainable Development National Conference # 2: ENSD Conference) (ห้องประชุม 4215 / 4218 / 4228 / 4129)			
11.00 - 12.00 น.	**Session 1** **ห้องประชุม 4215** **Chair: รศ. ดร.กัมปนาท ภักดีกุล** **Co-chair: ผศ. ดร.กอบแก้ว มโนมัยพิบูลย์**	**Session 2** **ห้องประชุม 4218** **Chair: ศ. ดร.เบญจภรณ์ ประภักดี** **Co-chair: ผศ. ดร.วิชญา รงค์สยามานนท์**	**Session 3** **ห้องประชุม 4228** **Chair: ศ. ดร.ดวงรัตน์ อินทร** **Co-chair: รศ. ดร.สุกัญญา เสรีนนท์ชัย**	**Session 4 (ระดับนักเรียน)** **ห้องประชุม 4129** **Chair: รศ. ดร.กฤตณะ พฤกษากร** **Co-chair: ดร.ภาณุวัฒน์ ประเสริฐพงษ์**
11.00 – 11.12 น.	**กลุ่ม 3 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยพิบัติ**	**กลุ่ม 2 การจัดการมลพิษ**	**กลุ่ม 10 การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน**	**กลุ่ม 1 การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และนโยบาย**
	ENSD 2026-01 การประเมินผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทาง Carpool “ทางเดียวกันไปด้วยกัน” ของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ณัชลิดา แสนปราโมทย์, มยุรี ศรีสุวรรณ, นิตย์ทยา ทีฆาวงค์, และ นพเมศฐ์ รังสีเตชาวัฒน์	ENSD 2026-70 การพัฒนาดัชนีและการคัดเลือกพืชเพื่อการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร จุฑามาศ แก้วเจริญ, กัญจน์ ศิลป์ประสิทธิ์, และ อนันต์ พิริยะภัทรกิจ	ENSD 2026-65 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรเพื่อพัฒนาอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาสำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร ชญานี อักษรอินทร์, ฟ้าสวย ศรีโยธี, และ อุมารัจน์ สันติสุขเกษม	ENSD 2026-84 การศึกษาและพัฒนาครีมกันยุงจากสารสกัดสมุนไพรเทพทาโร ศิวกร แซ่ไหล, วรัญชิต เขียวเทโพธิ์, อัมพร เพชรโชค, อดุลย์สมาน สุขแก้ว, และ สุธี จุ้งลก

Time	Event			
11.12 – 11.24 น.	ENSD 2026-22 ฟลักซ์ของแก๊สไนตรัสออกไซด์เชิงพื้นที่และศักยภาพการปล่อยแก๊สเรือนกระจกของพรุบางกล่ำ จังหวัดสงขลา สุกาญดา เชื้อสุวรรณ, นิรัตน์ ภูทัดหมาก, ปฏิญญา ภักดีเมฆ, และ นเรศ เชื้อสุวรรณ	ENSD 2026-75 การจัดการเสียงรบกวนจากการจราจรในสวนสาธารณะเขตเมือง พื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ชินชาต เรืองสุวรรณ, ธรรมรัตน์ พุทธไทย, นวพร กาญจนศิรานนท์, และ เพียงใจ พีระเกียรติขจร	ENSD 2026-102 ปัจจัยความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนสู่ความเป็นเลิศอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาแผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2568-2572 อนุทธัต สุวรรณลพ	ENSD 2026-85 ไหมขัดฟันจากใบสัปปะรดผสมสารสกัดจากพืชตระกูลส้มเพื่อยับยั้งการเกิดหินปูนในช่องปาก บารมี การี, ศุภกฤต เกษมมงคลพร, อัมพร เพชรโชติ, อดุลย์สมาน สุขแก้ว, และ สุธี จุ้งลก
11.24 – 11.36 น.	ENSD 2026-16 การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรเพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน: กรณีศึกษา บริษัทสร้างและซ่อมเรือแห่งหนึ่ง อรรถพล พุทธดิสสอน, นันท์นภัสร อินยิ้ม, และ เสรีย์ ตู้ประกาย	ENSD 2026-86 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตยาเม็ด วริบฐา ถึกมี และ สุนทรี ขุนทอง	ENSD 2026-17 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานเกิน 10 ปี ห้องปฏิบัติการซิมมิวเลชั่น ฤทธิพร หาพร, กมล ยอดญาติไทย, และ อนุพงษ์ คงแก้ว	ENSD 2026-92 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยกากเต้าหู้เพื่อผลิตร่ม วิชญาดา พรหมจันทร์, กุญพิชชา ภัทรชยางกูร, นันท์นภัส คันธผิกา, ทักษอร ไฝทอง, สาแลฮ๊ะ ดีซะเอ๊ะ, อดุลย์สมาน สุขแก้ว, และ สุธี จุ้งลก

Time	Event			
11.36 – 11.48 น.	ENSD 2026-31 ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงเศษซากชีวมวล และพลวัตของรากฝอยภายใต้การจำกัดปริมาณน้ำฝนลดลงร้อยละ 50 ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ ธนภัทร มงคลธนโชค, สุขุมาภรณ์ แสงงาม, อำนาจ ชิดไธสง, และ พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ	ENSD 2026-88 ผลของการแกรนูลเลชันต่อกระบวนการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพ: สมรรถนะของกระบวนการและชุมชนจุลินทรีย์ ปิยภรณ์ ขุนรักษ์, ปพิชญา ศรีเทพ, และ ไชยวัฒน์ รงค์สยามานนท์	ENSD 2026-18 วิเคราะห์ความคุ้มค่าการติดตั้งอินเวอร์เตอร์สำหรับมอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อนชิลเลอร์ ประจำอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา กมล ยอดญาติไทย, อนุพงษ์ คงแก้ว, และ ฤทธิพร หาพร	ENSD 2026-95 การพัฒนาเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาจากเปลือกมังคุดเพื่อดูดซับไมโครพลาสติกจากการซักผ้าโพลีเอสเตอร์ ธิชานันท์ คำศรี, ปริยาภัทร สุขสกุล, รุ่งวิภา คะศรี, และ สุธี จุ้งลก
11.48 – 12.00 น.	**กลุ่ม 7 วิทยาศาสตร์ธรรมชาติและนิเวศวิทยา** ENSD 2026-39 ประเมินประสิทธิภาพนวัตกรรมซั้งบ้านปลาจากยางพาราเพื่อความยั่งยืนทางทะเล จอมกิตติ ศิริกุล, ชยานี บุญสน, นนท์ นาคะเสถียร, และ ปฐพร เกื้อนุ้ย			ENSD 2026-91 ฤทธิ์ต้านเชื้อก่อฝี *Staphylococcus aureus* และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยแผ่นแปะไฮโดรเจลจากเปลือกทุเรียนและสารสกัดจากเปลือกทับทิม สรัลชนา อินทรศิริ, วรวลัญช์ สันตานนท์, อัมพร เพชรโชติ, สุธี จุ้งลก, และ อดุลย์สมาน สุขแก้ว
12.00 - 13.00 น.	**พักรับประทานอาหารกลางวันตามอัธยาศัย (ห้องอาหาร ชั้น 1)** **คูปองอาหารสำหรับโรงอาหารคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์**			
13.00 - 16.00 น.	**นำเสนอผลงานประชุมวิชาการ การพัฒนาอย่างยั่งยืนระดับชาติ ครั้งที่ 2** (EN Sustainable Development National Conference # 2: ENSD Conference) (ห้องประชุม 4215 / 4218 / 4228 / 4129)			

Time	Event			
13.00 - 16.00 น.	**Session 1** **ห้องประชุม 4215** **Chair: รศ. ดร.ธรรมรัตน์ พุทธไทย** **Co-chair: ผศ. ดร.ปรียาพร เกิดฤทธิ์**	**Session 2** **ห้องประชุม 4218** **Chair: รศ. ดร.รัตนวัฒน์ ไชยรัตน์** **Co-chair: ดร.อภิสิทธิ์ ภาสดา**	**Session 3** **ห้องประชุม 4228** **Chair: รศ. ดร.นพพล อรุณรัตน์** **Co-chair: ผศ. ดร.ธัญภัทร ศาสตระบุรุษ**	**Session 4 (ห้องนักเรียน)** **ห้องประชุม** **Chair: ผศ. ดร.วันวิสาข์ ปั้นศักดิ์** **Co-chair: ผศ. ดร.เพียงใจ พีระเกียรติขจร**
13.00 – 13.12 น.	**กลุ่ม 4 นิเวศวิทยาเมืองและอุตสาหกรรม**	**กลุ่ม 2 การจัดการมลพิษ**	**กลุ่ม 10 การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน**	**กลุ่ม 2 การจัดการมลพิษ**
	ENSD 2026-71 การพัฒนาระบบสแกนโพรงภายในต้นไม้ด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาแบบอัตโนมัติ ภาณุพงศ์ มหันตพลานนท์, มนัสวี เลาะวิธี และ กมลทิพย์ พลอยกระจ่าง	ENSD 2026-101 ทัศนคติที่มีต่อบริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z นันทิยา ตันเจริญ และ อภิชญา ลีลาวณิชกุล	ENSD 2026-05 งานวิจัยโครงการติดตั้งระบบรีไซเคิลน้ำทิ้งของเครื่องทำน้ำความเย็น ประจำอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา อนุพงษ์ คงแก้ว และ นพเมศฐ์ รังสีเตชาวัฒน์	ENSD 2026-98 การพัฒนาเครื่องมือสำหรับดักจับไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำโดยอาศัยการตกตะกอน และการแยกด้วยวัสดุแม่เหล็ก ฐิตารีย์ ศิริชัยวัจนเดชา, ชาคริต สมานรักษ์, และ ศุภกร ตันติศรียานุรักษ์
13.12 – 13.24 น.	**กลุ่ม 6 สังคมศาสตร์และสาธารณสุข** ENSD 2026-42 บทบาทผู้ช่วยพยาบาลในการดูแลผู้ป่วยถูกล่วงละเมิดทางเพศในหน่วยตรวจผู้ป่วยนอกนรีเวช โรงพยาบาลรามาธิบดี มัลลิกา แสงหิรัญ, นิตยา คนชม, เจนจิรา มานิชสาร, และ นงลักษณ์ สว่างศรี	ENSD 2026-82 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากสารสกัดเปลือกผลไม้เพื่อการบำบัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง พรพิริยา พงศ์สุพัฒน์, ปรียาพร เกิดฤทธิ์, จักรพล พันธุวงศ์ภักดี, ภัทราวุธ พุสิงห์, สวรรยา แซ่แต้, และ เพียงใจ พีระเกียรติขจร	ENSD 2026-19 การพัฒนาและประเมินประสิทธิผลระบบบริหารจัดการงานบริการโสตทัศนศึกษา โดยประยุกต์ใช้แพลตฟอร์ม Low-Code และแนวคิด BYOD เพื่อมุ่งสู่สำนักงานดิจิทัลอย่างยั่งยืน สุคเน ทรรภลักษณ์ และ ปัณเอก เรืองศิริกร	**กลุ่ม 4 นิเวศวิทยาเมืองและอุตสาหกรรม** ENSD 2026-100 นวัตกรรมโฟมยางพาราเสริมจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* บำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม นิสรีน ทิ้งปากน้ำ, ปพิชญา แซ่ชั่น, คณิน ภักดีรักษ์พงศ์, อัมพร เพชรโชติ, สิรินาถ ทองทวี, อดุลย์สมาน สุขแก้ว, และ สุธี จุ้งลก

Time	Event			
13.24 – 13.36 น.	ENSD 2026-53 การพัฒนาเว็บไซต์หลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์ เพื่อการเข้าถึงข้อมูลอย่างยั่งยืน ธวัชชัย ก้านศรีรัตน์, ฤทธิรงค์ พันธ์ดี, และ พรชนก นุชนารถ	**กลุ่ม 1 การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และนโยบาย** ENSD 2026-11 การประเมินผลกระทบจากการปรับอัตราค่าธรรมเนียมการเก็บขนและกำจัดมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อ มยุรี ศรีสุวรรณ, ณัชลิดา แสนปราโมทย์, และ นพเมศฐ์ รังสีเตชาวัฒน์	ENSD 2026-21 หมดปัญหาท่อน้ำตันด้วยชุดถังกรองดักจับเศษปูน ศิริลักษณ์ ขวานอก, จำเนียร เฟื่องฟุ้ง, สุรีพร ภูพันนา, และ สายยนต์ เกิดไธสง	**กลุ่ม 5 เกษตรกรรมที่ยั่งยืนและความมั่นคงทางอาหาร** ENSD 2026-28 แผ่นฟิล์มชีวภาพเชิงรุกจากสารไอโซไธโอ-ไซยาเนต ในลำต้นแก่ผักน้ำเบตง เพื่อควบคุม *Escherichia coli* สนับสนุนการยืดอายุอาหารและยกระดับความปลอดภัยอาหาร ชยุตรา แก้วกำเนิด, ธมนวรรณ ช่วยนุกูล, ชิดชนนี แซ่เซ, สิรินาถ ทองทวี, สุกัญญา ปัญญาวิศิษฏ์กุล, และ สุธี จุ้งลก
13.36 – 13.48 น.	ENSD 2026-66 นวัตกรรมเสื้อคลุมสำหรับฉีดยาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริการ และเคารพศักดิ์ศรีของผู้ป่วย พลอยแก้ว จารุวร, สุมิษา ไพศาลวรรณ, ทวีพร พาณิชย์พงษ์, และ นพมาศ พันธุโสภณ	ENSD 2026-24 แนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา : แหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง จังหวัดอุดรธานี ณิชกุล ผ่านชมภู	ENSD 2026-25 รากฐานแห่งความยั่งยืน : การขับเคลื่อนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในบริบทนวัตกรรมทางสังคมท้องถิ่นไทย นิสา รัตนดิลก ณ ภูเก็ต, ปิยะวัฒน์ เจริญศักดิ์, และ เฉลิมพล จงวิทูกิจ	ENSD 2026-43 แคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียน เสริมจุลินทรีย์พรีไบโอติก ณัฐปภัสร์ แซ่หลี, ณัฐกฤตา ม่านทอง, ชโนทัย ลิ้มศุภากร, สุธี จุ้งลก, และ รุสนานี ซียง

Time	Event			
13.48 – 14.00 น.	**กลุ่ม 8 พลังงานทางเลือก** ENSD 2026-03 การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ที่นำไปใช้กับโหลดดีซีเทียบกับโหลดเอซี บรรณวัฒน์ ประเสริฐวงษ์	ENSD 2026-51 ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก ฐานิศร์ แก่นแก้ว, อรรถกร ธีระกาย, และ บีรญา หัสครบุรี	ENSD 2026-32 การพัฒนากระบวนการจัดผังยูนิตทันตกรรมในคลินิกกลาง ด้วยระบบออนไลน์ My Clinic รฐา มัธยเวคิน, อนันต์ บุบผาสังข์, และ ชนินธร ศาลยาชีวิน	ENSD 2026-46 พัฒนาเครื่องดื่มหมักโพรไบโอติกจากเปลือกมังคุดและเฉาก๊วยเบตง เพื่อสุขภาพทางเดินอาหารและลดของเสียเกษตร เขมจิรา ยาหัวดง, ปวีญากร กรเกษแก้ว, ปิ่นวรา ภูสิทธิอุดมเดช, กรกช จันทร์บุญพิทักษ์, และ สุธี จุ้งลก
14.00 – 14.12 น.	ENSD 2026-77 การจำลองการเผาไหม้ของแอมโมเนียร่วมกับถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันสูงโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus โปรดปราน สิริธีรศาสน์, ณัฐนรี ชำนาญ, และ บุณยชา ปายัน	ENSD 2026-02 ความพึงพอใจของผู้ป่วยผ่าตัดภายใต้การระงับความรู้สึกแบบทั่วไปต่อเสื้อบังทรง เพื่อการผ่าตัด พีรพล ลำน้อย, จิตพิสุทธิ์ มั่นศิล, รุ่งทิวา แก้วกัลยา, ศรุตา ทองชื่นจิต, และ ปิยมาศ บัวรักษา	ENSD 2026-33 การสำรวจและประเมินความเสี่ยงด้านอัคคีภัยจากการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักสำนักงาน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นิตย์ทยา ทีฆาวงค์, ณัชลิดา แสนปราโมทย์, และ นพเมศฐ์ รังสีเตชาวัฒน์	ENSD 2026-67 การพัฒนาฟิล์มชีวภาพอัจฉริยะจากเห็ดเข็มทองและเปลือกหอมแดงเสริมสารสกัด แอนโทไซยานินเพื่อบ่งชี้ความสดของผลิตภัณฑ์ปูอัด ปภาวิน ศิริสุวรรณ, โชติการ เฉลิมเมือง, สุธี จุ้งลก, และ กรองทอง เจริญวัฒนวิโรจน์
14.12 – 14.24 น.	ENSD 2026-09 Unlocking blended finance to mobilize private sector investment in biomass power plant projects: An analysis of institutional gaps in Thailand Natamol Thitithanida and Kanittha Tambunlertchai	ENSD 2026-62 การประเมินศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากทางเลือกการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน: กรณีศึกษา จังหวัดกาญจนบุรี อนุชธิดา ปัดตังทานัง, ประหยัด แสงงาม, และ อุมารัจน์ สันติสุขเกษม	ENSD 2026-35 การปรับปรุงระบบแสงสว่างเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา ปรีชา แก้วชูเงิน, นิติรุจน์ กุลวิไชยศักดิ์, และ ธิระยุทธ อักษรกูล	ENSD 2026-78 การพัฒนาแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ชีวภาพจากสาหร่าย *Cladophora* sp. ที่มีการชักนำให้เกิด Polyploid เพื่อประยุกต์ใช้ในการผลิตเปลือกแคปซูล วิรัลพัชร พิริยโยธากุล, กัญญาพัชร คงอินทร์, หทัยภัทร คงคานนท์, สุธี จุ้งลก, และ อัมพร เพชรโชติ

Time	Event			
14.24 – 14.36 น.	ENSD 2026-76 การประเมินความยั่งยืนตลอดวัฏจักรชีวิตและแนวทางการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ในครัวเรือนบนมิติสิ่งแวดล้อม การเงิน และสังคม ชินพัฒน์ ชูเมือง และ นิธิดา นาคะปรีชา	ENSD 2026-63 การศึกษาสภาพปัญหาและแนวทางการจัดการขยะอันตรายชุมชนอย่างยั่งยืนในตำบลบางกระเจ้า อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร นรินทร เลิศศรีนภาพร, ประหยัด แสงงาม, และ อุมารัจน์ สันติสุขเกษม	ENSD 2026-41 กรณีศึกษา: การช่วยเหลือและฟื้นฟูยูนิตทันตกรรมและระบบปั๊มลมในคลินิกทันตกรรม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา นิติรุจน์ กุลวิไชยศักดิ์, อนันต์ โตกุล, สุลักษณ์ คงเลิศ, สิทธิพร หาพร, และ ณัฐวิชช์ วงษ์ฮ้อเจริญ	ENSD 2026-89 ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร ญานิสา ดีใจงาม, ภูริพัตร์ มะโดด, ธนัญชนก อรุณมาศ, และ รัชนี โสดถานา
14.36 – 14.48 น.	**กลุ่ม 10 การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน** ENSD 2026-60 การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทย ผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน จักรพล คนเที่ยง	ENSD 2026-83 การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของแนวโน้มความเค็มในน้ำบาดาล พื้นที่อำเภอเชียงยืนจังหวัดมหาสารคาม ทิพวารี ศรีทองดี และ ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์	ENSD 2026-49 แบบประเมินความพึงพอใจและประสิทธิภาพการใช้งานระบบคัดกรองการรับนักศึกษา TCAS รอบ Portfolio ผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ณิชชา พูลเอี่ยม และ กิตติกานต์ นาวาพงส์	ENSD 2026-44 แผ่นฟิล์มชีวภาพจากวัสดุธรรมชาติเพื่อยืดอายุผลไม้ ศุภกานต์ พิภูพัชญ์ชา, ชัญญานุช คงมั่น, ตัสบีลา เจ๊ะเด๊ะ, จิรกานต์ วิทยปรีชา, และ สุธี จุ้งลก
14.48 – 15.00 น.	ENSD 2026-73 การเพิ่มประสิทธิภาพการคัดเลือกนักเรียนเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล วิภาวดี กรรณประชา และ สมหญิง โอฐธนู	**กลุ่ม 5 เกษตรกรรมที่ยั่งยืนและความมั่นคงทางอาหาร** ENSD 2026-74 สร้างโอกาสจากสื่อใกล้ตัว: แนวทางการใช้โซเชียลมีเดีย เพื่อประชาสัมพันธ์สินค้าเกษตรอย่างยั่งยืน ธวัชชัย ก้านศรีรัตน์ และ พรชนก นุชนารถ	ENSD 2026-50 การบริหารการจองห้องประชุมอย่างมีประสิทธิภาพ บีรญา หัสครบุรี, อรรถกร ธีระกาย, และ ฐานิศร์ แก่นแก้ว	ENSD 2026-90 การพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากแป้งข้าวโพดผสมสารดูดกลิ่นจากชีวมวลเปลือกส้มโชกุนเพื่อยืดอายุการใช้งานบรรจุภัณฑ์อาหาร อภิญญา แซ่โฮ, ภวรัญชน์ ยอดแก้ว, ณัฐวุฒิ ศรีอัดชา, อดุลย์สมาน สุขแก้ว, อัมพร เพชรโชติ, และ สุธี จุ้งลก

Time	Event			
15.00 – 15.12 น.	ENSD 2026-87 การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้งานหัวหุ่นสำหรับยึดแบบจำลองฟัน อรพธู กุลวิไชยศักดิ์, ปฐวี สุขเจริญ, ณัฐวิชช์ วงษ์ฮ้อเจริญ, และ นิติรุจน์ กุลวิไชยศักดิ์	ENSD 2026-37 การรับรู้และทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารในพื้นที่เมือง กรณีศึกษา กรุงเทพมหานคร ณัฐสลิล อิศรางกูร ณ อยุธยา และ ปรียาภรณ์ หมื่นราช	ENSD 2026-55 การเปรียบเทียบคุณภาพภาพรังสีจากแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล สมพร มาโพนทอง, กนกศรี มินโมหา, และ มณฑิชา ชัยชะนะมงคล	ENSD 2026-93 ไบโอชาร์จากเปลือกมังคุด ทางเลือกในการปรับปรุงดินและลดการสะสมของเชื้อโรคในดิน ธนกฤต เวียงทอง, กฤติพงศ์ ลิปิธีรกร, พีรวิชญ์ ชัยพานิชย์, อดุลย์สมาน สุขแก้ว, และ สุธี จุ้งลก
15.12 – 15.24 น.	ENSD 2026-103 การพัฒนาสู่ระบบดิจิทัลในการจัดเลี้ยงการประชุมคณะกรรมการประจำคณะ: การวิเคราะห์เชิงประจักษ์ด้านความชอบ สุขภาพ และเป้าหมายของการพัฒนาที่ยั่งยืน อังคณา รอดเครือมิตร และ อรณิชา กุ้งทอง	ENSD 2026-52 ประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพต่อการปรับปรุงคุณสมบัติดินและการเจริญเติบโต ของต้นฟ้าทะลายโจรในพื้นที่จังหวัดนครนายก กมลวรรณ หงษ์ทอง,สมมาส แก้วล้วน, และ พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ	ENSD 2026-59 การพัฒนารูปแบบการบริหารจัดการเอกสารดิจิทัลสำหรับเลขานุการภาควิชา โดยใช้ไมโครซอฟท์ ทีมส์ เพื่อส่งเสริมสำนักงานสีเขียว มณฑิตา อ้นรัตน์ และ นฤมล ศักดิ์บุญญารัตน์	**กลุ่ม 6 สังคมศาสตร์และสาธารณสุข** ENSD 2026-48 การวิเคราะห์โครงสร้างโปรตีนในพิษแมงกะพรุนกล่อง โดยใช้ฐานข้อมูลชีวสารสนเทศเพื่อการออกแบบยาต้านพิษในอนาคต พชณัน แซ่ลิ่ม, ญัลวา กิตติชัย, อภิเดช พงศ์แผ้ว, และ มนิดา นกเกษม
15.24 – 15.36 น.			ENSD 2026-97 การศึกษาแนวทางการขนส่งที่ยั่งยืนสำหรับผู้เดินทาง กรณีโครงการมหาวิทยาลัยสีเขียวของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ตระการ พรมสำลี, ทัศนีย์ เจียรพสุอนันต์, และ ณฐพล ทองปลิว	**กลุ่ม 7 วิทยาศาสตร์ธรรมชาติและนิเวศวิทยา** ENSD 2026-57 ฟิล์มเพคตินชีวภาพเสริมสมุนไพรไทยสำหรับยับยั้งเชื้อรา *Cladosporium* spp. ก่อโรคจากการแช่อาหารในตู้เย็น ปภาวิน ภักดีรักษ์พงศ์, กฤติเดช ชาญศรีภิญโญ, ชเนตตี ศรีวิไล, สุธี จุ้กลก, และ อับดุลอาซิส ประสิทธิหิมะ

Time	Event			
15.36 – 15.48 น.				**กลุ่ม 9 สารสนเทศสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ** ENSD 2026-94 การใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการประเมินความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพรรณพืชรอบโบราณสถานในเขตพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท จังหวัดอุดรธานี ทาวิชญ์ สิงสุพรรณ, กอบการ เปรี้ยวปี, และ มิ่งกมล ป้องภักดี

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คณะกรรมการวิชาการ	I
คณะทำงาน	II
กำหนดการ	IV

เลขบทความ	ชื่อเรื่อง	ผู้เขียน	หน้า
กลุ่ม 1 การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และนโยบาย			
Oral Presentation			
2026-02	ความพึงพอใจของผู้ป่วยผ่าตัดภายใต้การระงับความรู้สึกแบบทั่วไปต่อเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด	พีรพล ลำน้อย, จิตพิสุทธิ์ มั่นศิล, รุ่งทิวา แก้วกัลยา, ศรุตา ทองชื่นจิต, และ ปิยมาศ บัวรักษา	2
2026-11	การประเมินผลกระทบจากการปรับอัตราค่าธรรมเนียมการเก็บขนและกำจัดมูลฝอยทั่วไป และมูลฝอยติดเชื้อ	มยุรี ศรีสุวรรณ, ณัชลิดา แสนปราโมทย์, และ นพเมศฐ์ รังสีเตชาวัฒน์	12
2026-24	แนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา : แหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง จังหวัดอุดรธานี	ณิชกุล ผ่านชมภู	22
2026-51	ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก	ฐานิศร์ แก่นแก้ว, อรรถกร ธีระกาย, และ บีรญา หัสครบุรี	32
2026-62	การประเมินศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากทางเลือกการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน: กรณีศึกษาจังหวัดกาญจนบุรี	อนุชธิดา ปัดตังทานัง, ประหยัด แสงงาม, และ อุมารัจน์ สันติสุขเกษม	43
2026-63	การศึกษาสภาพปัญหาและแนวทางการจัดการขยะอันตรายชุมชนอย่างยั่งยืน ในตำบลบางกระเจ้า อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร	นรินทร เลิศศรีนภาพร, ประหยัด แสงงาม, และ อุมารัจน์ สันติสุขเกษม	54
2026-83	การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของแนวโน้มความเค็มในน้ำบาดาล พื้นที่อำเภอเชียงยืนจังหวัดมหาสารคาม	ทิพวารี ศรีทองดี และ ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์	66
2026-84	การศึกษาและพัฒนาครีมกันยุงจากสารสกัดสมุนไพรเทพทาโร	ศิวกร แซ่ไหล, วรัญชิต เขียวเทโพธิ์, อัมพร เพชรโชค, อดุลย์สมาน สุขแก้ว, และ สุธี จุ้งลก	75
2026-85	ไหมขัดฟันจากใบสับปะรดผสมสารสกัดจากพืชตระกูลส้มเพื่อยับยั้งการเกิดหินปูนในช่องปาก	บารมี การี, ศุภกฤต เกษมมงคลพร, อัมพร เพชรโชติ, อดุลย์สมาน สุขแก้ว, และ สุธี จุ้งลก	84
2026-91	ฤทธิ์ต้านเชื้อก่อฝี *Staphylococcus aureus* และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยแผ่นแปะไฮโดรเจลจากเปลือกทุเรียนและสารสกัดจากเปลือกทับทิม	สรัลชนา อินทรศิริ, วรวลัญช์ สันตานนท์, อัมพร เพชรโชติ, สุธี จุ้งลก, และ อดุลย์สมาน สุขแก้ว	91
2026-92	การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยกากเต้าหู้เพื่อผลิตรั่ม	วิชญาดา พรหมจันทร์, กุญพิชชา ภัทรชยางกูร, นันท์นภัส คันธฬิกา, ทักษอร ไฝทอง, สาแลฮ๊ะ ดีชะเอ๊ะ, อดุลย์สมาน สุขแก้ว, และคณะ	97
2026-95	การพัฒนาเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาจากเปลือกมังคุดเพื่อดูดซับไมโครพลาสติกจากการซักผ้าโพลีเอสเตอร์	ธิชานันท์ คำศรี, ปริยาภัทร สุขสกุล, รุ่งวิภา คะศรี, และสุธี จุ้งลก	103

เลขบทความ	ชื่อเรื่อง	ผู้เขียน	หน้า
Poster Presentation			
2026-04	การประเมินความเป็นไปได้ในการบริหารจัดการขยะ: กรณีศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการรื้อร่อนขยะเก่ากับการจัดหาพื้นที่ฝังกลบใหม่ ของเทศบาลเมืองน่าน	จรินทนา เชื้อสะอาด และ สุรัตน์ เศษโพธิ์	113
2026-104 Only Abstract	การศึกษาผลกระทบของความหนาแน่นจราจรต่อคุณภาพอากาศในพื้นที่กรุงเทพมหานคร	เอกพสิษฐ์ จาตุธนานันท์	123
กลุ่ม 2 การจัดการมลพิษ			
Oral Presentation			
2026-70	การพัฒนาดัชนีและการคัดเลือกพืชเพื่อการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร	จุฑามาศ แก้วเจริญ, กัญจน์ ศิลป์ประสิทธิ์, และ อนันต์ พิริยะภัทรกิจ	126
2026-75	การจัดการเสียงรบกวนจากการจราจรในสวนสาธารณะเขตเมือง พื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	ชินชาต เรืองสุวรรณ, ธรรมรัตน์ พุทธไทย, นวพร กาญจนศิรานนท์, และ เพียงใจ พีระเกียรติขจร	138
2026-82	อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากสารสกัดเปลือกผลไม้เพื่อการบำบัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง	พรพิริยา พงศ์สุพัฒน์, ปรียาพร เกิดฤทธิ์, จักรพล พันธุวงศ์ภักดี, ภัทราวุธ พุสิงห์, สวรรยา แซ่แต้, และ เพียงใจ พีระเกียรติขจร	147
2026-86	คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตยาเม็ด	วริบฐา ถีกมี และ สุนทรี ขุนทอง	157
2026-88	ผลของการแกรนูลเลชันต่อกระบวนการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพ: สมรรถนะของกระบวนการและชุมชนจุลินทรีย์	ปิยภรณ์ ขุนรักษ์, ปพิชญา ศรีเทพ, และ ไชยวัฒน์ รงค์สยามานนท์	165
2026-98 Only Abstract	การพัฒนาเครื่องมือสำหรับดักจับไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำโดยอาศัยการตกตะกอนและการแยกด้วยวัสดุแม่เหล็ก	ฐิตารีย์ ศิริชัยวัจนเดชา, ชาคริต สมานรักษ์, และ ศุภกร ตันติศรียานุรักษ์	177
2026-101	ทัศนคติที่มีต่อบริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z	นันทิยา ตันเจริญ และ อภิชญา ลีลาวณิชกุล	179
Poster Presentation			
2026-36	การประยุกต์ใช้และประเมินประสิทธิภาพสีย้อมจากสารสกัดธรรมชาติรงควัตถุกลุ่มโพลีฟีนอล เพื่อทดแทนสีย้อมสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการระดับมัธยมศึกษา	พิชญุตม์ วงค์วรรณา, อิสรีย์ เลิศประเสริฐ, อนุสบา สังข์ผาด, ภคพร สิทธิบุตร, ญาณกร วิฑูรย์เสถียร, เทิดศักดิ์ สกุลสุข, และคณะ	192
2026-99	การพัฒนาวิธีตรวจหาแบคทีเรียประจำถิ่นแบบรวดเร็วด้วยเทคนิคเทคโนโลยีชีวภาพโมเลกุล เพื่อการควบคุมที่มีประสิทธิภาพในระบบบำบัดน้ำเสีย	วัลย์สห คุ้มครองวจี, นภัสสร บุญสร้าง, ณัฐกาญจน์ ศิริพรพันธ์, สุนทรี คำก้อนแก้ว, เบญญาภา ถาบัวรี, เวโรจน์ ตัะตุ้ย, และคณะ	202
กลุ่ม 3 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยพิบัติ			
Oral Presentation			
2026-01	การประเมินผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทาง Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” ของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล	ณัชลิดา แสนปราโมทย์, มยุรี ศรีสุวรรณ, นิตย์ทยา ทีฆาวงค์, และ นพเมศฐ์ รังสีเตชาวัฒน์	213
2026-16	การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรเพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน: กรณีศึกษา บริษัทสร้างและซ่อมเรือแห่งหนึ่ง	อรรถพล พุทธดิสสอน, นันท์นภัสร อินยิ้ม, และ เสรีย์ ตู้ประกาย	226
2026-22	ฟลักซ์ของแก๊สไนตรัสออกไซด์เชิงพื้นที่และศักยภาพการปล่อยแก๊สเรือนกระจกของพรุบางกล่ำ จังหวัดสงขลา	สุกาญดา เชื้อสุวรรณ, นิรัตน์ ภูทัดหมาก, ปฏิญญา ภักดีเมฆ, และ นเรศ เชื้อสุวรรณ	236

เลขบทความ	ชื่อเรื่อง	ผู้เขียน	หน้า
2026-31	ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง เศษซากชีวมวล และพลวัตของรากฝอย ภายใต้การจำกัดปริมาณน้ำฝนลดลง ร้อยละ 50 ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ	ธนภัทร มงคลธนโชค, สุขุมาภรณ์ แสงงาม, อำนาจ ชิดไธสง, และ พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ	245
	กลุ่ม 4 นิเวศวิทยาเมืองและอุตสาหกรรม		
Oral Presentation			
2026-71	การพัฒนาระบบสแกนโพรงภายในต้นไม้ด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาแบบอัตโนมัติ	ภาณุพงศ์ มหันตพลานนท์, มนัสวี เลาะวิธี และ กมลทิพย์ พลอยกระจ่าง	257
2026-100	นวัตกรรมโฟมยางพาราเสริมจุลินทรีย์ Bacillus subtilis บำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม	นิสรีน ทิ้งปากน้ำ, ปพิชญา แซ่ชั่น, คณิน ภักดีรักษ์พงศ์, อัมพร เพชรโชติ, สิรินาถ ทองทวี, อดุลย์สมาน สุขแก้ว, และคณะ	266
	กลุ่ม 5 เกษตรกรรมที่ยั่งยืนและความมั่นคงทางอาหาร		
Oral Presentation			
2026-28	แผ่นฟิล์มชีวภาพเชิงรุกจากสารไอโซไธโอไซยาเนตในลำต้นแก่ผักน้ำเบตงเพื่อควบคุม Escherichia coli สนับสนุนการยืดอายุอาหาร และยกระดับความปลอดภัยอาหาร	ชยุตรา แก้วกำเนิด, ธมนวรรณ ช่วยนุกูล, ชิดชนนี แซ่เซ, สิรินาถ ทองทวี, สุกัญญา ปัญญาวิศิษฏ์กุล, และ สุธี จุ้งลก	274
2026-37	การรับรู้และทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารในพื้นที่เมือง กรณีศึกษา กรุงเทพมหานคร	ณัฐสลิล อิศรางกูร ณ อยุธยา และ ปรียาภรณ์ หมื่นราช	287
2026-43	แคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียน เสริมจุลินทรีย์พรีไบโอติก	ณัฐปภัสร์ แซ่หลี, ณัฐกฤตา ม่านทอง, ชโนทัย ลิ้มศุภากร, สุธี จุ้งลก, และ รุสนานี ซียง	296
2026-44	แผ่นฟิล์มชีวภาพจากวัสดุธรรมชาติเพื่อยืดอายุผลไม้	ศุภกานต์ พิภูพัชญ์ชา, ชัญญานุช คงมั่น, ตัสบีลา เจ๊ะเด๊ะ, จิรกานต์ วิทยปรีชา และสุธี จุ้งลก	304
2026-46	พัฒนาเครื่องดื่มหมักโพรไบโอติกจากเปลือกมังคุดและเฉาก๊วยเบตง เพื่อสุขภาพทางเดินอาหารและลดของเสียเกษตร	เขมจิรา ยาหัวดง, ปวีญากร กรเกษแก้ว, ปิ่นวรา ภูสิทธิอุดมเดช, กรกช จันทร์บุญพิทักษ์, และ สุธี จุ้งลก	311
2026-52	ประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพต่อการปรับปรุงคุณสมบัติดินและการเจริญเติบโตของต้นฟ้าทะลายโจรในพื้นที่จังหวัดนครนายก	กมลวรรณ หงษ์ทอง, สมมาส แก้วล้วน, และ พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ	317
2026-67	การพัฒนาฟิล์มชีวภาพอัจฉริยะจากเห็ดเข็มทองและเปลือกหอมแดงเสริมสารสกัดแอนโทไซยานินเพื่อบ่งชี้ความสดของผลิตภัณฑ์ปูอัด	ปภาวิน ศิริสุวรรณ, โชติการ เฉลิมเมือง, สุธี จุ้งลก, และ กรองทอง เจริญวัฒนวิโรจน์	327
2026-74	สร้างโอกาสจากสื่อใกล้ตัว: แนวทางการใช้โซเชียลมีเดียเพื่อประชาสัมพันธ์สินค้าเกษตรอย่างยั่งยืน	ธวัชชัย ก้านศรีรัตน์ และ พรชนก นุชนารถ	333
2026-78	การพัฒนาแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ชีวภาพจากสาหร่าย *Cladophora* sp. ที่มีการชักนำให้เกิด Polyploid เพื่อประยุกต์ใช้ในการผลิตเปลือกแคปซูล	วิรัลพัชร พิริยโยธากุล, กัญญาพัชร คงอินทร์, หทัยภัทร คงคานนท์, สุธี จุ้งลก, และ อัมพร เพชรโชติ	343
2026-89	ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร	ญานิสา ดีใจงาม, ภูริพัตร์ มะโดด, ธนัญชนก อรุณมาศ, และ รัชนี โสดถานา	349

เลขบทความ	ชื่อเรื่อง	ผู้เขียน	หน้า
2026-90	การพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากแป้งข้าวโพดผสมสารดูดกลิ่นจากชีวมวลเปลือกส้มโชกุนเพื่อยืดอายุการใช้งานบรรจุภัณฑ์อาหาร	อภิญญา แซ่โฮ, ภวรัญชน์ ยอดแก้ว, ณัฐวุฒิ ศรีอัดชา, อดุลย์สมาน สุขแก้ว, อัมพร เพชรโชติ, และ สุธี จุ้งลก	364
2026-93	ไบโอชาร์จากเปลือกมังคุด ทางเลือกในการปรับปรุงดินและลดการสะสมของเชื้อโรคในดิน	ธนกฤต เวียงทอง, กฤติพงศ์ ลิปิธีรกร, พีรวิชญ์ ชัยพานิชย์, อดุลย์สมาน สุขแก้ว, และ สุธี จุ้งลก	370
Poster Presentation			
2026-45	เว็บแอปพลิเคชันอัจฉริยะสำหรับจำแนกและทำนายระยะเวลาการสุกของกล้วยหอมทอง เพื่อลดขยะอาหาร	กันต์ เอี่ยมชัยมงคล, ณภัทร รณเกียรติ, พิชยินทร์ อินทรวงศ์ศักดิ์, และ จุฑาวรรณ ตรีชัย	378
2026-58	กรณีศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพ (Biochar) ร่วมกับฟางข้าวและน้ำหมักปลา ต่อการปรับปรุงดินเปรี้ยวใน ชุดดินรังสิต เขตอำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา	พัทธนันท์ คชสีห์ และ ไพลิน กิตติคุณ	388
กลุ่ม 6 สังคมศาสตร์และสาธารณสุข			
Oral Presentation			
2026-42	บทบาทผู้ช่วยพยาบาลในการดูแลผู้ป่วยถูกล่วงละเมิดทางเพศในหน่วยตรวจผู้ป่วยนอกนรีเวช โรงพยาบาลรามาธิบดี	มัลลิกา แสงหิรัญ, นิตยา คนชม, เจนจิรา มานิชสาร, และ นงลักษณ์ สว่างศรี	396
2026-48	การวิเคราะห์โครงสร้างโปรตีนในพิษแมงกะพรุนกล่อง โดยใช้ฐานข้อมูลชีวสารสนเทศเพื่อการออกแบบยาต้านพิษในอนาคต	พชณัน แซ่ลิ่ม, ญัลวา กิตติชัย, อภิเดช พงศ์แผ้ว, และ มนิดา นกเกษม	405
2026-53	การพัฒนาเว็บไซต์หลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์เพื่อการเข้าถึงข้อมูลอย่างยั่งยืน	ธวัชชัย ก้านศรีรัตน์, ฤทธิรงค์ พันธ์ดี, และ พรชนก นุชนารถ	415
2026-66	นวัตกรรมเสื้อคลุมสำหรับฉีดยาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริการและเคารพศักดิ์ศรี ของผู้ป่วย	พลอยแก้ว จารุวร, สุมิษา ไพศาลวรรณ, ทวีพร พาณิชย์พงษ์, และ นพมาศ พันธุโสภณ	423
Poster Presentation			
2026-12	การหาลักษณะโปรไฟล์ของสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในสารสกัดจากพืชวงศ์มะม่วง	สมฤทัย สุขีเกตุ, เพ็ญพิลาส ประกอบปราณ, ฐิติรัตน์ ธนสารสมบัติ, ณัฏฐธิดา มีดี, พิชรฎา โชติพิทยสุนนท์, มาท์เทียส ณวพรรษก์ โหงว, และคณะ	432
2026-13	การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพืชวงศ์มะม่วง	เพ็ญพิลาส ประกอบปราณ, สมฤทัย สุขีเกตุ, พิมพ์วลัญช์ กิตติไกวัล, กมลลักษณ์ ธิติกุลประเสริฐ, วรรณิษา เอี่ยมสอาด, โสภณวิชญ์ จงเจริญยานนท์, และคณะ	440
2026-14	การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลจากพืชในวงศ์มะม่วง	เพ็ญพิลาส ประกอบปราณ, สมฤทัย สุขีเกตุ, ณัฏฐกฤษฎิ์ ยศรุ่งเรือง, ธรรศ เลิศเกษมฤทัย, ตรีวุฒิ วงค์นิ่ม, พัฐชญาณ์ วงศ์วรการ, และคณะ	447

เลขบทความ	ชื่อเรื่อง	ผู้เขียน	หน้า
กลุ่ม 7 วิทยาศาสตร์ธรรมชาติและนิเวศวิทยา			
Oral Presentation			
2026-39 Only Abstract	ประเมินประสิทธิภาพนวัตกรรมซั้งบ้านปลาจากยางพาราเพื่อความยั่งยืนทางทะเล	จอมกิตติ ศิริกุล, ชยานี บุญสน, นนท์ นาคะเสถียร, และ ปฐพร เกื้อนุ้ย	455
2026-57	ฟิล์มเพคตินชีวภาพเสริมสมุนไพรไทยสำหรับยับยั้งเชื้อรา *Cladosporium* spp. ก่อโรคจากการแช่อาหารในตู้เย็น	ปภาวิน ภักดีรักษ์พงศ์, กฤติเดช ชาญศรีภิญโญ, ชเนตตี ศรีวิไล, สุธี จุ้กลก, และ อับดุลอาซิส ประสิทธิหิมะ	457
Poster Presentation			
2026-07 Only Abstract	การสำรวจไมโครพลาสติกในน้ำทะเล บริเวณพื้นที่หมู่เกาะแสมสาร จังหวัดชลบุรีเพื่อส่งเสริมความตระหนักรู้ด้านนิเวศวิทยา และสิ่งแวดล้อมทางทะเล	สิรีพัชร จีนสิน, รุ่งทิพย์ วงศ์เลอศักดิ์, อารมณ์ มุจรินทร์, และ รัชนีวรรณ สุมิตรากิจ	466
2026-27 Only Abstract	การศึกษาการเตรียมตัวเร่งจากใบอ้อยเพื่อสังเคราะห์ 2,5-furandicarboxylic acid methyl ester (FDME) จาก galactaric acid และ dimethyl carbonate โดยใช้พลังงานความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ	อันนา ตันวาณิชกุล, ปทิตตา อาภรณ์แก้ว, สุพัตตรา อินทรบุญญา, และ แอนดรูว์ ฮันท์	468
2026-68	การศึกษาลักษณะและปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในพืช C3 และ C4 ที่เป็นอาหารสัตว์	ปิยะพร ขะบูรณ์, สิงหา ดวงเกตุ, สรรเสริญ วีระพจนานันท์, และ วรรณวิภา ห้อยกอน	470
กลุ่ม 8 พลังงานทางเลือก			
Oral Presentation			
2026-03	การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ที่นำไปใช้กับโหลดดีซีเทียบกับโหลดเอซี	บรรณวัฒน์ ประเสริฐวงษ์	479
2026-09	Unlocking blended finance to mobilize private sector investment in biomass power plant projects: An analysis of institutional gaps in Thailand	Natamol Thitithanida and Kanittha Tambunlertchai	489
2026-76	การประเมินความยั่งยืนตลอดวัฏจักรชีวิตและแนวทางการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ในครัวเรือนบนมิติสิ่งแวดล้อม การเงิน และสังคม	ชินพัฒน์ ชูเมือง, และ นิธิดา นาคะปรีชา	500
2026-77	การจำลองการเผาไหม้ของแอมโมเนียร่วมกับถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันสูง โดยใช้โปรแกรม Aspen Plus	โปรดปราน สิริธีรศาสน์, ณัฐนรี ชำนาญ, และ บุณยชา ปายัน	512
Poster Presentation			
2026-20	การประเมินสมบัติเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพทางความร้อนของน้ำมันไพโรไลซิสจากพลาสติกรวมด้วยระบบเตาปฏิกรณ์แบบ Compact Skid เพื่อการจัดการขยะชุมชนอย่างยั่งยืน	พชรพร ธนเลิศพิพัฒน์, และ พลวัฒน์ ดำรงกิจภากร	522
2026-40	การพัฒนาอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* สำหรับอุปกรณ์ IoT (Internet of Things) เพื่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน	ภาณุวัชร ยาดี, วริทธิ์ภัทร พิมพ์เลิศ, กันตพัฒน์ เสงี่ยมศักดิ์, และ สมฤทัย หอมชื่น	531
2026-80	การเพิ่มประสิทธิภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวน สำหรับเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกขนาดเล็ก	พลอยไพลิน สอนดา, วุฒิติพงษ์ สุขภูศรี, พีรภาส ยิ่งกัลยา, คมสันต์ ชางชื่อมูล, และ ณัฐพล หมายมั่น	543

เลขบทความ	ชื่อเรื่อง	ผู้เขียน	หน้า
กลุ่ม 9 สารสนเทศสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ			
Oral Presentation			
2026-94	การใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการประเมินความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพรรณพืชรอบโบราณสถานในเขตพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท จังหวัดอุดรธานี	ทาวิชญ์ สิงสุพรรณ, กอบการ เปรี้ยวปี, และ มิ่งกมล ป้องภักดี	556
Poster Presentation			
2026-08	การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาค่าฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดนครสวรรค์	จิตราพันธ์ มหันโต และ วริยา ชาติสุทธิ์	567
กลุ่ม 10 การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน			
Oral Presentation			
2026-05	งานวิจัยโครงการติดตั้งระบบรีไซเคิลน้ำทิ้งของเครื่องทำน้ำความเย็น ประจำอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา	อนุพงษ์ คงแก้ว และ นพเมศฐ์ รังสีเตชาวัฒน์	578
2026-17	การวิเคราะห์ความคุ้มค่าการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานเกิน 10 ปี ห้องปฏิบัติการชิมมิวเลชั่น	ฤทธิพร หาพร,กมล ยอดญาติไทย และ อนุพงษ์ คงแก้ว	592
2026-18	วิเคราะห์ความคุ้มค่าการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ สำหรับมอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อนชิลเลอร์ ประจำอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา	กมล ยอดญาติไทย, อนุพงษ์ คงแก้ว, และ ฤทธิพร หาพร	604
2026-19	การพัฒนาและประเมินประสิทธิผลระบบบริหารจัดการงานบริการโสตทัศนศึกษา โดยประยุกต์ใช้แพลตฟอร์ม Low-Code และแนวคิด BYOD เพื่อมุ่งสู่สำนักงานดิจิทัลอย่างยั่งยืน	สุคเน ทรรภลักษณ์, และ ปัณเอก เรืองศิริกร	612
2026-21	หมดปัญหาท่อน้ำตันด้วยชุดถังกรองดักจับเศษปูน	ศิริลักษณ์ ขวานอก, จำเนียร เฟื่องฟุ้ง, สุรีพร ภูพันนา, และ สายยนต์ เกิดไธสง	622
2026-25	รากฐานแห่งความยั่งยืน: การขับเคลื่อนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในบริบทนวัตกรรมทางสังคมท้องถิ่นไทย	นิสา รัตนดิลก ณ ภูเก็ต, ปิยะวัฒน์ เจริญศักดิ์, และ เฉลิมพล จงวิทูกิจ	630
2026-32	การพัฒนากระบวนการจัดผังยูนิตทันตกรรมในคลินิกกลางด้วยระบบออนไลน์ My Clinic	รฐา มัธยเวคิน, อนันต์ บุบผาสังข์, และ ชนินธร ศาลยาชีวิน	640
2026-33	การสำรวจและประเมินความเสี่ยงด้านอัคคีภัยจากการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักสำนักงาน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล	นิตย์ทยา ทีฆาวงค์, ณัชลิดา แสนปราโมทย์, และ นพเมศฐ์ รังสีเตชาวัฒน์	655
2026-35	การปรับปรุงระบบแสงสว่างเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน อาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา	ปรีชา แก้วชูเงิน, นิติรุจน์ กุลวิไชยศักดิ์, และ ธิระยุทธ อักษรกูล	667
2026-41	กรณีศึกษา: การช่วยเหลือและฟื้นฟูยูนิตทันตกรรมและระบบปั๊มลมในคลินิกทันตกรรม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	นิติรุจน์ กุลวิไชยศักดิ์, อนันต์ โตกุล, สุลักษณ์ คงเลิศ, สิทธิพร หาพร, และ ณัฐวิชช์ วงษ์ฮ้อเจริญ	676
2026-49	แบบประเมินความพึงพอใจและประสิทธิภาพการใช้งานระบบคัดกรองการรับนักศึกษา TCAS รอบ Portfolio ผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล	ณิชชา พูลเอี่ยม และ กิตติกานต์ นาวาพงส์	689
2026-50	การบริหารการจองห้องประชุมอย่างมีประสิทธิภาพ	บีรญา หัสครบุรี, อรรถกร ธีระกาย, และ ฐานิศร์ แก่นแก้ว	698
2026-55	การเปรียบเทียบคุณภาพภาพรังสีจากแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล	สมพร มาโพนทอง, กนกศรี มินโมหา และ มณฑิชา ชัยชะนะมงคล	707

เลขบทความ	ชื่อเรื่อง	ผู้เขียน	หน้า
2026-59	การพัฒนารูปแบบการบริหารจัดการเอกสารดิจิทัลสำหรับเลขานุการภาควิชา โดยใช้ไมโครซอฟท์ ทีมส์ เพื่อส่งเสริมสำนักงานสีเขียว	มณฑิตา อ้นรัตน์ และ นฤมล ศักดิ์บุญญารัตน์	716
2026-60	การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน	จักรพล คนเที่ยง	728
2026-65	การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรเพื่อพัฒนาอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษา สำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร	ชญานี อักษรอินทร์, ฟ้าสวย ศรีโยธี, และ อุมารัจน์ สันติสุขเกษม	741
2026-73	การเพิ่มประสิทธิภาพการคัดเลือกนักเรียนเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล	วิภาวดี กรรณประชา และ สมหญิง โอฐธนู	751
2026-87	การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้งานหัวหุ่นสำหรับยึดแบบจำลองฟัน	อรพธู กุลวิไชยศักดิ์, ปฐวี สุขเจริญ, ณัฐวิชช์ วงษ์ฮ้อเจริญ, และ นิติรุจน์ กุลวิไชยศักดิ์	762
2026-97 Only Abstract	การศึกษาแนวทางการขนส่งที่ยั่งยืนสำหรับผู้เดินทาง กรณีโครงการมหาวิทยาลัยสีเขียวของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	ตระการ พรมสำลี, ทัศนีย์ เจียรพสุอนันต์, และ ณฐพล ทองปลิว	770
2026-102	ปัจจัยความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนสู่ความเป็นเลิศอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาแผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2568-2572	อนุทธัต สุวรรณลพ	772
2026-103	การพัฒนาสู่ระบบดิจิทัลในการจัดเลี้ยงการประชุมคณะกรรมการประจำคณะ: การวิเคราะห์เชิงประจักษ์ด้านความชอบ สุขภาพ และเป้าหมายของการพัฒนาที่ยั่งยืน	อังคณา รอดเครือมิตร และ อรณิชา กุ้งทอง	785
ผู้ตรวจประเมินบทความ			803

การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและนโยบาย

Natural Resource and Environmental Management and Policy

Oral Presentation

ความพึงพอใจของผู้ป่วยผ่าตัดภายใต้การระงับความรู้สึกแบบทั่วไปต่อเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด

พีรพล ลำน้อย[1], จิตพิสุทธิ์ มั่นศิล[2*], รุ่งทิวา แก้วกัลยา[2], ศรุตา ทองชื่นจิต[1], และ ปิยมาศ บัวรักษา[2]

[1]หน่วยห้องผ่าตัด โรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล ประเทศไทย
[2]หน่วยวิสัญญีวิทยา โรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล ประเทศไทย
**Corresponding author: jitpisut_mun@gmail.com*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันผู้ป่วยที่เข้ารับการผ่าตัดภายใต้การระงับความรู้สึกทุกราย จำเป็นต้องถอดเครื่องประดับและชุดชั้นใน เนื่องจากภายใต้ชุดชั้นในอาจมีโครงเหล็กที่เป็นสื่อนำกระแสไฟฟ้าได้และในกรณีฉุกเฉินช่วยฟื้นคืนชีพอาจต้องเปิดบริเวณหน้าอกอย่างรวดเร็ว ในผู้ป่วยหญิงหรือผู้ป่วยเพศทางเลือกที่มีหน้าอกและเต้านมมักวิตกกังวลเกี่ยวกับการถอดชุดชั้นในและกลัวการถูกมองเห็นเนื่องจากการปฏิบัติงานอาจต้องติดอุปกรณ์วัดสัญญาณชีพและเจ้าหน้าที่อาจเห็นบริเวณหน้าอกโดยไม่ได้ตั้งใจ ทีมจึงประดิษฐ์เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดเพื่อป้องกันการเปิดเผยหน้าอกของผู้ป่วยโดยประยุกต์ใช้ผ้าห่อชุดผ่าตัดปราศจากเชื้อ (Nonwoven fabric) เหลือใช้ เพื่อช่วยจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ลดค่าใช้จ่ายและใช้ประโยชน์จากทรัพยากรที่เหลือใช้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ป่วยผ่าตัดภายใต้การระงับความรู้สึกแบบทั่วไปและผู้ปฏิบัติงานต่อเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดระยะเวลา 5 เดือน โดยเก็บข้อมูลไปข้างหน้าและใช้แบบประเมินความพึงพอใจ

ผลการศึกษาพบว่า 1) ความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงานต่อเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด 53 คน โดยภาพรวมอยู่ในระดับมากเมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่าที่ด้านการใช้งานมีค่าเฉลี่ยสูงสุด ส่วนด้านอื่นๆอยู่ในระดับมากรองลงมาคือ ด้านรูปแบบเสื้อตามลำดับ 2) ความพึงพอใจของผู้ป่วยต่อเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด 47 ราย โดยภาพรวมอยู่ในระดับมากเมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่าด้านการใช้งานมีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ ด้านรูปแบบเสื้อตามลำดับ นอกจากนี้ผู้ป่วยและผู้ปฏิบัติงานยังต้องการใช้เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดเนื่องจากช่วยป้องกันการมองเห็นหน้าอกโดยไม่ได้ตั้งใจและยังลดความวิตกกังวลของผู้ป่วย

คำสำคัญ: ผู้ป่วยผ่าตัด / หน้าอก / เสื้อ / ความพึงพอใจ / การจัดการทรัพยากร

The satisfaction of surgical patient under general anesthesia with Tube top for surgery

Phiraphon Lamnoi[1], Jitpisut Munsil[2*], Rungtiwa Kaewkunlaya[2] Saruta Thongchunjit[1], and Piyamas Buaraksa[2]

[1]Operating room Unit Dental Hospital, Faculty of Dentistry, Mahidol University, Thailand
[2]Anesthesia Unit Dental Hospital, Faculty of Dentistry, Mahidol University, Thailand
**Corresponding author: jitpisut.mun@gmail.com*

Abstract

Surgical patients under general anesthesia are required to remove jewelry and underwear because the underwear may contain metal wires that can conduct electricity and emergency resuscitation situations, it may be necessary to expose the chest area quickly. Female patients or gender-diverse patients with breasts often feel anxious about removing their underwear and fear being exposed, as medical procedures may require the placement of monitoring devices and healthcare personnel may unintentionally see the chest area. The team therefore developed a tube top for surgery to prevent exposure of the patient's chest by repurposing unused sterile surgical wrapping material (nonwoven fabric) to help manage natural resources and protect the environment and reduce costs and utilize leftover resources. The objective was to study the satisfaction of surgical patients under general anesthesia and healthcare personnel toward the Tube Top for surgery over a 5 month period, using a prospective data collection approach and a satisfaction assessment questionnaire

The results of the study 1) The satisfaction of 53 healthcare personnel toward the Tube Top for surgery was at a high level. When analyzed by aspect, the usability aspect had the highest mean score, followed by other aspects, with the design aspect ranking next. 2) The satisfaction of 47 patients toward the Tube Top for surgery was overall at a high level. When analyzed by aspect, the usability aspect had the highest mean score, followed by the design aspect.

In addition, patients and healthcare personnel expressed a desire to continue using the Tube Top for surgery, as it helps prevent unintentional exposure of the chest and reduces patients anxiety.

Keywords: Surgical patients / Chest / Tube Top / Satisfaction / Resource management

1. บทนำ

ปัจจุบันการรักษาทางการแพทย์ด้วยการผ่าตัดภายใต้การระงับความรู้สึกแบบทั่วไปมีเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทางการแพทย์และการพัฒนาวิชาชีพด้านวิสัญญี ทำให้ผู้ป่วยได้รับการรักษาที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และควรเตรียมความพร้อมผู้ป่วยก่อนผ่าตัดทางด้านร่างกาย โดยการซักประวัติและตรวจร่างกายผู้ป่วยอย่างครอบคลุม ประเมินทางเดินหายใจ ผลตรวจทางห้องปฏิบัติการและให้คำแนะนำการปฏิบัติตนก่อนผ่าตัด เช่น การงดน้ำและอาหารอย่างน้อย 8 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการสูดสำลักอาหารขณะระงับความรู้สึก การทำความสะอาดร่างกาย การถอดฟันปลอม ร่วมถึงการถอดเครื่องประดับและของมีค่า เช่น สร้อย นาฬิกา แหวน แว่นตา คอนแทกเลนส์ ชุดชั้นใน (อาจมีโครงเหล็ก ตะขอโลหะ) กิ๊บ สายสิญจน์ เป็นต้น เพื่อป้องกันไฟฟ้าดูดหรือการเผาไหม้ขณะใช้เครื่องจี้เวลาผ่าตัด (Maher, Salmond, & Pellino, 2002) และการเตรียมความพร้อมทางด้านจิตใจ เนื่องจากผู้ป่วยมักมีความวิตกกังวลเกี่ยวกับการผ่าตัดและระงับความรู้สึกแบบทั่วไป กลัวอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับตนเอง การเจ็บปวดหลังผ่าตัด ร่วมถึงความวิตกกังวลจากการเปิดเผยร่างกายและการสูญเสียความเป็นส่วนตัวในระหว่างการเตรียมผ่าตัด เช่น การถอดเสื้อผ้าหรือชุดชั้นใน ซึ่งทำให้ผู้ป่วยรู้สึกอับอาย ความไม่มั่นคงทางอารมณ์ และไม่ปลอดภัย (Valizadeh et al. ,2022) ร่วมถึงเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานที่อาจมองเห็นหน้าอกผู้ป่วยจากการปฏิบัติงานแบบไม่ได้ตั้งใจ

หน่วยห้องผ่าตัด โรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล มีผู้ป่วยเข้ารับการผ่าตัดและระงับความรู้สึกแบบทั่วไปในปี พ.ศ. 2565-2567 จำนวน 662 ราย 687 ราย 637 ราย ตามลำดับ (หน่วยวิสัญญีวิทยา โรงพยาบาลทันตกรรม,2568) ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น และพบอุบัติการณ์การมองเห็นหน้าอกผู้ป่วยจากการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่แบบไม่ได้ตั้งใจ จำนวน 6 ครั้ง ใน 1 เดือน จากการปฏิบัติงาน เช่น การติดเครื่องวัดสัญญาณชีพ การเคลื่อนย้ายผู้ป่วย การฟอกทำความสะอาดผิวใบหน้าและคอรวมถึงพื้นที่บริเวณใกล้หน้าอก เป็นต้น ผู้ปฏิบัติงานจึงเกิดความไม่สบายใจที่ต้องเห็นหน้าอกผู้ป่วยโดยไม่ได้ตั้งใจและตระหนักถึงความสำคัญของการเปิดเผยร่างกายของผู้ป่วย จึงคิดค้นเสื้อสำหรับปิดบังบริเวณหน้าอกผู้ป่วยโดยใช้ผ้าห่อชุดผ่าตัดปราศจากเชื้อ (Nonwoven fabric) ซึ่งผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์โพลีโพรพิลีน (Polypropylene) ที่เหลือใช้จากการปฏิบัติงานมาประดิษฐ์เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดเพื่อลดอุบัติการณ์เจ้าหน้าที่เห็นหน้าอกผู้ป่วย ผู้ป่วยวิตกกังวลลดลงเกี่ยวกับการเปิดเผยหน้าอกและเป็นการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในบริบทของโรงพยาบาลซึ่งสอดคล้องกับแผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2561–2580 ของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะยุทธศาสตร์ที่ 3 การบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างบูรณาการ ซึ่งมุ่งลดการเกิดของเสียและส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2565) ดังนั้นในฐานะที่ผู้ศึกษาเป็นผู้ปฏิบัติงานภายในหน่วยห้องผ่าตัดและวิสัญญีวิทยาและประยุกต์ใช้ทรัพยากรที่เหลือใช้นำไปสู่ การประดิษฐ์เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด จึงมีความสนใจที่จะพัฒนาเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดและศึกษาความพึงพอใจต่อการใช้งานของป่วยและผู้ปฏิบัติงานเพื่อให้ผู้ป่วยใช้งานเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดได้อย่างเหมาะสมและมีประโยชน์สูงสุด

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาจำนวนครั้งการเกิดอุบัติการณ์การเห็นหน้าอกผู้ป่วยแบบไม่ได้ตั้งใจของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน
2. เพื่อศึกษาจำนวนผู้ป่วยวิตกกังวลหลังใส่เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด
3. เพื่อศึกษาพึงพอใจของผู้ป่วยและผู้ปฏิบัติงานต่อการใส่เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด

3. ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาอุบัติการณ์การเห็นหน้าอกผู้ป่วยแบบไม่ได้ตั้งใจของเจ้าหน้าที่ ความวิตกกังวลเกี่ยวกับการไม่ใส่เสื้อชั้นในของผู้ป่วย และศึกษาความพึงพอใจของผู้ป่วยและผู้ปฏิบัติงานต่อเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดในผู้ป่วยที่เข้ารับการผ่าตัดภายใต้การระงับความรู้สึกแบบทั่วไป โรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ระหว่าง 1 ตุลาคม 2567 - 28 กุมภาพันธ์ 2568

4. วิธีการศึกษา

4.1 ขั้นการจัดทำเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด

หลังจากพบปัญหาทีมห้องผ่าตัดและวิสัญญีวิทยาจึงใช้แนวคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ โดยประยุกต์ใช้แนวคิด PLAN - DO - CHECK- ACT (ณัฏฐ์ณพัชร์ อ่อนตาม,2562) โดยมีการดำเนินการดังนี้

4.1.1 การวางแผน (Plan)

เมื่อทีมพบเจอปัญหาเจ้าหน้าที่เห็นหน้าอกผู้ป่วยโดยไม่ได้ตั้งใจและไม่อยากเห็น โดยเฉพาะเจ้าหน้าที่เพศชาย และผู้ป่วยมีความวิตกกังวลเมื่อไม่ได้ชุดชั้นใน รู้สึกไม่มั่นใจและไม่ปลอดภัย เนื่องจากอาจมีการติดอุปกรณ์ต่างๆ ใกล้บริเวณหน้าอกและเดิมมีเสื้ออุ่นใจให้กับผู้ป่วยใส่ก่อนเข้าห้องผ่าตัด แต่เสื้ออุ่นใจต้องใช้ทุนทรัพย์ในการผลิต จึงร่วมกันวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้แผนภูมิก้างปลาในการวิเคราะห์ ดังข้อ 6 ทีมจึงได้คิดทำ "เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด" โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ลดการเห็นหน้าอกของผู้ป่วยแบบไม่ได้ตั้งใจของเจ้าหน้าที่ ลดความวิตกกังวลของผู้ป่วย ผู้ป่วยและเจ้าหน้าที่มีความพึงพอใจต่อการใช้ "เสื้อบังทรง เพื่อการผ่าตัด"

4.1.2 การปฏิบัติ (Do)

หลังจากวิเคราะห์หาสาเหตุจึงพบว่า ควรมีเสื้อใส่ให้ผู้ป่วยก่อนเข้าห้องผ่าตัดเพื่อลดการเห็นหน้าอกของผู้ป่วย และลดความวิตกกังวลของผู้ป่วย จึงจัดทำ "เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด" ที่ผลิตจากผ้า Nonwoven fabric เป็นผ้าห่อชุดผ่าตัดปราศจากเชื้อ (ที่ไม่ได้นำไปใช้งาน) และมีกระดุมพลาสติก 1 จุด ติดตามขนาดไซด์ S = หน้าอก 30-32 นิ้ว M หน้าอก 34-36 นิ้ว L = หน้าอก 38-40 นิ้ว XL = หน้าอก 40-42 นิ้ว

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการผลิตเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด

รูปที่ 2 แสดง "เสื้อบังทรง เพื่อการผ่าตัด"

4.1.3. การตรวจสอบ (Check1)

หลังจากได้ “เสื้อบังทรง เพื่อการผ่าตัด” จึงนำไปทดลองใช้ โดยนำไปใช้งานกับผู้ป่วย 1 สัปดาห์ พบปัญหาผู้ป่วยใส่ไม่พอดีตามไซด์ S M L XL เช่น ผู้ป่วยไซด์ S คือ หน้าอก ประมาณ 30-32 นิ้ว แต่เมื่อนำไปใส่จริงหลวม เนื่องจากหน้าอกของผู้ป่วยเวลาไม่ได้ใส่เสื้อชั้นในอาจเล็กลงทำให้ไม่พอดีและมีกระดุม 1 จุด จึงไม่สามารถยืดหยุ่น ปรับให้กระชับได้

4.1.4 การดำเนินงานให้เหมาะสม (Action1)

หลังจากพบปัญหาจึงคิดพัฒนา “เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด” โดยปรับปรุงพัฒนาให้ ไซด์ S M L XL มีกระดุมเพิ่มจากเดิมเป็น 4 กระดุมเพื่อให้สามารถปรับขนาดเพิ่มและลดขนาดและใส่ได้พอดี หลังจากพัฒนาปรับปรุงจนไม่พบปัญหาขนาดไม่พอดี จึงเสนอต่อหน่วยงานและนำมาใช้กับผู้ป่วย

รูปที่ 3 แสดง "เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด" ปรับปรุงครั้งที่ 1 โดยการเพิ่มตำแหน่งกระดุม

4.1.5. การตรวจสอบ (Check2)

หลังจากนำ “เสื้อบังทรง เพื่อการผ่าตัด” ไปใช้กับผู้ป่วยยังพบปัญหาเพิ่มเติมเรื่องผู้ป่วยสวมใส่ผิดรูปแบบซึ่งเดิมมีการอธิบายแบบพูดให้ผู้ป่วยทราบก่อนเข้าห้องน้ำเพื่อสวมใส่แต่ยังพบปัญหา

4.1.6 การดำเนินงานให้เหมาะสม (Action1)

หลังจากพบปัญหาการสวมใส่ผิดรูปแบบจึงได้จัดทำขั้นตอนและวิธีการใส่ให้ผู้ป่วยทราบแบบรูปภาพ ติดไว้บริเวณห้องน้ำสำหรับเปลี่ยนชุด ดังภาพที่ 4 หลังมีวิธีการสวมใส่ไม่พบผู้ป่วยใส่ผิดรูปแบบ

รูปที่ 4 แสดงภาพขั้นตอนการสวมใส"เสื้อบังทรง เพื่อการผ่าตัด" ในห้องน้ำเปลี่ยนชุด

4.2 รวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลอุบัติการณ์การเห็นหน้าอกผู้ป่วยแบบไม่ได้ตั้งใจของเจ้าหน้าที่ จำนวนผู้ป่วยวิตกกังวลหลังใส่เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด ความพึงพอใจของเจ้าหน้าที่และผู้ป่วยต่อการใส่เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด โดยใช้แบบบันทึกและประเมินความพึงพอใจและมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ของ Likert scale และกำหนดผลการวิเคราะห์ข้อมูลมาแปลความหมายของค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ โดยใช้แนวคิด Likert Rating Scales (ไพฑูรณ์ โพธิสาร,2560) โดยมีเกณฑ์ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.51 – 5.00 แปลความได้ว่า มีความพึงพอใจระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.51 – 4.50 แปลความได้ว่า มีความพึงพอใจระดับมาก

ค่าเฉลี่ย 2.51 – 3.50 แปลความได้ว่า มีความพึงพอใจระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.51 – 2.50 แปลความได้ว่า มีความพึงพอใจระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.50 แปลความได้ว่า มีความพึงพอใจระดับน้อยที่สุด

ทั้งนี้ผู้ป่วยจะได้รับการใส่เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดตั้งแต่เข้ามายังพื้นที่ห้องผ่าตัดจนก่อนให้การระงับความรู้สึกแบบทั่วไป จากนั้นผู้ป่วยทำแบบประเมินความพึงพอใจก่อนระงับความรู้สึกและเจ้าหน้าที่เข้าปฏิบัติงานกับผู้ป่วยทำแบบประเมินหลังผู้ป่วยผ่าตัดเสร็จและส่งกลับหอผู้ป่วยในหรือกลับบ้าน

4.3 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ใช้ ค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ และร้อยละ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ส่วนที่ 1 คุณลักษณะของผู้ป่วยและเจ้าหน้าที่

จากการศึกษาพบว่าผู้ป่วยใส่เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดมี 47 ราย โดยเป็นเพศหญิงร้อยละ 91.48 และเพศทางเลือกร้อยละ 8.52 ตามลำดับ อายุเฉลี่ยของผู้ป่วย 32.91 ปี ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะผู้รับป่วยและเจ้าหน้าที่

คุณลักษณะผู้ป่วย	จำนวน	ร้อยละ
เพศ		
หญิง	43	91.48
ทางเลือก	4	8.52
อายุ		
อายุเฉลี่ย	32.91 (S.D.=13.12)	

เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานกับผู้ป่วยใส่เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดมี 53 ราย โดยเป็นเพศหญิงร้อยละ 81.14 เพศทางเลือกร้อยละ 9.43 และเพศชายร้อยละ 9.43 เป็นผู้ปฏิบัติงานทันตกรรมร้อยละ 49.06 พยาบาลร้อยละ 30.18 ผู้ช่วยพยาบาลร้อยละ 15.09 วิสัญญีแพทย์ร้อยละ 3.78 และทันตแพทย์ร้อยละ 1.89 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน

คุณลักษณะเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน	จำนวน	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	5	9.43
หญิง	43	81.14
ทางเลือก	5	9.43
ตำแหน่ง		
ทันตแพทย์	1	1.89
วิสัญญีแพทย์	2	3.78
พยาบาล	16	30.18
ผู้ปฏิบัติงานทันตกรรม	26	49.06
ผู้ช่วยพยาบาล	8	15.09

ส่วนที่ 2 จำนวนอุบัติการณ์การเห็นหน้าอกผู้ป่วยของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน

จากการศึกษาเมื่อผู้ป่วยใส่เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานเห็นหน้าอกของผู้ป่วย 0 ครั้ง โดยเปรียบเทียบกับอุบัติการณ์การเห็นหน้าอกของผู้ป่วยก่อนผลิตเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด พบว่าช่วยลดการมองเห็นหน้าอกผู้ป่วยขณะปฏิบัติงาน ร้อยละ 100 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบจำนวนอุบัติการณ์การเห็นหน้าอกผู้ป่วยของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานก่อนและหลังมีเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด

อุบัติการณ์	ก่อนมีเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด	หลังใส่เสื้อบังทรง (ครั้ง/เดือน)				
		ต.ค.67	พ.ย. 67	ธ.ค. 67	ม.ค. 68	ก.พ. 68
จำนวนครั้งการเห็นหน้าอกผู้ป่วยแบบไม่ได้ตั้งใจของเจ้าหน้าที่ขณะปฏิบัติงาน	6 (ครั้ง/ใน1เดือน)	0	0	0	0	0

ส่วนที่ 3 จำนวนผู้ป่วยวิตกกังวลหลังใส่เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด

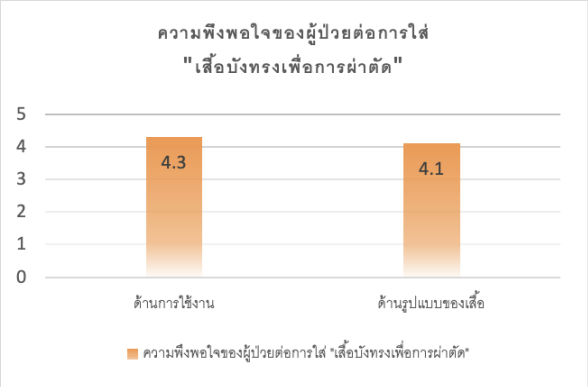
จากการศึกษาเมื่อผู้ป่วยใส่เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดพบว่าผู้ป่วยวิตกกังวลเกี่ยวกับการถอดชุดชั้นใน 0 ราย โดยเปรียบเทียบกับจำนวนผู้ป่วยวิตกกังวลเกี่ยวกับการถอดชุดชั้นในก่อนเข้าห้องผ่าตัด พบว่าช่วยลดความวิตกกังวลของผู้ป่วยเกี่ยวกับการถอดชุดชั้นใน ร้อยละ 100 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบจำนวนผู้ป่วยวิตกกังวลก่อนและหลังใส่เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด

อุบัติการณ์	ก่อนมีเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด	หลังใส่เสื้อบังทรง (ราย)				
		ต.ค.67	พ.ย. 67	ธ.ค. 67	ม.ค. 68	ก.พ. 68
จำนวนผู้ป่วยวิตกกังวลเกี่ยวกับการถอดชุดชั้นในก่อนผ่าตัด	12 (12 ราย / ใน 20 ราย)	0	0	0	0	0

ส่วนที่ 4 ความพึงพอใจของผู้ป่วยต่อการใส่เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด

จากการศึกษาพบว่าผู้ป่วยมีความพึงพอใจต่อเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ =4.3) และรายข้อที่ได้รับความพึงพอใจมากที่สุด คือ ด้านการใช้งานเสื้อ ($\bar{x}$=4.3) รองลงมาคือด้านรูปแบบของเสื้อ ($\bar{x}$=4.1) ตามลำดับ ดังรูปที่ 5

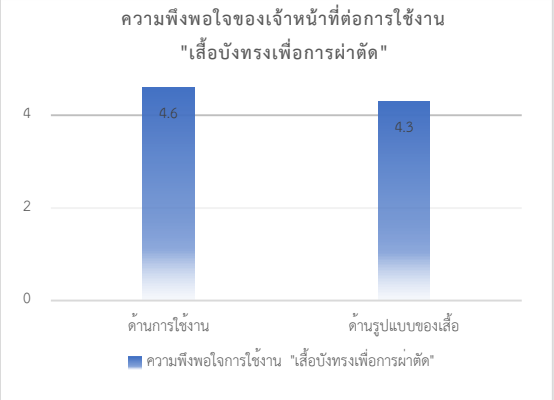


รูปที่ 5 แสดงความพึงพอใจของผู้ป่วยใช้งานเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด

โดยผู้ป่วยมีความพึงพอใจด้านการใช้งานเสื้อมากที่สุด ได้แก่ หัวข้อสวมใส่และเกิดความมั่นใจ ($\bar{x}$=4.42) หัวข้อใส่แล้วรู้สึกสบาย ไม่ระคายเคือง ไม่รู้สึกกดทับผิวหนัง ($\bar{x}$=4.4) และหัวข้อความสะดวกต่อการใส่เสื้อบังทรง ($\bar{x}$=4.38) ตามลำดับ และในด้านรูปแบบของเสื้อ ได้แก่ รูปแบบมีความเหมาะสมต่อการสวมใส่ ($\bar{x}$=4.31) และรูปแบบมีความสวยงาม ($\bar{x}$=3.97) ตามลำดับ นอกจากนี้ผู้ป่วยมีความคิดเห็นต่อความเหมาะสมเพื่อนำมาใช้ลดความวิตกกังวลของผู้ป่วยเมื่อต้องเปิดเผยหน้าอกก่อนเข้าห้องผ่าตัดและหากมีโอกาสกลับมาผ่าตัดและเข้ารักษาที่โรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ผู้ป่วยทุกคนยังต้องการใส่เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดอีกครั้ง

ส่วนที่ 5 ความพึงพอใจของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานต่อเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด

จากการศึกษาพบว่าเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานมีความพึงพอใจต่อเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$=4.5) และรายข้อที่ได้รับความพึงพอใจมากที่สุด คือ ด้านการใช้งานเสื้อ ($\bar{x}$=4.6) รองลงมาคือด้านรูปแบบเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด ($\bar{x}$=4.3) ตามลำดับ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงความพึงพอใจของเจ้าหน้าที่ต่อการใช้งาน "เสื้อบังทรง เพื่อการผ่าตัด"

โดยด้านการใช้งานเสื้อมีความพึงพอใจมากที่สุด ได้แก่ หัวข้อมีความต้องการเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดมาใช้งาน ($\bar{x}$=4.62) หัวข้อความสะดวกต่อการใช้งาน ($\bar{x}$=4.54) และหัวข้อเกิดเหตุฉุกเฉินเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดไม่ขัดขวางการปฏิบัติงาน ($\bar{x}$=4.52) ตามลำดับ และด้านรูปแบบของเสื้อ ได้แก่ รูปแบบมีความเหมาะสมต่อการสวมใส่ ($\bar{x}$=4.45) และรูปแบบมีความสวยงาม ($\bar{x}$=4.28) ตามลำดับ นอกจากนี้เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานมีความคิดเห็นเพิ่มเติมและควรนำมาใช้กับผู้ป่วยผ่าตัดและระงับความรู้สึกแบบทั่วไปเพื่อป้องกันการเห็นหน้าอกผู้ป่วยโดยไม่ตั้งใจขณะปฏิบัติงานและยังลดความวิตกกังวลของผู้ป่วยเกี่ยวกับการเปิดเผยหน้าอกได้

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาความพึงพอใจของผู้ป่วยผ่าตัดภายใต้การระงับความรู้สึกแบบทั่วไปต่อเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดพบว่าไม่เกิดอุบัติการณ์เจ้าหน้าที่เห็นบริเวณหน้าอกของผู้ป่วยโดยไม่ได้ตั้งใจ และผู้ป่วยไม่เกิดความวิตกกังวลต่อการไม่สวมใส่เสื้อชั้นในขณะผ่าตัด หลังจากผู้ป่วยใส่เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดทำให้มีความมั่นใจมากขึ้น รู้สึกปลอดภัยขณะที่ตนเองได้รับการผ่าตัดและมีความพึงพอใจในการใส่เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัด นอกจากนี้เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานเกิดความสบายใจขณะทำงานและมีความพึงพอใจต่อการใช้งานเสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดทำให้ไม่ต้องคอยหลบสายตาเวลาเปิดบริเวณหน้าอกผู้ป่วยเพื่อติด

อุปกรณ์วัดสัญญาณชีพหรือทำความสะอาดบริเวณผ่าตัด ดังนั้นการประยุกต์ใช้ทรัพยากรที่เหลือใช้และประดิษฐ์เสื้อบังทรงเพื่อการผ่าตัดนอกจากช่วยใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและประหยัดรายจ่ายยังสามารถช่วยลดความวิตกกังวล ผู้ป่วยพึงพอใจและปราศจากภาวะแทรกซ้อนตลอดการผ่าตัด

เอกสารอ้างอิง

[1] Maher, A. B., Salmond, S. W., & Pellino, T. A. (2022). Perioperative nursing: Principles and practice (6th ed., pp. 332–333). Jones & Bartlett Learning.

[2] Valizadeh, L., Zamanzadeh, V., Gharibi, T., & Rahmani, A. (2022). *Patients' experiences of privacy and vulnerability in hospital care: A qualitative study*. Nursing Ethics, *29*(5), 1308–1320. https://doi.org/10.1177/09697330211043134

[3] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2565). *แผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (พ.ศ. 2561–2580)*. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. https://www.onep.go.th/masterplan-2561-2580/

[4] ณัฏฐ์ณพัชร์ อ่อนตาม. (2562) เทคนิคการบริหารงานแบบ PDCA (Deming Cycle) PDCA (Deming Cycle) Management Techniques.วารสารสมาคมพัฒนาวิชาชีพการบริหารการศึกษาแห่งประเทศไทย ปีที่ 1 ฉบับที่ 3 (กรกฎาคม-กันยายน 2562) หน้า 39-46

[5] ไพฑูรณ์ โพธิสาร. (2560*). มาตรวัดลิเคอร์ท*. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. https://ejournals.swu.ac.th/index.php/ENEDU/article/download/5830/5467/18905

[6] หน่วยวิสัญญีวิทยา โรงพยาบาลทันตกรรม. (2568). *รายงานการประชุมหน่วยวิสัญญีวิทยาประจำเดือน มกราคม 2568*. หน่วยวิสัญญีวิทยา โรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

การประเมินผลกระทบจากการปรับอัตราค่าธรรมเนียมการเก็บขนและกำจัดมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อ

มยุรี ศรีสุวรรณ[1], ณัชลิดา แสนปราโมทย์[2], และ นพเมศฐ์ รังสีเตชาวัฒน์[1*]

[1]หน่วยสิ่งแวดล้อมและอนุรักษ์พลังงาน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ประเทศไทย
[2]งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ประเทศไทย
**Corresponding author: noppamate.rag@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบจากการปรับอัตราค่าธรรมเนียมการเก็บขนและกำจัดมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยทำการเปรียบเทียบอัตราค่าธรรมเนียมของมูลฝอยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 ถึง พ.ศ. 2568 รวมระยะเวลา 3 ปี ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนในอัตราค่าธรรมเนียมอัตราใหม่ อันมีสาเหตุมาจากการปรับอัตราค่าธรรมเนียม ซึ่งส่งผลกระทบต่องบประมาณที่เพิ่มขึ้นและชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการวางแผนบริหารจัดการมูลฝอย โดยการวิเคราะห์ข้อมูลในระยะเวลา 3 ปี จะช่วยให้สามารถทำความเข้าใจถึงแนวโน้มและผลกระทบดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการศึกษาพบว่า ค่าธรรมเนียมในการเก็บขนและกำจัดมูลฝอยภายหลังการปรับอัตราใหม่ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในทุกปีที่ศึกษา (พ.ศ. 2566-2568) โดยแบ่งประเภทมูลฝอยออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ มูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อ ในปี พ.ศ. 2566 พบว่า ค่าธรรมเนียมมูลฝอยทั่วไปจากอัตราเดิม 48,000 บาท เพิ่มขึ้นเป็น 216,000 บาท คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นร้อยละ 350 ขณะที่ค่าธรรมเนียมมูลฝอยติดเชื้อจากอัตราเดิม 242,700 บาท เพิ่มขึ้นเป็น 628,680 บาท คิดเป็นร้อยละ 159.04 สำหรับปี พ.ศ. 2567 และ 2568 พบว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นยังคงไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่าธรรมเนียมมูลฝอยทั่วไปเพิ่มขึ้นเป็น 232,000 บาท (ร้อยละ 383.33) และ 236,000 บาท (ร้อยละ 391.67) ตามลำดับ ส่วนค่าธรรมเนียมมูลฝอยติดเชื้อเพิ่มขึ้นเป็น 637,260 บาท (ร้อยละ 159.68) และ 609,960 บาท (ร้อยละ 158.68) ตามลำดับ

คำสำคัญ: การปรับอัตราค่าธรรมเนียม / การเก็บขนและการกำจัดมูลฝอย / มูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อ

Assessing the impact of adjusting the service rates for general and infectious waste disposal

Mayuree Srisuwan[1] Natchalida Sanpramote[2] and Nabameshtha Rangsitejavadhana[1*]

[1]Environmental and Energy Conservation Unit, Faculty of Dentistry, Mahidol University, Thailand
[2]Physical and Environmental Unit, Faculty of Dentistry, Mahidol University, Thailand
[*]Corresponding author: noppamate.rag@mahidol.ac.th

Abstract

This study aims to evaluate the impact of adjusting the fees for the collection and disposal of general and infectious waste at the Faculty of Dentistry, Mahidol University, by comparing waste fees from 2023 to 2025, a period of three years. The study results show a clear shift in the new fee rates, resulting from fee adjustments that impact the increased budget and highlight the need for waste management planning. Analyzing data over a three-year period will help to effectively understand these trends and impacts.

The study found that waste collection and disposal fees, after the adjustment of the rates, tended to increase significantly each year studied (2023-2025), categorized into two types of waste: general waste and infectious waste. The study focused on the following year: 2023. It was found that the general waste fee increased from the original rate of 48,000 baht to 216,000 baht, representing a 350 percent increase, while the infectious waste fee increased from the original rate of 242,700 baht to 628,680 baht, representing a 159.04 percent increase for the years 2024 and 2025. The upward trend was found to continue in the same direction, with general waste fees increasing to 232,000 baht (383.33%) and 236,000 baht (391.67%), respectively. Infectious waste fees increased to 637,260 baht (159.68%) and 609,960 baht (158.68%), respectively.

Keywords: Fee adjustment / Waste collection and disposal / General waste and infectious waste

1. บทนำ

สถานการณ์ปริมาณมูลฝอยของประเทศไทยในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ภายหลังจากประเทศไทยกลับมาสู่ภาวะปกติหลังจากวิกฤตของการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ได้เปิดประเทศ เพื่อรองรับนักท่องเที่ยวและการลงทุน เพื่อเป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจที่ตกต่ำที่ผ่านมา การขยายตัวของเมือง และรูปแบบการบริโภคที่ก่อให้เกิดมูลฝอยมากขึ้น [1] ส่งผลให้ระบบการจัดการมูลฝอยต้องเผชิญความท้าทายด้านประสิทธิภาพและต้นทุนที่สูงขึ้น โดยเฉพาะในหน่วยงานด้านสาธารณสุขที่มีการผลิตทั้งมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อในปริมาณมาก ซึ่งต้องอาศัยกระบวนการกำจัดที่มีมาตรฐานและมีค่าใช้จ่ายสูงกว่ามูลฝอยประเภทอื่น [2] สำหรับคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล การจัดการมูลฝอยทั้งสองประเภทมีภาระค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญภายใต้ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องค่าธรรมเนียมการให้บริการในการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือมูลฝอย ตามกฎหมายว่าด้วยการสาธารณสุข พ.ศ. 2568 ที่ประกาศ เมื่อวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2568 [3] ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ผลักดันให้การประเมินผลกระทบด้านค่าใช้จ่ายและการวางมาตรการบริหารจัดการมูลฝอยอย่างมีประสิทธิภาพ และกลายเป็นประเด็นเร่งด่วนของคณะฯ ในปัจจุบัน

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของ สาเหตุที่ทำให้คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จำเป็นต้องศึกษาผลกระทบด้านค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอัตราค่าธรรมเนียมการจัดการสิ่งปฏิกูลและมูลฝอยตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2568 ซึ่งกำหนดให้มีการปรับค่าบริการเก็บขนและกำจัดมูลฝอย ทั้งมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อให้สูงขึ้นกว่าปีก่อนหน้าอย่างมีนัยสำคัญ ขณะเดียวกันคณะฯ ภารกิจด้านการเรียนการสอน การวิจัย และการให้บริการทางทันตกรรมที่สร้างปริมาณมูลฝอยเพิ่มขึ้นตามความต้องการของผู้รับบริการ ทำให้ภาระต้นทุนด้านการกำจัดมูลฝอยของคณะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย การศึกษาผลกระทบดังกล่าวจึงมีความจำเป็นเพื่อประเมินภาระงบประมาณที่แท้จริง วางแผนบริหารจัดการมูลฝอยอย่างเหมาะสม และกำหนดแนวทางลดค่าใช้จ่ายอย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินและเปรียบเทียบค่าธรรมเนียมในการกำจัดมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อของคณะทันตแพทยศาสตร์ ภายหลังการปรับอัตราค่าธรรมเนียมตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2568
2. เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบด้านงบประมาณที่เกิดขึ้นต่อการดำเนินงานของคณะฯ จากต้นทุนการจัดการมูลฝอยที่สูงขึ้น
3. เพื่อข้อเสนอแนะแนวทางการบริหารจัดการมูลฝอยอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อควบคุมต้นทุนอย่างเป็นระบบในระยะยาว

3. ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษาครั้งนี้ครอบคลุมการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการจัดการมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในช่วงปี พ.ศ. 2566–2568 โดยมุ่งเน้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปริมาณขยะ ค่าธรรมเนียมการกำจัด และอัตราค่าบริการที่ปรับเพิ่มตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2568 การศึกษานี้จำกัดเฉพาะการประเมินผลกระทบด้านต้นทุนที่เกิดขึ้นภายในหน่วยงานของคณะฯ ไม่รวมถึงการวิเคราะห์เชิงสิ่งแวดล้อมเชิงลึกหรือผลกระทบต่อระบบการจัดการมูลฝอยของหน่วยงานภายนอก ทั้งนี้การศึกษาเน้นเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนบริหารจัดการมูลฝอยและงบประมาณของคณะฯ ในอนาคต

4. วิธีการศึกษา

4.1 การรวบรวมข้อมูล

เก็บข้อมูลปริมาณมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการจัดการมูลฝอยของคณะทันตแพทยศาสตร์ ในช่วงปี พ.ศ. 2566–2568 และมีเอกสารประกอบ เช่น รายงานการกำจัดมูลฝอย สัญญาผู้รับจ้างกำจัดมูลฝอย และเอกสารประกาศข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2568

ข้อมูลจากเอกสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ในครั้งนี้ประกอบด้วยแหล่งข้อมูลสำคัญดังต่อไปนี้

4.1.1 รายงานปริมาณมูลฝอยและค่าใช้จ่ายในการกำจัดมูลฝอยของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในช่วงปี พ.ศ. 2566–2568 ซึ่งรวมถึงข้อมูลปริมาณมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อรายเดือน พร้อมรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง

4.1.2 สัญญาว่าจ้างหรือเอกสารกำหนดอัตราค่าบริการกำจัดมูลฝอย จากผู้รับจ้างกำจัดมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อ เพื่อใช้ประกอบการเปรียบเทียบอัตราค่าบริการก่อนและหลังการปรับขึ้นตามข้อบัญญัติใหม่

4.1.3 ประกาศข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง ค่าธรรมเนียมการให้บริการในการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือมูลฝอย พ.ศ. 2568 ลงวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2568 ซึ่งเป็นเอกสารหลักในการอ้างอิงอัตราค่าธรรมเนียมที่มีการปรับปรุง

4.1.4 ข้อมูลงบประมาณของคณะฯ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมและการจัดการมูลฝอยในช่วงปีที่ทำการศึกษา

ข้อมูลทั้งหมดนี้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบเพื่อประเมินผลกระทบด้านต้นทุนและแนวโน้มค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราค่าธรรมเนียมใหม่

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการเปรียบเทียบต้นทุนการจัดการมูลฝอยในแต่ละปี วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าใช้จ่ายก่อนและหลังการปรับอัตราค่าธรรมเนียม พร้อมประเมินแนวโน้มค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลง

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญดังต่อไปนี้

4.2.1 การเปรียบเทียบเชิงปริมาณ (Quantitative Comparison)

วิเคราะห์ปริมาณมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดขึ้นในแต่ละปี (พ.ศ. 2566–2568) เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณมูลฝอย รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณมูลฝอยกับต้นทุนการกำจัดในแต่ละปี

4.2.2 การวิเคราะห์ต้นทุน (Cost Analysis)

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการกำจัดมูลฝอยก่อนและหลังการปรับอัตราค่าธรรมเนียมตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2568 โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายรวม ค่าบริการต่อหน่วย และผลต่างของค่าใช้จ่ายในแต่ละประเภทของมูลฝอย

4.3.3 การวิเคราะห์แนวโน้ม (Trend Analysis)

ศึกษาทิศทางการเพิ่มขึ้นของต้นทุนและปริมาณมูลฝอยตลอดช่วงปีที่ทำการศึกษา เพื่อตรวจสอบว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีความสอดคล้องกับการปรับค่าธรรมเนียมหรือปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง

4.3 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาเรื่อง การประเมินผลกระทบจากการปรับอัตราค่าบริการกำจัดมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในการศึกษานี้ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ในการคำนวณค่าเฉลี่ย อัตราส่วน และการคำนวณผลรวม เพื่อวิเคราะห์ปริมาณมูลฝอยเฉลี่ยต่อวัน และคำนวณค่าธรรมเนียมตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2568 [3]

4.3.1 อัตราการคิดค่าธรรมเนียมมูลฝอยติดเชื้อ

ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง ค่าธรรมเนียมการให้บริการในการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือมูลฝอย ตามกฎหมายว่าด้วยการสาธารณสุข พ.ศ. 2568

การคำนวณมูลฝอยติดเชื้อ

1) ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อต่อวัน (กิโลกรัมต่อวัน) = $\frac{\text{ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่จัดเก็บได้ทั้งเดือน (กิโลกรัม)}}{\text{จำนวนวันของเดือนนั้น (วัน)}}$

2) หาจำนวนหน่วย (1 หน่วย = 2 กิโลกรัม)

$$\text{จำนวนหน่วย} = \frac{\text{ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อต่อวัน (กิโลกรัมต่อวัน)}}{\text{2 กิโลกรัม}}$$

หมายเหตุ: กรณีที่เศษเกินครึ่งหน่วยให้คิดเป็น 1 หน่วย

3) คิดค่าธรรมเนียมที่ต้องชำระ (บาทต่อเดือน) = (จำนวนหน่วย x ค่าเก็บขน) + (จำนวนหน่วย x ค่ากำจัด)

4.3.2 อัตราการคิดค่าธรรมเนียมมูลฝอยทั่วไป แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราการคิดค่าธรรมเนียมมูลฝอยทั่วไป [3]

กลุ่ม	เกณฑ์ปริมาณมูลฝอย	รายละเอียดการคิดค่าธรรมเนียม	อัตราค่าธรรมเนียม/เดือน (บาท)
1	ไม่เกิน 20 ลิตร/วัน หรือ ไม่เกิน 4 กก./วัน	(1) ไม่คิดแยกมูลฝอย: คิดค่าธรรมเนียม 60 บาท/เดือน (2) คิดแยกมูลฝอย และลงทะเบียนตามเงื่อนไขที่ กทม. กำหนด: คิดค่าธรรมเนียมอัตราขั้นต่ำ 20 บาท/เดือน	60 บาท (ไม่แยกมูลฝอย) หรือ 20 บาท (แยกมูลฝอย)
2	เกิน 20 ลิตร/วัน แต่ไม่เกิน 1 ลบ.ม./วัน หรือ เกิน 4 กก./วัน แต่ไม่เกิน 200 กก./วัน	คิดเป็นหน่วย ๆ ละ 20 ลิตร (หรือ 4 กก.) โดยมีการกำหนดหน่วยที่คิดเป็นค่าธรรมเนียมและมีเศษเกินครึ่งหน่วยให้คิดเป็น 1 หน่วย และ ถ้ามีการลดปริมาณมูลฝอยลงทุก ๆ 1 หน่วย (20 ลิตร) จะลดอัตราค่าธรรมเนียม 120 บาท/หน่วย	หน่วยละ 120 บาท
3	เกิน 1 ลบ.ม./วัน หรือ เกิน 200 กก./วัน	คิดเป็นหน่วย ๆ ละ 1 ลบ.ม. (หรือ 200 กก.) โดยมีการกำหนดหน่วยที่คิดเป็นค่าธรรมเนียม กรณีที่มีเศษเกินครึ่งหน่วยให้คิดเป็น 1 หน่วย และ กรณีที่เศษเกินไม่ถึงครึ่งหน่วยให้คิดเป็น 0.5 หน่วย	หน่วยละ 8,000 บาท

การคำนวณมูลฝอยทั่วไป

1) ปริมาณมูลฝอยทั่วไปต่อวัน (กิโลกรัมต่อวัน) = $\frac{\text{ปริมาณมูลทั่วไปที่จัดเก็บได้ทั้งเดือน (กิโลกรัม)}}{\text{จำนวนวันของเดือนนั้น (วัน)}}$

2) หาจำนวนหน่วย (1 หน่วย = 200 กิโลกรัม)

$$\text{จำนวนหน่วย} = \frac{\text{ปริมาณมูลฝอยทั่วไปต่อวัน (กิโลกรัมต่อวัน)}}{\text{200 กิโลกรัม}}$$

หมายเหตุ: กรณีที่เศษเกินครึ่งหน่วยให้คิดเป็น 1 หน่วย

3) คิดค่าธรรมเนียมที่ต้องชำระ (บาทต่อเดือน) = (จำนวนหน่วย x 8,000 บาท/เดือน)

4.3.3 อัตราการเพิ่มค่าธรรมเนียมมูลฝอย [4]

การคำนวณหาอัตราการเพิ่มค่าธรรมเนียมมูลฝอย

1) ปริมาณมูลฝอยรวมทั้งปี = ∑ ปริมาณมูลฝอยรายเดือน

2) อัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณมูลฝอย

$$\text{อัตราการเปลี่ยนแปลง (\%)} = \frac{\text{มูลฝอยปีปัจจุบัน - มูลฝอยปีก่อนหน้า}}{\text{มูลฝอยปีก่อนหน้า}} \times 100$$

3) ผลต่างค่าธรรมเนียมระหว่างปี

ผลต่างค่าใช้จ่าย = ค่าธรรมเนียมปีปัจจุบัน - ค่าธรรมเนียมปีก่อน

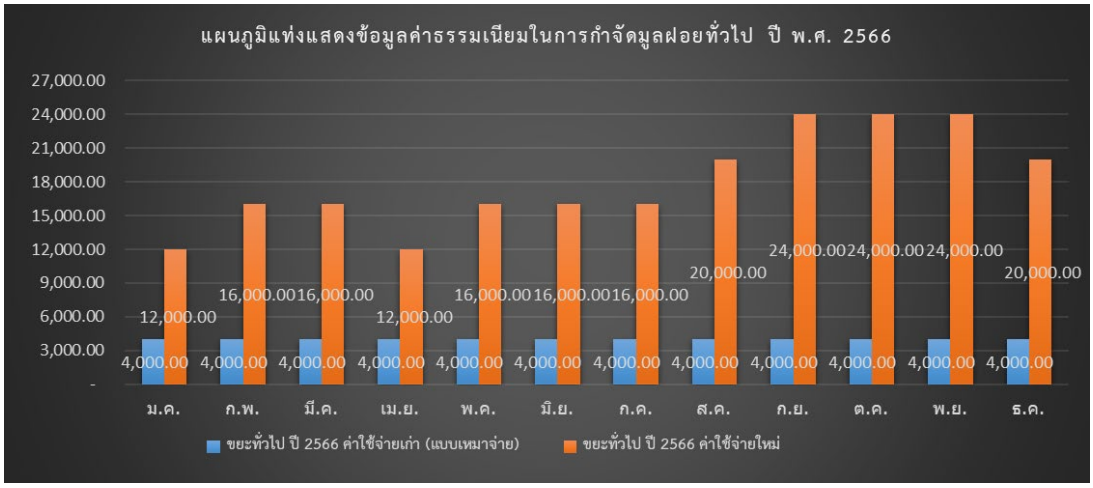
$$\text{อัตราการเพิ่มค่าธรรมเนียม (\%)} = \frac{\text{ค่าธรรมเนียมปีปัจจุบัน - ค่าธรรมเนียมปีก่อน}}{\text{ค่าธรรมเนียมปีก่อน}} \times 100$$

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

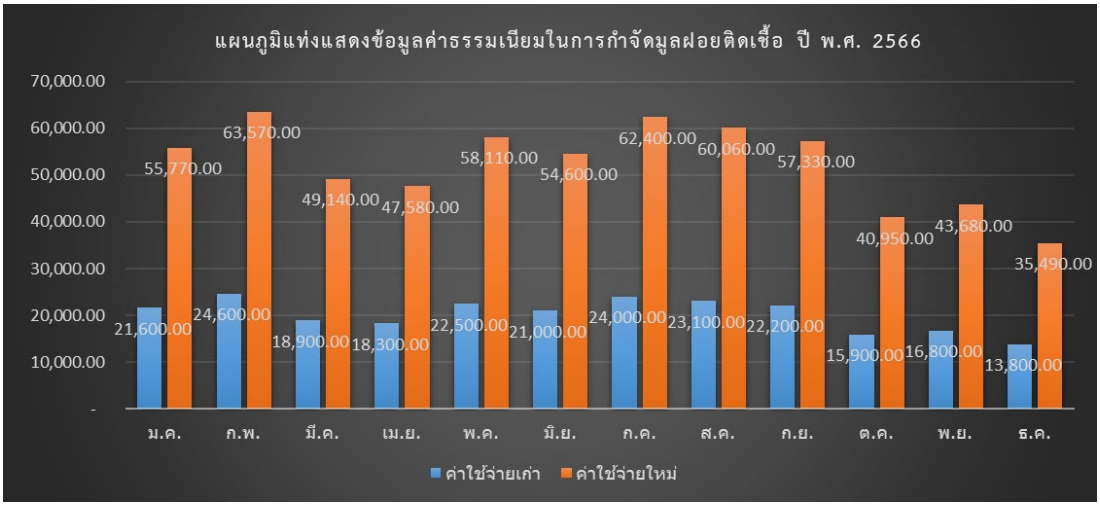
จากการศึกษาการในปี พ.ศ. 2566 หน่วยงานมีปริมาณมูลฝอยทั่วไป 144,171 กิโลกรัมต่อปี ค่าธรรมเนียมอัตราเก่าซึ่งเป็นลักษณะเหมาจ่ายสำหรับมูลฝอยทั่วไป มีค่าธรรมเนียมรวมตลอดปี 48,000 บาท สำหรับมูลฝอยติดเชื้อมีปริมาณ 48,768 กิโลกรัมต่อปี ค่าธรรมเนียมอัตราเก่าตลอดปีอยู่ที่ 242,700 บาท เมื่อพิจารณาค่าธรรมเนียมแบบใหม่ พบว่ามูลฝอยทั่วไป ซึ่ง

คิดตามปริมาณมูลฝอย มีค่าธรรมเนียมเพิ่มขึ้นเป็น 216,000 บาท และมูลฝอยติดเชื้อ เพิ่มขึ้นเป็น 628,680 บาท สะท้อนให้เห็นว่าการปรับอัตราค่าธรรมเนียมมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อส่งผลต่อค่าใช้จ่ายของหน่วยงานที่เพิ่มขึ้น

โดยภาพรวมค่าธรรมเนียมในการกำจัดมูลฝอยภายใต้อัตราค่าธรรมเนียมอัตราใหม่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับค่าธรรมเนียมอัตราเก่า สอดคล้องกับแนวโน้มปริมาณมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นในบางช่วงเวลา ข้อมูลดังกล่าวจึงเป็นฐานสำคัญในการวางแผนมาตรการลดปริมาณมูลฝอย การคัดแยกมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิด และการบริหารจัดการค่าใช้จ่ายด้านสิ่งแวดล้อมในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงดังรูปที่ 1,2



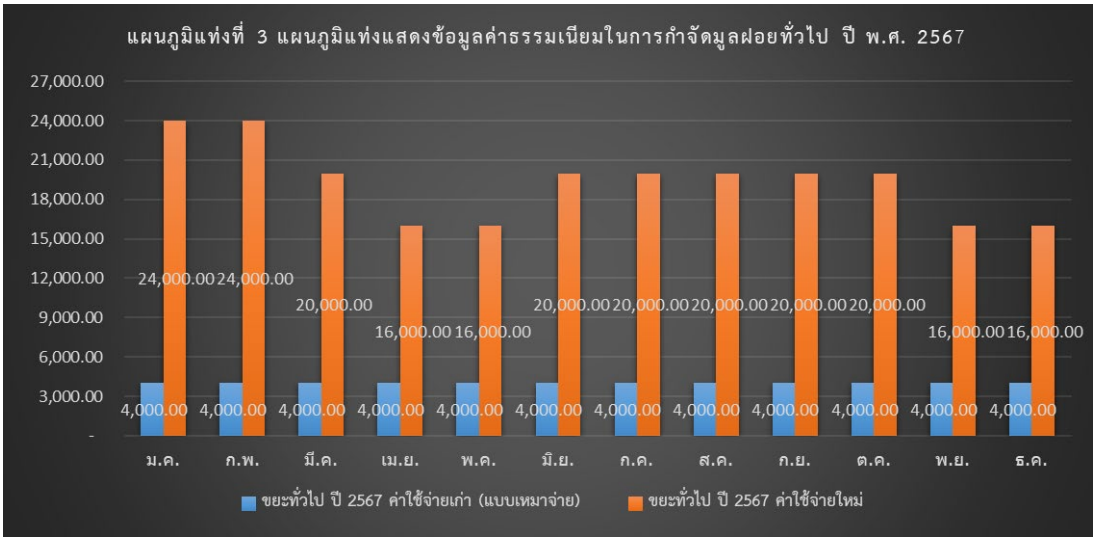
รูปที่ 1 แผนภูมิแท่งแสดงข้อมูลค่าธรรมเนียมในการกำจัดมูลฝอยทั่วไป ปี พ.ศ. 2566



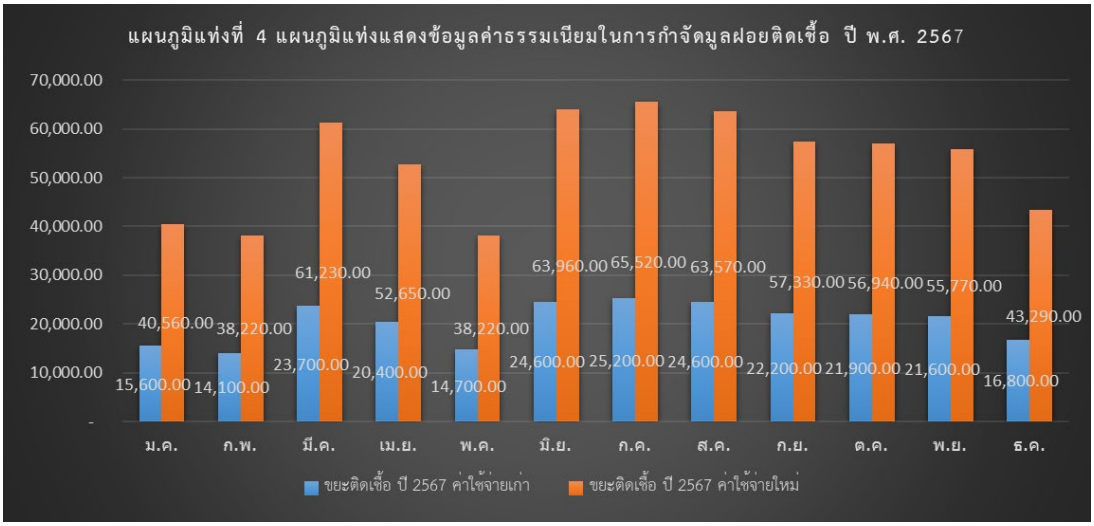
รูปที่ 2 แผนภูมิแท่งแสดงข้อมูลค่าธรรมเนียมในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ ปี พ.ศ. 2566

ในปี พ.ศ. 2567 หน่วยงานมีปริมาณมูลฝอยทั่วไป 158,201 กิโลกรัมต่อปี ค่าธรรมเนียมอัตราเก่าซึ่งเป็นลักษณะเหมาจ่ายสำหรับมูลฝอยทั่วไป มีค่าธรรมเนียมรวมตลอดปี 48,000 บาท สำหรับมูลฝอยติดเชื้อมีปริมาณ 49,650 กิโลกรัมต่อปี ค่าธรรมเนียมอัตราเก่าตลอดปีอยู่ที่ 245,400 บาท เมื่อพิจารณาค่าธรรมเนียมแบบใหม่ พบว่ามูลฝอยทั่วไป ซึ่งคิดตามปริมาณมูลฝอย มีค่าธรรมเนียมเพิ่มขึ้นเป็น 232,000 บาท และมูลฝอยติดเชื้อ เพิ่มขึ้นเป็น 637,260 บาท สะท้อนให้เห็นว่าการปรับอัตราค่าธรรมเนียมมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อส่งผลต่อค่าใช้จ่ายของหน่วยงานที่เพิ่มขึ้น

โดยภาพรวมเมื่อเปรียบเทียบค่าธรรมเนียมอัตราเดิมกับค่าธรรมเนียมอัตราใหม่ พบว่าค่าธรรมเนียมในการกำจัดมูลฝอยของปี พ.ศ. 2567 เพิ่มขึ้นอย่างมาก สอดคล้องกับปริมาณมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้า ข้อมูลดังกล่าวจึงมีความสำคัญต่อการวางแผนบริหารจัดการมูลฝอย การลดและคัดแยกปริมาณมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิด แสดงดังรูปที่ 3,4



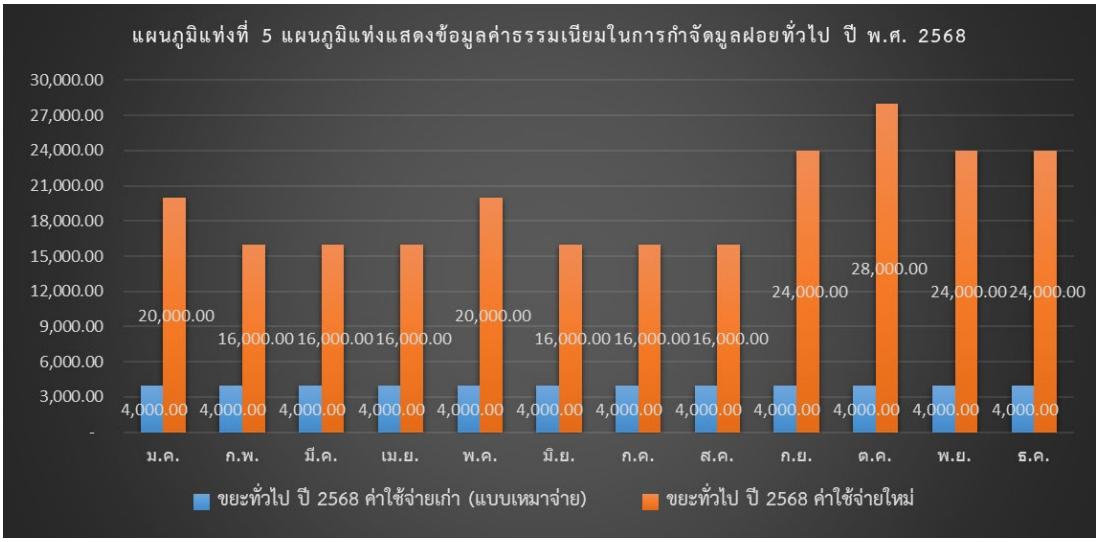
รูปที่ 3 แผนภูมิแท่งแสดงข้อมูลค่าธรรมเนียมในการกำจัดมูลฝอยทั่วไป ปี พ.ศ. 2567



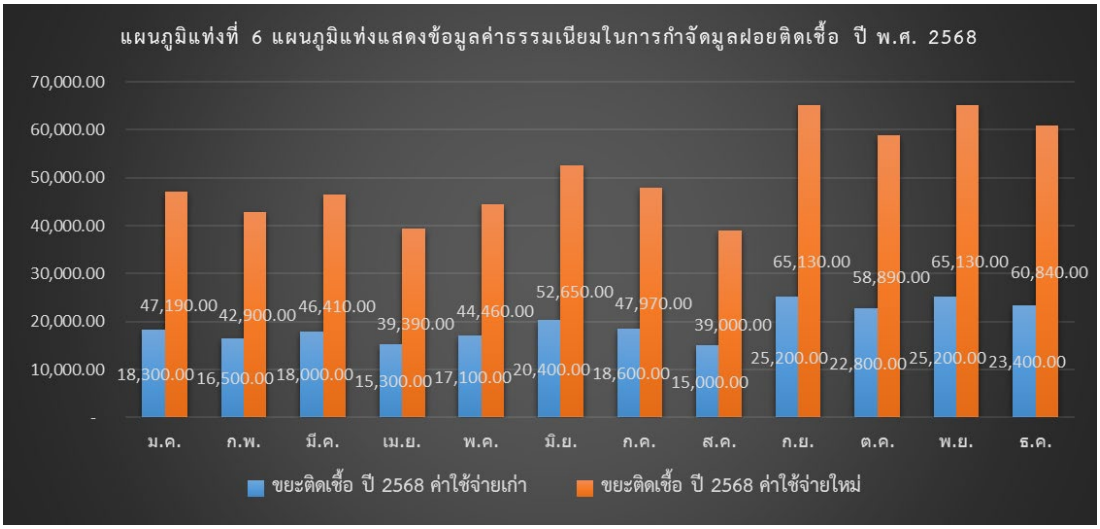
รูปที่ 4 แผนภูมิแท่งแสดงข้อมูลค่าธรรมเนียมในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ ปี พ.ศ. 2567

ในปี พ.ศ. 2568 หน่วยงานมีปริมาณมูลฝอยทั่วไป 162,443 กิโลกรัมต่อปี ค่าธรรมเนียมอัตราเก่าซึ่งเป็นลักษณะเหมาจ่ายสำหรับมูลฝอยทั่วไป มีค่าธรรมเนียมรวมตลอดปี 48,000 บาท สำหรับมูลฝอยติดเชื้อมีปริมาณ 47,457 กิโลกรัมต่อปี ค่าธรรมเนียมอัตราเก่าตลอดปีอยู่ที่ 235,800 บาท เมื่อพิจารณาค่าธรรมเนียมแบบใหม่ พบว่ามูลฝอยทั่วไป ซึ่งคิดตามปริมาณมูลฝอย มีค่าธรรมเนียมเพิ่มขึ้นเป็น 236,000 บาท และมูลฝอยติดเชื้อ เพิ่มขึ้นเป็น 609,960 บาท สะท้อนให้เห็นว่าการปรับอัตราค่าธรรมเนียมมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อส่งผลต่อค่าใช้จ่ายของหน่วยงานที่เพิ่มขึ้น

โดยภาพรวมแนวโน้มปริมาณมูลฝอยและค่าธรรมเนียมในปี 2568 ยังอยู่ในระดับสูง จึงสะท้อนถึงความจำเป็นในการเร่งดำเนินมาตรการลดปริมาณมูลฝอย การคัดแยกมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิดและการควบคุมมูลฝอยติดเชื้อเพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายด้านการกำจัดมูลฝอยในระยะยาว แสดงดังรูปที่ 5,6



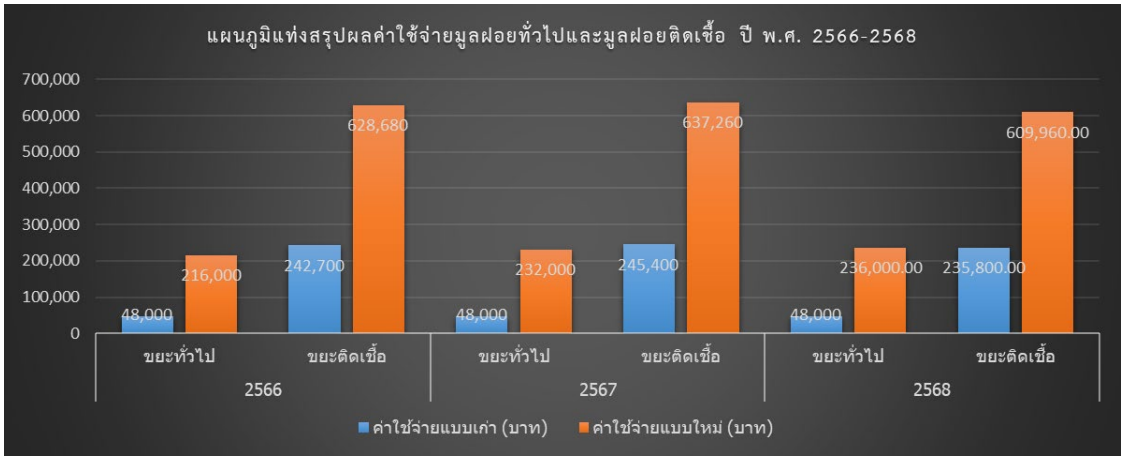
รูปที่ 5 แผนภูมิแท่งแสดงข้อมูลค่าธรรมเนียมในการกำจัดมูลฝอยทั่วไป ปี พ.ศ. 2568



รูปที่ 6 แผนภูมิแท่งแสดงข้อมูลค่าธรรมเนียมในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ ปี พ.ศ. 2568

จากข้อมูลในช่วงปี พ.ศ. 2566–2568 พบว่าปริมาณมูลฝอยทั้งมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในบางปี ขณะที่ค่าธรรมเนียมอัตราใหม่สูงกว่าอัตราเดิมอย่างชัดเจนในทุกปี

โดยสรุป การปรับอัตราค่าธรรมเนียมใหม่ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งในมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อ แม้ว่าปริมาณมูลฝอยจะไม่ได้เพิ่มขึ้นในสัดส่วนเดียวกันก็ตาม แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนภูมิแท่งสรุปผลค่าใช้จ่ายมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อ ปี พ.ศ. 2566-2568

6. สรุปผลการศึกษา

6.1 สรุปผลการวิเคราะห์ ค่าใช้จ่ายการจัดการมูลฝอย ปี พ.ศ. 2566–2568

จากการเปรียบเทียบปริมาณมูลฝอยและค่าธรรมเนียมในการกำจัดมูลฝอยของหน่วยงานในช่วงปี พ.ศ. 2566–2568 พบว่า การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการคิดค่าธรรมเนียมอัตราเก่าเป็นค่าธรรมเนียมอัตราใหม่ ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง ค่าธรรมเนียมการให้บริการในการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือมูลฝอย ตามกฎหมายว่าด้วยการสาธารณสุข พ.ศ. 2568 ส่งผลให้ค่าธรรมเนียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อ

สำหรับมูลฝอยทั่วไป ปี พ.ศ. 2566 มีปริมาณมูลฝอยทั่วไป 144,171 กิโลกรัม ค่าธรรมเนียมอัตราเก่าเป็นจำนวนเงิน 48,000 บาท ค่าธรรมเนียมอัตราใหม่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเงิน 216,000 บาท เพิ่มขึ้นร้อยละ 350 ปี พ.ศ. 2567 ปริมาณมูลฝอยทั่วไป 158,201 กิโลกรัม ค่าธรรมเนียมอัตราใหม่เป็นจำนวนเงิน 232,000 บาท เพิ่มขึ้นร้อยละ 383.33 และในปี พ.ศ. 2568 ปริมาณมูลฝอยเพิ่มขึ้นเป็น 162,443 กิโลกรัม และค่าธรรมเนียมอัตราใหม่เป็นจำนวนเงิน 236,000 บาท เพิ่มขึ้นร้อยละ 391.67 เพิ่มขึ้นทุกปี

สำหรับมูลฝอยติดเชื้อ พบว่าปริมาณมูลฝอยและค่าธรรมเนียมมีแนวโน้มลดลงในปี พ.ศ. 2568 แต่ค่าธรรมเนียมอัตราใหม่ยังคงสูงกว่าค่าธรรมเนียมอัตราเก่าอย่างชัดเจน โดยปี พ.ศ. 2566 มีปริมาณมูลฝอย 48,768 กิโลกรัม ค่าธรรมเนียมเพิ่มจาก 242,700 บาท เป็นจำนวนเงิน 628,680 บาท คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าธรรมเนียมร้อยละ 159.04 ปี พ.ศ. 2567 ปริมาณมูลฝอยเพิ่มเล็กน้อยเป็น 49,650 กิโลกรัม ค่าธรรมเนียมอัตราใหม่เป็นจำนวนเงิน 637,260 บาท คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าธรรมเนียมร้อยละ 159.68 และปี พ.ศ. 2568 ปริมาณมูลฝอยลดลงเหลือ 47,457 กิโลกรัม ค่าธรรมเนียมอัตราใหม่ลดลงเป็นจำนวนเงิน 609,960 บาท คิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าธรรมเนียมร้อยละ 158.68

โดยสรุปการปรับอัตราค่าธรรมเนียมการการเก็บขนและกำจัดมูลฝอย ตามข้อบัญญัติของกรุงเทพมหานคร ส่งผลให้ภาระค่าใช้จ่ายด้านการจัดการมูลฝอยของหน่วยงานเพิ่มขึ้น ข้อมูลดังกล่าวสะท้อนถึงความจำเป็นในการวางแผนบริหารจัดการมูลฝอยอย่างเป็นระบบ การลดปริมาณมูลฝอยตั้งแต่แหล่งกำเนิด การคัดแยกมูลฝอยอย่างมีประสิทธิภาพ และการบริหารจัดการมูลฝอยติดเชื้ออย่างเหมาะสม เพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมของหน่วยงานในระยะยาว

6.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาการจัดการมูลฝอย

จากผลการศึกษาปริมาณมูลฝอยและค่าธรรมเนียมในการเก็บขนและกำจัดมูลฝอยในช่วง ปี พ.ศ. 2566–2568 ภายหลังการปรับอัตราค่าธรรมเนียมจากอัตราเดิมเป็นอัตราแบบใหม่ พบว่า ค่าใช้จ่ายมูลฝอยทั่วไปและมูลฝอยติดเชื้อ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะมูลฝอยทั่วไปที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าธรรมเนียมมากกว่าร้อยละ 350, 383.33, 391.67 ตามลำดับ ขณะที่มูลฝอยติดเชื้อมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าธรรมเนียมร้อยละ 159.04, 159.68, 158.68 ตามลำดับ ดังนั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการมูลฝอย ควบคุมค่าใช้จ่ายของหน่วยงาน มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

6.2.1 กำหนดนโยบายส่งเสริมการลดการใช้วัสดุสิ้นเปลือง เช่น การใช้เอกสารอิเล็กทรอนิกส์แทนกระดาษ ลดการใช้บรรจุภัณฑ์แบบใช้ครั้งเดียว และการเลือกใช้วัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้

6.2.2 จัดการคัดแยกมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิด เพื่อลดการปะปนระหว่างมูลฝอยทั่วไปกับมูลฝอยติดเชื้อ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่มีค่าธรรมเนียมในการเก็บขนและการกำจัดสูง

6.2.3 ส่งเสริมการจัดการรีไซเคิลและการนำกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น กระดาษ พลาสติก และโลหะ พร้อมทั้งสร้างแรงจูงใจให้บุคลากรและนักศึกษาเข้ามามีส่วนร่วมในการลดและนำกลับมาใช้ใหม่

6.2.4 จัดกิจกรรมอบรม รณรงค์สร้างความตระหนักรู้ ประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับการจัดการมูลฝอยอย่างถูกวิธี

6.2.5 พัฒนาระบบติดตามและประเมินผลปริมาณมูลฝอย เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์แนวโน้ม และใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนควบคุมค่าใช้จ่ายอย่างมีประสิทธิภาพ

6.2.6 เชื่อมโยงการจัดการมูลฝอยกับนโยบายด้านการอนุรักษ์พลังงานและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพื่อให้การดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมเป็นไปอย่างเป็นระบบและยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2566). รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2566. https://bit.ly/3LNWLgg

[2] กรมอนามัย. (2565). คู่มือการปฏิบัติงานการจัดการของเสียทางการแพทย์สำหรับโรงพยาบาล. สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, กระทรวงสาธารณสุข. https://bit.ly/4ripMjt

[3] กรุงเทพมหานคร. (2568). ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง ค่าธรรมเนียมการให้บริการในการจัดการสิ่งปฏิกูลหรือมูลฝอยตามกฎหมายว่าด้วยการสาธารณสุข พ.ศ. 2568. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 142 ตอนพิเศษ 154 ง. https://bit.ly/4r556LE

[4] สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี. (2562). แผนปฏิบัติการลดและคัดแยกขยะมูลฝอย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562. https://www.soc.go.th/wp-content/uploads/2019/04/garbage62.pdf

แนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา : แหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง จังหวัดอุดรธานี

ณิชกุล ผ่านชมภู*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ตำบลตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ประเทศไทย
**Corresponding author: pannichakulp@gmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาการจัดการท่องเที่ยวของแหล่งธรรมชาติ ทะเลบัวแดง จังหวัดอุดรธานี และเสนอแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน โดยใช้วิธีวิจัยเชิงคุณภาพ โดยการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้ให้ข้อมูลสำคัญ จำนวน 3 คน และใช้การวางแผนแบบมีส่วนร่วมกับประชาชนที่อาศัยอยู่รอบพื้นที่แหล่งธรรมชาติทะเลบัวแดง จำนวน 60 คน ตลอดจนใช้การสังเกตพฤติกรรมกลุ่มตัวอย่าง และสภาพพื้นที่แหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง

ผลการศึกษาพบว่า ปัญหาการจัดการท่องเที่ยวของแหล่งธรรมชาติทะเลบัวแดง จังหวัดอุดรธานี มีความสำคัญจากมากไปน้อยตามลำดับ ได้แก่ ปัญหาการแพร่ระบาดของวัชพืช ปัญหางบประมาณไม่เพียงพอ ปัญหาถนนไม่มีมาตรฐาน ปัญหาท่าเรือและบริเวณโดยรอบไม่สะอาด ปัญหาระหว่างชุมชนกับกฎหมาย และปัญหาขับถ่ายของปศุสัตว์ ส่วนแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน กลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นว่า ควรมีโครงการพัฒนาเป็นการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม การส่งเสริมกลุ่มอาชีพของประชาชนในพื้นที่ โครงการเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ โครงการกำจัดวัชพืช หน่วยงานภาครัฐและเอกชนต้องทราบปัญหาของชุมชน และให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์และพัฒนา ผลการศึกษาดังกล่าวนำมาซึ่งแนวคิดในการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา ทะเลบัวแดง จังหวัดอุดรธานี ทั้งหมด 2 โครงการ ได้แก่ โรงผลิตปุ๋ยจากวัชพืช และศูนย์การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ทะเลบัวแดง

คำสำคัญ: การอนุรักษ์และฟื้นฟู / ความยั่งยืน / แหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติ / การจัดการท่องเที่ยว / ทะเลบัวแดง

The guidelines of sustainable conservation and restoration of natural tourism sites: A case study of the Red Lotus Lake, Udon Thani Province

Nichakul Phanchomphu*

Faculty of Science and Technology, Environmental Science Major, Thammasat University, Thailand
**Corresponding author: pannichakulp@gmail.com*

Abstract

This article presents a study of the problems associated with natural area tourism management at Red Lotus Lake, Udon Thani Province, and proposes guidelines for the sustainable conservation and restoration of this natural area. A qualitative methodology was employed, consisting of in-depth interviews with three key informants, the Appreciation-Influence-Control method (AIC) with 60 residents living around the Red Lotus Lake, and observation to examine the behavior of the sample group and the site conditions.

The results showed that the tourism management problems of Red Lotus Lake, Udon Thani Province, in descending order of importance, were: aquatic weed infestation, insufficient budget, substandard roads, unclean piers and surrounding areas, conflicts between the community and legal issues, and livestock excrement. Regarding guidelines for sustainable conservation and restoration, the sample group suggested projects focusing on cultural tourism, promoting local occupational groups, ecotourism projects, and aquatic weed control. They also emphasized the need for government and private sector agencies to be aware of community problems and for public participation in conservation and development. These findings led to two proposed projects for the sustainable conservation and restoration of the natural areas of Red Lotus Lake, Udon Thani Province. The projects are a plant for producing fertilizer from aquatic weeds and a Red Lotus Lake ecotourism center.

Keywords: Conservation and restoration / Sustainability / Natural tourist attraction / Tourism management / Red Lotus Lake

1. บทนำ

ทะเลบัวแดง เป็นแหล่งธรรมชาติที่เป็นสถานที่ท่องเที่ยวแห่งหนึ่งในจังหวัดอุดรธานี และอยู่ในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหานกุมภวาปี การท่องเที่ยวทะเลบัวแดงจึงเป็นการท่องเที่ยวเชิงนิเวศซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอกุมภวาปี อำเภอกู่แก้ว และอำเภอประจักษ์ศิลปาคม จังหวัดอุดรธานี บัวที่ปรากฏอยู่ในทะเลบัวแดงเป็น บัวสาย สัตตบรรณ (*Nymphaea rubra* Roxb. ex Andrews) [1] มีจำนวนมากอยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติแห่งนี้ ในช่วงบัวออกดอกมากที่สุด คือช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ช่วงเวลาดังกล่าวทำให้ชาวบ้านมีอาชีพและรายได้จากเรือบริการชมบัวแดง รีสอร์ท โฮมเตย์ ร้านค้า และร้านอาหาร การจัดการท่องเที่ยวของแหล่งธรรมชาติทะเลบัวแดง จึงสัมพันธ์กับการพัฒนาที่ยั่งยืน ซึ่งมีหลายประเด็นที่ต้องแก้ไขและปรับปรุงเพื่อหาแนวทางพัฒนาต่อไป ผู้จัดทำจึงจัดทำงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาปัญหาการจัดการท่องเที่ยวของแหล่งธรรมชาติทะเลบัวแดง และหาแนวทางจัดการปัญหาดังกล่าว นำไปสู่การเสนอแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อทุกฝ่ายทั้งทางภาครัฐและประชาชน

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาปัญหาการจัดการท่องเที่ยวของแหล่งธรรมชาติทะเลบัวแดง จังหวัดอุดรธานี

2.2 เพื่อเสนอแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติทะเลบัวแดงอย่างยั่งยืน

3. ขอบเขตของการศึกษา

3.1 ขอบเขตพื้นที่ที่ศึกษา

แหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง (หนองหานกุมภวาปี) จังหวัดอุดรธานี

3.2 ขอบเขตด้านประชากร

การศึกษานี้กำหนดขอบเขตประชากรและกลุ่มผู้ให้ข้อมูล โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ดังนี้:

3.2.1 กลุ่มผู้ให้ข้อมูลสำคัญ

ใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากผู้ที่มีบทบาทหน้าที่ในการบริหารจัดการในพื้นที่จำนวน 3 ท่าน ดังนี้

(1) นายกเทศมนตรีตำบลเชียงแหว

(2) หัวหน้าเขตห้ามล่าสัตว์ป่าหนองหานกุมภวาปี

(3) ประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเรือท่องเที่ยวบ้านเดียม

3.2.2 กลุ่มประชาชนในพื้นที่ ได้แก่ ประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบพื้นที่แหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง ซึ่งเป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียโดยตรงจากการจัดการท่องเที่ยว จำนวน 60 คน โดยคัดเลือกตัวแทนจากภาคครัวเรือนและผู้ประกอบการในท้องถิ่น เพื่อเข้าร่วมกระบวนการวางแผนแบบมีส่วนร่วม

3.3 ขอบเขตด้านเนื้อหาของการวิจัย

การศึกษานี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์และนำเสนอแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน โดยจำแนกเนื้อหาออกเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

3.3.1 ปัญหาการจัดการท่องเที่ยว ศึกษาปัจจัยและอุปสรรคที่ส่งผลกระทบต่อการบริหารจัดการแหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง ทั้งในด้านโครงสร้างการบริหารและสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไป และรวบรวมปัญหาการจัดการท่องเที่ยวจากการสัมภาษณ์เชิงลึก การวางแผนแบบมีส่วนร่วม และการสังเกต

3.3.2 การเสนอแนะโครงการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน รวบรวมกลุ่มผู้ให้ข้อมูลร่วมกันเสนอแนะโครงการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน และรวบรวมปัญหาการจัดการท่องเที่ยว จากการสัมภาษณ์เชิงลึก การวางแผนแบบมีส่วนร่วม เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการกำหนดแนวทางการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวร่วมกัน

3.3.3 การจัดทำแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน การสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำเสนอแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา แหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง จังหวัดอุดรธานี โดยจำแนกข้อเสนอแนะออกเป็น 3 มิติหลัก ได้แก่

(1) มิติเศรษฐกิจที่ยั่งยืน: มุ่งเน้นการสร้างรายได้และการกระจายผลประโยชน์สู่ชุมชนอย่างเป็นธรรม
(2) มิติสังคมที่ยั่งยืน: มุ่งเน้นการเสริมสร้างกระบวนการมีส่วนร่วมและความเข้มแข็งของชุมชน
(3) มิติสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน: มุ่งเน้นการอนุรักษ์ ฟื้นฟู และรักษาความสมดุลของระบบนิเวศพื้นที่ชุ่มน้ำ

3.4 ขอบเขตระยะเวลาการศึกษา

การศึกษานี้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลในช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2567 และดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลให้สอดคล้องกับบริบทปัจจุบันในปี พ.ศ. 2569

4. วิธีการศึกษา

ผู้จัดทำดำเนินการศึกษาตามวิธีการศึกษา 5 วิธี ดังนี้

4.1 การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ

การศึกษาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ศึกษา รวมถึงบทบาทหน้าที่ของหน่วยงานที่รับผิดชอบในพื้นที่ เพื่อสร้างฐานข้อมูลสำหรับเตรียมประเด็นการสัมภาษณ์ การจัดกระบวนการประชุมในส่วนการวางแผนแบบมีส่วนร่วม และเพื่อเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างสำหรับการวิจัย

4.2 การสร้างเครื่องมือในการศึกษาวิจัย

การจัดทำร่างแบบสัมภาษณ์เชิงลึก และร่างรูปแบบการดำเนินประชุมการวางแผนแบบมีส่วนร่วมจากข้อมูลทุติยภูมิที่รวบรวมมาเพื่อให้การดำเนินวิจัยให้มีประสิทธิภาพ

4.3 การลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลปฐมภูมิ

แบ่งกระบวนการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

4.3.1 การสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหาการจัดการท่องเที่ยวแนวทางการอนุรักษ์ และการฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติทะเลบัวแดงอย่างยั่งยืน โดยมุ่งเน้นการจัดเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวแทนหน่วยงานภาครัฐ และกลุ่มผู้ประกอบการเรือท่องเที่ยวที่มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรง

4.3.2 กระบวนการวางแผนแบบมีส่วนร่วม (AIC: Appreciation Influence Control) เพื่อรับฟังทัศนคติประสบการณ์ และข้อเสนอแนะจากภาคประชาชนที่เป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่ โดยมุ่งประเด็นไปที่การวิเคราะห์ปัญหาและร่วมกำหนดแนวทางการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดงอย่างยั่งยืน

4.3.3 การสังเกต (Observation) ดำเนินการสังเกตการณ์สภาพแวดล้อมทางกายภาพ พฤติกรรมของคนในชุมชน และการดำเนินกิจกรรมท่องเที่ยวในพื้นที่จริง เพื่อนำข้อมูลเชิงประจักษ์มาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ และกระบวนการวางแผนแบบมีส่วนร่วม เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่รอบด้าน

4.4 การประมวลผล และวิเคราะห์ข้อมูล

ดำเนินการรวบรวมและตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึก การวางแผนแบบมีส่วนร่วม และการสังเกต โดยมุ่งเน้นประเด็นปัญหาการจัดการท่องเที่ยว และแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติทะเลบัวแดงอย่างยั่งยืน จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) เพื่อสังเคราะห์เป็นแนวทางการอนุรักษ์ และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา แหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง จังหวัดอุดรธานี ในมิติต่าง ๆ ทั้งมิติเศรษฐกิจที่ยั่งยืน มิติสังคมที่ยั่งยืน และมิติสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน นำไปสู่การสรุปผลการศึกษาที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์

4.5 สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาเชิงคุณภาพที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึก กระบวนการวางแผนแบบมีส่วนร่วม และการสังเกตภาคสนาม ถูกนำมาวิเคราะห์และสังเคราะห์ตามประเด็นปัญหา พร้อมเสนอแนวทางการพัฒนาเพื่อตอบวัตถุประสงค์การวิจัยอย่างครบถ้วน

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลจากการสัมภาษณ์เชิงลึก

ผลจากการสัมภาษณ์เชิงลึกเป็นการรวมความคิดเห็นของผู้ให้ข้อมูลสำคัญ 3 ท่าน ได้แก่ นายกเทศมนตรีตำบลเชียงแหว หัวหน้าเขตห้ามล่าสัตว์ป่าหนองหานกุมภวาปี และประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเรือท่องเที่ยวบ้านเดียม มีเนื้อหาเกี่ยวกับปัญหาการจัดการท่องเที่ยว และแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูอย่างยั่งยืนของแหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลจากการสัมภาษณ์เชิงลึกของผู้ให้ข้อมูลสำคัญ 3 ท่าน

ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ	ปัญหาการจัดการท่องเที่ยว	แนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูอย่างยั่งยืนของแหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง
(1) นายกเทศมนตรีตำบลเชียงแหว	**ปัญหาการแพร่ระบาดของวัชพืช** แหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดงมีวัชพืชอย่างจอกหูหนูยักษ์ ผักตบชวา และวัชพืชอื่น ๆ แพร่กระจายอย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากงบประมาณไม่เพียงพอจึงตักวัชพืชได้ตามงบประมาณที่มีเท่านั้น **ปัญหาถนนไม่มีมาตรฐาน** ถนนเชื่อมระหว่างถนนมิตรภาพเขตตำบลผาสุก อำเภอกุมภวาปี จังหวัดอุดรธานี จนกระทั่งเข้ามาแหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง ถนนรอบทะเลบัวแดง และไฟในรอบบริเวณหนองหานควรต้องปรับปรุงแก้ไข	1) การพัฒนาเป็นการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม 2) การพัฒนาส่งเสริมกลุ่มอาชีพ ได้แก่ อาชีพเกษตรกร กลุ่ม OTOP และกลุ่มวิสาหกิจอื่น ๆ เช่น กลุ่มเรือ กลุ่มโฮมสเตย์ กลุ่มที่พักอาศัย กลุ่มอาหารแปรรูป เป็นต้น 3) การดูแลจัดการพื้นที่ชุ่มน้ำซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยว ควรจัดทำเป็นแผนแม่บทเดียว

ตารางที่ 1 ผลจากการสัมภาษณ์เชิงลึกของผู้ให้ข้อมูลสำคัญ 3 ท่าน (ต่อ)

ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ	ปัญหาการจัดการท่องเที่ยว	แนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูอย่างยั่งยืนของแหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง
	ปัญหางบประมาณไม่เพียงพอ เมื่องบประมาณไม่เพียงพอในการซื้อน้ำมันสำหรับเรือตักวัชพืช จึงไม่สามารถตักวัชพืชได้ในปริมาณมากและไม่มีกระบวนการกำจัดวัชพืชได้ถาวร	4) โครงการโรงงานผลิตปุ๋ย สามารถช่วยลดประมาณวัชพืชที่อยู่ในแหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดงด้วยการนำวัชพืชทำเป็นปุ๋ย
(2) หัวหน้าเขตห้ามล่าสัตว์ป่าหนองหานกุมภวาปี	**ปัญหาการแพร่ระบาดของวัชพืช** เป็นปัญหาที่ควรรีบแก้ไขที่สุดเนื่องจากทำให้บัวแดงไม่สามารถขึ้นจากน้ำได้ และไม่มีพื้นที่ให้สัตว์น้ำหายใจ เช่น ปลา เป็นต้น	1) จัดทำกิจกรรมดูนก วัตถุประสงค์เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการท่องเที่ยว การทำกิจกรรมดูนกสามารถดูได้ตลอดทั้งปี และเพิ่มกิจกรรมการดูนกเข้าไปกับการดูบัว ให้ความรู้กับนักท่องเที่ยว โดยการให้วิสาหกิจชุมชนเรือท่องเที่ยวรู้ชนิดนกในพื้นที่ ประชาชนได้มีความรู้มากขึ้นเกี่ยวกับความสำคัญของนก และเข้าใจว่าเป็นทรัพยากรที่สามารถจะดึงดูดคนได้ 2) จัดทำศูนย์การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ เมื่อมีศูนย์การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ สามารถให้นักเรียน นักศึกษาทำกิจกรรมอนุรักษ์ทำความเข้าใจเรื่องธรรมชาติเช่น บัว นก เป็นต้น 3) จัดทำเป็นพื้นที่กิจกรรมกีฬา เช่น การวิ่ง การปั่นจักรยาน การพายเรือในพื้นที่ เป็นต้น
(3) ประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเรือท่องเที่ยวบ้านเดียม	**ปัญหาการแพร่ระบาดของวัชพืช** วัชพืชที่ปกคลุมผิวน้ำ ทำให้บัวแดงไม่สามารถเกิดได้คือจอกหูหนูยักษ์ แหน ในส่วนโพรงสนมควรอนุรักษ์ไว้ เพราะช่วยทำความสะอาดหน้าดิน ให้แหนและจอกอยู่เป็นที่เป็นทางและเปิดที่โล่งให้บัวขึ้น	1) พัฒนาด้านการท่องเที่ยวให้ดึงดูดนักท่องเที่ยวมากขึ้น 2) จัดทำโครงการเกี่ยวกับการกำจัดวัชพืช

5.2 ผลจากการวางแผนแบบมีส่วนร่วม

ใช้วิธีการวางแผนแบบมีส่วนร่วมกับประชาชนในพื้นที่ตำบลเชียงแหว ตำบลแชแล และตำบลอุ่มจาน จังหวัดอุดรธานี มีการรวมความคิดเห็นของประชาชนในพื้นที่ โดยในแต่ละตำบล แบ่งเป็นตำบลละ 2 กลุ่ม เพื่อรวบรวมความคิดเห็นที่หลากหลายมากขึ้น และหาแนวคิดที่ไปในทางเดียวกัน มีเนื้อหาเกี่ยวกับ ปัญหาการจัดการท่องเที่ยว และแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูอย่างยั่งยืนของแหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

5.2.1 ประชาชนในพื้นที่ตำบลเชียงแหว มีความคิดเห็นว่าปัญหาหลักในการจัดการท่องเที่ยวของแหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง ได้แก่ ปัญหาการแพร่ระบาดของวัชพืช และปัญหาระหว่างชุมชนกับกฎหมาย ในส่วนแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูอย่างยั่งยืนของแหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง ได้แก่ ทำโครงการกำจัดวัชพืช ขุดลอกวัชพืชออก อย่างต่อเนื่อง หน่วยงานภาครัฐและเอกชนต้องทราบปัญหาของชุมชน และให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์และพัฒนา

5.2.2 ประชาชนในพื้นที่ตำบลแชแล มีความคิดเห็นว่าปัญหาหลักในการจัดการท่องเที่ยวของแหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง ได้แก่ ปัญหาการแพร่ระบาดของวัชพืช ในส่วนแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูอย่างยั่งยืนของแหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง ได้แก่ ทำโครงการกำจัดวัชพืช ขุดลอกวัชพืชออก และให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์และพัฒนา

5.2.3 ประชาชนในพื้นที่ตำบลอุ่มจาน มีความคิดเห็นว่าปัญหาหลักในการจัดการท่องเที่ยวของแหล่งท่องเที่ยว ทะเลบัวแดง ได้แก่ ปัญหาการแพร่ระบาดของวัชพืช และปัญหาการขับถ่ายของปศุสัตว์ ในส่วนแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูอย่างยั่งยืนของแหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง ได้แก่ ทำโครงการกำจัดวัชพืช ขุดลอกวัชพืชออก

5.3 ผลจากการสังเกต

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลการสังเกตกลุ่มตัวอย่างในระหว่างการสัมภาษณ์เชิงลึกและการวางแผนอย่างมีส่วนร่วมและสังเกตนอกเวลาการเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน กรณีศึกษาแหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง จังหวัดอุดรธานี ให้มีประสิทธิภาพได้มากที่สุด โดยสรุปผลจากการสัง ดังนี้

5.3.1 ปัญหาการแพร่ระบาดของวัชพืช และปัญหางบประมาณไม่เพียงพอ

แหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดงประสบปัญหาการรุกรานของวัชพืชต่างถิ่น โดยเฉพาะ ‘จอกหูหนูยักษ์’ (*Salvinia molesta* D.S. Mitchell) [2] ซึ่งจัดเป็นวัชพืชน้ำที่ร้ายแรงระดับโลก ขณะที่การกำจัดทำได้จำกัดเนื่องจากงบประมาณไม่เพียงพอต่อการเดินเรืออย่างต่อเนื่อง จากการสัมภาษณ์คุณวิโรจน์ ต้นใจดี กองบูรณะและบำรุงรักษา กรมโยธาธิการและผังเมือง (มีนาคม 2567) พบว่าการเดินเรือ 1 ลำ ต้องใช้น้ำมัน 60 ลิตรต่อการปฏิบัติงาน 55 เที่ยว (เฉลี่ยตักวัชพืชได้ 2.5 ตันต่อเที่ยว) หรือคิดเป็นความสามารถในการกำจัด 137.5 ตันต่อวันต่อเรือ 1 ลำ ดังนั้น ด้วยจำนวนเรือเพียง 2 ลำในขณะนั้น จึงกำจัดวัชพืชได้เพียง 275 ตันต่อวัน ซึ่งไม่สอดคล้องกับปริมาณวัชพืชที่แพร่กระจาย

5.3.2 ปัญหาท่าเรือและบริเวณโดยรอบไม่สะอาด

ปัจจุบันมีท่าเรือที่ยังเปิดให้บริการ 5 แห่ง ได้แก่ ท่าเรือบ้านเดียม, เชียงแหว, โนนน้ำย้อย, แชแล และดอนคง ส่วนท่าเรือคอนสายประสบปัญหาวัชพืชปกคลุมหนาแน่นจนไม่สามารถใช้สัญจรได้ จากการสังเกตการณ์พบว่า ท่าเรือบ้านเดียมแม้จะมีจำนวนนักท่องเที่ยวสูงสุดและมีการตกแต่งสวยงาม แต่กลับมีปัญหาด้านความสะอาด ขณะที่ท่าเรือขนาดเล็กอย่างท่าเรือดอนคง แม้จะรักษาความสะอาดภายในได้ดี แต่พื้นที่โดยรอบและเส้นทางสัญจรยังพบสิ่งปฏิกูลจากสัตว์ รวมถึงห้องน้ำสาธารณะที่ขาดการบำรุงรักษา ส่งผลกระทบต่อทัศนียภาพและประสบการณ์ของนักท่องเที่ยว

5.3.3 ปัญหาระหว่างชุมชนกับกฎหมาย

ผลจากการวางแผนแบบมีส่วนร่วมพบว่า ประชาชนในตำบลเชียงแหวมีความกังวลเรื่องกฎระเบียบการอนุรักษ์ที่ขัดแย้งกับการประกอบอาชีพดั้งเดิม ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึกหัวหน้าเขตห้ามล่าสัตว์ป่าหนองหานกุมภวาปี ระบุว่า แม้กฎหมายมุ่งเน้นการคุ้มครองสัตว์ป่าเฉพาะชนิดตามบัญชีรายชื่อ (75 ชนิด) แต่ในทางปฏิบัติ ชาวบ้านยังขาดความชัดเจนเกี่ยวกับขอบเขตพื้นที่และแนวทางการใช้ประโยชน์ที่เหมาะสม ทำให้เกิดความกังวลในการถูกดำเนินคดีจากการจับสัตว์ปีกที่เป็นหนึ่งในบัญชีรายชื่อสัตว์ป่าคุ้มครอง

5.3.4 สถานการณ์และปัญหาในปัจจุบัน (กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2569)

จากการลงพื้นที่สังเกตการณ์ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2569 พบความเปลี่ยนแปลงสำคัญของแหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง ดังนี้

(1) ข้อจำกัดด้านการเข้าถึงและเส้นทางเดินเรือ

จำนวนท่าเรือที่สามารถเปิดให้บริการในฤดูกาลท่องเที่ยวลดลงเหลือเพียง 4 แห่ง ได้แก่ ท่าเรือบ้านเดียม ท่าเรือเชียงแหว ท่าเรือแชแล และท่าเรือดอนคง ส่วนท่าเรือโนนน้ำย้อยจำเป็นต้องปิดให้บริการ เนื่องจากประสบปัญหาวัชพืชหนาแน่น

จนปิดกั้นเส้นทางเดินเรือ (ดังรูปที่ 1) อย่างไรก็ตาม ขีดความสามารถในการบริหารจัดการทางน้ำมีแนวโน้มที่ดีขึ้น โดยพบว่าปริมาณเรือกำจัดวัชพืชที่สนับสนุนการเปิดเส้นทางน้ำเพิ่มขึ้นจากเดิมที่มี 2 ลำ เพิ่มขึ้นเป็น 7 ลำ ในปี พ.ศ. 2569 แม้ว่าการปฏิบัติงานของเรือที่เพิ่มจำนวนนี้จะมีข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาการใช้งานตามงบประมาณที่ได้รับจัดสรร และต้องย้ายไปจัดการวัชพืชในพื้นที่ชุ่มน้ำอื่น ๆ เนื่องจากเป็นของหน่วยงานส่วนกลาง

(2) ความร่วมมือระหว่างหน่วยงานและการฟื้นฟูเศรษฐกิจ

ผู้วิจัยพบการบูรณาการการทำงานร่วมกันอย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้นจากหลายหน่วยงาน เพื่อมุ่งเน้นการจัดการวัชพืชและยกระดับการท่องเที่ยว อาทิ กรมทรัพยากรน้ำ (สำนักทรัพยากรน้ำที่ 3) ดำเนินโครงการอนุรักษ์และฟื้นฟูระบบนิเวศหนองหาน, กรมโยธาธิการและผังเมือง สนับสนุนเครื่องจักรและเรือกำจัดวัชพืชเพิ่มเติม และการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย (ททท.) ประสบความสำเร็จในการประชาสัมพันธ์โดยมีศิลปินระดับโลกอย่าง คุณลลิษา มโนบาล (ลิซ่า) เป็นพรีเซนเตอร์

การส่งเสริมการตลาดในระดับสากลนี้ ส่งผลให้ทะเลบัวแดงได้รับความสนใจจากนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล ซึ่งช่วยสร้างโอกาสในการประกอบอาชีพและขยายตัวของเศรษฐกิจฐานราก โดยเฉพาะบริเวณท่าเรือบ้านเดียมที่พบว่ามีกลุ่มร้านค้าและบริการริมทางเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (ดังรูปที่ 2)

รูปที่ 1 วัชพืชหนาแน่นจนปิดกั้นเส้นทางเดินเรือท่าเรือโนนน้ำย้อย

รูปที่ 2 กลุ่มร้านค้าและบริการริมทางบริเวณถนนหน้าท่าเรือบ้านเดียม

5.4 แนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา แหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง จังหวัดอุดรธานี

เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) เพื่อสังเคราะห์เป็นแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา แหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง จังหวัดอุดรธานี ในมิติต่าง ๆ ทั้งมิติเศรษฐกิจที่ยั่งยืน มิติสังคมที่ยั่งยืน และมิติสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน โดยสรุปผลการศึกษาปัญหาการจัดการท่องเที่ยว และแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติทะเลบัวแดงอย่างยั่งยืนจากกลุ่มตัวอย่าง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการศึกษาปัญหาการจัดการท่องเที่ยว และแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติทะเลบัวแดงอย่างยั่งยืนจากกลุ่มตัวอย่าง

วิธีการวิจัย	การสัมภาษณ์แบบเชิงลึก	การวางแผนแบบมีส่วนร่วม	การสังเกตการณ์
ปัญหาการจัดการท่องเที่ยว	ปัญหาการแพร่ระบาดของวัชพืช	ปัญหาการแพร่ระบาดของวัชพืช	ปัญหาการแพร่ระบาดของวัชพืช
	ปัญหางบประมาณไม่เพียงพอ	ปัญหาการขับถ่ายของปศุสัตว์	ปัญหางบประมาณไม่เพียงพอ
	ปัญหาถนนไม่มีมาตรฐาน	ปัญหาระหว่างชุมชนกับกฎหมาย	ปัญหาท่าเรือและบริเวณโดยรอบไม่สะอาด
			ปัญหาระหว่างชุมชนกับกฎหมาย
แนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติทะเลบัวแดงอย่างยั่งยืน	โครงการกำจัดวัชพืช	โครงการกำจัดวัชพืช	-
	การส่งเสริมกลุ่มอาชีพของประชาชนในพื้นที่	หน่วยงานภาครัฐและเอกชนต้องทราบปัญหาของชุมชน	
	การพัฒนาเป็นการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม	ให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์และพัฒนา	
	โครงการเกี่ยวกับการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์		

จากตารางที่ 2 ทำการสังเคราะห์เป็นแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา แหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง จังหวัดอุดรธานี ซึ่งเป็นแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืนเกี่ยวโยงในมิติเศรษฐกิจที่ยั่งยืน มิติสังคมที่ยั่งยืน และมิติสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน รายละเอียด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา แหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง จังหวัดอุดรธานี

ชื่อโครงการ / **หน่วยงาน /กลุ่มผู้รับผิดชอบ**	**หลักการและเหตุผล**	**วิธีการจัดทำ**
“โรงผลิตปุ๋ยจากวัชพืช” **หน่วยงาน/กลุ่มผู้รับผิดชอบ:** กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย, องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น, กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, วิสาหกิจชุมชนและประชาชน, หน่วยงานเอกชน	การจัดการปัญหาการแพร่ระบาดของวัชพืชในหนองหานกุมภวาปีอย่างเร่งด่วน จำเป็นต้องมุ่งเน้นการขจัดอุปสรรคทางสัญจรทางเรือและฟื้นฟูพื้นที่ชุ่มน้ำเพื่อการประมง โดยเสนอแนวทางเชิงรุกผ่านการจัดตั้ง “โรงงานผลิตปุ๋ยจากวัชพืช” เพื่อเปลี่ยนวัชพืชที่ไร้ค่าให้กลายเป็นทรัพยากรที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ ซึ่งวิธีนี้ไม่เพียงแต่จะช่วยลดการสะสมของวัชพืชตามท่าเรือที่ส่งผลกระทบต่อทัศนียภาพและสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ยังเป็นการแก้ไขปัญหาขยะตกค้างจากการขจัดวัชพืชอย่างเป็นระบบและยั่งยืน ช่วยคืนความสมดุลให้กับระบบนิเวศการท่องเที่ยวทะเลบัวแดงและวิถีชีวิตชาวประมงในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ	1) การสนับสนุนงบประมาณและโครงสร้างพื้นฐาน จัดสรรงบประมาณเพื่อจัดหาเรือตักวัชพืชให้ครอบคลุมพื้นที่หนองหานกุมภวาปี พร้อมทั้งก่อสร้างโรงงานผลิตปุ๋ยเพื่อรองรับการแปรรูปวัชพืชอย่างเป็นรูปธรรม 2) การสร้างองค์ความรู้และกระตุ้นการมีส่วนร่วม จัดอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำปุ๋ยอินทรีย์จากจอกหูหนูยักษ์และวัชพืชอื่น ๆ ให้แก่ประชาชน เพื่อให้สามารถนำไปปรับใช้ในครัวเรือนหรือสร้างอาชีพเสริมได้

ตารางที่ 3 แนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูแหล่งธรรมชาติอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา แหล่งท่องเที่ยวทะเลบัวแดง จังหวัดอุดรธานี (ต่อ)

ชื่อโครงการ / หน่วยงาน /กลุ่มผู้รับผิดชอบ	หลักการและเหตุผล	วิธีการจัดทำ
		3) การสร้างแรงจูงใจทางเศรษฐกิจ กำหนดระบบรับซื้อวัชพืชตามน้ำหนักเพื่อส่งเข้าโรงงานผลิตปุ๋ย ซึ่งจะเปลี่ยนวัชพืชจาก "ขยะทางน้ำ" ให้กลายเป็น "รายได้" กระตุ้นให้ชุมชนเกิดความกระตือรือร้นในการร่วมจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน
“ศูนย์การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ทะเลบัวแดง” **หน่วยงาน/กลุ่มผู้รับผิดชอบ:** กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา, องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น, สำนักงานบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 10 กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, วิสาหกิจชุมชนและประชาชน, หน่วยงานเอกชน	แนวทางการแก้ไขปัญหาเชิงบูรณาการประกอบด้วยการเร่งปรับปรุงมาตรฐานถนนและการจัดการความสะอาดบริเวณท่าเรือ ควบคู่ไปกับการลดความขัดแย้งระหว่างชุมชนกับข้อบังคับทางกฎหมายผ่านการจัดตั้ง “ศูนย์การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ทะเลบัวแดง” เพื่อใช้เป็นพื้นที่กลางในการสร้างความเข้าใจเรื่องขอบเขตการอนุรักษ์สัตว์ป่าร่วมกับเขตห้ามล่าสัตว์ป่าหนองหานกุมภวาปี โดยเน้นกระบวนการมีส่วนร่วมระหว่างภาครัฐ เอกชน และประชาชน ในการพัฒนาพื้นที่ให้เป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมที่รวบรวมผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นมาจำหน่าย ซึ่งนอกจากจะช่วยสร้างรายได้กระจายสู่ชุมชนแล้ว ยังเป็นการสร้างจิตสำนึกในการรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนผ่านการให้ความรู้และการท่องเที่ยวที่เป็นมิตรกับระบบนิเวศ	1) บูรณาการความร่วมมือ ประชุมภาครัฐ เอกชน และชุมชน เพื่อร่วมกันจัดตั้งศูนย์การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ทะเลบัวแดงอย่างเป็นรูปธรรม 2) ยกระดับองค์ความรู้และวิถีถิ่น ให้กรมอุทยานฯ อบรมกลุ่มเรือท่องเที่ยวเรื่องระบบนิเวศนก พร้อมชูจุดขายการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมจากวิถีชุมชน 3) พัฒนาโครงสร้างและภาพลักษณ์ เร่งปรับปรุงถนนเชื่อมต่อท่าเรือรอบด้าน และจัดกิจกรรมบิ๊กคลีนนิ่งท่าเรือทุกสัปดาห์เพื่อสร้างมาตรฐานความสะอาด

หมายเหตุ: หน่วยงานทุกกระทรวง ทบวง กรม องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และประชาชน ควรบูรณางานอย่างยั่งยืน

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่าแหล่งธรรมชาติทะเลบัวแดงมีปัญหาการจัดการท่องเที่ยว เรียงลำดับความสำคัญจากมากไปน้อย ได้แก่ ปัญหาการแพร่ระบาดของวัชพืช ปัญหางบประมาณไม่เพียงพอ ปัญหาถนนไม่มีมาตรฐาน ปัญหาท่าเรือและบริเวณโดยรอบไม่สะอาด ปัญหาระหว่างชุมชนกับกฎหมาย และปัญหาการขับถ่ายของปศุสัตว์ สำหรับแนวทางการอนุรักษ์และฟื้นฟูอย่างยั่งยืนกลุ่มตัวอย่างเสนอให้มีโครงการพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมและเชิงอนุรักษ์ การส่งเสริมกลุ่มอาชีพ และโครงการกำจัดวัชพืช โดยหน่วยงานภาครัฐและเอกชนต้องทราบปัญหาของชุมชนและเปิดให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการพัฒนา นำไปสู่แนวทางการดำเนินงาน 2 โครงการหลัก ได้แก่ โรงผลิตปุ๋ยจากวัชพืช และศูนย์การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ทะเลบัวแดง

เอกสารอ้างอิง

[1] ฐานข้อมูลเกษตรดิจิทัล. (2563). บัวสาย สัตตบรรณ Nymphaea rubra Roxb. ex Andrews, 10 มกราคม 2569. https://data.addrun.org/plant/archives/897-nymphaea-rubra-roxb-ex-andrews

[2] ศิริพร ซึงสนธิพร และคณะ. (2553). การเฝ้าระวังการแพร่ระบาดของจอกหูหนูยักษ์ (*Salvinia molesta* D.S. Mitchell), 17 พฤษภาคม 2567. https://info.doa.go.th/research/?act=view_detail&id=1645

ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก

ฐานิศร์ แก่นแก้ว, อรรถกร ธีระกาย, และบีรญา หัสครบุรี*

หน่วยบริหารสถานที่ งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนโยธี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400

**Corresponding author: beeraya.umn@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล มีนโยบายส่งเสริมการจัดการขยะอย่างยั่งยืน โดยดำเนินการคัดแยกขยะประเภทขวดพลาสติก แก้วพลาสติก กระดาษ และกล่องเครื่องดื่มอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม แนวโน้มการบริโภคชา กาแฟ และเครื่องดื่มบรรจุแก้วที่เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณขยะเพิ่มขึ้น และเกิดปัญหาการขาดจุดสำหรับทิ้งน้ำและน้ำแข็งก่อนการแยกขยะ ซึ่งนำไปสู่ปัญหาน้ำหนักขยะส่วนเกิน การรั่วไหล และกลิ่นไม่พึงประสงค์ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพนวัตกรรม“ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก”ซึ่งออกแบบโดยหน่วยบริหารสถานที่ ประยุกต์ใช้กระถางต้นไม้ร่วมกับถังรองรับน้ำด้านล่าง เพื่อรองรับน้ำและน้ำแข็งที่เหลือจากการบริโภคก่อนการทิ้งภาชนะลงถังแยกขยะ ดำเนินการทดลองใช้งานจริง โดยติดตั้งร่วมกับชุดถังขยะของคณะฯ บริเวณหน้าศูนย์อาหาร M-Dent ชั้น 1 อาคารเฉลิมพระเกียรติฯ ช่วงเวลาของการเก็บข้อมูล 8 สัปดาห์ พบว่า“ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก”ได้รับการตอบรับจากผู้ใช้บริการในระดับที่ดีมาก สังเกตได้จากปริมาณน้ำที่สะสมในถังซึ่งสามารถนำไปใช้รดต้นไม้บริเวณสวนหย่อมได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณน้ำในถุงขยะ ลดน้ำหนักขยะได้มากกว่าร้อยละ 43 ลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ และส่งเสริมพฤติกรรมการคัดแยกขยะอย่างถูกต้องของผู้ใช้บริการ จึงสรุปได้ว่า นวัตกรรมถังทิ้งน้ำรักษ์โลกเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาระบบจัดการขยะภายในองค์กร สนับสนุนการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และส่งเสริมการพัฒนาอย่างยั่งยืน สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ด้านการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: ถังทิ้งน้ำ / การจัดการขยะ / การคัดแยกขยะ / นวัตกรรมสิ่งแวดล้อม / ความยั่งยืน

Eco-Friendly Water Disposal Bin

Thanit Kankeaw, Artakorn Theerakay, and Beeraya Hatsakormburi

Facilities Management, Physical and Environmental Division, Faculty of Dentistry, Mahidol University, Yothi Road, Thung Phayathai Subdistrict, Ratchathewi District, Bangkok 10400

**Corresponding author: beeraya.umn@mahidol.ac.th*

Abstract

The Faculty of Dentistry, Mahidol University, promotes sustainable waste management through continuous segregation of plastic bottles, plastic cups, paper, and beverage cartons. However, increasing consumption of tea, coffee, and ready-to-drink beverages has led to higher waste volumes and practical issues, including the lack of designated points for disposing of leftover liquids and ice prior to waste separation. This results in excessive waste weight, leakage, and unpleasant odors.

This study aimed to develop and evaluate the effectiveness of an innovation called the “Eco-Friendly Liquid Disposal Bin,” designed by the Facilities Management Unit. The system integrates a plant pot with a container underneath to collect leftover liquids and ice before containers are discarded into sorting bins. The innovation was implemented in a real-use setting alongside existing waste stations at the M-Dent Food Center, located on the first floor of the Chalerm Phrakiat Building. Data were collected over eight weeks.

Results showed a high level of user acceptance, reflected in the consistent accumulation of collected liquid, which was reused for watering nearby plants. The system reduced liquid content in garbage bags, decreased overall waste weight by more than 43%, minimized unpleasant odors, and promoted proper waste segregation behavior among users.

In conclusion, the Eco-Friendly Liquid Disposal Bin is an effective solution for improving organizational waste management. It supports efficient resource use, reduces environmental impact, and fosters sustainable practices. This initiative aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly those related to responsible resource management and environmental sustainability.

Keywords: Water Disposal Bin / Waste Management / Waste Segregation / Environmental Innovation / Sustainability

1. บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาขยะมูลฝอยถือเป็นวิกฤตการณ์ด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญระดับโลก โดยเฉพาะขยะพลาสติกที่เกิดจากพฤติกรรมการบริโภคแบบครั้งเดียวทิ้ง (Single-use plastics) ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของสหประชาชาติ (Sustainable Development Goals: SDGs) โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 12 ว่าด้วยการสร้างหลักประกันให้มีแผนการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน [1] สำหรับประเทศไทย สถาบันอุดมศึกษาได้บทบาทสำคัญในการเป็นต้นแบบด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมภายในองค์กร หรือ "Green University" เพื่อปลูกฝังจิตสำนึกและพัฒนาระบบการจัดการทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ตระหนักถึงบทบาทดังกล่าวและมีนโยบายเชิงรุกในการส่งเสริมการจัดการขยะอย่างยั่งยืน โดยมุ่งเน้นการคัดแยกขยะตามประเภทอย่างเป็นระบบ อย่างไรก็ตาม จากการสำรวจพบว่าวิถีชีวิตสมัยใหม่และวัฒนธรรมการบริโภคเครื่องดื่มในแก้วพลาสติก เช่น ชา กาแฟ และเครื่องดื่มเย็น มีอัตราการเติบโตเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง [2] ส่งผลให้ปริมาณขยะประเภทแก้วพลาสติกในพื้นที่คณะฯ เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ปัญหาที่วิกฤตที่สุดไม่ใช่เพียงตัวภาชนะ แต่คือ "ของเหลวและน้ำแข็ง" ที่หลงเหลืออยู่ภายในแก้ว

เมื่อผู้บริโภคทิ้งแก้วพลาสติกที่มีน้ำแข็งลงในถังขยะโดยไม่มีการคัดแยกของเหลวออกก่อน จะก่อให้เกิดผลกระทบเชิงลบหลายประการ ได้แก่ 1) ปัญหาน้ำหนักขยะส่วนเกิน ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนและภาระในการขนส่ง 2) การรั่วไหลของน้ำเสีย ที่ปนเปื้อนขยะประเภทอื่น เช่น กระดาษ ทำให้ขยะเหล่านั้นสูญเสียมูลค่าในการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) และ 3) ปัญหาสุขอนามัย จากการเน่าเสียของน้ำหวานและนมที่ก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์และเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรค [3]

จากการวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าว หน่วยบริหารสถานที่ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จึงเห็นความจำเป็นในการพัฒนานวัตกรรมเชิงประจักษ์เพื่ออุดช่องว่างของระบบการคัดแยกขยะ โดยการออกแบบและสร้างสรรค์ “ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก” ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และการจัดการขยะที่ต้นทาง เพื่อเปลี่ยนจาก "ภาระขยะ" ให้กลายเป็น "ทรัพยากร" ที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ใหม่ เช่น การนำน้ำที่สะสมได้ไปรดน้ำต้นไม้ ซึ่งเป็นการยกระดับมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อมของคณะฯ ให้ก้าวสู่การเป็นองค์กรต้นแบบแห่งความยั่งยืนอย่างแท้จริง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อจัดทำอุปกรณ์รองรับการทิ้งน้ำและเครื่องดื่มที่หลงเหลือจากการบริโภค สำหรับผู้ใช้บริการและบุคลากรของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาวิจัยและพัฒนานวัตกรรมครั้งนี้ มุ่งเน้นการแก้ปัญหาการจัดการขยะที่ต้นทางภายในสภาพแวดล้อมเฉพาะส่วนงาน โดยกำหนดขอบเขตของการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นที่การพัฒนา "ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก" ซึ่งเป็นนวัตกรรมที่ประยุกต์ใช้จากวัสดุประเภทกระถางต้นไม้และถังรองรับน้ำ เพื่อจัดการกับของเหลวและน้ำแข็งที่เหลือทิ้งจากแก้วเครื่องดื่มโดยเฉพาะ โดยพิจารณาที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะ ได้แก่ ประสิทธิภาพในการลดน้ำหนักขยะ (Weight Reduction) การลดการปนเปื้อนของน้ำเสียในขยะประเภทอื่น (Cross-contamination)

3.2 ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ครอบคลุมผู้ใช้บริการพื้นที่อาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ประกอบด้วย

- บุคลากรภายใน เช่น อาจารย์ ทันตแพทย์ พยาบาล และเจ้าหน้าที่สายสนับสนุน
- นักศึกษาทันตแพทย์ในทุกระดับชั้น
- บุคคลภายนอก เช่น ผู้ป่วยและญาติที่มาติดต่อรับบริการทางทันตกรรม รวมถึงผู้มาติดต่อทั่วไปที่ใช้บริการศูนย์อาหาร M-Dent

3.3 ขอบเขตด้านพื้นที่ (Locality)

พื้นที่ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยถูกกำหนดไว้ในจุดที่มีความหนาแน่นของผู้บริโภคเครื่องดื่มสูงสุด คือ บริเวณพื้นที่หน้าศูนย์อาหาร M-Dent ชั้น 1 อาคารเฉลิมพระเกียรติฯ เนื่องจากเป็นจุดยุทธศาสตร์ที่ผู้ใช้บริการมักนำแก้วเครื่องดื่มมาทิ้งหลังจากรับประทานอาหารเสร็จสิ้น ซึ่งถือเป็นจุดที่ก่อให้เกิดปัญหาขยะเปียกและการรั่วไหลของน้ำมากที่สุดในตัวอาคาร

3.4 ขอบเขตด้านระยะเวลา

การศึกษานี้ดำเนินการสังเกตการณ์ เก็บข้อมูล และประเมินประสิทธิภาพของนวัตกรรมอย่างต่อเนื่องเป็น 8 สัปดาห์ ส่งผลต่อพฤติกรรมการบริโภคเครื่องดื่มเย็น (เช่น ฤดูร้อนที่มักมีปริมาณขยะและน้ำแข็งเพิ่มสูงขึ้นเป็นพิเศษ) ทำให้ผลการศึกษามีความแม่นยำและสะท้อนถึงการใช้งานจริงในระยะยาว

3.5 ขอบเขตด้านการนำไปใช้ประโยชน์

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการใช้ประโยชน์ในลักษณะ "ระบบปิดภายในองค์กร" (Closed-loop system) โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการนำทรัพยากรน้ำที่คัดแยกได้จากถังนวัตกรรม กลับมาหมุนเวียนใช้ประโยชน์ในการรดน้ำต้นไม้ภายในสวนหย่อมของคณะฯ เพื่อสะท้อนแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) อย่างเป็นรูปธรรม

4. วิธีการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพนวัตกรรม “ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก” โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

4.1 การออกแบบและพัฒนานวัตกรรม

หน่วยบริหารสถานที่ได้ออกแบบอุปกรณ์ให้มีลักษณะเป็นกระถางต้นไม้ด้านบน และมีถังพักน้ำติดตั้งอยู่ด้านล่าง พร้อมระบบระบายน้ำจากกระถางลงสู่ถังพัก รวมทั้งติดตั้งมาตรวัดระดับน้ำบริเวณด้านหลังถัง เพื่อให้สามารถตรวจสอบปริมาณน้ำที่สะสมได้อย่างชัดเจน โดยเลือกใช้ต้นไม้ฟอกอากาศที่สามารถทนต่อความชื้นและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมภายในอาคาร

4.2 การติดตั้งและทดลองใช้งาน

ดำเนินการติดตั้งนวัตกรรมร่วมกับชุดถังขยะแยกประเภทของคณะฯ บริเวณหน้าศูนย์อาหาร M-Dent ชั้น 1 อาคารเฉลิมพระเกียรติฯ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยกำหนดระยะเวลาทดลองใช้งานเป็นเวลา 8 สัปดาห์

4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล เก็บข้อมูลโดย

1. สังเกตปริมาณน้ำที่สะสมในถังพักน้ำจากมาตรวัดระดับน้ำเป็นประจำ
2. เปรียบเทียบน้ำหนักถุงขยะก่อนและหลังการติดตั้งนวัตกรรม
3. สังเกตปัญหาการรั่วซึมและกลิ่นไม่พึงประสงค์บริเวณจุดรวบรวมขยะ
4. สอบถามความคิดเห็นของผู้ใช้บริการและบุคลากรต่อการใช้งานนวัตกรรม

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Analysis) โดยเปรียบเทียบปริมาณน้ำหนักขยะ ปริมาณน้ำที่เก็บได้ และประเมินระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน เพื่อสรุปประสิทธิภาพของนวัตกรรมในการแก้ไขปัญหาน้ำขยะและส่งเสริมการจัดการขยะอย่างเหมาะสม

แผนการดำเนินงานรอบที่ 1

1. Plan: การวางแผน ดำเนินการคิดวางแผนและค้นหาแนวทาง การสร้างถังทิ้งน้ำ ที่รองรับน้ำได้ดีและไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมบริเวณจุดที่วางถัง จึงได้ใช้แนวคิดจาก “กระถางรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ” ซึ่งเมื่อสร้างขึ้นมาใช้งานแล้ว น่าจะสามารถแก้ปัญหาเรื่องน้ำขยะได้ดี และยังเพิ่มทัศนียภาพบริเวณถังขยะให้สวยงามมากขึ้น เมื่อมีต้นไม้ฟอกอากาศอยู่ด้วย ในส่วนของถังรองรับน้ำ จำเป็นต้องเคลื่อนย้ายได้สะดวก เพื่อให้พนักงานลำเลียงขยะสามารถนำถังไปเทน้ำทิ้งบริเวณสวนหย่อมได้อย่างสะดวก

2. Do: ลงมือทำ

- ปลูกต้นไม้ในกระถางขนาด ปาก 13 นิ้ว สูง 6 นิ้ว ด้วยดิน โดยเลือกใช้ต้นไม้ที่ อยู่ในร่มได้ ชื่อต้น “ฟิโลเดลล่อน”
- ดำเนินการประกอบกระถางต้นไม้ และถังรองรับน้ำเข้าด้วยกัน โดยใช้ถังน้ำขนาด 77 ลิตร
- ถังทิ้งน้ำประกอบอยู่บน รถเข็น เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 แสดงกระถางต้นไม้และถังทิ้งน้ำที่ประกอบติดตั้งไว้ในรถเข็น พร้อมป้ายชื่อและรายละเอียดของ “ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก”

3. Check: ทดลองใช้ โดยการเทน้ำลงในกระถางต้นไม้ ผลปรากฏว่า

- น้ำไหลผ่านกระถางได้ช้า ทำให้น้ำเอ่อล้นบนกระถาง เนื่องจากในกระถางใช้ดินเป็นวัสดุปลูก
- ไม่สามารถทราบได้ว่าน้ำในถังมีปริมาณเท่าไหร่ เพราะไม่มีมาตรวัดปริมาณน้ำ

4. Act: จากการทดลอง ผลการศึกษาพบว่า กระถางรองรับน้ำ ที่ใช้ดินเป็นวัสดุปลูกนั้น เกิดปัญหาน้ำเอ่อล้นบนกระถาง และไม่สามารถทราบได้ว่า น้ำในถังรับน้ำเต็มหรือยัง จึงยังไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริง

แผนการดำเนินงานรอบที่ 2

1. Plan : เลือกใช้วัสดุปลูกที่น้ำสามารถผ่านได้อย่างรวดเร็ว โดยเลือกใช้กาบมะพร้าว ในการปลูกต้นไม้ โดยใช้ต้น “ฟิโลเดลล่อน” เช่นเดิม เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สามารถเจริญเติบโตได้ โดยไม่ต้องอยู่ในดิน และได้สร้างมาตรวัดระดับน้ำขึ้นมาใส่ในถังรอบรับน้ำเพิ่มขึ้นด้วย เพื่อจะได้สามารถสังเกตุปริมาณน้ำได้ เมื่อน้ำใกล้เต็ม พนักงานลำเลียงขยะจะสามารถเข็นรถไปเทน้ำทิ้งบริเวณสวนหย่อมได้ และเพื่อให้มีความเด่นชัด เข้าถึงผู้คนได้ง่าย จึงได้จัดทำป้ายชื่อ “ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก” พร้อมรายละเอียดวิธีการใช้งานเพิ่มขึ้นมาด้วย

2. Do: ลงมือแก้ไขปรับปรุง

- ดำเนินการเปลี่ยนวัสดุปลูก
- จัดทำมาตรวัดระดับน้ำ โดยใช้วัสดุเหลือใช้ที่มีในหน่วยงาน
- ประกอบกระถางต้นไม้ ถังรองรับน้ำ มาตรวัดระดับน้ำ และติดตั้งป้ายชื่อถัง ขึ้นมาใหม่อีกครั้ง

3. Check: ทดลองใช้งาน

- เทน้ำลงบนกระถาง เพื่อทดสอบการไหลของน้ำ ผลปรากฏว่า น้ำไหลผ่านกระถางได้รวดเร็ว ไม่มีน้ำเอ่อล้นบนกระถาง
- ทดลองนำถังวางไว้กับชุดถังขยะของคณะฯ บริเวณหน้าห้องน้ำชั้น 8 โดยทดลองเทน้ำเป็นประจำทุกวัน เป็นเวลา 1 เดือน เพื่อทดสอบว่า ต้นไม้สามารถอยู่รอดได้หรือไม่ ผลปรากฏว่า ต้นไม้สามารถมีชีวิตอยู่ได้
- นอกจากนี้ยังเป็นการทดสอบมาตรวัดระดับน้ำ ว่าใช้ได้ผลหรือไม่ เมื่อมีน้ำเทลงไปในถังในปริมาณที่มากขึ้น ผลปรากฏว่า มาตรวัดระดับน้ำ ทำงานได้เป็นอย่างดี
- เดือนที่ 1 และ เดือนที่ 2 ได้ทำการชั่งน้ำหนักของน้ำใน “ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก” เพื่อตรวจสอบว่า มีผู้ใช้บริการ ทิ้งน้ำลงในถังมากน้อยเพียงใด

4. Act: จากผลการทดสอบ เป็นที่น่าพอใจ จึงได้ดำเนินการนำไปใช้จริง โดยทดลองวาง “ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก” กับชุดถังขยะของคณะฯ บริเวณหน้าศูนย์อาหาร M-Dent ชั้น 1 อาคารเฉลิมพระเกียรติฯ เนื่องจากเป็นจุดที่มีปริมาณการทิ้งขยะประเภทขวดน้ำ แก้วน้ำ เป็นจำนวนมาก จากการใช้งาน เป็นเวลา 8 สัปดาห์ (ตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม 2565 ถึง วันที่ 30 กันยายน 2565) ผลปรากฏว่า “ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก” ได้รับความสนใจจาก ผู้ใช้บริการเป็นอย่างดี โดยสังเกตุได้จากปริมาณน้ำในถัง ซึ่งพนักงานต้องนำไปเททิ้งบริเวณสวนหย่อม เป็นประจำทุกวันศุกร์ และจากการตรวจเช็คเส้นทางลำเลียงขยะในบริเวณนั้น รวมถึงการตรวจเช็คน้ำหนักขยะเฉพาะถุงขยะบริเวณชั้น 1 อาคารเฉลิมพระเกียรติฯ มีน้ำหนักลดลง อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งทางหน่วยบริหารสถานที่ จะเร่งดำเนินการเพิ่มเติมถังทิ้งน้ำในจุดอื่นๆ ของคณะฯ ต่อไป พร้อมทั้งหาทางแก้ปัญหาข้อบกพร่อง ของถังทิ้งน้ำที่ยังมีอยู่ เช่น ในหลายๆ จุด การทิ้งน้ำมีน้อย จึงมีแนวคิดที่จะทำ “ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก” ให้มีขนาดที่เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ต่อไป

4.5 ออกแบบนวัตกรรม

ออกแบบอุปกรณ์ให้มีลักษณะเป็นกระถางต้นไม้ด้านบน และมีถังพักน้ำด้านล่าง พร้อมระบบระบายน้ำและมาตรวัดระดับน้ำ เพื่อให้สามารถรองรับน้ำและน้ำแข็งจากการบริโภคได้อย่างเหมาะสม ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 แสดงการเจาะฝาถังเพื่อใส่กระถางต้นไม้ และการติดตั้งท่อน้ำทิ้ง

4.6 จัดทำและติดตั้งอุปกรณ์

ดำเนินการจัดทำต้นแบบและติดตั้งร่วมกับชุดถังขยะแยกประเภท บริเวณหน้าศูนย์อาหารของคณะฯ เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้บริการ ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 แสดงการจัดวางถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลกไว้คู่กับถังขยะของคณะฯ เพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งาน

4.7 ประชาสัมพันธ์การใช้งาน

จัดทำป้ายแนะนำวิธีการใช้งาน และประชาสัมพันธ์ให้บุคลากร นักศึกษา และผู้มาใช้บริการ รับทราบวัตถุประสงค์และวิธีใช้ที่ถูกต้อง

4.8 ทดลองใช้งานจริง

ช่วงเวลาของการเก็บข้อมูล จำนวน 8 สัปดาห์ โดยให้ผู้ใช้บริการสามารถเทน้ำและน้ำแข็งที่หลงเหลือก่อนทิ้งภาชนะลงถังแยกขยะ ปัญหาเรื่อง น้ำขยะจากถุงขยะไหลเลอะเทอะ ส่งกลิ่นเหม็นเน่า บริเวณโถงชั้น 1 อาคารเฉลิมพระเกียรติ ลดลง ซึ่งยังมีบางจุด ที่อยู่ไกลจากตำแหน่ง “ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก” ทำให้ยังมีการทิ้งน้ำลงในถุงขยะอยู่บ้าง ซึ่งทางหน่วยบริหารสถานที่จะได้ดำเนินการพัฒนา “ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก” ให้เหมาะสมกับสถานที่ และวางให้ทั่วถึงทุกจุดภายในคณะฯ ต่อไป ดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 แสดงปริมาณน้ำในถุงขยะที่ลดลงหลังจากมีการใช้งานถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการสำรวจปัญหาน้ำจากเครื่องดื่มที่หลงเหลือถูกทิ้งลงในถุงขยะ ส่งผลให้เกิดน้ำหนักขยะส่วนเกิน การรั่วซึม และกลิ่นไม่พึงประสงค์บริเวณจุดพักขยะของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ดังนั้น จากความมุ่งมั่น ตั้งใจในการดำเนินการด้านการแยกขยะประเภทขวดพลาสติก แก้วพลาสติก กระดาษ และกล่องนม นั้น แต่ปัจจุบันวัฒนธรรมการบริโภคชา กาแฟ และเครื่องดื่มที่บรรจุแก้ว มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมาก นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของร้านกาแฟ และตู้จำหน่ายกาแฟอัตโนมัติ ก็เป็นการเพิ่มจำนวนการบริโภคชา กาแฟ มากขึ้นด้วย ส่งผลให้เกิดขยะที่เป็นน้ำ และน้ำแข็งที่หลงเหลือจากการดื่มชา กาแฟ ปัญหาที่ตามมาก็คือ ผู้บริโภค ไม่มีทางออกในการหาจุดทิ้งน้ำและน้ำแข็ง จึงจำเป็นต้องทิ้งน้ำและน้ำแข็งลงในถังขยะ ดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 แสดงลักษณะถุงขยะที่ได้รับความเสียหายจากไม้เสียบลูกชิ้นที่แทงทะลุออกมาด้านนอก ทำให้เกิดน้ำขยะรั่วไหลออกมา

จากการเก็บข้อมูลน้ำหนักน้ำและน้ำแข็งที่ถูกแยกออกมาจากถังขยะเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ (สิงหาคม – กันยายน 2565) พบว่านวัตกรรมนี้สามารถดักแยกของเหลวออกจากระบบขยะปกติได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีปริมาณรวมทั้งสิ้น 286.2 กิโลกรัม ซึ่งมีแนวโน้มการใช้งานในเดือนแรก (สัปดาห์ที่ 1-4) มียอดรวมอยู่ที่ 117.5 กิโลกรัม ขณะที่เดือนที่สอง (สัปดาห์ที่ 5-8) มียอดรวมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเป็น 168.7 กิโลกรัม หรือคิดเป็น อัตราการเติบโตประมาณร้อยละ 43 สะท้อนให้เห็นว่าผู้ใช้บริการเริ่มเกิดการรับรู้ มีทัศนคติที่ดี และให้ความร่วมมือในการคัดแยกขยะก่อนทิ้งเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง

หากพิจารณาพฤติกรรมการทิ้งรายวันสถิติพบว่า วันศุกร์ เป็นวันที่มีปริมาณน้ำสะสมสูงสุด ซึ่งเก็บได้ถึง 42.3 กิโลกรัม รองลงมาคือวันอังคาร ซึ่งเก็บได้ถึง 39.7 กิโลกรัม ข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้เข้าใช้บริการศูนย์อาหารกับปริมาณขยะที่เกิดขึ้น ซึ่งนวัตกรรมนี้สามารถรองรับการใช้งานในช่วงเวลาที่มีความหนาแน่นสูง (Peak load) ได้เป็นอย่างดี ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงปริมาณน้ำในถังถังทิ้งน้ำรักษ์โลก

ระหว่างเดือน สิงหาคมถึงกันยายน 2565	น้ำหนักน้ำในถัง / กิโลกรัม				
	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์
สัปดาห์ 1	4.1	5.2	2.1	5.3	7.5
สัปดาห์ 2	6.0	7.4	2.5	5.8	วันหยุด
สัปดาห์ 3	7.2	8	3.2	6.2	8.5
สัปดาห์ 4	8.5	9.4	3.5	7.0	10.1
รวม	**25.8**	**30**	**11.3**	**24.3**	**26.1**
สัปดาห์ 5	8	9.2	4.2	7.2	10.2
สัปดาห์ 6	8.2	9.0	4	7.5	10
สัปดาห์ 7	9	10.5	5.4	8	11.5
สัปดาห์ 8	10.6	11.0	5.8	8.8	10.6
รวม	**35.8**	**39.7**	**19.4**	**31.5**	**42.3**

5.1 ประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหาการจัดการขยะ

การนำถังทิ้งน้ำมาติดตั้งร่วมกับชุดถังขยะเดิม ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญใน 3 ด้านหลักๆ คือ การลดน้ำหนักขยะส่วนเกินเป็นนวัตกรรมนี้ช่วย ลดน้ำหนักขยะในถุงลงได้มากกว่าร้อยละ 30 ช่วยให้การขนย้ายขยะของเจ้าหน้าที่ทำได้สะดวกขึ้น ลดความเสี่ยงที่ถุงขยะจะฉีกขาดจากน้ำหนักที่มากเกินไป ดังนี้

- การปรับปรุงด้านสุขาภิบาล สามารถกำจัดปัญหาน้ำขยะรั่วไหล (Leachate) และลดการเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์จากการบูดเน่าของน้ำหวานหรือนมที่ค้างในแก้วได้อย่างเบ็ดเสร็จ ส่งผลให้บริเวณจุดทิ้งขยะมีความสะอาดและถูกสุขลักษณะมากขึ้น
- การหมุนเวียนทรัพยากร (Circular Economy) น้ำที่จัดเก็บได้ไม่ถูกทิ้งให้เป็นภาระต่อระบบบัดบัดน้ำเสียเพียงอย่างเดียว แต่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมบำรุงรักษาพื้นที่สีเขียว โดยการรดน้ำต้นไม้บริเวณสวนหย่อมรอบอาคาร ถือเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าตามแนวคิด Zero Waste
- ความสำเร็จของนวัตกรรม “ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก” แสดงให้เห็นว่า การจัดสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการคัดแยกขยะ (Choice Architecture) มีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนพฤติกรรมคนในองค์กร การที่หน่วยบริหารสถานที่นำกระถางต้นไม้มาประยุกต์ใช้อย่างง่ายแต่ตอบโจทย์การใช้งานจริง ทำให้ผู้ทิ้งขยะไม่รู้สึกว่าเป็นภาระ แต่กลับรู้สึกว่าได้ร่วมเป็นส่วนหนึ่งในการรักษาความสะอาดและสิ่งแวดล้อม

นอกจากนี้ ผลการศึกษายังยืนยันว่านวัตกรรมนี้สอดคล้องกับ เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ในด้านการบริหารจัดการทรัพยากรและการจัดการสิ่งแวดล้อมเมือง ช่วยยกระดับภาพลักษณ์ของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในการเป็นองค์กรต้นแบบด้านความยั่งยืนที่สามารถนำแนวคิดไปปรับใช้กับหน่วยงานอื่นที่มีบริบทใกล้เคียงกันได้จริง

6. สรุปผลการศึกษา

6.1 จากการศึกษาวิจัยและทดลองใช้งานนวัตกรรม “ถังทิ้งน้ำ...รักษ์โลก” เป็นระยะเวลา 1 ปี ณ คณะทันต -แพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล สามารถสรุปผลการดำเนินงานที่เป็นรูปธรรม ได้ดังนี้

6.1.1 ประสิทธิภาพในการคัดแยกขยะ

นวัตกรรมนี้สามารถแก้ไขปัญหา "ขยะปนเปื้อนของเหลว" ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถดักแยกน้ำและน้ำแข็งออกจากถุงขยะได้ 117.5 กิโลกรัมต่อเดือน หรือรวมแล้วได้ 286.7 กิโลกรัมในช่วง 2 เดือนที่เก็บสถิติ ส่งผลให้น้ำหนักขยะโดยรวมลดลงมากกว่า ร้อยละ 43 ซึ่งช่วยลดภาระและต้นทุนในการจัดเก็บและขนส่งขยะขององค์กร

6.1.2 การแก้ไขปัญหาสุขอนามัยและสิ่งแวดล้อม

การแยกของเหลวออกจากภาชนะพลาสติกก่อนทิ้ง ช่วยลดปัญหาน้ำขยะรั่วไหล (Leachate) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของกลิ่นไม่พึงประสงค์และการปนเปื้อนในพื้นที่จัดเก็บขยะ นอกจากนี้ยังช่วยรักษาคุณภาพของขยะรีไซเคิล (เช่น แก้วพลาสติกและขวดพลาสติก) ให้สะอาดอยู่เสมอ เพิ่มโอกาสในการนำกลับไปเข้ากระบวนการรีไซเคิลได้ง่ายขึ้น

6.1.3 การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับทรัพยากร (Value Creation)

โครงการประสบความสำเร็จในการเปลี่ยน "ภาระขยะ" ให้เป็น "ทรัพยากรที่มีค่า" โดยน้ำที่จัดเก็บได้ถูกนำไปหมุนเวียนใช้ประโยชน์ในการดูแลพื้นที่สีเขียวภายในคณะฯ สอดคล้องกับหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

6.1.4 การตอบรับจากผู้ใช้บริการ

ผลการศึกษาพบว่าผู้ใช้บริการมีระดับความพึงพอใจและการตอบรับในระดับ ดีมาก สังเกตได้จากพฤติกรรมการให้ความร่วมมือที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าหากองค์กรจัดเตรียมเครื่องมือที่สะดวกและเหมาะสม (Nudge Tools) ผู้บริโภคก็พร้อมที่จะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม

6.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาในอนาคต (Recommendations for Future Development)

เพื่อให้เกิดความยั่งยืนและขยายผลนวัตกรรมไปสู่ระดับที่กว้างขึ้น คณะผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการพัฒนาดังนี้

6.2.1 การพัฒนากายภาพและวัสดุของนวัตกรรม (Material & Design Enhancement)

วัสดุและสุขอนามัย ควรเปลี่ยนจากการใช้กระถางต้นไม้ประยุกต์ มาเป็นการใช้วัสดุประเภทสแตนเลส (Grade 304) หรือพลาสติกเกรด Food Grade ที่มีพื้นผิวเรียบลื่น เพื่อลดการเกาะตัวของคราบน้ำหวานและเชื้อรา ทำให้ทำความสะอาดง่ายและดูทันสมัย

ระบบกรองสองชั้น (Dual Filtration) พัฒนาตะแกรงกรองให้มีสองชั้น ชั้นบนสำหรับกรองน้ำแข็งและเศษพลาสติกขนาดใหญ่ ชั้นล่างเป็นตะแกรงละเอียดเพื่อกรองกากกาแฟหรือเศษใบชา เพื่อให้น้ำที่ไหลลงสู่ถังรองรับมีความสะอาดสูงสุด ลดการอุดตันของบัวรดน้ำ

6.2.2 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี (Smart Monitoring)

เซนเซอร์วัดระดับน้ำ (IoT Sensors) ติดตั้งระบบเซนเซอร์แจ้งเตือนเมื่อน้ำเต็มถังผ่านแอปพลิเคชันหรือสัญญาณไฟ เพื่อให้เจ้าหน้าที่ฝ่ายอาคารสามารถบริหารจัดการรอบการจัดเก็บได้แม่นยำ ไม่ต้องเดินตรวจสอบบ่อยครั้ง และป้องกันปัญหาน้ำล้นถังในช่วงที่มีการใช้งานสูง

6.2.3 การขยายผลเชิงนโยบายและพื้นที่ (Scalability & Policy)

การติดตั้งเชิงยุทธศาสตร์ ควรขยายการติดตั้งไปยังอาคารอื่นๆ ภายในคณะฯ เช่น บริเวณห้องโถงรอตรวจของผู้ป่วย หรือห้องสโมสรนักศึกษา เพื่อสร้างมาตรฐานการจัดการขยะที่เป็นหนึ่งเดียวทั่วทั้งองค์กร

การสื่อสารเชิงรุก (Visual Communication) เพิ่มป้ายประชาสัมพันธ์ที่แสดง "ผลลัพธ์เชิงบวก" เช่น "น้ำจากถังนี้ช่วยลดการใช้น้ำประปารดน้ำต้นไม้ได้ปีละ ... ลิตร" เพื่อสร้างความภาคภูมิใจและกระตุ้นให้ผู้ใช้บริการอยากมีส่วนร่วมอย่างต่อเนื่อง

6.2.4 การวัดผลในเชิงเศรษฐศาสตร์ (Economic Evaluation)

ควรมีการศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับต้นทุนที่ประหยัดได้ (Cost-Benefit Analysis) เช่น ค่าจ้างขนย้ายขยะที่ลดลงตามน้ำหนัก เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการผลักดันเป็นนโยบายระดับมหาวิทยาลัยในการลงทุนด้านการจัดการขยะอย่างยั่งยืนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] United Nations. (2020). The Sustainable Development Goals Report 2020. https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/

[2] World Health Organization. (2019). Health care waste. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthcare-waste

[3] กรมควบคุมมลพิษ. (2565). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2564. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

การประเมินศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากทางเลือกการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน: กรณีศึกษา จังหวัดกาญจนบุรี

อนุชธิดา ปัดตังทานัง[1], ประหยัด แสงงาม[2], และอุมารัจน์ สันติสุขเกษม[1*]

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม
[2]ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม
**Corresponding author: santisukkasaem_u@su.ac.th*

บทคัดย่อ

การจัดการขยะของจังหวัดกาญจนบุรีส่วนใหญ่ไม่เป็นไปตามหลักวิชาการ ส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษและเป็นสาเหตุของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะของจังหวัดกาญจนบุรี ในช่วงปี พ.ศ. 2568 – 2573 โดยใช้การวิเคราะห์สถานการณ์ร่วมกับแนวทางการประเมินขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ภายใต้ 3 ทางเลือก ได้แก่ (1) การจัดการขยะตามแนวทางปัจจุบัน (2) การคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิลและการทำปุ๋ยหมัก และ (3) การผลิตเชื้อเพลิงจากขยะ (RDF) พบว่าสถานการณ์ปัจจุบันมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ย 163 กิโลตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ($ktCO_2eq\ y^{-1}$) ขณะที่การคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิลและการทำปุ๋ยหมักสามารถลดการปล่อยได้ทั้งหมด (ร้อยละ 100) ส่งผลให้การปล่อยสุทธิเป็นศูนย์ ส่วนการผลิต RDF สามารถลดการปล่อยได้ร้อยละ 98 เมื่อเทียบกับสถานการณ์ปัจจุบัน เหลือประมาณ 3.7 $ktCO_2eq\ y^{-1}$ เมื่อเปรียบเทียบแต่ละทางเลือกพบว่าแนวทางเลือกที่ 2 มีศักยภาพสูงสุด รองลงมาคือแนวทางเลือกที่ 3 ดังนั้น การจัดการขยะแบบผสมผสานโดยส่งเสริมการคัดแยกและใช้ประโยชน์จากขยะ ควบคู่กับการนำขยะที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ไปผลิตเป็น RDF จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะ ลดปริมาณขยะฝังกลบ ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และสร้างมูลค่าเพิ่มจากทรัพยากรในพื้นที่ ทั้งนี้ผลการศึกษาสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อสนับสนุนการกำหนดนโยบายและการวางแผนการจัดการขยะในระดับจังหวัด ให้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน เป้าหมายที่ 13 และการบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ในระยะยาว

คำสำคัญ: การปล่อยก๊าซเรือนกระจก / การจัดการขยะมูลฝอยชุมชน / การคาดการณ์ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชน / การพัฒนาที่ยั่งยืน

Assessment of greenhouse gas mitigation potential from municipal solid waste management alternatives: A case study of Kanchanaburi Province

Anuttida Padtangthanang[1], Prayad Sangngam[2], and Umarat Santisukkasaem[1*]

[1]Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University, Thailand.
[2]Department of Statistics, Faculty of Science, Silpakorn University, Thailand.
**Corresponding author: santisukkasaem_u@su.ac.th*

Abstract

Municipal solid waste management in Kanchanaburi Province currently lacks adherence to technical standards, resulting in environmental pollution and significant greenhouse gas (GHG) emissions. This study aims to evaluate the GHG mitigation potential of waste management practices in Kanchanaburi Province from 2025 to 2030 (B.E. 2568 - 2573). The assessment was conducted using scenario analysis based on the methodologies established by the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). Three scenarios were evaluated: (1) the baseline scenario (current practices), (2) recycling and composting, and (3) Refuse-Derived Fuel (RDF) production. The findings reveal that the baseline scenario generates an average GHG emission of 163 $ktCO_2eq\ y^{-1}$ In contrast, the implementation of recycling and composting (Scenario 2) demonstrates the highest mitigation potential, effectively eliminating net emissions (100% reduction). RDF production (Scenario 3) reduces emissions by 98% compared to the baseline, resulting in approximately 3.7 $ktCO_2eq\ y^{-1}$. A comparative analysis indicates that Scenario 2 offers the most significant environmental benefits, followed by Scenario 3. Consequently, an integrated waste management approach which prioritizes at-source segregation and resource recovery alongside the conversion of non-recyclable fractions into Refuse-Derived Fuel (RDF) will significantly enhance operational efficiency, minimize landfill reliance, and mitigate greenhouse gas emissions while fostering local resource value addition. Furthermore, these findings provide a critical empirical foundation for provincial policymakers to formulate strategic waste management frameworks aligned with Sustainable Development Goal 13 (Climate Action) and the long-term achievement of Net-Zero Emissions.

Keywords: Greenhouse gas emissions / Municipal solid waste management / Municipal solid waste prediction / Sustainable Development

1. บทนำ

ปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นกลายเป็นปัญหาที่ทุกประเทศกำลังเผชิญอยู่ในปัจจุบัน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต เนื่องจากการขยายตัวของจำนวนประชากร การเติบโตทางเศรษฐกิจ พฤติกรรมการซื้อและการบริโภค การเปลี่ยนแปลงทางสังคมและเทคโนโลยี และการท่องเที่ยว คาดว่าภายในปี พ.ศ. 2568 ปริมาณขยะทั่วโลกจะเพิ่มขึ้นเป็น 2,200 ล้านตัน/ปี โดยมากกว่าหนึ่งในสามของปริมาณขยะจะยังคงไม่ได้รับการจัดเก็บที่เหมาะสม [1] และพบอุปสรรคและความท้าทายในการจัดการขยะของภูมิภาคเอเชียและแอฟริกาในปัจจุบัน พบว่ามี 3 ประเด็นหลัก ได้แก่ 1. อุปสรรคทางเศรษฐกิจและสังคม 2. ความท้าทายด้านโครงสร้างพื้นฐาน และ 3. ปัจจัยทางวัฒนธรรม [2] ซึ่งการจัดการที่ไม่เหมาะสมโดยเฉพาะการเทกองกลางแจ้ง การฝังกลบที่ไม่ถูกหลักสุขาภิบาล และการเผาในที่โล่ง ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHGs) เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide: CO_2) ก๊าซมีเทน (Methane: CH_4) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (Nitrous oxide: N_2O) ก๊าซเหล่านี้เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดภาวะโลกร้อนที่นอกจากจะสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตทั่วโลก และยังก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ไม่ว่าจะเป็นพายุที่รุนแรงขึ้น ฝนตกหนัก ความแห้งแล้งที่ยาวนาน น้ำท่วม และระดับน้ำทะเลสูงขึ้น รวมถึงดินถล่ม

ประเทศไทยในฐานะประเทศภาคีสมาชิก UNFCCC ได้กำหนดเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศหรือการมีส่วนร่วมที่ประเทศกำหนด (Nationally Determined Contribution: NDC) โดยฉบับปรับปรุงปี พ.ศ. 2565 ได้ยกระดับเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจกเป็นร้อยละ 30 จากระดับที่คาดการณ์ไว้ตามปกติ (Business-as-Usual: BAU) หากได้รับการสนับสนุนทางการพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยี การเงิน และการเสริมสร้างศักยภาพ ประเทศไทยจะสามารถเพิ่มการลดก๊าซเรือนกระจกได้ถึงร้อยละ 40 จาก BAU เพื่อบรรลุเป้าหมายระยะยาวของประเทศสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในปี พ.ศ. 2593 ซึ่งภาคส่วนการจัดการของเสีย (Waste Sector) ถูกกำหนดให้เป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์หลักที่ต้องลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ 1.48 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($MtCO_2eq$) ผ่านมาตรการต่างๆ เช่น การลดปริมาณขยะก่อนเข้าสู่สถานที่กำจัด และการพัฒนาวิธีการกำจัดขยะให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น [3] จากการศึกษาในนครเซี่ยงไฮ้ สาธารณรัฐประชาชนจีน ในช่วงปี ค.ศ. 1995 - 2025 ระบุว่าการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีจากการฝังกลบไปสู่การเผาเพื่อผลิตพลังงานและการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 0.02773 tCO_2eq/tขยะ และสนับสนุนการบรรลุเป้าหมาย Net Zero Emissions [4] เช่นเดียวกับผลการศึกษาในประเทศตุรกีที่ยืนยันว่าการเผาขยะเพื่อผลิตพลังงานมีศักยภาพลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้สูงสุด รองลงมาคือการมีศูนย์คัดแยกวัสดุรีไซเคิลร่วมกับการทำปุ๋ยหมัก และการผลิตพลังงานจากการฝังกลบ เท่ากับ 652,626 287,868 และ 275,449 $tCO_2eq\ y^{-1}$ ตามลำดับ [5] เมื่อพิจารณาในบริบทพื้นที่ของประเทศไทย พบว่ารูปแบบการจัดการขยะแบบผสมผสานมีประสิทธิภาพเด่นชัดในการลดผลกระทบด้านสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะการคัดแยกขยะ ณ แหล่งกำเนิด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในพื้นที่จังหวัดสมุทรสาครที่พบว่าการรีไซเคิลร่วมกับการหมักขยะอินทรีย์สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึงร้อยละ 74.79 [6] และมีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 82.46 ในกรณีของพื้นที่เทศบาลเมืองน่าน [7] นอกจากนี้ ผลการศึกษาในจังหวัดเชียงรายยังชี้ให้เห็นว่านโยบายการจัดการขยะพลาสติกเป็นปัจจัยเชิงกลยุทธ์ที่ช่วยควบคุมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ในระยะยาว แม้ในสภาวะที่ปริมาณขยะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของชุมชนก็ตาม [8]

จังหวัดกาญจนบุรีเป็นอีกหนึ่งพื้นที่ที่กำลังเผชิญปัญหาการจัดการขยะ เนื่องจากไม่มีการจัดการตามหลักวิชาการและมีขยะตกค้างจำนวนมาก ส่งผลให้ในปี พ.ศ. 2568 - 2573 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยสูงถึง 163 $ktCO_2eq\ y^{-1}$ นอกจากนี้ บริบทเฉพาะของพื้นที่ ทั้งด้านลักษณะทางกายภาพและกิจกรรมทางเศรษฐกิจ โดยเฉพาะภาคการท่องเที่ยวยังส่งผลต่อความผันแปรของปริมาณและองค์ประกอบขยะ ทำให้การประยุกต์ใช้แนวทางจากพื้นที่อื่นอาจไม่สอดคล้องกับสภาพการณ์จริงของจังหวัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงดำเนินการประเมินศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะ ในช่วงปี

พ.ศ. 2568 - 2573 ภายใต้ 3 ทางเลือก ได้แก่ (1) การจัดการขยะตามแนวทางปัจจุบัน (2) การคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิลร่วมกับการทำปุ๋ยหมัก และ (3) การผลิตเชื้อเพลิงจากขยะ (RDF) เพื่อกำหนดแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสำหรับจังหวัดกาญจนบุรี และสนับสนุนเป้าหมายของประเทศในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 30 ภายในปี พ.ศ. 2573 จากระดับที่ปล่อยในปัจจุบัน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะของจังหวัดกาญจนบุรี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2568 - 2573 ภายใต้สถานการณ์จำลองในการจัดการขยะ 3 รูปแบบ
2. เพื่อกำหนดแนวทางในการจัดการขยะของจังหวัดกาญจนบุรีที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในปี พ.ศ. 2573 จากระดับที่ปล่อยในปัจจุบันลงร้อยละ 30

3. ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะของจังหวัดกาญจนบุรี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2568 - 2573 ภายใต้สถานการณ์จำลองในการจัดการขยะ 3 รูปแบบ

สถานการณ์ที่ 1 การจัดการขยะในปัจจุบัน ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลฐาน (baseline)

สถานการณ์ที่ 2 การคัดแยกขยะรีไซเคิลและการทำปุ๋ยหมัก

สถานการณ์ที่ 3 การผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF)

4. วิธีการศึกษา

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะของจังหวัดกาญจนบุรี ใช้แนวทางการประเมินขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการศึกษาดังนี้

4.1 รวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้องกับการประเมินก๊าซเรือนกระจก ได้แก่

1. ข้อมูลปริมาณขยะของจังหวัดกาญจนบุรี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558–2567 [9]
2. ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัดต่อหัว ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558–2567 [10]
3. จำนวนประชากรของจังหวัดกาญจนบุรี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558–2567 [11]
4. ข้อมูลองค์ประกอบขยะของจังหวัดกาญจนบุรี ปี พ.ศ. 2567 [12]
5. ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ (น้ำมันดีเซล) ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ของโครงการที่ได้รับการขึ้นทะเบียน ตรวจสอบความใช้ได้ และทวนสอบโครงการ T-VER ประเภทการผลิตเชื้อเพลิงขยะจากขยะมูลฝอยชุมชน (RDF) [13]

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้ใช้สถิติ Pearson’s Correlation เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร วิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อพยากรณ์ปริมาณขยะของจังหวัดกาญจนบุรี และสร้างแบบจำลองอนุกรมเวลา (Time Series Analysis) ด้วยวิธี ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average)

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.3.1 การประมาณปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในจังหวัดกาญจนบุรี ในช่วงปี พ.ศ. 2558 - 2567

คำนวณปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในจังหวัดกาญจนบุรี โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิประกอบด้วย จำนวนประชากร จากกรมการปกครองและอัตราการเกิดขยะตามเกณฑ์ของกรมควบคุมมลพิษ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ 1) เขตเทศบาลเมือง อัตราการเกิดขยะ 1.15 กิโลกรัม/คน/วัน 2) เขตเทศบาลตำบล อัตราการเกิดขยะ 1.02 กิโลกรัม/คน/วัน และ 3) เขตองค์การบริหารส่วนตำบล อัตราการเกิดขยะ 0.91 กิโลกรัม/คน/วัน

4.3.2 การพยากรณ์ประชากรและปริมาณขยะในอนาคตของจังหวัดกาญจนบุรี ในช่วงปี พ.ศ. 2568 - 2573

ดำเนินการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS ดังนี้

1) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ : ใช้สถิติ Pearson's Correlation เพื่อทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (ผลิตภัณฑ์มวลรวม ข้อมูลจำนวนประชากร และตัวแปรตาม (ปริมาณขยะของจังหวัดกาญจนบุรี)

2) การพยากรณ์จำนวนประชากร : ใช้แบบจำลองอนุกรมเวลา ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average)

3) การพยากรณ์ปริมาณขยะ : นำจำนวนประชากรที่พยากรณ์ได้มาคำนวณหาปริมาณขยะในอนาคตด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

4.3.3 การคำนวณก๊าซเรือนกระจกภายใต้สถานการณ์จำลอง ในช่วงปี พ.ศ. 2568 - 2573

คำนวณปริมาณการปล่อยและลดก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.) โดยแบ่งตามเทคโนโลยีการจัดการขยะ ดังนี้

1) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลุมฝังกลบ

ใช้เครื่องมือ T-VER-S-TOOL-02-02 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน (Calculation for Emissions from Solid Waste Disposal Sites) เพื่อคำนวณการปล่อยก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น

$$CH_{4\ Emission} = W \times (p_{ไม้} \times 4.02 + p_{กระดาษ} \times 3.72 + p_{อาหาร} \times 1.00 + p_{สิ่งทอ} \times 2.23 + p_{กิ่งไม้และใบไม้} \times 1.68) \times CF \times 0.1$$

W = ปริมาณขยะที่นำไปกำจัดโดยวิธีการอื่นแทนวิธีการฝังกลบ (t น้ำหนักเปียก)

p = สัดส่วนขยะแต่ละประเภท (ไม้ กระดาษ อาหาร สิ่งทอ กิ่งไม้และใบไม้)

CF = 5.71 และ 7.14 คือ ค่าที่ IPCC แนะนำสำหรับหลุมฝังกลบไม่มีระบบจัดการและหลุมฝังกลบที่มีระบบจัดการ)

2) การเผาขยะด้วยเตาเผาและการเผาขยะในที่โล่ง

ใช้เครื่องมือ T-VER-S-METH-09-01 ระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ สำหรับการเผาขยะมูลฝอยชุมชนด้วยเตาเผา (Municipal Solid Waste Incineration) และคู่มือคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับจังหวัด สำหรับการกำจัดขยะโดยการเผาและการเผาขยะในที่โล่ง

$$CO_{2\ Emission} = [EFF \times (44/12) \times \sum(W \times p_j \times dm_j \times FCC_j \times FFC_j)$$ ---------- เตาเผา

$$CO_{2\ Emission} = [OF \times (44/12) \times \sum(W \times p_j \times dm_j \times FCC_j \times FFC_j)$$ ---------- เผาในที่โล่ง

EFF = ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผา (ค่าแนะนำของ IPCC คือ 1.0)

OF = สัดส่วนของก๊าซคาร์บอนที่ถูกออกซิไดซ์ (ค่าแนะนำของ IPCC คือ 0.71)

44/12 = ปรับค่าคาร์บอนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2/C)

W = ปริมาณขยะมูลฝอยชุมชน (t น้ำหนักเปียก)

P_j = สัดส่วนโดยน้ำหนักของขยะ

dm_j = สัดส่วนของมวลแห้งในขยะ

FCC_j = สัดส่วนของคาร์บอนทั้งหมดในขยะ

FFC_j = สัดส่วนของคาร์บอนจากฟอสซิลเมื่อเทียบกับคาร์บอนทั้งหมด

3) การคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล

ใช้เครื่องมือ LESS-WM-01 version 6 การคัดแยกขยะเพื่อการรีไซเคิล

$$GHG_{Reduction} = -((W_{pp} \times (EF_{swd,pp} + EF_{re,pp}) + \sum(W_j \times EF_{re,j}) /1,000$$

W_{pp} = ปริมาณกระดาษ (กิโลกรัม)

$EF_{swd\ pp}$ = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการจัดการขยะประเภทกระดาษด้วยวิธีการฝังกลบ

$EFr_{e\ pp}$ = ค่าการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิ สำหรับการนำกระดาษไปรีไซเคิลเพื่อทดแทนวัตถุดิบตั้งต้น ($KgCO_2e$/Kgขยะ)

W_j = ปริมาณวัสดุรีไซเคิลแต่ละประเภท (กิโลกรัม)

EF_{swdj} = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิ สำหรับการนำวัสดุรีไซเคิลแต่ละประเภท เพื่อทดแทนวัตถุดิบตั้งต้น ($KgCO_2e$/Kgขยะ)

4) การทำปุ๋ยหมัก

ใช้เครื่องมือ T-VER-S-METH-09-02 ระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ สำหรับการผลิตปุ๋ยหรือสารปรับปรุงดินจากขยะอินทรีย์ (Production of compost or soil amendments from organic waste)

$$EMISSION_{COMP} = W \times (EF_{CH4} \times GWP_{CH4} + EF_{N2O} \times GWP_{N2O})$$

W = ปริมาณขยะอินทรีย์ (t น้ำหนักเปียก)

EF_{CH4} = ค่าการปล่อยก๊าซมีเทนจากการหมักขยะอินทรีย์ (ค่าแนะนำของ IPCC คือ 0.002) (tCH_4/t น้ำหนักเปียก)

GWP_{CH4} = ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซมีเทน เท่ากับ 28

EF_{N2O} = ค่าการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์จากการหมักขยะอินทรีย์ (ค่าแนะนำของ IPCC คือ 0.002) (tN_2O/t น้ำหนักเปียก)

GWP_{N2O} = ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซไนตรัสออกไซด์ เท่ากับ 265

5) การผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF)

ใช้เครื่องมือ T-VER-S-METH-09-03 ระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ สำหรับการผลิตเชื้อเพลิงขยะจากขยะมูลฝอยชุมชน (Refuse Derived Fuel: RDF Production from Municipal Solid Waste)

$$EMISSION_{RDF} = \sum(FC \times (NCV \times 10^{-6}) \times EF_{CO2}) \times 10^{-3} + (EC \times 10^{-3}) \times EF_{EC}$$

FC = ปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ในการดำเนินงาน (unit/year)

NCV = ค่าความร้อนสุทธิของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้ (MJ/unit)

EF_{CO2} = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้

EC = ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินงาน (kWh/year)

EFEC = ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการใช้ไฟฟ้า (tCO_2/MWh)

4.3.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบ

นำผลการคำนวณจากสถานการณ์จำลองทั้ง 3 รูปแบบ มาทำการเปรียบเทียบในหน่วยตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ($tCO_2eq\ y^{-1}$) เพื่อวิเคราะห์ว่ารูปแบบใดเป็นแนวทางการจัดการขยะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจังหวัดกาญจนบุรีในการลดผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษา

จากการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะของจังหวัดกาญจนบุรี ภายใต้แบบจำลองสถานการณ์ที่แตกต่างกัน ในช่วงปี พ.ศ. 2568 - 2573 สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. สถานการณ์ที่ 1 (baseline) : การจัดการขยะในปัจจุบัน

ผลการประเมินพบว่าการจัดการขยะในรูปแบบเดิมที่มีการฝังกลบเป็นหลัก ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยสูงถึง 162,787.51 $tCO_2eq\ y^{-1}$ หรือ 0.464 tCO_2eq/tขยะ เมื่อจำแนกตามสัดส่วนกิจกรรมพบว่าแหล่งกำเนิดหลักมาจากการฝังกลบขยะ คิดเป็นร้อยละ 86 และจากการเผาขยะในที่โล่งหรือเตาเผาที่ไม่มีระบบควบคุม คิดเป็นร้อยละ 14

2. สถานการณ์ที่ 2 : การคัดแยกขยะรีไซเคิลและการทำปุ๋ยหมัก

เป็นการจำลองแนวทางการจัดการขยะในลักษณะที่เน้นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากร โดยกำหนดให้มีสัดส่วนการรีไซเคิล ร้อยละ 35 และการทำปุ๋ยหมัก ร้อยละ 65 ผลการประเมินพบว่ามีศักยภาพในการลดก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด โดยให้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นลบเฉลี่ยอยู่ที่ -90,829.82 $tCO_2eq\ y^{-1}$ ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีประสิทธิภาพจากการคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิล เนื่องจากช่วยลดความต้องการใช้วัตถุดิบใหม่และพลังงานในกระบวนการผลิตวัสดุ

3. สถานการณ์ที่ 3 การผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF)

เป็นการจำลองแนวทางการจัดการขยะที่มุ่งเน้นการนำขยะทั้งหมดเข้าสู่กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF) ผลการประเมินพบว่าสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึงร้อยละ 98 เมื่อเทียบกับกรณีฐาน โดยปล่อยเพียง 3,741.21 $tCO_2eq\ y^{-1}$ หรือ 0.011 tCO_2eq/tขยะ ชี้ให้เห็นว่าการผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF) เป็นหนึ่งในแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการปรับเปลี่ยนการจัดการขยะจากแบบดั้งเดิมไปสู่ระบบที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ

5.2 อภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์สถานการณ์การจัดการขยะของจังหวัดกาญจนบุรี ชี้ให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีจากการฝังกลบไปสู่การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรขยะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการศึกษาในสถานการณ์ที่ 2 การรีไซเคิลและการทำปุ๋ยหมัก มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นลบสอดคล้องกับการศึกษาในประเทศตุรกี ที่ยืนยันการคัดแยกวัสดุรีไซเคิลร่วมกับการทำปุ๋ยหมักมีประสิทธิภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าการฝังกลบขยะแบบเดิมอย่างชัดเจน [4] และเมื่อพิจารณาในบริบทของประเทศไทยสอดรับกับผลงานวิจัยที่พบว่าการจัดการขยะที่ต้นทางผ่านการคัดแยกและการหมักขยะอินทรีย์สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้สูงถึงร้อยละ 74.79 [6] และ 82.46 [7]

ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ยังชี้ให้เห็นว่าศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกในจังหวัดกาญจนบุรีอาจสูงกว่ากรณีศึกษาดังกล่าว หากมีการดำเนินการเต็มรูปแบบ เนื่องจากปริมาณขยะรีไซเคิลที่เพิ่มขึ้นจะไปช่วยลดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิผ่านการชดเชยการใช้วัตถุดิบใหม่ สำหรับสถานการณ์ที่ 3 การผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF) แม้จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิตแต่เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐานพบว่าสามารถลดการปล่อยได้ถึงร้อยละ 98 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ระบุว่าการเปลี่ยนผ่านจากการฝังกลบสู่เทคโนโลยีการเผาขยะเพื่อผลิตพลังงานเป็นกลไกที่สามารถบรรลุเป้าหมาย Net Zero Emissions [4] [5] ซึ่งทั้งสองสถานการณ์สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่าร้อยละ 30 จากระดับที่ปล่อยในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาแนวทางการจัดการขยะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจังหวัดกาญจนบุรี คือ การประยุกต์ใช้แนวทางผสมผสานระหว่างสถานการณ์ที่ 2 และสถานการณ์ที่ 3 โดยนำขยะที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลหรือการทำปุ๋ยหมัก ขณะที่ขยะที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ควรถูกส่งเข้าสู่กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF) การบูรณาการดังกล่าวจะช่วยยกระดับประสิทธิภาพระบบการจัดการขยะ ทั้งด้านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การลดปริมาณขยะที่ต้องฝังกลบ และการสร้างมูลค่าเพิ่มจากทรัพยากรในพื้นที่ ถือเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับนโยบายด้านการพัฒนาที่ยั่งยืน เป้าหมายที่ 13 และการก้าวสู่เป้าหมาย Net Zero อย่างยั่งยืนในอนาคต

จากการศึกษาสภาพแวดล้อมและศักยภาพของจังหวัดกาญจนบุรี เพื่อการวิเคราะห์แนวทางในการจัดการขยะของจังหวัดกาญจนบุรีที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี พ.ศ. 2573 จากระดับที่ปล่อยในปัจจุบันลงร้อยละ 30 และพิจารณาถึงปัจจัยความสำเร็จ ทั้งนี้ ผู้ศึกษาได้แสดงรายละเอียดการวิเคราะห์ในตาราง SWOT Analysis ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 การวิเคราะห์ SWOT (SWOT Analysis)

จากการวิเคราะห์ SWOT (SWOT Analysis) ต่อแนวทางในการจัดการขยะของจังหวัดกาญจนบุรีเพื่อมุ่งสู่การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 30 ภายในปี พ.ศ. 2573 เมื่อเทียบกับระดับการปล่อยในปัจจุบัน แสดงให้เห็นว่าพื้นที่มีศักยภาพในเชิงโครงสร้างและเชิงนโยบายที่เอื้อต่อการพัฒนาระบบจัดการขยะอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะการมีทรัพยากรธรรมชาติในสัดส่วนสูง การมีกรอบนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมที่ชัดเจน ตลอดจนโอกาสในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่และความร่วมมือจากหลายภาคส่วน ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยสนับสนุนสำคัญต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระยะยาว อย่างไรก็ตาม การดำเนินงานยังเผชิญข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศและขนาดพื้นที่ที่กว้างซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการรวบรวมและขนส่งขยะ ความไม่เพียงพอของโครงสร้างพื้นฐานและระบบคัดแยกขยะ รวมถึงความแตกต่างด้านพฤติกรรมและการมีส่วนร่วมของประชาชนในแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยภายนอกที่เพิ่มแรงกดดันต่อระบบจัดการขยะ เช่น การขยายตัวทางเศรษฐกิจและการท่องเที่ยว ความไม่แน่นอนด้านงบประมาณ และความซับซ้อนของกระบวนการอนุญาตโครงการด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการบรรลุเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 30 ภายในปี พ.ศ. 2573 จำเป็นต้องอาศัยการใช้ประโยชน์จากจุดแข็งและโอกาสที่มีอยู่ ควบคู่กับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน การยกระดับประสิทธิภาพการจัดการขยะอย่างเป็นระบบ และการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างบูรณาการทั้งในมิติด้านเทคนิค นโยบาย และสังคม

5.3 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1. การยกระดับโครงสร้างพื้นฐาน : จังหวัดควรสนับสนุนงบประมาณจัดตั้งศูนย์จัดการขยะรวมกลุ่ม (Cluster) เพื่อเพิ่มความคุ้มค่าทางการเงิน ในการสร้างโรงงานผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF) แทนการกำจัดแบบกระจัดกระจายในแต่ละองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

2. มาตรการทางภาษีและสิทธิประโยชน์ : ออกข้อกำหนดลดค่าธรรมเนียมขยะสำหรับครัวเรือนที่มีการคัดแยกขยะรีไซเคิลและขยะอินทรีย์อย่างชัดเจน เพื่อลดภาระต้นทุนปลายทางในสถานการณ์ที่ 2

3. การจัดการเชิงพื้นที่ : จากข้อจำกัดเรื่องภูมิประเทศที่กว้างขวางของกาญจนบุรี ควรนำระบบสถานีขนถ่ายขยะมาใช้เพื่อบีบอัดขยะก่อนขนส่ง ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคขนส่ง (ซึ่งยังไม่ถูกรวมในการศึกษานี้)

4. ความร่วมมือภาครัฐและเอกชน : ส่งเสริมให้ภาคเอกชนเข้ามาลงทุนในเทคโนโลยี RDF โดยรัฐสนับสนุนด้านการรับซื้อเชื้อเพลิงหรือให้สิทธิประโยชน์ทางภาษี เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดด้านงบประมาณที่พบใน SWOT Analysis

5. ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนอย่างต่อเนื่อง : การฝึกอบรมทักษะด้านการคัดแยกและการใช้ประโยชน์จากขยะการส่งเสริมอาชีพในภาคเศรษฐกิจหมุนเวียน

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะของจังหวัดกาญจนบุรี ในช่วงปี พ.ศ. 2568 - 2573 ภายใต้ 3 สถานการณ์ ได้แก่ (1) การจัดการขยะในปัจจุบัน (2) การคัดแยกขยะรีไซเคิลและการทำปุ๋ยหมัก และ (3) การผลิตเชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel: RDF) เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเมื่อเทียบกับกรณีฐาน ผลการประเมินพบว่า สถานการณ์ที่ 1 ซึ่งยังคงพึ่งพาการฝังกลบและการเผาเป็นหลัก ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับสูง โดยเฉพาะจากกระบวนการฝังกลบที่เป็นแหล่งปล่อยหลักของระบบ ขณะที่สถานการณ์ที่ 2 ซึ่งเน้นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรผ่านการรีไซเคิลและการทำปุ๋ยหมักสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากที่สุด โดยมีค่าการปล่อยสุทธิเป็นลบตลอดช่วงการศึกษา สะท้อนศักยภาพในการลดความต้องการใช้วัตถุดิบและพลังงานในกระบวนการผลิตใหม่

ส่วนสถานการณ์ที่ 3 ซึ่งนำขยะเข้าสู่กระบวนการผลิตเชื้อเพลิง RDF สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ร้อยละ 98 ทั้งสองแนวทางสามารถบรรลุเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 30 ภายในปี พ.ศ. 2573 ได้

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า แนวทางที่เหมาะสมในการพัฒนาระบบจัดการขยะของจังหวัดกาญจนบุรี คือ การดำเนินงานแบบบูรณาการ โดยคัดแยกขยะที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลหรือการทำปุ๋ยหมัก และนำขยะส่วนที่เหลือไปผลิตเป็นเชื้อเพลิง RDF เพื่อลดปริมาณการฝังกลบ เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว อย่างไรก็ตาม การดำเนินการดังกล่าวจำเป็นต้องควบคู่กับการลงทุนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่รองรับการคัดแยกตั้งแต่แหล่งกำเนิดอย่างครบวงจร ทั้งระบบรวบรวมและขนส่งแบบแยกประเภท ศูนย์คัดแยกและแปรรูปที่เหมาะสมกับบริบทพื้นที่ ตลอดจนระบบสารสนเทศและเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการติดตาม วิเคราะห์ และบริหารจัดการข้อมูลการไหลของทรัพยากร (material flow) อย่างมีประสิทธิภาพ และภาครัฐจำเป็นต้องกำหนดนโยบายเพื่อพัฒนาศักยภาพบุคลากรและส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนอย่างต่อเนื่อง เช่น การฝึกอบรมทักษะด้านการคัดแยกและการใช้ประโยชน์จากของเสีย การส่งเสริมอาชีพในภาคเศรษฐกิจหมุนเวียน และการสร้างระบบแรงจูงใจทางเศรษฐศาสตร์ที่เอื้อต่อการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการจัดการขยะของครัวเรือนและภาคธุรกิจ การดำเนินมาตรการดังกล่าวควรตั้งอยู่บนหลักการบูรณาการระหว่างภาคสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม เพื่อยกระดับระบบการจัดการของเสีย และเพื่อให้สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน เป้าหมายที่ 13 ว่าด้วยการรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างเป็นรูปธรรมในระยะยาว นอกจากนี้ยังเชื่อมโยงกับเป้าหมายที่ 11 ด้านเมืองและชุมชนยั่งยืน เป้าหมายที่ 12 ด้านการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน เป้าหมายที่ 8 ด้านการจ้างงานที่มีคุณค่าและการเติบโตทางเศรษฐกิจ เป้าหมายที่ 9 ด้านโครงสร้างพื้นฐานและนวัตกรรม และเป้าหมายที่ 17 ด้านความร่วมมือเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] Mor, S., & Ravindra, K. (2023). Municipal solid waste landfills in lower- and middle-income countries: Environmental impacts, challenges and sustainable management practices. Process Safety and Environmental Protection, 174, 510-530. https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.04.014

[2] Zhang, Z., Chen, Z., Zhang, J., Liu, Y., Chen, L., Yang, M., Osman, A. I., Farghali, M., Liu, E., Hassan, D., Ihara, I., Lu, K., Rooney, D. W., & Yap, P.-S. (2024). Municipal solid waste management challenges in developing regions: A comprehensive review and future perspectives for Asia and Africa. Science of the Total Environment, 930. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172794

[3] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2561). แผนปฏิบัติการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศปี พ.ศ. 2564 – 2573 สาขาการจัดการของเสียชุมชน. https://isdnre.mnre.go.th/th/news/detail/137195

[4] Li, X., Lü, F., Liao, N., Zhang, H., Yang, N., & He, P. (2024). Greenhouse gas emissions of municipal solid waste in Shanghai over the past 30 years: Dependent on the dynamic waste characteristics and treatment technologies. Resources, Conservation & Recycling, 201. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107321

[5] Yaman, C. (2020). Investigation of greenhouse gas emissions and energy recovery potential from municipal solid waste management practices. Environmental Development, 33. https://doi.org/10.1016/j.envdev. 2019.100484

[6] สุพรรณี ศรีคำ. (2566). การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนขององค์การบริหารส่วนตำบลบ้านบ่อ จังหวัดสมุทรสาคร. นครปฐม: ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[7] ประภัสสร กาวีนุ. (2565). การประเมินปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองน่าน. ปทุมธานี: สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[8] ศิวศักดิ์ ใจมา. (2567). การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ปทุมธานี: สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[9] ส่วนสิ่งแวดล้อม สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดกาญจนบุรี. (2568). ข้อมูลภาพรวมการจัดการขยะของจังหวัดกาญจนบุรี ปีปฏิทิน พ.ศ. 2558 – 2567.

[10] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี. (2568). GPP Dashboard. https://nesdc.gdcatalog.go.th/dataset/gpp-dashboard

[11] สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง. (2568). ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารสถิติประชากร รายจังหวัด. https://stat.bora.dopa.go.th/StatMIS/#/ReportStat/1

[12] ส่วนสิ่งแวดล้อม สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดกาญจนบุรี. (2567). องค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชนของจังหวัดกาญจนบุรี ปี พ.ศ. 2567.

[13] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2568). โครงการที่ได้รับการขึ้นทะเบียน (ทั่วไป). https://ghgreduction.tgo.or.th/th/tver-database-and-statistics/t-ver-registered-project.html

การศึกษาสภาพปัญหาและแนวทางการจัดการขยะอันตรายชุมชนอย่างยั่งยืน ในตำบลบางกระเจ้า อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร

นรินทร เลิศศรีนภาพร[1], ประหยัด แสงงาม[2], และ อุมารัจน์ สันติสุขเกษม[1*]

[1]ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย
[2]ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย
**Corresponding author: santisukkasaem_u@su.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพปัญหาและแนวทางการจัดการขยะอันตรายชุมชนอย่างยั่งยืน ในตำบลบางกระเจ้า อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งสามารถนำไปกำหนดนโยบายที่มีความสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยการสำรวจพื้นที่และสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการขยะอันตรายชุมชนทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ (1) ด้านการประชาสัมพันธ์ (2) ด้านการตั้งจุดทิ้งขยะ (3) ด้านการจัดเก็บขนขยะ และ (4) ด้านการส่งเสริมการมีส่วนร่วม รวมถึงความคิดเห็นเกี่ยวกับปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะ ผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดจำนวน 252 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ประกอบด้วย 1) กลุ่มผู้นำชุมชนโดยเลือกแบบเจาะจง และ 2) กลุ่มประชาชนโดยสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ จากนั้นทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ด้วยสถิติไคสแควร์ ผลการศึกษาพบว่า ทุกหมู่บ้านมีถังขยะอันตรายและมีการเก็บรวบรวมขนส่งไปกำจัด จากการสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการขยะพบว่ากลุ่มผู้นำชุมชนเห็นด้วยด้าน (1) – (4) ในระดับมาก ($\overline{x}$=4.00, 3.85, 3.52 และ 3.93 ตามลำดับ) กลุ่มประชาชนเห็นด้วยด้าน (1) – (3) ในระดับมาก ($\overline{x}$=3.50, 3.43 และ 3.43 ตามลำดับ) ส่วนด้าน (4) ในระดับปานกลาง ($\overline{x}$=3.30) ความคิดเห็นเกี่ยวกับปัญหาอุปสรรคมีความสอดคล้องกันทั้ง 2 กลุ่ม คือ การขาดความตระหนักและจิตสำนึก แสดงให้เห็นว่าจำเป็นต้องมีการจัดกิจกรรมสร้างเสริมศักยภาพและความรู้ความเข้าใจในการจัดการขยะอันตรายชุมชน นอกจากนี้จากการทดสอบสมมติฐานพบว่าปัจจัยด้านระดับการศึกษามีขนาดความสัมพันธ์กับความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการขยะอันตรายชุมชนมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้นการส่งเสริมการมีส่วนร่วมโดยใช้กลไกทางการศึกษาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการเพื่อพัฒนาอย่างยั่งยืนได้

คำสำคัญ: ขยะอันตรายชุมชน / การจัดการขยะอันตราย / การสร้างความตระหนัก / การสร้างการมีส่วนร่วม / ความยั่งยืน

A Study on Current Problems and Sustainable Management Guidelines of Household Hazardous Waste in Bang Krachao Subdistrict, Mueang Samut Sakhon District, Samut Sakhon Province

Narinthon Lertsrinapaporn[1], Prayad Sangngam[2], and Umarat Santisukkasaem[1*]

[1]Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University, Thailand
[2]Department of Statistics, Faculty of Science, Silpakorn University, Thailand
**Corresponding author: santisukkasaem_u@su.ac.th*

Abstract

This research aimed to study on problems and sustainable management guidelines of household hazardous waste (HHW) in Bang Krachao subdistrict, Mueang Samut Sakhon district, Samut Sakhon province which can be used to formulate policies that are consistent with Sustainable Development Goals. The study was conducted through a site survey and questionnaire survey about opinions on household hazardous waste (HHW) management consisting of 4 parts as follows: (1) the public relations (2) the location of HHW bins (3) the waste collection and transport, and (4) the participatory approach; including opinion on problem situation, obstacles and suggestions regarding the HHW management. A total of 252 respondents were divided into two groups: 1) a purposive sampling method selected 9 village headmen and 2) a stratified sampling method selected 243 residents. Then, the relationship between the various factors was analyzed using the chi-square test. The results revealed that there are HHW bins located in all 9 villages along with the waste collection and transport. The overall results of the questionnaire survey indicated that part (1) – (4) were at a high level in the village headmen group ($\overline{x}$=4.00, 3.85, 3.52 and 3.93 respectively). For the resident group, it was shown that part (1) – (3) were at a high level ($\overline{x}$=3.50, 3.43 and 3.43 respectively) but part (4) was at a moderate level ($\overline{x}$=3.30). In terms of opinion on problem situation and obstacle, both groups provided a similar response which was a lack of awareness. It can be assumed that policy formulation is required to promote capacity building and awareness raising in handling HHW. In addition, the hypothesis testing revealed that the level of education had the strongest and most significant association with opinions regarding community hazardous waste management ($p < 0.05$). Therefore, encouraging participation through educational mechanisms could enhance the efficiency towards sustainable development.

Keywords: Household Hazardous Waste (HHW) / Hazardous Waste Management / Participatory Approach / Sustainability

1. บทนำ

ในปี พ.ศ. 2567 ประเทศไทยมีปริมาณขยะอันตรายจากชุมชนประมาณ 685,999 ตัน เพิ่มขึ้นจากปีพ.ศ. 2566 ร้อยละ 0.83 พบปริมาณขยะอันตราย 680,386 ตัน [1] ถึงแม้จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่คาดว่าในอนาคตจะเพิ่มสูงมากขึ้น ดังในเขตเศรษฐกิจพิเศษอ่าวกวางตุ้ง-ฮ่องกง-มาเก๊าซึ่งตั้งอยู่ทางตอนใต้ของประเทศจีน พบปัญหาปริมาณขยะอันตรายเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นถึง 11.6 ล้านตันในปีพ.ศ. 2568 [2] โดยในประเทศไทยพบขยะอันตรายส่วนใหญ่เป็นซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Waste from Electrical and Electronic Equipment: WEEE) สูงถึงร้อยละ 65 หรือ 445,899 ตัน และที่เหลืออีก 240,100 ตัน (ร้อยละ 35) เป็นขยะอันตรายประเภทอื่น ๆ เช่น หลอดไฟ ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ ภาชนะบรรจุสารเคมี กระป๋องสเปรย์ [1] ประกอบกับรายงานการติดตามขยะอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลก (Global E-waste Monitor: GEM) ให้ข้อมูลว่าในปีพ.ศ. 2565 มีการผลิตขยะอิเล็กทรอนิกส์ 62 ล้านตัน ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 82 เมื่อเทียบกับปีพ.ศ. 2553 และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 32 เป็น 82 ล้านตันในปีพ.ศ. 2573 [3] แสดงให้เห็นว่าประชาชนมีความต้องการและนิยมใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มากขึ้น รวมถึงการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีส่งผลให้มีการเปลี่ยนอุปกรณ์บ่อยขึ้นเพื่อให้ทันต่อเทคโนโลยีที่ทันสมัย นอกจากนี้ ข้อมูลยังแสดงให้เห็นถึงการจัดการที่ยังไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากขยะอันตรายชุมชนในประเทศไทยเข้าสู่ระบบการจัดการอย่างถูกต้องเพียง 152,017 ตัน หรือร้อยละ 22.15 ของขยะทั้งหมดเท่านั้น [1] สาเหตุเกิดจากการรวบรวมขยะอันตรายชุมชนจากแหล่งกำเนิดไม่มากเท่าที่ควร โดยเฉพาะขยะอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้รับการเก็บรวบรวมและรีไซเคิลอย่างถูกต้องเพียงไม่ถึงหนึ่งในสี่ [3] หากไม่มีการคัดแยกหรือทิ้งปะปนไปกับขยะมูลฝอยทั่วไปทำให้ยากต่อการเก็บรวบรวมและไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการซึ่งส่งผลกระทบต่อความยั่งยืน โดยในด้านสิ่งแวดล้อมก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ ทางดิน และทางอากาศ อีกทั้งยังส่งผลต่อด้านสังคม เช่น สภาพแวดล้อมความเป็นอยู่ คุณภาพชีวิต และการปนเปื้อนของสารพิษในห่วงโซ่อาหารนำไปสู่ความเสี่ยงต่อสุขภาพและเป็นสารก่อมะเร็ง รวมถึงผลกระทบในด้านเศรษฐกิจเนื่องจากต้องใช้งบประมาณจำนวนมากในการบริหารจัดการขยะและฟื้นฟูสถานที่กำจัดมูลฝอยทั่วไปที่มีการปนเปื้อนขยะอันตราย รวมถึงนำงบประมาณมาใช้ในการส่งเสริมกิจกรรมหรือโครงการในการจัดการขยะ และการรวบรวมและขนส่งตั้งแต่ครัวเรือนไปยังสถานที่บำบัดหรือกำจัดขยะอันตรายทั้งด้านเทคโนโลยี กำลังคน เชื้อเพลิง อุปกรณ์ เป็นต้น

จังหวัดสมุทรสาครเป็นจังหวัดชายทะเลอยู่ในเขตปริมณฑลของกรุงเทพมหานคร มีพื้นที่ 872.347 ตารางกิโลเมตรหรือประมาณ 545,216 ไร่ [4] เป็นจังหวัดที่มีศักยภาพเอื้อต่อการประกอบธุรกิจอุตสาหกรรม มีการคมนาคมขนส่งที่สะดวกรวดเร็ว จากตัวเลขมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัดต่อคน (GPP per capita) ของจังหวัดสมุทรสาครจัดเป็นอันดับ 7 ของประเทศ [5] และจากการขยายตัวของเศรษฐกิจจังหวัดสมุทรสาครกำลังประสบปัญหาเรื่องขยะมูลฝอยอันตรายที่เพิ่มขึ้น โดยข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนจังหวัดสมุทรสาครพบว่าในปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 จังหวัดสมุทรสาครมีปริมาณขยะอันตรายชุมชนที่ถูกส่งกำจัดอย่างถูกต้องเพียง 5.2 ตัน จากการศึกษาการจัดการขยะอันตรายชุมชนในระดับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) พบว่าการดำเนินงานในด้านนี้ยังมีรูปแบบที่ไม่ชัดเจนและไม่ได้มีการดำเนินงานในทุกพื้นที่ ซึ่งในเขตพื้นที่ตำบลบางกระเจ้า อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร มีพื้นที่ประมาณ 34.80 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 21,750 ไร่ แบ่งเขตการปกครองเป็น 9 หมู่บ้าน [6] เริ่มดำเนินงานบริหารจัดการขยะอันตรายชุมชนเมื่อปีพ.ศ. 2565 ซึ่งข้อมูลขยะอันตรายชุมชน 2 ปีล่าสุดในพื้นที่ตำบลบางกระเจ้า พบว่าปีงบประมาณพ.ศ. 2567 มีปริมาณขยะอันตรายชุมชนเกิดขึ้น 207.50 กิโลกรัม [7] และปีงบประมาณพ.ศ. 2568 มีปริมาณขยะอันตรายชุมชน 408.9 กิโลกรัม [8] อย่างไรก็ตามหน่วยงานผู้รับผิดชอบได้ดำเนินการตั้งจุดทิ้งขยะอันตรายชุมชนที่ครอบคลุมทั้ง 9 หมู่บ้านแล้ว แต่พบว่ายังมีการทิ้งขยะอันตรายปะปนไปกับขยะมูลฝอยทั่วไป

การจัดการขยะอันตรายชุมชนตามนโยบายภาครัฐสนับสนุนให้มีการวางระบบการจัดการขยะอันตรายจากชุมชนโดยให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นบูรณาการการทำงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงภาคเอกชน และภาคประชาชนในการจัดตั้งจุดรวบรวมขยะอันตรายในชุมชน และกำหนดให้มีศูนย์รวบรวมในระดับจังหวัด ทำให้ขยะอันตรายได้รับการจัดการอย่างถูกต้องเพิ่มขึ้น จากการติดตามรวบรวมผลการดำเนินงานในปีพ.ศ. 2567 พบว่าปริมาณขยะอันตรายเข้าสู่ระบบการรวบรวมและกำจัดอย่างถูกต้องเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้นพบว่ายังต่ำกว่าที่ควรจะเป็น รวมถึงมีข้อจำกัดในหลายประเด็นที่ส่งผลให้การบริหารจัดการขยะอันตรายจากชุมชนไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาถึงสภาพปัญหาและปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการจัดการขยะอันตรายในครัวเรือน แต่

ประเด็นความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและความคิดเห็นเกี่ยวกับขยะอันตรายยังไม่ได้รับการศึกษาอย่างแพร่หลาย ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการขยะอันตรายชุมชนให้เป็นไปอย่างยั่งยืน จำเป็นต้องทราบถึงข้อมูลพื้นฐานเพื่อที่จะสามารถนำมาวางแผนการจัดการและนำไปกำหนดนโยบายที่มีความสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนข้อที่ 11 และ 12 นอกจากนี้ควรให้ความสำคัญกับหน่วยงานที่มีความใกล้ชิดกับประชาชนซึ่งได้แก่อปท. งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาสภาพปัญหาและอุปสรรคการจัดการขยะอันตรายชุมชนในเขตพื้นที่ตำบลบางกระเจ้า รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและความคิดเห็น เพื่อเสนอแนะแนวทางในการบริหารจัดการขยะอันตรายที่เหมาะสมและยั่งยืนต่อไป

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาสภาพปัญหาและอุปสรรคการจัดการขยะอันตรายชุมชนในตำบลบางกระเจ้า

2.2 เพื่อเสนอแนะแนวทางในการบริหารจัดการขยะอันตรายที่เหมาะสมกับพื้นที่

3. ขอบเขตของการศึกษา

3.1 ขอบเขตเชิงเนื้อหา: ศึกษาเฉพาะปัญหาและอุปสรรคของการจัดการขยะอันตรายชุมชน

3.2 ขอบเขตเชิงพื้นที่: ศึกษาเฉพาะในเขตพื้นที่ตำบลบางกระเจ้า อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร

3.3 ขอบเขตเชิงประชากร: กลุ่มผู้ให้ข้อมูลเป็นผู้อาศัยในพื้นที่ โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้นำชุมชน และกลุ่มประชาชน

4. วิธีการศึกษา

4.1 การสำรวจพื้นที่

การสำรวจพื้นที่โดยการลงสำรวจหน้างานตามสถานที่ตั้งภาชนะรองรับขยะอันตรายทั้ง 9 หมู่บ้าน จดบันทึกข้อมูล/บันทึกภาพกระบวนการเก็บรวบรวมขนส่งขยะอันตรายชุมชน และการส่งกำจัด

4.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

จากสถิติประชากรทางการทะเบียนราษฎร [9] ในเขตพื้นที่ตำบลบางกระเจ้า พบว่ามีจำนวน 5,650 ครัวเรือน มีจำนวนประชากรเท่ากับ 11,448 คน และมีผู้นำชุมชนทั้ง 9 หมู่บ้าน ดังนั้นจึงแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

4.2.1 กลุ่มผู้นำชุมชน ได้แก่ กำนันและผู้ใหญ่บ้านของแต่ละหมู่บ้าน รวมจำนวน 9 คน ซึ่งใช้วิธีเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง เนื่องจากจำเป็นต้องอาศัยความรอบรู้ ความชำนาญ และประสบการณ์ในเรื่องนั้น ๆ เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย [10]

4.2.2 กลุ่มประชาชน ได้แก่ ประชาชนที่อาศัยในพื้นที่จากทั้งหมด 9 หมู่บ้าน รวมจำนวน 243 คน ซึ่งใช้วิธีการกำหนดกลุ่มตัวอย่างโดยพิจารณาจากสถิติทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย คือการทดสอบไคกำลังสอง (Chi-square Test) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ โดยใช้โปรแกรม G*Power 3.1.9.2 [11] ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณขนาดตัวอย่างตามเงื่อนไขข้อมูลที่กำหนดโดยอาศัยการประมาณค่าขนาดของอิทธิพลที่กำหนดโดย Cohen (1977) [12] กำหนดค่าพิจารณาทดสอบเท่ากับ 0.9 ใช้ขนาดของอิทธิพล (Effect size) เท่ากับ 0.3 โดยการศึกษานี้ให้ครัวเรือนเป็นหน่วยตัวอย่างซึ่งมีทั้งหมด 5,650 ครัวเรือน เมื่อคำนวณแล้วได้จำนวนครัวเรือนที่ต้องสุ่มเท่ากับ 243 ครัวเรือน โดยเลือกตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ (Stratified sampling) ตามหมู่บ้าน ซึ่งมีทั้งหมด 9 ชั้นภูมิ (หมู่บ้าน)

4.3 การเก็บแบบสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการขยะอันตรายชุมชน

ในส่วนของแบบสอบถามนั้นเป็นคำถามที่จะได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการขยะอันตรายชุมชน ปัญหาอุปสรรค และข้อเสนอแนะในการจัดการขยะอันตรายชุมชนในตำบลบางกระเจ้า หลังจากออกแบบสอบถามได้มีการให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ตรวจสอบเพื่อหาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (Index of Item Objective Congruence: IOC) ถ้าข้อใดมีค่า IOC น้อยกว่า 1 ต้องพิจารณาปรับแบบสอบถาม โดยหลังจากปรับแบบสอบถามได้นำไปทดสอบใช้กับกลุ่มตัวอย่าง 30 คน เพื่อหาค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability) เมื่อได้ค่าความน่าเชื่อถือมากกว่า 0.7 จึงนำแบบสอบถามไปใช้ในการเก็บข้อมูล

ต่อไป จากการออกแบบและตรวจสอบแบบสอบถามพบว่าได้ค่า IOC 1 คะแนน จำนวน 17 ข้อ และได้ค่า IOC 0.67 คะแนน จำนวน 4 ข้อ จึงได้ดำเนินการปรับแบบสอบถามและนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง 30 คน และเมื่อนำมาหาค่าความน่าเชื่อถือ พบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha) เท่ากับ 0.918 โดยแบบสอบถาม แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ส่วนของผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นข้อมูลเกี่ยวกับผู้ตอบแบบสอบถาม ใช้รูปแบบการเลือกตอบ (Check list) ประกอบด้วย กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถาม เพศ อายุ ระยะเวลา/สถานที่ในการทำงานหรือพักอาศัยในตำบลบางกระเจ้า การประกอบอาชีพ ระดับการศึกษา และรายได้ จำนวน 7 ข้อ

ส่วนที่ 2 ความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการขยะอันตรายชุมชนในตำบลบางกระเจ้า ณ ปัจจุบัน โดยรูปแบบการประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ จำนวน 4 ด้าน ได้แก่ ด้านการประชาสัมพันธ์ ด้านการตั้งจุดรองรับขยะอันตรายชุมชน ด้านการจัดเก็บขนขยะอันตรายชุมชน และด้านการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน โดยแต่ละด้านประกอบด้วยคำถาม 3 ข้อ รวมจำนวน 12 ข้อ

ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นเกี่ยวกับปัญหาและข้อเสนอแนะในการจัดการขยะอันตรายชุมชนในตำบลบางกระเจ้า จำนวน 2 ข้อ

4.4 สมมติฐาน

4.4.1 ปัจจัยทางอายุ: ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับกระบวนการจัดการขยะอันตรายชุมชน รวมถึงความคิดเห็นเกี่ยวกับปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะในการจัดการขยะอันตรายชุมชนในตำบลบางกระเจ้า

4.4.2 ปัจจัยทางสถานที่ในการทำงานหรือพักอาศัยในตำบลบางกระเจ้า: ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับกระบวนการจัดการขยะอันตรายชุมชน รวมถึงความคิดเห็นเกี่ยวกับปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะในการจัดการขยะอันตรายชุมชนในตำบลบางกระเจ้า

4.4.3 ปัจจัยทางระดับการศึกษา: ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับกระบวนการจัดการขยะอันตรายชุมชน รวมถึงความคิดเห็นเกี่ยวกับปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะในการจัดการขยะอันตรายชุมชนในตำบลบางกระเจ้า

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามทำได้โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window (Statistical Package for Social Science) ด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) และหาค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบไคสแควร์ (Chi-square Test) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการสำรวจพื้นที่และเก็บแบบสอบถามการจัดการขยะอันตรายชุมชนในตำบลบางกระเจ้า อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร มีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

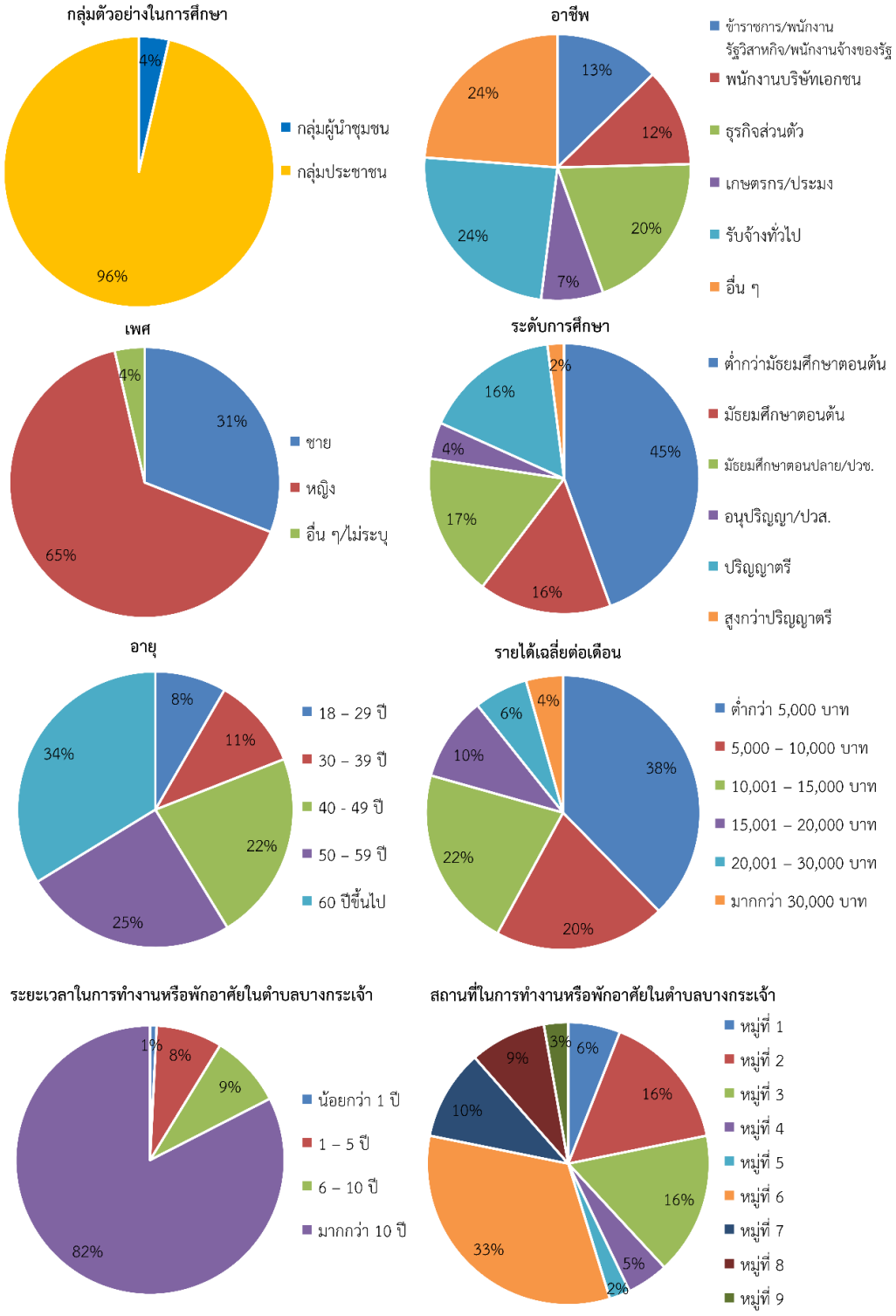
5.1 ผลการศึกษาการสำรวจพื้นที่

รูปที่ 1 สถานที่ตั้งภาชนะรองรับขยะอันตรายชุมชนในพื้นที่ตำบลบางกระเจ้า

จากการสำรวจพื้นที่พบว่าตำบลบางกระเจ้ามีสถานที่ตั้งภาชนะรองรับขยะอันตรายชุมชนครอบคลุมทั้ง 9 หมู่บ้าน รวมจำนวน 14 ถัง ดังแสดงในรูปที่ 1 ในส่วนของผู้ปฏิบัติงานเก็บรวบรวมขนส่งขยะอันตรายชุมชนมีจำนวน 2 คน ประกอบด้วย พนักงานขับรถยนต์ และเจ้าหน้าที่เก็บขยะอันตราย ซึ่งจะดำเนินการเก็บรวบรวมเดือนละ 1 ครั้ง โดยนำมายังจุดรวบรวม ณ องค์การบริหารส่วนตำบล (อบต.) บางกระเจ้า และมีการขนส่งนำไปกำจัดอย่างถูกต้องโดยส่งให้กับทางองค์การบริหารส่วนจังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งเป็นไปตามบันทึกข้อตกลงความร่วมมือการบริหารจัดการขยะอันตรายชุมชนซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อร่วมมือในการจัดการขยะอันตรายชุมชน ส่งเสริมให้มีการคัดแยกขยะอันตรายชุมชนและการกำจัดขยะอันตรายชุมชนที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ และเพื่อให้การจัดการขยะอันตรายชุมชนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เกิดความคุ้มค่าตอบสนองต่อสภาพปัญหา โดยคำนึงถึงประโยชน์สูงสุดของประชาชนในพื้นที่

5.2 ผลการศึกษาการเก็บแบบสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการขยะอันตรายชุมชน

5.2.1 ข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม



รูปที่ 2 ข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากรูปที่ 2 ข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถามกลุ่มผู้นำชุมชนและกลุ่มประชาชน พบว่าส่วนมากเป็นเพศหญิง อายุของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากมีอายุ 60 ปีขึ้นไป ทำงานหรือพักอาศัยในตำบลบางกระเจ้าเป็นระยะเวลามากกว่า 10 ปี การศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากต่ำกว่าระดับมัธยมศึกษาตอนต้น และส่วนมากมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนต่ำกว่า 5,000 บาท

5.2.2 ความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการขยะอันตรายชุมชนในตำบลบางกระเจ้า

จากการสอบถามความคิดเห็นต่อประเด็นทั้ง 4 ด้าน พบว่าในด้านการประชาสัมพันธ์นั้นโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$ = 4.00, S.D. = 0.943), ($\overline{x}$ = 3.50, S.D. = 1.155) ซึ่งแปลความหมายได้ว่า กลุ่มตัวอย่างเห็นว่าในตำบลบางกระเจ้ามีการดำเนินการด้านการประชาสัมพันธ์ว่าขยะอันตรายชุมชนคืออะไร มีประเภทอะไรบ้าง ทราบถึงผลกระทบ วิธีการคัดแยกขยะอันตรายชุมชน และได้รับการประชาสัมพันธ์จุดทิ้งขยะอันตรายชุมชนผ่านสื่อช่องทางต่าง ๆ ซึ่งสอดคล้องกับที่อบต.บางกระเจ้าได้มีการติดตั้งป้ายประชาสัมพันธ์และส่งเสริมให้ประชาชนในพื้นที่คัดแยกขยะนำขยะอันตรายมาทิ้งตามจุดต่าง ๆ ในด้านการตั้งจุดรองรับขยะอันตรายชุมชน พบว่าโดยภาพรวมอยู่ในระดับมากเช่นกัน ($\overline{x}$ = 3.85, S.D. = 1.079), ($\overline{x}$ = 3.43, S.D. = 1.231) โดยกลุ่มตัวอย่างเห็นว่าในตำบลบางกระเจ้ามีการดำเนินการด้านการตั้งจุดรองรับขยะอันตรายชุมชน โดยทราบจุดตั้งภาชนะรองรับขยะอันตราย (ถังขยะสีส้ม) ในชุมชน (หมู่บ้าน) ว่ามีอย่างน้อย 1 แห่ง ซึ่งเพียงพอและเหมาะสม สอดคล้องกับที่อบต.บางกระเจ้าได้จัดตั้งภาชนะรองรับขยะอันตรายชุมชนไว้ตามหมู่บ้านอย่างน้อยหมู่บ้านละ 1 แห่ง โดยเลือกตั้งไว้ในจุดที่ที่มีประชาชนอาศัยอยู่หนาแน่นและเป็นสถานที่สำคัญ เช่น โรงเรียน หมู่บ้าน ศาลเจ้า เป็นต้น สำหรับด้านการจัดเก็บขนขยะอันตรายชุมชน ก็มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันคือภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$ = 3.52, S.D. = 0.833), ($\overline{x}$ = 3.43, S.D. = 1.193) โดยกลุ่มตัวอย่างเห็นว่าในตำบลบางกระเจ้ามีการดำเนินการด้านการจัดเก็บขนขยะอันตรายชุมชน ว่ามีการจัดเก็บขนขยะอันตรายชุมชนจากจุดทิ้งอย่างสม่ำเสมอ มีการใช้รถที่เหมาะสมแยกจากรถที่ทำการเก็บขนขยะมูลฝอยประเภทอื่นหรือใช้รถที่เก็บขนขยะมูลฝอยประเภททั่วไป/อื่น ๆ แต่มีส่วนแยกออกเฉพาะสำหรับขยะอันตราย และมีความระมัดระวังในการจัดเก็บขนขยะไม่ให้ปนเปื้อน รั่วไหล หรือส่งผลกระทบต่อชุมชน ซึ่งสอดคล้องกับที่อบต.บางกระเจ้าได้ดำเนินการเก็บรวบรวมขยะอันตรายเดือนละ 1 ครั้ง เพียงแต่ไม่ได้มียานพาหนะสำหรับเก็บขนขยะอันตรายโดยเฉพาะ และในส่วนสุดท้ายซึ่งเป็นประเด็นด้านการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนนั้นมีความแตกต่างระหว่างกลุ่มผู้นำชุมชนและกลุ่มประชาชนในพื้นที่ โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$ = 3.93, S.D. = 0.857) และอยู่ในระดับปานกลาง ($\overline{x}$ = 3.30, S.D. = 1.252) ตามลำดับ โดยกลุ่มผู้นำชุมชนมีส่วนร่วมในกิจกรรม/โครงการ/การแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดเก็บขยะอันตรายชุมชน และมีส่วนร่วมกับอบต.ในการดำเนินการจัดการขยะอันตรายชุมชน เช่น คัดแยกขยะอันตรายชุมชนทิ้งตามจุดที่จัดไว้ให้ มากกว่ากลุ่มประชาชนในพื้นที่ สอดคล้องกับทฤษฎีพฤติกรรมตามแผนของ Ajzen (1991) [13] ที่อธิบายว่าบุคคลที่มีอิทธิพลทางสังคมจะมีพฤติกรรมในเชิงบวกต่อสาธารณะ อีกทั้งผลการตอบแบบสอบถามยังคงมีความสอดคล้องกับที่อบต.บางกระเจ้าได้มีการสอบถามความคิดเห็นในกลุ่มผู้นำชุมชนและประชาชนในพื้นที่ก่อนที่จะดำเนินการตั้งจุดทิ้งขยะอันตรายชุมชนในแต่ละหมู่บ้านเพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของชุมชนมากที่สุด

5.2.3 ความคิดเห็นเกี่ยวกับปัญหาและข้อเสนอแนะในการจัดการขยะอันตรายชุมชนในตำบลบางกระเจ้า

ตารางที่ 1 ความคิดเห็นเกี่ยวกับปัญหาและอุปสรรคในการบริหารจัดการขยะอันตรายชุมชนในตำบลบางกระเจ้าของกลุ่มผู้นำชุมชนและกลุ่มประชาชนในพื้นที่

ปัญหาและอุปสรรค	กลุ่มผู้นำชุมชน (ร้อยละ)	กลุ่มประชาชนในพื้นที่ (ร้อยละ)
1. ขาดความตระหนัก/จิตสำนึกในการคัดแยกขยะก่อนทิ้ง	29.2	35.3
2. ไม่มีความรู้เกี่ยวกับการคัดแยกขยะอันตราย	25.0	25.1
3. จุดทิ้งขยะอันตรายชุมชนไม่เพียงพอ	20.8	28.3
4. เจ้าหน้าที่ไม่มีความสม่ำเสมอในการจัดเก็บขยะอันตรายชุมชน	16.7	10.4
5. อื่น ๆ	8.3	0.9

ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าความคิดเห็นเกี่ยวกับปัญหาและอุปสรรคการจัดการขยะอันตรายชุมชนของกลุ่มผู้นำชุมชนและกลุ่มประชาชนในพื้นที่มีความสอดคล้องกัน โดยให้ความสำคัญเกี่ยวกับปัญหาและอุปสรรคมาเป็นลำดับแรก คือการขาดความตระหนัก/จิตสำนึกในการคัดแยกขยะก่อนทิ้ง มีการทิ้งขยะปะปนกับขยะประเภทอื่น ๆ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pereira et al. (2025) [14] ที่พบว่าความตระหนักรู้ของประชาชนน้อยเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อันตรายในครัวเรือน สำหรับปัญหาและอุปสรรคอื่น ๆ เช่น การไม่มีความรู้เกี่ยวกับการคัดแยกขยะอันตราย จุดทิ้งขยะอันตรายชุมชนไม่เพียงพอ เจ้าหน้าที่ไม่มีความสม่ำเสมอในการจัดเก็บ ไม่มีป้ายบ่งบอกสัญลักษณ์ที่ชัดเจน กลุ่มผู้สูงอายุไม่มีความรู้ กฎหมายอ่อน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Roy et al. (2022) [15] ที่สรุปว่าปัญหาของการจัดการขยะอันตรายคือไม่มีกฎหมายที่เหมาะสมหรือข้อบังคับเฉพาะในการควบคุม และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Inglezakis and Moustakas (2015) [16] ที่ระบุว่าไม่มีข้อบังคับเฉพาะที่ควบคุมเกี่ยวกับการจัดการขยะอันตรายในครัวเรือน หรือถึงแม้จะมีข้อกำหนดดังกล่าว การบังคับใช้ยังคงมีข้อจำกัด

สำหรับความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อเสนอแนะเพื่อให้การจัดการขยะอันตรายชุมชนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ของกลุ่มผู้นำชุมชนและกลุ่มประชาชนในพื้นที่มีความสอดคล้องกัน โดยให้ความสำคัญเกี่ยวกับการส่งเสริมการจัดกิจกรรม/โครงการที่สร้างความตระหนัก/จิตสำนึกในการคัดแยกขยะก่อนทิ้งมาเป็นลำดับแรก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pereira et al. (2025) [14] ที่สรุปว่าควรมีการรณรงค์สร้างความตระหนักรู้เกี่ยวกับความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพที่มาจากขยะอันตรายชุมชน รองลงมาความคิดเห็นของกลุ่มผู้นำชุมชนเสนอแนะในด้านการส่งเสริมการจัดกิจกรรม/โครงการให้ความรู้และการสร้างความสม่ำเสมอ/เพิ่มความถี่ในการจัดเก็บขยะ แต่ความคิดเห็นของกลุ่มประชาชนในพื้นที่ให้ข้อเสนอแนะในลำดับรองลงมาคือการเพิ่มจำนวนจุดทิ้งขยะอันตรายชุมชน สำหรับข้อเสนอแนะอื่น ๆ เช่น การให้ความรู้ความเข้าใจโดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุ การประชาสัมพันธ์ให้ทั่วถึง การออกระเบียบ/กฎหมาย/ข้อบังคับเพื่อแก้ไขปัญหา เป็นต้น

5.3 ผลการทดสอบสมมติฐาน

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบสมมติฐานตามปัจจัยต่าง ๆ

ความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการขยะอันตรายชุมชน ในตำบลบางกระเจ้า	P - value		
	ปัจจัยทางอายุ	ปัจจัยทางสถานที่ในการทำงานหรือพักอาศัยในตำบลบางกระเจ้า	ปัจจัยทางระดับการศึกษา
1. ท่านได้รับการประชาสัมพันธ์และทราบว่าขยะอันตรายชุมชนคืออะไร และมีประเภทอะไรบ้าง	0.110	0.132	0.010*
2. ท่านได้รับการประชาสัมพันธ์ สร้างความรับรู้ ความเข้าใจถึงผลกระทบและวิธีการคัดแยกขยะอันตรายชุมชน	0.123	0.373	0.049*
3. ท่านได้รับการประชาสัมพันธ์จุดทิ้งขยะอันตรายชุมชนผ่านสื่อช่องทางต่าง ๆ	0.077	0.394	0.008*
4. ท่านทราบจุดตั้งภาชนะรองรับขยะอันตราย (ถังขยะสีส้ม) ในตำบลบางกระเจ้า	0.006*	0.003*	0.107
5. ชุมชน (หมู่บ้าน) ของท่านมีการจัดตั้งภาชนะรองรับขยะอันตรายชุมชน อย่างน้อย 1 แห่ง	0.061	0.023*	0.067
6. ชุมชน (หมู่บ้าน) ของท่านมีการจัดตั้งภาชนะรองรับขยะอันตรายชุมชน อย่างเพียงพอและเหมาะสม	0.008*	0.220	0.005*
7. ชุมชนของท่านมีการจัดเก็บขนขยะอันตรายชุมชนจากจุดทิ้งอย่างสม่ำเสมอ	0.002*	0.044*	0.001*
8. ชุมชนของท่านมีการจัดเก็บขนขยะอันตรายชุมชน โดยใช้รถที่เหมาะสมแยกจากรถที่ทำการเก็บขนขยะมูลฝอยประเภทอื่น หรือใช้รถที่เก็บขนขยะมูลฝอยประเภททั่วไป/อื่น ๆ แต่มีส่วนแยกออกเฉพาะสำหรับขยะอันตราย	0.017*	0.059	0.005*
9. หน่วยงานในชุมชนของท่านที่ทำการเก็บขนขยะอันตราย มีความระมัดระวังในการจัดเก็บขนขยะไม่ให้ปนเปื้อน รั่วไหล หรือส่งผลกระทบต่อชุมชน	0.000*	0.186	0.005*
10. ท่านมีส่วนร่วมในกิจกรรมหรือโครงการเกี่ยวกับการจัดการขยะอันตรายชุมชน	0.106	0.075	0.025*

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบสมมติฐานตามปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

ความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการขยะอันตรายชุมชน ในตำบลบางกระเจ้า	P - value		
	ปัจจัยทางอายุ	ปัจจัยทางสถานที่ในการทำงานหรือพักอาศัยในตำบลบางกระเจ้า	ปัจจัยทางระดับการศึกษา
11. ท่านมีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดเก็บขยะอันตรายชุมชน	0.084	0.006*	0.036*
12. ท่านมีส่วนร่วมกับอบต.ในการดำเนินการจัดการขยะอันตรายชุมชน เช่น คัดแยกขยะอันตรายชุมชนทิ้งตามจุดที่อบต.จัดไว้ให้	0.215	0.005*	0.505

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

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทางอายุมีความสัมพันธ์กับระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการขยะอันตรายในด้านการตั้งจุดรองรับขยะอันตรายชุมชนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยทราบถึงจุดที่ตั้งภาชนะรองรับ (ข้อ 4 และ ข้อ 6) และทราบรายละเอียดของการจัดเก็บ (ข้อ 7 ถึงข้อ 9) จากการที่ปัจจัยทางอายุมีความสัมพันธ์กับประเด็นต่าง ๆ ข้างต้นอาจเนื่องมาจากกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามส่วนมากมีอายุ 60 ปีขึ้นไป เป็นกลุ่มที่ส่วนใหญ่อยู่ติดบ้านจึงทำให้รับรู้การดำเนินงานในพื้นที่

ปัจจัยทางสถานที่ในการทำงานหรือพักอาศัยในตำบลบางกระเจ้ามีความสัมพันธ์กับระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการขยะอันตรายในด้านการตั้งจุดรองรับขยะอันตรายชุมชนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยทราบถึงจุดที่ตั้งภาชนะรองรับ (ข้อ 4 และ ข้อ 5) ด้านการจัดเก็บขนขยะอันตรายชุมชน โดยทราบรายละเอียดของการจัดเก็บ (ข้อ 7) และด้านการส่งเสริมการมีส่วนร่วม (ข้อ 11 และ ข้อ 12) การที่ปัจจัยทางสถานที่ในการทำงานหรือพักอาศัยมีความสัมพันธ์กับประเด็นต่าง ๆ เนื่องจากการเป็นคนในพื้นที่ทำให้มองเห็นการดำเนินงานการจัดการขยะอันตรายชุมชนรวมถึงการมีส่วนร่วมด้วย

ปัจจัยทางระดับการศึกษามีความสัมพันธ์กับระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการขยะอันตรายชุมชนในด้านการประชาสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยได้รับการประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับการจัดการขยะอันตราย (ข้อ 1 ถึงข้อ 3) ด้านการตั้งจุดรองรับขยะอันตรายชุมชน (ข้อ 6) ด้านการจัดเก็บขนขยะอันตรายชุมชน (ข้อ 7 ถึงข้อ 9) และมีส่วนร่วมในการจัดการขยะอันตรายชุมชน (ข้อ 10 และ ข้อ 11) จะเห็นว่าปัจจัยทางระดับการศึกษามีความสัมพันธ์กับประเด็นต่าง ๆ มากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Safari et al. (2018) [17] ที่ระบุว่าการศึกษามีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อระดับความตระหนักรู้ ส่งผลให้เกิดพฤติกรรมการแสดงออกทางสังคมได้อย่างเหมาะสม ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ปัจจัยทางอายุไม่มีความสัมพันธ์กับความคิดเห็นเกี่ยวกับปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะในการจัดการขยะอันตรายชุมชน ส่วนปัจจัยทางสถานที่ในการทำงานหรือพักอาศัยและปัจจัยทางระดับการศึกษามีความสัมพันธ์กับความคิดเห็นเกี่ยวกับปัญหาอุปสรรคในประเด็นเดียวกัน คือการที่เจ้าหน้าที่ไม่มีความสม่ำเสมอในการจัดเก็บขยะอันตรายชุมชน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 บ่งบอกได้ว่าคนในพื้นที่สามารถมองเห็นและเข้าใจปัญหาได้อย่างชัดเจน สำหรับข้อเสนอแนะปัจจัยทางระดับการศึกษามีความสัมพันธ์กับความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อเสนอแนะในการจัดการขยะอันตรายชุมชน เรื่องการสร้างความสม่ำเสมอ/เพิ่มความถี่ในการจัดเก็บขยะอันตรายชุมชน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงให้เห็นว่าการศึกษาส่งผลโดยตรงต่อการคิดวิเคราะห์ การเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งบ่งบอกถึงการรับรู้ปัญหาและสามารถเสนอแนะแนวทางการแก้ไขเพื่อการปรับปรุงพัฒนาต่อไปได้

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าตำบลบางกระเจ้าจะมีการจัดการขยะอันตรายชุมชนในพื้นที่ มีกระบวนการตามขั้นตอนเก็บขนรวบรวมนำไปกำจัด แต่ยังคงพบปัญหาประชาชนในพื้นที่คัดแยกขยะมูลฝอยตามประเภทไม่มากเท่าที่ควร โดยความคิดเห็นเกี่ยวกับการบริหารจัดการขยะอันตรายชุมชนในตำบลบางกระเจ้า ณ ปัจจุบัน ของกลุ่มผู้นำชุมชนเห็นด้วยทุกด้านในระดับมาก กลุ่มประชาชนเห็นด้วยระดับมากในด้านการประชาสัมพันธ์ ด้านการตั้งจุดรองรับขยะอันตรายชุมชน ด้านการจัดเก็บขนขยะอันตรายชุมชน ส่วนด้านการส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนในระดับปานกลาง ในส่วนของความ

คิดเห็นเกี่ยวกับปัญหาอุปสรรคในการบริหารจัดการขยะอันตรายชุมชนในตำบลบางกระเจ้าของกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสองกลุ่มให้ความเห็นตรงกันว่าปัญหาลำดับแรก คือการขาดความตระหนัก/จิตสำนึกในการคัดแยกขยะก่อนทิ้ง มีการทิ้งขยะปะปนกับขยะประเภทอื่น ๆ และมีข้อเสนอแนะที่สอดคล้องกันคือควรส่งเสริมการจัดกิจกรรม/โครงการที่สร้างความตระหนัก/จิตสำนึกในการคัดแยกขยะก่อนทิ้ง สำหรับข้อเสนอแนะอื่น ๆ เช่น การส่งเสริมการจัดกิจกรรม/โครงการให้ความรู้เกี่ยวกับการจัดการขยะอันตรายชุมชน การเพิ่มจำนวนจุดทิ้งขยะอันตรายชุมชน การสร้างความสม่ำเสมอ/เพิ่มความถี่ในการจัดเก็บขยะอันตรายชุมชน การสร้างแรงจูงใจในการคัดแยกขยะ การประชาสัมพันธ์ให้ทั่วถึง การให้ความรู้โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุ การออกระเบียบ/กฎหมาย/ข้อบังคับ เป็นต้น สอดคล้องกับแผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะของประเทศ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2565 - 2570) ที่กำหนดให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นทุกแห่งออกข้อบัญญัติท้องถิ่นในการจัดการขยะตั้งแต่การคัดแยกที่ต้นทางจนถึงการกำจัดและบังคับใช้อย่างเข้มงวด รวมถึงจัดทำองค์ความรู้ และเผยแพร่ประชาสัมพันธ์เพื่อสร้างความรู้ ความตระหนักของประชาชนในการจัดการขยะมูลฝอยและขยะอันตรายตั้งแต่ต้นทางอย่างต่อเนื่อง และสอดคล้องกับแผนปฏิบัติการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน “จังหวัดสะอาด” ประจำปี พ.ศ. 2567 ตามเป้าประสงค์ข้อ (8) ประชาชนในพื้นที่มีความตระหนักและเข้าใจในการจัดการขยะที่ต้นทางเพิ่มขึ้น เพื่อลดปัญหางบประมาณในการจัดการผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการเกิดก๊าซเรือนกระจก และปัจจัยสำคัญต่อการนำมาวางแผนบริหารจัดการการจัดการขยะอันตรายชุมชน คือปัจจัยด้านระดับการศึกษามีขนาดความสัมพันธ์กับความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการขยะอันตรายชุมชนมากที่สุด ดังนั้นการส่งเสริมการมีส่วนร่วมโดยใช้กลไกทางการศึกษาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการได้ โดยเริ่มต้นจากการส่งเสริมความรู้ให้กับเด็กและเยาวชนในโรงเรียนซึ่งเป็นรากฐานสำคัญในการปลูกฝังจิตสำนึกและพฤติกรรมระยะยาว รวมทั้งการขอความร่วมมือจากผู้นำชุมชนซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการสร้างความตระหนักรู้และการเป็นต้นแบบที่ดี เพื่อให้การจัดการขยะอันตรายในชุมชนมีความยั่งยืนและสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 11 ทำให้บ้านเมืองและการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์มีความครอบคลุม ปลอดภัย ยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงและยั่งยืน เป้าหมายย่อย 11.6 การให้ความสำคัญกับการจัดการขยะมูลฝอย และเป้าหมายที่ 12 สร้างหลักประกันให้มีแบบแผนการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน เป้าหมายย่อย 12.4 บรรลุเรื่องการจัดการสารเคมีและของเสียทุกชนิดฯ

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2568). *รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2567*. บริษัท เอพี คอนเน็กซ์ จำกัด. https://www.pcd.go.th/publication

[2] Xi, B., Yang, T., Zhao, R., Jing, L., Gong, T., Huang, Q., & Hou, L. a. (2022). Hazardous Waste Management in the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area. *Engineering*, *8*, 25-28. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.08.009

[3] (UNITAR), T. U. N. I. f. T. a. R. *The global E-waste Monitor 2024 – Electronic Waste Rising Five Times Faster than Documented E-waste Recycling: UN*. https://ewastemonitor.info/the-global-e-waste-monitor-2024/

[4] สำนักงานจังหวัดสมุทรสาคร. (ม.ป.ป.). *ข้อมูลทั่วไปจังหวัด*. https://www.samutsakhon.go.th/_new/content/general

[5] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2568). *ผลิตภัณฑ์ภาคและจังหวัด ฉบับ พ.ศ. 2566*. https://www.nesdc.go.th/info/gross-regional-and-provincial-product

[6] องค์การบริหารส่วนตำบลบางกระเจ้า. (ม.ป.ป.). ข้อมูลอบต. https://bangkrachao.go.th

[7] กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม องค์การบริหารส่วนตำบลบางกระเจ้า. (2567). *รายงานผลการจัดการขยะอันตรายชุมชนในเขตพื้นที่ตำบลบางกระเจ้า ประปีงบประมาณพ.ศ. 2567*.

[8] กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม องค์การบริหารส่วนตำบลบางกระเจ้า. (2568). *รายงานผลการจัดการขยะอันตรายชุมชนในเขตพื้นที่ตำบลบางกระเจ้า ประปีงบประมาณพ.ศ. 2568*.

[9] สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง. (2567). *สถิติประชากรทางการทะเบียนราษฎร*. https://stat.bora.dopa.go.th

[10] บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์. (2540). *ระเบียบวิธีการวิจัยทางสังคมศาสตร์*. กรุงเทพฯ: ภาคการศึกษาศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

[11] Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A.-G. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods* (39), 175-191.

[12] Cohen, J. (1977). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2013-0-10517-X

[13] Ajzen, I. (1991). The Theory of Planned Behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes,* 50, 179-211. https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T

[14] Pereira, C., Ramos, M., & Martinho, G. (2025). Key factors to improve the management of household hazardous waste. *Journal of Environmental Management*, *393*, 126940. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126940

[15] Roy, H., Islam, M. S., Haque, S., & Riyad, M. H. (2022). Electronic waste management scenario in Bangladesh: policies, recommendations, and case study at Dhaka and Chittagong for a sustainable solution. *Sustainable Technology and Entrepreneurship*, 1(3), 100025. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.stae.2022.100025

[16] Inglezakis, V. J., & Moustakas, K. (2015). Household hazardous waste management: A review. *Journal of Environmental Management*, *150*, 310-321. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.021

[17] Safari, Y., Karimyan, K., Gupta, V. K., Ziapour, A., Moradi, M., Yoosefpour, N., Akhlaghi, M., & Sharafi, H. (2018). A study of staff' s awareness and attitudes towards the importance of household hazardous wastes (HHW) management (A Case Study of Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran). *Data in Brief*, *19*, 1490-1497. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.06.022

การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ของแนวโน้มความเค็มในน้ำบาดาล พื้นที่อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม

ทิพวารี ศรีทองดี[1*] และ ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์[1,2]

[1]ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
[2]สถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
**Corresponding author: thipwaree1615@gmail.com*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มค่าความเค็มของน้ำบาดาลในพื้นที่อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม ซึ่งเป็นพื้นที่ใช้น้ำบาดาลเป็นแหล่งน้ำหลัก และประสบปัญหาคุณภาพน้ำบาดาลอย่างต่อเนื่อง เนื่องมาจากสภาพทางอุทกธรณีวิทยาที่รองรับด้วยชั้นหินให้น้ำภูทอกต่อเนื่องกับชั้นหินให้น้ำมหาสารคาม ซึ่งมีชั้นเกลือหิน (NaCl) แทรกสลับอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน ปัจจุบันพบว่าคุณภาพน้ำบาดาลในพื้นที่มีแนวโน้มค่าสารละลายในน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS) เพิ่มสูงขึ้น

การวิเคราะห์มุ่งเน้นการศึกษาข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล โดยวิเคราะห์ค่า TDS ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับค่าคลอไรด์ (Cl) ที่สะท้อนอิทธิพลของชั้นเกลือหินในพื้นที่ศึกษา การศึกษานี้ใช้วิธีการทางสถิติระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จัดการ วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ ในรูปแบบแผนที่การกระจายตัวของความเค็มในน้ำบาดาล ร่วมกับการ จัดทำแผนภูมิไปเปอร์ (Piper Diagram) เพื่อจำแนกชนิดของน้ำบาดาล ผลการศึกษาพบว่า การกระจายตัวของความเค็มในน้ำบาดาลมีแนวโน้มกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างมากขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่ลุ่มต่ำที่มีการสูบใช้น้ำบาดาลอย่างหนาแน่น และมีชั้นเกลือหินแทรกตัวอยู่ในระดับตื้น ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และช่วงฤดูกาลแสดงให้เห็นถึงการรุกล้ำของน้ำบาดาลเค็มที่ถูกกระตุ้นจากการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้เกินสมดุล ผลการวิจัยนำไปสู่การวิเคราะห์แนวโน้มการกระจายตัวของความเค็มในน้ำบาดาล เพื่อเน้นย้ำถึงความสำคัญของการติดตามตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และเป็นฐานข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับกำหนดนโยบายการบริหารจัดการน้ำบาดาลอย่างเร่งด่วน เพื่อรักษาความยั่งยืนของแหล่งทรัพยากรน้ำบาดาลในระยะยาว

คำสำคัญ: ความเค็มในน้ำบาดาล / สารละลายในน้ำทั้งหมด / ชั้นเกลือหิน / คลอไรด์ / ชั้นหินให้น้ำภูทอก

Spatial analysis of groundwater salinity trends Chiang Yuen District, Maha Sarakham Province, Thailand

Thipwaree Srithongdee[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: thipwaree1615@gmail.com*

Abstract

This study aims to analyze trends in groundwater salinity in Chiang Yuen District, Maha Sarakham Province, where groundwater is the primary source of water supply and persistent groundwater quality problems. The hydrogeological setting of the study area consists of the Phu Thok aquifer system overlying the Maha Sarakham aquifer, within which rock salt (NaCl) layers are interbedded in close proximity. At present, groundwater quality in the study area shows an increasing trend in total dissolved solids (TDS).

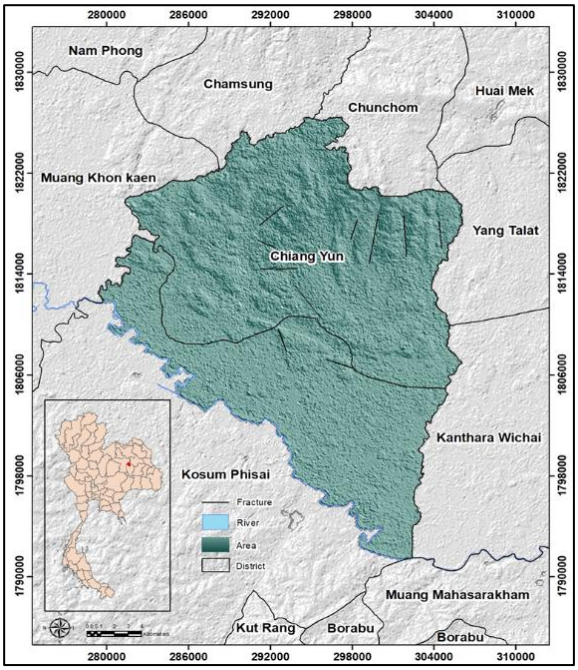
The analysis focuses on groundwater quality data, particularly total dissolved solids (TDS), which show a statistically significant correlation with chloride (Cl) concentrations, reflecting the influence of rock salt layers within the study area. This study applied statistical methods integrated with Geographic Information Systems (GIS) to manage, analyze, and spatially visualize the data in the form of groundwater salinity distribution maps. In addition, a Piper Diagram was constructed to classify groundwater types based on their hydrochemical characteristics. The findings show an expansion of saline groundwater, especially in low-lying zones characterized by intensive groundwater abstraction and the presence of shallow rock salt layers. The observed spatial and seasonal relationships highlight the progression of saline groundwater intrusion induced by groundwater overexploitation. The findings provide a basis for evaluating trends in saline groundwater distribution, emphasizing the importance of continuous monitoring and serving as a spatial database for the urgent development of groundwater management policies to ensure the long-term sustainability of groundwater resources.

Keywords: Groundwater Salinity / Total Dissolved Solids/ rock salt layers/ chloride/ Phu Thok aquifer

1. บทนำ

ความต้องการใช้น้ำของประเทศไทย ทั้งด้านอุปโภคบริโภค เกษตรกรรม และ อุตสาหกรรม มีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี [1] โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีแหล่งน้ำผิวดินไม่เพียงพอ ทำให้มีการสูบน้ำบาดาลมาใช้ประโยชน์มากขึ้น ปัญหาหลัก คือ คุณภาพน้ำบาดาลกร่อยถึงเค็ม ที่เกิดจากปัจจัยทางธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยพื้นที่ส่วนใหญ่รองรับด้วยกลุ่มหินโคราช ที่มีหมวดหินภูทอกและหมวดหินมหาสารคามรองรับอยู่ ซึ่งเป็นชั้นหินที่มีเกลือหินแทรกตัวอยู่ พื้นที่บางแห่งจึงพบน้ำบาดาลกร่อยถึงเค็ม โดยเฉพาะบริเวณที่มีชั้นเกลือหินแทรกตัวในระดับตื้นๆ [2] ทำให้พื้นที่ศึกษามีข้อจำกัดในการพัฒนาน้ำบาดาลมาใช้ประโยชน์ หากมีการพัฒนาใช้น้ำบาดาลจนเกินสมดุลหรือเกินศักยภาพของแหล่งน้ำบาดาล อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการรุกตัวหรือกระจายตัวของน้ำบาดาลเค็มในอนาคตได้ [3]

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ในอำเภอเชียงยืน และบางส่วนของอำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม ครอบคลุมพื้นที่ 500 ตารางกิโลเมตร (รูปที่ 1) เป็นส่วนหนึ่งของแอ่งน้ำบาดาลนครราชสีมา-อุบลราชธานี และลุ่มน้ำชี เป็นพื้นที่สำคัญในการทำเกษตรกรรมของจังหวัดมหาสารคาม แต่มักประสบกับปัญหาขาดแคลนน้ำ และมีแนวโน้มขยายวงกว้างอย่างต่อเนื่อง ประชาชนอาศัยใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งด้านการอุปโภค บริโภค และเกษตรกรรม จากลำห้วย หนอง คลอง บึง ตามธรรมชาติ ซึ่งแหล่งกักเก็บน้ำเหล่านี้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำมาตลอดโดยเฉพาะในฤดูแล้ง จึงมีการนำน้ำบาดาลมาใช้ประโยชน์มากขึ้นทุกปี ซึ่งในพื้นที่ดังกล่าวส่วนใหญ่เป็นน้ำบาดาลที่มีคุณภาพกร่อยถึงเค็ม แหล่งความเค็มหลักมาจากชั้นเกลือหินในหมวดหินมหาสารคามที่แทรกตัวอยู่ใต้พื้นดิน ทำให้พบทั้งพื้นที่ดินเค็มและพื้นที่น้ำบาดาลกร่อยถึงเค็ม [4] การไหลของน้ำบาดาลเป็นสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงและการกระจายความเค็ม [5] จึงเป็นพื้นที่ที่น่าสนใจในการศึกษาหาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของการรุกล้ำของน้ำบาดาลเค็ม เพื่อเน้นย้ำถึงความสำคัญของการติดตามตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง และเป็นฐานข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับกำหนดนโยบายการบริหารจัดการน้ำบาดาลอย่างเร่งด่วน เพื่อรักษาความยั่งยืนของแหล่งทรัพยากรน้ำบาดาลในระยะยาว



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา

2. วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มค่าความเค็มของน้ำบาดาลในพื้นที่อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ค่าความเค็มของน้ำบาดาลในพื้นที่อำเภอเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม โดยศึกษาข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล โดยใช้วิธีการทางสถิติระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จัดการ วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ ในรูปแบบแผนที่การกระจายตัวของความเค็มในน้ำบาดาล ร่วมกับการจัดทำแผนภูมิไปเปอร์ (Piper Diagram) เพื่อจำแนกชนิดของน้ำบาดาล

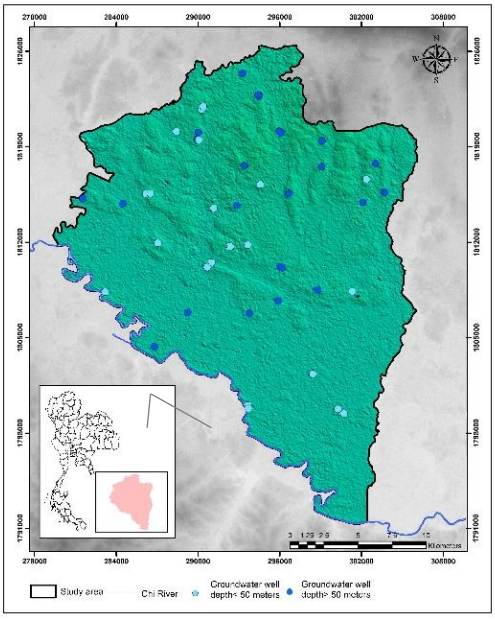
4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวม วิเคราะห์ข้อมูลน้ำบาดาลย้อนหลัง

ศึกษา รวบรวม วิเคราะห์ข้อมูลน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ ข้อมูลแผนที่น้ำบาดาล จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ปี พ.ศ. 2553 ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลย้อนหลัง ปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2565 เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละช่วงเวลา และหาแนวโน้มคุณภาพภาพน้ำบาดาล

4.2 สำรวจข้อมูลบ่อน้ำบาดาลเชิงพื้นที่

จากการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลน้ำบาดาลย้อนหลังในพื้นที่ศึกษา พบว่าข้อมูลที่มีอยู่ยังมีความละเอียดไม่เพียงพอ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการสำรวจภาคสนามเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและครอบคลุมมากยิ่งขึ้น การสำรวจภาคสนามประกอบด้วย การตรวจวัดระดับน้ำบาดาล การบันทึกความลึกของบ่อน้ำบาดาล ตลอดจนการตรวจวัดพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในภาคสนาม ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะ (Electrical Conductivity: EC) และค่า TDS โดยได้กำหนดแผนการลงพื้นที่สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวน 48 บ่อน้ำบาดาล 3 ครั้ง ภายในระยะเวลา 1 ปี (รูปที่ 2) เพื่อให้สามารถติดตามแนวโน้มและความแปรผันของข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะท้อนสภาพทางอุทกธรณีวิทยาใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด



รูปที่ 2 ตำแหน่งสำรวจข้อมูลบ่อน้ำบาดาล

4.3 จำแนกชนิดของน้ำบาดาล

จำแนกหาชนิดของน้ำบาดาล โดยใช้แผนภูมิไปเปอร์ (Piper Diagram) และหาความสัมพันธ์ของค่า TDS ที่สะท้อนอิทธิพลของชั้นเกลือหินในพื้นที่ศึกษา

4.4 วิเคราะห์ค่าความเค็มของน้ำบาดาล

วิเคราะห์ค่าความเค็มของน้ำบาดาล โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จัดการ วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยใช้ข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ได้แก่ ข้อมูลแผนที่น้ำบาดาล ปี พ.ศ. 2553 ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลย้อนหลัง ปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2565 และข้อมูลจากการลงพื้นที่สำรวจ ปี 2567-2568

โดยคุณภาพของน้ำบาดาล อ้างอิงจากค่ามาตรฐานของ TDS จากแผนที่น้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล [6] โดยกำหนด

1) ค่า TDS อยู่ระหว่าง 0-500 mg/l จัดเป็นน้ำคุณภาพดี สามารถนำมาอุปโภคบริโภคได้

2) ค่า TDS อยู่ระหว่าง 500 - 1,500 mg/l จัดเป็นน้ำคุณภาพปานกลาง-กร่อย สามารถนำมาอุปโภค หรือปลูกพืชได้บางชนิด

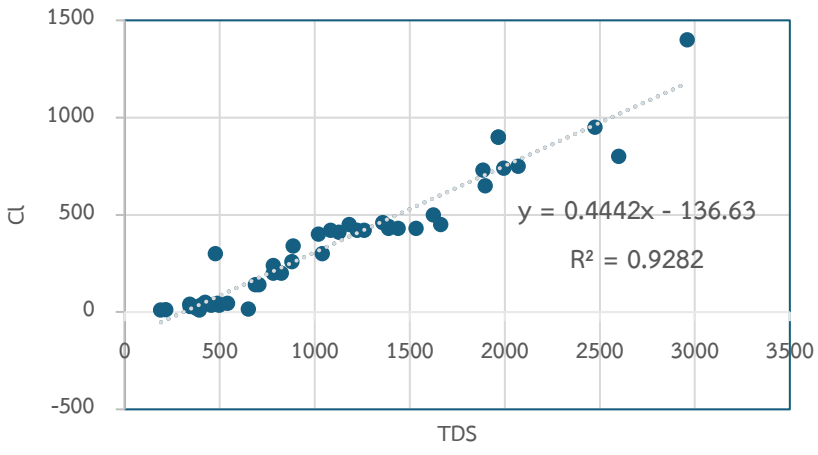
3) ค่า TDS มากกว่า 1,500 mg/l จัดเป็นน้ำคุณภาพกร่อย-เค็ม

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำบาดาลย้อนหลัง

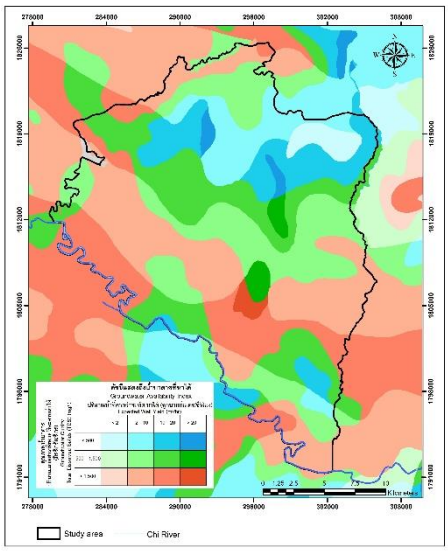
โดยวิเคราะห์ข้อมูลน้ำบาดาลย้อนหลัง โดยใช้ข้อมูลแผนที่น้ำบาดาล ฉบับล่าสุด จากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ปี พ.ศ. 2553 และข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลย้อนหลัง ปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2565

วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า TDS กับ ค่า Cl โดยใช้ใช้สมการถดถอยเชิงเส้นและพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2: Coefficient of Determination) [7] ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า R^2 อยู่ในระดับสูง ค่าใกล้ 1 (รูปที่ 3) สะท้อนให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ชัดเจนระหว่างค่า TDS และค่า Cl ซึ่งบ่งชี้ถึงอิทธิพลของชั้นเกลือหินในพื้นที่ศึกษา

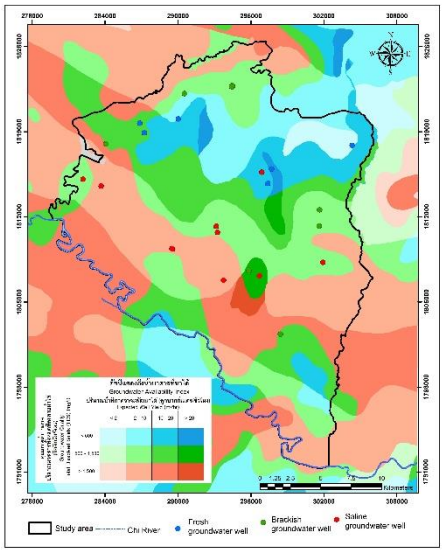


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TDS กับ ค่า Cl

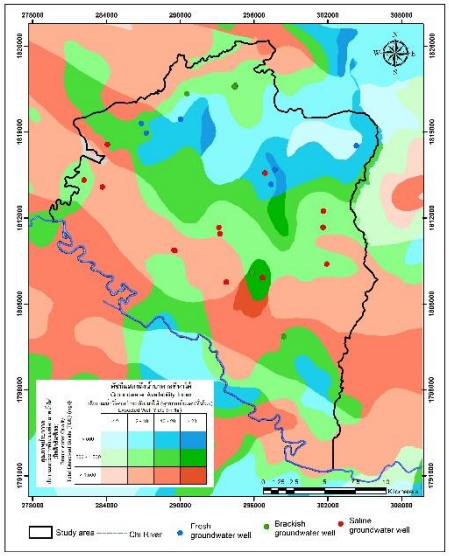
วิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลย้อนหลัง โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จัดการ วิเคราะห์ หาแนวโน้มคุณภาพน้ำบาดาล พบว่า จากข้อมูลแผนที่น้ำบาดาล ปี พ.ศ. 2553 บริเวณตอนเหนือของพื้นที่ศึกษา ซึ่งแสดงเป็นโทนสีฟ้า บ่งชี้ว่าน้ำบาดาลในบริเวณดังกล่าวมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี (รูปที่ 4 (ก)) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาลในปี พ.ศ. 2560 (รูปที่ 4 (ข)), 2562 (รูปที่ 4 (ค)) และ 2565 (รูปที่ 4 (ง)) พบว่า คุณภาพน้ำบาดาลมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่มีความกร่อยเค็มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละช่วงเวลา อีกทั้งพื้นที่การกระจายตัวของน้ำกร่อยเค็มยังขยายตัวครอบคลุมเป็นบริเวณกว้างมากยิ่งขึ้น



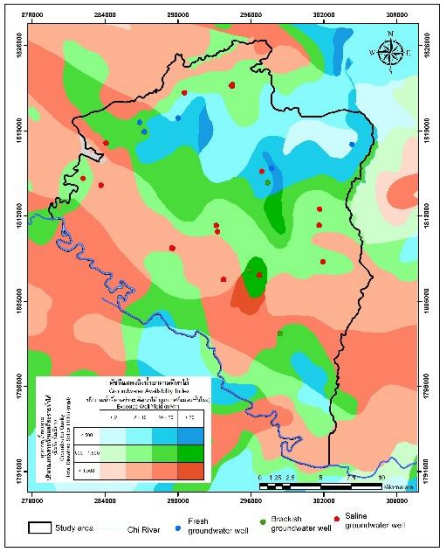
(ก) ข้อมูลแผนที่น้ำบาดาล ปี พ.ศ.2553



(ข) ข้อมูลแผนที่คุณภาพน้ำบาดาล ปี พ.ศ.2560



(ค) ข้อมูลแผนที่คุณภาพน้ำบาดาล ปี พ.ศ.2562



(ง) ข้อมูลแผนที่คุณภาพน้ำบาดาล ปี พ.ศ.2565

รูปที่ 4 แสดง (ก) ข้อมูลแผนที่น้ำบาดาล ปี พ.ศ.2553 (ข) ข้อมูลแผนที่คุณภาพน้ำบาดาล ปี พ.ศ.2560 (ค) ข้อมูลแผนที่คุณภาพน้ำบาดาล ปี พ.ศ. 2562 (ง) ข้อมูลแผนที่คุณภาพน้ำบาดาล ปี พ.ศ.2565

5.2 ผลการจำแนกชนิดของน้ำบาดาล

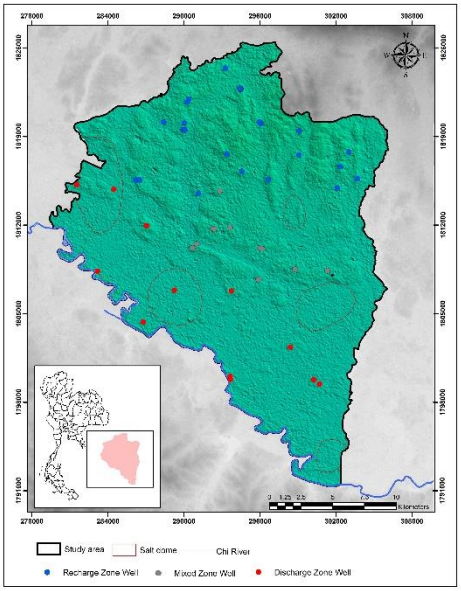
โดยใช้ข้อมูลบ่อน้ำบาดาลเชิงพื้นที่จากการสำรวจและตรวจวัดค่า TDS ในพื้นที่ศึกษา จำนวน 48 บ่อ ซึ่งครอบคลุมทั้งพื้นที่รับน้ำ (Recharge Area) พื้นที่รอยต่อระหว่างพื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำ (Mixed Area) และพื้นที่สูญเสียน้ำ (Discharge Area) (รูปที่ 5 (ก)) ได้ทำการจำแนกชนิดของน้ำบาดาลด้วยแผนภูมิไปเปอร์ (Piper Diagram) ผลการวิเคราะห์พบว่า

บริเวณพื้นที่รับน้ำ (Recharge Area) ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่สูง น้ำบาดาลส่วนใหญ่จัดอยู่ในประเภทแคลเซียมไบคาร์บอเนต ($Ca(HCO_3)_2$) สะท้อนถึงน้ำที่ได้รับการเติมโดยตรงจากน้ำฝนและน้ำผิวดิน และยังไม่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนกับแร่ธาตุในชั้นหินอย่างมีนัยสำคัญ

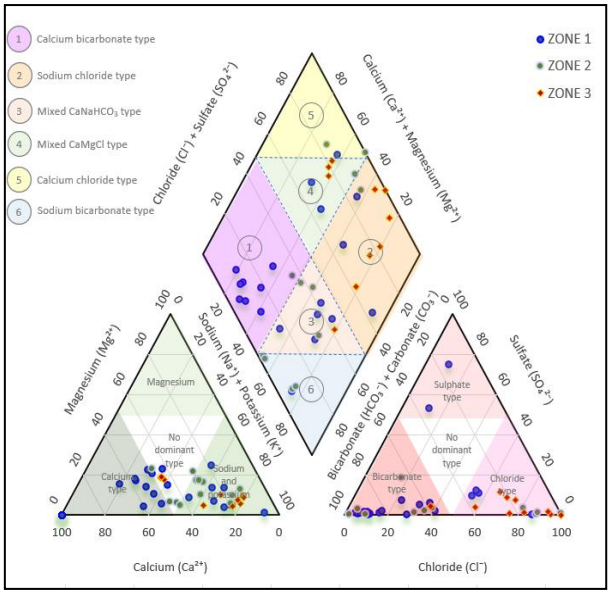
ในบริเวณพื้นที่รอยต่อระหว่างพื้นที่รับน้ำและพื้นที่สูญเสียน้ำ (Mixed Area) พบว่าน้ำบาดาลส่วนใหญ่เป็นประเภทมิกแคลเซียม-โซเดียมไบคาร์บอเนต ($Ca(HCO_3)_2$+$NaHCO_3$) ซึ่งบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำอันเนื่องมาจากกระบวนการทางธรณีเคมี เช่น การแลกเปลี่ยนไอออน และการละลายของแร่ธาตุในชั้นหิน ในระดับหนึ่ง (รูปที่ 5 (ข))

ขณะที่บริเวณพื้นที่สูญเสียน้ำ (Discharge Area) น้ำบาดาลส่วนใหญ่จัดอยู่ในประเภทโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) แสดงถึงการผ่านกระบวนการทางเคมีอย่างต่อเนื่องและยาวนาน และได้รับอิทธิพลโดยตรงจากแหล่งเกลือหินหรือโดมเกลือในพื้นที่ศึกษา [8]

ผลการจำแนกดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงพัฒนาการทางอุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาลตามทิศทางการไหล สอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศ ตั้งแต่พื้นที่รับน้ำไปจนถึงพื้นที่สูญเสียน้ำอย่างชัดเจน



(ก) ตำแหน่งเก็บข้อมูลบ่อน้ำบาดาล



(ข) Piper Diagram

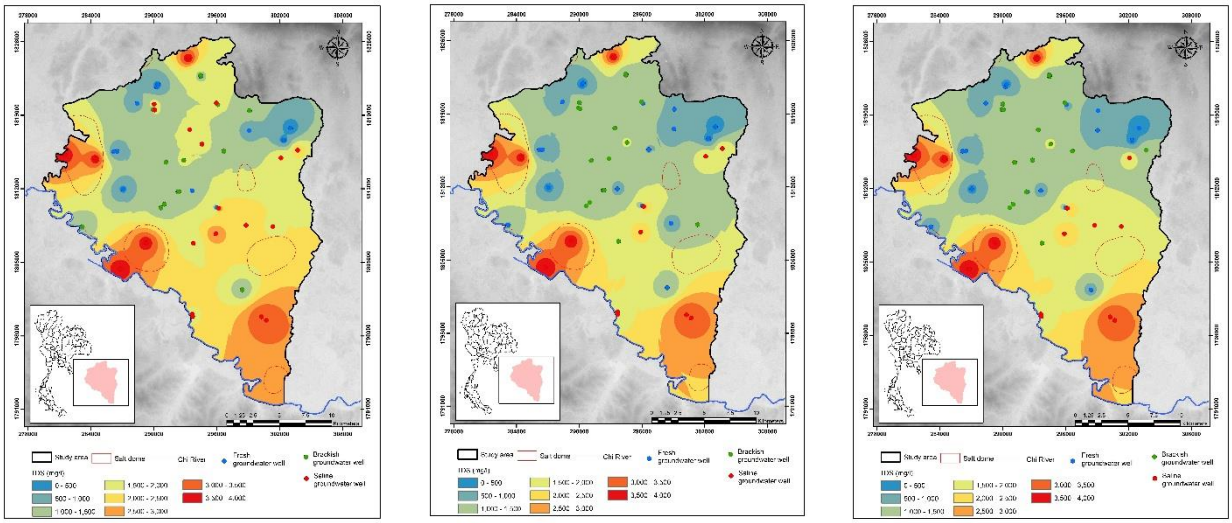
รูปที่ 5 แสดง (ก) ตำแหน่งเก็บข้อมูลบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่รับน้ำ พื้นที่รอยต่อ และพื้นที่สูญเสียน้ำ (ข) Piper Diagram

5.3 ผลการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลบ่อน้ำบาดาลเชิงพื้นที่

โดยอาศัยข้อมูลบ่อน้ำบาดาลเชิงพื้นที่จากการสำรวจและตรวจวัดค่า TDS จำนวน 48 บ่อ ในพื้นที่ศึกษา ได้กำหนดแผนการลงพื้นที่เก็บรวบรวมข้อมูลจำนวน 3 ครั้ง ภายในระยะเวลา 1 ปี โดยแบ่งตามฤดูกาล ได้แก่ ฤดูแล้ง (ต้นเดือนพฤษภาคม 2567) ฤดูฝน (เดือนกันยายน 2567) และฤดูหนาว (เดือนมกราคม 2568) ทั้งนี้เพื่อให้สามารถติดตามแนวโน้มและความแปรผันของคุณภาพน้ำบาดาลตามช่วงเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสะท้อนสภาพการณ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) เพื่อจัดการ วิเคราะห์ และแสดงผลในรูปแบบแผนที่เชิงพื้นที่ ผลการศึกษาพบว่า ในช่วงฤดูแล้งมีการกระจายตัวของน้ำบาดาลกร่อยเค็มครอบคลุมพื้นที่กว้างมากที่สุด (รูปที่ 6 (ก)) รองลงมาคือฤดูหนาว (รูปที่ 6 (ข)) และฤดูฝน (รูปที่ 6 (ค)) ตามลำดับ

แนวโน้มดังกล่าวมีความสอดคล้องกับลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา อิทธิพลของบริเวณโดมเกลือ รวมถึงปริมาณการสูบน้ำบาดาลมาใช้ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงและการกระจายตัวของความเค็มในน้ำบาดาลอย่างมีนัยสำคัญ



(ก) แผนที่การกระจายตัวน้ำบาดาลเค็ม ฤดูแล้ง (ข) แผนที่การกระจายตัวน้ำบาดาลเค็ม ฤดูฝน (ค) แผนที่การกระจายตัวน้ำบาดาลเค็มฤดูหนาว

รูปที่ 6 แสดง (ก) แผนที่การกระจายตัวน้ำบาดาลเค็ม ฤดูแล้ง (ข) แผนที่การกระจายตัวน้ำบาดาลเค็ม ฤดูฝน (ค) แผนที่การกระจายตัวน้ำบาดาลเค็ม ฤดูหนาว

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ได้จัดทำแผนที่แสดงการกระจายตัวของน้ำบาดาลเค็มในพื้นที่ศึกษา จำนวน 3 ช่วงเวลา เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเชิงฤดูกาล ผลการศึกษาพบว่า บริเวณตอนเหนือของพื้นที่ ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่สูงและจัดเป็นพื้นที่รับน้ำ (Recharge Area) อีกทั้งไม่พบอิทธิพลของโดมเกลือ มีคุณภาพน้ำบาดาลอยู่ในเกณฑ์ดีกว่าบริเวณตอนใต้ของพื้นที่ ซึ่งเป็นพื้นที่สูญเสียน้ำ (Discharge Area) และบางบริเวณตรวจพบการกระจายตัวของโดมเกลือที่ส่งผลโดยตรงต่อค่าความเค็มของน้ำบาดาล

นอกจากนี้ ปัจจัยด้านฤดูกาลและปริมาณการสูบน้ำบาดาลมาใช้ยังมีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่และเชิงเวลาอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งที่พบการขยายตัวของพื้นที่น้ำบาดาลกร่อยเค็มมากขึ้น สะท้อนให้เห็นถึงแนวโน้มการรุกล้ำของน้ำบาดาลเค็ม ซึ่งอาจถูกกระตุ้นจากการสูบน้ำบาดาลเกินสมดุลตามศักยภาพของแหล่งน้ำ

ผลการวิจัยดังกล่าวนำไปสู่การวิเคราะห์แนวโน้มการกระจายตัวของความเค็มในน้ำบาดาลอย่างเป็นระบบ ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นของการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำบาดาลอย่างต่อเนื่อง และสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ประกอบการกำหนดนโยบายและมาตรการบริหารจัดการน้ำบาดาลอย่างเร่งด่วน เพื่อรักษาความยั่งยืนของทรัพยากรน้ำบาดาลในระยะยาว

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และกรมทรัพยากรน้ำบาดาลที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมชลประทาน. (2561). รายงานแผนหลักการพัฒนาลุ่มน้ำ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561. กรุงเทพฯ.

[2] กรมทรัพยากรธรณี. (2530). ข้อสังเกตเกี่ยวกับดินและน้ำบาดาลเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กรุงเทพฯ.

[3] Nettasana, T., Craig, J., & Tolson, B. (2012). Conceptual and numerical models for sustainable groundwater management in the Thaphra area Chi River Basin Thailand. Hydrogeology Journal · November 20 (2012) 1355-1374.

[4] กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2565). รายงานสถานการณ์น้ำบาดาล ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565. กรุงเทพฯ.

[5] Saraphirom, P., Wirojanagud, W., & Srisuk, K. (2013). Potential impact of climate change on waterlogging and salinity groundwater and ecohydrology management in Northeast Thailand. Environment Asia 6(1) (2013) 19-28.

[6] กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2554). แผนที่น้ำบาดาล. กรุงเทพฯ.

[7] Uma. Impacts of Reservoir on Groundwater Level and Quality in a Saline Area, Nakhon Panom Province, Thailand. APCBEE Procedia Volume 4, 2012, Pages 16-21.

[8] Kewaree Pholkern, Phayom Saraphirom, Kriengsak Srisuk. Potential impact of climate change on groundwater resources in the Central Huai Luang Basin, Northeast Thailand. Science of the total Environment 633 (2018) 1518-1535.

การศึกษาและพัฒนาครีมกันยุงจากสารสกัดสมุนไพรเทพทาโร

ศิวกร แซ่ไหล[1], วรัญชิต เขียวเทโพธิ์[1], อัมพร เพชรโชค[1], อดุลย์สมาน สุขแก้ว[2,3], และ สุธี จุ้งลก[1*]

[1]โรงเรียนเบตง "วีระราษฎร์ประสาน" ตำบลเบตง อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[2]สมาคมนักวิจัยชายแดนภาคใต้ ตำบลสะเต็ง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[3]คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ตำบลสะเต็ง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของครีมกันยุงจากสารสกัดเทพทาโร *(Cinnamomum parthenoxylon)* โดยมุ่งเน้นการทดสอบประสิทธิภาพในการป้องกันยุงเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า และประเมินความปลอดภัยต่อผิวหนัง ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีพบว่า ครีมที่พัฒนาขึ้นมีความคงตัวดี และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่สมดุลกับผิวหนังมนุษย์ จากการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันยุงในกล่องทดลอง พบว่าสารสกัดเทพทาโรสามารถป้องกันยุงได้ยาวนานเฉลี่ย 105 ถึง 120 นาที ซึ่งอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์มาตรฐานในท้องตลาด นอกจากนี้ ผลการทดสอบการระคายเคืองในอาสาสมัครจำนวน 60 คน ยืนยันว่าผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยสูง โดยอาสาสมัครส่วนใหญ่ไม่ปรากฏอาการแพ้หรือระคายเคือง สรุปได้ว่าครีมกันยุงจากสารสกัดเทพทาโรเป็นนวัตกรรมจากสมุนไพรท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการทดแทนสารเคมีสังเคราะห์ ส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืนและปลอดภัยต่อผู้บริโภค

คำสำคัญ: เทพทาโร / สารไล่แมลงสมุนไพร / ความปลอดภัยต่อผิวหนัง / ประสิทธิภาพการไล่ยุง / เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

Development of mosquito-repelling cream for citronella laurel extract

Siwakorn saelai[1],Varunchit Kealtapo[1], Amporn Petchote[1], Adulsman Sukkaew[2,3], 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 Autho:gaschem4159@kbyala.ac.th*

Abstract

This research aims to develop and evaluate the efficacy of a mosquito-repellent cream formulated from Citronella Laurel (*Cinnamomum parthenoxylon*) extract. The primary objectives were to assess its repellent efficiency in comparison with commercial products and to ensure skin safety. The physicochemical analysis revealed that the developed cream possesses good stability and a pH level compatible with human skin. Mosquito repellency tests conducted in controlled cages demonstrated that the extract provides a mean protection time of 105 to 120 minutes, which is comparable to standard commercial repellents. Furthermore, irritation tests involving 60 volunteers confirmed high product safety, as the majority of participants reported no allergic reactions or skin irritation. In conclusion, the Citronella Laurel-based repellent cream represents a promising herbal innovation capable of replacing synthetic chemicals. It promotes the sustainable use of local natural resources while ensuring consumer safety and effective protection.

Keywords: *Cinnamomum parthenoxylon* / Repelling / Herb / Portability / Compromising

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ปัญหาสุขภาพที่เกิดจากแมลงเป็นพาหะนำโรค โดยเฉพาะยุง ยังคงเป็นประเด็นสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนในวงกว้าง แม้จะมีผลิตภัณฑ์ป้องกันยุงวางจำหน่ายอย่างแพร่หลายในท้องตลาด ทว่าผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีส่วนประกอบของสารเคมีสังเคราะห์ เช่น DEET ซึ่งหากใช้ติดต่อกันเป็นเวลานานอาจส่งผลข้างเคียงต่อระบบทางเดินหายใจและก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังได้ [1] ด้วยเหตุนี้ การศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ป้องกันยุงจากสารสกัดธรรมชาติจึงกลายเป็นแนวทางสำคัญในการสร้างทางเลือกที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [2]

เทพทาโร (*Cinnamomum parthenoxylon*) เป็นไม้ยืนต้นที่มีกลิ่นหอมเฉพาะตัวและเป็นทรัพยากรทางธรรมชาติที่สำคัญในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย จากการศึกษาวิจัยพบว่าในส่วนต่างๆ ของเทพทาโร โดยเฉพาะเนื้อไม้และเมล็ด มีน้ำมันหอมระเหยที่มีสารประกอบสำคัญในการออกฤทธิ์ไล่แมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3] ภูมิปัญญาท้องถิ่นได้มีการนำส่วนต่างๆ ของเทพทาโรมาใช้ประโยชน์ในด้านการป้องกันแมลงรบกวนมาอย่างยาวนาน ซึ่งสอดคล้องกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่ระบุว่าสารสกัดจากพืชในวงศ์อบเชยมีฤทธิ์ในการยับยั้งระบบประสาทของแมลงได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษรุนแรงต่อมนุษย์ [4]

อย่างไรก็ตาม การนำน้ำมันหอมระเหยจากเทพทาโรมาใช้ประโยชน์โดยตรงอาจมีข้อจำกัดในด้านความคงตัวและการระเหยที่รวดเร็ว การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำสารสกัดจากเทพทาโรมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบครีม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะผิวหนังและยืดระยะเวลาในการป้องกันยุงให้ยาวนานยิ่งขึ้น โดยมุ่งเน้นการประเมินประสิทธิภาพในการไล่ยุงเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ ควบคู่ไปกับการทดสอบความปลอดภัยต่อผิวหนังตามมาตรฐานสากล [5] เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสมุนไพรท้องถิ่นและส่งเสริมนวัตกรรมสุขภาพจากทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินความปลอดภัยต่อการระคายเคืองผิวหนัง
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการกันยุงเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด

2.1 สมมติฐาน (Hypothesis)

"ครีมกันยุงที่พัฒนาจากสารสกัดน้ำมันหอมระเหยเทพทาโร มีประสิทธิภาพในการไล่ยุงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมลบ (กลุ่มที่ไม่มีการใช้สารกันยุง) และเพื่อเป็นการยืนยันประสิทธิภาพ ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปประเมินเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมบวก ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์กันยุงทางการค้าที่มีส่วนผสมของ DEET ความเข้มข้น 12% ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า แม้สารสังเคราะห์จะให้การปกป้องในระดับสูง แต่ครีมที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากเทพทาโรก็เป็นทางเลือกจากธรรมชาติ (Bio-alternative) ที่ทรงประสิทธิภาพ ซึ่งช่วยแก้ข้อจำกัดที่ผู้บริโภคมักพบเจอ เช่น กลิ่นฉุนของสารเคมีและการระคายเคืองผิว ผลิตภัณฑ์นี้มีความปลอดภัยต่อผิวหนัง ไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองหรืออาการแพ้ การใช้สมุนไพรธรรมชาติช่วยลดการพึ่งพาสารเคมีสังเคราะห์ จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับผู้ที่มีผิวบอบบางหรือแพ้ง่าย นอกจากนี้ สารสกัดดังกล่าวยังมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับการใช้งานในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงความปลอดภัยจากธรรมชาติเข้ากับประสิทธิภาพในระดับมาตรฐานอุตสาหกรรมได้อย่างลงตัว"

3. ขอบเขตการศึกษา

3.1 สถานที่ดำเนินการ โรงเรียนเบตง "วีระราษฎร์ประสาน"

3.2 ระยะเวลาดำเนินการ 3 เดือน (ตุลาคม – ธันวาคม)

3.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ผลิตภัณฑ์ครีมกันยุงจากสารสกัดสมุนไพรเทพทาโรที่มีประสิทธิภาพในการไล่ยุงและมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน
2. ลดความเสี่ยงในการเกิดอาการระคายเคืองผิวหนังหรืออาการแพ้ที่มักเกิดจากผลิตภัณฑ์กันยุงที่มีส่วนผสมของสารเคมี
3. เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ให้กับเกษตรกรและประชาชนทั่วไป โดยเฉพาะผู้ที่ต้องทำกิจกรรมกลางแจ้งหรือปฏิบัติงานในพื้นที่ที่มีการชุกชุมของยุง
4. เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับทรัพยากรธรรมชาติในท้องถิ่นและส่งเสริมความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่

3.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

เทพทาโร (*Cinnamomum parthenoxylon* (Roxb.) Kosterm.) เป็นไม้ยืนต้นที่มีส่วนเนื้อไม้ประกอบด้วยสารสำคัญที่เรียกว่า ซาโฟรล (Safrole) และ ดี-การบูร (D-camphor) ซึ่งสามารถใช้ทดแทนสารสกัดจากต้นซัสซาฟราส (Sassafras) ได้ นอกจากนี้ยังมีสารออกฤทธิ์ทางยาที่เป็นสารประกอบอะโรมาติก ได้แก่ ซาโฟรล และ ซินนามิก แอลดีไฮด์ (Cinnamic aldehyde) โดยยังสามารถพบซาโฟรลได้ในส่วนของเปลือกและใบด้วย สำหรับวิธีการขยายพันธุ์เทพทาโรที่นิยมคือการเพาะเมล็ดและการปักชำ

4. วิธีการศึกษา

โครงการวิจัยเรื่อง “ครีมกันยุงจากสารสกัดสมุนไพรเทพทาโร” เริ่มต้นจากการทบทวนวรรณกรรมเพื่อรวบรวมข้อมูลพื้นฐานสำหรับการศึกษา โดยมีสรุปเนื้อหาดังนี้

4.1วัสดุอุปกรณ์

4.1.1 เทพทาโร

"เทพทาโร" เป็นไม้หอมประเภทหนึ่งที่อยู่ในสกุลเดียวกับอบเชย จัดเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ในวงศ์ Lauraceae พบได้ในเอเชียใต้ถึงเอเชียตะวันออก และเป็นไม้มงคลพระราชทานประจำจังหวัดพังงา เป็นไม้ไม่ผลัดใบขนาดกลาง มีเรือนยอดเป็นพุ่มทึบทรงกลม ใบมีสีเขียวเข้ม ลำต้นเรียบไม่มีพูพอน เปลือกมีสีเขียวอมเทาหรือน้ำตาล ค่อนข้างเรียบและมีรอยแตกตามยาวทั่วลำต้น เมื่อสับเปลือกจะมีกลิ่นหอม ส่วนกิ่งก้านมีลักษณะเรียวและอ่อนดัดง่าย (รูปที่ 1)

รูปที่ 1 เทพทาโร (https://shorturl.asia/A9amT)

4.1.2 โกร่งบดยาหรือครกผสมสาร เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบด ผสม และลดขนาดของสารต่างๆ เพื่อให้รวมตัวกันได้ง่ายขึ้น (รูปที่ 2)

4.1.3 ถ้วยพลาสติก อุปกรณ์เครื่องครัวชนิดหนึ่งที่ใช้สำหรับบรรจุหรือรองรับสารต่างๆ (รูปที่ 3)

4.1.4 บีกเกอร์ อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อบรรจุสารเคมีสำหรับการให้ความร้อน การผสม หรือการทำปฏิกิริยา มีรูปทรงกระบอก ก้นแบน ปากบานออกเล็กน้อย และมีปากนกแก้วเพื่อช่วยในการเทสาร (รูปที่ 4)

4.1.5 ผ้ากรอง วัสดุสำคัญที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท เพื่อใช้กรองแยกของแข็งออกจากของเหลว (รูปที่ 5)

4.1.6 กล่องพลาสติก อุปกรณ์สำหรับบรรจุภัณฑ์และจัดเก็บสิ่งของต่างๆ (รูปที่ 6)

4.1.7 เครื่องชั่ง อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดปริมาตรหรือน้ำหนักของวัตถุต่างๆ (รูปที่ 7)

รูปที่ 2 โกร่งบดยา (หรือครก) (https://shorturl.asia/ymvha)

รูปที่ 3 ถ้วยแก้ว (https://shorturl.asia/GcJXx)

รูปที่ 4 บีกเกอร์ (https://shorturl.asia/qFOQ5)

รูปที่ 5 ผ้ากรอง (https://shorturl.asia/XPui9)

รูปที่ 6 กล่องพลาสติก (https://shorturl.asia/Gklj0)

รูปที่ 7 เครื่องชั่ง https://shorturl.asia/7vgXP

4.2 วิธีการดำเนินการ

4.2.1 การสกัดสารสกัดสมุนไพรจากเทพทาโร

1. ชั่งเมล็ดเทพทาโร 50 กรัม แล้วตวงเอทิลแอลกอฮอล์70% ปริมาณ 225 มิลลิลิตร
2. นำเมล็ดเทพทาโรใส่ลงในโกร่งบดยา แล้วบดให้เป็นผงละเอียด
3. นำผงเมล็ดเทพทาโรที่บดแล้วไปผสมกับเอทิลแอลกอฮอล์ 70% แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 2 วัน
4. จากนั้นนำสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ 70% ไประเหยออกเพื่อให้ได้สารสกัดสมุนไพร

4.2.2 การเตรียมครีมจากสารสกัดสมุนไพรเทพทาโร

1. ผสมสารสกัดเทพทาโรปริมาณ 100 มิลลิลิตร กับน้ำมันมะพร้าวจำนวน 2 ช้อนโต๊ะ
2. คนส่วนผสมอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเนื้อครีมผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียว อย่างสมบูรณ์

สำหรับผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ ได้แก่ Cream Commercial A และ Cream Commercial B มีลักษณะเป็นเนื้อครีมสำเร็จรูป มีสีและกลิ่นตามลักษณะของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด และมีความเนียนสามารถทาลงบนผิวได้เช่นเดียวกัน

4.2.3 การเพาะเลี้ยงยุงสำหรับการทดลอง

1. เก็บลูกน้ำยุงจากแหล่งน้ำขังตามธรรมชาติ แล้วนำมาใส่ในภาชนะที่เตรียมไว้
2. วางภาชนะไว้ในที่ชื้นและหลีกเลี่ยงแสงแดดส่องถึงโดยตรง เป็นเวลาประมาณ 3-4 วัน
3. ย้ายลูกน้ำยุงไปยังภาชนะสำหรับการเพาะเลี้ยงอย่างระมัดระวัง
4. ปล่อยให้ยุงเจริญเติบโตต่อไปอีกไม่เกิน 3 วัน ก่อนจะนำไปใช้ในการทดลอง ซึ่งการทดลองนี้ควบคุมตัวแปรต่างๆ เช่น จำนวนยุงและสภาพแวดล้อมให้เท่ากันในแต่ละชุดทดลอง เพื่อให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือ

รูปที่ 8 การเพาะเลี้ยงยุงสำหรับการทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพการไล่ยุงดำเนินการโดยใช้กล่องทดลองที่ออกแบบมาเพื่อควบคุมสภาวะแวดล้อมและพฤติกรรมของยุงอย่างเป็นระบบ โดยแบ่งพื้นที่ภายในกล่องออกเป็นส่วนต่างๆ เพื่อสังเกตการณ์ตอบสนองของยุงต่อผลิตภัณฑ์ วิธีการทดสอบเริ่มต้นจากการนำยุงที่ผ่านการเพาะเลี้ยงในสภาวะควบคุมใส่ลงในกล่องทดสอบ จากนั้นจึงทำการประเมินโดยเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ที่ไม่มีการทาสารทดสอบกับพื้นที่ที่ทาด้วยครีมจากสารสกัดเทพทาโรในปริมาณ 10 มิลลิลิตร โดยมียุงในแต่ละกล่องจำนวน 20 ตัว

หลักการสำคัญของการใช้กล่องทดสอบสามส่วนคือการวัดค่าการตอบสนองเชิงพฤติกรรม (Behavioral Response) ของยุง ซึ่งจะสังเกตจากจำนวนยุงที่บินเข้าใกล้หรือเกาะบริเวณพื้นที่ที่ทาสารสกัดเทียบกับชุดควบคุม ข้อมูลที่ได้จากการสังเกตการณ์ในกล่องทดลองนี้ช่วยให้สามารถคำนวณหาค่าร้อยละของการไล่แมลง (Percentage Repellency) และระยะเวลาในการป้องกัน (Protection Time) ได้อย่างแม่นยำ กระบวนการทดสอบนี้เป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยยืนยันประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยจากเทพทาโรในการออกฤทธิ์ไล่ยุงได้อย่างเป็นรูปธรรมภายใต้สภาวะจำลองที่ใกล้เคียงกับธรรมชาติ แต่มีการควบคุมปัจจัยรบกวนภายนอกอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปเปรียบเทียบเชิงสถิติได้

4.2.4 การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดที่มีต่อยุง

1. เตรียมภาชนะพลาสติกจำนวน 3 ใบ โดยแต่ละใบแบ่งออกเป็นสองส่วน (สองช่อง)
2. เจาะรูบริเวณตรงกลางของแผ่นพลาสติกที่ใช้กั้น และบริเวณด้านข้างของภาชนะแต่ละใบ โดยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับปลายเข็มฉีดยา
3. ย้ายยุงที่เพาะเลี้ยงไว้ลงในภาชนะทั้ง 3 ใบ

4. ใช้ไซริงค์ดูดครีมที่ต้องการทดสอบในปริมาณที่กำหนด แล้วฉีดลงบนพื้นผิวภายในภาชนะทดลอง

4.2.5 การบันทึกผลการทดลอง

การเตรียมครีมสูตรที่ปรุงด้วยเทพทาโร

ผสมของเหลวและคนไปเรื่อย ๆ จนครีมที่เป็นเนื้อเดียวกัน

ผสมให้เข้ากันจนมีลักษณะเป็นเนื้อครีม

รูปที่ 9 ขั้นตอนการเตรียมครีมที่ปรุงด้วยเทพทาโร

4.2.6 การทดสอบประสิทธิภาพความเป็นกรด

ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด/ด่าง

ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด/ด่าง

รูปที่ 10 ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด/ด่าง

จากการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ครีมกันยุงจากสารสกัดสมุนไพรเทพทาโรในด้านความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้กระดาษพีเอชเป็นดัชนีชี้วัด พบว่าค่าที่บันทึกได้มีความสอดคล้องกับค่ามาตรฐานความปลอดภัยในการใช้งานกับผิวหนังมนุษย์ เนื่องด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างที่วัดได้มีระดับใกล้เคียงกับสภาวะสมดุลตามธรรมชาติของชั้นผิวหนัง ซึ่งโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นกรดอ่อน ข้อมูลเชิงประจักษ์นี้ช่วยยืนยันได้ว่าส่วนผสมหลักจากน้ำมันหอมระเหยเทพทาโรเมื่อนำมาพัฒนาเป็นเนื้อครีมแล้ว จะไม่ส่งผลกระทบต่อเกราะป้องกันผิวตามธรรมชาติและไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองที่รุนแรง ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบในกลุ่มอาสาสมัครที่ไม่ปรากฏอาการแพ้หรือผลข้างเคียงจากการใช้งาน การรักษาค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจึง

เป็นปัจจัยสำคัญในการเสริมสร้างความเชื่อมั่นด้านความปลอดภัยและประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์สมุนไพร เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างเหมาะสมกับทุกสภาพผิว

4.2.7 การทดสอบความปลอดภัยต่อผิวหนัง

เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 ได้ทำการทดสอบความปลอดภัยของครีมต่อผิวหนังกับอาสาสมัครจำนวน 60 คน โดยให้ทาครีมบริเวณท้องแขน และสังเกตอาการระคายเคือง เช่น อาการคัน แดง หรือแสบผิว ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง พร้อมบันทึกผลการทดลอง ซึ่งเป็นการประเมินความปลอดภัยในระดับเบื้องต้น

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ตารางที่ 1 ตารางการทดสอบประสิทธิภาพในการไล่ยุงของผลิตภัณฑ์

Type of mosquitoes repellents Cream	The amount of mosquitoes died							
	15 minutes	30 minutes	45 minutes	60 minutes	75 minutes	90 minutes	105 minutes	120 minutes
Citronella laurel cream	4	7	9	12	15	18	20	20
Cream Commercial A	5	8	9	13	15	19	20	20
Cream Commercial B	4	6	8	10	14	17	20	20

ส่วนของประสิทธิภาพการป้องกันยุง ผลการทดลองที่ปรากฏในตารางแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์ครีมจากสารสกัดเทพทาโรมีขีดความสามารถในการไล่ยุงอย่างมีนัยสำคัญ โดยจากการสังเกตพฤติกรรมตอบสนองของยุงภายในกล่องทดสอบสามส่วน พบว่ายุงมีการตอบสนองเชิงลบต่อพื้นที่ที่มีการทาสารสกัดอย่างชัดเจน ข้อมูลเชิงตัวเลขระบุว่าผลิตภัณฑ์สามารถคงประสิทธิภาพในการป้องกันได้เป็นระยะเวลาเฉลี่ยสูงถึง 105 นาที ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์กันยุงมาตรฐานในท้องตลาด พบว่าแม้จะมีระยะเวลาการออกฤทธิ์ที่สั้นกว่าสารสังเคราะห์เพียงเล็กน้อย แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการใช้งานในชีวิตประจำวัน ผลการทดลองนี้จึงสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการสร้างทางเลือกใหม่ที่ใช้สารสกัดจากธรรมชาติเพื่อทดแทนการใช้สารเคมีรุนแรง

สำหรับคุณสมบัติทางเคมีและความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ข้อมูลจากการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างที่ระบุในตารางบันทึกผลการวัดค่า pH พบว่าผลิตภัณฑ์ครีมมีค่าความสมดุลทางเคมีที่เหมาะสมอย่างยิ่ง โดยค่าที่วัดได้มีความสอดคล้องกับค่า pH ตามธรรมชาติของผิวหนังมนุษย์ซึ่งมีสภาพเป็นกรดอ่อน ข้อมูลส่วนนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับผลการประเมินการระคายเคืองในกลุ่มอาสาสมัครจำนวน 60 คน ที่ปรากฏในตารางสรุปผลการทดสอบผิวหนัง ซึ่งพบว่าอาสาสมัครเกือบทั้งหมดไม่ปรากฏอาการแพ้หรือการระคายเคืองใดๆ จึงเป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ยืนยันว่าน้ำมันหอมระเหยจากเทพทาโรเมื่อนำมาพัฒนาเป็นสูตรตำรับครีมแล้วมีความอ่อนโยนและมีความปลอดภัยสูงในการสัมผัสผิวหนังโดยตรง

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพและความพึงพอใจเบื้องต้นตามที่ปรากฏในตารางบันทึกคุณลักษณะ พบว่าผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่มีความคงตัวสูง ไม่เกิดการแยกชั้นของเนื้อครีม และมีกลิ่นหอมเฉพาะตัวที่เป็นเอกลักษณ์จากสารสกัด

สมุนไพรธรรมชาติ ซึ่งถือเป็นคุณลักษณะเด่นที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์กันยุงทั่วไปที่มีกลิ่นฉุนจากสารเคมี การวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดจากตารางผลการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่า ครีมกันยุงจากสารสกัดเทพทาโรที่พัฒนาขึ้นนี้ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสมบูรณ์ทั้งในด้านประสิทธิภาพการใช้งาน ความเสถียรทางเคมี และความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน สอดคล้องตามสมมติฐานของการวิจัยและพร้อมสำหรับการพัฒนาต่อยอดสู่การใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์และครัวเรือนต่อไป

6. สรุปผลการศึกษา

การดำเนินงานวิจัยเรื่องการศึกษาและพัฒนาครีมกันยุงจากสารสกัดสมุนไพรเทพทาโร ประสบผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ในทุกประการ โดยในด้านประสิทธิภาพการใช้งาน ผลการทดสอบเชิงประจักษ์ยืนยันว่าผลิตภัณฑ์ครีมจากสารสกัดธรรมชาติมีขีดความสามารถในการป้องกันยุงได้จริงในช่วงเวลาเฉลี่ย 105 ถึง 120 นาที ซึ่งเป็นระดับประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์กันยุงที่วางจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด [4] แม้ว่าระยะเวลาในการป้องกันจะสั้นกว่าสารสังเคราะห์เคมีบางชนิดเพียงเล็กน้อย แต่ผลิตภัณฑ์นี้มีจุดเด่นสำคัญด้านความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ด้านการประเมินการระคายเคืองผิวหนัง โดยผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมร่วมกับการทดลองในกลุ่มอาสาสมัครส่วนใหญ่ที่ไม่พบอาการแพ้หรือระคายเคือง ช่วยยืนยันได้ว่าผลิตภัณฑ์มีความอ่อนโยนและปลอดภัยต่อสภาพผิวหนังมนุษย์ [5]

นอกจากนี้ การวิจัยดังกล่าวยังบรรลุวัตถุประสงค์ในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสมุนไพรท้องถิ่นอย่างเทพทาโร ผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่เปลี่ยนจากน้ำมันหอมระเหยบริสุทธิ์ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ครีมที่มีความคงตัว [3] มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติ และใช้งานได้สะดวกในชีวิตประจำวัน สรุปได้ว่าครีมกันยุงจากสารสกัดเทพทาโรเป็นนวัตกรรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและปลอดภัยต่อสุขภาพ ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้เป็นทางเลือกหลักแทนสารเคมีสังเคราะห์ในการป้องกันยุงและแมลงรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนตามเป้าหมายของโครงการวิจัยสืบไป [1]

เอกสารอ้างอิง

[1] อัมพร เพชรโชค, และคณะ. (2567). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ครีมกันยุงจากสารสกัดสมุนไพรพื้นบ้านในเขตพื้นที่ภาคใต้. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 15(2), 45-58.

[2] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.). (2565). รายงานการศึกษาสมุนไพรในวงศ์อบเชยที่มีฤทธิ์ในการไล่แมลงและป้องกันยุงลาย. กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.

[3] Saelai, S., & Kheawtapo, V. (2026). Efficacy of Cinnamomum parthenoxylon essential oil in topical repellent formulations. Journal of Natural Products and Applied Science, 8(1), 112-125.

[4] Phasomkusolsil, S., & Soonwera, M. (2011). Comparative mosquito repellency of essential oils against Culex quinquefasciatus and Aedes aegypti. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 1(1), S113-S118.

[5] Division of Medical Entomology. (2023). Standard criteria for testing and evaluation of mosquito repellents. Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health, Thailand.

ไหมขัดฟันจากใบสับปะรดผสมสารสกัดจากพืชตระกูลส้มเพื่อยับยั้งการเกิดหินปูนในช่องปาก

บารมี การี[1], ศุภกฤต เกษมมงคลพร[1], อัมพร เพชรโชติ[1], อดุลย์สมาน สุขแก้ว[2,3], และ สุธี จุ้งลก[1*]

[1]โรงเรียนเบตง "วีระราษฎร์ประสาน" ตำบลเบตง อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[2]สมาคมนักวิจัยชายแดนภาคใต้ ตำบลสะเต็ง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[3]คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ตำบลสะเต็ง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสารสกัดจากพืชตระกูลส้ม (Citrus) ซึ่งมีสารสกัดกรดซิตริกที่มีคุณสมบัติในการเกิดปฏิกิริยากับหินปูนโดยตรง และศึกษาประสิทธิภาพไหมขัดฝันจากใบสับปะรด เพื่อประเมินคุณสมบัติของไหมขัดฟันจากใบสับปะรดและประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดหินปูนในช่องปาก และเพื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด

จากการทดลองกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต พบว่าตัวไหมขัดฟันในท้องตลาดเกิดการตกตะกอนภายใน 1 วัน และไหมขัดฟันจากใบสับประรดเกิดการตกตะกอนภายใน 1 วัน และไหมขัดฟันจากใบสับประรดที่ผสมกับกรดซิตริกจากพืชตระกูลส้มพบว่าไม่มีการตกตะกอนภายใน 2 วัน บ่งชี้ได้ว่าสารสกัดมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้สารสกัดดังกล่าวมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ที่ 5 ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมกับสภาพช่องปากมนุษย์

ในด้านประสิทธิภาพ พบว่าสารสกัดจากพืชตระกูลส้มมีประสิทธิภาพร้อยละ 80 ถือได้ว่าเป็นสารสกัดที่สามารถใช้งานจริงได้ และในด้านไหมขัดฟันจากใบสับปะรดพบว่ามีค่าแรงตึงเชือกเฉลี่ยที่ 39.1 นิวตัน ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ทางท้องตลาดมีค่าค่าแรงตึงเชือกเฉลี่ยที่ 44.2 นิวตัน แม้ประสิทธิภาพจะต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด ถือได้ว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้งานจริงได้ ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพสารสกัดจากพืชตระกูลส้ม และเป็นทางเลือกที่สามารถนำมาพัฒนาให้ต่อยอดดียิ่งขึ้นในอนาคต

คำสำคัญ: พืชตระกูลส้ม / หินปูน / การยับยั้ง / กรดซิตริก / ค่าความเป็นกรด-ด่าง

Pineapple leaf dental floss mixed with citrus extracts to inhibit tartar buildup in the mouth

Baramee Karee[1], Supakrit Kasemmongkolporn[1], Amporn Petchote[1], Adulsman Sukkaew[2,3*], and Suthee Junglok[1]

[1]Betong Wiraratprasan, 19 Ruamwit Road, Betong District, Yala Province, Thailand
[2]Southern Border Province Research Association, Sateng District, Mueang District, Yala Province, Thailand
[3]Faculty of Agricultural Science and Technology, Yala Rajabhat University, Sateng District, Mueang District, Yala Province, Thailand
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

Abstract

This article presents to investigate extracts from the Citrus family, specifically focusing on citric acid and its direct chemical reactivity with dental calculus (tartar). Furthermore, the study evaluates the efficacy of pineapple leaf fibers as a material for dental floss, assessing both its physical properties and its effectiveness in inhibiting plaque buildup compared to commercial products.

Experimental results using calcium hydroxide and sodium hydrogen carbonate revealed that while commercial dental floss and untreated pineapple leaf floss both showed precipitation within 1 day, the pineapple leaf floss infused with citrus extract showed no precipitation for up to 2 days. This indicates that the extract significantly enhances inhibitory performance. Additionally, the extract maintained a pH level of 5, which is considered safe and suitable for the human oral environment..

Regarding performance, the citrus extract demonstrated an 80% efficacy rate, confirming its practical viability for oral care. In terms of mechanical properties, the pineapple leaf floss exhibited an average tensile strength of 39.1 N, compared to 44.2 N for commercial products. Although its tensile strength is slightly lower than that of market alternatives, it remains within a functional range for practical use. These findings highlight the potential of citrus-based extracts and pineapple fibers as viable, eco-friendly alternatives that can be further developed for future oral hygiene applications.

Keywords: Citrus plants / Dental calculus / Inhibition / Citric acid / pH value

1. บทนำ

การพัฒนาไหมขัดฟันจากเส้นใยใบสับปะรดผสมสารสกัดจากพืชตระกูลส้มเพื่อยับยั้งการเกิดหินปูนในช่องปาก มีจุดเริ่มต้นจากการพิจารณาปัญหาอุบัติการณ์ของโรคในช่องปาก ซึ่งตามรายงานสถานการณ์สุขภาพช่องปากระดับโลกขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization) ระบุว่าเป็นความท้าทายหลักทางสาธารณสุขที่ส่งผลกระทบต่อประชากรส่วนใหญ่ [1] โดยเฉพาะการสะสมของคราบจุลินทรีย์หรือเดนทัลพลัค (Dental Plaque) ซึ่งหากไม่ได้รับการกำจัดอย่างมีประสิทธิภาพ จะนำไปสู่กระบวนการสะสมแร่ธาตุ (Mineralization) ผ่านการตกตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟตจากน้ำลายจนพัฒนาสภาพกลายเป็นหินปูน (Dental Calculus) [1] ตามทฤษฎีการก่อตัวของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ในช่องปาก หินปูนเหล่านี้มีลักษณะทางกายภาพเป็นรูพรุนซึ่งเป็นที่ยึดเกาะอย่างดีของแบคทีเรีย ก่อให้เกิดพยาธิสภาพของโรคเหงือกอักเสบและปริทันต์อักเสบตามมา แม้ว่าการแปรงฟันจะเป็นวิธีการดูแลสุขอนามัยพื้นฐาน แต่ด้วยข้อจำกัดทางสรีระที่ขนแปรงไม่สามารถเข้าถึงบริเวณซอกฟันได้อย่างทั่วถึง ส่งผลให้ไหมขัดฟันกลายเป็นอุปกรณ์เสริมที่มีความจำเป็นอย่างยิ่ง ทว่าในปัจจุบันไหมขัดฟันส่วนใหญ่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์จำพวกไนลอนหรือพลาสติกพีทีเอฟอี (PTFE) ซึ่งนอกจากจะประสบปัญหาด้านการย่อยสลายยากตามรายงานด้านมลพิษทางสิ่งแวดล้อมแล้ว [2] ยังมีบทบาทเพียงการกำจัดเศษอาหารเชิงกลเท่านั้น โดยขาดคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์หรือขัดขวางกระบวนการเกิดหินปูนในเชิงชีวเคมีอย่างมีนัยสำคัญ

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงศักยภาพของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างใบสับปะรด ซึ่งเป็นทรัพยากรชีวภาพที่มีปริมาณมหาศาลในประเทศไทย โดยจากการศึกษาคุณสมบัติทางวัสดุศาสตร์ของ K.P. Ashik และคณะ [2] พบว่าเส้นใยใบสับปะรด (Pineapple Leaf Fiber) [3] มีองค์ประกอบของเซลลูโลสสูงถึงร้อยละ 70-82 [3] ส่งผลให้มีความแข็งแรงเชิงกลทนทานต่อแรงดึงได้ดีเยี่ยมเมื่อนำมาปั่นเป็นเส้นด้าย อีกทั้งยังมีลักษณะทางกายภาพที่มีความขรุขระในระดับไมโคร (Micro-roughness) ซึ่งเอื้อต่อการกวาดถูคราบพลัคได้ดีกว่าเส้นใยสังเคราะห์ที่เรียบมัน นอกจากนี้โครงสร้างเส้นใยธรรมชาติยังมีสมบัติในการดูดซับและกักเก็บสารสำคัญได้ดี ผู้วิจัยจึงบูรณาการองค์ความรู้ด้านพฤกษเคมี (Phytochemistry) โดยการใช้สารสกัดจากพืชตระกูลส้มที่อุดมไปด้วยสารประกอบฟลาโวนอยด์และกรดอินทรีย์ ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรียกลุ่ม *Streptococcus mutans* ตามผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดธรรมชาติในวารสาร Oral Microbiology [4] โดยเฉพาะอย่างยิ่งบทบาทของ "กรดซิตริก" ที่ทำหน้าที่เป็นสารคีเลต (Chelating agent) [5] เข้าจับกับไอออนแคลเซียมในน้ำลายเพื่อชะลอการตกผลึกของหินปูนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การบูรณาการระหว่างเส้นใยธรรมชาติที่มีความเหนียวและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเข้ากับสารสกัดจากพืชที่มีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา จึงเป็นการพัฒนานวัตกรรมที่ตอบโจทย์ทั้งในด้านทันตกรรมป้องกันและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมตามหลักยุทธศาสตร์เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงไม่เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ขจัดเศษอาหารตามปกติ แต่ยังทำหน้าที่เป็นระบบนำส่งสารสำคัญ (Drug Delivery System) เข้าสู่บริเวณซอกฟันโดยตรงเพื่อยับยั้งการเกิดหินปูนตั้งแต่ระยะเริ่มต้น ช่วยลดการพึ่งพาสารเคมีสังเคราะห์และลดมลพิษจากขยะพลาสติกที่ไม่ย่อยสลาย นำไปสู่การสร้างแนวทางการดูแลสุขภาพช่องปากเชิงรุกที่ยั่งยืน ซึ่งนับเป็นการยกระดับวัสดุพื้นถิ่นสู่การเป็นนวัตกรรมทางการแพทย์ที่มีมูลค่าเพิ่มสูงและมีความรับผิดชอบต่อสังคมในวงกว้าง

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสารสกัดจากพืชตระกูลส้ม (Citrus) ซึ่งมีสารสกัดกรดซิตริกที่มีคุณสมบัติในการเกิดปฏิกิริยากับหินปูนโดยตรง
2. ศึกษาประสิทธิภาพไหมขัดฟันจากใบสับปะรด เพื่อประเมินคุณสมบัติของไหมขัดฟันจากใบสับปะรดและประสิทธิภาพการยับยั้งการเกิดหินปูนในช่องปาก
3. เพื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด

3. ขอบเขตของการศึกษา

โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

3.1 ขอบเขตด้านวัตถุดิบและตัวอย่างที่ใช้ศึกษา

3.1.1 เส้นใยพืช ศึกษาเฉพาะเส้นใยจากใบสับปะรด (Pineapple Leaf Fiber) ที่ผ่านกระบวนการแยกเส้นใยด้วยวิธีทางกลหรือการแช่หมัก เพื่อนำมาปั่นเป็นเส้นด้ายสำหรับทำไหมขัดฟัน

3.1.2 สารสกัดพืช ศึกษาเฉพาะสารสกัดจากเปลือกของพืชตระกูลส้ม (Citrus) เช่น ส้มเขียวหวาน หรือมะนาว โดยใช้ตัวทำละลายที่ปลอดภัย เช่น เอทานอล

3.1.3 สารเคลือบ ศึกษาการใช้สารเคลือบจากธรรมชาติ เช่น ไขผึ้ง (Beeswax) เพื่อช่วยในการยึดเกาะของสารสกัดและช่วยให้เส้นใยลื่นไหลเข้าซอกฟันได้ง่ายขึ้น

3.2 ขอบเขตด้านตัวแปรที่ศึกษา

3.2.1 ตัวแปรต้น ความเข้มข้นของสารสกัดจากพืชตระกูลส้มที่ใช้เคลือบบนเส้นใยและอัตราส่วนระหว่างเส้นใยใบสับปะรดกับสารเคลือบ

3.2.2 ตัวแปรตาม ความแข็งแรงทนทานต่อแรงดึงของเส้นใย และความสามารถในการขจัดคราบพลัคจำลอง

3.2.3 ตัวแปรควบคุม ขนาดความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของไหมขัดฟัน, อุณหภูมิในขณะทำการทดลอง, และระยะเวลาที่ใช้ในการแช่เคลือบสาร

3.3 ขอบเขตด้านระยะเวลาและสถานที่

ดำเนินการศึกษาและทดลองในช่วงเดือน ธันวาคม 2568 – เมษายน 2569

สถานที่ดำเนินการทดสอบทางกายภาพและทางชีวภาพ ณ ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ของโรงเรียนเบตง “วีระราษฎร์ประสาน”

3.4 ขอบเขตด้านเนื้อหาและตัวชี้วัดประสิทธิภาพ

3.4.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพจะเน้นที่ ความเหนียว (Tensile Strength) เพื่อไม่ให้ไหมขาดขณะใช้งาน

3.4.2 การทดลองคุณสมบัติทางเคมีจะเน้นที่ ความสามารถในการยับยั้งการตกตะกอนของแคลเซียม (โดยจำลองน้ำลายสังเคราะห์) เพื่อดูแนวโน้มการลดการเกิดหินปูน

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การสืบค้นข้อมูลและเตรียมทฤษฎีอ้างอิง เริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับโครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยใบสับปะรด โดยเฉพาะความทนทานต่อแรงดึงและปริมาณเซลลูโลส รวมถึงศึกษาวิจัยสารสกัดจากเปลือกพืชตระกูลส้มว่ามีสารสำคัญชนิดใดที่ออกฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียและขัดขวางการตกตะกอนของแคลเซียมฟอสเฟต นอกจากนี้ต้องศึกษามาตรฐานของไหมขัดฟันในท้องตลาดเพื่อใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบ (Base line) ในการทดลอง

4.2 การเตรียมเส้นใยและสารสกัดธรรมชาติ

ดำเนินการคัดเลือกใบสับปะรดที่สมบูรณ์ นำมาสกัดแยกเส้นใยด้วยวิธีทางกลหรือการแช่หมัก จากนั้นทำความสะอาดและตากแห้งก่อนนำมาปั่นเป็นเส้นด้ายตามขนาดที่ต้องการ ควบคู่ไปกับการเตรียมสารสกัดจากเปลือกส้มโดยวิธีที่เหมาะสม (เช่น การต้มเคี่ยวหรือการแช่ในตัวทำละลาย) เพื่อให้ได้สารสกัดเข้มข้นที่จะนำมาใช้เป็นตัวยาสำคัญในผลิตภัณฑ์

4.3 การขึ้นรูปและเคลือบไหมขัดฟันนวัตกรรม

นำเส้นใยใบสับปะรดที่เตรียมไว้มาผ่านกระบวนการชุบเคลือบด้วยสารสกัดจากพืชตระกูลส้ม โดยอาจมีการใช้สารยึดเกาะธรรมชาติ เช่น ไขผึ้ง (Beeswax) เพื่อช่วยให้สารสกัดเกาะติดกับเส้นใยได้ดีและเพิ่มความลื่นไหลในการใช้งาน จากนั้นนำไปผึ่งให้แห้งในสภาวะที่สะอาดเพื่อป้องกันการปนเปื้อน

4.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพ

นำไหมขัดฟันที่พัฒนาขึ้นมาทดสอบความแข็งแรงโดยการดึง (Tensile test) เพื่อดูว่าทนต่อการใช้งานได้หรือไม่และวัดค่าโดยตาชั่งสปริง และทำการทดลองจำลองการยับยั้งคราบหินปูน โดยการนำไหมขัดฟันไปแช่ในน้ำลายสังเคราะห์ที่มีส่วนผสมของแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต แล้วเปรียบเทียบการตกตะกอนของหินปูนบนเส้นใยเทียบกับไหมขัดฟันทั่วไป

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการศึกษา

นำผลการทดสอบที่ได้ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์เชิงสถิติเบื้องต้น เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างไหมขัดฟันจากใบสับปะรดผสมสารสกัดส้ม กับไหมขัดฟันมาตรฐานในท้องตลาด และสรุปผลและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการทดลองไหมขัดฟันจากเปลือกสับประรดและไหมขัดฟันในท้องตลาด โดยมีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

5.1 ผลการศึกษาแรงดึงเชือกของไหมขัดฟัน

ผลการศึกษาพบว่าไหมขัดฟันในท้องตลาดมีค่าเฉลี่ยแรงดึงเชือกที่ 44.2 นิวตัน ขณะที่ไหมขัดฟันจากใบสับประรดมีค่าเฉลี่ยแรงดึงเชือกที่ 39.1 นิวตัน ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 แสดงค่าแรงดึงเชือกของไหมขัดฟันในท้องตลาด

จำนวนครั้งในการทดสอบ	ค่าของแรงดึงเชือก (นิวตัน)
1	29
2	36
3	45
4	38
5	69
6	45
7	27
8	58
9	61
10	34
ค่าเฉลี่ย	44.2

ตารางที่ 2 แสดงค่าแรงดึงเชือกของไหมขัดฟันจากใบสับประรด

จำนวนครั้งในการทดสอบ	ค่าของแรงดึงเชือก (นิวตัน)
1	12
2	36
3	48
4	56
5	57
6	34
7	26
8	57
9	27
10	38
ค่าเฉลี่ย	39.1

5.2 ผลการศึกษาการยับยั้งการเกิดหินปูน

ผลการศึกษาพบว่าไหมขัดฝันในท้องตลาดมีการเกิดหินปูนบนไหมขัดฟัน ขณะที่ไหมขัดฟันจากใบสับประรดมีการเกิดหินปูนบนไหมขัดฟัน และไหมขัดฟันจากใบสับประรดซึ่งผสมกับกรดซิตริกจากพืชตระกูลส้มไม่เกิดหินปูนในระยะแรก ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการเกิดปฏิกิริยาการเกิดหินปูนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตต่อไหมขัดฟัน

รูปแบบไหมขัดฟัน	ลักษณะการเกิดปฏิกิริยา		
	1 วัน	2 วัน	3 วัน
ไหมขัดฟันในท้องตลาด	เกิดการตกตะกอนบนไหมขัดฟันเล็กน้อย	เกิดการตกตะกอนบนไหมขัดฟันมากขึ้น	เกิดการตะกอนบนไหมขัดฟันมากขึ้น
ไหมขัดฟันจากใบสับประรด	เกิดการตกตะกอนบนไหมขัดฟันเล็กน้อย	เกิดการตกตะกอนบนไหมขัดฟันมากขึ้น	เกิดการตกตะกอนบนไหมขัดฟันมากขึ้นเล็กน้อย
ไหมขัดฟันจากใบสับประรดผสมสารสกัดจากพืชตระกูลส้ม	ไม่เกิดการตกตะกอนบนไหมขัดฟัน	เกิดการตกตะกอนบนไหมขัดฟันเล็กน้อย	เกิดการตกตะกอนบนไหมขัดฟันเล็กน้อย

5.3 ผลการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลการศึกษาพบว่ากรดซิตริกจากพืชตระกูลส้มมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 5 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงความเป็นกรด-ด่างของกรดซิตริกจากพืชตระกูลส้ม

ชนิดสารสกัด	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
กรดซิตริกจากพืชตระกูลส้ม	5

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่าสารสกัดจากพืชตระกูลส้มมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดหินปูนสูงถึงร้อยละ 80 โดยสารสกัดดังกล่าวมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ที่ระดับ 5 ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมและปลอดภัยต่อสภาวะภายในช่องปากของมนุษย์ ในด้านการทดสอบทางเคมีพบว่าสารสกัดมีคุณสมบัติในการยับยั้งการตกตะกอนของแคลเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยไหมขัดฟันที่เคลือบสารสกัดไม่ปรากฏการตกตะกอนภายในระยะเวลา 2 วัน ในขณะที่ไหมขัดฟันทั่วไปในท้องตลาดเริ่มมีการตกตะกอนภายใน 1 วัน

สำหรับคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมและกายภาพ พบว่าไหมขัดฟันจากเส้นใยใบสับปะรดมีค่าแรงตึงเชือกเฉลี่ยอยู่ที่ 39.1 นิวตัน ซึ่งแม้ว่าจะมีค่าต่ำกว่าผลิตภัณฑ์มาตรฐานในท้องตลาดที่มีค่าเฉลี่ย 44.2 นิวตันเล็กน้อย แต่ยังถือว่ามีความแข็งแรงเชิงกลในระดับที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริง นอกจากนี้ งานวิจัยยังระบุว่าการใช้เส้นใยธรรมชาติจากใบสับปะรดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีปริมาณเซลลูโลสสูง [2, 3] ไม่เพียงแต่ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลาสติกสังเคราะห์ แต่ยังทำหน้าที่เป็นระบบนำส่งสารสำคัญ (Drug delivery system) [5] เพื่อเข้าถึงซอกฟันและขัดขวางการก่อตัวของผลึกหินปูนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สรุปได้ว่านวัตกรรมดังกล่าวเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดเพื่อเป็นทางเลือกในการดูแลสุขภาพช่องปากเชิงรุกที่ยั่งยืนและปลอดภัยต่อผู้บริโภค

เอกสารอ้างอิง

[1] สมศักดิ์ จตุรวิทย์. (2563). ทันตกรรมป้องกัน: แนวทางการจัดการคราบจุลินทรีย์และหินปูนในช่องปาก. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล.

[2] เชิดพงษ์ เพียรเติม และ นันทิยา วิริยพรรณ. (2562). การพัฒนาเส้นใยจากใบสับปะรดเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมสิ่งทอและการแปรรูป. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 21(2), 45-58.

[3] Kengkhetkit, N., & Amornsakchai, T. (2020). Utilization of pineapple leaf fiber in new composite materials. Journal of Cleaner Production, 258, 120-135.

[4] พิชญ์สินี พิมพ์ใจ และ วรวุฒิ สมศักดิ์. (2565). ประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกพืชตระกูลส้มในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคในช่องปาก. วารสารพฤกษศาสตร์ไทย, 14(1), 89-102.

[5] Santos, R. L., & Lima, M. F. (2021). Citrus extracts as natural agents for dental calculus inhibition: A chemical perspective. International Journal of Oral Science & Research, 9(3), 214-222.

ฤทธิ์ต้านเชื้อก่อฝี *Staphylococcus aureus* และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยแผ่นแปะไฮโดรเจลจากเปลือกทุเรียนและสารสกัดจากเปลือกทับทิม

สรัลชนา อินทรศิริ[1], วรวลัญช์ สันตานนท์[1], อัมพร เพชรโชติ[1], สุธี จุ้งลก[1], และ อดุลย์สมาน สุขแก้ว[2,3*]

[1]โรงเรียนเบตง "วีระราษฎร์ประสาน" ตำบลเบตง อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[2]สมาคมนักวิจัยชายแดนภาคใต้ ตำบลสะเต็ง อำภอเมือง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[3]คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ตำบลสะเต็ง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

บทคัดย่อ

ฝีเกิดจากการติดเชื้อ โดยสาเหตุหลักมาจากเชื้อ *Staphylococcus aureus* ซึ่งมักอาศัยอยู่บนผิวหนัง และเข้าสู่ร่างกายผ่านทางรูขุมขนหรือบาดแผลเล็กน้อยทำให้เกิดการอักเสบ แม้ว่าแผ่นแปะฝีเชิงพาณิชย์จะมีประสิทธิภาพในการกระตุ้นการรวมตัวของหนอง แต่บรรจุภัณฑ์มีส่วนที่ทำมาจากพลาสติกซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาการสะสมของพลาสติกที่ไม่ย่อยสลาย ซึ่งส่งผลกระทบต่อมนุษย์ในระยะยาว

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแผ่นแปะฝีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้แผ่นไฮโดรเจลที่สกัดจากเปลือกทุเรียนซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร และเสริมสารสกัดในเปลือกทับทิมซึ่งมีพูนิคาลาจินและเอลลาจิก มีคุณสมบัติต้านฤทธิ์แบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และต้านอนุมูลอิสระ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีบรอทไมโครไดลูชัน พบว่าพูนิคาลาจินสามารถยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus* ได้ และค้นพบเอลลาจิกผ่านการวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรโฟโตเมตริก เนื่องจากค่าการดูดกลืนแสงอยู่ที่ 517 นาโนเมตรซึ่งสอดคล้องกับค่ามาตรฐาน แสดงถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

การศึกษานี้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาทางเลือกทางชีวภาพแทนแผ่นแปะฝีดั้งเดิม สามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ มีคุณสมบัติต่อต้านแบคทีเรียและต้านอนุมูลอิสระ ขณะเดียวกันยังเสนอแนวทางดูแลสุขภาพผิวหนังและการรักษาฝี พร้อมทั้งลดปริมาณขยะพลาสติกซึ่งส่งผลดีต่อสภาพสิ่งแวดล้อมช่วยลดสภาวะโลกร้อน นอกจากนี้ แผ่นแปะฝีที่พัฒนาขึ้นยังมีศักยภาพในการต่อยอดเชิงพาณิชย์ เนื่องจากใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติและวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร สามารถพัฒนาและขยายขอบเขตการผลิต และยังสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs)

คำสำคัญ: ไฮโดรเจล / พูนิคาลาจิน / เอลลาจิก / เชื้อ *Staphylococcus aureus* / สเปกโตรโฟโตเมตริก

Antibacterial activity against boil-causing *Staphylococcus aureus* and antioxidant activity of a hydrogel patch derived from durian peel and pomegranate peel extract

Sarunchana Intarasiri[1], Worawalan Santanon[1], Amporn Petchote[1], Suthee Junglok[1], and Adulsman Sukkaew[2,3*],

[1]Betong Wiraratprasan, 19 Ruamwit Road, Betong District, Yala Province, Thailand
[2]Southern Border Province Research Association, Sateng District, Mueang District, Yala Province, Thailand
[3]Faculty of Agricultural Science and Technology, Yala Rajabhat University, Sateng District, Mueang District, Yala Province, Thailand
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

Abstract

This article presents abscesses are caused by infections, primarily from the bacterium *Staphylococcus aureus*. This germ typically lives on the skin and enters the body through hair follicles or minor wounds, leading to inflammation. While commercial abscess patches are effective at drawing out pus, their packaging often contains plastic components. This contributes to the accumulation of non-biodegradable waste, which poses both direct and indirect long-term risks to human health and the environment.

This project aims to develop an environmentally friendly abscess patch using a hydrogel derived from durian husks and enriched with pomegranate peel extract containing punicalagin and ellagic acid. These compounds are natural bioactive substances with antibacterial activity against *Staphylococcus aureus* and antioxidant properties. The hydrogel was extracted from durian husks, an agricultural waste material, while the pomegranate peel extract contributed to the inhibition of *Staphylococcus aureus* and free radical scavenging activity. Broth microdilution analysis showed that punicalagin was able to inhibit the growth of *Staphylococcus aureus*. In addition, ellagic acid was identified through spectrophotometric analysis, with an absorbance peak at 517 nm consistent with standard values, indicating its antioxidant activity.

This study successfully developed a biocompatible alternative to traditional abscess patches. These patches are naturally biodegradable and possess potent antibacterial and antioxidant properties. This innovation offers a new approach to skin health and abscess treatment while simultaneously reducing plastic waste, which helps mitigate global warming and environmental pollution. Furthermore, the developed patches hold significant commercial potential. By utilizing natural raw materials and agricultural waste, the production process is highly scalable. This project also aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs) by promoting sustainable consumption and environmental preservation.

Keywords: Hydrogel / Punikalajin / Ellagic / *Staphylococcus aureus* / Spectrophotometric

1. บทนำ

ในการดำเนินชีวิตประจำวัน ผิวหนังของมนุษย์มักเผชิญกับสภาวะที่เสี่ยงต่อการเกิดบาดแผลและการติดเชื้อได้ง่าย โดยเฉพาะปัญหาการเกิด ฝี (Boil) ซึ่งมีสาเหตุหลักจากการติดเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ที่เข้าสู่ร่างกายผ่านทางรูขุมขนหรือรอยถลอกขนาดเล็ก ก่อให้เกิดกระบวนการอักเสบและสะสมของหนองใต้ชั้นผิวหนัง [1]

ปัจจุบันการรักษาและปกป้องบาดแผลนิยมใช้แผ่นแปะฝีเชิงพาณิชย์เพื่อทำหน้าที่ป้องกันสิ่งสกปรกและดูดซับของเหลว อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มักผลิตจากพอลิเมอร์สังเคราะห์หรือพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ก่อให้เกิดปัญหาขยะสะสมที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [2]

ด้วยเหตุนี้ คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดในการพัฒนา แผ่นแปะไฮโดรเจลจากวัสดุธรรมชาติ เพื่อเป็นทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยการใช้สารสกัดจาก เปลือกทุเรียน ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีโครงสร้างเหมาะสมต่อการขึ้นรูปเป็นไฮโดรเจล [3] และเสริมประสิทธิภาพการรักษาด้วยสารสกัดจาก เปลือกทับทิม ซึ่งมีสารพูนิคาลาจินและกรดเอลลาจิก โดยสารเหล่านี้มีคุณสมบัติโดดเด่นในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Staphylococcus aureus* และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [4]

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาแผ่นแปะไฮโดรเจลจากเปลือกทุเรียนละสารสกัดจากเปลือกทับทิมที่มีคุณสมบัติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจากเปลือกทับทิม (พูนิคาลาจิน เอลลาจิก) ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus*

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาแผ่นแปะไฮโดรเจลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อทดแทนพลาสติกและเพิ่มประสิทธิภาพในการรักษาทางชีวภาพ โดยมีขอบเขตการศึกษาดังนี้

3.1 ขอบเขตด้านวัตถุดิบ

3.1.1 ไฮโดรเจนจากเปลือกทุเรียน ศึกษาการสกัดและพัฒนาแผ่นแปะไฮโดรเจลโดยใช้เปลือกทุเรียนซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นวัตถุดิบหลัก เพื่อทดแทนการใช้พลาสติก

3.1.2 สารสกัดจากเปลือกทับทิม ศึกษาเฉพาะสารสกัดที่มีส่วนประกอบของพูนิคาลาจินและกรดเอลลาจิก เพื่อใช้เป็นสารออกฤทธิ์สำคัญ

3.2 ขอบเขตด้านตัวแปรที่ศึกษา

3.2.1 ตัวแปรต้น สารสกัดจากเปลือกทับทิม (พูนิคาลาจิน และกรดเอลลาจิก) ที่บรรจุในแผ่นแปะไฮโดรเจลจากเปลือกทุเรียน

3.2.2 ตัวแปรตาม ฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

3.2.3 ตัวแปรควบคุม ความยาวคลื่นในการวัดค่าการดูดกลืนแสงและวิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

3.3 ขอบเขตด้านระยะเวลาและสถานที่

สถานที่ดำเนินการ โรงเรียนเบตง "วีระราษฎร์ประสาน", มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา และสมาคมนักวิจัยชายแดนภาคใต้ จังหวัดยะลา

3.4 ขอบเขตด้านเนื้อหาและตัวชี้วัดประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพทางชีวภาพ เน้นศึกษาฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดฝี (*Staphylococcus aureus*) และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างทางกายภาพของเปลือกทุเรียนและสรรพคุณของสารสกัดจากเปลือกทับทิมที่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียและต้านอนุมูลอิสระ

4.2 การเตรียมแผ่นแปะไฮโดรเจล ดำเนินการสกัดไฮโดรเจลจากเปลือกทุเรียนและเตรียมสารสกัดเข้มข้นจากเปลือกทับทิมโดยเน้นสารพูนิคาลาจินและกรดเอลลาจิก

1. นำเปลือกทุเรียนมาล้างทำความสะอาด และตากให้แห้งหรืออบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล
2. นำเปลือกทุเรียนแห้งไปปั่นจนละเอียด และะชั่งเปลือกทุเรียน 10 กรัม
3. เตรียม NaOH 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100มิลลิลิตร
4. น้ำเปลือกทุเรียน 10 กรัม แช่ในสารละลาย NaOH ที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. กรองสารและล้างด้วยน้ำกลั่น 4-5 ครั้งเพื่อล้างสารเคมีที่ตกค้าง บนกากเซลลูโลส
6. นำเซลลูโลสไปอบแห้งที่อุณภูมิ 50-60 องศาเซลเซียล เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับฟอกขาว
7. เตรียมสารละลาย ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ โดยใช้ความเข้มข้นประมาณ 3% กรัม/มิลลิลิตร ของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ผสมกับน้ำกลั่น
8. นำเซลลูโลสมาแช่ในสารละลาย ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ที่เตรียมไว้ โดยให้ปริมาตรของสารละลายเพียงพอที่จะคลุมเซลลูโลส
9. กวนผสม เพื่อให้สารละลาย ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ กระจายทั่วถึง และให้อุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียล และแช่เซลลูโลสในสารละลายประมาณ 1 ชั่วโมง
10. เมื่อเซลลูโลสฟอกขาวจนได้สีที่ต้องการนำสารละลายมากรอง
11. ล้างเซลลูโลส ด้วยน้ำกลั่นจนสะอาดและค่า pH เป็นกลาง
12. เตรียมสารละลาย NaOH 20% กรัม/มิลลิลิตร
    - เตรียมไอโซโพรพิล 200 มิลลิลิตร
    - นำมาผสมกับสารละลาย NaOH ที่เตรียมไว้ในอัตราส่วน 1:2
    - นำเซลลูโลส 1.5 กรัม แช่ใน NaOH 20% กรัม/มิลลิลิตร ในน้ำและไอโซโพรพิล
    - กวนที่อุณหภูมิ 30-50 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
    - เตรียมสารละลาย $C_6H_8O_7$ และ NaOH
    - NaOH 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
    - $C_6H_8O_7$ 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
    - ค่อยๆเติมสารละลาย NaOH ลงในสารละลาย $C_6H_8O_7$ ทีละน้อยพร้อมกวนสาร
    - ตรวจสอบค่า pH ประมาณ 8-10 เพื่อให้เหมาะสมกับ การเกิดปฏิกิริยา Carboxymethylation
    - ค่อยๆเติมสารละลาย $C_6H_8O_7$ + NaOH ลงในสารละลายเซลลูโลส
    - กวนที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
    - ปรับค่า pH ให้อยู่ประมาณ 7-8 กรองและล้าง ด้วยน้ำกลั่น
    - อบแห้งที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียล เพื่อให้ได้ cmc และนำมาบดเป็นผง
    - นำเปลือกทับทิมสดมาทำความสะอาด
    - หั่นเปลือกทับทิมเป็นชิ้นเล็กๆแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 10 นาที
    - จากนั้นนำเปลือกทับทิมแห้งมาบดละเอียดให้เป็นผงด้วยโกร่งบดสาร

- ชั่งผงทับทิม 20 กรัม ละลายใน 95% เอทานอล 200 มิลลิตร
  - กวน 5-10 นาที ทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง
  - กรองสารสกัดเพื่อแยกเอาเศษวัสดุพืชออก
  - นำสารสกัดที่ได้ไประเหยตัวทำละลายด้วยการให้ความร้อนด้วย Hot plate
  - ละลาย cmc ในน้ำกลั่น และให้ความร้อนอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียล เพื่อให้ละลายได้ง่ายขึ้น
  - เมื่อสารละลายมีลักษณะใส และมีความหนืดให้เติมสารสกัดฟีนอลิกที่เตรียมไว้
  - นำไปปั่นให้สารสกัดฟีนอลิกและ cmc ผสมเข้ากันเพื่อให้ส่วนผสมมีความสม่ำเสมอ
  - เมื่อผสมส่วนผสมทั้งหมดแล้ว ให้บรรจุไฮโดรเจลในภาชนะปิด
- เก็บในที่เย็นและมืด เพื่อป้องกันไม่ให้สารสกัดแทนนินเสื่อมคุณภาพ หรือทำให้ไฮโดรเจลเสียคุณสมบัติ

4.3 การขึ้นรูปและผสมสารสกัด นำไฮโดรเจลที่ได้มาขึ้นรูปเป็นแผ่นแปะชีวภาพ พร้อมบรรจุสารสกัดจากเปลือกทับทิมลงในเนื้อไฮโดรเจล เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

4.4 การทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพ ทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีbroth microdilultion และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยสเปกโทรมิเตอร์

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล นำผลการทดสอบที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน เพื่อประเมินศักยภาพในการต่อยอดเชิงพาณิชย์และจัดทำรายงานสรุปผล

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของพูนิคาลาจินต่อเชื้อ *Staphylococcus aureus*

จากการทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ (Minimum Inhibitory Concentration: MIC) ของสารสกัดพูนิคาลาจินต่อเชื้อ *Staphylococcus aureus* ด้วยวิธี Broth Microdilution ใน 96-well plate พบว่าค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 600 nm ของสารละลายเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีพูนิคาลาจินความเข้มข้นต่างๆ มีผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสง (OD600) ของเชื้อ *S. aureus* ที่ความเข้มข้นของ Punicalagin ต่างๆ

Punicalagin (mcg/ml)	Absorbance at 600 nm (ค่าเฉลี่ย)	การเจริญเติบโตของเชื้อ
0(Control)	0.852	+++
31.25	0.612	++
62.5	0.245	+
125	0.045	-(MIC)
250	0.041	-
500	0.038	-

5.2 ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของกรดเอลลาจิก (Ellagic acid)

จากผลการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH Free Radical Scavenging Assay โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดเอลลาจิก พบว่าค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับความเข้มข้นของสารอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งใช้ในการคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ ดังรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงของกรดเอลลาจิก (Ellagic acid) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในการทดสอบDPPH

Ellagic acid (mcg/ml)	Absorbance at 517 nm	% Inhibition
0(Control)	0.820	0.00
10	0.655	20.12
20	0.492	40.00
40	0.246	70.00
80	0.098	88.05
100	0.057	93.05

6. สรุปผลการศึกษา

จากการดำเนินงานวิจัยพบว่าสามารถพัฒนาแผ่นแปะไฮโดรเจลจากเปลือกทุเรียนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้สำเร็จ โดยวัสดุดังกล่าวมีคุณสมบัติในการย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ผลการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพชี้ให้เห็นว่าสารสกัดพูนิคาลาจินและกรดเอลลาจิกที่บรรจุในไฮโดรเจลมีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับค่ามาตรฐานจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สรุปได้ว่าแผ่นแปะไฮโดรเจลที่พัฒนาขึ้นนี้มีศักยภาพในการต่อยอดเชิงพาณิชย์เพื่อใช้เป็นนวัตกรรมทางเลือกในการดูแลผิวหนังและการรักษาฝี อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกและตอบสนองต่อเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

เอกสารอ้างอิง

[1] สมชาย รักสุขภาพ. (2566). จุลชีววิทยาและโรคผิวหนังจากการติดเชื้อแบคทีเรีย. วารสารการแพทย์ไทย, 15(2), 110-125.
[2] รักษ์โลก พัฒนา. (2567). ผลกระทบของวัสดุสังเคราะห์ทางการแพทย์ต่อสิ่งแวดล้อม. สำนักพิมพ์สิ่งแวดล้อมยั่งยืน.
[3] เกษตรกร นักวิจัย. (2565). การพัฒนาไฮโดรเจลจากเปลือกทุเรียนเพื่อการใช้งานทางการแพทย์. วารสารวัสดุชีวภาพ, 8(1), 45-52.
[4] ทับทิม สกัด. (2567). ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารพูนิคาลาจินและกรดเอลลาจิกจากเปลือกทับทิมในการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus*. วารสารพฤกษเคมี, 22(3), 200-215.

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยกากเต้าหู้เพื่อผลิตร่ม

วิชญาดา พรหมจันทร์[1], กุญพิชชา ภัทรชยางกูร[1], นันท์นภัส คันธพิกา[1], ทักษอร ไฝทอง[1], สาแลฮ๊ะ ดีซะเอ๊ะ[1], อดุลย์สมาน สุขแก้ว[3,4], และ สุธี จุ้งลก[2*]

[1]โรงเรียนคณะราษฎรบำรุง จังหวัดยะลา 125 ถนนพิพิธภักดี ตำบลสะเตง อำเภอเมืองยะลา จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[2]โรงเรียนเบตง "วีระราษฎร์ประสาน" 19 ถนนรวมวิทย์ อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[3]สมาคมนักวิจัยชายแดนใต้ ตำบลสะเตง อำเภอเมืองยะลา จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[4]คณะวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ตำบลสะเตง อำเภอเมืองยะลา จังหวัดยะลา ประเทศไทย
*Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมกากเต้าหู้ โดยมุ่งวิเคราะห์ความทนทานต่อความร้อนและการซึมผ่านของน้ำ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับวัสดุร่มชนิดโพลีเอสเตอร์และไนลอน และประเมินความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของร่มที่มีความทนทานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม วิธีการทดลองประกอบด้วยการทดสอบความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 96 ชั่วโมง และการวิเคราะห์การดูดซึมน้ำในช่วงเวลา 1, 3 และ 6 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าวัสดุคอมโพสิตมีการเปลี่ยนรูปอยู่ในช่วง 1–3% และแรงดึงลดลงประมาณ 5–10% ภายใต้ความร้อนสูง ขณะที่โพลีเอสเตอร์คงรูปได้ดีและไนลอนมีการนิ่มตัวเล็กน้อย ส่วนผลการซึมผ่านน้ำพบว่าวัสดุคอมโพสิตมีค่าน้ำซึมผ่านเฉลี่ย 2–5% สูงกว่าโพลีเอสเตอร์ (<1%) แต่ต่ำกว่าไนลอน (≈4.5%) และมีการบวมบริเวณขอบเล็กน้อย ผลลัพธ์สะท้อนว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมกากเต้าหู้มีศักยภาพเป็นวัสดุสำหรับผลิตร่มที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แม้ต้องปรับปรุงด้านความเสถียรต่อความร้อนและการดูดซึมน้ำเพิ่มเติม แต่สามารถเป็นแนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์จากวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: คุณสมบัติทางกายภาพ / คอมโพสิต / พอลิเมอร์ / กากเต้าหู้ / ร่ม

Physical property analysis of polymer composite materials reinforced with tofu residue for umbrella production

Witchayada Phromjan[1], Kulpitcha Phattarayongkul[1], Nannaphat Kantalika[1], Taksaorn Faithong[1], Salaeha Dasa-eh[1], Adulsman Sukkaew[3,4], and Suthee Junglok[2*]

[1]Kanarasdornbumroong Yala School, 125 Phiphitphakdi Road, Sateng, Mueang Yala, Yala, Thailand
[2]Betong Wiraratprasan School, 19 Ruamwit Road , Betong, Yala, Thailand
[3]Southern Border Researchers Association, Sateng, Mueang Yala, Yala, Thailand[4]Faculty of Science, Technology and
[4]Agriculture, Yala Rajabhat University, Sateng, Mueang Yala, Yala, Thailand
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

Abstract

This research aims to study the physical properties of polymer composites reinforced with tofu waste. The study focuses on heat resistance and water permeability. The results are compared with polyester and nylon materials to evaluate their suitability for use in durable and environmentally friendly umbrella components. The experimental methodology involved thermal exposure testing at 100 °C for 96 hours and water absorption analysis at time intervals of 1, 3, and 6 hours. The experimental results indicated that the composite material exhibited deformation in the range of 1-3% and a tensile strength reduction of approximately 5-10% under high heat. In contrast, polyester maintained good dimensional stability, while nylon showed slight softening. Regarding water permeability, the composite material showed an average water permeation rate of 2-5%, which is higher than polyester (<1%) but lower than nylon (≈ 4.5%), and exhibited minor swelling at the edges. The results reflect that the tofu residue-reinforced polymer composite has the potential to be an eco-friendly material for umbrella production. Although further improvements are needed in terms of thermal stability and water absorption resistance, this provides a sustainable pathway for developing products from waste materials in the food industry.

Keywords: Physical Properties / Composite / Polymer / Tofu Residue / Umbrella

1. บทนำ

ร่มที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดมักประสบปัญหาเกี่ยวกับวัสดุผ้า ตัวอย่างเช่น ผ้าร่มฉีกขาดได้ง่ายเมื่อใช้งานต่อเนื่องหรือเมื่อเผชิญกับลมแรง นอกจากนี้ รังสีอัลตราไวโอเลต (UV) ยังทำให้วัสดุเสื่อมสภาพ ส่งผลให้ความเหนียวและความยืดหยุ่นลดลง อีกทั้งผ้ายังสูญเสียคุณสมบัติการกันน้ำเมื่อใช้งานเป็นเวลานาน [1] [2] นอกจากนี้ ผ้าร่มส่วนใหญ่มักผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ เช่น โพลีเอสเตอร์หรือไนลอน แม้ว่าวัสดุเหล่านี้จะมีน้ำหนักเบา แต่ย่อยสลายได้ยาก ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเมื่อกลายเป็นของเสีย

ในปัจจุบัน วัสดุพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber Reinforced Polymers: NFRP) ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ราคาต้นทุนต่ำ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาเน้นการใช้เส้นใยพืชทั่วไป เช่น ปอกระเจา ป่าน หรือเส้นใยมะพร้าว สำหรับโครงสร้างขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม ยังมีงานวิจัยค่อนข้างจำกัดเกี่ยวกับการนำวัสดุเหล่านี้มาใช้กับผลิตภัณฑ์ขนาดเล็กที่ต้องการทั้งความแข็งแรงและความยืดหยุ่น นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาน้อยมากเกี่ยวกับการนำของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในผลิตภัณฑ์ในชีวิตประจำวัน

กากเต้าหู้ (กากถั่วเหลือง) เป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตนมถั่วเหลืองและเต้าหู้ ซึ่งมีศักยภาพสูงเนื่องจากประกอบด้วยโปรตีนและเซลลูโลสในปริมาณมาก [3] โดยเซลลูโลสช่วยเพิ่มความแข็งแรงเชิงกล ในขณะที่โปรตีนช่วยให้วัสดุยึดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดีขึ้น ส่งผลให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงโดยรวมมากขึ้นและลดการแตกหักได้ง่าย อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเกี่ยวกับการนำกากเต้าหู้มาใช้ในวัสดุคอมโพสิตยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะในโครงสร้างของร่ม [4]

ดังนั้น การนำกากเต้าหู้มาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในส่วนประกอบของร่ม เช่น โครงหรือด้ามจับ จึงเป็นแนวคิดที่น่าสนใจ วิธีนี้ไม่เพียงช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทาน แต่ยังช่วยลดการใช้วัสดุสังเคราะห์และลดปริมาณของเสียจากอาหาร อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และการพัฒนาอย่างยั่งยืน [5] งานวิจัยนี้มุ่งวิเคราะห์สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยกากเต้าหู้ เพื่อประเมินความเหมาะสมในการนำไปใช้ในร่มและผลิตภัณฑ์วัสดุชีวภาพอื่น ๆ ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยกากเต้าหู้
2. เพื่อเปรียบเทียบความทนทานต่อความร้อนและการซึมผ่านของน้ำของวัสดุคอมโพสิตกับวัสดุร่มชนิดโพลีเอสเตอร์และไนลอน
3. เพื่อประเมินความเหมาะสมของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยกากเต้าหู้สำหรับการนำไปใช้ผลิตชิ้นส่วนของร่ม
4. เพื่อส่งเสริมการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารให้เกิดมูลค่าเพิ่มและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

3. ขอบเขตของการศึกษา

ตอนที่ 1 การเตรียมวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยกากเต้าหู้

ตัวแปรต้น กากเต้าหู้และพอลิเมอร์

ตัวแปรตาม คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิต

ตัวแปรควบคุม อัตราส่วนกากเต้าหู้ต่อพอลิเมอร์ และกระบวนการขึ้นรูป

4. วิธีการศึกษา

ขั้นตอนการทำวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยกากเต้าหู้เพื่อผลิตร่ม (รูปที่ 1-5)

ขั้นตอนที่ 1 : การเตรียมกากเต้าหู้

- นำกากเต้าหู้สดมาอบในเตาอบจนแห้งสนิทแล้วนำบดให้เป็นผงละเอียดและร่อนด้วยตะแกรงเพื่อให้ได้ขนาดสม่ำเสมอ

ขั้นตอนที่ 2 : การผสมวัสดุคอมโพสิต

- นำผงกากเต้าหู้ผสมกับเรซิ่นชีวะภาพ ตามอัตราส่วยที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 3 : ขึ้นรูปแผ่นวัสดุ

- เทส่วนผสมลงในแม่พิมพ์แล้วปาดให้มีความหนาสม่ำเสมอ และกดอัดด้วยน้ำหนักหรือแผ่นเรียบเพื่อลดช่องอากาศ

ขั้นตอนที่ 4 : ทำให้แข็งตัว

- ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง 24–48 ชั่วโมงและวแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ขั้นตอนที่ 5 : การตัดแต่งและเตรียมใช้งาน

- ตัดแผ่นคอมโพสิตให้ได้ขนาดเหมาะสมกับการทดสอบหรือการผลิตร่มและตรวจสอบผิวหน้า ความเรียบ และความแข็งแรงเบื้องต้น

ขั้นตอนที่ 6 : การทดสอบสมบัติของวัสดุ

- วิธีการทดลองความทนทานต่อความร้อน

นำวัสดุขนาดมาตรฐานไปวางในตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 96 ชั่วโมง แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง สี ความแข็งแรงทางกล รวมถึงการเกิดรอยแตกร้าวหรืออ่อนตัวบริเวณขอบ วัดเปอร์เซ็นต์ความเสียหายและเปรียบเทียบกับวัสดุร่มในท้องตลาด

- วิธีการทดลองการซึมผ่านของน้ำ

เตรียมตัวอย่างวัสดุขนาดเท่ากัน นำไปแช่น้ำหรือวางในสภาวะความชื้นสูงตามช่วงเวลาที่กำหนด (1, 3, 6 ชั่วโมง) จากนั้นชั่งน้ำหนักก่อนและหลังทดลองเพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์น้ำที่ซึมผ่านหรือการเปลี่ยนแปลงของมวล ตรวจสอบการบวมของขอบวัสดุและสังเกตความเปลี่ยนแปลงของสีหลังทดสอบ เปรียบเทียบกับวัสดุมาตรฐานในท้องตลาด

รูปที่ 1 ใส่กากเต้าหู้ละเอียด 50 กรัม ลงในน้ำร้อน 200 มิลลิลิตร

รูปที่ 2 เติมกากเต้าหู้ลงไปอีก 30 มิลลิลิตร

รูปที่ 3 เติมกลีเซอรอล 20

รูปที่ 4 คนให้เข้ากันดี แล้วเทส่วนผสมลงในแม่พิมพ์

รูปที่ 5 นำเข้าเตาอบเพื่อทำให้แห้ง

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการทดลองการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกลและกายภาพของวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยกากเต้าหู้เพื่อผลิตร่ม พบว่าที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 96 ชั่วโมง วัสดุคอมโพสิตมีการอ่อนตัวบริเวณขอบเล็กน้อย โดยค่าการเปลี่ยนแปลงรูปทรงอยู่ในช่วง 1-3% ขณะที่วัสดุร่มที่นิยมในท้องตลาด เช่น โพลีเอสเตอร์ สามารถคงรูปได้ดีโดยไม่มีการอ่อนตัวหรือแตกหัก ส่วนไนลอนอาจเกิดนิ่มตัวหรือเสียรูปเล็กน้อยเนื่องจากจุดหลอมเหลวต่ำกว่าโพลีเอสเตอร์ (โพลีเอสเตอร์มีจุดหลอมเหลวประมาณ 255-265°C ขณะที่ไนลอนมีจุดหลอมเหลวประมาณ 210°C) และโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลีเอสเตอร์อยู่ที่ 3.2 GPa ซึ่งสูงกว่าไนลอนที่ 1.1 GPa จึงทำให้ทนต่อรูปทรงได้ดีในสภาวะความร้อน ผลวิจัยดังแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความทนทานต่อความร้อน

การทดสอบ	พารามิเตอร์การทดสอบ	คอมโพสิตพอลิเมอร์ + กากเต้าหู้	วัสดุร่มโพลีเอสเตอร์	วัสดุร่มไนลอน
ความทนทานต่อความร้อน	100°C, 96 ชั่วโมง	ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ อาจมีอ่อนตัวหรือเปลี่ยนรูปเล็กน้อย (1-3%)	ไม่เปลี่ยนรูป ไม่ละลาย	อาจนิ่มตัวหรือเสียรูปเล็กน้อย (Nylon จุดหลอมเหลวต่ำกว่า Polyester)
ความเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล	อุณหภูมิสูง	ค่าแรงดึงลดลงเล็กน้อย (ประมาณ 5-10%)	เปลี่ยนแปลงน้อยมาก	เสื่อมสภาพง่ายกว่า
การเปลี่ยนแปลงสี	หลังทดสอบความร้อน	อาจซีดบางส่วน < 7%	ไม่เปลี่ยนหรือเปลี่ยนเล็กน้อย <5%	ซีดหรือเหลืองเร็วขึ้นหากโดน UV

สำหรับการทดสอบการซึมผ่านของน้ำ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของวัสดุคอมโพสิตอยู่ที่ประมาณ 2-5% เมื่อแช่ตัวอย่างเป็นเวลา 1 ถึง 6 ชั่วโมง ซึ่งถือว่าอัตราการดูดซึมน้ำสูงกว่าโพลีเอสเตอร์ แต่ต่ำกว่าไนลอนที่มีค่าประมาณ 4.5% โพลีเอสเตอร์มีค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยน้อยกว่า 1% ใน 24 ชั่วโมง และสามารถรักษาความแข็งแรงได้โดยอัตราการขยายตัวของปริมาตรหลังดูดซึมน้ำต่ำมาก (ร่มยังคงรูปร่างเดิมได้ดี) ขณะที่ไนลอนจะเกิดการขยายตัวถึง 1.8% และความแข็งแรงแรงดึงลดลงได้ถึง 30% หากใช้งานในสภาวะร้อนและชื้น

ตารางที่ 2 การซึมผ่านของน้ำ

การทดสอบ	พารามิเตอร์การทดสอบ	คอมโพสิตพอลิเมอร์ + กากเต้าหู้	วัสดุร่มโพลีเอสเตอร์	วัสดุร่มไนลอน
การซึมผ่านของน้ำ	1, 3, 6 ชั่วโมง	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำ (Water Absorption) อาจ 2-5%	< 1% (โพลีเอสเตอร์กันน้ำดี)	1-3% (ไนลอนซึมน้ำง่ายกว่า Polyester)
การเปลี่ยนแปลงรูปทรง	หลังแช่น้ำ	มีบวมที่ขอบเล็กน้อย	ไม่มีบวม ไม่เสียรูป	อาจมีบวม แต่รูปทรงคงตัวดีขึ้น
การเปลี่ยนแปลงสี	หลังแช่น้ำ	เปลี่ยนสีเล็กน้อย < 7%	ไม่เปลี่ยนหรือเปลี่ยนสี < 5%	อาจเปลี่ยนสีชัดเจนกว่าด้วยน้ำ

6. สรุปผลการศึกษา

จากงานวิจัยนี้พบว่าวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยกากเต้าหู้มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมในระดับหนึ่งสำหรับการนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของร่ม โดยผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพพบว่าวัสดุคอมโพสิตสามารถทนต่อความ

ร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 96 ชั่วโมงได้ โดยมีการเปลี่ยนรูปเพียงเล็กน้อยในช่วงประมาณ 1–3% และค่าแรงดึงลดลงประมาณ 5–10% เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุร่มในท้องตลาด เช่น โพลีเอสเตอร์และไนลอน พบว่าวัสดุคอมโพสิตมีความคงตัวต่ำกว่าโพลีเอสเตอร์ แต่ยังอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการใช้งานทั่วไป นอกจากนี้ ผลการทดสอบการซึมผ่านของน้ำแสดงให้เห็นว่าวัสดุคอมโพสิตมีอัตราการดูดซึมน้ำอยู่ที่ประมาณ 2–5% ซึ่งสูงกว่าโพลีเอสเตอร์แต่ต่ำกว่าไนลอน และพบการบวมบริเวณขอบเพียงเล็กน้อย การใช้กากเต้าหู้ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารช่วยเพิ่มมูลค่า ลดของเสีย และเป็นทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแทนวัสดุสังเคราะห์ อย่างไรก็ตาม การศึกษาในอนาคตควรมุ่งเน้นการปรับปรุงความทนทานต่อความร้อนและการลดการดูดซึมน้ำของวัสดุคอมโพสิต รวมถึงการพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ทั้งนี้ งานวิจัยนี้ถือเป็นก้าวสำคัญในการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งมีศักยภาพในการนำไปต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่ยั่งยืนในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] DOSHINE. (2024, July 12). ผ้าที่ทนต่อการฉีกขาดชนิดใดดีที่สุด?

[2] Textile scientist. (2026, January 21). Raincoat no longer waterproof? A textile scientist explains why and how to fix it. The Conversation.

[3] Thwe, M. M., & Liao, K. (2012). Experimental investigation of natural fiber reinforced polymers. Scientific Research, 3(2), 103–108.

[4] United Soybean Board. (2007). Biodegradable soy protein-based compositions (U.S. Patent No. US20080090939A1).

[5] Wang, Y., et al. (2024). Composite hydrogels formed from okara cellulose nanofibers and carrageenan: Fabrication and characterization. International Journal of Biological Macromolecules, 260, 129–140.

การพัฒนาเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาจากเปลือกมังคุดเพื่อดูดซับไมโครพลาสติกจากการซักผ้าโพลีเอสเตอร์

ธิชานันท์ คำศรี, ปริยาภัทร สุขสกุล, รุ่งวิภา คะศรี,และสุธี จุ้งลก*

เบตง วีระราษฎร์ประสาน บ้านเลขที่ 19 ถนนรวมวิทย์ ตำบลเบตง อำเภอเบตง จังหวัดยะลา 95110

**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

บทคัดย่อ

ไมโครพลาสติกจากเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ที่หลุดออกมาในกระบวนการซักผ้าเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาที่ผลิตจากเปลือกมังคุดเพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับไมโครพลาสติกจากน้ำซักผ้า โดยเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพพัฒนามาจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ และเม็ดไบโอชาผลิตจากเปลือกมังคุดด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร โดยศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไมโครพลาสติกในน้ำทิ้งจากการซักผ้าโพลีเอสเตอร์ การเปรียบเทียบการใช้เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาจากเปลือกมังคุดและใช้ร่วมกัน ผลการทดลองพบว่าการใช้เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพ ร่วมกับเม็ดไบโอชาสามารถลดปริมาณไมโครพลาสติกในน้ำซักผ้าได้สูงกว่าการใช้วัสดุเพียงชนิดเดียว เนื่องจากโครงสร้างรูพรุนและพื้นผิว ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการดักจับไมโครพลาสติกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพทำงานร่วมกับเม็ดไบโอชาจากเปลือกมังคุดมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับไมโครพลาสติกในกระบวนการปล่อยน้ำทิ้งจากการซักผ้า และสามารถเป็นแนวทางหนึ่งในการลดปัญหามลพิษทางแหล่งน้ำ พร้อมทั้งเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) รวมถึงกรอบแนวคิดเศรษฐกิจ BCG (Bio-Circular-Green Economy)

คำสำคัญ: ไมโครพลาสติก / น้ำยาซักผ้าโพลีเมอร์ / ไฮโดรเจลชีวภาพ / ไบโอชาจากเปลือกมังคุด / การดูดซับ

Development of biological hydrogel beads combined with mangosteen peel biochar beads for absorption of microplastics from polyester laundry wastewater

Thichanan Kamsri, Priyaphat Suksakul, Rungwipa Khasri and Suthee Junglok*

Betong Wiraratprasan, No. 19 Ruamwithi Road, Betong, Yala 95110, Thailand

**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

Abstract

Microplastics released from polyester clothing during the laundry process are a source of pollution that negatively affects aquatic ecosystems. This study aimed to develop biological hydrogel beads combined with biochar beads produced from mangosteen peels for use as adsorbent materials to remove microplastics from laundry wastewater. The biological hydrogel beads were developed from natural polymers, while the biochar beads were produced from mangosteen peels through a pyrolysis process, which adds value to agricultural waste materials. The efficiency of microplastic adsorption from polyester laundry wastewater was evaluated by comparing the use of biological hydrogel beads alone, mangosteen peel biochar beads alone, and the combined use of both materials.

The experimental results showed that the combined use of biological hydrogel beads and biochar beads reduced the amount of microplastics in laundry wastewater more effectively than the use of either material alone. This enhanced performance is attributed to the increased porosity and surface area, which improve the ability to trap microplastics efficiently. The findings indicate that the combined biological hydrogel–biochar system has strong potential for application as an adsorbent material in laundry wastewater treatment, contributing to the reduction of water pollution and supporting the Sustainable Development Goals (SDGs) and the Bio-Circular-Green Economy (BCG).

Keywords: Microplastics / Laundry detergent polymers / Biological hydrogel / Mangosteen peel biochar / Adsorption.

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาไมโครพลาสติก (Microplastics) ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในระดับโลก เนื่องจากไมโครพลาสติกเป็นอนุภาคพลาสติกขนาดเล็กที่สามารถปนเปื้อนในแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อมได้อย่างแพร่หลาย อีกทั้งยังมีแนวโน้มสะสมในสิ่งมีชีวิตและส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ รวมถึงสุขภาพของมนุษย์ในระยะยาว [1] โดยหนึ่งในแหล่งกำเนิดไมโครพลาสติกที่มีความสำคัญและเกี่ยวข้องโดยตรงกับกิจกรรมในชีวิตประจำวัน คือ ไมโครไฟเบอร์ (Microfibers) หรือเส้นใยพลาสติกขนาดเล็กที่หลุดออกจากสิ่งทอในกระบวนการซักล้าง โดยเฉพาะเสื้อผ้าที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ประเภทโพลีเอสเตอร์ (Polyester) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมสูง เนื่องจากมีคุณสมบัติทนทาน ราคาย่อมเยา และดูแลรักษาง่าย [4]

อย่างไรก็ตาม การซักเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์สามารถก่อให้เกิดการหลุดร่วงของเส้นใยขนาดเล็กจำนวนมากสู่แหล่งน้ำผ่านน้ำทิ้งจากเครื่องซักผ้า และแม้ระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปจะสามารถกำจัดของแข็งบางส่วนได้ แต่ไมโครไฟเบอร์จำนวนหนึ่งยังสามารถหลุดรอดไปสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ เนื่องจากมีขนาดเล็กมากและมีลักษณะเป็นเส้นใยที่ยากต่อการกรองด้วยวิธีปกติ [3] ส่งผลให้ไมโครพลาสติกสะสมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในสิ่งแวดล้อม ซึ่งในประเทศไทยเอง ก็พบการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในพื้นที่ชายหาดหลายแห่ง [2] และปัญหาขยะพลาสติกยังคงเป็นประเด็นสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศ [1]

ดังนั้น แนวทางการลดไมโครพลาสติกตั้งแต่ต้นทาง (Source control) โดยเฉพาะการพัฒนาวัสดุที่สามารถดักจับหรือดูดซับไมโครไฟเบอร์ในน้ำซักผ้าจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า “ไฮโดรเจล” (Hydrogel) เป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นร่างแหสามมิติ สามารถดูดซับน้ำได้สูงและมีลักษณะเป็นรูพรุน จึงมีศักยภาพในการดักจับอนุภาคขนาดเล็กในของเหลว [4] นอกจากนี้ หากพัฒนาไฮโดรเจลจากวัสดุชีวภาพ เช่น โซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate) หรือพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดอื่นจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และการพัฒนาที่ยั่งยืน

อีกทั้ง “ไบโอชา” (Biochar) เป็นวัสดุคาร์บอนที่ได้จากการแปรรูปชีวมวลด้วยกระบวนการไพโรไลซิสภายใต้สภาวะจำกัดออกซิเจน ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นคือมีพื้นที่ผิวสูง มีรูพรุนจำนวนมาก และสามารถดูดซับสารปนเปื้อนในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6] นอกจากนี้ งานวิจัยหลายฉบับยังรายงานว่าไบโอชามีศักยภาพในการกำจัดสารปนเปื้อนทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์จากน้ำได้ดี และเป็นวัสดุดูดซับที่มีต้นทุนต่ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [8],[9]

การผลิตไบโอชาจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น เปลือกมังคุด ซึ่งเป็นของเหลือจากการบริโภคและอุตสาหกรรมอาหาร ยังเป็นแนวทางเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้ง ลดปริมาณขยะอินทรีย์ และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

ดังนั้น โครงงานนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาจากเปลือกมังคุด เพื่อใช้เป็นวัสดุสำหรับดักจับและดูดซับไมโครพลาสติกจากเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ในน้ำซักผ้า โดยอาศัยคุณสมบัติของไฮโดรเจลในการอุ้มน้ำและสร้างโครงสร้างรูพรุนร่วมกับคุณสมบัติของไบโอชาในการเพิ่มพื้นที่ผิวและเพิ่มศักยภาพการดูดซับ อันจะนำไปสู่การพัฒนาวัสดุที่สามารถประยุกต์ใช้ได้จริงในระดับครัวเรือน เพื่อลดการปล่อยไมโครพลาสติกสู่สิ่งแวดล้อม และเป็นแนวทางสนับสนุนการจัดการมลพิษทางน้ำอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาจากเปลือกมังคุดสำหรับใช้ในการดักจับและดูดซับไมโครพลาสติกจากน้ำซักผ้า

2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพ เม็ดไบโอชา และเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาในการลดปริมาณไมโครพลาสติกจากเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ในน้ำซักผ้า

3. ขอบเขตของการศึกษา

โครงงาน “การพัฒนาเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาจากเปลือกมังคุดเพื่อดักจับไมโครพลาสติกจากเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ในน้ำซักผ้า” มีขอบเขตการศึกษาดังนี้

3.1 ขอบเขตด้านวัสดุและการพัฒนา

ศึกษาการพัฒนาเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพ และเม็ดไบโอชาที่ผลิตจากเปลือกมังคุด รวมถึงการประยุกต์ใช้ร่วมกัน ในรูปแบบเม็ดวัสดุสำหรับการดักจับและดูดซับไมโครพลาสติกในน้ำซักผ้า โดยจำกัดการศึกษาเฉพาะการใช้งานในสภาวะที่ใกล้เคียงกับการซักผ้าในระดับครัวเรือน ไมโครพลาสติกที่ศึกษาในโครงงานนี้มาจากเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ ซึ่งปล่อยไมโครไฟเบอร์ออกมาในระหว่างการซักเท่านั้น ไม่ครอบคลุมไมโครพลาสติกจากแหล่งอื่น เช่น พลาสติกแตกตัวจากบรรจุภัณฑ์ หรือไมโครพลาสติกจากเครื่องสำอางขอบเขตด้านแหล่งที่มาของไมโครพลาสติกไมโครพลาสติกที่ศึกษาในโครงงานนี้มาจากเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ ซึ่งปล่อยไมโครไฟเบอร์ออกมาในระหว่างการซัก

โดยไม่ครอบคลุมไมโครพลาสติกจากแหล่งอื่น เช่น พลาสติกแตกตัวจากบรรจุภัณฑ์ หรือไมโครพลาสติกจากเครื่องสำอาง

3.2 ขอบเขตด้านการทดลอง

การทดลองดำเนินการโดยใช้น้ำซักผ้าจำลองหรือ น้ำซักผ้าจริงจากการซักเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ และศึกษาประสิทธิภาพการดักจับ/ดูดซับไมโครพลาสติกของวัสดุในกลุ่มทดลองต่างๆ ได้แก่

1) ไม่ใช้วัสดุ (ชุดควบคุม)

2) ใช้เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพ

3) ใช้เม็ดไบโอชา

4) ใช้เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชา

โดยกำหนดตัวแปรที่ศึกษา เช่น ปริมาณวัสดุ ระยะเวลาสัมผัส และสภาวะของน้ำซักผ้า (เช่น ความเข้มข้นของสารซักฟอก)

4. วิธีการศึกษา

การพัฒนาเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาจากเปลือกมังคุดเพื่อดักจับไมโครพลาสติกจากเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ในน้ำซักผ้า

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัสดุทดลอง

1.1 เตรียมเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพตามสูตรที่กำหนด และทำให้ได้ขนาดใกล้เคียงกัน

1.2 ผลิตเม็ดไบโอชาจากเปลือกมังคุดด้วยกระบวนการเผาในสภาวะจำกัดออกซิเจน จากนั้นบดและขึ้นรูปเป็นเม็ดขนาดสม่ำเสมอทำให้วัสดุแห้งและเก็บรักษาในภาชนะปิดสนิทก่อนนำไปใช้ทดลอง

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมน้ำซักผ้าตัวอย่าง

2.1 นำผ้าโพลีเอสเตอร์น้ำหนัก 50 กรัม ซักด้วยน้ำสะอาดปริมาตร 1 ลิตร ร่วมกับสารซักฟอก 5 กรัม โดยทำการกวนหรือเขย่าให้ผ้าสัมผัสกับน้ำและสารซักฟอกอย่างทั่วถึงเป็นเวลา 15 นาที เพื่อจำลองกระบวนการซักผ้าและทำให้เกิดการหลุดของเส้นใยไมโครไฟเบอร์

2.2 เก็บรวบรวมน้ำซักผ้าหลังการซักเพื่อใช้เป็นสารละลายตัวอย่างในการทดลอง

ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบการทดลอง

แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุด ได้แก่

- ชุดควบคุม (ไม่ใส่วัสดุ)
- ชุดที่ใส่เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพ
- ชุดที่ใส่เม็ดไบโอชา
- ชุดที่ใส่เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชา

ในการทดลองแต่ละชุด ใช้น้ำซักผ้าปริมาตร 500 มิลลิลิตร เทผ่านชุดวัสดุที่บรรจุอยู่ในอุปกรณ์กรองโดยใช้วัสดุปริมาณ 10 กรัม ต่อชุดการทดลอง น้ำซักผ้าจะไหลผ่านชั้นวัสดุด้วยอัตราการไหลคงที่ เพื่อให้ไมโครไฟเบอร์สัมผัสกับพื้นผิวของวัสดุและถูกดักจับไว้ภายในโครงสร้างรูพรุนของวัสดุ ก่อนเก็บน้ำที่ผ่านการกรองเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณไมโครไฟเบอร์ที่เหลืออยู่

ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพการดักจับไมโครพลาสติก

4.1 เติมวัสดุลงในน้ำซักผ้าตัวอย่างและกวนหรือเขย่าในระยะเวลาที่กำหนด

4.2 แยกวัสดุออกจากน้ำซักผ้า

4.3 กรองน้ำที่ผ่านการทดลองด้วยกระดาษกรองที่มีขนาดรูพรุนเหมาะสม

4.4 ทำให้กระดาษกรองแห้งและชั่งน้ำหนัก หรือใช้กล้องจุลทรรศน์ในการนับจำนวนเส้นใยไมโครไฟเบอร์

ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 เปรียบเทียบปริมาณไมโครไฟเบอร์ก่อนและหลังการใช้วัสดุ

5.2 คำนวณร้อยละประสิทธิภาพการดักจับไมโครพลาสติกของแต่ละชุดทดลอง

5.3 วิเคราะห์ผลและสรุปประสิทธิภาพของวัสดุแต่ละประเภท

4.1 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เพื่ออธิบายและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับไมโครพลาสติกของวัสดุแต่ละชุดการทดลอง โดยสถิติที่ใช้ประกอบด้วย

1) ค่าเฉลี่ย (Mean)

ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยของปริมาณไมโครไฟเบอร์ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละชุดการทดลอง

2) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.)

ใช้แสดงการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละชุดการทดลอง

3) ค่าร้อยละ (Percentage)

ใช้คำนวณประสิทธิภาพการดักจับไมโครพลาสติกของวัสดุแต่ละประเภท

โดยคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกจากสูตร

$$\text{Removal efficiency (\%)} = \frac{C0 - Ct}{C0} \times 100$$

เมื่อ

C_0 คือ ปริมาณไมโครไฟเบอร์ก่อนการทดลอง

C_t คือ ปริมาณไมโครไฟเบอร์หลังการทดลอง

จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการดักจับไมโครไฟเบอร์ของเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพ เม็ดไบโอชา และการใช้ร่วมกันของวัสดุทั้งสองชนิด ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดในการทดลอง โดยการประเมินประสิทธิภาพดังกล่าวอาศัยการคำนวณร้อยละการกำจัด

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการดำเนินการทดลองพัฒนาเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาจากเปลือกมังคุดเพื่อดักจับไมโครพลาสติกจากเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ในน้ำซักผ้า พบว่าประสิทธิภาพในการดักจับไมโครไฟเบอร์แตกต่างกันตามประเภทของวัสดุที่ใช้ โดยชุดควบคุมที่ไม่ใช้วัสดุมีปริมาณไมโครไฟเบอร์คงเหลือมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าไมโครไฟเบอร์สามารถหลุดรอดไปกับน้ำซักผ้าได้โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ [3] ที่พบว่าเสื้อผ้าเส้นใยสังเคราะห์ เช่น โพลีเอสเตอร์ สามารถปล่อยไมโครไฟเบอร์จำนวนมากในระหว่างกระบวนการซักผ้า และไมโครไฟเบอร์เหล่านี้สามารถปนเปื้อนในแหล่งน้ำได้ นอกจากนี้ [1], [4] ยังรายงานว่าไมโครไฟเบอร์จากสิ่งทอเป็นหนึ่งในแหล่งกำเนิดไมโครพลาสติกที่สำคัญในสิ่งแวดล้อม

เมื่อใช้เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพเพียงอย่างเดียวสามารถลดปริมาณไมโครไฟเบอร์ลงได้ในระดับหนึ่ง เนื่องจากโครงสร้างแบบโครงข่ายสามมิติของไฮโดรเจลมีความสามารถในการดูดซับน้ำและกักเก็บอนุภาคขนาดเล็กไว้ภายในโครงสร้างรูพรุนของวัสดุ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [5] ที่รายงานว่าไฮโดรเจลเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างร่างแหสามมิติ สามารถดูดซับน้ำและกักเก็บอนุภาคหรือสารปนเปื้อนขนาดเล็กในสารละลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในส่วนของเม็ดไบโอชาจากเปลือกมังคุด พบว่าสามารถดักจับไมโครไฟเบอร์ได้ดีกว่าชุดควบคุมเช่นกัน เนื่องจากไบโอชามีโครงสร้างรูพรุนจำนวนมากและมีพื้นที่ผิวสูง ทำให้เส้นใยไมโครไฟเบอร์สามารถยึดเกาะบนพื้นผิวของวัสดุได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [6] ที่รายงานว่าไบโอชามีศักยภาพในการดูดซับสารปนเปื้อนในน้ำได้ดี เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงและโครงสร้างรูพรุนจำนวนมาก นอกจากนี้ [7], [8] ยังรายงานว่าไบโอชาเป็นวัสดุดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารปนเปื้อนทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์จากน้ำ

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองทั้งหมด กลุ่มที่ใช้เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาให้ประสิทธิภาพดีที่สุด แสดงถึงผลเสริมฤทธิ์ของวัสดุทั้งสองชนิด โดยไฮโดรเจลช่วยเพิ่มโอกาสในการสัมผัสระหว่างไมโครไฟเบอร์กับวัสดุ ขณะที่ไบโอชาทำหน้าที่ยึดเกาะและกักเก็บเส้นใยไว้ภายในโครงสร้างรูพรุนของวัสดุ แนวคิดการใช้วัสดุเชิงผสมลักษณะนี้สอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาวัสดุสำหรับการบำบัดน้ำที่รวมคุณสมบัติเด่นของวัสดุหลายชนิดเข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารปนเปื้อน [9]

จากการอภิปรายผลสามารถสรุปได้ว่า การใช้วัสดุร่วมกันมีศักยภาพสูงกว่าการใช้วัสดุชนิดเดียว และเป็นแนวทางที่มีความเป็นไปได้ในการพัฒนาวัสดุสำหรับดักจับไมโครไฟเบอร์จากน้ำซักผ้าในระดับครัวเรือน ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการจัดการปัญหาไมโครพลาสติกที่มุ่งลดการปล่อยไมโครพลาสติกตั้งแต่ต้นทาง (Source control) ตามรายงานสถานการณ์ขยะพลาสติกของประเทศไทย [1] และการศึกษาการปนเปื้อนไมโครพลาสติกในสิ่งแวดล้อมทางทะเลของประเทศไทย [2]

อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการดักจับยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ปริมาณวัสดุ ระยะเวลาการสัมผัส และความเข้มข้นของสารซักฟอก ดังนั้นควรมีการศึกษาต่อยอดเพื่อปรับปรุงโครงสร้างและความคงทนของวัสดุ รวมทั้งออกแบบต้นแบบอุปกรณ์กรองที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานจริงในระดับครัวเรือนต่อไป

5.1 ผลการศึกษารูปแบบผลงานวิชาการ

ผลการศึกษาพบว่า ชุดควบคุมที่ไม่ใช้วัสดุมีปริมาณไมโครไฟเบอร์คงเหลือในน้ำซักผ้าสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าไมโครพลาสติกจากการซักเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์สามารถปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้งได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพเพียงอย่างเดียวพบว่าสามารถลดปริมาณไมโครไฟเบอร์ลงได้ในระดับหนึ่ง เนื่องจากโครงสร้างร่างแหสามมิติและลักษณะรูพรุนของไฮโดรเจล ช่วยกักเก็บเส้นใยขนาดเล็กไว้ภายในโครงสร้างวัสดุ ขณะที่ชุดที่ใช้เม็ดไบโอชาเพียงอย่างเดียวให้ผลการดักจับสูงขึ้นในบางสภาวะซึ่งอาจเกิดจากพื้นที่ผิวจำเพาะสูงและรูพรุนจำนวนมากของไบโอชาที่ช่วยเพิ่มโอกาสในการยึดเกาะของเส้นใยไมโครพลาสติก

อย่างไรก็ตาม ชุดการทดลองที่ใช้เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาพบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกสูงที่สุด แสดงถึงผลเสริมฤทธิ์ของวัสดุทั้งสองชนิด โดยไฮโดรเจลทำหน้าที่เป็นโครงสร้างกักเก็บและเพิ่มระยะเวลาสัมผัสระหว่างเส้นใยกับวัสดุ ส่วนไบโอชาช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวและแรงยึดเกาะ ส่งผลให้สามารถดักจับไมโครไฟเบอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผลการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของวัสดุชีวภาพร่วมกับวัสดุคาร์บอนจากของเหลือทิ้งทางการเกษตร ในการประยุกต์ใช้เพื่อลดปัญหาไมโครพลาสติกในระดับครัวเรือน และเป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการมลพิษทางน้ำอย่างยั่งยืน

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการดักจับไมโครพลาสติกของวัสดุแต่ละชนิดภายใต้การทดลอง

ประเภทชุดทดลอง	ปริมาณไมโครไฟเบอร์ก่อนทดลอง (มก.)	ปริมาณไมโครไฟเบอร์หลังทดลอง (มก.)	ร้อยละการกำจัด (%)
1) ชุดควบคุม(ไม่ใช้วัสดุ)	100	98	2.00
2) เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพ	100	65	35.00
3) เม็ดไบโอชา	100	52	48.00
4) ไฮโดรเจล + เม็ดไบโอชา	100	28	72.00

จากตารางที่ 1 พบว่า วัสดุไฮโดรเจลร่วมกับไบโอชามีประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกสูงกว่าวัสดุเดี่ยว โดยสามารถลดจำนวนอนุภาคได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้วัสดุผสมในการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดลองเบื้องต้นภายใต้เงื่อนไขควบคุมเดียวกัน

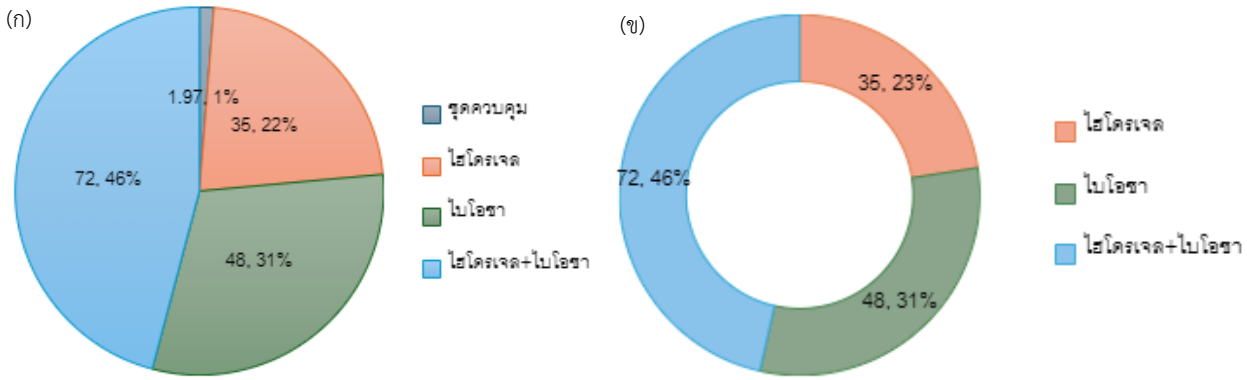
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของร้อยละการกำจัดไมโครพลาสติก

ประเภทชุดการทดลอง	ค่าเฉลี่ยร้อยละการกำจัด(%)	ค่า S.D.
1) ชุดควบคุม	1.97	±0.15
2) เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพ	35.00	±1.00
3) เม็ดไบโอชา	48.00	±1.00
4) ไฮโดรเจล + เม็ดไบโอชา	72.00	±1.73

จากตารางที่ 2 พบว่า ชุดทดลองไฮโดรเจลร่วมกับไบโอชามีค่าเฉลี่ยการกำจัดไมโครพลาสติกสูงที่สุด และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ แสดงถึงความเสถียรของผลการทดลอง ขณะที่ไฮโดรเจลเดี่ยวมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการผสมผสานคุณสมบัติการอุ้มน้ำของไฮโดรเจลกับโครงสร้างรูพรุนของไบโอชาส่งผลให้เกิดการดูดซับที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.2 ผลการศึกษาข้อมูลผลงานวิชาการในฐานข้อมูล Scopus

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 และ 2 พบว่า ชุดควบคุมมีร้อยละการกำจัดไมโครพลาสติกต่ำที่สุด (เฉลี่ย 1.97 ± 0.15%) แสดงให้เห็นว่าไมโครไฟเบอร์ยังคงปนเปื้อนอยู่ในน้ำอย่างชัดเจน ขณะที่เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพสามารถกำจัดได้เฉลี่ย 35.00 ± 1.00% และเม็ดไบโอชากำจัดได้เฉลี่ย 48.00 ± 1.00% ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อใช้วัสดุผสมไฮโดรเจลร่วมกับไบโอชา พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุด โดยสามารถกำจัดไมโครพลาสติกได้เฉลี่ย 72.00 ± 1.73% สะท้อนให้เห็นถึงการทำงานเสริมฤทธิ์กันของวัสดุทั้งสองชนิด อีกทั้งค่า S.D. ที่อยู่ในระดับต่ำบ่งชี้ว่าผลการทดลอง มีความสม่ำเสมอและเชื่อถือได้ ดังนั้น วัสดุผสมไฮโดรเจลร่วมกับไบโอชาจึงมีศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้เพื่อลดการปนเปื้อน ไมโครพลาสติกในน้ำซักผ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของวัสดุชีวภาพร่วมกับวัสดุคาร์บอนจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรในการประยุกต์ใช้เพื่อลดปัญหาไมโครพลาสติกจากน้ำซักผ้าในระดับครัวเรือน



รูปที่ 1 แสดง (ก) ร้อยละการกำจัดไมโครพลาสติกของชุดควบคุม เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพ เม็ดไบโอชา และวัสดุผสมไฮโดรเจลร่วมกับไบโอชา และ (ข) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกของวัสดุแต่ละชนิด

จากผลการทดลองดังแสดงใน รูปที่ 1 พบว่า วัสดุไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับไบโอชาจากเปลือกมังคุดมีประสิทธิภาพในการดักจับไมโครพลาสติกสูงกว่าวัสดุชนิดอื่นอย่างชัดเจน (รูปที่ 1 ก) เนื่องจากคุณสมบัติของไฮโดรเจลที่สามารถอุ้มน้ำและยึดเกาะอนุภาคขนาดเล็กได้ดี ร่วมกับไบโอชาที่มีพื้นที่ผิวสูง จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับได้มากขึ้น

ขณะเดียวกัน (รูปที่ 1 ข) แสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุผสมให้ค่าร้อยละประสิทธิภาพสูงกว่าวัสดุเดี่ยว สะท้อนถึงการเสริมฤทธิ์ของวัสดุทั้งสองชนิด ส่งผลให้สามารถลดปริมาณไมโครพลาสติกในน้ำซักผ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. สรุปผลการศึกษา

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วัสดุผสมไฮโดรเจลร่วมกับไบโอชามีประสิทธิภาพในการกำจัดไมโครพลาสติกสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุเดี่ยว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติการอุ้มน้ำและโครงสร้างพอลิเมอร์ของไฮโดรเจลที่ช่วยดักจับอนุภาคขนาดเล็ก ร่วมกับโครงสร้างรูพรุนและพื้นที่ผิวสูงของไบโอชาที่ช่วยเพิ่มจุดยึดเกาะของไมโครพลาสติก ส่งผลให้เกิดการทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ วัสดุไบโอชาจากเปลือกมังคุดยังแสดงศักยภาพในการเป็นวัสดุดูดซับที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้ ขณะที่ไฮโดรเจลชีวภาพสามารถประยุกต์ใช้ในระบบกรองน้ำเบื้องต้นได้เช่นกัน

นอกจากนี้ การนำเปลือกมังคุดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ผลิตไบโอชายังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับชีวมวลและลดของเสียสู่สิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยได้รายงานว่าไบโอชามีโครงสร้างรูพรุนและพื้นที่ผิวสูง จึงเหมาะสมต่อการดูดซับสารปนเปื้อนในน้ำ [6], [7], [8] ขณะที่ไฮโดรเจลมีโครงสร้างพอลิเมอร์สามมิติที่สามารถกักเก็บน้ำและดักจับอนุภาคขนาดเล็กได้ดี [5] ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาครั้งนี้ที่พบว่าวัสดุผสมมีประสิทธิภาพสูงกว่าวัสดุเดี่ยว ทั้งนี้ ปัญหาไมโครพลาสติกจากสิ่งทอได้รับการยืนยันว่าเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทางน้ำ [3], [4] และเป็นประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมที่ประเทศไทยให้ความสำคัญ [1], [2], [10] ดังนั้น การพัฒนาวัสดุดูดซับจากชีวมวลจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2563). สถานการณ์ขยะพลาสติกของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2562. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจารุวรรณ ธรรมวัตร. (2538). วิเคราะห์ภูมิปัญญาอีสาน. อุบลราชธานี: ศิริธรรมออฟเซ็ท.

[2] Pradit, S., Towatana, P., Nitiratsuwan, T., Jualaong, S., & Sornplang, K. (2020). Occurrence of microplastics on beaches in Thailand. Marine Pollution Bulletin, 161, 111733. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111733

[3] Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2016). Release of synthetic microplastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. Marine Pollution Bulletin, 112(1–2), 39–45. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.025

[4] Henry, B., Laitala, K., & Klepp, I. G. (2019). Microplastic pollution from textiles: A literature review. Environmental Sciences Europe, 31(1), 21. https://doi.org/10.1186/s12302-019-0180-5Ahmed, E. M. (2015).

[5] Hydrogel: Preparation, characterization, and applications. Journal of Advanced Research, 6(2), 105–121. https://doi.org/10.1016/j.jare.2013.07.006

[6] Tan, X., Liu, Y., Zeng, G., Wang, X., Hu, X., Gu, Y., & Yang, Z. (2015). Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. Chemosphere, 125, 70–85. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.058

[7] Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., & Ok, Y. S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. Chemosphere, 99, 19–33. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071

[8] Mohan, D., Sarswat, A., Ok, Y. S., & Pittman Jr, C. U. (2014). Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent. Bioresource Technology, 160, 191–202. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.120

[9] Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation (2nd ed.). Routledge.

[10] World Health Organization (WHO). (2019). Microplastics in drinking-water. Geneva: WHO Press.

การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและนโยบาย

Natural Resource and Environmental Management and Policy

Poster Presentation

การประเมินความเป็นไปได้ในการบริหารจัดการขยะ: กรณีศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการรื้อร่อนขยะเก่ากับการจัดหาพื้นที่ฝังกลบใหม่ ของเทศบาลเมืองน่าน

จรินทนา เชื้อสะอาด* และ สุรัตน์ เศษโพธิ์

คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา ตำบลแม่กา อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา ประเทศไทย

Corresponding author: 65140613@up.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินทางเลือกในการบริหารจัดการขยะในอนาคตของเทศบาลเมืองน่าน เพื่อแก้ไขปัญหาระบบกำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบ ในปัจจุบันที่มีพื้นที่จำกัดและรองรับปริมาณขยะจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเครือข่ายจำนวนมาก โดยเปรียบเทียบ 2 กรณีศึกษา ได้แก่ 1) การรื้อและร่อนเอาขยะเก่าออกจากบ่อฝังกลบเดิม ร่วมกับการจัดการขยะในปัจจุบัน และ 2) การจัดหาพื้นที่ใหม่เพื่อก่อสร้างระบบฝังกลบ โดยการศึกษานี้ ได้ประยุกต์ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) เข้ามาช่วยในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ครอบคลุมด้านการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ควบคู่กับการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลการศึกษาของ กรณีศึกษาที่ 1 พบว่ามีต้นทุนการดำเนินงาน อยู่ที่ 39.9 ล้านบาท ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มากกว่า 2,220 ล้านบาท และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) เท่ากับ 9.90 จากการได้มูลค่าที่ดินกลับคืนมาใช้ประโยชน์ และรายได้จากวัสดุที่คัดแยกได้ อีกทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมยังช่วยจัดการความเสี่ยงจากก๊าซมีเทนสะสมในบ่อฝังกลบเก่าเทียบเท่า 99,963 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2e) สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 พบว่า ต้องใช้ต้นทุนเริ่มต้นสูงถึง 223.2 ล้านบาท และผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ให้ผลตอบแทนสุทธิเป็นลบ นอกจากนี้ การก่อสร้างระบบฝังกลบแห่งใหม่ ยังก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้วัสดุและพลังงานประมาณ 10,631 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2e) และไม่สามารถจัดการปัญหาก๊าซมีเทนที่มีการสะสมในหลุมฝังกลบเดิมได้ จากข้อมูลข้างต้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบปัจจัยด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ รวมถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อม กรณีศึกษาที่ 1 แสดงให้เห็นถึงความได้เปรียบและมีศักยภาพในการแก้ปัญหาพื้นที่ไม่เพียงพอ อย่างไรก็ตามการตัดสินใจเลือกแนวทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเทศบาลฯ จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยด้านความพร้อมทางเทคนิค และการยอมรับของชุมชนในพื้นที่ รวมถึงข้อจำกัด หรือเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องที่สอดคล้องกับบริบทการบริหารจัดการขยะในพื้นที่มากที่สุด

คำสำคัญ: การบริหารจัดการขยะ / การรื้อร่อนขยะ / การประเมินความคุ้มค่า / เทศบาลเมืองน่าน / การประเมินวัฏจักรชีวิต

Feasibility study of waste management: Comparing landfill mining and new landfill development in Nan Municipality

Jarintana Chuarsa-ard * and Surat Sedpho

School of Energy and Environment, University of Phayao, Phayao, Thailand.
**Corresponding author: 65140613@up.ac.th*

Abstract

This research aims to assess future waste management alternatives for Nan Municipality to address the limitations of the current sanitary landfill system, which faces space constraints while supporting a large volume of waste from numerous network local administrative organizations. Two scenarios were compared: 1) Landfill mining of existing waste from the old landfill combined with current waste management practices, and 2) Acquisition of a new site for landfill system construction. This study applied Life Cycle Assessment (LCA) principles to evaluate environmental impacts, covering energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions, alongside an economic feasibility assessment. The results for Scenario 1 revealed an operating cost of 39.9 million THB, yielding economic returns with a Net Present Value (NPV) exceeding 2,220 million THB and a Benefit-Cost Ratio (BCR) of 9.90, derived from reclaimed land value and revenue from separated materials. Environmentally, this scenario mitigates the risk of accumulated methane gas in the old landfill, equivalent to 99,963 tons of carbon dioxide equivalent (tCO_2e). In contrast, Scenario 2 required a high initial investment of 223.2 million THB, resulting in a negative net economic return. Furthermore, constructing a new landfill generates environmental impacts from material and energy use, estimated at approximately 10,631 tCO_2e, and fails to address the methane accumulation in the existing landfill. Based on these findings, Scenario 1 demonstrates superior economic viability and environmental potential in resolving land scarcity. However, selecting the most appropriate approach for the municipality requires further consideration of technical readiness, community acceptance, and specific local constraints to ensure alignment with the regional waste management context.

Keywords: Waste management / Landfill mining / Economic Feasibility / Nan Municipality / Life cycle assessment

1. บทนำ

เทศบาลเมืองน่าน จังหวัดน่าน ขับเคลื่อนเมืองสู่เป้าหมาย เมืองเก่ามีชีวิต สิ่งแวดล้อมยั่งยืนควบคู่กับการพัฒนาตามแนวทางเมืองน่าอยู่สู่เมืองอัจฉริยะ [1] เพื่อส่งเสริมเศรษฐกิจและการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ ในด้านการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม เทศบาลฯ มีระบบกำจัดขยะมูลฝอย ประกอบด้วย อาคารคัดแยก โรงหมักปุ๋ย และระบบบำบัดน้ำเสีย อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันเทศบาลฯ ต้องแบกรับภาระในการกำจัดขยะมูลฝอยจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ร่วมทิ้งหลายแห่ง ทำให้มีปริมาณขยะเข้าสู่ระบบรวมกว่า 65 ตันต่อวัน ส่งผลให้บ่อฝังกลบระยะที่ 2 ซึ่งเริ่มใช้งานมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 กำลังจะเต็มความจุ และไม่สามารถขยายพื้นที่กำจัดขยะเพิ่มเติมได้

จากข้อจำกัดดังกล่าว เทศบาลเมืองน่านจึงมีความจำเป็นต้องหาแนวทางบริหารจัดการพื้นที่ โดยมุ่งเน้นไปที่ บ่อฝังกลบระยะที่ 1 ซึ่งปิดการใช้งานไปแล้วและมีขยะสะสมกว่า 231,000 ลูกบาศก์เมตร [2] (ยังคงมีสภาพการย่อยสลายแบบไร้อากาศเนื่องจากมีการนำขยะจากบ่อปัจจุบันบางส่วนมาเทกองสมทบ) เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับนโยบายของกรมควบคุมมลพิษ ที่ได้ลงพื้นที่ติดตามและสนับสนุนให้มีแผนการนำขยะเก่ากลับมาใช้ประโยชน์เพื่อยืดอายุการใช้งานพื้นที่กำจัดขยะ [3] งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการบริหารจัดการขยะในอนาคต โดยเปรียบเทียบระหว่างการรื้อร่อนขยะเก่ากับการจัดหาพื้นที่ใหม่ ผ่านการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามหลักวัฏจักรชีวิต (LCA) เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจเชิงนโยบายที่เหมาะสมที่สุด

2. วัตถุประสงค์

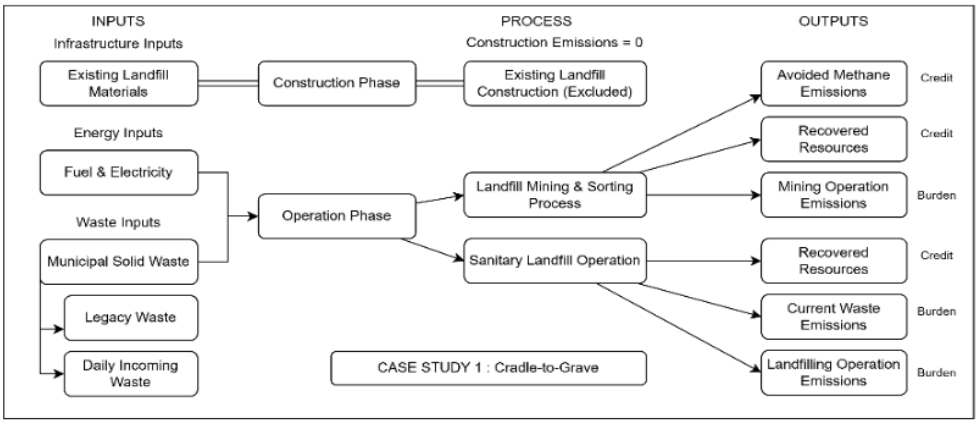
1. เพื่อประเมินทางเลือกและความเป็นไปได้ในการบริหารจัดการขยะในอนาคตของเทศบาลเมืองน่าน เพื่อแก้ไขปัญหาพื้นที่กำจัดขยะไม่เพียงพอ
2. เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ระหว่างกรณีการรื้อร่อนขยะเก่า ร่วมกับการดำเนินการปัจจุบัน กับการจัดหาพื้นที่ใหม่ในการจัดการขยะ
3. เพื่อเสนอแนะแนวทางบริหารจัดการขยะที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพสำหรับเทศบาลเมืองน่าน โดยพิจารณาจากผลตอบแทนที่คุ้มค่าและการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3. ขอบเขตของการศึกษา

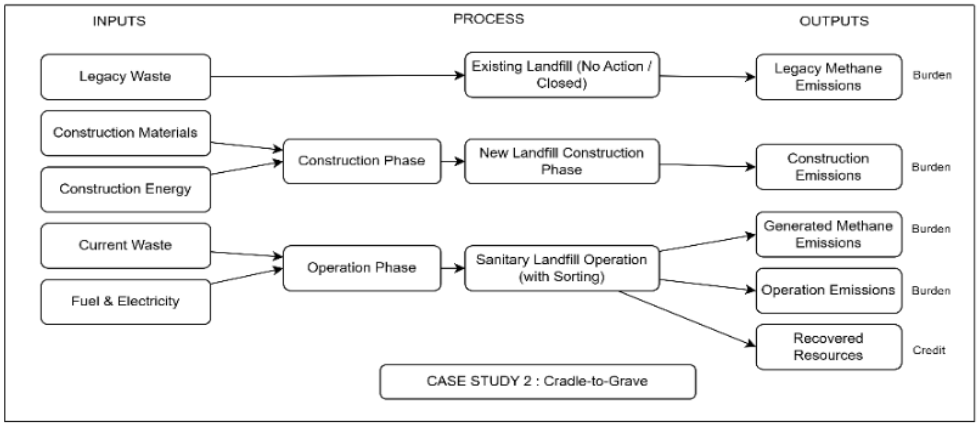
งานวิจัยนี้เป็นการประเมินความเป็นไปได้ในการบริหารจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองน่าน จังหวัดน่าน โดยมุ่งเน้นการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามหลักวัฏจักรชีวิต (LCA) ระหว่างการรื้อร่อนขยะเก่ากับการจัดหาพื้นที่ฝังกลบใหม่ เพื่อเสนอแนวทางที่เหมาะสมที่สุดภายใต้กรอบระยะเวลาการประเมินโครงการ 20 ปี (พ.ศ. 2569-2588) โดยมีขอบเขตของการศึกษา ดังนี้

1. ขอบเขตด้านพื้นที่และกรณีศึกษา กำหนดพื้นที่ศึกษา ณ ศูนย์กำจัดขยะมูลฝอยเทศบาลเมืองน่าน ซึ่งประกอบด้วย บ่อฝังกลบเดิมที่ปิดใช้งานแล้ว ที่มีขยะสะสมประมาณ 159,390 ตัน และบ่อฝังกลบปัจจุบันที่กำลังดำเนินการอยู่ โดยเปรียบเทียบ 2 กรณีศึกษา ได้แก่ 1) กรณีศึกษาที่ 1 การดำเนินการรื้อร่อนขยะเก่าจากบ่อที่ปิดดำเนินการควบคู่ไปกับการบริหารจัดการขยะมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบปัจจุบัน ณ บ่อที่ยังดำเนินการอยู่ และ 2) กรณีศึกษาที่ 2 การจัดหาพื้นที่ฝังกลบใหม่ และดำเนินการปิดบ่อเดิมถาวร โดยจัดหาพื้นที่ใหม่ขนาด 100 ไร่ เพื่อสร้างระบบฝังกลบพร้อมโรงคัดแยกขยะ สำหรับรองรับขยะในอนาคตทดแทนพื้นที่เดิม

2. ขอบเขตการดำเนินงาน กำหนดขอบเขตการศึกษาแบบ Cradle-to-Grave ครอบคลุมวัฏจักรชีวิตของขยะทั้ง 3 ส่วนสำคัญที่มีอยู่ ดังรูปที่ 1 โดยศึกษากรณีเปรียบเทียบ ดังนี้ 1) กรณีศึกษาที่ 1 คือ ไม่มีการก่อสร้างหลุมฝังกลบใหม่ และใช้โครงสร้างพื้นฐานเดิม (Cradle), ดำเนินการรื้อร่อนขยะเก่า และจัดการขยะขาเข้าปัจจุบัน (Gate) รวมทั้งภาระหรือเครดิตที่เกิดจากการเกิดก๊าซมีเทนจากขยะเก่าและขยะใหม่ (Grave), การดำเนินการในการจัดการขยะ และการนำวัสดุที่ได้จากการคัดแยกกลับคืนมาใช้ประโยชน์ และ 2) กรณีศึกษาที่ 2 คือ การจัดหาวัสดุเพื่อการก่อสร้างหลุมฝังกลบแห่งใหม่ (Cradle), การดำเนินการฝังกลบและคัดแยกขยะใหม่ (Gate) รวมทั้งภาระของการสะสมของก๊าซมีเทนของขยะเก่าและขยะใหม่ (Grave)



ภาพ (ก) แสดงขอบเขตของกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งไม่มีการก่อสร้างหลุมฝังกลบใหม่แต่ใช้โครงสร้างพื้นฐานเดิมในการรื้อร่อนขยะเก่าและจัดการขยะปัจจุบัน



ภาพ (ข) แสดงขอบเขตของกรณีศึกษาที่ 2 ซึ่งเป็นการจัดหาวัสดุเพื่อก่อสร้างหลุมฝังกลบแห่งใหม่และการดำเนินการฝังกลบขยะใหม่

รูปที่ 1 กรอบแนวคิดและขอบเขตการศึกษา (System Boundary) เปรียบเทียบ 2 กรณีศึกษา

4. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ ได้กำหนดระเบียบวิธีวิจัยโดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) โดยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) และการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน (CBA) ภายใต้สมมติฐานและกรอบระยะเวลาการประเมินโครงการ 20 ปี (พ.ศ. 2569 – 2588) โดยมีรายละเอียดและวิธีการศึกษาดังนี้

4.1 รวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ เพื่อกำหนดกรอบแนวคิดและตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา ดังนี้

1. ข้อมูลพื้นฐาน รวบรวมจากกองช่างสุขาภิบาล เทศบาลเมืองน่าน และเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดสมมติฐานเปรียบเทียบ 2 กรณีศึกษา โดยที่ กรณีศึกษาที่ 1 พิจารณาข้อมูลปริมาณขยะเก่าในหลุมฝังกลบเดิมที่ปิดใช้งานแล้ว 231,000 ลูกบาศก์เมตร (159,390 ตัน) [2], ข้อมูลองค์ประกอบสำหรับการคัดแยกขยะ และข้อมูลการบริหารจัดการพื้นที่เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และกรณีศึกษาที่ 2 พิจารณาข้อมูลบัญชีปริมาณงานและราคา (BOQ) สำหรับก่อสร้างพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยใหม่ พื้นที่ 100 ไร่ [4], [5], [6], [7] รวมถึงราคาประเมินที่ดินราชการในพื้นที่จังหวัดน่าน [8]

2. ข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (LCI) รวบรวมข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) แยกตามกรณีศึกษา โดยอ้างอิงปริมาณงานจากการเก็บข้อมูลในพื้นที่ และโครงการต้นแบบ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) จากฐานข้อมูลขององค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (TGO) และ IPCC [9] [10]

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการประเมินความคุ้มค่าโครงการ จึงใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และตัวชี้วัดทางเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อมในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยรวบรวมข้อมูลปริมาณขยะเก่าในหลุมฝังกลบเดิมที่ปิดใช้งานแล้ว ประมาณ 231,000 ลูกบาศก์เมตร พบว่า ประกอบด้วยขยะเดิม ประมาณ 200,000 ลูกบาศก์เมตร และขยะจากบ่อฝังกลบปัจจุบัน 31,000 ลูกบาศก์เมตร ที่ถูกนำไปเทกองสมทบ เป็นปัจจัยสำคัญต่อการประเมินศักยภาพการเกิดก๊าซที่ยังคงเหลืออยู่ มีรายละเอียดสมการที่ใช้ในการศึกษา ดังนี้

1. การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG Assessment) ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ตามแนวทางของ IPCC (2006) [10] และองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (TGO) แยกตามกรณีศึกษา โดยมีสมการคำนวณพื้นฐานดังนี้

$$\mathrm{GHG} = \Sigma\ (\text{Activity Data} \times \text{Emission Factor})$$

โดยที่ Activity Data คือ ข้อมูลปริมาณกิจกรรม เช่น ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร), ไฟฟ้า (kWh) หรือ ปริมาณวัสดุก่อสร้าง (กิโลกรัม) เป็นต้น

Emission Factor (EF) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก อ้างอิงจากฐานข้อมูล TGO (2565) [9] และ IPCC Tier 1 [10]

2. การประเมินศักยภาพการลดและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การศึกษานี้ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีการขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (TGO) ตามคู่มือ T-VER-S-TOOL-02-02 [11] ในการคำนวณศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนจากขยะมูลฝอย ซึ่งสอดคล้องกับแบบจำลอง First-Order Decay (FOD) ของ IPCC ดังนี้

$$\mathrm{BE_{CH_4}} = \mathrm{W_y} \times \sum\left(\mathrm{p_j} \times \mathrm{Coeff_j}\right) \times \mathrm{CF} \times 0.1$$

โดยที่ BE_{CH4} คือ ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น (tCO_2e)

Wy คือ ปริมาณขยะมูลฝอย (ตัน)

P_j คือ สัดส่วนองค์ประกอบขยะแต่ละประเภท

$Coeff_j$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสลาย (เศษอาหาร เท่ากับ 1.00, กระดาษ เท่ากับ 3.72, สิ่งทอ เท่ากับ 2.23)

CF คือ ค่า Correction Factor ตามสภาพบ่อขยะ

0.1 คือ ค่าคงที่สำหรับการแปลงหน่วยและปัจจัยการออกซิเดชัน

สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 คำนวณค่าจากขยะเก่าเป็น เครดิตการลดก๊าซเรือนกระจก (Avoided Emissions) เนื่องจากการรื้อร่อนช่วยกำจัดแหล่งกำเนิดก๊าซมีเทนที่ยังคงตกค้าง แม้หลุมฝังกลบจะปิดดำเนินการในปี พ.ศ. 2558 แต่กระบวนการย่อยสลายแบบ First-Order Decay ยังดำเนินอยู่ต่อเนื่องจากการนำขยะปัจจุบัน (ประมาณ 31,000 ลบ.ม.) มาเทกองสมทบ ทำให้ภายในบ่อยังมีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนในอนาคต ในขณะที่ กรณีศึกษาที่ 2 ค่าจากขยะใหม่จะถูกคำนวณเป็นภาระการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตลอดอายุโครงการ ทั้งนี้ การบริหารจัดการขยะปัจจุบันถือเป็นภาระร่วมที่เกิดขึ้นเท่ากันทั้งสองกรณี โดยการศึกษาใช้ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ของก๊าซมีเทนเท่ากับ 28 ตามมาตรฐาน IPCC Fifth Assessment Report (AR5)

3. Economic Analysis การศึกษานี้วิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการ (Cost-Benefit Analysis) ภายใต้กรอบเวลา 20 ปี ดังนี้

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ การคำนวณผลตอบแทนสุทธิของโครงการโดยปรับค่าของเงินในอนาคตให้กลับมาเป็นมูลค่าปัจจุบัน

$$NPV = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

- อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อทุน (Benefit-Cost Ratio: BCR) คือ การเปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันของ ผลประโยชน์รวมกับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม

$$BCR = \frac{\sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

โดยที่ B_t คือ ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นในปีที่ t (เช่น มูลค่าที่ดินที่ได้คืน, รายได้จากการขาย RDF หรือวัสดุรีไซเคิล)

C_t คือ ต้นทุนที่เกิดขึ้นในปีที่ t (เช่น ค่าที่ดิน, ค่าก่อสร้าง, ค่าดำเนินงาน, ค่าเชื้อเพลิง)

r คือ อัตราคิดลด (Discount Rate) กำหนดที่ ร้อยละ 2.25 ต่อปี (อัตราดอกเบี้ยนโยบายของธนาคารแห่งประเทศไทย ณ เดือนธันวาคม 2567)

n คือ อายุโครงการ 20 ปี

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลตลอดอายุโครงการ 20 ปี ของเทศบาลเมืองน่าน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นความแตกต่างของทั้ง 2 กรณีศึกษา โดยมีรายละเอียดผลการศึกษา ดังนี้

5.1 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) แสดงให้เห็นว่า กรณีศึกษาที่ 1 เป็นทางเลือกที่มีความเป็นไปได้มากกว่าในการลงทุน โดยมีรายละเอียดสรุปในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลการเปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR)

รายละเอียดการประเมิน	กรณีศึกษาที่ 1	กรณีศึกษาที่ 2
1) ต้นทุนเริ่มต้น (เงินลงทุนเริ่มแรก)	39,900,000 บาท	223,200,000 บาท
2) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	+2,220,404,548 บาท	-981,256,484 บาท
3) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อทุน (BCR)	9.90	0.03

จากผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า กรณีศึกษาที่ 2 มีต้นทุนเริ่มต้นสูงกว่ากรณีศึกษาที่ 1 ถึง 5.6 เท่า เนื่องจาก งบประมาณในการจัดหาที่ดินและก่อสร้างระบบฝังกลบขยะมีมูลค่าสูง ในขณะที่กรณีศึกษาที่ 1 ให้ผลตอบแทนเป็นบวก เนื่องจากสามารถเปลี่ยนสถานะพื้นที่จากบ่อขยะที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ให้กลับมามีมูลค่าทางเศรษฐกิจอีกครั้งจากการได้ที่ดินเดิมคืนมาใช้ประโยชน์ใหม่ ร่วมกับรายได้เสริมจากการขายเชื้อเพลิง RDF และวัสดุที่คัดแยกได้

5.2 ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (LCA) การศึกษานี้ได้จำแนก บัญชีรายการข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) ของแต่ละกรณีศึกษา จากการประเมินโดยใช้ข้อมูลองค์ประกอบขยะจริงของเทศบาล ปี 2567 ดังแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 โดยแยกค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emissions Factor) ไว้อ้างอิงในตารางที่ 4

ตารางที่ 2 บัญชีรายการข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) ของกรณีศึกษาที่ 1

กิจกรรม	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
1) การก่อสร้าง (Cradle)	0	-	ใช้พื้นที่เดิม
2) พลังงาน (Gate)			
- น้ำมันดีเซล (งานรื้อรอน)	551,150	ลิตร	
- น้ำมันดีเซล (งานจัดการขยะปัจจุบัน)	10,978,910	ลิตร	20 ปี
- ไฟฟ้า (โรงคัดแยกและสำนักงาน)	1,418,400	kWh	20 ปี
3) ก๊าซมีเทน (Grave)			
- ก๊าซจากขยะบ่อเดิม	3,570,107	$kgCH_4$	Total Avoided
- ก๊าซจากบ่อปัจจุบัน	2,075,571	$kgCH_4$	Total Burden
4) การกู้คืนวัสดุ (Grave)			
4.1) ขยะจากบ่อเก่า			
- RDF	32,802	ตัน	
- วัสดุรีไซเคิล	12,831	ตัน	
- วัสดุปรับปรุงบำรุงดิน	47,685	ตัน	
4.2) ขยะจากบ่อที่ดำเนินการอยู่			
- RDF	97,652	ตัน	20 ปี
- วัสดุรีไซเคิล	38,197	ตัน	20 ปี
- วัสดุปรับปรุงบำรุงดิน	65,633	ตัน	20 ปี

ตารางที่ 3 บัญชีรายการข้อมูลกิจกรรม (Activity Data) ของกรณีศึกษาที่ 2

กิจกรรม	ปริมาณ	หน่วย	หมายเหตุ
1) วัสดุและการก่อสร้าง (Cradle)			
- พลาสติกกันซึม (HDPE)	162,150	kg	
- ปูนซีเมนต์ (Cement)	799,200	kg	
- เหล็กเส้น (Steel)	240,000	kg	
- หินคลุกและงานหิน	46,200,000	kg	
- น้ำมันดีเซล (งานก่อสร้าง)	192,000	ลิตร	
2) พลังงาน (Gate)			
- น้ำมันดีเซล (การขนส่งวัสดุ)	1,460,000	t-km	
- น้ำมันดีเซล (การจัดการขยะ)	10,978,910	ลิตร	20 ปี
- ไฟฟ้า (โรงคัดแยกและสำนักงาน)	1,458,400	kWh	20 ปี
3) ก๊าซมีเทน (Grave)			
- ก๊าซจากบ่อขยะใหม่	5,190,785	kgCH_4	20 ปี
- ก๊าซจากบ่อที่ปิดดำเนินการ (2 บ่อ)	5,645,678	kgCH_4	Legacy Stock
4) การกู้คืนวัสดุ (Grave)			
- เชื้อเพลิงขยะ	97,652	ตัน	20 ปี
- วัสดุรีไซเคิล	38,197	ตัน	20 ปี
- วัสดุปรับปรุงบำรุงดิน	65,633	ตัน	20 ปี

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor)

รายการ	ค่า EF ($kgCO_2e$/หน่วย)	อ้างอิง	หมายเหตุ
1) น้ำมันดีเซล	2.7446	TGO (2565)	รายการที่ 55 โดยคำนวณแปลงหน่วยจาก kg เป็นลิตร (ความหนาแน่น 0.84 kg/L) สำหรับการเผาไหม้ในเครื่องยนต์
2) ไฟฟ้า	0.5986	TGO (2565)	รายการที่ 59 ค่าการปล่อยก๊าซจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย
3) พลาสติก	6.7071	TGO (2565)	รายการที่ 3 สำหรับคำนวณภาระจากการผลิตแผ่นพลาสติกปูพื้นบ่อฝังกลบ
4) ปูนซีเมนต์	0.5070	IPCC (2006)	เทียบเคียงจากค่าการผลิตปูนเม็ด เพื่อใช้เป็นตัวแทนของปูนซีเมนต์ก่อสร้างทั่วไป
5) เหล็กเส้น	1.6382	TGO (2565)	รายการที่ 684 ใช้เป็นค่าตัวแทนสำหรับการประเมินภาระจากการผลิตเหล็กเสริมคอนกรีต
6) หินคลุก	0.0025	TGO (2565)	รายการที่ 616 ใช้เป็นค่าตัวแทนของหินคลุกสำหรับงานถมบดอัดพื้นถนนและลานพื้นบ่อ
7) งานขนส่ง	0.0449	TGO (2565)	รายการที่ 149 (รถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ วิ่งปกติ 100% Loading) ภาระจากการขนส่งวัสดุก่อสร้างจากแหล่งผลิตมายังพื้นที่โครงการ
8) เชื้อเพลิงขยะ	-1.200 (ต่อ kg)	TGO/IPCC	หลีกเลี่ยงการเผาไหม้ถ่านหินในภาคอุตสาหกรรม โดยใช้ค่าความร้อนเทียบเท่า

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) (ต่อ)

รายการ	ค่า EF ($kgCO_2e$/หน่วย)	อ้างอิง	หมายเหตุ
9) วัสดุรีไซเคิล	-2.8854 (ต่อ kg)	TGO (2565)	รายการที่ 22 หลีกเลี่ยงการผลิตเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์
10) วัสดุปรับปรุงบำรุงดิน	-1.5083 (ต่อ kg)	TGO (2565)	รายการที่ 714 หลีกเลี่ยงการผลิตและการใช้ปุ๋ยเคมี สูตร 15-15-15

จากการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมระหว่างกรณีศึกษาที่ 1 และกรณีศึกษาที่ 2 พบประเด็นสำคัญ ดังนี้

1. กรณีศึกษาที่ 1 มีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิได้ถึง 484,298 tCO_2e (Net Credit) โดยมีปัจจัยสนับสนุนหลัก 3 ประการ คือ 1) การรื้อร่อนขยะเก่าช่วยหยุดยั้งการเกิดก๊าซมีเทนได้ทันที 99,963 tCO_2e 2) การคัดแยกวัสดุจากขยะเก่าและใหม่เพื่อผลิตเชื้อเพลิงขยะ (RDF) และวัสดุรีไซเคิล ช่วยสร้างเครดิตจากการหลีกเลี่ยงการใช้ทรัพยากรธรรมชาติรวมกันกว่า 4.7 แสนตันคาร์บอนเทียบเท่า และ 3) การใช้โครงสร้างพื้นฐานเดิมทำให้ไม่มีภาระจากการก่อสร้างบ่อใหม่
2. กรณีศึกษาที่ 2 ภาระสุทธิ (Net Burden) เท่ากับ 10,631 tCO_2e สาเหตุหลักเกิดจากการปล่อยทิ้ง ขยะเก่า (Legacy Stock) ให้สร้างก๊าซมีเทนสะสมกว่า 1.58 แสนตันคาร์บอนฯ ผนวกกับภาระก๊าซจากบ่อใหม่และการก่อสร้าง ซึ่งมีค่าความเสียหายสูงกว่าเครดิตที่ได้จากการคัดแยกขยะใหม่เพียงอย่างเดียว
3. ทั้งสองกรณี ยังคงต้องรับภาระจากการปล่อยก๊าซมีเทนของ หลุมฝังกลบปัจจุบัน (Active Cell) ในปริมาณ 58,116 tCO_2e ซึ่งเป็นภาระที่ทางเทศบาลฯ จะต้องบริหารจัดการไม่ว่าทางเลือกใด แต่กรณีศึกษาที่ 1 มีข้อได้เปรียบที่สามารถนำเครดิตจากการรื้อร่อนฯ มาชดเชยภาระส่วนนี้ได้จนหมดสิ้น

5.3 ข้อจำกัดในการศึกษา เพื่อให้การนำผลการศึกษาไปใช้งานเป็นไปอย่างถูกต้อง ผู้วิจัยได้กำหนดข้อจำกัดของการศึกษาดังต่อไปนี้

1. การประเมินกรณีศึกษาที่ 2 ครอบคลุมเฉพาะงานโครงสร้างบ่อฝังกลบและอาคารประกอบ โดยยังไม่รวมระบบบำบัดน้ำชะขยะและระบบจัดการก๊าซ หากนำปัจจัยเหล่านี้มาพิจารณาด้วย ต้นทุนและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของกรณีศึกษาที่ 2 จะสูงกว่าที่นำเสนอในการศึกษานี้
2. การวิเคราะห์ใช้สมมติฐานคงที่สำหรับปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ โดยไม่รวมอัตราเงินเฟ้อและความผันผวนของราคาน้ำมันและราคาจำหน่าย RDF ในอนาคต นอกจากนี้ การประเมินก๊าซเรือนกระจกใช้ค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐาน ซึ่งในสภาพจริงอาจแปรผันตามสภาวะความชื้นและอุณหภูมิของพื้นที่ศึกษา
3. ความไม่แน่นอนของค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสลาย (k) อ้างอิงงานวิจัยของ Niu และคณะ (2023) [12] พบว่าในพื้นที่เขตร้อนชื้น ค่า k เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของการประเมินก๊าซมีเทนสูงถึงร้อยละ 95.6 เนื่องจากแปรผันตามอุณหภูมิและความชื้น

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การรื้อร่อนขยะเก่าร่วมกับการดำเนินการปัจจุบัน เป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับเทศบาลเมืองน่าน เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดหาพื้นที่ฝังกลบใหม่ โดยมีผลการศึกษา ดังนี้

1. ด้านเศรษฐศาสตร์ กรณีศึกษาที่ 1 มีความคุ้มค่ากว่า กรณีศึกษาที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญ (BCR = 9.90, NPV = +2,220 ล้านบาท) จากการได้มูลค่าที่ดินกลับคืนมา และรายได้จากวัสดุรีไซเคิลและ RDF ในขณะที่การจัดหาพื้นที่ใหม่ต้องลงทุนสูง (223.2 ล้านบาท) และให้ผลตอบแทนติดลบ

2. ด้านสิ่งแวดล้อม กรณีศึกษาที่ 1 สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 513,762 tCO_2e จากการจัดการก๊าซมีเทนสะสม, การป้องกันการเกิดก๊าซจากขยะใหม่ และการหลีกเลี่ยงภาระการก่อสร้าง

3. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม เทศบาลฯ ควรพิจารณาแนวทางเสริมดังนี้ ประการแรก ส่งเสริมการนำวัสดุที่กู้คืนได้ไปใช้ประโยชน์อย่างเต็มศักยภาพ โดยมุ่งเน้นการผลิต RDF คุณภาพสูง การคัดแยกวัสดุรีไซเคิล และการใช้ประโยชน์จากวัสดุ

ปรับปรุงบำรุงดิน พร้อมทั้งระดมทุนจากกองทุนสิ่งแวดล้อมหรือแหล่งทุนภายนอกเพื่อลงทุนในเทคโนโลยีการคัดแยกที่ทันสมัย ประการที่สอง สร้างกลไกการมีส่วนร่วมของประชาชนตั้งแต่การวางแผนจนถึงการประเมินผลอย่างโปร่งใส เพื่อลดความกังวลและสร้างความเข้าใจที่ถูกต้อง ควบคู่กับการพัฒนาศักยภาพบุคลากรด้านเทคโนโลยีการจัดการขยะสมัยใหม่ เพื่อให้การดำเนินโครงการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] เทศบาลเมืองน่าน. (2568). แผนพัฒนาท้องถิ่น (พ.ศ. 2566-2570) เพิ่มเติม ครั้งที่ 1/2568. เทศบาลเมืองน่าน.

[2] สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดน่าน. (2567). องค์ประกอบขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองน่าน ปี 2567. สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดน่าน.

[3] กรมควบคุมมลพิษ. (2565). อธิบดีกรมควบคุมมลพิษ ลงพื้นที่ติดตามการดำเนินงานการจัดการขยะของเทศบาลเมืองน่าน. สืบค้นเมื่อ 17 ธันวาคม 2568 จาก https://epo02.pcd.go.th/th/news/detail/107320

[4] กรมควบคุมมลพิษ. (2565). แนวทางการวางแผนการฝังกลบขยะมูลฝอย. กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย.

[5] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2558). คู่มือการสำรวจและประเมินระบบกำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบ. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[6] ธเรศ ศรีสถิต. (2557). แบบรายละเอียดก่อสร้างหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยขนาดเล็ก แบบ Control Dump Landfill. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[7] กองช่าง เทศบาลตำบลเขตอุดมศักดิ์. (2561). บัญชีปริมาณงาน (BOQ) โครงการก่อสร้างอาคารคัดแยกขยะ ณ ศูนย์กำจัดขยะเขาเพชร. เทศบาลตำบลเขตอุดมศักดิ์.

[8] คณะกรรมการประเมินราคาทรัพย์สินเพื่อประโยชน์แห่งรัฐประจำจังหวัดน่าน. (2564). บัญชีราคาประเมินที่ดินสำหรับที่ดินซึ่งมีเอกสารสิทธิประเภทอื่นนอกเหนือจากโฉนดที่ดิน (น.ส. 3 ก.). สำนักงานธนารักษ์พื้นที่น่าน.

[9] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2565). ค่าปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) UPDATE: กรกฎาคม 2565. สืบค้นเมื่อ 17 ธันวาคม 2568 จาก http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/

[10] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 5: Waste. IPCC.

[11] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2566). T-VER-S-TOOL-02-02 การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยชุมชน (ฉบับที่ 01). องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก.

[12] Niu, X.-X., Wang, S.-Z., Niu, Y.-C., Wei, L.-F., & Yu, L.-Y. (2023). Improvement and optimization for the first order decay model parameters at typical municipal solid waste landfills in China. Advances in Climate Change Research, 14(4), 605–614. https://doi.org/10.1016/j.accre.2023.06.004

การศึกษาผลกระทบของความหนาแน่นจราจรต่อคุณภาพอากาศในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

เอกพสิษฐ์ จาตุธนานันท์*

โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา แขวงปทุมวัน เขตปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

**Corresponding author: akepasit.g@gmail.com*

บทคัดย่อ

มลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 เป็นปัญหาสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุขในกรุงเทพมหานคร งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของการจราจรกับระดับ PM2.5 ในพื้นที่เขตเมือง 6 เขต รวมถึงศึกษาปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม งานวิจัยนี้ได้กำหนดช่วงเวลาเก็บข้อมูล ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2567 ถึงเดือนมกราคม 2568

ผลการศึกษาด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) พบว่ามีเพียงพื้นที่เขตราชเทวี ที่สามารถยืนยันสมมุติฐานที่ว่า มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ระหว่างความหนาแน่นของจราจร และปริมาณฝุ่น PM2.5 ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95% พื้นที่ที่เหลือพบความสัมพันธ์ในระดับน้อยถึงปานกลาง แม้ว่ากราฟแสดงการถดถอยเชิงเส้นจะให้ค่า R-square มากกว่า 0 แต่ยังมีความสัมพันธ์เชิงเส้นในระดับต่ำ ผลการศึกษายังได้ยืนยันทฤษฎีที่ว่า พื้นที่ซึ่งมีลมกระโชกแรง จะมีความหนาแน่นของฝุ่น PM2.5 ในระดับต่ำ ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและปริมาณฝุ่น PM2.5 หรืออุณหภูมิและปริมาณฝุ่น PM2.5 ยังไม่อาจหาข้อสรุปที่ชัดเจนได้

ผลการวิจัยเชิงคุณภาพด้วยการสำรวจความเห็นของผู้ที่อยู่ในพื้นที่เป้าหมาย เป็นการยืนยันความเห็น หรือ ความรู้สึกของ ประชาชนต่อสาเหตุของการเกิดฝุ่น PM2.5 รวมถึงแนวทาง หรือมาตรการที่ต้องการให้รัฐบาลเข้ามาแก้ไขอย่างเป็นรูปธรรม เพื่อ ป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ซึ่งรวมถึงความเสี่ยงต่อโรคระบบทางเดินหายใจและโรคหัวใจและหลอดเลือด โดยผู้ตอบ แบบสอบถามทั้งหมด มีความกังวลต่อมลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะ PM2.5 และรู้สึกว่าความหนาแน่นของจราจรส่งผลต่อปริมาณ ฝุ่น PM2.5 งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการบริหารจัดการจราจรและการลดการปล่อยมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซลในพื้นที่เมือง สามารถช่วยลดระดับมลพิษทางอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสนับสนุนการกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุขอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: มลพิษทางอากาศ / PM2.5 / สิ่งแวดล้อม / ความหนาแน่นของการจราจร / พื้นที่เขตเมือง

Impact of traffic density on air quality (PM2.5) in Bangkok

Akepasit Chatutananant*

Triamudomsuksa School, Pathum Wan District, Bangkok Province, Thailand

**Corresponding author: akepasit.g@gmail.com*

Abstract

Air pollution, particularly particulate matter PM2.5, is a significant environmental and public health problem in Bangkok. This research aims to study the relationship between traffic density and PM2.5 levels in six urban districts, as well as environmental factors such as temperature, relative humidity, and wind speed. Data collection was conducted between November 2024 and January 2025.

The results of the study, using linear regression analysis and correlation coefficient calculations, revealed that only the Ratchathewi District could confirm the hypothesis that there is a linear relationship between traffic density and PM2.5 levels at a 95% confidence level. The remaining areas showed low to moderate correlations. Although the linear regression graphs yielded R-square values greater than 0, the linear correlation remained low. The study also confirmed the theory that areas with strong winds would have lower PM2.5 concentrations. However, the correlations between humidity and PM2.5 concentration, or temperature and PM2.5 concentration, could not be definitively concluded.

Qualitative research using surveys of opinions from people in the target areas confirms the public's views and feelings regarding the causes of PM2.5 pollution, as well as the concrete measures they want the government to implement to prevent health impacts, including the risk of respiratory and cardiovascular diseases. All respondents expressed concern about air pollution, especially PM2.5, and felt that traffic density contributes to PM2.5 levels. This research indicates that traffic management and the reduction of diesel engine emissions in urban areas can effectively lower air pollution levels and support the development of sustainable environmental and public health policies.

Keywords: Air pollution / PM2.5 / Environment / Traffic density / Urban districts

การจัดการมลพิษ
Pollution Management

Oral Presentation

การพัฒนาดัชนีและการคัดเลือกพืชเพื่อการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร

จุฑามาศ แก้วเจริญ[1], กัญจน์ ศิลป์ประสิทธิ์[1*], และ อนันต์ พิริยะภัทรกิจ[2]

[1]คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[2]สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
35 หมู่ 3 เทคโนธานี ถนนเลียบคลองห้า ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ประเทศไทย
**Corresponding author: Kun@g.swu.ac.th*

บทคัดย่อ

การพัฒนาดัชนีสำหรับคัดเลือกพืชที่เหมาะสมต่อการใช้งานภายในอาคารนับเป็นเครื่องมือสำคัญในการสนับสนุนการตัดสินใจของผู้ที่ต้องการปลูกพืชเพื่อวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยเฉพาะในด้านความสามารถของพืชในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) งานวิจัยนี้ได้กำหนดดัชนีเพื่อการคัดเลือกพืชโดยใช้วิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Analysis: MCDA) ด้วยการจัดระดับคะแนน (Rating) ซึ่งประกอบด้วยดัชนีหลัก 2 ด้าน ได้แก่ (1) ความสามารถของพืชในการลดก๊าซ CO_2 จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเมื่อพิจารณาต่อพื้นที่ใบต่อหน่วยเวลา โดยทำการศึกษาในสภาวะตู้กระจกปิดปริมาตร 0.2 ลูกบาศก์เมตร ภายใต้ความเข้มแสงในห้องเรียนปกติร่วมกับแสงจากหลอดไฟประดิษฐ์ และ (2) การเปลี่ยนแปลงและการคงสภาพของพืชในกรณีที่ไม่มีการบำรุงรักษาเพิ่มเติม

ผลการศึกษา พบว่า ฟิโลเดนดรอน ซานาดู และเดหลีใบมัน มีความสามารถในการลดก๊าซ CO_2 สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพืชตัวอย่างอีก 8 ชนิด โดยมีอัตราการลด CO_2 สุทธิจากการสังเคราะห์ด้วยแสงใน 10 ชั่วโมง เท่ากับ 0.3044 ส่วนในล้านส่วนต่อพื้นที่ใบ และ 0.1365 ส่วนในล้านส่วนต่อพื้นที่ใบ ตามลำดับ นอกจากนี้ พืชทั้ง 2 ชนิดยังสามารถปรับตัวได้ดีในสภาพแสงน้อย มีการแตกใบใหม่เฉลี่ย 1 - 2 ใบต่อเดือน และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ส่งผลให้ฟิโลเดนดรอน ซานาดู และเดหลีใบมันได้รับคะแนนรวมสูงที่สุดจากการประเมินด้วยดัชนีการคัดเลือก เมื่อเทียบกับพืชตัวอย่างชนิดอื่นทั้งหมด

คำสำคัญ: พืชในอาคาร / ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) / คุณภาพอากาศภายในอาคาร / ดัชนีเพื่อการคัดเลือกพืช / การจัดระดับ (Rating)

Index development and plant selection for enhancing indoor air quality

Juthamas Kaewcharoen[1], Kun Silprasit[1*], and Anan Phiriyaphattharakit[2]

[1]Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University, Thailand
[2] Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR), Pathum Thani, Thailand
** Corresponding author: Kun@g.swu.ac.th*

Abstract

The development of an index for selecting indoor plants is an important tool to support decision-making for those wishing to grow plants for the purpose of improving indoor air quality (IAQ), particularly regarding the plant's ability to reduce carbon dioxide (CO_2) levels. This study established a plant selection index using the Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) approach with a rating method. The index comprises two main indices: (1) the ability of plants to reduce CO_2 through the photosynthesis process when considering leaf area per unit of time, studied in a closed glass chamber with a volume of 0.2 m^3 under normal classroom light intensity combined with artificial light; and (2) the resilience and stability of the plants when no additional maintenance was provided.

The results of the study showed that *Philodendron xanadu* and *Spathiphyllum wallisii* (Peace Lily) had the highest ability to reduce CO_2 compared with the other 8 plant samples, with net photosynthetic CO_2 reduction rates over a 10-hour period of 0.3044 ppm/leaf area and 0.1365 ppm/leaf area, respectively. Furthermore, both species adapted well to low-light conditions, produced an average of 1 - 2 new leaves per month, and showed high longevity. Consequently, *Philodendron xanadu* and *Spathiphyllum wallisii* received the highest total scores from the selection index among all tested samples.

Keywords: Indoor plants / Carbon dioxide (CO_2) / Indoor Air Quality (IAQ) / Plant Selection Index / Rating method

1. บทนำ

คุณภาพอากาศภายในอาคารและสถานประกอบการ มีผลโดยตรงต่อความเป็นอยู่และสุขภาวะของพนักงานเนื่องจากพนักงานส่วนใหญ่ใช้เวลามากกว่า 87% (เฉลี่ย 6 - 8 ชั่วโมง) ของแต่ละวันภายในอาคาร ซึ่งคุณภาพอากาศที่ไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว อาการป่วยจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารมลพิษที่ได้รับสัมผัส ความเข้มข้นที่ได้รับ ความถี่และช่วงเวลาที่ได้รับสัมผัส โดยองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมประเทศสหรัฐอเมริกา (US Environmental Protection Agency, US EPA) กำหนดให้คุณภาพอากาศในอาคารที่ไม่ดีเป็นความเสี่ยง 1 ใน 5 อันดับของความเสี่ยงทางสุขภาพจากสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ หรือเรียกว่า “กลุ่มอาการป่วยเหตุอาคาร” และหนึ่งในสารมลพิษที่พบได้บ่อยและมีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคาร คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ตามมาตรฐาน American Society of heating, Refrigerating and Air-Conditioning (ASHRAE) พบว่า ปริมาณ CO_2 ภายในอาคารควรอยู่ต่ำกว่า 700 ppm โดยระดับสูงสุดที่อนุญาตคือ 1,100 ppm [1] แต่ทั้งนี้ภายใต้สภาวะปกติในสำนักงานหรือห้องประชุมที่มีคนอยู่มาก สามารถมีความเข้มข้น CO_2 สูงถึง 2,000 - 2,500 ppm และอาจสูงถึง 5,000 ppm ภายใต้สภาวะที่มีการระบายอากาศต่ำ โดยปริมาณ CO_2 ที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นอาจทำให้เกิดอาการหายใจลำบาก แน่นหน้าอก หายใจถี่ ไอ ปวดศีรษะ ง่วงนอน อ่อนเพลีย และสมาธิลดลงได้ [2]

แนวทางในการควบคุมสารมลพิษอากาศในอาคารแบ่งออกเป็น 3 หลักการ ได้แก่ 1.การควบคุมที่แหล่งกำเนิดมลพิษ 2.การระบายอากาศที่เพียงพอ และ 3.การทำความสะอาดระบบกรองอากาศภายในอาคาร ดำเนินการได้ทั้งวิธีที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและวิธีต้นทุนต่ำ [3] หนึ่งในทางเลือกที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ การใช้พืชฟอกอากาศ อย่างไรก็ตามยังขาดการพัฒนาดัชนีที่ใช้คัดเลือกพืชที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ประเมินจากปริมาณ CO_2 ที่ลดลง และความเหมาะสมของพืชต่อสภาพแวดล้อมภายในอาคาร นอกจากนี้การปลูกพืชภายในอาคารยังช่วยส่งเสริมเรื่องทัศนียภาพของผู้ปฏิบัติงาน Hall and Knuth (2022) [4] ได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 42 ชิ้น ในช่วงระหว่างปี 2000 - 2022 พบว่า การมีพืชในอาคารช่วยลดระดับความเครียดอารมณ์ด้านลบของพนักงาน และช่วยกระตุ้นอารมณ์เชิงบวก เพิ่มพลังงาน และสมาธิในการทำงานอีกด้วยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jiang et al. (2021) ที่ระบุว่าพืชช่วยลดอัตราการเกิดความเมื่อยล้า อาการปวดหัว และภาวะซึมเศร้าในกลุ่มพนักงาน เมื่อเทียบกับอาคารที่มีแสงน้อยหรือไม่มีหน้าต่างได้อย่างมีนัยสำคัญ [5] มีงานตัวอย่างศึกษาหลายเรื่องที่นำเสนอเกี่ยวกับประสิทธิภาพการลดปริมาณ CO_2 ภายในอาคาร โดยพืชฟอกอากาศ เช่น 1.การวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อย CO_2 สุทธิของพืชฟอกอากาศที่นิยมเลี้ยงในประเทศศรีลังกา จำนวน 6 ชนิด ทดลองภายใต้ตู้กระจกที่ระดับความเข้มแสงที่ต่างกัน [6] 2.การวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อย CO_2 สุทธิของพืชฟอกอากาศที่นิยมเลี้ยงในประเทศญี่ปุ่น จำนวน 5 ชนิด ทดลองภายใต้ตู้กระจกที่รับแสงธรรมชาติ, แสงต่ำ (รับแสงช่วงเช้า 2 ชั่วโมง) และรับแสงทั้งวัน (รับแสงจากธรรมชาติและแสงประดิษฐ์จากหลอดไฟ LED) [7] 3.การวิเคราะห์ปริมาณการปลดปล่อย CO_2 สุทธิของพืชฟอกอากาศที่นิยมเลี้ยงในประเทศจีน จำนวน 3 ชนิด ทดลองภายใต้ตู้กระจกที่ระดับความเข้มแสงและอุณหภูมิที่ต่างกัน [8] โดยงานวิจัยทั้ง 3 เรื่องมีความแตกต่างกันในด้านชนิดของพืชที่ใช้ และความเข้มแสง แต่มีความคล้ายคลึงกันในแง่ของการศึกษาในตู้กระจกปิดที่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ยังขาดงานวิจัยที่นำผลการศึกษามาใช้พัฒนาดัชนีคัดเลือกพืชที่เหมาะสม เนื่องจากผลการศึกษาจากหลายงานวิจัยมีผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ทำให้ยากต่อการเลือกพืชไปใช้จริง และยังขาดการศึกษาในด้านสุขภาพพืชและระยะเวลาการใช้งานด้วยพืชหลายชนิดมีข้อจำกัดเมื่อนำมาเลี้ยงในอาคาร

2. วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาดัชนีในการคัดเลือกพืช เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร และเสนอแนะชนิดพืชที่เหมาะสม

3. ขอบเขตของการศึกษา

กำหนดดัชนีในการคัดเลือกพืช เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร จากผลการศึกษาในสภาวะตู้กระจกปิดร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของพืชตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง กรณีที่ไม่มีการบำรุงรักษาพืชนอกเหนือจากการรดน้ำ

4. วิธีการศึกษา

4.1 กำหนดกลุ่มตัวอย่างพืช

คัดเลือกพืชในร่มมา 10 ชนิด ได้แก่ 1. พลูด่าง 2. เฟินบอสตัน 3. ต้นคล้านกยูงเขียว 4. สับปะรดสี 5. เศรษฐีเรือนนอก 6. ต้นฟิโลเดนดรอนพันธุ์ต่างประเทศ 7. เดหลีใบมัน 8. แก้วกาญจนา 9. ฟิโลเดนดรอน ซานาดู 10. จั๋ง กำหนดจากลักษณะสวยงาม มีความนิยมนำมาปลูกในอาคาร รวมถึงบางต้นมียังความสามารถในการลด CO_2 [9]

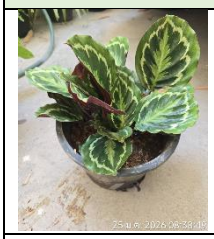
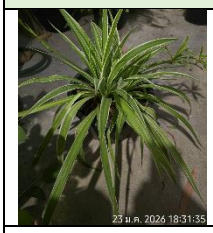
4.2 เตรียมตัวอย่างพืช

นำมาปรับสภาพให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในอาคาร โดยวางไว้ในอาคารเป็นเวลาอย่างน้อย 1 - 2 สัปดาห์ ก่อนเริ่มทดสอบในตู้ทดลอง [10]

4.3 เก็บตัวอย่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และปัจจัยด้านคุณภาพอากาศอื่น ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นของพืชตัวอย่าง ในสภาวะตู้กระจกปิดในตู้อะคริลิกใส (clear acrylic chamber) ขนาด 0.50 x 0.50 x 0.80 เมตร หรือปริมาตร 0.2 ลูกบาศก์เมตร และติดตั้งหลอดไฟ LED แสงสีขาว ที่กำลัง 30 วัตต์ พร้อมระบบควบคุมเวลาเปิด-ปิดแสง เก็บตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ ตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง แบ่งเป็น ตอนกลางวันภายใต้แสงประดิษฐ์ที่ความเข้มแสงประมาณ 4,500 lux จำนวน 10 ชั่วโมง (08.00 - 18.00 น.) และตอนกลางคืนอีก 14 ชั่วโมง รายละเอียดดัง**รูปที่ 1**

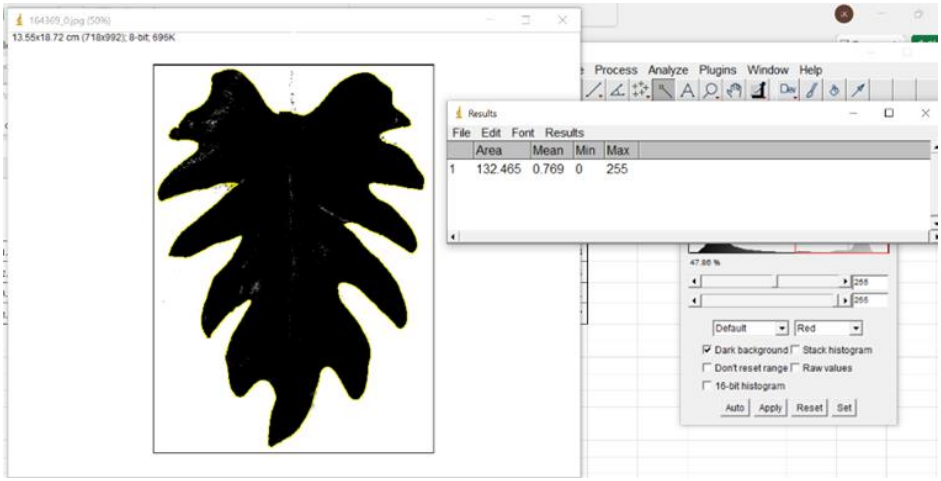
รูปที่ 1 การเก็บตัวอย่าง CO_2 ด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลแบบมัลติมิเตอร์ (Multimeter Data Logger Lutron)

4.4 บันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของพืช ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองอย่างน้อย 1 เดือน และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองซึ่งพืชมีความคงสภาพจากตอนซื้อครั้งแรก เนื่องจากไม่มีการบำรุงรักษาพืชเพิ่มเติมนอกเหนือจากการรดน้ำ โดยมีความเปลี่ยนแปลงดัง**รูปที่ 2**

วันที่ 5	วันที่ 15	วันที่ 30	วันที่ 20	วันที่ 25	วันที่ 30
1.พลูด่าง			2.เฟินบอสตัน		
จำนวนใบ : 45 ใบ	จำนวนใบ : 37 ใบ	จำนวนใบ : 44 ใบ	จำนวนใบ : 43 ใบ	จำนวนใบ : 48 ใบ	จำนวนใบ : 53 ใบ
3.ต้นคล้านกยูงเขียว			4. สับปะรดสี		
					
จำนวนใบ : 16 ใบ	จำนวนใบ : 17 ใบ	จำนวนใบ : 17 ใบ	จำนวนใบ : 15 ใบ	จำนวนใบ : 15 ใบ	จำนวนใบ : 15 ใบ
5.เศรษฐีเรือนนอก			6. ต้นฟิโลเดนดรอนต่างประเทศ		
					
จำนวนใบ : 45 ใบ	จำนวนใบ : 52 ใบ	จำนวนใบ : 61 ใบ	จำนวนใบ : 22 ใบ	จำนวนใบ : 26 ใบ	จำนวนใบ : 32 ใบ
7. เดหลีใบมัน			8. แก้วกาญจนา		
จำนวนใบ : 35 ใบ	จำนวนใบ : 37 ใบ	จำนวนใบ : 42 ใบ	จำนวนใบ : 16 ใบ	จำนวนใบ : 14 ใบ	จำนวนใบ : 15 ใบ
9. ฟิโลเดนดรอน ซานาดู			10. จิ้ง		
จำนวนใบ : 12 ใบ	จำนวนใบ : 12 ใบ	จำนวนใบ : 13 ใบ	จำนวนแฉก : 63 แฉก	จำนวนแฉก : 64 แฉก	จำนวนแฉก : 65 แฉก

รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของพืชทั้ง 10 ชนิด ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง 1 เดือน

4.5 คำนวณพื้นที่ใบ สำหรับใช้เปรียบเทียบค่าการลด CO_2 ต่อ 1 ตารางเซนติเมตรของพื้นที่ใบ ด้วยโปรแกรม ImageJ [11] ตัวอย่างดัง**รูปที่ 3**



รูปที่ 3 การคำนวณพื้นที่ใบ ด้วยด้วยโปรแกรม ImageJ

4.6 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Descriptive Statistics ใช้สรุปค่าการลด CO_2 ของพืช โดยมีสมการที่เกี่ยวข้องอยู่ 3 สมการ ดังต่อไปนี้

อัตราการปล่อย CO_2 : $\frac{\text{ปริมาณ } CO_2 \text{ สูงสุด - ปริมาณ } CO_2 \text{ ต่ำสุด}}{\text{ระยะเวลาเก็บตัวอย่างกลางวัน (10 ชั่วโมง)}}$ สมการที่ 1

อัตราการหายใจของพืชในตอนกลางวันที่ไม่ได้รับแสง : $\frac{\text{ปริมาณ } CO_2 \text{ ทั้งหมด}}{\text{ระยะเวลาเก็บตัวอย่างกลางวัน (10 ชั่วโมง)}}$ สมการที่ 2

อัตราการลด CO_2 สุทธิจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช : อัตราการหายใจของพืช - อัตราการปลดปล่อย CO_2 สมการที่ 1 - 2

อัตราการลด CO_2 สุทธิจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชต่อพื้นที่ใบต่อเวลา $\frac{\text{การลด } CO_2 \text{ สุทธิ}}{\text{พื้นที่ใบ}}$ สมการที่ 3

และวิเคราะห์ Correlation Analysis (Pearson) ใช้ตรวจสอบความสัมพันธ์ตัวแปรอิสระ (ความชื้นและอุณหภูมิ) ต่อตัวแปรตาม (ค่าการลด CO_2 ของพืช)

4.7 กำหนดดัชนีที่ใช้ในการคัดเลือกพืชตามผลการทดลองในสภาวะตู้กระจกปิด ด้วยวิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (MCDA: Multi-Criteria Decision Analysis) ด้วยวิธีการจัดระดับ (Rating) [12]

- กำหนดดัชนีที่เหมาะสมส่งผลให้การตัดสินใจเลือกพืชไปใช้งานมีประสิทธิภาพ ดังนี้ 1.อัตราการลด CO_2 สุทธิจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชต่อพื้นที่ใบต่อเวลา 2.การเปลี่ยนแปลงของพืช และ 3.ระยะเวลาการใช้งาน

- กำหนดน้ำหนักคะแนนดัชนีหลักตามลำดับความสำคัญ ด้วยวิธีการประมาณสัดส่วน (Ratio Estimation Procedure) โดยดัชนีที่มีความสำคัญสูงสุดจะมีคะแนนเท่ากับ 100 และน้อยลงตามลำดับ โดยดัชนีที่มีความสำคัญน้อยที่สุดจะถูกนำมาใช้เป็น Anchor Point

$$\text{Ratio} = \frac{W_i}{W^*}$$

โดยที่ W_i คือ ค่าคะแนนของดัชนีที่ I

W^* คือ ค่าคะแนนของหลักเกณฑ์ที่มีความสำคัญน้อยที่สุด (Anchor Point)

- พิจารณาเรียงลำดับความสำคัญของดัชนีหลักตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ อัตราการลด CO_2 สุทธิจากการสังเคราะห์ด้วยแสง ระดับความสำคัญ 1 สัดส่วนความสำคัญ 100, การเปลี่ยนแปลงของพืช ระดับความสำคัญ 2 สัดส่วนความสำคัญ 60 และระยะเวลาการใช้งาน ระดับความสำคัญ 3 สัดส่วนความสำคัญ 40

- หลังจากนั้นปรับค่าน้ำหนักที่ได้ เพื่อให้ผลรวมของค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 และสามารถนำค่าน้ำหนักดังกล่าวไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป ดัง**ตารางที่ 1**

ตารางที่ 1 น้ำหนักคะแนนของดัชนีหลัก (ด้วยวิธีการประมาณสัดส่วน)

ดัชนีหลัก	ระดับความสำคัญ (ผู้วิจัยกำหนด)	สัดส่วนความสำคัญ (ผู้วิจัยกำหนด)	ค่าคะแนนของดัชนีก่อนปรับค่าน้ำหนัก	ค่าคะแนนของดัชนีหลังปรับค่าน้ำหนัก
1. อัตราการลด CO_2 สุทธิจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชต่อพื้นที่ใบต่อเวลา (W_i)	1	100	2.5	0.5
2. การเปลี่ยนแปลงของพืช (W_i)	2	60	1.5	0.3
3. ระยะเวลาการใช้งาน (W^*)	3	40	1	0.2
รวมคะแนน			5	1

- กำหนดเกณฑ์การให้คะแนน มีตั้งแต่ระดับ 1 ถึง 4 คะแนน โดยพิจารณาจากดัชนีหลัก 3 ด้าน ดัง**ตารางที่ 2** รายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนดัชนีหลัก 3 ด้าน

คะแนน	อัตราการลด CO_2 สุทธิของพืช	การเปลี่ยนแปลงของพืช	ระยะเวลาการใช้งาน
4 คะแนน	มีอัตราการลดสูงในลำดับที่ 1-2	-	มีระยะเวลาใช้งานมากกว่า 1 เดือน
3 คะแนน	มีอัตราการลดสูงในลำดับที่ 3-5	ไม่ต่างจากตอนที่ซื้อ มีใบเพิ่มขึ้น	มีระยะเวลาใช้งาน 3 - 4 สัปดาห์
2 คะแนน	มีอัตราการลดสูงในลำดับที่ 6-7	ไม่ต่างจากตอนที่ซื้อ ใบคงที่	มีระยะเวลาใช้งาน 1 - 2 สัปดาห์
1 คะแนน	มีอัตราการลดสูงในลำดับที่ 8-10	ต่างจากตอนที่ซื้อ ใบลดลง	มีระยะเวลาใช้งานน้อยกว่า 1 สัปดาห์

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 จากผลการคำนวณพื้นที่ใบเฉลี่ยของพืชตัวอย่างทั้ง 10 ชนิด พบว่า พืชที่มีพื้นที่ใบมากที่สุด 3 ลำดับแรก คือ เฟินบอสตัน มีพื้นที่ใบ 7,967.564 ตารางเซนติเมตร รองลงมาคือ จั๋ง มีพื้นที่ใบ 5,199.11 ตารางเซนติเมตร และฟิโลเดนดรอนพันธุ์ต่างประเทศ มีพื้นที่ใบ 3,802.88 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ รายละเอียดดัง**ตารางที่ 3**

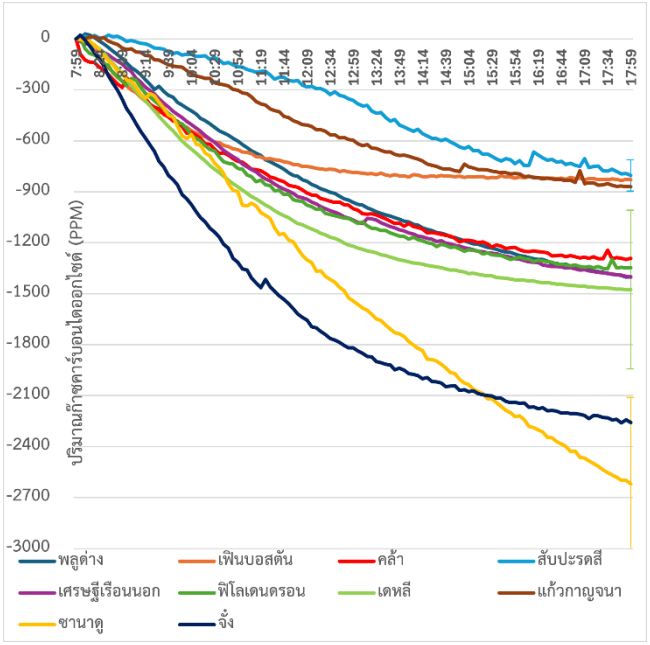
ตารางที่ 3 พื้นที่ใบเฉลี่ยของพืชตัวอย่างทั้ง 10 ชนิด

ชนิด	**1.พลูด่าง**	**2.เฟินบอสตัน**	**3.ต้นคล้านกยูงเขียว**	**4.สับปะรดสี**	**5.เศรษฐีเรือนนอก**
พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)	3,155.54	7,967.564	2,268.14	2,381.71	2,862.13
ชนิด	**6.ฟิโลเดนดรอน**	**7. เดหลีใบมัน**	**8.แก้วกาญจนา**	**9.ซานาดู**	**10.จั๋ง**
พื้นที่ใบ (ตารางเซนติเมตร)	3,802.88	1,996.94	2,427.18	1,345.99	5,199.11

5.2 จากผลการเก็บตัวอย่างปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ของพืช 10 ชนิด ภายใต้สภาวะตู้กระจกปิด พบว่า พืชที่มีความสามารถในการลดปริมาณ CO_2 ได้สูงสุด 3 ลำดับแรก ได้แก่ ฟิโลเดนดรอน ซานาดู โดยสามารถลด CO_2 จากปริมาณตั้งต้นได้ 2,619 ส่วนในล้านส่วน (ppm) รองลงมาคือ จั๋ง ลดลงได้ 2,261 ส่วนในล้านส่วน (ppm) และเดหลี ลดลงได้ 1,476 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบดังกล่าวเป็นการพิจารณาในเชิงปริมาณรวม ซึ่งอาจได้รับอิทธิพลจากความแตกต่างของพื้นที่ใบในแต่ละชนิดพืช รายละเอียดดัง**รูปที่ 4**

ชนิดพืช	ปริมาณ CO_2 ที่ลดลง ใน 10 ชั่วโมง	ปริมาณ CO_2 ที่ลดลงเฉลี่ย ใน 1 ชั่วโมง
	(ppm)	
1. พลูด่าง	-1,401	-140
2. เฟินบอสตัน	-832	-83
3. คล้า	-1,298	-130
4. สับปะรดสี	-803	-80
5. เศรษฐีเรือนนอก	-1,402	-140
6. ฟิโลเดนดรอน	-1,353	-135
7. เดหลี	-1,476	-148
8. แก้วกาญจนา	-871	-87
9. ซานาดู	-2,619	-262
10. จั๋ง	-2,261	-226

หมายเหตุ : เครื่องหมาย + หมายถึงการเพิ่มของก๊าซ CO_2 และเครื่องหมาย - หมายถึงการลดลงของ CO_2



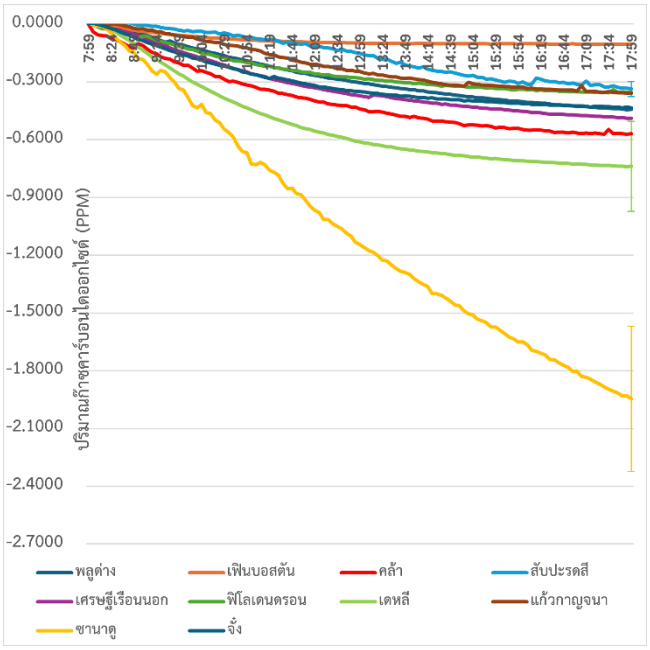
รูปที่ 4 ปริมาณ CO_2 เฉลี่ย ที่ลดลงจากพืชตัวอย่าง 10 ชนิด

เมื่อพิจารณาปรับค่าการลดปริมาณ CO_2 โดยควบคุมตัวแปรด้านพื้นที่ใบ (Leaf Area) แล้ว พบว่า พืชที่มีความสามารถในการลดปริมาณ CO_2 ต่อหน่วยพื้นที่ใบ ได้สูงสุด 3 ลำดับแรก ได้แก่ ฟิโลเดนดรอน ซานาดู โดยสามารถลด CO_2 จากค่าตั้งต้นได้ 1.946 ส่วนในล้านส่วนต่อตารางเซนติเมตรพื้นที่ใบ (ppm/cm^2 leaf area) รองลงมาคือ เดหลี ลดลงได้ 0.7391 ส่วนในล้านส่วน

ต่อตารางเซนติเมตรพื้นที่ใบ (ppm/cm^2 leaf area) และคล้า ลดลงได้ 0.5723 ส่วนในล้านส่วนต่อตารางเซนติเมตรพื้นที่ใบ (ppm/cm^2 leaf area) ตามลำดับ รายละเอียดดัง**รูปที่ 5**

ชนิดพืช	ปริมาณ CO_2 ที่ลดลง ใน 10 ชั่วโมง	ปริมาณ CO_2 ที่ลดลงเฉลี่ย ใน 1 ชั่วโมง
	ต่อพื้นที่ใบ	
	(ppm/cm^2 leaf area)	
1. พลูด่าง	-0.4440	-4.44 x 10^{-2}
2. เฟินบอสตัน	-0.1044	-1.04 x 10^{-2}
3. คล้า	-0.5723	-5.72 x 10^{-2}
4. สับปะรดสี	-0.3372	-3.37 x 10^{-2}
5. เศรษฐีเรือนนอก	-0.4900	-4.90 x 10^{-2}
6. ฟิโลเดนดรอน	-0.3559	-3.56 x 10^{-2}
7. เดหลี	-0.7391	-7.39 x 10^{-2}
8. แก้วกาญจนา	-0.3589	-3.59 x 10^{-2}
9. ซานาดู	-1.9460	-0.19
10. จั๋ง	-0.4348	-4.35 x 10^{-2}

หมายเหตุ : เครื่องหมาย + หมายถึงการเพิ่มของก๊าซ CO_2 และเครื่องหมาย - หมายถึงการลดลงของ CO_2

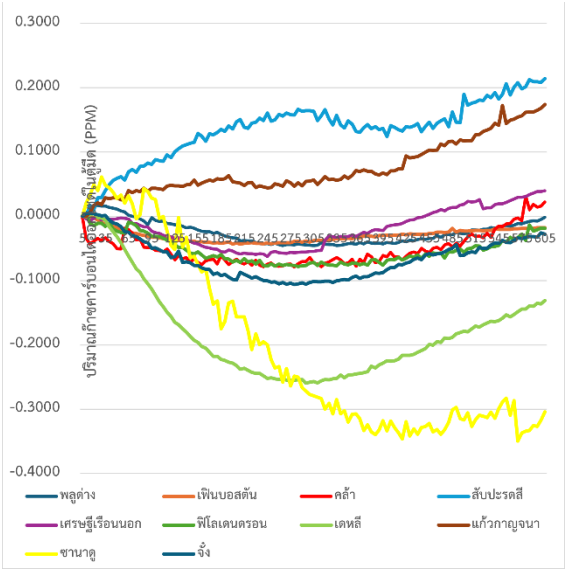


รูปที่ 5 ปริมาณ CO_2 เฉลี่ย ที่ลดลงต่อพื้นที่ใบ

ทั้งนี้ ค่าปริมาณ CO_2 ที่ตรวจวัดได้ในสภาวะมีแสง เป็นผลรวมของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง และกระบวนการหายใจของพืช ดังนั้น ผู้วิจัยจึงดำเนินการทดลองเพิ่มเติมภายใต้สภาวะตู้มืด เพื่อนำค่า CO_2 ที่ได้จากการหายใจของพืชมาหักออกจากปริมาณ CO_2 ที่ลดลง โดยผลการศึกษา พบว่า ฟิโลเดนดรอน ซานาดู มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุดที่ 0.3044 ส่วนในล้านส่วนต่อตารางเซนติเมตรพื้นที่ใบ (ppm/cm² leaf area) รองลงมาคือ เดหลี เท่ากับ 0.1365 ส่วนในล้านส่วนต่อตารางเซนติเมตรพื้นที่ใบ โดยความสามารถในการลด CO_2 สุทธิ จากการสังเคราะห์ด้วยแสงของเดหลีอยู่ในลำดับ 2 จากทั้ง 10 ชนิด สอดคล้องกับงานวิจัยของนวภา เฉยเจริญ และวรรณวิทย์ แต้มทอง (พ.ศ. 2563) ที่ต้นเดหลีมีความสามารถในการลด CO_2 สูงสุดเมื่อเทียบกับพืชอีก 6 ชนิด [13] รายละเอียดดัง**รูปที่ 6**

ชนิดพืช	อัตราการลด CO_2 สุทธิ จากการสังเคราะห์ด้วยแสงใน 10 ชั่วโมง ต่อพื้นที่ใบ (ppm/cm^2 leaf area)		
	CO_2 ในตู้มืด	CO_2 ที่ความเข้มแสง 4,500 lux	**CO_2 สุทธิ**
1. พลูด่าง	0.4392	-0.4440	-0.0048
2. เฟินบอสตัน	0.0867	-0.1044	-0.0177
3. คล้า	0.5880	-0.5723	+0.0157
4. สับปะรดสี	0.5510	-0.3372	+0.2139
5. เศรษฐีเรือนนอก	0.5298	-0.4900	+0.0398
6. ฟิโลเดนดรอน	0.3183	-0.3559	-0.0376
7. เดหลี	0.6026	-0.7391	-0.1365
8. แก้วกาญจนา	0.5268	-0.3589	+0.5268
9. ซานาดู	1.6417	-1.9460	-0.3044
10. จั๋ง	0.4023	-0.4348	-0.0325

หมายเหตุ : เครื่องหมาย + หมายถึงการเพิ่มของก๊าซ CO_2และเครื่องหมาย – หมายถึงการลดลงของ CO_2



รูปที่ 6 อัตราการลด CO_2 สุทธิจากการสังเคราะห์ด้วยแสง

5.3 จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation) ในพืชที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด 3 อันดับแรก พบว่า ฟิโลเดนดรอน ซานาดู มีความสัมพันธ์เชิงลบสูงมากกับอุณหภูมิ และมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความชื้น บ่งชี้ว่าพืชชนิดนี้มีการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่ไวมาก โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการลด CO_2 เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เดหลีใบมัน และจั๋ง มีความสัมพันธ์กับปัจจัยอุณหภูมิและความชื้นในระดับปานกลาง ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการรักษาเสถียรภาพของการสังเคราะห์แสงได้ดีในสภาวะที่สภาพอากาศมีความผันแปร ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบฉับพลันเหมือนฟิโลเดนดรอน ซานาดู รายละเอียดดัง**ตารางที่ 4**

ตารางที่ 4 ค่า Pearson Correlation ระหว่างปัจจัยสภาพแวดล้อมกับอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงสุด 3 ชนิด

ชนิดพืช	ความชื้น ต่อ อุณหภูมิ	ความชื้น ต่อ อัตราการลด CO_2	อุณหภูมิ ต่อ อัตราการลด CO_2 สุทธิ
เดหลี	+0.28	+0.35	-0.64
ซานาดู	-0.97	+0.87	-0.89
จั๋ง	+0.67	-0.67	-0.58

หมายเหตุ : ค่า Pearson Correlation มีค่าระหว่าง 0 ถึง ±1 ค่าใกล้ 0 หมายถึงมีความสัมพันธ์กันน้อย ค่าใกล้ 1 มีความสัมพันธ์กันมาก ส่วนเครื่องหมาย (+) คือแปรผันตาม และ (-) คือแปรผันตรงข้าม

5.4 การคัดเลือกพืชที่มีความเหมาะสมที่สุดเพื่อการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร

จากการคัดเลือกพืชที่มีความเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (MCDA) โดยพิจารณาจาก 3 ดัชนีหลัก ได้แก่ 1) อัตราการลด CO_2 สุทธิของพืช 2) การเปลี่ยนแปลงของพืช และ 3) ระยะเวลาการใช้งานของพืช พบว่า

ฟิโลเดนดรอน ซานาดู มีคะแนนรวมมากที่สุด ด้วยมีอัตราการลด CO_2 สุทธิมากเป็นลำดับที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงของพืชคงที่ มีการแตกใบใหม่ 1-2 ใบ ตลอดระยะเวลาทดลอง และมีระยะเวลาการใช้งานนานกว่า 1 เดือน รองลงมาคือ เดหลี มีคะแนนรวมเท่ากับฟิโลเดนดรอน ซานาดู และจั๋ง มีคะแนนรวมเป็นลำดับที่ 3 ทั้งนี้วิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (MCDA) ในงานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่ที่การกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญซึ่งอ้างอิงตามวัตถุประสงค์เฉพาะของผู้วิจัยเป็นหลัก และผลการทดลองยังจำกัดอยู่ภายใต้สภาวะควบคุมในตู้กระจกปิด ซึ่งอาจให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างไปจากสภาพแวดล้อมจริง รายละเอียดดัง**ตารางที่ 5**

ตารางที่ 5 พืชที่มีความเหมาะสมที่สุดเพื่อการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร

ชนิดพืช	ดัชนีที่ใช้ในการคัดเลือกพืช						คะแนนรวม	ลำดับ
	อัตราการลด CO_2 สุทธิของพืช (ค่าตัวคูณ 0.5)		การเปลี่ยนแปลงของพืช (ค่าตัวคูณ 0.3)		ระยะเวลาการใช้งาน (ค่าตัวคูณ 0.2)			
พลูด่าง	2 x 0.5	1	3 x 0.3	0.9	4 x 0.2	0.8	2.7	4
เฟินบอสตัน	3 x 0.5	1.5	3 x 0.3	0.9	4 x 0.2	0.8	3.2	2
คล้า	2 x 0.5	1	2 x 0.3	0.6	4 x 0.2	0.8	2.4	5
สับปะรดสี	1 x 0.5	0.5	2 x 0.3	0.6	4 x 0.2	0.8	1.9	6
เศรษฐีเรือนนอก	1 x 0.5	0.5	2 x 0.3	0.6	4 x 0.2	0.8	1.9	6
ฟิโลเดนดรอน	3 x 0.5	1.5	3 x 0.3	0.9	4 x 0.2	0.8	3.2	2
เดหลี	4 x 0.5	2	2 x 0.3	0.6	4 x 0.2	0.8	3.4	1
แก้วกาญจนา	1 x 0.5	0.5	1 x 0.3	0.3	4 x 0.2	0.8	1.6	7
ซานาดู	4 x 0.5	2	2 x 0.3	0.6	4 x 0.2	0.8	3.4	1
จั๋ง	3 x 0.5	1.5	2 x 0.3	0.6	4 x 0.2	0.8	2.9	3

6. สรุปผลการศึกษา

จากการพัฒนาดัชนีในการคัดเลือกพืช ด้วยวิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (MCDA) ซึ่งคัดเลือกพืชชนิดที่มีความเหมาะสมสูงสุด จากดัชนีอัตราการลด CO_2 สุทธิของพืช, การเปลี่ยนแปลงของพืช และระยะเวลาการใช้งาน โดยมีค่าตัวคูณคะแนนลดลง ไล่ระดับจากความสำคัญมากไปน้อย โดยผลการรวมคะแนน พบว่า ฟิโลเดนดรอน ซานาดู และเดหลีใบมัน มีคะแนนรวมมากที่สุด เนื่องจากมีอัตราการลด CO_2 สุทธิของพืชสูงที่สุดจากพืชตัวอย่าง 8 ชนิด โดยเฉพาะ ฟิโลเดนดรอน ซานาดู มีอัตราการลดถึง 0.3044 ส่วนในล้านส่วนต่อตารางเซนติเมตรพื้นที่ใบ (ppm/cm² leaf area) และมีค่า Pearson Correlation ต่อปัจจัยอุณหภูมิที่ชัดเจน บ่งชี้ถึงความไวต่อสภาพแวดล้อมและศักยภาพในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้อย่างเหมาะสม ประกอบกับความสามารถในการเจริญเติบโตที่สม่ำเสมอ โดยมีการแตกใบใหม่เฉลี่ย 1 - 2 ใบต่อเดือน และคงสภาพได้ดีในสภาวะแสงน้อย จึงสะท้อนถึงความเหมาะสมเชิงประสิทธิภาพและการใช้งาน

เอกสารอ้างอิง

[1] American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2022). Retrieved from ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022: Ventilation and acceptable indoor air quality: https://www.ashrae.org/

[2] CO2Meter. (2024). Retrieved from High CO_2 Levels Indoors Will Surprise You: https://www.co2meter.com/en-th/blogs/news/high-carbon-dioxide-co2-levels-indoors

[3] กัญญา ม่วงแก้ว. (2559, มกราคม). คุณภาพอากาศภายในอาคารสำนักงาน. เข้าถึงได้จากhttp://lib3.dss.go.th/fulltext/dss_knowledge/phy_5_2559_indoor_air_quality.pdf.

[4] Hall, C. R., & Knuth, M. (2022). An Update of the Literature Supporting the Well-Being Benefits of Plants: A Review of the Emotional and Mental Health Benefits of Plants. Journal of Environmental Horticulture, 37(1), 30-38.

[5] Jiang, S., Deng, L., Luo, H., Li, X., Guo, B., Jiang, M., . . . Huang, Z. (2021). Effect of Fragrant Primula Flowers on Physiology and Psychology in Female College Students: An Empirical Study. Sec. Environmental Psychology, (12).

[6] Weerasinghe, N. H., Silva, P. K., Jayasinghe, R. R., Abeyrathna, W. P., John, G. K., & Halwatura, R. U. (14). Reducing CO2 level in the indoor urban built environment: Analysing indoor plants under different light levels. Cleaner Engineering and Technology, 100645.

[7] Ding, N., Liu, F., Ding, X., & Yan, L. (12). Effect of Lighting Environment on the CO2 Concentration Reduction Efficiency of Plants by a Model Experiment. Buildings, 1848.

[8] Sevik, H., Cetin, M., Guney, K., & Belkayal, N. (26(4)). The Influence of House Plants on Indoor CO2. Pol. J. Environ. Stud, 1643-1651.

[9] ข้อมูลพันธุ์ไม้ ระบบฐานข้อมูลเกษตรดิจิทัล. (ม.ป.ป.). เข้าถึงได้จาก หมวดหมู่: FAMILY ARECACEAE: https://data.addrun.org/plant/family/family-arecaceae

[10] บ้านและสวน. (ม.ป.ป.). เข้าถึงได้จาก สูตรผสมดินสำหรับปลูกไม้กระถางขั้นพื้นฐาน: https://www.baan laesuan.com/124963/plant-scoop/pot_garden/

[11] ชญา ชื่นอารมณ์. (2559, พฤษภาคม). ComDigest. Retrieved from ImageJ 4: เริ่มต้นใช้โปรแกรม ImageJ: https://comdigest.blogspot.com/2016/05/imagej-4-imagej.html

[12] ธวัชระพงษ์ วงศ์กสุล. (2562). การกำหนดค่าน้ำหนักหลักเกณฑ์เพื่อการตัดสินใจ. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, 1(2), 63-71.

[13] นวภา เฉยเจริญ และวรรณวิทย์ แต้มทอง. (พ.ศ. 2563). การใช้ไม้ประดับในการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคาร Indoor Air Quality Improvement by Ornamental Plants. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25. จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย.

การจัดการเสียงรบกวนจากการจราจรในสวนสาธารณะเขตเมือง พื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล

ชินชาต เรืองสุวรรณ, ธรรมรัตน์ พุทธไทย, นวพร กาญจนศิรานนท์, และ เพียงใจ พีระเกียรติขจร*

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย
**Corresponding author: piangjai.pee@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดและประเมินเสียงรบกวนจากการจราจรในสวนสาธารณะเขตเมืองพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ตลอดจนศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าระดับเสียง เพื่อเสนอแนวทางที่เหมาะสมในการควบคุมระดับเสียงบริเวณสวนสาธารณะเขตเมืองพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยงานวิจัยได้กำหนดสวนสาธารณะในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประกอบด้วย สวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 และสวนลุมพินี โดยตรวจวัดเสียงและเก็บข้อมูลค่าระดับเสียงด้วยเครื่องวัดเสียง NL52 Class I กำหนดจุดตรวจวัดเสียงบริเวณเส้นทางการจราจรและจุดตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐาน ในช่วงเวลา 8.30 น. ถึง 16.30 น. เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และเปรียบเทียบค่าระดับเสียงที่เกิดขึ้นในวันธรรมดาและวันหยุด และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานระดับเสียงและคำนวณระดับการรบกวน พบว่า ค่าระดับเสียงเฉลี่ยใกล้เส้นทางจราจร ณ จุดที่มีพุ่มไม้เล็กน้อยและจุดที่มีพุ่มไม้หนาแน่นของสวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 ในวันธรรมดาและวันหยุด มีค่าน้อยกว่าค่าระดับเสียงเฉลี่ยใกล้เส้นทางจราจร ณ จุดที่มีพุ่มไม้เล็กน้อยและจุดที่มีพุ่มไม้หนาแน่นของสวนลุมพินี ในวันธรรมดาและวันหยุด และพบว่า ค่าระดับการรบกวนของสวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 และสวนลุมพินี ทั้งในวันธรรมดาและวันหยุดไม่เกินค่ามาตรฐาน นอกจากนี้ ค่าระดับเสียงเฉลี่ย ณ จุดที่มีพุ่มไม้หนาแน่นของทั้ง 2 สวน มีค่าน้อยกว่าค่าระดับเสียงเฉลี่ย ณ จุดที่มีพุ่มไม้เล็กน้อย จึงแสดงให้เห็นว่า ต้นไม้ในสวนสาธารณะพื้นที่สีเขียว มีส่วนช่วยในการลดระดับเสียงรบกวนจากการจราจรพื้นที่เขตเมืองได้

คำสำคัญ: การตรวจวัดเสียง / เสียงรบกวน / ค่าระดับเสียง / สวนสาธารณะเขตเมือง / เสียงจากการจราจร

Traffic noise management in urban parks of the Bangkok Metropolitan Region

Chinnachat Ruangsuwan, Thammarat Phutthai, Navaporn Kanjanasiranont, and Piangjai Peerakiatkhajohn*

Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Thailand

**Corresponding author: piangjai.pee@mahidol.ac.th*

Abstract

The research aims to measure and evaluate traffic noise in urban public parks in Bangkok and its metropolitan area, and to investigate factors influencing sound pressure levels to propose appropriate methods for controlling noise levels in urban parks of the Bangkok metropolitan region. This study selected parks in Bangkok, consisting of Princess Mother Memorial Park, Phutthamonthon Sai 2, and Lumphini Park. Noise measurements and sound pressure level were collected using an NL-52 Class I sound level meter. Sampling areas for measurements were established along traffic routes and at background locations. Monitoring was conducted from 8:30 a.m. to 4:30 p.m. for 8 hours, and noise levels were compared between weekdays and weekends. The obtained data were analyzed by comparing with the Thailand noise standard in order to provide guidelines. The results found that Time Weighted Average near traffic routes areas with little bushes and areas with dense bushes of Princess Mother Memorial Park, Phutthamonthon Sai 2, on weekdays and holidays are less than Time Weighted Average near traffic routes in areas with little bush and dense bush in Lumphini Park on weekdays and holidays. And the Noise Level of Princess Mother Memorial Park, Phutthamonthon Sai 2, and Lumphini Park Both on weekdays and holidays did not exceed the standard values. In addition, the Time Weighted Average at dense bushes in both parks were slightly lower than the Time Weighted Average at dense bushes, therefore, shows that Trees in parks help reduce traffic noise levels.

Keywords: Noise measurement / Nuisance Noise / Noise levels / Urban Park / Traffic Noise

1. บทนำ

เสียงรบกวน จัดเป็นเสียงที่ไม่พึงปรารถนาต่อการได้ยินของมนุษย์และหากได้รับสัมผัสอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้ เช่น ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจขาดเลือด ความผิดปกติของการนอน การสูญเสียการได้ยิน รวมถึงผลกระทบต่อสุขภาพจิตและความรู้ความเข้าใจของผู้รับเสียงได้ ทั้งนี้องค์การอนามัยโลก (World Health Organization) ได้กำหนดค่ามาตรฐานระดับเสียงสำหรับในชุมชนควรน้อยกว่า 30 เดซิเบลเอ และในห้องนอนเพื่อการนอนหลับที่ดีควรน้อยกว่า 35 เดซิเบลเอ [1] นอกจากนี้ Occupational Safety and Hazard Administration (OSHA) ได้ค่ามาตรฐานระดับเสียงขณะทำงานที่ยอมรับได้ คือ 90 เดซิเบล โดยกำหนดระยะเวลาในการรับสัมผัสเสียงขณะทำงาน 8 ชั่วโมง เพื่อลดความเสี่ยงในการสูญเสียการได้ยินจากการทำงาน [2] สำหรับประเทศไทย ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 15 พ.ศ. 2540 ได้กำหนดมาตรฐานระดับเสียงโดยทั่วไป ค่าระดับเสียงสูงสุด ไม่เกิน 115 เดซิเบลเอ และค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 70 เดซิเบลเอ [3] แม้ว่าองค์กรต่าง ๆ ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานระดับเสียงที่เหมาะสมเพื่อลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาและขยายพื้นที่เขตเมืองมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย ส่งผลให้เสียงรบกวนมีแนวโน้มรุนแรงมากขึ้น อาทิ เสียงรบกวนจากการจราจรในจังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งถูกจัดอันดับติด 1 ใน 10 เมืองที่มีมลพิษทางเสียงสูงที่สุดในโลก ในปี พ.ศ. 2568 ด้วยระดับเสียงเฉลี่ย 99 เดซิเบล ซึ่งมีสาเหตุมาจากการจราจรหนาแน่น [4] ด้วยเหตุนี้ จึงมีการเสนอมาตรการในการควบคุมหรือแก้ปัญหาเสียงรบกวนหลากหลายวิธี เช่น การควบคุมที่แหล่งกำเนิดเสียง โดยออกแบบหรือบำรุงรักษาแหล่งกำเนิดเสียงอย่างสม่ำเสมอ การควบคุมที่ทางผ่าน โดยการใช้วัสดุดูดซับเสียง และการควบคุมที่ผู้รับเสียง โดยให้ผู้รับใส่อุปกรณ์ป้องกันการได้ยิน ที่อุดหู ที่ครอบหู เป็นต้น [5] ตลอดจนแนวทางลดผลกระทบจากเสียงรบกวน เช่น การควบคุมด้วยการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยการผลิตแผ่นกำแพงป้องกันเสียง [6] การควบคุมด้วยพื้นที่สีเขียว โดยการปลูกต้นไม้เพื่อดูดซับและป้องกันเสียง [7] และการควบคุมด้วยแบบจำลอง เครื่องมือ หรือเทคโนโลยี [8] เป็นต้น ทั้งนี้การควบคุมด้วยพื้นที่สีเขียวหรือสวนสาธารณะ โดยปลูกต้นไม้เพื่อดูดซับและป้องกันเสียง อีกทั้งเป็นสถานที่พักผ่อนและออกกำลังกายของประชาชนที่อาศัยในเขตเมืองได้ [9] แต่อย่างไรก็ตาม สวนสาธารณะมักอยู่ใกล้เส้นทางการจราจร จึงจำเป็นอย่างยิ่งในการประเมินเสียงรบกวนเพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับประชาชนได้ และเสนอวิธีการหรือแนวทางควบคุมและลดผลกระทบเสียงรบกวนที่เกิดขึ้นสำหรับพื้นที่สีเขียวหรือสวนสาธารณะ

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจวัดและประเมินเสียงรบกวนในสวนสาธารณะเขตเมืองพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานครและปริมณฑล
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าระดับเสียงของสวนสาธารณะเขตเมืองพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้กำหนดให้มีการตรวจวัดเสียงในวันธรรมดาและวันหยุด ซึ่งในแต่ละวันจะตรวจวัดเสียงในช่วงเวลา 8.30 น. ถึง 16.30 น. รวม 8 ชั่วโมง ระยะเวลารวม 2 เดือน และได้กำหนดตัวแทนพื้นที่ศึกษา สวนสาธารณะในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ดังนี้

1. สวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 แขวงศาลาธรรมสพน์ เขตทวีวัฒนา กรุงเทพมหานคร
2. สวนลุมพินี แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร

4. วิธีการศึกษา

4.1 รูปแบบของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ และการวิจัยเชิงกรณีศึกษา โดยการรวบรวมข้อมูลภาคสนามของสวนสาธารณะในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล

4.2 กระบวนการทำวิจัย

1. สำรวจสวนสาธารณะ เพื่อกำหนดจุดตรวจวัดเสียงใกล้กับเส้นทางการจราจร 2 จุด ประกอบด้วย บริเวณที่มีพุ่มไม้เล็กน้อย (จุด A) และบริเวณที่มีพุ่มไม้หนาแน่น (จุด B) และอยู่ใกล้เสียงการจราจรของสวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 และสวนลุมพินี และจุดตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐาน แสดงดังรูปที่ 1 (ก-ข) และรูปที่ 2 (ก-ข) ตามลำดับ โดยติดตั้งเครื่องวัดเสียง เพื่อตรวจวัดระดับเสียงขณะมีการรบกวน ระดับเสียงขณะไม่มีการรบกวน และระดับเสียงพื้นฐาน ทั้งนี้ในการตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐานและระดับเสียงขณะไม่มีการรบกวนบริเวณอื่นที่ไม่มีเสียงจากการจราจรและมีสภาพแวดล้อมใกล้เคียง ตรวจวัดเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 5 นาที ขณะไม่มีเสียงจากแหล่งกำเนิดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง โดยระดับเสียงพื้นฐานให้วัดเป็นระดับเสียงเปอร์เซ็นไทล์ที่ 90 (Percentile Level 90, L_{A90}) และระดับเสียงขณะไม่มีการรบกวนให้วัดเป็นระดับเสียงเฉลี่ย (Equivalent A-Weighted Sound Pressure Level, $L_{Aeq,T}$)

รูปที่ 1 จุดตรวจวัดเสียง (ก) บริเวณที่มีพุ่มไม้เล็กน้อย (จุด A) และบริเวณที่มีพุ่มไม้หนาแน่น (จุด B) ของสวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 และ (ข) จุดตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐาน

รูปที่ 2 จุดตรวจวัดเสียง (ก) บริเวณที่มีพุ่มไม้เล็กน้อย (จุด A) และบริเวณที่มีพุ่มไม้หนาแน่น (จุด B) ของสวนลุมพินี และ (ข) จุดตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐาน

2. เตรียมเครื่องวัดเสียง NL52 Class I โดยการประกอบเข้ากับขาตั้งเครื่องวัดเสียง (Tripod) สวมอุปกรณ์ป้องกันลม (Windscreen) โดยการติดตั้งเครื่องวัดเสียงบริเวณจุดตรวจวัดเสียงที่กำหนดไว้ ตั้งสูงจากพื้นไม่น้อยกว่า 1.2 – 1.5 เมตร ให้หันไมโครโฟนไปยังทิศทางของการจราจร ทั้งนี้ทำการสอบเทียบเครื่องวัดเสียงด้วยเครื่องสอบเทียบ (Sound calibrator) ก่อนและหลังการตรวจวัดเสียง

3. บันทึกข้อมูล ประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไป ได้แก่ ชื่อผู้เก็บตัวอย่าง วัน/เดือน/ปี ที่เก็บตัวอย่าง เวลาที่เก็บตัวอย่าง สถานที่เก็บตัวอย่าง ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา ประเภทของพื้นที่ของจุดตรวจวัด ลักษณะสภาพแวดล้อมโดยรอบ และเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัด เป็นต้น และข้อมูลค่าจากการตรวจวัดเสียง ระดับเสียงขณะมีการรบกวน ระดับเสียงขณะไม่มีการรบกวน และระดับเสียงพื้นฐาน เป็นต้น

4. วิเคราะห์ข้อมูล โดยเปรียบเทียบข้อมูลค่าระดับเสียงที่ได้ และนำค่าระดับเสียงเข้าสมการเพื่อคำนวณระดับเสียงรบกวนตามประกาศคณะกรรมการควบคุมมลพิษ พ.ศ. 2565 เรื่อง วิธีการตรวจวัดระดับเสียงพื้นฐาน ระดับเสียงขณะไม่มีการรบกวน การตรวจวัดและคำนวณระดับเสียงขณะมีการรบกวน การคำนวณค่าระดับการรบกวน และแบบบันทึกการตรวจวัดเสียงรบกวน และเปรียบเทียบค่าระดับเสียงรบกวน ตามประกาศคณะสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2550 เรื่อง ค่าระดับเสียงรบกวน ไม่เกิน 10 เดซิเบลเอ (dBA) หากระดับการรบกวนที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าระดับเสียงรบกวนที่กำหนด ให้ถือว่าเป็นเสียงรบกวน สมการการคำนวณ ดังนี้

ระดับการรบกวน = ระดับเสียงที่มีการรบกวน – ระดับเสียงพื้นฐาน

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการรวบรวมข้อมูลภาคสนามของพื้นที่สวนสาธารณะ ประกอบด้วย สวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 และสวนลุมพินี มีรายละเอียดผลการศึกษา ดังนี้

5.1 ผลการตรวจวัดค่าระดับเสียง

กำหนดให้มีการตรวจวัดเสียงในวันธรรมดาและวันหยุด โดยตรวจวัดเสียงแต่ละวัน ช่วงเวลา 8.30 น. ถึง 16.30 น. รวม 8 ชั่วโมง โดยแบ่งเป็นจุดตรวจวัดเสียงใกล้เส้นทางจราจรบริเวณที่มีพุ่มไม้เล็กน้อย (จุด A) และบริเวณที่มีพุ่มไม้หนาแน่น (จุด B) ในวันธรรมดาและวันหยุด แสดงดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และนำค่าระดับเสียงเข้าสมการเพื่อคำนวณระดับการรบกวน โดยแบ่งเป็นจุดตรวจวัดเสียงใกล้เส้นทางจราจรบริเวณที่มีพุ่มไม้เล็กน้อย (จุด A) และบริเวณที่มีพุ่มไม้หนาแน่น (จุด B) ในวันธรรมดาและวันหยุด แสดงดังตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่าระดับเสียงที่ได้จากการตรวจวัดในวันธรรมดาและวันหยุดของสวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 และสวนลุมพินี ณ จุดตรวจวัดเสียงใกล้เส้นทางจราจรบริเวณที่มีพุ่มไม้เล็กน้อย

ค่าระดับเสียง (dBA)	สวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2		สวนลุมพินี	
	วันธรรมดา	วันหยุด	วันธรรมดา	วันหยุด
L_{Aeq}	66.5 ± 0.8	64.8 ± 1.6	68.9 ± 0.7	69.2 ± 0.4
L_{AE}	103.1 ± 1.0	100.4 ± 1.6	108.0 ± 1.1	107.8 ± 0.4
L_{max}	87.4 ± 2.2	83.2 ± 1.9	90.4 ± 1.7	95.7 ± 1.7
L_{min}	52.9 ± 5.0	53.6 ± 0.4	55.8 ± 0.7	54.5 ± 0.5
L_{10}	70.4 ± 0.6	69.0 ± 1.7	71.6 ± 0.6	71.7 ± 0.2
L_{50}	61.6 ± 2.6	59.8 ± 2.0	67.0 ± 0.7	66.7 ± 0.1
L_{90}	56.2 ± 3.9	56.0 ± 0.9	62.9 ± 0.7	61.5 ± 0.1
$L_{A90,5min}$	58.0 ± 3.2	58.6 ± 0.5	60.3 ± 0.1	58.5 ± 0.4
$L_{Aeq,5min}$	61.5	61.8	64.2	62.8

ตารางที่ 2 ค่าระดับเสียงที่ได้จากการตรวจวัดในวันธรรมดาและวันหยุดของสวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 และสวนลุมพินี ณ จุดตรวจวัดเสียงใกล้เส้นทางจราจรบริเวณที่มีพุ่มไม้หนาแน่น

ค่าระดับเสียง (dBA)	สวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2		สวนลุมพินี	
	วันธรรมดา	วันหยุด	วันธรรมดา	วันหยุด
L_{Aeq}	63.9 ± 1.4	63.4 ± 0.1	68.0 ± 0.3	67.7 ± 0.4
L_{AE}	100.5 ± 0.4	99.0 ± 0.1	108.1 ± 1.4	106.2 ± 0.4
L_{max}	85.0 ± 2.3	81.6 ± 1.0	90.9 ± 2.6	98.8 ± 0.7
L_{min}	52.7 ± 4.7	53.5 ± 0.3	56.0 ± 0.5	54.5 ± 0.2
L_{10}	67.3 ± 1.0	67.2 ± 0.1	70.4 ± 0.3	70.0 ± 0.1
L_{50}	60.3 ± 2.5	59.2 ± 1.3	66.0 ± 0.5	64.7 ± 0.1
L_{90}	56.1 ± 3.7	56.0 ± 0.8	62.4 ± 0.5	60.2 ± 0.1
$L_{A90,5min}$	58.0 ± 3.2	58.6 ± 0.5	60.3 ± 0.1	58.5 ± 0.4
$L_{Aeq,5min}$	61.5	61.8	64.2	62.8

ตารางที่ 3 ระดับการรบกวนในวันธรรมดาและวันหยุดของสวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 และสวนลุมพินี ณ จุดตรวจวัดเสียงใกล้เส้นทางจราจรบริเวณที่มีพุ่มไม้เล็กน้อย

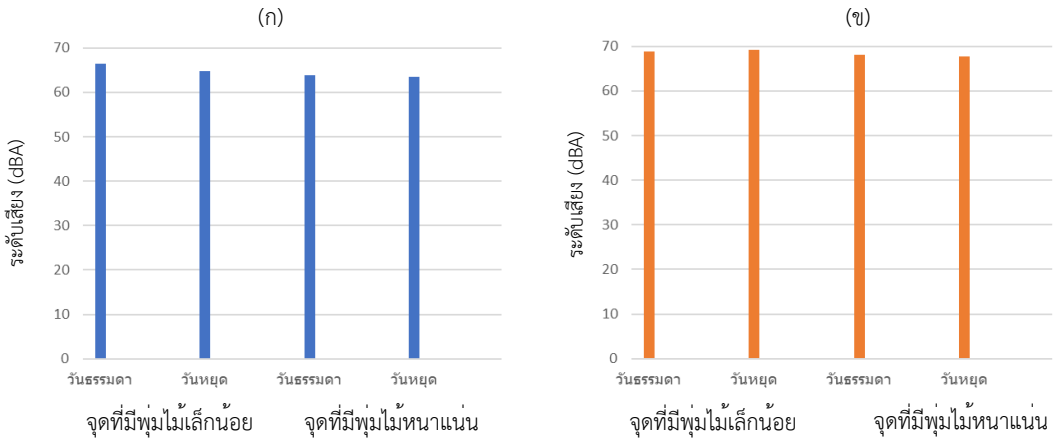
ค่าระดับเสียง (dBA)	สวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2		สวนลุมพินี	
	วันธรรมดา	วันหยุด	วันธรรมดา	วันหยุด
L_{Aeq} ก่อนปรับค่า	66.5 ± 0.8	64.8 ± 1.6	68.9 ± 0.7	69.2 ± 0.4
$L_{A90,5min}$	58.0 ± 3.2	58.6 ± 0.5	60.3 ± 0.1	58.5 ± 0.4
$L_{Aeq,5min}$	61.5	61.8	64.2	62.8
L_{Aeq} หลังปรับค่า	65.0	61.8	67.4	67.7
ระดับการรบกวน	7.0	3.2	7.1	9.2

ตารางที่ 4 ระดับการรบกวนในวันธรรมดาและวันหยุดของสวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 และสวนลุมพินี ณ จุดตรวจวัดเสียงใกล้เส้นทางจราจรบริเวณที่มีพุ่มไม้หนาแน่น

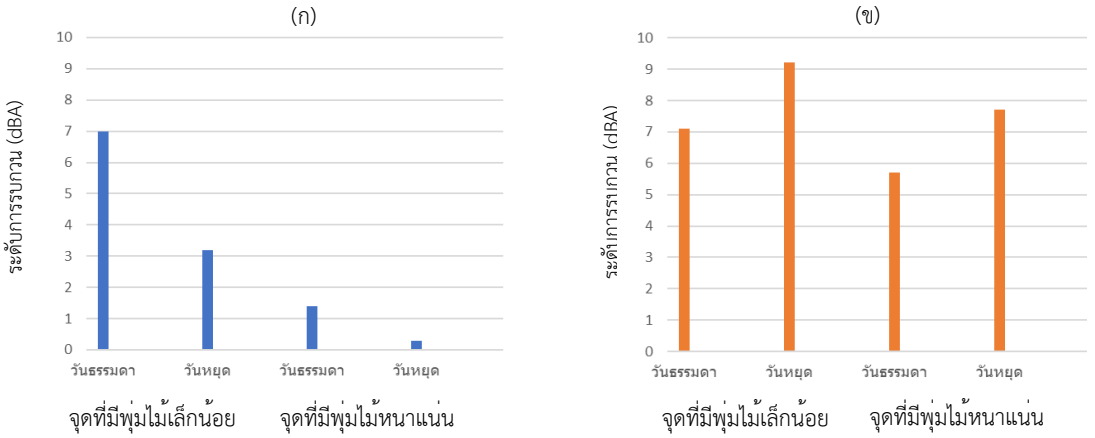
ค่าระดับเสียง (dBA)	สวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2		สวนลุมพินี	
	วันธรรมดา	วันหยุด	วันธรรมดา	วันหยุด
L_{Aeq} ก่อนปรับค่า	63.9 ± 1.4	63.4 ± 0.1	68.0 ± 0.3	67.7 ± 0.4
$L_{A90,5min}$	58.0 ± 3.2	58.6 ± 0.5	60.3 ± 0.1	58.5 ± 0.4
$L_{Aeq,5min}$	61.5	61.8	64.2	62.8
L_{Aeq} หลังปรับค่า	59.4	58.9	66.0	66.2
ระดับการรบกวน	1.4	0.3	5.7	7.7

ผลจากการตรวจวัดค่าระดับเสียง พบว่า ค่าระดับเสียงเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ใกล้เส้นทางจราจร ณ จุดที่มีพุ่มไม้เล็กน้อยในวันธรรมดาและวันหยุด สวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 มีค่าระดับเสียงเฉลี่ย (L_{Aeq}) เท่ากับ 66.5 และ 64.8 dBA ตามลำดับ ในขณะที่สวนลุมพินี มีค่าระดับเสียงเฉลี่ย (L_{Aeq}) เท่ากับ 68.9 และ 69.2 dBA ตามลำดับ และค่าระดับเสียงเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ใกล้กับเส้นการจราจร ณ จุดที่มีพุ่มไม้หนาแน่นในวันธรรมดาและวันหยุด ของสวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 มีค่าระดับเสียงเฉลี่ย (L_{Aeq}) เท่ากับ 63.9 และ 63.4 dBA ตามลำดับ ในขณะที่สวนลุมพินี มีค่าระดับเสียงเฉลี่ย (L_{Aeq}) เท่ากับ 68.0 และ 67.7 dBA ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าค่าระดับเสียงสูงสุด (L_{max}) ของสวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 และสวนลุมพินี มีระดับเสียงที่สูงเกินค่าระดับเสียงมาตรฐาน และจากการคำนวณค่าระดับการรบกวนของสวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 และสวนลุมพินี ทั้งในวันธรรมดาและวันหยุด พบว่า ไม่เกินค่ามาตรฐานระดับเสียงรบกวน

จากการเปรียบเทียบค่าระดับเสียงเฉลี่ย 8 ชั่วโมง และค่าระดับการรบกวนระหว่างสวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 และสวนลุมพินี แสดงดังรูปที่ 1 และ 2 พบว่า ค่าระดับเสียงเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ในวันธรรมดาและวันหยุด ณ จุดที่มีพุ่มไม้เล็กน้อย และจุดที่มีพุ่มไม้หนาแน่นของสวนลุมพินีจะสูงกว่าสวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณสวนลุมพินีมีการจราจรหนาแน่นมากกว่าบริเวณสวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 ตลอดจนสภาพอากาศร้อนหรืออุณหภูมิสูงจะส่งผลให้ระดับเสียงรบกวนเพิ่มขึ้น [10] นอกจากนี้จุดที่มีพุ่มไม้หนาแน่นจะมีค่าระดับเสียงและค่าระดับการรบกวนต่ำกว่าจุดที่มีพุ่มไม้เล็กน้อย เนื่องจากการปลูกต้นไม้บริเวณริมถนนจะช่วยป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรก่อนเข้าสู่ด้านในของริมถนน [7] และไม้พุ่มจะมีประสิทธิภาพในการลดระดับเสียงรบกวนได้ 75% [10] จึงบ่งชี้ได้ว่าพื้นที่สีเขียวหรือสวนสาธารณะเขตเมืองมีส่วนช่วยในการลดระดับเสียงรบกวนจากการจราจรได้



รูปที่ 1 ค่าระดับเสียงเฉลี่ย ณ จุดตรวจวัดเสียงใกล้เส้นทางจราจรบริเวณ จุดที่มีพุ่มไม้เล็กน้อย และ จุดที่มีพุ่มไม้หนาแน่นในวันธรรมดาและวันหยุด ระหว่าง (ก) สวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 และ (ข) สวนลุมพินี



รูปที่ 2 ค่าระดับการรบกวน ณ จุดตรวจวัดเสียงใกล้เส้นทางจราจรบริเวณ จุดที่มีพุ่มไม้เล็กน้อย และ จุดที่มีพุ่มไม้หนาแน่นในวันธรรมดาและวันหยุด ระหว่าง (ก) สวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 และ (ข) สวนลุมพินี

6. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษา พบว่า ค่าระดับเสียงเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ใกล้เส้นทางจราจร ณ จุดที่มีพุ่มไม้เล็กน้อยและจุดที่มีพุ่มไม้หนาแน่นของสวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 ในวันธรรมดาและวันหยุด จะมีค่าน้อยกว่าค่าระดับเสียงเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ใกล้เส้นทางจราจร ณ จุดที่มีพุ่มไม้เล็กน้อยและจุดที่มีพุ่มไม้หนาแน่นของสวนลุมพินี ในวันธรรมดาและวันหยุด ตลอดจนค่าระดับการรบกวนของสวนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จย่า พุทธมณฑลสาย 2 ในวันธรรมดาและวันหยุด จะมีค่าน้อยกว่าค่าระดับการรบกวนของสวนลุมพินี และค่าระดับเสียงในวันธรรมดาจะมีค่ามากกว่าในวันหยุดของทั้ง 2 สวน นอกจากนี้ ค่าระดับเสียง ณ จุดที่มีพุ่มไม้หนาแน่นของทั้ง 2 สวน จะมีค่าน้อยกว่าค่าระดับเสียง ณ จุดที่มีพุ่มไม้เล็กน้อย จึงแสดงให้เห็นว่า ต้นไม้ในสวนสาธารณะมีส่วนช่วยในการป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรได้ แต่อย่างไรก็ตาม ค่าระดับเสียงที่มีแนวโน้มเกินมาตรฐานเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงปริมาณของต้นไม้ที่ไม่เพียงพอต่อการป้องกันเสียง ดังนั้น สวนสาธารณะควรปลูกต้นไม้ที่มีลักษณะเป็นทรงพุ่มเพิ่มเติม เช่น สนแผง หรือ สนหางสิงห์ (Eastern thuja) ที่สามารถลดระดับเสียงรบกวนได้ 7.1 dBA หรือ พืชตระกูลไลแลค (Lilac) ที่สามารถลดระดับเสียงรบกวนได้ 5.9 dBA [11] เป็นต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรที่ส่งผลกระทบต่อประชาชนที่ใช้บริการสวนสาธารณะต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] World Health Organization Regional Office for Europe. (2011, December 1). Noise. World Health Organization. https://www.who.int/europe/news-room/fact-sheets/item/noise

[2] Victory, J. (2024, April 24). OSHA worksite noise regulations. Healthy Hearing. https://www.healthyhearing.com/report/51550-Osha-noise-and-hearing-regulations

[3] กรมควบคุมมลพิษ. (2553). รวมกฎหมายเกี่ยวกับมลพิษทางเสียงและความสั่นสะเทือน. https://www.pcd.go.th/publication/4581/

[4] Delon, A. (2025, May 6). UNEP ranks Bangkok 9th noisiest city. Pinoy Thaiyo. https://pinoythaiyo.com/unep-ranks-bangkok-9th-noisiest-city/

[5] Seow, K. Y. (2020, September 11). Noise at work: The hierarchy of control. Acoustics and Vibration Consulting Malaysia. https://avcm.my/hierarchy-of-control/

[6] ประยงค์ กีรติอุไร. (2022). การพัฒนากำแพงป้องกันเสียงรบกวนจากการจราจรด้วยขยะรีไซเคิลผสมมอร์ตาร์ [Development of traffic-noise barrier walls using recycled waste mixed with mortar]. วารสารมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล, 35(2), 97–118.

[7] Kowalska-Koczwara, A., Pachla, F., Tatara, T., & Nering, K. (2021). Green areas in the city as an element of noise protection. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1203(3), 032025. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1203/3/032025

[8] Magdi, R., Kamel, T. M., & Fahmy, A. (2025). Architectural façade retrofitting of an educational building to reduce traffic-induced noise load. Civil Engineering and Architecture, 13(4), 3020–3035.https://doi.org/10.13189/cea.2025.130414

[9] Estopolis. (2019, April 25). สวนสาธารณะ vs พื้นที่สีเขียว ต่างกันอย่างไร แบบไหนที่เราต้องการ [Public parks vs green spaces: What's the difference and which do we want?]. https://www.estopolis.com

[10] Yofianti D. & Usman K. (2021). Relationship of plant types to noise pollution absorption level to improve the quality of the road environment. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 926, No. 1, p. 012074). IOP Publishing.

[11] Önal, E., Özer, S., & Yılmaz, H. (2024). Can Shrub Species be Utilized as a Biological Measure to Reduce Noise Pollution?. Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi, 7(2), 134-143.

อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากสารสกัดเปลือกผลไม้เพื่อการบำบัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง

พรพิริยา พงศ์สุพัฒน์, ปรียาพร เกิดฤทธิ์, จักรพล พันธุวงศ์ภักดี, ภัทราวุธ พุสิงห์, สวรรยา แซ่แต้, และ เพียงใจ พีระเกียรติขจร*

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม
**Corresponding author: piangjai.pee@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

ของเสียหรือวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมการแปรรูปผลไม้มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการจัดการของเสีย ดังนั้นการใช้ประโยชน์และการเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่า จึงเป็นแนวทางสำคัญภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน ที่สามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากกระบวนการสังเคราะห์สีเขียว โดยใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุด เพื่อบำบัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงโดยศึกษาตัวทำละลายที่ใช้ในกระบวนการสกัดสารจากเปลือกมังคุดคือ น้ำกลั่น และ เอทานอล รวมทั้งศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง จากการศึกษาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ จากการกระบวนการสังเคราะห์สีเขียว มีศักยภาพในการบำบัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยกระบวนการที่ง่าย ต้นทุนต่ำ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดสีย้อม หรือสารอินทรีย์อื่นๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียได้

คำสำคัญ: เปลือกผลไม้ / อนุภาคนาโน / ซิงค์ออกไซด์ / ปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง / สีย้อมเมทิลออเรนจ์

Zinc oxide nanoparticles from fruit peel extracts for the photocatalytic degradation of methyl orange dye

Pornpiriya Pongsupat, Preeyaporn Koedrith, Jakkapon Phanthuwongpakdee, Pattrawut Pusingha, Sawanya Saetae, and Piangjai Peerakiatkhajohn*

Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Thailand

**Corresponding author: piangjai.pee@mahidol.ac.th*

Abstract

Agricultural residues and by-products from the fruit-processing industry have been continuously increasing, causing environmental impacts and posing challenges for waste management. Therefore, the valorization and conversion of agricultural and industrial wastes into value-added products is a key approach under the circular economy concept, which can reduce environmental impacts and support the Sustainable Development Goals (SDGs). This research aims to synthesize zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) as photocatalysts via a green synthesis route using Mangosteen peel extracts for the treatment of methyl orange dye through photocatalytic reactions. The effects of extraction solvents used for fruit peel extraction, namely distilled water and ethanol, were investigated. In addition, the physicochemical properties of the synthesized ZnO NPs were characterized, and their photocatalytic performance for methyl orange degradation was evaluated. The results indicate that ZnO NPs photocatalysts produced through the green synthesis approach exhibit strong potential for efficient photocatalytic treatment of methyl orange dye. The proposed method is simple, low-cost, and environmentally friendly, and it can be further applied to the remediation of other dyes or organic contaminants in wastewater.

Keywords: Fruit peels / Nanoparticles / Zinc oxide / Photocatalysis / Methyl orange dye

1. บทนำ

จากสถานการณ์ขยะอินทรีย์ในประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง รวมไปถึง จำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้ความต้องการของตลาดผลไม้สดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้ผลไม้ไทยกลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญของเศรษฐกิจไทยเป็นอย่างมาก นำไปสู่การประกอบอาชีพการเกษตรที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งสิ่งนี้เอง ส่งผลให้มีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำนวนมาก เช่น เปลือกสับปะรด มะม่วง กะลามะพร้าว มังคุด ส้มเขียวหวาน เป็นต้น ซึ่งมีการจัดการส่วนใหญ่ ถูกนำไปไว้ในที่โล่งหรือการเผาทิ้ง ส่งผลให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ สูญเสียทัศนียภาพ รวมไปถึง ปัญหาทางด้านสุขภาพของมนุษย์ [1]

การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาพัฒนาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาทิเช่น ปุ๋ยหมักอินทรีย์ เชื้อเพลิงชีวภาพ เชื้อเพลิงอัดแท่ง ไบโอพลาสติกย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ วัสดุนาโน เป็นอีกหนึ่งทางเลือกและเป็นการสนับสนุน เศรษฐกิจหมุนเวียนทางชีวภาพ [1]

จากการศึกษางานวิจัย พบว่ามีการพัฒนาอนุภาคนาโนโลหะ อาทิเช่น ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) จากขยะทางการเกษตร เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อาทิเช่น ตัวนำส่งยาทางการแพทย์ ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ การกำจัดแมลง การบำบัดมลพิษน้ำเสีย ดูดซับโลหะหนัก มลพิษอินทรีย์สารต่างๆ [2,3]

อย่างไรก็ตาม การสังเคราะห์อนุภาคนาโนส่วนใหญ่เป็นการสังเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมี เช่น ไฮโดรเทอร์มอลโซล-เจล หรือ การกัดกร่อนด้วยเลเซอร์ ซึ่งมีต้นทุนสูง ใช้ความดันสูง ใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม [2,4] ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยจึงความสนใจในการพัฒนาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนด้วยวิธีทางชีวภาพ ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยใช้วัสดุทางการเกษตรมากขึ้น อาทิเช่น พืช ผลไม้ เปลือกผลไม้ [5] เนื่องจากมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีบทบาทสำคัญ ในการีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพของอนุภาคนาโน ทั้งนี้ กระบวนการทางชีวภาพ เป็นการลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการที่ ต้นทุนต่ำ และ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [3]

Rafique et al. [6] พัฒนาสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากความเข้มข้นของใบต้นส้มเขียวหวาน (Citrus reticulata) ที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อมโรดามีนบี ผ่านปฏิกิริยาเร่งทางแสง หรือ Mirgain et al. [7] สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากเปลือกสับปะรด เพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสีย้อมจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ รวมไปถึง Fuentes et al. [2] ได้ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จาก Citrus microcarpa ที่ความเข้มข้นต่างกัน เพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อม เมทิลีนบลู (Methylene blue) เมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange) และ โรดามีนบี (Rhodamine-B) ในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง

อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการศึกษาชนิดของเปลือกผลไม้และสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการสังเคราะห์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้น ในการศึกษานี้ จึงมีความสนใจในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากเปลือกมังคุด เพื่อบำบัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์และวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ จากกระบวนการสังเคราะห์สีเขียว โดยใช้สารสกัดจากเปลือกมังคุด
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์
3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากเปลือกมังคุดเพื่อนำมาบำบัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์โดยมีขอบเขตการศึกษา ดังต่อไปนี้

1. สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากเปลือกมังคุด ด้วยวิธีการสังเคราะห์สีเขียวและศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสารจากเปลือกมังคุด

2. วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบของธาตุของอนุภาคนาโนด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดและวิเคราะห์ธาตุ (Scanning Electron Microscope/ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy; SEM/EDS)

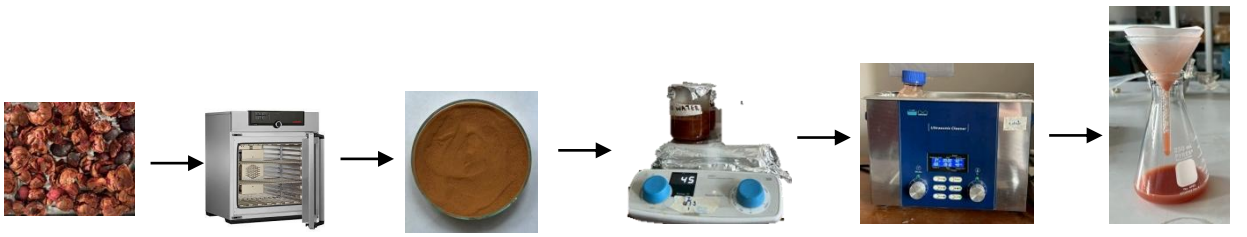
3. วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโนและศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมี ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction; XRD และเทคนิค FTIR ตามลำดับ

4. ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer

4. วิธีการศึกษา

4.1 การเตรียมสารสกัดเปลือกผลไม้

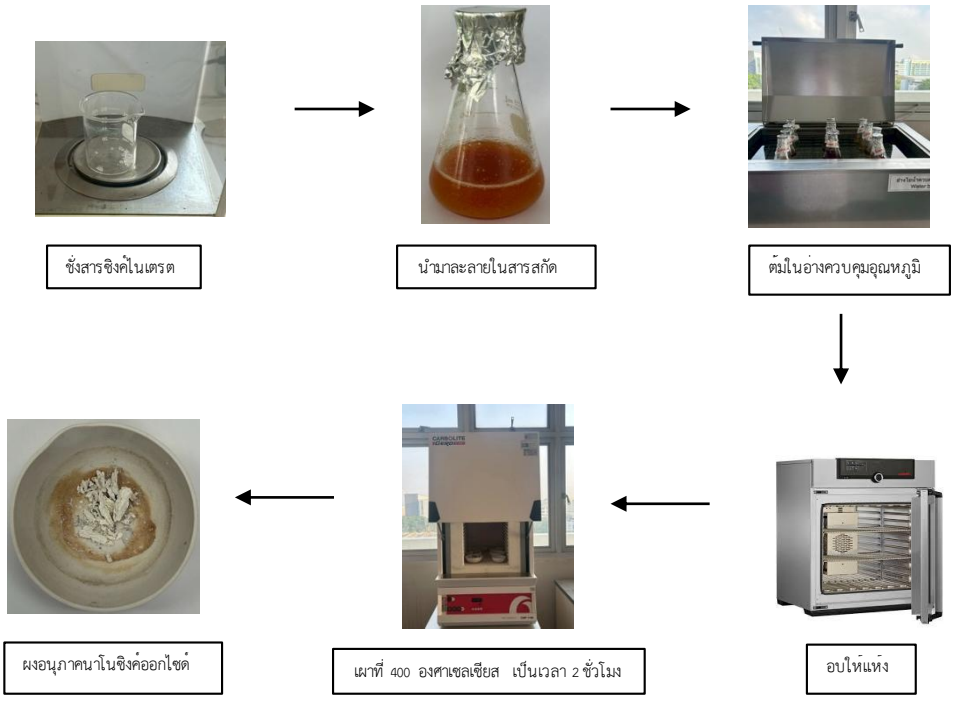
การเตรียมสารสกัดจากเปลือกมังคุด นำตัวอย่างเปลือกสดมาล้างให้สะอาด เพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำเปลือกที่ได้มาบดให้เป็นผงละเอียด จากนั้น นำไปละลายด้วยสารละลายที่แตกต่างกันคือ น้ำกลั่น และ เอทานอล โดย อัตราส่วนของผงตัวอย่างต่อสารละลาย คือ 1:20 นำไปกวนสารละลายให้เข้ากัน จากนั้น นำไปสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ด้วยวิธี Ultrasonic assisted extraction หลังจากนั้น นำไปกรอง แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเตรียมสารสกัดเปลือกผลไม้

4.2 การสกัดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

ชั่งสารตั้งต้นซิงค์ไนเตรต ลงในสารละลายที่สกัดไว้ เป็นอัตราส่วน 1:0.01 นำไปกวนสารละลายเพื่อให้เข้ากันดีจากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างสารเคมีในพืชกับสารตั้งต้น หลังจากนำไปต้มแล้วนำไปอบให้แห้งและทำการเผา จะได้ผงสีขาวซิงค์ออกไซด์ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การสกัดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

4.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

นำผงตัวอย่างไปตรวจสอบคุณลักษณะของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ได้แก่ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบของธาตุของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดและวิเคราะห์ธาตุ (SEM/EDS) และ วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของและศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิค XRD และ เทคนิค FTIR ตามลำดับ

4.4 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

เตรียมสารละลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้น เติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ ปริมาณ 0.1 กรัม ลงในสารละลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้เก็บไว้ในที่มืดเพื่อให้เกิดการดูดซับ เป็นเวลา 30 นาที จนเข้าสู่สมดุล ใช้หลอดยูวี 18 วัตต์ เป็นตัวแทนของช่วงความยาวคลื่นรังสียูวีโดยกำหนดระยะห่างเท่ากับ 10 เซนติเมตร วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงเวลาต่างๆ ทุกๆ 30 นาที ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer จากนั้น คำนวณค่าประสิทธิภาพการย่อยสลายของสีย้อมในปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง โดยใช้ ดังสมการที่ 1

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม (Removal efficiency \%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \quad \text{..... (สมการที่ 1)}$$

เมื่อ

C0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมเมทิลออเรนจ์

Ct = ความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลออเรนจ์ ณ เวลาที่ t

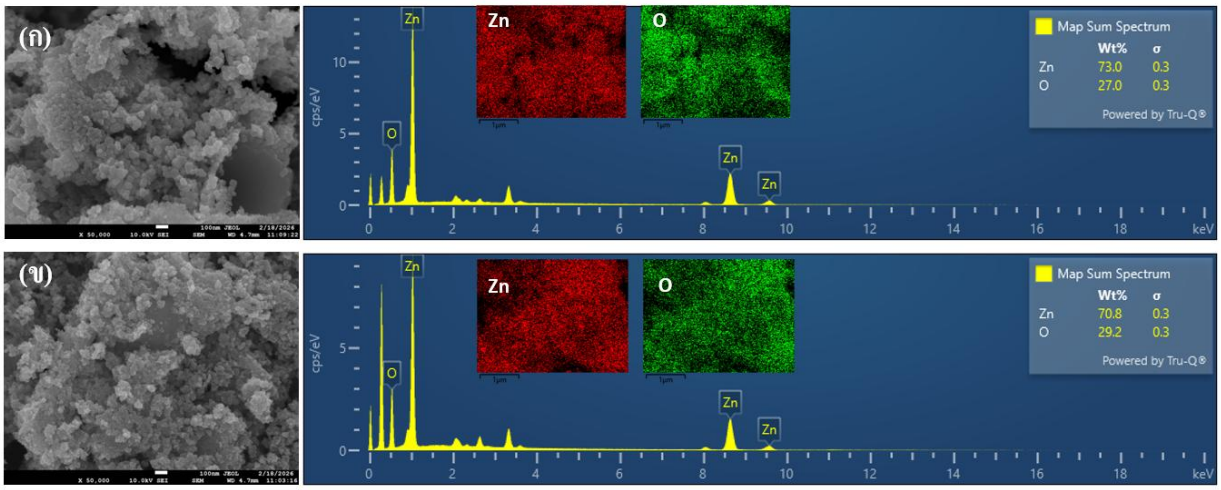
5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการตรวจวิเคราะห์คุณลักษณะของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากเปลือกมังคุด โดยใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน ได้แก่ น้ำกลั่น และ เอทานอล โดยมีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

5.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

การตรวจสอบคุณลักษณะทางสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่สังเคราะห์จากเปลือกมังคุด โดยใช้ตัวทำละลายจากน้ำกลั่นและเอทานอล ผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดที่กำลังขยาย 50000 เท่า โดยแสดงในรูปที่ 1 พบว่า สำหรับตัวทำละลายจากน้ำกลั่น (รูปที่ 1(ก)) อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเล็กระดับนาโน เฉลี่ย 76.4 นาโนเมตร เป็นทรงกลมและเกิดการเกาะกลุ่มรวมตัวกัน เกิดจากแรงขั้วและแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตระหว่างอนุภาค ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aminuzzaman et al. [8] รูปที่ 1(ข) อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ จากเปลือกมังคุดที่ตัวทำละลายจากเอทานอล จะมีการเรียงตัวของอนุภาคไม่สม่ำเสมอ โดยมีขนาดอนุภาคนาโนเฉลี่ย 69.78 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกันส่งผลต่อขนาดและลักษณะทางสัณฐานวิทยาได้ [10]

จากการศึกษาองค์ประกอบของธาตุของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยแสดงเป็นกราฟสเปกตรัมของ EDS ยืนยันได้ว่า การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากสารสกัดจากเปลือกมังคุดได้สำเร็จ ทั้งนี้องค์ประกอบธาตุของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากน้ำกลั่น ประกอบด้วยธาตุสังกะสีเป็นร้อยละ 72.9 และ ธาตุออกซิเจนเป็นร้อยละ 27.1 ขณะที่ตัวทำละลายเอทานอล ประกอบด้วยธาตุสังกะสีเป็นร้อยละ 70.8 และ ธาตุออกซิเจนเป็นร้อยละ 29.2 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aminuzzaman et al. [8]



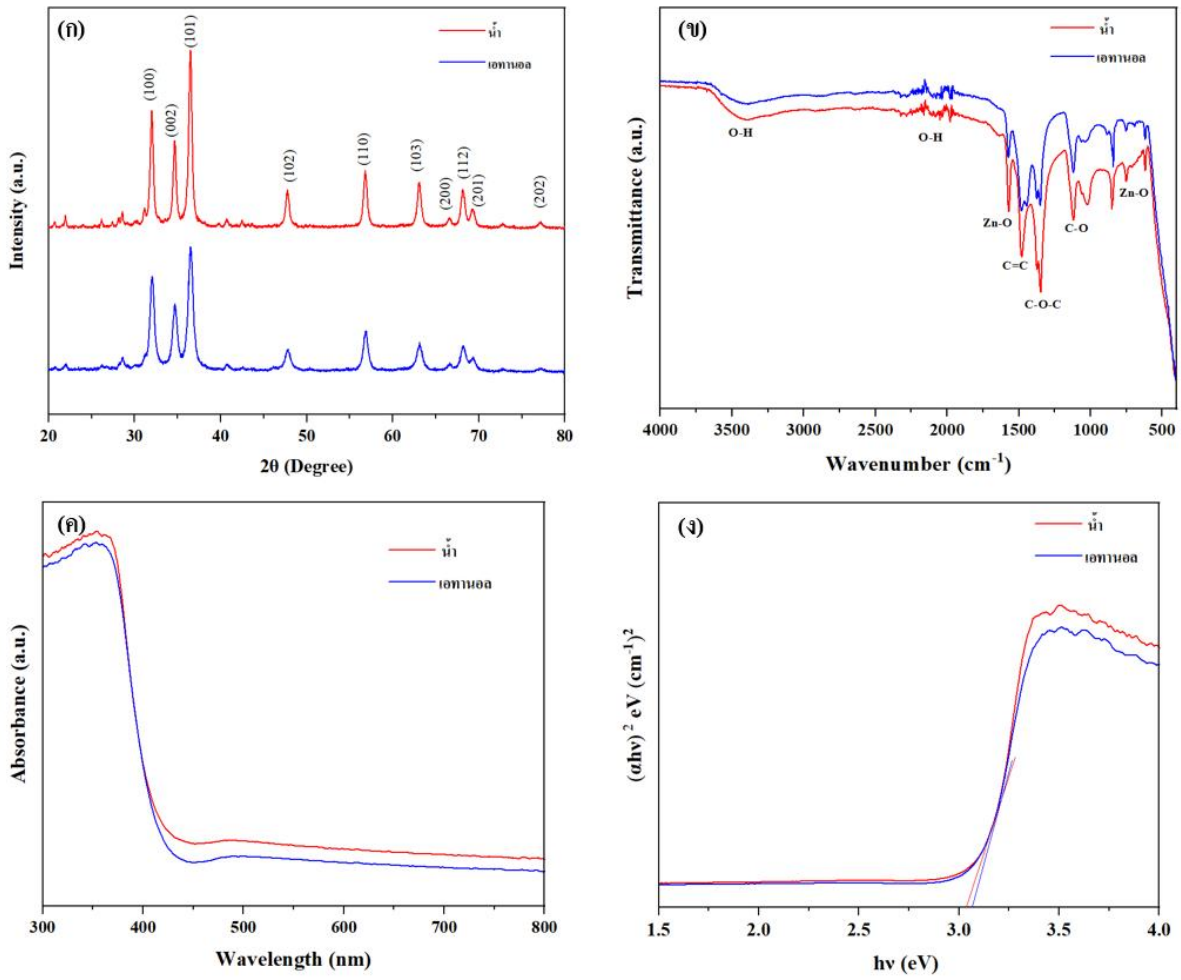
รูปที่ 3 ลักษณะโครงสร้างและองค์ประกอบธาตุของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากเปลือกมังคุดโดยใช้ตัวทำละลายที่ต่างกัน (ก) น้ำกลั่น (ข) เอทานอล ด้วย FE-SEM/EDS

5.2 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

รูปที่ 4 (ก) แสดงโครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกมังคุดโดยใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน ถูกตรวจสอบด้วยเทคนิค X-ray Diffraction พบพีคการเลี้ยวเบนที่มุม 2Theta และระนาบผลึก 31.8(100) 34.4(002), 36.3(101), 47.5(102), 56.6(110), 62.8(103), 66.5(200) 68.0(112), และ 76.8 (202) และนอกจากนี้ โครงสร้างผลึกของ

อนุภาคนาโนเป็น Hexagonal Wurtzite ตามฐานข้อมูลของ ICDD (หมายเลขการ์ด PDF 01-079-5604)ซึ่งยืนยันการเกิดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ นอกจากนี้ พีคมีความคมชัดและมีความเข้มสูง เป็นการบ่งชี้ว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีความเป็นผลึกสูง ตรงกับผลลัพธ์กับงานวิจัย Aminuzzaman et al. (2018) [8] และ Jaithon et al. (2022) [10]

รูปที่ 4 (ข) แสดงหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของการเกิดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารสกัดเปลือกมังคุด พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากสารสกัดเปลือกมังคุด โดยใช้ตัวทำละลาย น้ำกลั่น และเอทานอล พบ พีคสเปกตรัมในช่วง 700-600 cm^{-1} และในช่วง 1570 cm^{-1} แสดงถึงการเกิดขึ้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zn-O) พบพีคกว้างในช่วง 3389 cm^{-1} และพีคช่วง 2161 cm^{-1}, 2050 cm^{-1} และ ช่วง 1980 cm^{-1} แสดงถึงการสั่นแบบยืดตัวของหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) ต่อมา พบพีคการดูดกลืนแสงในช่วง 1119 cm^{-1} บ่งชี้การเกิดการสั่นแบบยืดตัวของหมู่คาร์บอนิล (C-O) และ พีคที่ 1346 cm^{-1} แสดงถึงการสั่นแบบยืดตัวของ C-O-C โดยพันธะที่เกิดขึ้นทั้งหมด เกิดจากสารประกอบออกฤทธิ์ทางชีวภาพ สารประกอบฟีนอลิก หรือ ฟลาโวนอยด์ ที่อยู่ในเปลือกมังคุด ตรงกับผลลัพธ์กับงานวิจัย Aminuzzaman et al. [8] และ Jaithon et al. [10]



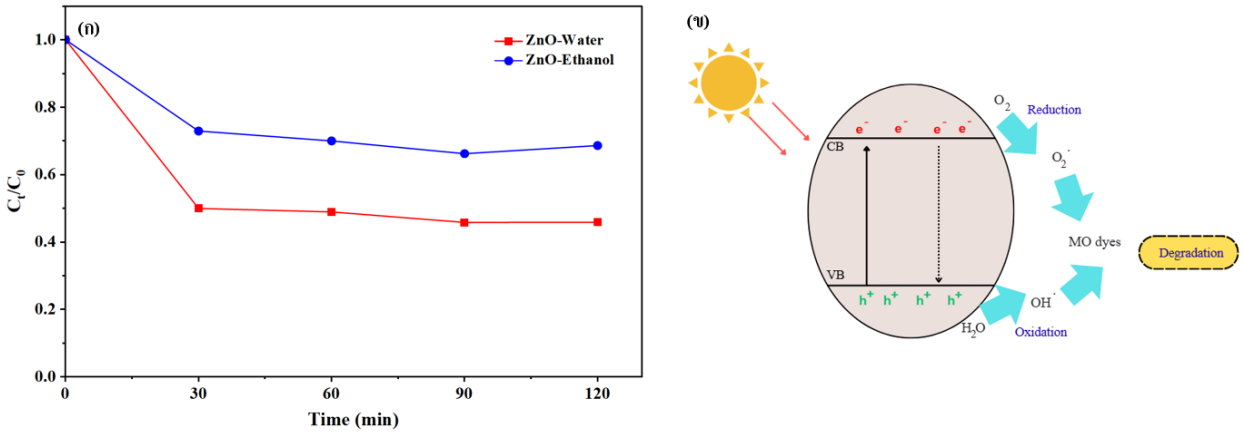
รูปที่ 4 (ก) โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD (ข) หมู่ฟังก์ชั่นด้วยเทคนิค FTIR (ค) ความสามารถในการดูดกลืนแสงช่วงรังสี UV-Visible (ง) ค่าช่องว่างแถบพลังงาน (Energy bandgap) ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิค XRD ในตัวทำละลายที่แตกต่างกัน น้ำกลั่น และ เอทานอล

การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการดูดกลืนแสงช่วงรังสี UV-Visible และ ค่าช่องว่างแถบพลังงาน (Energy bandgap) ดังแสดงรูปที่ 4 (ค) และ (ง) เพื่อศึกษาคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สกัดจากเปลือกมังคุดโดยใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน พบว่าค่าดูดกลืนแสงสูงสุดของ อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 350 – 450 นาโนเมตร และค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่ 350 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aminuzzaman et al. [8] และ Jaithon et al. [10] รายงานว่าค่าดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จะอยู่ในช่วงรังสีอัลตราไวโอเลตช่วงความยาวคลื่น 300 – 400 นาโนเมตร โดยจากการทดสอบการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกมังคุดโดยใช้ตัวทำละลายทั้งสองชนิดมีความสามารถในการดูดกลืนแสงในช่วงรังสียูวีใกล้เคียงกัน โดยค่าช่องว่างแถบพลังงาน (ภาพ B) ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีค่าเท่ากับ 3.0

โดยจากรายงานวิจัย Jaithon et al. [10] รายงานว่า ค่าช่องว่างแถบพลังงานของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยกระบวนการทางชีวภาพจะอยู่ในช่วง 2.79-3.00 eV ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของกิจกรรมปฏิกิริยาเร่งทางแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สูง เกิดจากระยะเวลาของอิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้นและนำไปสู่การย่อยสลายมลพิษได้ขึ้น [10]

5.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์

การศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ผ่านปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากสารสกัดเปลือกมังคุดโดยใช้ตัวทำละลายที่ต่างกัน คือ น้ำกลั่น และ เอทานอล โดยการนำเอาไปไว้ที่มืดภายใต้แสงยูวีเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยาและเข้าสู่จุดสมดุล หลังจากนั้น เก็บตัวอย่าง นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer เป็นระยะเวลา 120 นาที ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 (ก) ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมเมทิลออเรนจ์ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ในตัวทำละลายที่แตกต่างกัน น้ำกลั่น และเอทานอล (ข) กลไกการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ด้วยปฏิริยาเร่งทางแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

จากสเปกตรัมค่าดูดกลืนแสงของสีย้อมเมทิลออเรนจ์ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากสารสกัดเปลือกมังคุดโดยใช้ตัวทำละลายน้ำกลั่น และ เอทานอล พบว่า ภายในระยะเวลา 120 นาที พบว่า ในตัวทำละลายน้ำกลั่นและเอทานอล เมื่อเวลาผ่านไป 90 นาที ประสิทธิภาพการย่อยสลายของสีย้อมเมทิลออเรนจ์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดย ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ได้มากถึง เป็นร้อยละ 58 และ 37 ตามลำดับ ในขณะเดียวกัน ที่ระยะเวลา 120 นาที พบว่า ประสิทธิภาพการย่อยสลายไม่มี

ความแตกต่างกัน ซึ่งเกิดจากความเข้มข้นของสีย้อมนั้นมีมากกว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายลดลงในตอนหลัง

แต่อย่างไรก็ตาม จากกราฟสเปกตรัมค่าดูดกลืนแสง ดังรูปที่ 5 (ก) แสดงให้เห็นว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ได้จริง ซึ่งสามารถอธิบายกลไกการย่อยสลายสีย้อมเมทิลออเรนจ์ผ่านปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ได้ดังรูปที่ รูปที่ 5 (ข) โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 : เมื่ออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ได้รับพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าพลังงานโฟตอน อิเล็กตรอนในแถบวาเลนต์จะถูกกระตุ้นขึ้นไปยังแถบการนำไฟฟ้าและทิ้งหลุมว่างโปรตอนไว้ที่แถบวาเลนส์ จากนั้น จะเกิดกระบวนการรีดักชันและออกซิเดชันที่แถบการนำไฟฟ้าและแถบวาเลนต์ จนได้ผลิตภัณฑ์เป็นอนุมูลไฮดรอกซิล จนเข้าสู่กระบวนการขั้นสุดท้าย คือ อนุมูลไฮดรอกซิลเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง จะทำปฏิกิริยากับสารมลพิษหรือสีย้อม เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีให้มีความเป็นพิษน้อยลง [11,12]

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ ได้มีการพัฒนาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ผ่านกระบวนการทางชีวภาพ โดยใช้เปลือกมังคุดเป็นวัตถุดิบตั้งต้น โดยใช้ตัวทำละลายจากน้ำกลั่นและเอทานอล โดยกระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และต้นทุนต่ำ

จากการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากสารสกัดเปลือกมังคุดโดยใช้ตัวทำละลายทั้งสองชนิด พบว่า ขนาดของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์อยู่ในระดับนาโนเมตร รูปร่างเป็นทรงกลม มีการเกาะกลุ่มกันโดยเฉลี่ยประมาณ 76.4 และ 69.78 นาโนเมตร สำหรับตัวทำละลายน้ำกลั่นและเอทานอลตามลำดับ นอกจากนี้ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้ มีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal Wurtzite

จากการหาองค์ประกอบของธาตุของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และกราฟแสดงความเป็นผลึกที่มีความคมแหลม ทั้งนี้ พบพีคการเกิดการสั่นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ แสดงให้เห็นว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้นั้นค่อนข้างบริสุทธิ์ ซึ่งยืนยันได้ด้วยเทคนิค XRD และ FTIR แต่อย่างไรก็ตาม ยังพบพีคการปนเปื้อนของชนิดอื่นๆ อาทิเช่น โพแทสเซียม คาร์บอน ซึ่งอาจจะมาจากสารที่อยู่ในเปลือกมังคุด หรือ เกิดการตกค้างของธาตุอื่นๆที่ไม่สามารถกำจัดออกไปได้ แต่เมื่อนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ไปตรวจสอบคุณสมบัติทางแสง พบว่า พบพีคค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 350 นาโนเมตร โดยมีค่าช่องว่างแถบพลังงานเท่ากับ 3.00 eV สำหรับตัวทำละลายทั้งสอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า มีประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นรังสียูวี (200-400 นาโนเมตร) นำไปสู่ประสิทธิภาพในการย่อยสลายมลพิษสูง

ดังนั้น การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากสารสกัดจากเปลือกมังคุดมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารมลพิษหรือสีย้อมได้ เนื่องจาก ในเปลือกมังคุดมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ เช่น แอนโทไซยานิน แทนนิน ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ [9] มีหมู่ฟังก์ชันทางเคมีเป็นหมู่กรดคาร์บอซิลิกหรือไฮดรอกซิล ซึ่งยืนยันได้ด้วยเทคนิค FTIR โดยหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ ทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์และสารเคลือบผิว ช่วยควบคุมขนาดของอนุภาคนาโนให้มีความเหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

[1] กองเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน. (พฤษภาคม 2568). *คู่มือปฏิบัติงาน โครงการสร้างมูลค่าเพิ่มจากวัสดุเหลือใช้การเกษตร*. กรมพัฒนาที่ดิน. https://orgweb.ldd.go.th/sources/img/part_document/FILES_9905_6853ba6fb3abf.pdf

[2] Villegas-Fuentes, A., Garrafa-Gálvez, H. E., Quevedo-Robles, R. V., Luque-Morales, M., Vilchis-Nestor, A. R., & Luque, P. A. (2023). Synthesis of semiconductor ZnO nanoparticles using Citrus microcarpa extract and the influence of concentration on their optical properties. *Journal of Molecular Structure*,

[3] Jayachandran, A., T.R, A., & Nair, A. S. (2021). Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using Cayratia pedata leaf extract. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 26, 100995. https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2021.100995

[4] Paradva K. C., Jangir R., & Kalla S. (2023). Green nanomaterials: Synthesis and applications in wastewater treatment. Inorganic Chemistry Communications, 158(2), 111584. https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.111584

[5] Rathod S., Preetam S., Pandey C., & Bera S. P. (2024). Exploring synthesis and applications of green nanoparticles and the role of nanotechnology in wastewater treatment. Biotechnology Reports, (41), e00830. https://doi.org/10.1016/j.btre.2024.e00830

[6] Rafique, M., Sohaib, M., Tahir, R., Tahir, M. B., Khalid, N. R., Shakil, M., Gillani, S. S. A., Khan, M. I., Alrobei, H., Shahzad, K., Ali, A. M., & Muhammad, S. (2021). Novel, facile and first time synthesis of zinc oxide nanoparticles using leaves extract of Citrus reticulata for photocatalytic and antibacterial activity. Optik, 243, 167495. https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2021.167495

[7] Mirgane, N. A., Shivankar, V. S., Kotwal, S. B., Wadhawa, G. C., & Sonawale, M. C. (2021). Waste pericarp of ananas comosus in green synthesis zinc oxide nanoparticles and their application in waste water treatment. *Materials Today: Proceedings*, 37, 886-889. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.045

[8] Aminuzzaman, M., Ying, L.P., Goh, W-S., & Watanabe, A. (2018). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using aqueous extract of Garcinia mangostana fruit pericarp and their photocatalytic activity. *Bull Mater Sci,* 41(50) https://doi.org/10.1007/s12034-018-1568-4

[9] Jaithon, T., Atichakaro, T., Phonphoem, W., T-Thienprasert, J., Sreewongchai, T., & T-Thienprasert, N. P. (2024). Effects of Waste-Derived ZnO Nanoparticles against Growth of Plant Pathogenic Bacteria and Epidermoid Carconoma Cells. *Crystals*, *12*(6), 779. https://doi.org/10.3390/cryst12060779

[10] Jaithon, T., Atichakaro, T., Phonphoem, W., T-Thienprasert, J., Sreewongchai, T., & T-Thienprasert, N. P. (2024). Potential usage of biosynthesized zinc oxide nanoparticles from mangosteen peel ethanol extract to inhibit Xanthomonas oryzae and promote rice growth. *Heliyon*, *10*(1), e24076. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24076

[11] Bhapkar, A. R., & Bhame, S. (2024). A review on ZnO and its modifications for photocatalytic degradation of prominent textile effluents: Synthesis,mechanisms, and future directions. Journal of Environmental Chemical Engineering, 12(3), 112553. https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112553

[12] Sun, Y., Zhang, W., Li, Q., Liu, H., & Wang, X. (2023). Preparations and applications of zinc oxide based photocatalytic materials. Advanced Sensor and Energy Materials, 2(3), 100069. https://doi.org/10.1016/j.asems.2023.100069

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของการผลิตยาเม็ด

วริบฐา ถึกมี* และ สุนทรี ขุนทอง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย

**Corresponding author: lovepopo2540@hotmail.com*

บทคัดย่อ

วิกฤตการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลให้อุตสาหกรรมยาทั่วโลกเผชิญแรงกดดันในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งภาคสาธารณสุขมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง โดยอุตสาหกรรมยามีความเข้มข้นของคาร์บอนสูงกว่าอุตสาหกรรมยานยนต์ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Carbon Footprint Product: CFP) กรณีศึกษายาเม็ดเคลือบฟิล์ม HYDRA 50 FC (Lot No. 0124TH34) ขนาดบรรจุ 1,000,000 เม็ดต่อรุ่นการผลิต โดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ตามมาตรฐาน ISO 14067 และแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (TGO) ในขอบเขตแบบ Gate-to-Gate โดยมุ่งเน้นการเก็บข้อมูลปฐมภูมิจากบันทึกการผลิตจริง (Batch Processing Record) ครอบคลุมขั้นตอนการผสมแห้ง การตอกเม็ดยา และการเคลือบผิว ผลการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมพบว่า "จุดวิกฤต" (Hotspots) ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาจาก 2 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) พลังงานไฟฟ้าในระบบควบคุมสภาวะแวดล้อม (HVAC) สำหรับห้องสะอาด Grade C/D ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 40-60 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด และ 2) วัตถุดิบประเภทตัวยาสำคัญ (API) Hydralazine HCl ซึ่งมีค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) สูงกว่าสารเคมีทั่วไปถึง 25 เท่า นอกจากนี้ ข้อมูลจากการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการเปลี่ยนผ่านสู่เทคโนโลยีการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Direct Compression: CDC) มีศักยภาพในการลดการใช้พลังงานได้ถึงร้อยละ 69 เมื่อเทียบกับระบบแบทช์ดั้งเดิม ผลจากการศึกษานี้ไม่เพียงแต่ช่วยระบุปริมาณคาร์บอนเทียบเท่าต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ แต่ยังเป็นรากฐานสำคัญในการกำหนดเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero) และยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมยาไทยภายใต้โมเดลเศรษฐกิจ BCG

คำคำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์ / อุตสาหกรรมยา / การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) / ยาเม็ด / เศรษฐกิจ BCG

Carbon footprint for tablets drug production

Varibtha Tukmee* and Soontree Khuntong

Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University, Si Racha, Chon Buri, Thailand

**Corresponding author: lovepopo2540@hotmail.com*

Abstract

The climate change crisis has intensified global pressure on the pharmaceutical industry to mitigate greenhouse gas (GHG) emissions. Globally, the healthcare sector accounts for 4.4% of total net emissions, with pharmaceutical manufacturing exhibiting a carbon intensity 55% higher than that of the automotive industry. This study aims to evaluate the Carbon Footprint Product (CFP) of a film-coated tablet, HYDRA 50 FC (Lot No. 0124TH34), with a production scale of 1,000,000 tablets per batch. The assessment utilizes the Life Cycle Assessment (LCA) methodology in accordance with ISO 14067 and the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (TGO) guidelines, following a "Gate-to-Gate" system boundary. The research involves collecting primary activity data from actual Batch Processing Records (BPR), encompassing dry mixing, tableting, and film coating processes. Engineering analysis identifies primary "Hotspots" of GHG emissions: 1) electrical energy consumption from HVAC systems in Grade C/D cleanrooms, contributing 40-60% of total plant energy, and 2) the active pharmaceutical ingredient (API), Hydralazine HCl, which possesses a Global Warming Potential (GWP) up to 25 times higher than basic chemicals. Furthermore, the study indicates that transitioning to Continuous Direct Compression (CDC) technology offers a 69% reduction in energy consumption compared to traditional batch manufacturing. The findings of this study not only quantify the CO_2 equivalent per functional unit but also provide a critical foundation for establishing Net Zero targets and enhancing the competitiveness of the Thai pharmaceutical industry under the Bio-Circular-Green (BCG) economic model.

Keywords: Carbon footprint / Pharmaceutical industry / Life cycle assessment (LCA) / Tablets / BCG economy

1. บทนำ

วิกฤตการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) และภาวะโลกร้อน (Global Warming) ได้ทวีความรุนแรงขึ้นจนกลายเป็นความท้าทายหลักที่มนุษยชาติในศตวรรษที่ 21 ต้องเผชิญอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ [1] ข้อมูลสถิติล่าสุดระบุว่าโลกมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHGs) พุ่งสูงขึ้นเป็นประวัติการณ์ถึง 53,200 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยร้อยละ 74.5 มาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในภาคอุตสาหกรรมและพลังงาน [2] ปรากฏการณ์นี้นำไปสู่ภัยธรรมชาติที่รุนแรงและซับซ้อน เช่น คลื่นความร้อน และน้ำท่วมฉับพลัน ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อโครงสร้างพื้นฐานและสุขภาวะของสิ่งมีชีวิตทั่วโลก

ในมิติด้านสาธารณสุข ภาวะโลกร้อนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเจ็บป่วยของมนุษย์ ทั้งจากโรคฮีทสโตรกและการแพร่กระจายของโรคอุบัติใหม่ ส่งผลให้ความต้องการใช้ยาและเวชภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ภาคสาธารณสุขทั่วโลกกลับมีส่วนรับผิดชอบต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณร้อยละ 4.4 ถึง 4.6 ของปริมาณการปล่อยรวมทั้งโลก [3] หากภาคสาธารณสุขถูกเปรียบเป็นประเทศหนึ่ง จะถือเป็นประเทศที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดเป็นอันดับ 5 ของโลก โดยเฉพาะในห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมยาและชีวเทคโนโลยีที่มีการประเมินว่าการผลิตเคมีภัณฑ์และยาคิดเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 18 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคสาธารณสุขทั้งหมด นอกจากนี้ อุตสาหกรรมยายังมีค่าความเข้มข้นคาร์บอนต่อหน่วยรายได้สูงกว่าอุตสาหกรรมยานยนต์ถึงร้อยละ 55

สำหรับประเทศไทย สถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี 2567 สูงเป็นอันดับที่ 21 ของโลก และอันดับ 3 ในอาเซียน ในขณะที่อุตสาหกรรมยาในไทยมีแนวโน้มเติบโตอย่างรวดเร็วที่ระดับร้อยละ 4.5 ถึง 5.0 ต่อปี เพื่อรองรับสังคมผู้สูงอายุและการเป็นศูนย์กลางทางการแพทย์ (Medical Hub) ปัจจุบันไทยมีโรงงานผลิตยาแผนปัจจุบันที่ได้รับมาตรฐาน GMP จำนวน 151 แห่ง [8] ซึ่งกระบวนการผลิตยาเม็ด (Tablet Production) นั้นมีความซับซ้อนและใช้ทรัพยากรเข้มข้น [4] โดยเฉพาะระบบควบคุมสภาวะอากาศ (HVAC) ในห้องสะอาด (Cleanroom) ที่ต้องทำงาน 24 ชั่วโมง ซึ่งมีการใช้พลังงานสูงกว่าอาคารทั่วไป 30-50 เท่า และเป็นสาเหตุของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึงร้อยละ 40-60 ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด [5]

งานวิจัยนี้จึงมุ่งหวังที่จะทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Carbon Footprint Product: CFP) กรณีศึกษาของยาเม็ด เพื่อวิเคราะห์จุดวิกฤต (Hotspots) ในแต่ละกระบวนการย่อย [7] และเสนอแนวทางการจัดการที่สอดคล้องกับโมเดลเศรษฐกิจ BCG (Bio-Circular-Green Economy) เพื่อยกระดับอุตสาหกรรมยาไทยสู่ความยั่งยืนและเตรียมความพร้อมสำหรับการแข่งขันในเวทีโลก [6]

2. วัตถุประสงค์

1) เพื่อประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (CFP) ของยาเม็ดกรณีศึกษาตลอดวัฏจักรการผลิตแบบ Gate-to-Gate
2) เพื่อจำแนกและวิเคราะห์จุดวิกฤตของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Hotspots Identification) ในแต่ละกิจกรรมย่อย
3) เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางสิ่งแวดล้อมระหว่างเทคโนโลยีการผลิตแบบดั้งเดิมและเทคโนโลยีใหม่
4) เพื่อเสนอแนะยุทธศาสตร์การจัดการคาร์บอนต่ำที่สอดคล้องกับนโยบาย BCG และยกระดับสู่การเป็นอุตสาหกรรมสีเขียว

3. ขอบเขตของการศึกษา

เพื่อให้การประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกมีความแม่นยำและเป็นไปตามมาตรฐานสากล ISO 14067 และ ISO 14044 ผู้วิจัยจึงกำหนดขอบเขตการดำเนินงานดังนี้

1) ขอบเขตด้านผลิตภัณฑ์และหน่วยปฏิบัติการ (Functional Unit): กำหนดหน่วยผลิตภัณฑ์เป้าหมายคือ ยาเม็ดแผนปัจจุบัน 1 เม็ด (น้ำหนัก 100 mg ต่อเม็ด) บรรจุในแผงฟอยล์ (Blister Pack) ขนาด 10 เม็ดต่อแผง โดยพิจารณาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนถึงกระบวนการบรรจุขั้นสุดท้ายภายในโรงงาน

2) ขอบเขตของระบบ (System Boundary): เป็นการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ Gate-to-Gate (Partial LCA) ซึ่งมุ่งเน้นเฉพาะขั้นตอนการผลิตภายในโรงงานกรณีศึกษา ประกอบด้วย

- กระบวนการต้นน้ำภายใน: การขนส่งวัตถุดิบจากคลังสินค้าเข้าสู่สายการผลิต
- กระบวนการผลิตหลัก: ครอบคลุมการผสมแห้ง (Dry Blending), การทำแกรนูล (Granulation), การอบแห้ง, การตอกเม็ดยาด้วยเครื่อง ZP-series (1.5-2.2 kW) และการเคลือบเม็ดยาด้วยหม้อเคลือบขนาด 1,250 mm.
- ระบบสนับสนุน: พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ HVAC (Grade C/D) ที่ต้องทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ระบบลมอัด และระบบน้ำบริสุทธิ์
- กระบวนการปลายน้ำภายใน: การบรรจุแผง (Primary Packaging) และการจัดการของเสียจากการผลิต

3) ขอบเขตด้านก๊าซเรือนกระจก: ครอบคลุมก๊าซหลักตามเกณฑ์ของ TGO ได้แก่ CO_2, CH_4, N_2O และก๊าซในกลุ่ม F-gases จากการรั่วไหลของสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ

4) ขอบเขตด้านเวลาและเกณฑ์การตัดออก: ใช้ข้อมูลปีฐานระหว่าง พ.ศ. 2567 ถึง พ.ศ. 2568 โดยเก็บข้อมูลปฐมภูมิจากบันทึกการผลิต (BPR) และมิเตอร์ไฟฟ้าจริง และใช้เกณฑ์การตัดออก (Cut-off Criteria) สำหรับวัสดุที่มีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าร้อยละ 1

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI) โดยแบ่งข้อมูลเป็น 2 ประเภทหลัก มีดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data): เก็บข้อมูลจริงจากโรงงานกรณีศึกษาในช่วงปี พ.ศ. 2567-2568 ได้แก่
   - ปริมาณวัตถุดิบ (API และ Excipients) และวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ต่อการผลิต 1 รุ่น
   - ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรแต่ละประเภท เช่น เครื่องตอกยาและเครื่องเคลือบ
   - ข้อมูลการใช้พลังงานของระบบสนับสนุน โดยเฉพาะระบบ HVAC และข้อมูลการเติมสารทำความเย็น
   - ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนและการจัดการ
2) ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data): ใช้ข้อมูลสนับสนุนสำหรับการคำนวณผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ได้แก่
   - ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) จากฐานข้อมูลขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (TGO) และ Thai National LCA Database
   - ข้อมูลค่า GWP จากรายงานของ IPCC สำหรับการแปลงค่าก๊าซเรือนกระจกชนิดต่าง ๆ

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูลจะอ้างอิงตามกรอบมาตรฐาน ISO 14040/14044 และ ISO 14067 เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่โปร่งใสและตรวจสอบได้ ประกอบไปด้วย

1) การวิเคราะห์สมดุลมวลและพลังงาน (Mass and Energy Balance): นำข้อมูลปฐมภูมิมาคำนวณเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและผลผลิตในแต่ละหน่วยปฏิบัติการ (Unit Operation)

2) การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment): ใช้สถิติเชิงพรรณนาในการรายงานค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) โดยใช้สูตร

ผลกระทบ (Impact) = ปริมาณการปล่อย (Emission) x ค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบ (GWP Factor)

3) การวิเคราะห์จุดวิกฤต (Hotspots Identification): ใช้การวิเคราะห์สัดส่วน (Percentage Analysis) เพื่อระบุกิจกรรมย่อยที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด

4) การเปรียบเทียบเชิงสถานการณ์ (Scenario Analysis): ใช้สถิติเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างเทคโนโลยีการผลิตแบบดั้งเดิม (Batch) กับเทคโนโลยีใหม่ (เช่น CDC) เพื่อหาแนวทางที่ลดคาร์บอนได้สูงสุด

5) ซอฟต์แวร์ที่ใช้: ใช้ Microsoft Excel ในการบันทึกและคำนวณข้อมูลบัญชีรายการ และอาจมีการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ LCA เฉพาะทางเพื่อความแม่นยำในการระบุผลกระทบ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยาเม็ดโดยใช้ขอบเขตการศึกษาแบบ Gate-to-Gate ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบจนถึงการบรรจุแผงบลิสเตอร์ โดยแบ่งผลการศึกษาออกเป็นส่วนสำคัญดังนี้

5.1.1 ข้อมูลพื้นฐานและรายการข้อมูลกิจกรรม (Activity Data)

จากการตรวจสอบบันทึกการผลิต (Batch Processing Record: BPR) ของผลิตภัณฑ์ยาเม็ด HYDRA 50 FC ขนาดบรรจุ 1,000,000 เม็ดต่อรุ่นการผลิต พบข้อมูลรายการวัตถุดิบหลักและสารช่วยผสมที่สำคัญดังนี้:

1) ตัวยาสำคัญ (API) Hydralazine Hydrochloride ปริมาณ 50.00 kg
2) สารช่วยผสม (Excipients) ประกอบด้วย Supertab และ Avicel PH 102 ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักในการสร้างโครงสร้างเม็ดยา
3) วัสดุบรรจุภัณฑ์ ฟอยล์อลูมิเนียมและฟิล์ม PVC สำหรับการบรรจุแผงบลิสเตอร์

5.1.2 การวิเคราะห์สมดุลมวลและประสิทธิภาพเชิงมวล (Mass Balance and Yield Analysis)

ผลการวิเคราะห์สมดุลมวลพบว่า ในกระบวนการผลิตมีการสูญเสียมวล (Mass Loss) ในจุดต่างๆ เช่น การติดค้างในเครื่องจักรและการคัดทิ้งเม็ดยาที่ไม่สมบูรณ์ โดยมีรายละเอียดค่าประสิทธิภาพ (Yield) ดังนี้

1) ทฤษฎีการผลิต 1,000,000 เม็ด
2) ผลผลิตจริงที่ได้ พบว่ามีการสูญเสียในขั้นตอนการตอกเม็ดและการเคลือบ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เนื่องจากวัตถุดิบที่สูญเสียไปล้วนมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแฝง (Embedded Emissions) ตั้งแต่กระบวนการผลิตต้นน้ำ

5.1.3 การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้า (Energy Consumption Analysis)

พลังงานไฟฟ้าถือเป็นปัจจัยหลักในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (Scope 2) ของโรงงานผลิตยา โดยสามารถแยกแยะตามหน่วยการผลิตและระบบสนับสนุนได้ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงขอบเขตที่ 2 พลังงานไฟฟ้า

กิจกรรมการผลิต	เวลา/กำลังไฟฟ้า	พลังงานที่ใช้ (kWh)	ปริมาณการปล่อย ($kgCO_2eq$)
การผสม (Dry Mixing)	1.42 hrs / 3 kW	4.26	2.02
การตอกเม็ด (Tableting)	32 hrs / 2.2 kW	70.40	33.44
การเคลือบ (Coating)	4 hrs / 4.2 kW	16.80	7.98
ระบบ HVAC (Support)	55% ของพลังงานรวม	111.78	53.10
รวมพลังงานไฟฟ้า	-	203.24	96.54

ข้อสังเกต ระบบสนับสนุนอาคาร โดยเฉพาะ **ระบบ HVAC** มีสัดส่วนการใช้พลังงานสูงที่สุดถึงร้อยละ 55 ของพลังงานรวมในรุ่นการผลิตนี้ เนื่องจากต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในห้องสะอาด (Cleanroom) ให้เป็นไปตามมาตรฐาน GMP ตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงาน

5.1.4 สรุปผลรวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วย

จากการประมวลผลข้อมูลทั้งหมด ผู้วิจัยได้คำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยรวมของรุ่นการผลิตและการปล่อยต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้:

1) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ (Scope 1 & 3 ภายใน) เท่ากับ 1,742.92 $kgCO_2eq$ โดยการคำนวณผลรวมจากปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในตารางเริ่มต้นจากตัวยาสำคัญ Hydralazine HCl ปริมาณ 50 กิโลกรัม คูณกับค่า Emission Factor 32.50 $kgCO_2eq/kg$ (ซึ่งปรับเพิ่มจากค่าเฉลี่ยสารเคมีพื้นฐาน 25 เท่าตามลักษณะเฉพาะของอุตสาหกรรมยา) ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 1,625.00 $kgCO_2eq$ ถัดมาคือสารช่วยผสม Supertab ปริมาณ 32 กิโลกรัม คูณกับค่า EF 1.37 $kgCO_2eq/kg$ คิดเป็น 43.84 kgCO2eq และ Avicel PH 102 ปริมาณ 13 กิโลกรัม คูณกับค่า EF 1.10 $kgCO_2eq/kg$ ได้เท่ากับ 14.30 $kgCO_2eq$ ในส่วนของสารหล่อลื่น Magnesium Stearate ปริมาณ 3.80 กิโลกรัม คูณกับค่า EF 11.20 $kgCO_2eq/kg$ คิดเป็นการปล่อยก๊าซ 42.56 $kgCO_2eq$ และรายการสุดท้ายคือ Onicoat Pink ปริมาณ 3 กิโลกรัม คูณกับค่า EF 5.74 $kgCO_2eq/kg$ ได้เท่ากับ 17.22 $kgCO_2eq$
2) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า (Scope 2) เท่ากับ 96.54 kgCO2eq
3) ผลรวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งรุ่นการผลิต (Total Batch Emissions) Total Batch Emissions = 1,742.92 + 96.54 = 1,839.46 kgCO2eq

การคำนวณค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (Carbon Footprint Product : CFP) เมื่อคำนวณจากหน่วยหน้าที่ (Functional Unit) คือ ยาเม็ด 1 เม็ด จะได้ผลลัพธ์ดังนี้:

$$CFP_{tablet} = 1{,}839.46\ kgCO_2eq / 1{,}000{,}000\sim tablets\} = 0.001839\ kgCO_2eq / tablet$$

5.1.5 บทวิเคราะห์จุดวิกฤตและประสิทธิภาพพลังงาน

1) จุดวิกฤต (Hotspots) วัตถุดิบและวัสดุบรรจุภัณฑ์เป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใหญ่ที่สุดในกระบวนการแบบ Gate-to-Gate โดยมีค่าสูงถึง 1,742.92 kgCO2eq ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการเลือกซัพพลายเออร์และการจัดการของเสียจากวัตถุดิบมีความสำคัญอย่างยิ่ง

2) ประสิทธิภาพพลังงาน แม้การผลิตยาจะมีขั้นตอนซับซ้อน แต่การที่ระบบสนับสนุน (HVAC) กินพลังงานมากกว่าครึ่งหนึ่งของกิจกรรมไฟฟ้าทั้งหมด ชี้ให้เห็นถึงโอกาสในการปรับปรุง เช่น การติดตั้งระบบ VSD (Variable Speed Drive) หรือการปรับลดอัตราการหมุนเวียนอากาศ (Air Changes) ในช่วงที่ไม่มีการผลิต (Unoccupied Mode) เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอนาคต

5.2 อภิปรายผล

จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยาเม็ด HYDRA 50 FC ผู้วิจัยมีประเด็นสำคัญที่นำมาอภิปรายผลเพื่อสะท้อนให้เห็นถึงนัยสำคัญของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมการผลิตยา ดังนี้

1) อิทธิพลของวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ต่อคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Dominance of Embedded Carbon) ผลการศึกษาชี้ชัดว่าสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 90) มาจากคาร์บอนแฝงในวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะตัวยาสำคัญ (API) และสารช่วยผสม (Excipients) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Health Care Without Harm ที่ระบุว่าห่วงโซ่อุปทานเป็นแหล่งปล่อยคาร์บอนที่ใหญ่ที่สุดในภาคสาธารณสุข [3] การที่ค่า CFP ของยาเม็ดกรณีศึกษาอยู่ที่ 0.001839 $kgCO_2eq$ ต่อเม็ดนั้น แม้จะดูเป็นตัวเลขที่น้อยต่อหน่วย แต่เมื่อพิจารณาในระดับรุ่นการผลิต 1,000,000 เม็ด จะพบปริมาณการปล่อยที่สูงถึง 1,839.46 $kgCO_2eq$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุตสาหกรรมยาจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่มีกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อลดการปล่อยก๊าซใน Scope 3 [10]

2) ประสิทธิภาพพลังงานในระบบสนับสนุน (HVAC Energy Intensity) ในมิติด้านพลังงานไฟฟ้า ระบบควบคุมสภาวะอากาศ (HVAC) เป็นจุดวิกฤต (Hotspot) ที่สำคัญที่สุด โดยใช้พลังงานสูงถึงร้อยละ 55 ของพลังงานรวมในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นไปตามลักษณะเฉพาะของโรงงานผลิตยาที่ต้องรักษามาตรฐานห้องสะอาด (Cleanroom) ตามเกณฑ์ GMP ตลอด 24 ชั่วโมง [4] การใช้พลังงานในส่วนนี้สูงกว่าพลังงานที่ใช้ในเครื่องจักรผลิตหลัก เช่น เครื่องตอกยา หรือเครื่องเคลือบยาอย่างมีนัยสำคัญ ข้อมูลนี้เน้นย้ำว่าแนวทางการลดคาร์บอนที่มีประสิทธิภาพที่สุดในระยะสั้น คือการจัดการพลังงานในระบบสนับสนุนอาคาร เช่น การปรับเปลี่ยนรอบความเร็วพัดลม (VSD) หรือการบริหารจัดการสภาวะอากาศในช่วงที่ไม่มีการผลิต (Unoccupied Mode) ตามมาตรฐาน ISO 14644-16 [10]

3) การสูญเสียในกระบวนการและความสัมพันธ์กับความยั่งยืน (Process Loss and Resource Efficiency) จากการวิเคราะห์สมดุลมวล (Mass Balance) พบว่าการสูญเสียระหว่างการผลิต (Yield Loss) แม้เพียงเล็กน้อยในขั้นตอนการตอกเม็ดและการเคลือบ ส่งผลต่อค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากวัตถุดิบที่สูญเสียไปนั้นได้ผ่านกระบวนการที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาแล้วตั้งแต่ต้นทาง [9] ดังนั้น การปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงมวล (Material Efficiency) ตามหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ในโมเดล BCG จึงไม่ได้เป็นเพียงการลดต้นทุนการผลิตเท่านั้น แต่ยังเป็นยุทธศาสตร์สำคัญในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ยาในภาพรวม [7]

4) ความท้าทายในการมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนของอุตสาหกรรมยาไทย เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษากับเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2593 พบว่าอุตสาหกรรมยาไทยยังมีความท้าทายด้านข้อมูล (Data Availability) โดยเฉพาะฐานข้อมูลคาร์บอนของสารช่วยผสมเกรดเภสัชกรรมที่ผลิตในประเทศ [10] การสร้างความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชนในการจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (LCI) ที่เป็นปัจจุบัน จะช่วยให้อุตสาหกรรมยาสามารถประเมินและพัฒนาผลิตภัณฑ์คาร์บอนต่ำได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น เพื่อยกระดับสู่การเป็นอุตสาหกรรมสีเขียวและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในระดับสากล [8]

6. สรุปผลการศึกษา

สรุปผลการคำนวณ: ผลิตภัณฑ์ยาเม็ด HYDRA 50 FC มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เท่ากับ 1.84 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (gCO_2eq) ต่อเม็ด โดยสัดส่วนหลักร้อยละ 94.7 มาจากวัตถุดิบ (Scope 3) และร้อยละ 5.3 มาจากพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน (Scope 2) ข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นว่าการปรับปรุง Yield ในขั้นตอนการตอกยาและการเลือก API ที่มีกระบวนการสังเคราะห์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จะเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ตามนโยบาย BCG ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่คำนวณได้นี้ จะเป็นข้อมูลพื้นฐาน (Baseline) ที่สำคัญในการยื่นขอรับรองฉลากคาร์บอน (Carbon Label) กับองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) เพื่อยกระดับอุตสาหกรรมยาไทยสู่ความยั่งยืนตามโมเดลเศรษฐกิจ BCG ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] Emissions Database for Global Atmospheric Research (EDGAR). (2024). *GHG emissions of all world countries: Report 2024.* https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2024

[2] ฝ่ายวิจัย ตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย. (2567). *สถิติการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลกและประเทศไทย (SET Note).* สืบค้นจาก https://media.set.or.th/common/research/1552.pdf

[3] Health Care Without Harm. (2019). *Health care's climate footprint: How the health sector contributes to the global climate crisis*. Retrieved from https://www.drugdiscoverytrends.com/dirty-science-pharma-industry-produces-emissions-of-514-coal-power-plants-annually/

[4] Inotek. (2025). *Energy-Efficient HVAC Cleanroom Design under ISO 14644 and Sustainability Standards.* Retrieved from https://inotek.co.in/blogs/energy-efficient-hvac-cleanroom-iso-14644-pharma

[5] MDPI. (2025). *Energy Efficiency of Cleanroom Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) Systems*. Retrieved from https://www.mdpi.com/1996-1073/18/13/3538

[6] สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.). (2564). *แผนปฏิบัติการด้านการขับเคลื่อนการพัฒนาประเทศไทยด้วยโมเดลเศรษฐกิจ BCG พ.ศ. 2564-2570.* สืบค้นจากhttps://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/bcg/20211228-BCG-Action-Plan-2564-2570.pdf

[7] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2567). *คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์คืออะไรและมีหลักเกณฑ์อย่างไร*. https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y0hKdlpIVmpkSE5mYVhNPQ

[8] สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (FDA). (2566). *ระบบตรวจสอบการอนุญาตโรงงานผลิตยา*. สืบค้นจาก https://ndi.fda.moph.go.th/uploads/file_news/202309131994561417.pdf

[9] Bouchier, F., et al. (2025). Life cycle assessment of pharmaceutical tablet manufacturing: A comparative analysis and systems model integration framework. *International Journal of Pharmaceutics: X, 10, 100395.* Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.ijpx.2025.100395

[10] Krungsri Research. (2024). *Thailand Pharmaceutical Industry Outlook 2024-2026.* Retrieved from https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/chemicals/phamaceuticals/io/io-pharmaceuticals-2025-2027

ผลของการแกรนูลเลชันต่อกระบวนการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพ: สมรรถนะของกระบวนการและชุมชนจุลินทรีย์

ปิยภรณ์ ขุนรักษ์[1], ปพิชญา ศรีเทพ[2], และ ไชยวัฒน์ รงค์สยามานนท์[1*]

[1]คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ประเทศไทย
[2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลมะขามเตี้ย อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย
** Corresponding author: chaiwat.r@psu.ac.th.*

บทคัดย่อ

ระบบตะกอนชีวภาพแบบแกรนูล (Granular Sludge; GS) เป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการกำจัดสารอาหาร โดยระบบกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพแบบแกรนูล (Enhanced Biological Phosphorus Removal with Granular Sludge; EBPR-GS) ขึ้นอยู่กับสภาวะการเลี้ยงตะกอนและการเดินระบบ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะของระบบ EBPR-GS ระหว่างระยะก่อนการก่อตัวของตะกอนแกรนูล (R1) และระยะหลังการก่อตัวของตะกอนแกรนูลที่เสถียร (R2) การทดลองดำเนินการในถังปฏิกรณ์แบบลำดับ (SBR) โดยลดรอบการทำงานจาก 12 ชั่วโมงเป็น 6 ชั่วโมง และลดระยะเวลาการตกตะกอนจาก 1 ชั่วโมงเหลือ 0.5 ชั่วโมง ส่งผลให้ภาระบรรทุกต่อหน่วยปริมาตรเพิ่มขึ้น ผลการทดลองพบว่าในระยะ R2 ประสิทธิภาพการกำจัด COD เพิ่มขึ้นจาก 85.5±4.2% เป็น 90.44±2.65% ขณะที่การกำจัดไนโตรเจนรวมลดลงจาก 69.81±7.43% เป็น 51.50±7.01% การกำจัดฟอสฟอรัสมีค่าใกล้เคียงกัน (64.56± 5.17–55.85± 6.04%) คุณสมบัติการตกตะกอนของชีวมวลดีขึ้นอย่างชัดเจน โดยค่า SVI_5 ลดลงจาก 147 เป็น 30 mL/g และค่า SVI_5/SVI_{30} เพิ่มขึ้นจาก 0.67 เป็น 0.98 ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการลดระยะเวลาการตกตะกอนมีบทบาทสำคัญต่อการคัดเลือกชีวมวลที่มีความหนาแน่นสูงและเสถียร ส่งเสริมการพัฒนาโครงสร้างแกรนูลในระบบ R2 การวิเคราะห์ชุมชนจุลินทรีย์พบว่า *Candidatus Competibacter* (GAO) ลดลง (15.25%) และไม่ปรากฏในระยะ R2 ขณะที่กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง EPS และโครงสร้างแกรนูล เช่น *Comamonadaceae* (6.20%), Pseudomonas (3.76%) และ *Amaricoccus* (4.83%) เพิ่มขึ้นรวมถึงการคงอยู่ของ*Thauera* และ*Burkholderiales* ซึ่งเป็นกลุ่ม denitrifying phosphorus-accumulating organisms (DPAO) งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า R2ช่วยเพิ่มความเสถียรของระบบและเหมาะในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่และต้องการรองรับภาระบรรทุกสารอาหารที่ผันผวนในระยะยาว

คำสำคัญ: ตะกอนชีวภาพแบบแกรนูล / รอบการเดินระบบ / การกำจัดสารอาหาร / การก่อตัวของแกรนูล / เวลาการตกตะกอน

Influence of sludge granulation on biological nutrient removal: process performance and microbial community

Piyaporn Khunrak[1], Papichaya Srithep[2], and Chaiwat Rongsiyamanont[1]*

[1] Faculty of Environmental Management, Prince of Songkla University, Thailand
[2] Faculty of Science and Industrial Technology, Prince of Songkla University, Thailand
**Corresponding author: chaiwat.r@psu.ac.th.*

Abstract

Granular sludge (GS) is a promising technology for nutrient removal, in which the performance of enhanced biological phosphorus removal with granular sludge (EBPR-GS) strongly depends on sludge cultivation conditions and operational strategies. This study aimed to evaluate the performance of an EBPR-GS system during the pre-granulation stage (R1) and the stable granulation stage (R2). The experiments were conducted in a sequencing batch reactor (SBR) by reducing the cycle time from 12 h to 6 h and shortening the settling time from 1 h to 0.5 h, thereby increasing the volumetric organic and nutrient loading rates. The results showed that in R2, COD removal efficiency increased from 85.5±4.2% to 90.44±2.65%, while total nitrogen removal improved from 69.81±7.43% to 51.50±7.01% Phosphorus removal efficiencies remained comparable (64.56± 5.17–55.85± 6.04%). The settleability of the biomass improved markedly, with SVI_5 decreasing from 147 to 30 mL/g and the SVI_5/SVI_{30} ratio increasing from 0.67 to 0.98. These results indicate that shortening the settling time plays a key role in selecting dense and stable biomass, thereby promoting granule formation in the R2 system. Microbial community analysis revealed a decrease in *Candidatus Competibacter* (GAO) (15.25%) and its absence in R2, whereas microorganisms associated with extracellular polymeric substances (EPS) production and granule structure, including *Co*mamonadaceae (6.20%), Pseudomonas (3.76%), and *Amaricoccus* (4.83%), became more prominent. In addition, the persistence of *Thauera* and members of *Burkholderiales*, which are considered denitrifying phosphorus-accumulating organisms (DPAOs), highlights the potential of granular structures to support stable nutrient removal. Overall, this study demonstrates that R2 enhances system stability and is suitable for wastewater treatment systems with limited space and fluctuating nutrient loadings.

Keywords: Aerobic granular sludge / Operational cycles / Nutrient removal / granule formation / microbial community

1. บทนำ

การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมภาคอุตสาหกรรม การขยายตัวของเขตเมือง และความต้องการใช้ทรัพยากรน้ำที่สูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สารอาหารทั้งสองชนิดนี้เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ควบคุมความสมดุลของระบบนิเวศทางน้ำ โดยเฉพาะในแหล่งน้ำผิวดิน เมื่อมีการสะสมเกินระดับที่ระบบสามารถรองรับได้ จะก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มจำนวนของสาหร่ายและจุลินทรีย์อย่างรวดเร็ว การเพิ่มจำนวนของสาหร่ายส่งผลให้มีการลดลงของออกซิเจนละลายน้ำ และการเสื่อมโทรมของระบบนิเวศในวงกว้าง [1] ผลกระทบดังกล่าวไม่เพียงจำกัดอยู่ในมิติทางสิ่งแวดล้อม แต่ยังส่งผลต่อคุณภาพน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ความหลากหลายทางชีวภาพ และเพิ่มภาระต้นทุนในการฟื้นฟูและจัดการทรัพยากรน้ำในระยะยาว ดังนั้น การควบคุมและกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจึงเป็นเป้าหมายสำคัญของระบบบำบัดน้ำเสียสมัยใหม่

การกำจัดไนโตรเจนในระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพโดยทั่วไปอาศัยกระบวนการไนตริฟิเคชัน–ดีไนตริฟิเคชัน (Nitrification–Denitrification) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยการจัดสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันอย่างเหมาะสม ในขั้นตอนแรก จุลินทรีย์ไนตริไฟเออร์จะทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรต์และไนเตรตภายใต้สภาวะแอโรบิก ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องการออกซิเจนและมีอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ค่อนข้างต่ำ ในขั้นตอนถัดมา จุลินทรีย์ดีไนตริไฟเออร์จะรีดิวซ์ไนเตรตให้เป็นก๊าซไนโตรเจนภายใต้สภาวะแอนออกซิก โดยใช้คาร์บอนอินทรีย์เป็นแหล่งอิเล็กตรอนโดเนอร์ ขณะเดียวกันการกำจัดฟอสฟอรัสนิยมใช้กระบวนการ Enhanced Biological Phosphorus Removal (EBPR) ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์กลุ่ม Phosphorus Accumulating Organisms (PAOs) ที่สามารถปลดปล่อยฟอสเฟตในสภาวะแอนแอโรบิก และสะสมฟอสเฟตกลับเข้าสู่เซลล์ในสภาวะแอโรบิกในรูปของโพลีฟอสเฟต นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์กลุ่ม Denitrifying PAOs (DPAOs) ที่สามารถใช้ไนเตรตหรือไนไตรต์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนในการสะสมฟอสฟอรัสภายใต้สภาวะแอนออกซิก ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้คาร์บอนและลดความต้องการออกซิเจนของระบบ แม้ว่ากลไกทางชีวภาพดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพ แต่ข้อจำกัดสำคัญของระบบคือความต้องการคาร์บอนอินทรีย์ในปริมาณที่เพียงพอ โดยเฉพาะในขั้นตอนดีไนตริฟิเคชันและการสะสมฟอสฟอรัส หากน้ำเสียมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ต่ำ หรือมีคาร์บอนในรูปที่ย่อยสลายได้ยาก ประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหารจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้หลายระบบจำเป็นต้องเติมแหล่งคาร์บอนจากภายนอก เช่น โซเดียมอะซิเตท หรือเมทานอล เพื่อรักษาเสถียรภาพของกระบวนการ [2] อย่างไรก็ตามการเติมสารเคมีดังกล่าวเพิ่มต้นทุนการดำเนินงาน และอาจไม่สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืน จึงเกิดความพยายามในการพัฒนาแนวทางที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้คาร์บอนภายในระบบ และลดการพึ่งพาแหล่งคาร์บอนสังเคราะห์จากภายนอก ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ [3,4]

ระบบแอโรบิกแกรนูลลาสลัดจ์ (Aerobic Granular Sludge; AGS) ได้รับการพัฒนาและยอมรับว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีศักยภาพสูงในการแก้ไขข้อจำกัดของระบบตะกอนเร่งแบบดั้งเดิม เม็ดแกรนูลมีลักษณะเป็นโครงสร้างชีวมวลทรงกลมที่มีความหนาแน่นสูงและมีการจัดเรียงจุลินทรีย์แบบเป็นชั้นตามระดับความลึก ส่งผลให้เกิดจุลสภาวะที่แตกต่างกันภายในเม็ดเดียวกัน ชั้นผิวด้านนอกที่มีออกซิเจนสูงเอื้อต่อการเกิดไนตริฟิเคชัน ขณะที่ชั้นในซึ่งมีออกซิเจนจำกัดจะเกิดสภาวะแอนออกซิกหรือแอนแอโรบิกที่เหมาะสมต่อดีไนตริฟิเคชันและการทำงานของ PAOs/DPAOs โครงสร้างดังกล่าวช่วยให้สามารถเกิดกระบวนการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสพร้อมกันในถังปฏิกรณ์เดียว เพิ่มประสิทธิภาพการใช้คาร์บอน ลดการสูญเสียพลังงาน และเพิ่มความเสถียรของระบบ นอกจากนี้ ระบบ AGS ยังมีข้อได้เปรียบด้านคุณสมบัติการตกตะกอนที่ดี ความเข้มข้นชีวมวลสูง ความทนทานต่อภาระสารอินทรีย์และโหลดสารอาหารที่ผันผวน รวมถึงลดความจำเป็นของถังตกตะกอนรอง ส่งผลให้สามารถลดพื้นที่ก่อสร้างและต้นทุนโครงสร้างพื้นฐานของระบบได้ อย่างไรก็ตาม แม้จะมีรายงานจำนวนมากเกี่ยวกับ

ประสิทธิภาพของ AGS ในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอาหาร แต่ความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับผลของกระบวนการแกรนูลเลชั่นต่อพลวัตของชุมชนจุลินทรีย์ยังคงมีข้อจำกัด โดยเฉพาะในประเด็นการคัดเลือกและการกระจายตัวของจุลินทรีย์กลุ่มไนตริไฟเออร์ ดีไนตริไฟเออร์ PAOs และ DPAOs ระหว่างการพัฒนาเม็ดแกรนูล ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพของเม็ดแกรนูล เช่น ขนาด ความหนาแน่น และโครงสร้างภายใน กับสมรรถนะการกำจัดธาตุอาหารในระยะยาว [1]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาผลของการแกรนูลเลชั่นต่อกระบวนการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพ โดยประเมินทั้งสมรรถนะของกระบวนการในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส และการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างชุมชนจุลินทรีย์ภายในระบบ เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างชีวมวลแบบแกรนูลกับประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหาร ความรู้ที่ได้จากการศึกษานี้จะเป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาและปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพ เสถียรภาพ และความยั่งยืนมากยิ่งขึ้น ตลอดจนสนับสนุนการออกแบบระบบที่สามารถใช้ทรัพยากรคาร์บอนภายในระบบได้อย่างเกิดประโยชน์สูงสุด

2. วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินผลของกระบวนการแกรนูลเลชั่นต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ และความสัมพันธ์กับโครงสร้างและองค์ประกอบชุมชนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้ดำเนินการในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแกรนูลลาสลัดจ์ และใช้น้ำเสียสังเคราะห์เป็นตัวแทนน้ำเสียจริง เพื่อประเมินผลของกระบวนการแกรนูลเลชั่นต่อการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ

4. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

4.1 อุปกรณ์ทดลองและสภาวะการเดินระบบ

ในการศึกษานี้ใช้ถังปฏิกรณ์แบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) จำนวน 2 ถัง ได้แก่ Reactor 1 EBPR แบบ floc (R1) และ Reactor 2 EBPR-AGS (R2) โดย R1 เป็นถังทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 ซม. ความสูง 30 ซม. และมีปริมาตรใช้งาน 3 ลิตร และ R2 เป็นถังทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 ซม. ความสูง 40 ซม. และมีปริมาตรใช้งาน 2 ลิตร ระบบควบคุมรอบการทำงานแบบอัตโนมัติด้วย time program controller ระบบเติมอากาศของแต่ละควบคุมค่า DO ให้อยู่ที่ประมาณ 4-6 mg/L ในช่วง aerobic phase การทดลองดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง โดยมี volume exchange ratio เท่ากับ 50 % และมีค่า HRT แตกต่างกันที่ 24 และ 12 ชั่วโมงตามลำดับ อย่างไรก็ตาม R1 และ R2 ถูกออกแบบให้มีรูปแบบการเดินระบบ (operational cycle) แตกต่างกัน โดย R1 ดำเนินการในโหมด anaerobic/ aerobic (A/O) ประกอบด้วยขั้นตอน anaerobic/aerobic/settling/decant มีระยะเวลาต่อรอบ 12 ชั่วโมง และเดินระบบวันละ 2 รอบ ระยะเวลาในแต่ละช่วง ได้แก่ anaerobic 210 นาที aerobic 420 นาที, settling 30 นาที และ decant 30 นาที ขณะที่ R2 ดำเนินการในโหมด anaerobic/ aerobic (A/O) ประกอบด้วยขั้นตอน anaerobic/aerobic/settling/decant มีระยะเวลาต่อรอบ 6 ชั่วโมง และเดินระบบวันละ 4 รอบ ระยะเวลาในแต่ละช่วง ได้แก่ anaerobic 85 นาที aerobic 240 นาที, settling 5 นาที และ decant 20 นาที นอกจากนี้ ใน R2 มีการปรับลดระยะเวลาการตกตะกอนจาก 30 นาที เหลือ 5 นาที อย่างค่อยเป็นค่อยไป เพื่อคัดเลือกชีวมวลที่มีความสามารถในการตกตะกอนดี และส่งเสริมการพัฒนาเป็นตะกอนแกรนูล ขณะที่ R1 คงระยะเวลาการตกตะกอนไว้ที่ 30 นาที ตลอดการทดลอง

4.2 ตะกอนตั้งต้นและน้ำเสียสังเคราะห์

ตะกอนตั้งต้นที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นตะกอนชนิดฟล็อค (flocculent sludge) ซึ่งมีค่า mixed liquor suspended solids (MLSS) เท่ากับ 6000 mg g/L และมีค่า sludge volume index (SVI_{30}) เท่ากับ 250 mL/g ตะกอนดังกล่าวได้มาจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งเพาะเลี้ยงภายใต้ระยะเวลาเติมอากาศก่อนนำมาใช้เป็นเชื้อเริ่มต้นในถังปฏิกรณ์ ได้แก่ R1 และ R2

Reactor 1 (R1) โดยมีองค์ประกอบหลักประกอบด้วย CH_3COONa 1,000 mg/L (แหล่งคาร์บอน), NH_4Cl (แหล่งไนโตรเจน) 56 mg/L, KH_2PO_4 (แหล่งฟอสฟอรัส) 30 mg/L และสารอาหารรอง ได้แก่ $MgSO_4{\cdot}7H_2O$ 10 mg/L, $CaCl_2{\cdot}H_2O$ 10 mg/L และ 1 mL/L trace element solution และปรับค่า pH ให้อยู่ที่ 7.5 ± 0.2 ด้วยการเติม $NaHCO_3$ [6] Reactor 2 (R2) ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ปรับองค์ประกอบเพื่อส่งเสริมการคัดเลือก PAO และการเกิดตะกอนแกรนูล โดยมีองค์ประกอบประกอบด้วย CH_3COONa 1,000 mg/L (แหล่งคาร์บอน), NH_4Cl (แหล่งไนโตรเจน) 56 mg/L, KH_2PO4 (แหล่งฟอสฟอรัส) 15 mg/L และสารอาหารรอง ได้แก่ $MgSO_4{\cdot}7H_2O$ 10 mg/L, $CaCl_2{\cdot}H_2O$ 10 mg/L และ 1 mL/L trace element solution [5,6]

4.3 วิธีการวิเคราะห์ (Analytical Methods)

ตลอดระยะเวลาการทดลอง มีการเก็บตัวอย่างจากน้ำเข้า (influent), น้ำทิ้ง (effluent) และน้ำผสมภายในถังปฏิกรณ์ (mixed liquor) อย่างสม่ำเสมอเพื่อติดตามประสิทธิภาพของระบบ พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ประกอบด้วย chemical oxygen demand (COD), แอมโมเนียไนโตรเจน (NH_4^+–N), ไนไตรต์ไนโตรเจน (NO_2^-–N), ไนเตรตไนโตรเจน (NO_3^-–N), total phosphorus (TP), mixed liquor suspended solids (MLSS), mixed liquor volatile suspended solids (MLVSS) และ sludge volume index (SVI_5) โดยดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานสำหรับการตรวจวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย [5]

การวิเคราะห์ตัวอย่างแต่ละพารามิเตอร์ดำเนินการอย่างน้อย 3 ซ้ำ (triplicate) และรายงานผลในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± standard deviation) ค่า dissolved oxygen (DO) และ pH วัดด้วยเครื่องวัดแบบพกพาชนิดอิเล็กโทรเคมี (portable electrochemical meter) ตลอดการเดินระบบ เพื่อควบคุมสภาวะการทำงานของถังปฏิกรณ์ให้เป็นไปตามที่กำหนด การวิเคราะห์ทางสถิติใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (Excel) โดยใช้ one-way analysis of variance (ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มข้อมูล และพิจารณาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น $p<0.05$

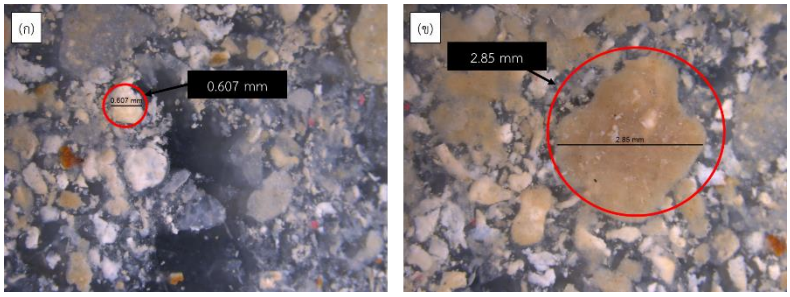
4.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบชุมชนจุลินทรีย์

องค์ประกอบชุมชนจุลินทรีย์วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการหาลำดับเบสของยีน 16S rRNA โดยสกัดดีเอ็นเอรวมจากตัวอย่างตะกอน เพิ่มปริมาณยีนเป้าหมายด้วยวิธี PCR และวิเคราะห์ลำดับเบสด้วยเทคโนโลยี next-generation sequencing (NGS) ข้อมูลที่ได้ผ่านการคัดกรองคุณภาพและจำแนกอนุกรมวิธานโดยเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลอ้างอิง เพื่อแสดงสัดส่วนสัมพัทธ์ของจุลินทรีย์ในแต่ละระดับอนุกรมวิธาน

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะตะกอนและการเกิดแกรนูลในระบบ SBR

จากตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะของตะกอน จากระบบทดลอง 2 ถัง ได้แก่ R1 และ R2 ซึ่งเดินระบบภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน พบว่าในระยะเริ่มต้น (วันที่ 0) ตะกอนแบบฟล็อค (R1) มีลักษณะเป็นฟล็อค ดังแสดงในรูปที่ 1(ก) ตกตะกอนได้ไม่ดี โดยมีค่า SVI_{30} เท่ากับ 205.23 mL/g ซึ่งแสดงถึงฟล็อคที่มีความเบา และหลวม เมื่อเดินระบบต่อเนื่องพบว่าลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 106.34 ± 7.73 mL/g โดยไม่พบการเปลี่ยนผ่านไปสู่โครงสร้างเม็ดอย่างชัดเจน สะท้อนว่าระบบไม่มีแรงคัดเลือกทางไฮดรอลิกเพียงพอในการสร้างเม็ดแกรนูล ในทางตรงกันข้าม R2 ซึ่งออกแบบให้มีแรงคัดเลือกทางกายภาพสูงกว่า แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของขนาดอนุภาค (d_{50}) อย่างต่อเนื่อง ควบคู่กับการลดลงของค่า SVI_{30} และ SVI_5 ได้แก่ 38.58 ± 5.62 และ 43.57 ± 6.68 mL/g ในระยะเสถียร แสดงถึงการพัฒนาโครงสร้างเม็ดที่มีการตกตะกอนได้ดีขึ้นดังแสดงในรูปที่ 1(ข) ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับ [6] ที่พบว่าการลดเวลาการตกตะกอนและการเพิ่มแรงเฉือนในถังปฏิกรณ์เป็นปัจจัยสำคัญต่อการสร้างเม็ดแกรนูล นอกจากนี้ [7] รายงานว่าการเพิ่มแรงคัดเลือกทางไฮดรอลิกสามารถลดค่า SVI จาก >150 mL/g ลง <80 mL/g เมื่อแกรนูลพัฒนาเต็มที่ ขณะที่ [7] ชี้ว่าการเพิ่มความหนาแน่นของตะกอนและการสะสม EPS เป็นกลไกหลักที่ช่วยเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างเม็ด



รูปที่ 1 ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ (ก) R1 และ (ข) R2 ที่สภาวะคงตัว

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นของตะกอน ความสามารถในการตกตะกอน และขนาดตะกอนในถังปฏิกรณ์ R1 และ R2 ที่สภาวะคงตัว

พารามิเตอร์	R1	R2
ความเข้มข้นของตะกอน (MLSS mg/L)	2,000 ± 55.32	2,500 ± 33.23
ความสามารถในการตกตะกอน (SVI_{30} mL/g)	102 ± 49.22	56 ± 12.34
ความสามารถในการตกตะกอน (SVI_5 mL/g)	(–)	61 ± 43.12
อัตราส่วน SVI_5/SVI_{30}	(–)	≈ 1
ขนาดตะกอนโดยเฉลี่ย (μm)	~100	~400–1000

**** (-) ไม่มีการวิเคราะห์

5.2 การกำจัดสารอินทรีย์

ระบบทดลองทั้งสองถังสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้นของการเดินระบบ โดย R1 มีประสิทธิภาพการกำจัด COD เฉลี่ย 85.5 ± 4.2 % ขณะที่ R2 มีค่าเฉลี่ย 90.44 ± 2.65 % แม้ว่าค่าร้อยละการกำจัดของทั้งสองระบบจะอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน แต่ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาในเชิงอัตราการกำจัดจำเพาะ (specific removal rate) พบว่า R2 มีค่าสูงกว่า R1 ประมาณสองเท่า (0.871 เทียบกับ 0.495 mg/g VSS·d)

แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ในระบบ R2 มีศักยภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อหน่วยมวลตะกอนระเหยได้สูงกว่า ความแตกต่างดังกล่าวจึงมิได้เกิดจากปริมาณตะกอนจุลินทรีย์เพียงอย่างเดียว แต่สัมพันธ์กับกิจกรรมของจุลินทรีย์และลักษณะโครงสร้างของตะกอนที่มีความเสถียรมากกว่า ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ [8] ที่พบว่าโครงสร้างของตะกอนแบบแกรนูลซึ่งมีความหนาแน่นสูงและมีแรงเฉือนช่วยคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้า แต่มีประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อหน่วยสูง ส่งผลให้ค่า specific substrate utilization rate เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับระบบฟล็อคทั่วไป อย่างไรก็ตาม งานของ [6] รายงานว่าความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัด COD ระหว่างระบบฟล็อคและ AGS อาจไม่เด่นชัดเมื่อภาระสารอินทรีย์อยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองครั้งนี้ที่ค่าการกำจัดเฉลี่ยของทั้งสองระบบอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน แม้ R2 จะมีค่าอัตราการกำจัดจำเพาะสูงกว่าอย่างชัดเจน ดังนั้น ผลที่ได้จึงแสดงให้เห็นว่าระบบ R2 ไม่ได้ปรากฏเพียงในรูปของค่าการกำจัดเฉลี่ยที่สูงกว่าเท่านั้น แต่สะท้อนผ่านประสิทธิภาพเชิงกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่อหน่วยมวลตะกอน และเสถียรภาพของโครงสร้างตะกอน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่สนับสนุนการทำงานของระบบภายใต้สภาวะโหลดที่เปลี่ยนแปลง

5.3 การกำจัดไนโตรเจน

ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของทั้งสองระบบแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดย R1 สามารถกำจัด NH_4^+-N ได้เฉลี่ย 84.89 ± 4.30 % และ TN ได้เฉลี่ย 69.81 ± 7.43 % ขณะที่ R2 กำจัด NH_4^+-N ได้เฉลี่ย 66.07 ± 4.30 % และ TN ได้เฉลี่ย 51.50 ± 7.01 % ผลการวิเคราะห์ทางสถิติยืนยันว่าค่าการกำจัด NH_4^+-N และ TN ของทั้งสองระบบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แม้ R2 จะมีค่าการกำจัดเฉลี่ยต่ำกว่า R1 และเมื่อพิจารณาอัตราการกำจัดจำเพาะของ TN (specific TN removal rate) พบว่า R2 มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย (0.011 เทียบกับ 0.010 mg N/g VSS·d) อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างดังกล่าวอยู่ในระดับต่ำ สะท้อนว่าความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนต่อหน่วยมวลตะกอนจุลินทรีย์ของทั้งสองระบบมีความใกล้เคียงกัน ดังนั้น ความแตกต่างของค่าการกำจัดรวมจึงอาจเกี่ยวข้องกับปริมาณและพฤติกรรมการกักเก็บตะกอนในแต่ละถัง รวมถึงความแตกต่างของความเข้มข้นชีวมวลมากกว่าความสามารถเชิงกิจกรรมของจุลินทรีย์ต่อหน่วยมวลโดยตรง ในงานศึกษาของ [6] รายงานว่าระบบ Aerobic Granular Sludge (AGS) สามารถสร้างสภาพหลายชั้นภายในเม็ดตะกอนและส่งเสริมกระบวนการ simultaneous nitrification–denitrification (SND) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ [7] แสดงให้เห็นว่าภายใต้การควบคุมค่า DO และ SRT อย่างเหมาะสม ระบบ AGS สามารถกำจัดไนโตรเจนรวมได้มากกว่า 80% อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวดำเนินการภายใต้สภาวะที่ควบคุมได้ค่อนข้างคงที่และมีระยะเวลาการเดินระบบยาวนานจนโครงสร้างแกรนูลมีเสถียรภาพสูง เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษานี้ ซึ่งมีความแปรผันของภาระสารอินทรีย์และระยะเวลาการพัฒนาแกรนูลจำกัดประสิทธิภาพ TN ที่ได้จึงอาจยังไม่สะท้อนศักยภาพสูงสุดของระบบแกรนูล ผลลัพธ์ที่พบจึงสอดคล้องกับแนวคิดของ [7] ที่ชี้ว่าแม้โครงสร้างแกรนูลจะเอื้อต่อการเกิด stratification ภายในเม็ดตะกอน แต่ประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นจริงยังขึ้นอยู่กับการควบคุมสภาวะการเดินระบบและเสถียรภาพของชุมชนจุลินทรีย์ร่วมด้วย

5.4 การกำจัดฟอสฟอรัส

ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของทั้งสองระบบประเมินจากค่า orthophosphate ในน้ำทิ้งตลอดการทดลอง โดย Reactor 1 กำจัดได้เฉลี่ย 64.56 ± 5.17 % ขณะที่ Reactor 2 กำจัดได้เฉลี่ย 55.85 ± 6.04 % ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แม้ค่าเฉลี่ยของ R2 จะต่ำกว่า แต่ภายหลังการพัฒนาโครงสร้างแกรนูล แนวโน้มการทำงานมีความสม่ำเสมอมากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2 อัตราการกำจัดจำเพาะของฟอสฟอรัส (specific phosphorus removal rate) ของ R2 เท่ากับ 0.008 mg P/g VSS·d สูงกว่า R1 ซึ่งมีค่า 0.0067 mg P/g VSS·d ประมาณ 19 % แสดงให้เห็นว่าตะกอน

แกรนูลมีศักยภาพในการสะสมฟอสฟอรัสต่อหน่วยชีวมวลสูงกว่า อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างดังกล่าวอยู่ในระดับปานกลาง สะท้อนว่าโครงสร้างตะกอนส่งผลต่อศักยภาพเชิงจำเพาะของชีวมวล เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานก่อนหน้า พบว่าระบบตะกอนแกรนูลมักแสดงศักยภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่สูงกว่าระบบตะกอนฟล็อค เนื่องจากโครงสร้างที่มีการจัดเรียงชั้นจุลินทรีย์ชัดเจนและเอื้อต่อการเกิดกระบวนการสะสมฟอสเฟตภายในเม็ดตะกอน [6,9] อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการมีโครงสร้างแกรนูลเพียงอย่างเดียวไม่ได้รับประกันค่าการกำจัดรวมที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญในระดับระบบ แม้ค่าอัตราการกำจัดจำเพาะของ R2 จะสูงกว่า แต่ค่าเฉลี่ยการกำจัดรวมยังต่ำกว่า R1 สะท้อนว่าปัจจัยด้านโครงสร้างและการกระจายตัวของจุลินทรีย์ภายในตะกอนมีบทบาทมากกว่าผลลัพธ์เชิงปริมาณรวมของระบบ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับข้อสังเกตของ [5] ที่รายงานว่าประสิทธิภาพของกระบวนการ EBPR ขึ้นอยู่กับสมดุลของกลุ่มจุลินทรีย์และพลวัตภายในมวลตะกอนมากกว่าลักษณะทางกายภาพของตะกอนเพียงอย่างเดียว

5.5 โครงสร้างประชากรจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์

การวิเคราะห์องค์ประกอบชุมชนจุลินทรีย์ระดับไฟลัมของ R1 และ R2 พบว่าในทั้งสองระบบ Proteobacteria ยังคงเป็นไฟลัมที่มีสัดส่วนสูงที่สุด สอดคล้องกับรายงานในระบบ aerobic granular sludge (AGS) ส่วนใหญ่ที่ระบุว่า Proteobacteria เป็นกลุ่มหลักของระบบ โดยเฉพาะในช่วงเริ่มต้นของการก่อตัวเม็ดตะกอน เนื่องจากมีบทบาทสำคัญในกระบวนการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส อย่างไรก็ตาม ใน R2 พบว่าสัดส่วนของ Proteobacteria ลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ R1 ซึ่งอาจไม่ได้สะท้อนถึงการลดลงเชิงปริมาณโดยตรง แต่เป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของไฟลัมอื่น ส่งผลให้โครงสร้างชุมชนมีความหลากหลายมากขึ้น แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของ [6] ที่เสนอว่าเมื่อแกรนูลพัฒนาเข้าสู่ระยะเสถียร ความหลากหลายของชุมชนมักเพิ่มขึ้น แม้กลุ่มหลักยังคงครอบครองสัดส่วนสูงดังแสดงในรูปที่ 3

ใน R2 พบการเพิ่มขึ้นของ *Planctomycetota* (20.06%) และ *Actinobacteriota* (8.69%) อย่างชัดเจน การเพิ่มขึ้นของ *Planctomycetota* อาจสัมพันธ์กับการเกิดโครงสร้างแบบ layered structure ภายในเม็ด ซึ่งทำให้เกิด micro-anaerobic niche ที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์กลุ่มนี้ ขณะที่ *Actinobacteriota* มักเกี่ยวข้องกับการย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงซ้อนและการคงโครงสร้าง biofilm งานของ [9] [10] รายงานว่าระบบ AGS ที่มีเสถียรภาพสูงและมีการพัฒนาเม็ดอย่างเต็มที่ มักพบการเพิ่มขึ้นของไฟลัมที่เกี่ยวข้องกับความเสถียรของโครงสร้างเม็ด ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มที่พบใน R2 ของการศึกษานี้ สอดคล้องกับรายงานของ [11] ที่ระบุว่า Proteobacteria เป็นไฟลัมหลักในระบบ AGS อย่างไรก็ตาม งานหลายฉบับรายงานว่าเมื่อแกรนูลพัฒนาเต็มที่ สัดส่วนของไฟลัมอื่น เช่น *Planctomycetota* และ *Actinobacteriota* มักเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลของ R2 ในงานวิจัยนี้

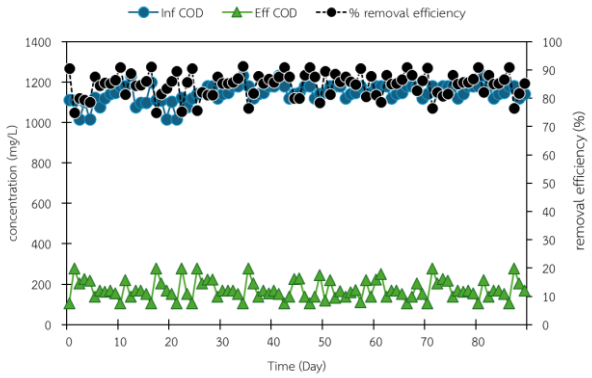
เมื่อพิจารณาในระดับสกุลกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง extracellular polymeric substances (EPS)เช่น *Pseudomonas* (3.76%) และ *Amaricoccus* (4.83%) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นใน R2 อยู่ที่การเพิ่มขึ้นดังกล่าวอาจเกิดจากแรงคัดเลือกทางไฮดรอลิกและ shear force ภายในระบบ ซึ่งเอื้อต่อจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างเมทริกซ์ยึดเกาะได้ดี งานวิจัยรายงานว่า mature granule มักมีสัดส่วนของ EPS-producing bacteria สูงขึ้น เนื่องจาก EPS มีบทบาทสำคัญต่อความแข็งแรง ความหนาแน่น และความสามารถในการตกตะกอนของเม็ด

ในทางตรงกันข้ามสกุล *Thauera* (0.73%) ซึ่งเป็นกลุ่ม DPAO มีแนวโน้มลดลงใน R2 การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจสัมพันธ์กับความแตกต่างของสภาวะภายในเม็ด เช่น การแทรกซึมของออกซิเจน หรือการแข่งขันกับจุลินทรีย์กลุ่มอื่นที่มีหน้าที่ใกล้เคียงกัน งานวิจัยในระบบ AGS หลายฉบับรายงานว่าความหลากหลายของ *Thauera* มีความแปรผันสูงและขึ้นกับเงื่อนไขการเดินระบบ เช่น ระยะเวลา anoxic phase และชนิดของแหล่งคาร์บอน จึงไม่จำเป็นต้องเป็นกลุ่มเด่นในทุกระบบ

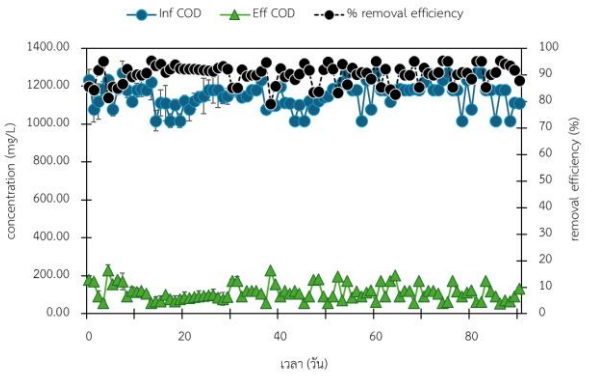
สำหรับไฟลัมที่พบในสัดส่วนต่ำ เช่น *Bdellovibrionota* (1.09%) มักถูกจัดอยู่ในกลุ่ม rare biosphere ซึ่งมีบทบาทเชิงนิเวศเฉพาะ เช่น การเป็นแบคทีเรียผู้ล่า การพบในระดับต่ำจึงสอดคล้องกับรายงานจากระบบบำบัดชีวภาพอื่น ๆ ที่ระบุว่ากลุ่มดังกล่าวไม่ใช่กลุ่มทำงานหลักของระบบ

โดยภาพรวม ผลของ R2 แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มความหลากหลายของโครงสร้างชุมชนและการเสริมบทบาทของกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างเม็ดตะกอน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานจากทั้งระบบระดับห้องปฏิบัติการและระดับใช้งานจริงที่ระบุว่าความเสถียรของ AGS ไม่ได้ขึ้นกับ ความหลากหลาย ของ PAO เพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นกับโครงสร้างชุมชนโดยรวม การแบ่งชั้นเชิงนิเวศภายในเม็ด และปฏิสัมพันธ์ระหว่างจุลินทรีย์หลายกลุ่มภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ซับซ้อนภายในแกรนูล

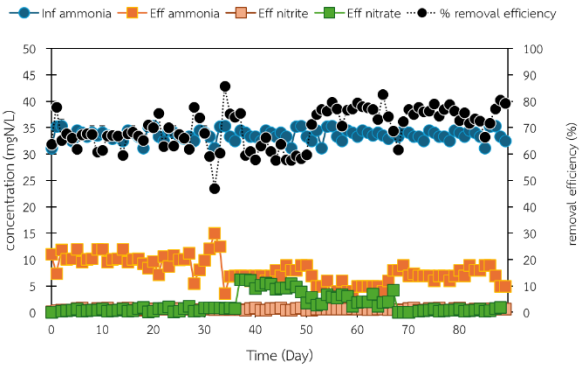
(ก)



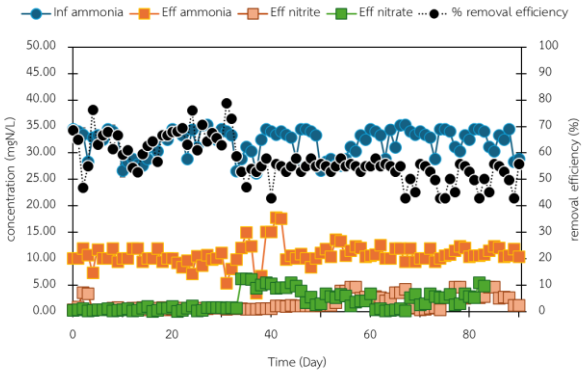
(ข)

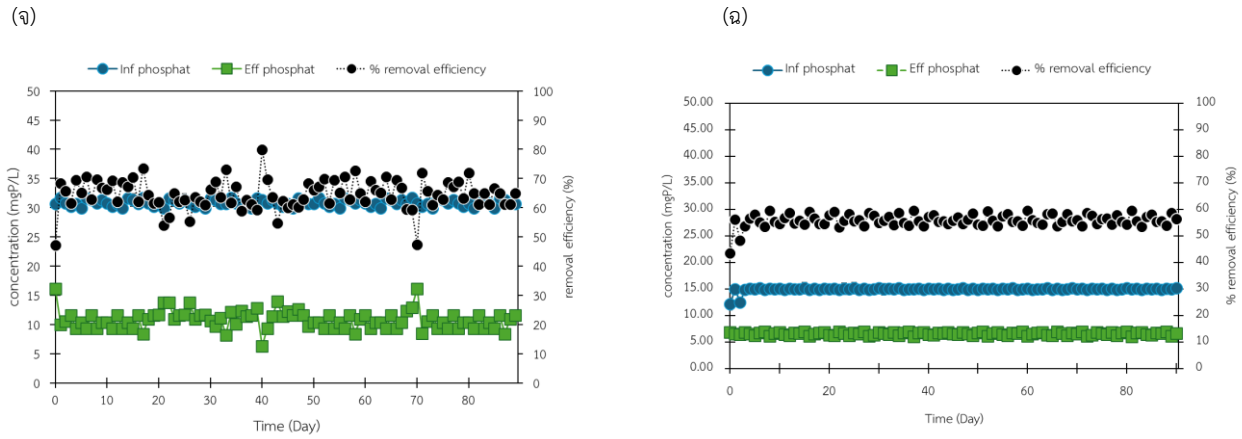


(ค)

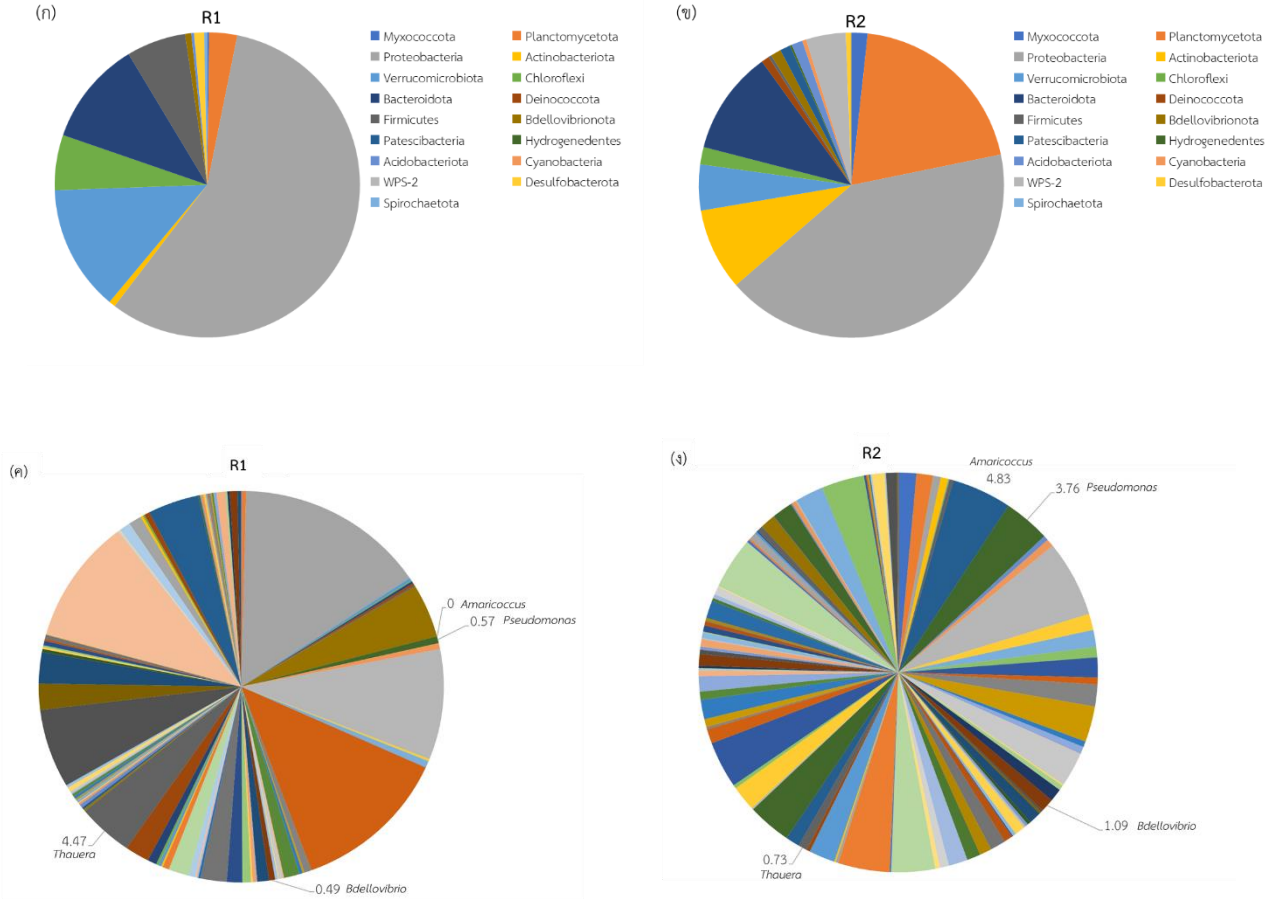


(ง)





รูปที่ 2 ผลการกำจัด (ก) สารอินทรีย์, (ค) ไนโตรเจน และ (จ) ฟอสฟอรัสของถังปฏิกรณ์ R1 และ การกำจัด (ข) สารอินทรีย์, (ง) ไนโตรเจน และ (ฉ)ฟอสฟอรัสของถังปฏิกรณ์ R2



รูปที่ 3 ปริมาณสัมพัทธ์ของประชากรจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ R1 และ R2 ในสภาวะคงตัว (ก,ข) ระดับไฟลัม (ค,ง) ระดับจีนัส

6. สรุปผลการทดลอง

การศึกษานี้ประเมินผลของกระบวนการแกรนูลเลชั่นต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างชุมชนจุลินทรีย์ในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ผลการกำจัดไนโตรเจนพบว่า R1 มีประสิทธิภาพการกำจัด NH_4^+-N และ TN สูงกว่า R2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ขณะที่ด้านการกำจัดฟอสฟอรัส R1 มีค่าการกำจัด orthophosphate สูงกว่า R2 เช่นกัน อย่างไรก็ตาม R2 ซึ่งเป็นระบบตะกอนแกรนูลมีแนวโน้มการทำงานที่สม่ำเสมอกว่า และมีค่า specific phosphorus removal rate สูงกว่า สะท้อนถึงศักยภาพเชิงจำเพาะต่อหน่วยชีวมวลที่ดีขึ้น แม้ไม่ส่งผลให้ค่าการกำจัดรวมสูงกว่าอย่างชัดเจน การวิเคราะห์องค์ประกอบชุมชนจุลินทรีย์พบว่า *Proteobacteria* เป็นไฟลัมหลักในทั้งสองระบบ ขณะที่ R2 มีความหลากหลายของชุมชนเพิ่มขึ้น โดยพบการเพิ่มขึ้นของ *Planctomycetota* และ *Actinobacteriota* ซึ่งสัมพันธ์กับการพัฒนาโครงสร้างเม็ดและเสถียรภาพของตะกอน นอกจากนี้ กลุ่มจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง EPS เช่น *Pseudomonas* และ *Amaricoccus* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นใน R2 สอดคล้องกับบทบาทในการเสริมความแข็งแรงและความหนาแน่นของแกรนูล ในทางกลับกัน กลุ่ม *Thauera* มีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสภาวะเชิงนิเวศภายในเม็ดตะกอน โดยสรุป กระบวนการแกรนูลเลชั่นส่งผลต่อโครงสร้างตะกอนและองค์ประกอบชุมชนจุลินทรีย์อย่างชัดเจน ทำให้ระบบมีความหลากหลายและเสถียรมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดรวมสูงขึ้นเสมอไป สะท้อนว่าประสิทธิภาพของระบบบำบัดขึ้นกับปฏิสัมพันธ์ของชุมชนจุลินทรีย์และโครงสร้างภายในตะกอนโดยรวม

เอกสารอ้างอิง

[1] Liang, Z., Li, W., Yang, S., & Du, P. (2022). Advances in aerobic granular sludge for nutrient removal: Performance and microbial community dynamics. *Science of the Total Environment, 806,* 150632.

[2] Yuan, Z., Pratt, S., & Batstone, D. J. (2020a). Biological phosphorus removal: Advances in modeling and understanding of PAO metabolism. *Water Research*, 182, 115–130. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115965

[3] Yuan, Z., Pratt, S., & Batstone, D. J. (2020a). Biological phosphorus removal: Advances in modeling and understanding of PAO metabolism. *Water Research*, 182, 115–130. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115965

[4] Chen, Y., Jiang, W., Liang, D. T., & Tay, J. H. (2019). Role of aerobic granules in nutrient removal: A review. *Bioresource Technology, 273,* 623–632.

[5] American Public Health Association (APHA). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). APHA.

[6] Lopez-Vazquez, C. M., Oehmen, A., Hooijmans, C. M., Brdjanovic, D., Gijzen, H. J., Yuan, Z., & van Loosdrecht, M. C. M. (2009). Modeling the PAO-GAO competition: Effects of carbon source, pH and temperature. *Water Research, 43*(2), 450–462.

[7] Oehmen, A., Lemos, P. C., Carvalho, G., Yuan, Z., Keller, J., Blackall, L. L., & Reis, M. A. M. (2007). Advances in enhanced biological phosphorus removal: From micro to macro scale. Water Research, 41(11), 2271–2300.

[8] Liu, Y., & Tay, J. H. (2002). The essential role of hydrodynamic shear force in the formation of biofilm and granular sludge. *Water Research, 36*(7), 1653–1665.

[9] Wang, Z. W., Liu, Y., & Tay, J. H. (2005). Distribution of EPS and cell surface hydrophobicity in aerobic granules. *Applied Microbiology and Biotechnology, 69*(4), 469–473.

[10] de Kreuk, M. K., & van Loosdrecht, M. C. M. (2004). Selection of slow growing organisms as a means for improving aerobic granular sludge stability. *Water Science and Technology, 49*(11–12), 9–17.

[11] de Kreuk, M. K., & van Loosdrecht, M. C. M. (2006). Formation of aerobic granules with domestic sewage. *Journal of Environmental Engineering, 132*(6), 694–697.

การพัฒนาเครื่องมือสำหรับดักจับไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำโดยอาศัยการตกตะกอนและการแยกด้วยวัสดุแม่เหล็ก

ฐิตารีย์ ศิริชัยวัจนเดชา*, ชาคริต สมานรักษ์, และ ศุภกร ตันติศรียานุรักษ์

โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย

**Corresponding author: titaree.sir_g34@mwit.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัญหาไมโครพลาสติกเป็นวิกฤตด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ และสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากไมโครพลาสติกมีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร จึงสามารถแพร่กระจายและปนเปื้อนในแหล่งน้ำได้อย่างกว้างขวาง และยากต่อการกำจัด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับดักจับไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำ โดยอาศัยหลักการตกตะกอนร่วมกับการแยกด้วยวัสดุแม่เหล็ก

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาปริมาณของอนุภาคแม่เหล็ก (Fe_3O_4) ที่ผ่านการปรับผิวด้วยสารอินทรีย์กรดลอริก (Lauric acid) เพื่อเพิ่มความสามารถในการดักจับไมโครพลาสติก จากการศึกษาพบว่าวัสดุที่สังเคราะห์ได้สามารถดักจับไมโครพลาสติกได้ โดยเมื่อเพิ่มปริมาณของอนุภาคแม่เหล็กจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดักจับไมโครพลาสติก โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 97.9 % เมื่อใช้อนุภาคแม่เหล็ก 50 มิลลิกรัม

งานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบเครื่องมือใช้ร่วมกับอนุภาคแม่เหล็กในการดักจับไมโครพลาสติก เพื่อนำเสนอแนวทางใหม่ในการจัดการปัญหาไมโครพลาสติกในแหล่งน้ำที่มีประสิทธิภาพ สามารถแยกออกมาได้ด้วยแม่เหล็กและใช้ซ้ำได้เพื่อช่วยลดต้นทุน และสามารถพัฒนาเป็นระบบบำบัดน้ำในอนาคต ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงจากไมโครพลาสติกต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ไมโครพลาสติก / เหล็กออกไซด์ / การปรับผิววัสดุ / การตกตะกอน / การแยกด้วยแม่เหล็ก / การบำบัดน้ำ

Development of a microplastic trapping device for aquatic environments via sedimentation and magnetic separation techniques

Titaree Sirichaiwatjanadecha*, Chakrit samarnrak, and Supakorn Tantisriyanurak

Mahidol Wittayanusorn School, Salaya Subdistrict, Phutthamonthon District, Nakhon Pathom Province, Thailand
**Corresponding author: titaree.sir_g34@mwit.ac.th*

Abstract

Microplastic pollution is a critical environmental issue that poses significant risks to ecosystems and human health. Due to their small size (less than 5 mm), microplastics can widely disperse and contaminate aquatic environments, making them difficult to remove. This study aimed to develop a prototype device for capturing microplastics in water sources by employing a sedimentation process combined with magnetic separation.

In this study, the effect of the amount of surface-modified magnetic particles (Fe_3O_4) with lauric acid on microplastic capture efficiency was investigated. The results demonstrated that the synthesized magnetic material was effective in capturing microplastics. An increase in the amount of magnetic particles led to higher removal efficiency, with a maximum of 97.9% achieved using 50 mg of magnetic particles.

Furthermore, a prototype device integrated with the magnetic particles was designed for microplastic removal. This approach presents a novel and efficient method for managing microplastic contamination in water sources. The captured microplastics can be easily separated using a magnetic field, and the magnetic particles can be reused, reducing operational costs. This system also shows strong potential for future development as a water treatment technology, contributing to the sustainable reduction of microplastic-related risks to the environment and human health.

Keywords: Microplastic / Iron oxide (Fe_3O_4) / Surface modification / sedimentation / Magnetic separation / Water treatment

ทัศนคติที่มีต่อบริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z

นันทิยา ตันเจริญ* และ อภิชญา ลีลาวณิชกุล*

[1]คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

** Corresponding author: nancharoen.t@ku.th, apichaya.l@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการขนส่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และสร้างแรงกดดันต่อระบบสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทัศนคติของผู้บริโภคต่อการเลือกใช้บริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยเปรียบเทียบทัศนคติระหว่างผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z ด้วยสถิติ Independent Samples t-test และหาความสัมพันธ์ระหว่างทัศนคติและแนวโน้มการเลือกบริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วยสถิติ Chi-square test โดยเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 378 คน ด้วยแบบสอบถามออนไลน์ ผลการวิจัยพบว่า ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับปัจจัยความรวดเร็วในการขนส่ง ราคาขนส่ง และความปลอดภัยของสินค้าเป็นหลัก โดยกลุ่มเจเนอเรชัน Z เลือกใช้บริการขนส่งสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยร้อยละ 19.4 มากกว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Y (14.8%) ส่วนการเปรียบเทียบทัศนคติพบว่า กลุ่มเจเนอเรชัน Z เห็นว่าการเลือกบริการขนส่งที่ลดการปล่อยมลพิษช่วยเพิ่มคุณค่าทางจิตใจมากกว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Y อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่า ในกลุ่มเจเนอเรชัน Z ทัศนคติด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและด้านการใช้พลังงานสะอาดมีความสัมพันธ์กับแนวโน้มการเลือกบริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มเจเนอเรชัน Y ที่ให้ความสำคัญกับทัศนคติด้านการปล่อยมลพิษและด้านค่าบริการขนส่งที่เพิ่มขึ้นกับแนวโน้มการเลือกบริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.10$) ดังนั้นทัศนคติต่อแนวโน้มการเลือกบริการขนส่งมีความแตกต่างระหว่างกลุ่มเจเนอเรชัน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการออกแบบแนวทางส่งเสริมบริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้ตรงกลุ่มเป้าหมายมากขึ้น

คำสำคัญ: ก๊าซเรือนกระจก / การขนส่ง / บริการขนส่งสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม / ทัศนคติของผู้บริโภค / การปล่อยมลพิษ

Consumers' attitudes toward environmentally friendly transportation services: A compairson between generation Y and generation Z

Nanthiya Tancharoen* and Apichaya Lilavanichakul*

Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Thailand
**Corresponding author: nancharoen.t@ku.th, apichaya.l@ku.ac.th*

Abstract

Greenhouse gas emissions from the transportation sector are among the major to climate change and exert pressure on environmental systems. This study aims to examine consumer attitudes toward the selection of environmentally friendly transportation services by comparing attitudes between Generation Y and Generation Z consumers using Independent Samples t-test and the relationship between attitudes and potential on choosing environmentally friendly transportation services using Chi-square test. Data were collected from a sample of 378 respondents using an online survey. Findings indicate consumers prioritize speed of delivery, shipping costs, and product safety primarily. Generation Z choose environmentally friendly transportation services (19.4%), which is higher than Generation Y (14.8%). Regarding attitude comparisons, Generation Z perceived choosing lower-emission transportation services as providing psychological value significantly greater than Generation Y ($p \leq 0.05$). Correlation analysis revealed that among Generation Z, attitudes towards greenhouse gas emissions and clean energy use were significantly associated with the potential on choosing environmentally friendly transportation services ($p \leq 0.05$). This differed from Generation Y, who significantly placed importance on attitudes towards pollution and increased transportation costs, in relation to the potential on choosing environmentally friendly transportation services ($p \leq 0.10$). Therefore, attitudes toward transportation service choices differ between generations, which can be used to design more targeted and environmentally friendly transportation promotion strategies.

Keywords: Consumer attitudes / Environmentally friendly transportation / Generation Y and generation Z / Green logistics / Greenhouse gas

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมมนุษย์ โดยเฉพาะการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ส่งผลให้สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงและก่อให้เกิดผลกระทบต่อเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตในระยะยาว อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นต่อเนื่อง ซึ่งสะท้อนถึงความรุนแรงของปัญหาดังกล่าวและความจำเป็นเร่งด่วนในการกำหนดมาตรการจัดการอย่างเป็นระบบ แม้หลายภาคส่วนจะเริ่มดำเนินมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและส่งเสริมแนวคิดเศรษฐกิจสีเขียว แต่สถานการณ์ด้านสิ่งแวดล้อมโดยรวมยังคงมีแนวโน้มทวีความรุนแรง ส่งผลให้บทบาทของทุกภาคส่วน รวมถึงผู้บริโภค มีความสำคัญมากยิ่งขึ้นในการมีส่วนร่วมลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมผ่านพฤติกรรมการบริโภค และการเลือกใช้สินค้าและบริการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในประเทศไทยภาคพลังงานเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด โดยเฉพาะภาคการขนส่ง ซึ่งมีสัดส่วนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 30% ของการปล่อยทั้งหมด [11] และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจากการขยายตัวของกิจกรรมทางเศรษฐกิจและความต้องการใช้บริการขนส่งที่หลากหลายมากขึ้น ทั้งนี้ระบบการขนส่งของประเทศไทยยังคงพึ่งพาการขนส่งทางถนนเป็นหลัก คิดเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 80 ของการขนส่งทั้งหมด ซึ่งเป็นรูปแบบการขนส่งที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับสูง [4] นอกจากนี้การเติบโตอย่างรวดเร็วของธุรกิจอีคอมเมิร์ซ (e-commerce) หลังสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ยังส่งผลให้ปริมาณการขนส่งสินค้าและการใช้บรรจุภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ปริมาณขยะ และแรงกดดันต่อระบบสิ่งแวดล้อมโดยรวม นอกจากนี้ คาดการณ์ว่าภายในปี พ.ศ. 2573 จำนวนรถขนส่งทั่วโลกอาจเพิ่มขึ้นถึง 36% ซึ่งจะยิ่งเร่งปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสร้างแรงกดดันให้ธุรกิจขนส่งต้องปรับตัวสู่โลจิสติกส์สีเขียวมากยิ่งขึ้น

องค์การสหประชาชาติได้กำหนดเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) จำนวนทั้งสิ้น 17 เป้าหมาย เพื่อเป็นกรอบแนวทางในการแก้ไขปัญหาทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมระดับโลก โดยเป้าหมายที่มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการจัดการมลพิษจากภาคการขนส่งและโลจิสติกส์ ได้แก่ เป้าหมายที่ 12 การผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน (Responsible Consumption and Production) ซึ่งมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและการลดของเสีย และเป้าหมายที่ 13 การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Action) ที่มุ่งลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและผลกระทบจากภาวะโลกร้อน ภายใต้กรอบของการพัฒนาที่ยั่งยืนดังกล่าว แนวคิดโลจิสติกส์สีเขียว เป็นหนึ่งในแนวทางสำคัญในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากกิจกรรมการขนส่งและโลจิสติกส์ ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ โดยครอบคลุมการปรับปรุงประสิทธิภาพการขนส่ง การเลือกใช้พลังงานสะอาดหรือยานพาหนะที่ปล่อยมลพิษต่ำ การวางแผนเส้นทางการขนส่งอย่างเหมาะสม รวมถึงการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่สามารถลดปริมาณของเสียและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แนวคิดดังกล่าวไม่เพียงช่วยลดต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมขององค์กร แต่ยังสอดคล้องกับเป้าหมายการจัดการมลพิษในเชิงป้องกัน ซึ่งมุ่งลดการเกิดมลพิษตั้งแต่แหล่งกำเนิดมากกว่าการแก้ไขปัญหาที่ปลายทาง [4]

ในมุมมองของ การจัดการมลพิษ (Pollution Management) ภาคการขนส่งและโลจิสติกส์ถือเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่มีความซับซ้อนและส่งผลกระทบในหลายมิติ ทั้งการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มลพิษทางอากาศ เช่น ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM2.5) มลพิษทางเสียง รวมถึงของเสียจากบรรจุภัณฑ์[6] การจัดการมลพิษที่มีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องอาศัยมาตรการเชิงระบบที่ครอบคลุมตั้งแต่ระดับนโยบาย ระดับองค์กร และระดับพฤติกรรมของผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม งานวิจัยด้านการจัดการมลพิษที่เกี่ยวข้องกับภาคการขนส่งในประเทศไทยส่วนใหญ่มักมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาเทคโนโลยีหรือมาตรการเชิงนโยบายเป็นหลัก ขณะที่บทบาทของผู้บริโภคในฐานะผู้มีส่วนร่วมในการจัดการมลพิษยังได้รับการศึกษาไม่มากนัก

งานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับผู้บริโภคในกลุ่ม เจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z เนื่องจากทั้งสองกลุ่มเป็นกลุ่มประชากรที่มีบทบาทสำคัญต่อระบบการบริโภคและการใช้บริการขนส่งในปัจจุบันและอนาคต โดยเฉพาะในบริบทของการใช้แพลตฟอร์มดิจิทัล อีคอมเมิร์ซ และบริการจัดส่งสินค้า ซึ่งเป็นกิจกรรมที่เชื่อมโยงโดยตรงกับปริมาณการปล่อยมลพิษจากภาคโลจิสติกส์ ดังนั้น

การศึกษาทัศนคติของผู้บริโภคในกลุ่มเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z ต่อการเลือกใช้บริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีความสำคัญต่อการทำความเข้าใจบทบาทของผู้บริโภคในฐานะกลไกสำคัญของการจัดการมลพิษเชิงป้องกันจากภาคโลจิสติกส์ ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบกลยุทธ์โลจิสติกส์สีเขียวที่สอดคล้องกับพฤติกรรมและความคาดหวังของผู้บริโภคแต่ละกลุ่มเจเนอเรชัน ตลอดจนสนับสนุนการกำหนดนโยบายด้านการขนส่งและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาทัศนคติที่มีต่อบริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z และความสัมพันธ์ระหว่างทัศนคติและแนวโน้มการเลือกบริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคระหว่างเจเนอเรชัน

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัยคือ ผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y (2524-2539) และกลุ่มผู้บริโภคเจเนอเรชัน Z (2540-2552) [5] ได้มาจากการสุ่มตัวอย่างตามความสะดวก (Convenience Sampling) จำนวน 378 คน โดยเป็นผู้บริโภคที่เคยใช้บริการขนส่งสินค้า

2. การวิจัยนี้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้บริโภคที่อาศัยอยู่ในประเทศไทย

3. การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการตั้งแต่เดือนเดือนตุลาคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2568

4. วิธีการศึกษา

4.1 ออกแบบสอบถามและเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1.1 ทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรม ทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อการบริการขนส่งสินค้าที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้ในการพัฒนาแบบสอบถาม [3,7] โดยมีส่วนของแบบสอบถามทั้งหมด 3 ส่วน ดังนี้ 1) ข้อมูลประชากรศาสตร์ โดยมีรูปแบบคำถามแบบหลายตัวเลือก (Multiple choice) 2) พฤติกรรมการเลือกใช้บริการขนส่งสินค้าโดยมีรูปแบบคำถามแบบหลายตัวเลือก (Multiple choice) 3) ทัศนคติที่เกี่ยวกับผลกระทบของการบริการขนส่งต่อสิ่งแวดล้อม จำนวน 5 ข้อ โดยวัดระดับความเห็น Likert scale 5 ระดับ (1=ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง ถึง 5=เห็นด้วยอย่างยิ่ง)

4.1.2 ทดสอบแบบสอบถาม (Pre-test) กับกลุ่มผู้บริโภคที่ใช้บริการขนส่งสินค้า จำนวน 30 คน และทดสอบความน่าเชื่อถือ (Reliability test) ของแบบสอบถามโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ครอนบาด-อัลฟ่า (Cronbach-alpha) เพื่อหาความสอดคล้องกันของแบบสอบถาม โดยค่าสัมประสิทธิ์ควรมีค่ามากกว่า 0.6 จึงจะแสดงว่าแบบสอบถามมีความสอดคล้อง [9] เพื่อปรับปรุงแบบสอบถาม และนำไปใช้ในการเก็บแบบสอบถามต่อไป

4.1.3 เก็บข้อมูลจากแบบสอบถามออนไลน์ผ่าน Google form และกำหนดเกณฑ์ในการคัดเข้า คือเป็นคนไทยที่เป็นกลุ่มผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y (2524-2539) และกลุ่มผู้บริโภคเจเนอเรชัน Z (2540-2552) จำนวน 378 คน โดยเป็นผู้บริโภคที่เคยใช้บริการขนส่งสินค้า และมีเกณฑ์ในการคัดออกคือ ผู้ตอบแบบสอบถามตอบคำถามไม่ครบตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในแบบสอบถาม และไม่สมัครใจให้ข้อมูล

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

4.2.1 สถิติพรรณนา (Descriptive statistics) ด้านประชากรศาสตร์ และพฤติกรรมวิเคราะห์ผลในรูปแบบของความถี่และร้อยละ

4.2.2 สถิติเชิงอนุมาน (Inferentrial Statistic) โดยการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent Sample t-test) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทัศนคติของผู้บริโภคระหว่างกลุ่มเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยมีสมมติฐานดังนี้

H_0: ผู้บริโภคกลุ่มเจนเนอเรชัน Y และ Z มีทัศนคติที่มีต่อการเลือกใช้บริการขนส่งต่อสิ่งแวดล้อมไม่แตกต่างกัน

H_1: ผู้บริโภคกลุ่มเจนเนอเรชัน Y และ Z มีทัศนคติที่มีต่อการเลือกใช้บริการขนส่งต่อสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน

และใช้สถิติ Pearson Chi-Square เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างทัศนคติของแต่ละเจเนอเรชันกับแนวโน้มการเลือกใช้บริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.01, 0.05 และ0.10 โดยแบ่งแนวโน้มการเลือกใช้บริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ออกเป็น 4 ระดับ ไม่เลือก=0, มีแนวโน้มเลือกเล็กน้อย=1, มีแนวโน้มเลือกปานกลาง=2, และมีแนวโน้มเลือกอย่างมาก=3 และกลุ่มเจเนอเรชันแบ่งตามระดับความเห็นต่อทัศนคติที่เกี่ยวกับผลกระทบของการบริการขนส่งต่อสิ่งแวดล้อม 2 กลุ่มได้แก่ ระดับความเห็นด้วยต่ำ (Low) (ระดับคะแนน 1 =ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง ถึง 4=เห็นด้วยมาก) และระดับความเห็นด้วยสูง (High) (ระดับคะแนน 5=เห็นด้วยอย่างยิ่ง)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลงานวิจัยนี้แบ่งผลการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ 1) ข้อมูลประชากรศาสตร์ของกลุ่มตัวอย่าง 2) พฤติกรรมการเลือกใช้บริการขนส่งสินค้า 3) การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทัศนคติของผู้บริโภคระหว่างกลุ่มเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z โดยมีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

5.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลประชากรศาสตร์

จากผลการศึกษาข้อมูลลักษณะประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y (Gen Y) และเจเนอเรชัน Z (Gen Z) จำนวน 378 คน ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่ากลุ่มผู้บริโภคเจเนอเรชัน Y เพศหญิงมีสัดส่วนสูงที่สุดร้อยละ 82.0 และในกลุ่มเจเนอเรชัน Z เพศหญิงมีร้อยละ 77.2 นอกจากนี้กลุ่มเจเนอเรชัน Y ส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาในระดับที่ต่ำกว่าปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 58.2 และเจเนอเรชัน Z ส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาในระดับปริญญาตรีร้อยละ 50.8 สำหรับรายได้ต่อเดือน พบว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Y ส่วนใหญ่มีรายได้อยู่ในช่วง 20,001-30,000 บาท ร้อยละ 39.2 ขณะที่กลุ่มเจเนอเรชัน Z มีรายได้อยู่ในช่วง 10,000-20,000 บาท ร้อยละ 67.7

ตารางที่ 1 ลักษณะประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z

ลักษณะประชากรศาสตร์	ร้อยละ (%)	
	เจเนอเรชัน Y (n=189)	เจเนอเรชัน Z (n=189)
เพศ		
ชาย	17.5	22.2
หญิง	82.0	77.2
อื่นๆ	0.5	0.5
ระดับการศึกษา		
ต่ำกว่าปริญญาตรี	58.2	45.0
ปริญญาตรี	41.3	50.8
ปริญญาโท หรือสูงกว่า	0.5	4.2

ตารางที่ 1 ลักษณะประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z (ต่อ)

ลักษณะประชากรศาสตร์	ร้อยละ (%)	
	เจเนอเรชัน Y (n=189)	เจเนอเรชัน Z (n=189)
รายได้ต่อเดือน		
ต่ำกว่า 10,000 บาท	1.6	11.6
10,000-20,000 บาท	32.8	67.7
20,001-30,000 บาท	39.2	16.4
30,001-40,000 บาท	18.5	1.6
40,001 บาทขึ้นไป	8.0	2.6

5.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการเลือกใช้บริการขนส่งสินค้า

ผลการศึกษาพฤติกรรมการเลือกใช้บริการขนส่งสินค้าของกลุ่มผู้บริโภคเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าส่วนใหญ่กลุ่มผู้บริโภคเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z มีการใช้บริการขนส่งสินค้า 2-3 ครั้งต่อเดือน ร้อยละ 45.5 และร้อยละ 32.3 ตามลำดับ ขณะที่เจเนอเรชัน Y มีการใช้บริการขนส่งสินค้ามากกว่า 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ร้อยละ 27.0 ซึ่งสูงกว่า เจเนอเรชัน Z (ร้อยละ 25.4) สำหรับช่วงราคาค่าขนส่งสินค้าต่อครั้ง พบว่า ส่วนใหญ่ผู้บริโภคทั้งสองกลุ่มเลือกใช้บริการที่มีค่าขนส่งไม่เกิน 30 บาท โดยกลุ่มเจเนอเรชัน Y ร้อยละ 54.5 และกลุ่มเจเนอเรชัน Z ร้อยละ 46.6 แสดงให้เห็นว่ากลุ่มผู้บริโภคเจเนอเรชัน Z อาจมีความพร้อมและความคุ้นเคยต่อการใช้งานบริการขนส่งสินค้าผ่านแพลตฟอร์มดิจิทัลสูงกว่า กลุ่มผู้บริโภคเจเนอเรชัน Y ในขณะที่ Gen Y อาจให้ความสำคัญกับความสะดวกและความคุ้มค่าด้านราคาในการเลือกใช้บริการมากกว่า [1]

นอกจากนี้ปัจจัยที่ผู้บริโภคแต่ละกลุ่มในความสำคัญในการเลือกใช้บริการขนส่งสินค้า พบว่า ผู้บริโภคทั้งเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z ให้ความสำคัญกับความรวดเร็วในการขนส่งในระดับที่สูงที่สุด โดยเฉพาะกลุ่มเจเนอเรชัน Z (45%) มีสัดส่วนสูงกว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Y (38.1%) สะท้อนให้เห็นว่า ความรวดเร็วในการได้รับสินค้าเป็นปัจจัยพื้นฐานที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการขนส่งในบริบทของพฤติกรรมผู้บริโภคยุคปัจจุบัน สำหรับราคาขนส่ง และความปลอดภัยของสินค้า ทั้งสองกลุ่มให้ความสำคัญในระดับใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านต้นทุน และความเสี่ยงจากความเสียหายของสินค้า ยังคงเป็นองค์ประกอบสำคัญในการเลือกใช้บริการขนส่ง ในขณะที่ปัจจัยด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แม้จะมีสัดส่วนที่ไม่สูงเมื่อเทียบกับปัจจัยด้านอื่น แต่พบว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Z (3.2%) ได้ให้ความสำคัญมากกว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Y (1.1%) สะท้อนให้เห็นถึงแนวโน้มที่กลุ่มผู้บริโภครุ่นใหม่เริ่มนำประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมมาใช้ประกอบการตัดสินใจแม้ยังไม่ใช่ปัจจัยหลัก และสำหรับปัจจัยอื่นๆ เช่น การบริการลูกค้าความน่าเชื่อถือของแบรนด์ โปรโมชั่น หรือความสะดวกสบายในการติดตามพัสดุ พบว่ามีสัดส่วนค่อนข่างต่ำ ซึ่งอาจสะท้อนให้เห็นว่าผู้บริโภคมองปัจจัยเหล่านี้เป็นคุณลักษณะพื้นฐานที่ผู้ให้บริการควรมีอยู่แล้ว มากกว่าจะเป็นปัจจัยที่สร้างความแตกต่างในการตัดสินใจเลือกใช้บริการ

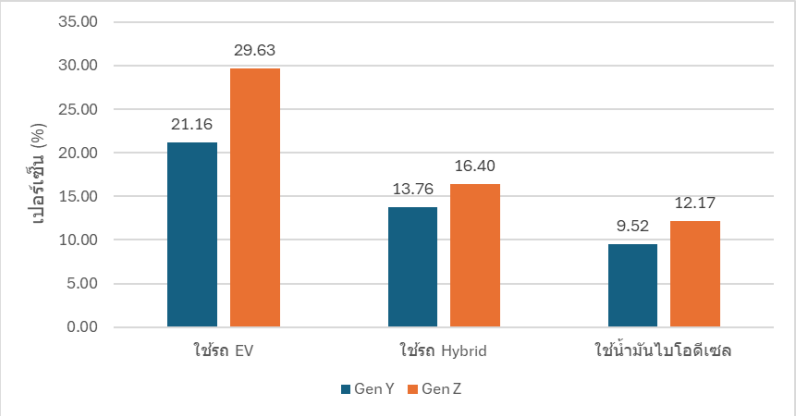
ตารางที่ 2 พฤติกรรมการเลือกใช้บริการขนส่งสินค้าของผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z

พฤติกรรมการเลือกใช้บริการขนส่งสินค้า	ร้อยละ (%)	
	เจเนอเรชัน Y (n=189)	เจเนอเรชัน Z (n=189)
ความถี่ในการใช้บริการขนส่งพัสดุหรือสินค้า		
มากกว่า 1 ครั้งต่อสัปดาห์	27.0	25.4
เดือนละ 2-3 ครั้ง	32.3	45.5

ตารางที่ 2 พฤติกรรมการเลือกใช้บริการขนส่งสินค้าของผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z (ต่อ)

พฤติกรรมการเลือกใช้บริการขนส่งสินค้า	ร้อยละ (%)	
	Gen Y (n=189)	Gen Z (n=189)
เดือนละครั้งหรือน้อยกว่า	22.2	17.5
นานๆครั้ง (ปีละ 2-3 ครั้ง)	18.5	11.6
ช่วงราคาค่าขนส่งสินค้า (ต่อครั้ง)		
ต่ำกว่า 30 บาท	54.5	46.6
31-50 บาท	25.4	31.2
51-100 บาท	7.9	10.1
มากกว่า 100 บาทขึ้นไป	12.2	12.2
ปัจจัยที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญที่สุดในการเลือกใช้บริการขนส่งสินค้า		
ความรวดเร็วในการขนส่ง	38.1	45.0
ราคาค่าขนส่ง	24.9	18.5
ความปลอดภัยของสินค้า	20.6	19.6
ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	1.1	3.2
การบริการลูกค้า	2.6	1.1
ความน่าเชื่อถือของแบรนด์	4.2	5.3
บริการเก็บเงินปลายทาง	3.2	2.6
โปรโมชั่น/ส่วนลด	5.3	3.7
การส่งคืน/เปลี่ยนสินค้าได้ง่าย	0	0.5
ความสามารถในการติดตามพัสดุ	0	0.5

จากรูปที่ 1 แสดงร้อยละของผู้บริโภคในแต่ละกลุ่มเจเนอเรชันที่เลือกใช้ประเภทของการขนส่งสินค้า 3 ประเภท (ยานยนต์ไฟฟ้า EV, ยานยนต์ไฮบริด Hybrid และน้ำมันไบโอดีเซล พบว่าผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Z ที่เลือกใช้ประเภทของการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมคิดเป็นร้อยละ 19.40 และกลุ่มเจเนอเรชัน Y คิดเป็นร้อยละ 14.81 โดยผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Z เลือกใช้บริการขนส่งสินค้าที่ใช้ยานยนต์ไฟฟ้า (EV) สูงกว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Y อย่างชัดเจน คิดเป็นร้อยละ 29.63 และร้อยละ 21.16 ตามลำดับ ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า กลุ่มเจเนอเรชัน Z มีแนวโน้มให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Y ซึ่งอาจเกิดจากความคุ้นเคยกับนวัตกรรมและเทคโนโลยีสมัยใหม่ รวมถึงการรับรู้ประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มสูงขึ้นในกลุ่มคนรุ่นใหม่ ในส่วนของการเลือกใช้บริการขนส่งสินค้าที่ใช้ยานยนต์ไฮบริด (Hybrid) พบว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Z มีผู้เลือกใช้มากกว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Y เช่นเดียวกัน โดยเจเนอเรชัน Z ร้อยละ 16.40 ขณะที่เจเนอเรชัน Y ร้อยละ 13.76 สำหรับการเลือกใช้บริการขนส่งที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซล พบว่า กลุ่มเจเนอเรชัน Z มีผู้เลือกใช้คิดเป็นร้อยละ 12.17 และกลุ่มเจเนอเรชัน Y คิดเป็นร้อยละ 9.52 แม้จะเป็นรูปแบบการขนส่งที่มีจำนวนผู้เลือกใช้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับ EV และ Hybrid แต่ยังสะท้อนให้เห็นว่า ผู้บริโภคทั้งสองกลุ่มมีการรับรู้และยอมรับทางเลือกด้านพลังงานทางเลือกในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะในบริบทของการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากภาคการขนส่งโดยภาพรวม รูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า กลุ่มเจเนอเรชัน Z มีผู้เลือกใช้บริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในทุกประเภทมากกว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Y ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดด้านพฤติกรรมผู้บริโภคที่ระบุว่าผู้บริโภคในกลุ่มเจเนอเรชัน Z มีแนวโน้มเปิดรับนวัตกรรม เทคโนโลยีสีเขียว และแนวคิดด้านความยั่งยืนมากกว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Y [2]



รูปที่ 1 แสดงเปอร์เซ็นต์ (%) ของการเลือกประเภทการขนส่งของกลุ่มผู้บริโภคเจเนอเรชัน Y และกลุ่มผู้บริโภคเจเนอเรชัน Z

5.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทัศนคติของผู้บริโภคระหว่างกลุ่มเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z

จากผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทัศนคติของผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z ต่อการเลือกใช้บริการขนส่งต่อสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยใช้สถิติ Independent Samples t-test พบว่า โดยภาพรวมค่าเฉลี่ยของทัศนคติของกลุ่มเจเนอเรชัน Z มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Y ในเกือบทุกประเด็น เมื่อพิจารณาความรู้สึกว่าการเลือกใช้บริการขนส่งที่ลดการปล่อยมลพิษช่วยเพิ่มคุณค่าทางจิตใจ พบว่ามีความแตกต่างระหว่างกลุ่มเจเนอเรชัน Y และ Z อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยกลุ่มผู้บริโภคเจเนอเรชัน Z มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า ผู้บริโภคกลุ่มนี้รับรู้คุณค่าทางจิตใจจากการเลือกใช้บริการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า สำหรับการสนับสนุนธุรกิจขนส่งที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แม้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และการมองว่าธุรกิจที่ใช้การบริการขนส่งที่สามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นธุรกิจที่มีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.10 โดยกลุ่มเจเนอเรชัน Z มีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Y [8] สะท้อนว่ากลุ่มผู้บริโภคเจเนอเรชัน Z มีความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืนในระดับสูง และมีแนวโน้มยอมรับต้นทุนบางส่วนเพื่อแลกกับผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบทัศนคติของผู้บริโภคต่อการเลือกใช้บริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ระหว่างกลุ่มเจเนอเรชัน Y และ Z

ทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อการเลือกใช้บริการขนส่งต่อสิ่งแวดล้อม	$\bar{x}$ ± SD		t	Sig
	Gen Y (n=189)	Gen Z (n=189)		
ท่านมองว่าการขนส่งสินค้าโดยทั่วไปส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas Emission)	4.16±0.86	4.28±0.80	1.30	0.19
ท่านยินดีสนับสนุนการบริการขนส่งที่สามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แม้จะมีค่าบริการที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย	4.21±0.87	4.37±0.74	1.90	0.06*
ท่านมองว่าธุรกิจที่ใช้การบริการขนส่งที่สามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นธุรกิจที่มีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม	4.14±0.84	4.29±0.75	1.81	0.07*
ท่านให้ความสำคัญกับการเลือกใช้บริการขนส่งที่ใช้พลังงานสะอาด(เช่น ยานพาหนะไฟฟ้า, ใช้พลังงานเชื้อเพลงจากธรรมชาติ)	4.20±0.89	4.31±0.84	1.25	0.21
ท่านรู้สึกว่าการเลือกบริการขนส่งที่ลดการปล่อยมลพิษช่วยเพิ่มคุณค่าทางจิตใจ	4.17±0.89	4.34±0.75	2.00	0.05**

หมายเหตุ: * p-value ≤ 0.1, ** p-value ≤ 0.05, *** p-value ≤ 0.01

ในขณะที่ประเด็นการรับรู้ว่าการขนส่งสินค้าโดยทั่วไปส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจก ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y และ Z โดยสรุป ผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4 ชี้ให้เห็นว่า แม้ผู้บริโภคทั้งกลุ่มเจเนอเรชัน Y และ Z จะมีระดับทัศนคติด้านสิ่งแวดล้อมในระดับค่อนข้างสูง แต่กลุ่มเจเนอเรชัน Z แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มในการเปิดรับแนวคิดด้านโลจิสติกส์สีเขียวและการเลือกใช้บริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า โดยเฉพาะในด้านที่เกี่ยวข้องกับคุณค่าทางจิตใจและความรับผิดชอบต่อสังคม ผลการศึกษานี้จึงสนับสนุนแนวคิดที่ว่า ผู้บริโภคในกลุ่มคนรุ่นใหม่มีบทบาทสำคัญในการผลักดันการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบโลจิสติกส์และการจัดการมลพิษที่ยั่งยืนในอนาคต

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติ Pearson Chi-Square เพื่อเปรียบเทียบแนวโน้มการเลือกใช้บริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างผู้บริโภค 2 เจเนอเรชัน โดยจำแนกตามระดับความเห็นด้วยต่อประเด็นสิ่งแวดล้อม (ระดับความเห็นด้วยต่ำ: Low และระดับความเห็นด้วยสูง: High) ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่า แนวโน้มการเลือกใช้บริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมกับเจเนอเรชันไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 แสดงให้เห็นว่าเพียงปัจจัยด้านช่วงวัยอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอในการอธิบายพฤติกรรมการเลือกใช้บริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างทัศนคติกับแนวโน้มการเลือกภายในแต่ละเจเนอเรชัน พบว่า สำหรับเจเนอเรชัน Y ทัศนคติด้านการปล่อยมลพิษและด้านค่าบริการขนส่งที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับแนวโน้มการเลือกบริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.10 สะท้อนให้เห็นว่า การตัดสินใจของเจเนอเรชัน Y อาจเชื่อมโยงกับการประเมินความคุ้มค่าและความพึงพอใจทางจิตใจ กล่าวคือแม้กลุ่มนี้จะตระหนักถึงประเด็นสิ่งแวดล้อม แต่การแสดงออกเชิงพฤติกรรมยังสัมพันธ์กับต้นทุนและผลตอบแทนทางอารมณ์ที่ได้รับ ในขณะที่เจเนอเรชัน Z ทัศนคติด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและด้านการใช้พลังงานสะอาดมีความสัมพันธ์กับแนวโน้มการเลือกบริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สะท้อนให้เห็นว่า เจเนอเรชัน Z มีการรับรู้ผลกระทบเชิงสิ่งแวดล้อม (เช่น ภาวะโลกร้อนและก๊าซเรือนกระจก) และให้ความสำคัญกับการเลือกใช้บริการที่ใช้พลังงานสะอาดซึ่งมีความเชื่อมโยงกับแนวโน้มการเลือกใช้บริการอย่างชัดเจนมากกว่าเจเนอเรชัน Y [10]

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างแนวโน้มการเลือกบริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมกับทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อการเลือกใช้บริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z

เจเนอเรชัน	ทัศนคติ	ระดับความเห็นต่อทัศนคติ	แนวโน้มการเลือกใช้บริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม			
			ไม่เลือก	มีแนวโน้มเลือกเล็กน้อย	มีแนวโน้มเลือกปานกลาง	มีแนวโน้มเลือกอย่างมาก
เจเนอเรชัน Y	ท่านมองว่าการขนส่งสินค้าโดยทั่วไปส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจก	Low	74	24	7	2
		High	47	31	3	1
		Pearson Chi-square	0.130			
เจเนอเรชัน Z		Low	47	42	9	2
		High	55	28	2	4
		Pearson Chi-square	0.047**			
เจเนอเรชัน Y	ท่านยินดีสนับสนุนการบริการขนส่งที่สามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แม้จะมีค่าบริการที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย	Low	67	26	9	1
		High	54	29	1	2
		Pearson Chi-square	0.078*			

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างแนวโน้มการเลือกบริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมกับทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อการเลือกใช้บริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมระหว่างเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z (ต่อ)

เจเนอเรชัน	ทัศนคติ	ระดับความเห็นต่อทัศนคติ	แนวโน้มการเลือกใช้บริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม			
			ไม่เลือก	มีแนวโน้มเลือกเล็กน้อย	มีแนวโน้มเลือกปานกลาง	มีแนวโน้มเลือกอย่างมาก
เจเนอเรชัน Z	ท่านยินดีสนับสนุนการบริการขนส่งที่สามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แม้จะมีค่าบริการที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย	Low	48	37	4	3
		High	54	33	7	3
		Pearson Chi-square	0.737			
เจเนอเรชัน Y	ท่านมองว่าธุรกิจที่ใช้การบริการขนส่งที่สามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นธุรกิจที่มีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม	Low	73	30	7	3
		High	48	25	3	0
		Pearson Chi-square	0.377			
เจเนอเรชัน Z		Low	55	41	5	3
		High	47	29	6	3
		Pearson Chi-square	0.832			
เจเนอเรชัน Y	ท่านให้ความสำคัญกับการเลือกใช้บริการขนส่งที่ใช้พลังงานสะอาด	Low	68	28	8	2
		High	53	27	2	1
		Pearson Chi-square	0.383			
เจเนอเรชัน Z		Low	44	43	6	1
		High	58	27	5	5
		Pearson Chi-square	0.040**			
เจเนอเรชัน Y	ท่านรู้สึกว่าการเลือกบริการขนส่งที่ลดการปล่อยมลพิษช่วยเพิ่มคุณค่าทางจิตใจ	Low	71	24	8	1
		High	50	31	2	2
		Pearson Chi-square	0.085*			
เจเนอเรชัน Z		Low	46	41	6	2
		High	56	29	5	4
		Pearson Chi-square	0.285			

หมายเหตุ: * p-value ≤ 0.1, ** p-value ≤ 0.05, *** p-value ≤ 0.01

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทัศนคติที่มีต่อบริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z และความสัมพันธ์ระหว่างทัศนคติและแนวโน้มการเลือกบริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคระหว่างเจเนอเรชัน โดยเปรียบเทียบระหว่างผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y และเจเนอเรชัน Z จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 378 ผลการ

วิเคราะห์ข้อมูลประชากรศาสตร์พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสองกลุ่มส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง มีระดับการศึกษาปริญญาตรีหรือต่ำกว่า โดยกลุ่มเจเนอเรชัน Y มีรายได้ต่อเดือนสูงกว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Z ในส่วนด้านพฤติกรรมการเลือกใช้บริการขนส่งสินค้า พบว่าทั้งสองกลุ่มผู้บริโภคให้ความสำคัญในด้านความรวดเร็ว ค่าขนส่ง และความปลอดภัยของสินค้าเป็นปัจจัยหลักในการเลือกใช้บริการขนส่งสินค้า อีกทั้งบริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Z เลือกใช้บริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในทุกประเภทสูงกว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Y โดยเฉพาะการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า (EV) และยานยนต์ไฮบริด (Hybrid) สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทัศนคติระหว่างผู้บริโภคกลุ่มเจเนอเรชัน Y และ Z โดยใช้สถิติ Independent Samples t-test พบว่า สมมติฐานการวิจัยได้รับการสนับสนุนบางส่วน โดยกลุ่มเจเนอเรชัน Z มีค่าเฉลี่ยทัศนคติสูงกว่ากลุ่มเจเนอเรชัน Y อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านของการเลือกบริการขนส่งที่ลดการปล่อยมลพิษช่วยเพิ่มคุณค่าทางจิตใจ การเลือกใช้บริการขนส่งที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ขณะเดียวกันการสนับสนุนธุรกิจขนส่งที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแม้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และการมองว่าธุรกิจที่ใช้การบริการขนส่งที่สามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นธุรกิจที่มีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของผลการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Pearson Chi-Square แม้ไม่พบความแตกต่างโดยรวมระหว่างเจเนอเรชัน Y และ Z แต่รูปแบบความสัมพันธ์ภายในแต่ละเจเนอเรชันสะท้อนลักษณะการตัดสินใจที่แตกต่างกัน กล่าวคือ เจเนอเรชัน Y มีแนวโน้มตอบสนองต่อปัจจัยด้านต้นทุนและคุณค่าทางจิตใจ ขณะที่เจเนอเรชัน Z แสดงความเชื่อมโยงระหว่างการรับรู้ปัญหาสิ่งแวดล้อมกับพฤติกรรมการเลือกอย่างชัดเจนมากกว่าเจเนอเรชัน Y ผลการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นแนวทางส่งเสริมการบริการขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างเจเนอเรชันมุ่งเน้นการสื่อสารคุณค่าด้านความยั่งยืนและความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมสำหรับกลุ่มเจเนอเรชัน Z ขณะที่สำหรับกลุ่มเจเนอเรชัน Y ควรให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านความคุ้มค่าและต้นทุนควบคู่ไปกับด้านสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

[1] กนิดา วงศ์อัศวนฤมล. (2563). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจส่งพัสดุ ผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ในประเทศไทย (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).

[2] ทิฆัมพร ทวีเดช. (2559). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมรักษ์สิ่งแวดล้อมและความภักดีในสินค้าเพื่อสิ่งแวดล้อมของคนเจเนอร์เรชั่น ‘Z’. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย, 10(2), 269-285.

[3] ไณยณันทร์ นิสสัยสุข. (2559). ค่านิยม ทัศนคติ และพฤติกรรมการซื้อผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา).

[4] ศูนย์วิจัยธนาคารออมสิน. (2564). Green Logistics ขนส่งลดคาร์บอน, 12 เมษายน 2568. https://www.gsb.or.th/gsbresearch/wp-content/uploads/2024/07/IN_Green-Logistics_170767.pdf

[5] หอสมุดรัฐสภา. (2568). การแบ่งกลุ่มประชากรใหม่ (Generation Beta), 29 ธันวาคม 2568. https://library.parliament.go.th/th/radioscript/rr2568-june6

[6] Asian and Pacific Centre for Transfer of Technology (APCTT), & United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP). (2024). Technological interventions and gaps in air pollution control in Bangkok, Thailand., 31 มกราคม 2569, https://apctt.org/sites/default/files/attachment/2024-02/Bangkok%20%28Report%201%29Technological%20Interventions%20and%20%20Gaps%20in%20Air%20Pollution%20Control%20in%20Bangkok%2C%20Thailand.pdf?utm_source=chatgpt.com

[7] Li, A., Chen, Y., and Wang, D. (2020). An empirical study of the factors influencing the willingness to implement green coal logistics in China. Journal of Cleaner Production, 245, 118932.

[8] Maichum, K., Parichtnon, S., Peng, K. (2017). Factors Affecting on Purchase Intention towards Green Products: A Case Study of Young Consumers in Thailand. International Journal of Social Science and Humanity. 7, 330-335.

[9] Malhotra, N.K. and M. Peterson. (2006). Basic Marketing Research. 2ed. Prentice Hall, New Jersey.

[10] Theocharis, D., & Tsekouropoulos, G. (2025). Sustainable Consumption and Branding for Gen Z: How Brand Dimensions Influence Consumer Behavior and Adoption of Newly Launched Technological Products. Sustainability 2025, https://doi.org/10.3390/su17094124

[11] United Nations Development Programme Thailand. (2567). เมื่อโลกร้อนและรวน: ภาคส่วนใดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด, 11 เมษายน 2568. https://www.undp.org/stories/greenhouse-emissions-thailand-th

การจัดการมลพิษ
Pollution Management

Poster Presentation

การประยุกต์ใช้และประเมินประสิทธิภาพสีย้อมจากสารสกัดธรรมชาติรงควัตถุกลุ่มโพลีฟีนอล เพื่อทดแทนสีย้อมสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการระดับมัธยมศึกษา

พิชญุตม์ วงค์วรรณา, อิสรีย์ เลิศประเสริฐ, อนุสบา สังข์ผาด, ภคพร สิทธิบุตร, ญาณกร วิฑูรย์เสถียร, เทิดศักดิ์ สกุลสุข, และ จิราภรณ์ แสงประทุม*

โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ตำบลนครปฐม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย

**Corresponding author: jiraporns@webmail.npru.ac.th*

บทคัดย่อ

การย้อมสีเนื้อเยื่อพืชเพื่อการศึกษาในระดับมัธยมศึกษายังคงพึ่งพาสีย้อมสังเคราะห์จากสารเคมีเป็นหลัก ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางอ้อมจากกระบวนการผลิต การใช้งาน และการกำจัดของเสีย งานวิจัยนี้จึงประเมินศักยภาพของสีย้อมธรรมชาติที่รงควัตถุกลุ่มโพลีฟีนอล (Polyphenol group) ในฐานะทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยเปรียบเทียบกับสีย้อมสังเคราะห์ Safranin O ที่ใช้แพร่หลายสำหรับการย้อมเนื้อเยื่อพืช โดยทำการศึกษาสารสกัดจากพืช 3 ชนิด ได้แก่ *Caesalpinia sappan* L., *Vaccinium* spp. และ *Brassica oleracea* var. *capitata f. rubra* แล้วนำไปย้อมเนื้อเยื่อบริเวณลำต้นของ Oenanthe javanica จากนั้นประเมินการติดสีของโครงสร้างเนื้อเยื่อ ได้แก่ epidermis, collenchyma, sclerenchyma, parenchyma และ vascular tissue ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสง (40×) ด้วยมาตราส่วนเชิงคุณภาพ 3 ระดับ (+ ถึง +++) ควบคู่กับการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของรงควัตถุด้วยโครมาโทกราฟีกระดาษ (ค่า R_f) และวัดความเข้มสีเชิงปริมาณด้วย ImageJ จากค่าเฉลี่ย RGB และดัชนีความแดง (Redness index)

ผลการศึกษาพบว่า *Caesalpinia sappan* L. และ *Vaccinium* spp. ให้การติดสีสม่ำเสมอและเข้มสูง โดยปรากฏระดับ +++ ในเนื้อเยื่อโครงสร้าง Epidermis, Sclerenchyma, และ Parenchyma ผลการวิเคราะห์ค่า R_f พบสูงที่สุดในสารสกัดจาก *C. sappan* (0.70) และให้ดัชนีความแดงสูงสุด (104.8675) จากสกัดสกัดทั้งหมด รองลงมาคือ *Vaccinium* spp. (95.0775) และ B. oleracea (86.5835) ตามลำดับ ในขณะที่ Safranin O ให้การติดสีระดับ +++ ในโครงสร้าง Parenchyma เท่านั้น แต่มีค่า R_f (0.95) ที่สูงกว่าสารสกัดทุกชนิด แต่อย่างไรก็ตาม Safranin O ได้ผลการวิคราะห์ดัชนีความแดง (78.8945) ที่ต่ำกว่าทุกสารสกัด

ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าสีย้อมธรรมชาติ โดยเฉพาะสารสกัดจาก *C. sappan* มีศักยภาพเป็นสีย้อมเนื้อเยื่อพืชได้ดี สามารถใช้ทดแทนสีย้อมสังเคราะห์สำหรับการเรียนการสอนระดับมัธยมศึกษา รวมถึงเป็นทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่ช่วยสนับสนุนการลดการใช้สารเคมีได้

คำสำคัญ: สีย้อมธรรมชาติ / Polyphenol / Safranin O / Image J / Paper Chromatography

Application and Performance evaluation of Polyphenol-based natural dye extracts as Substitutes for Synthetic stains in Secondary school laboratories

Pitchayut Wongwanna, Issaree Lertprasert, Anusaba Sungpad, Phakkaphorn Sittibut, Yanakorn Witoonsatian, Teardsak Skunsuk, and Jiraporn Sangpratum*

Demonstration School of Nakhon Pathom Rajabhat University, Thailand
*Corresponding author: jiraporns@webmail.npru.ac.th

Abstract

Plant tissue staining for secondary education still relies primarily on synthetic chemical dyes, which may indirectly contribute to environmental impacts through their production, use, and waste disposal. This study, therefore, evaluated the potential of natural dyes containing polyphenol pigments as an environmentally friendly alternative, in comparison with Safranin O, a widely used synthetic stain for plant tissues.

Extracts from three plant sources *Caesalpinia sappan* L., *Vaccinium* spp.and *Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra* were prepared and used to stain stem tissues of *Oenanthe javanica*. Staining performance of key tissue structures, including the epidermis, collenchyma, sclerenchyma, parenchyma, and vascular tissue, was examined under a light microscope (40×) using a three-level qualitative scale (+ to +++). In parallel, pigment migration was assessed using paper chromatography (R_f values), and color intensity was quantified in ImageJ based on mean RGB values and a redness index.

The results showed that *C. sappan* L. and *Vaccinium* spp. produced uniform and strong staining, reaching a +++ level in the epidermis, sclerenchyma, and parenchyma. R_f analysis revealed the highest value among the extracts for *C. sappan* (0.70), which also yielded the highest redness index (104.8675), followed by *Vaccinium* spp. (95.0775) and *B. oleracea* (86.5835), respectively. In contrast, Safranin O exhibited +++ staining only in the parenchyma, and although it showed a higher R_f value (0.95) than all extracts, its redness index (78.8945) was lower than that of every natural extract.

Overall, this study indicates that natural dyes particularly the *C. sappan* extract have strong potential as effective plant tissue stains and could serve as substitutes for synthetic dyes in secondary school teaching laboratories. In addition, they represent an environmentally friendly option that may help reduce chemical use in educational settings.

Keywords: Natural dyes / Polyphenol / Safranin O / Image J / Paper Chromatography

1. บทนำ

ในการจัดการเรียนการสอนรายวิชาชีววิทยาระดับมัธยมศึกษาในหัวข้อพืช การตัดชิ้นเนื้อเพื่อศึกษากายวิภาคของพืชเป็นกิจกรรมปฏิบัติการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อช่วยให้นักเรียนสังเกตและจำแนกระบบเนื้อเยื่อสำคัญ ได้แก่ Epidermis, Parenchyma, Collenchyma, Sclerenchyma และ Vascular tissue ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง [1] อย่างไรก็ตาม เนื้อเยื่อพืชจำนวนมากมีลักษณะโปร่งแสง ทำให้การแยกแยะรายละเอียดของโครงสร้างทำได้ไม่ชัดเจนหากไม่มีการเพิ่มความเปรียบต่าง ดังนั้น การย้อมสีจึงเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้โครงสร้างเนื้อเยื่อปรากฏเด่นชัด และสนับสนุนการสังเกตทางกายวิภาคของพืชได้อย่างถูกต้องยิ่งขึ้น

ในห้องปฏิบัติการเพื่อการเรียนการสอน สีย้อมสังเคราะห์เชิงพาณิชย์ เช่น Safranin O ยังคงเป็นทางเลือกหลักในการย้อมเนื้อเยื่อ เนื่องจากสามารถแยกความแตกต่างของโครงสร้างเนื้อเยื่อพืชได้ชัดเจน จึงเหมาะสมต่อการใช้เป็นมาตรฐานในการสังเกตกายวิภาคของพืช [1, 2] อย่างไรก็ตาม การพึ่งพาสีย้อมสังเคราะห์อย่างต่อเนื่องอาจก่อให้เกิดข้อกังวลด้านความปลอดภัยของผู้ใช้ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังได้ รวมไปถึงข้อจำกัดด้านการจัดการของเสียอันตรายภายหลังการใช้งานโดยเฉพาะใช้ในพื้นที่ของโรงเรียนที่ยังมีข้อจำกัดด้านการจัดการของเสียสู่สิ่งแวดล้อม ประเด็นดังกล่าวสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) เป้าหมายที่ 12 ซึ่งมุ่งเน้นการจัดการสารเคมีและของเสียอย่างถูกต้องตามหลักสิ่งแวดล้อม และลดการปล่อยสารเคมีสู่สิ่งแวดล้อม [3] ด้วยเหตุนี้ สีย้อมจากธรรมชาติจึงได้รับความสนใจในฐานะทางเลือกสำหรับการพัฒนาสีย้อมเนื้อเยื่อพืช

สารพฤกษเคมีกลุ่มโพลีฟีนอล (Polyphenol group) เป็นกลุ่มที่มีความโดดเด่นด้านองค์ประกอบรงควัตถุสารสี (pigment) เช่น แอนโทไซยานิน (anthocyanins) และสารสีบราซิลิน (brazilin) ซึ่งพบได้ในพืชหลายชนิด สารกลุ่มดังกล่าวมีศักยภาพในการลดการใช้สารเคมีสังเคราะห์ เพิ่มความปลอดภัยในการใช้งาน และสนับสนุนการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน อีกทั้งมีรายงานการประยุกต์ใช้ในการย้อมตัวอย่างพืชมาแล้วในหลายงานวิจัย [4] อย่างไรก็ตาม แม้มีรายงานการใช้สีธรรมชาติ แต่ยังมีข้อมูลจำกัดในบริบทการนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการระดับมัธยมศึกษา รวมถึงการประเมินผลเชิงปริมาณร่วมกับการวิเคราะห์ความเข้มสีด้วยโปรแกรม ImageJ

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมุ่งประเมินประสิทธิภาพและความสามารถในการการติดสีย้อมในเนื้อเยื่อลำต้นผักชีล้อม (Oenanthe javanica) โดยใช้สารสกัดสีธรรมชาติกลุ่ม polyphenol ได้แก่ *Caesalpinia sappan* L. (แก่นฝาง), *Vaccinium* spp. (บลูเบอร์รี่) และ *Brassica oleracea* var. *capitata f. rubra* (กะหล่ำปลีม่วง) ในการประยุกต์ใช้เป็นสีย้อมทางเลือกสำหรับห้องปฏิบัติการชีววิทยาระดับมัธยมศึกษา

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความสามารถในการย้อมติดสีของสีย้อมธรรมชาติรงควัตถุกลุ่ม polyphenol ในเนื้อเยื่อพืชลำต้น Oenanthe javanica (ผักชีล้อม) ในโครงสร้างเนื้อเยื่อพืช ได้แก่ Epidermis, Parenchyma, Collenchyma, Sclerenchyma และ Vascular tissue ด้วยมาตราส่วนเชิงคุณภาพ 3 ระดับ (+ ถึง +++)

2. เพื่อศึกษาการแยกตัวและความสามารถในการเคลื่อนที่ของรงควัตถุในสีย้อมธรรมชาติรงควัตถุกลุ่ม polyphenol ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีกระดาษ

3. เพื่อประเมินและเปรียบเทียบความเข้มของสีย้อมธรรมชาติรงควัตถุกลุ่ม polyphenol ภายหลังการย้อมติดสีของเนื้อเยื่อพืชในเชิงปริมาณ ด้วยโปรแกรม ImageJ

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นการประเมินประสิทธิภาพของสีย้อมธรรมชาติรงควัตถุกลุ่ม polyphenol เพื่อประยุกต์ใช้ในการศึกษากายวิภาคพืช โดยกำหนดขอบเขตการดำเนินงานดังนี้

1. สีย้อมที่ศึกษาใช้สารสกัดธรรมชาติจากพืช 3 ชนิด ได้แก่ *Caesalpinia sappan* L. (แก่นฝาง), *Vaccinium* spp. (บลูเบอร์รี่) และ *Brassica oleracea* var. *capitata f. rubra* (กะหล่ำปลีม่วง)
2. การศึกษาและสังเกตกายวิภาคพืชภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light microscopy) ที่กำลังขยาย 40×
3. เกณฑ์การวัดและประเมินผลประสิทธิภาพการติดสี แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่
    3.1. ใช้มาตราส่วนเชิงคุณภาพของความเข้มการติดสีในโครงสร้างเนื้อเยื่อ 5 ชนิด แบ่งเป็น 3 ระดับ (+ ถึง +++)
    3.2. หาค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ของรงควัตถุ (Retention factor : R_f) ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ
    3.3. วัดความเข้มสีด้วยโปรแกรม ImageJ คำนวณหาค่าเฉลี่ย RGB และดัชนีความแดง (Redness index)

4. วิธีการศึกษา

4.1 การเตรียมสารสกัดสีย้อมธรรมชาติ

การศึกษานี้ใช้พืช 3 ชนิด ได้แก่ แก่นฝาง เปลือกผลบลูเบอร์รี่ และกะหล่ำปลีม่วง โดยชั่งตัวอย่างชนิดละ 10 กรัม แล้วเติม 70% Ethanol ปริมาตร 100 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1 กรัมของสารตัวอย่าง : 10 มิลลิลิตรของตัวทำละลาย) (ดัดแปลงจากงานวิจัย [5]) จากนั้นบดให้ละเอียดด้วยถ้วยบด เมื่อบดเสร็จแล้วนำเฉพาะส่วนน้ำที่ถูกบดกรองผ่านกระดาษกรอง (Whatman No.1) จะได้สีย้อมสารสกัดธรรมชาติ

4.2 การย้อมสี

สำหรับการเตรียมชิ้นเนื้อเยื่อ ใช้ลำต้นสดของผักชีล้อม (Oenanthe javanica) ตัดเป็นชิ้นตามขวางบาง ๆ ตัดบริเวณที่ระยะห่างเหนือโคนรากขึ้นมา 3 เซนติเมตร ด้วยวิธีตัดด้วยมือ (free hand section) แล้ววางบนสไลด์ที่สะอาด ทำการกำหนด 3 กลุ่มทดลอง ได้แก่ กลุ่มควบคุมไม่ย้อมสี (negative control) กลุ่มที่ย้อมด้วย Safranin O (1% w/v) (positive control) และกลุ่มที่ย้อมด้วยสารสกัดจากธรรมชาติของแต่ละพืช หลังจากนั้นทำการหยดสีย้อมให้ท่วมชิ้นเนื้อเยื่อ ทิ้งไว้ 1 นาที เมื่อครบเวลาใช้ดรอปเปอดูดสีย้อมส่วนเกินออก แล้วหยดด้วยน้ำกลั่นเพื่อชะสีย้อมส่วนเกินออก จากนั้นปิดสไลด์ด้วย cover slip และนำไปสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Olympus CX-30) ที่เลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 40× โดยตั้งค่ารูรับแสงที่ 0.75× และปรับความสว่างสูงสุดในทุกการทดลอง ทำการสังเกตการณ์ติดสีของเนื้อเยื่อแต่ละโครงสร้างได้แก่ Epidermis, Parenchyma, Collenchyma, Sclerenchyma และ Vascular tissue ประเมินการติดสีย้อมด้วยมาตราส่วนเชิงคุณภาพ ได้แก่ ติดสีน้อย (+) ติดสีปานกลาง (++) และติดสีมาก (+++) หากไม่พบการติดสีอย่างชัดเจนบันทึกเป็น “–” หลังจากนั้นทำการบันทึกภาพไว้สำหรับการสังเกตและการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ

4.3 โครมาโทกราฟีกระดาษและการหาค่า R_f

นำสีย้อมที่สกัดได้ มาทำโครมาโทกราฟีกระดาษ โดยตัดกระดาษโครมาโทกราฟีขนาด 3*5 ซม. ต่อ 1 ตัวอย่างของสารสกัดสีย้อม ทำการเตรียมกระดาษโครมาโทกราฟี โดยใช้ดินสอขีดเส้นฐาน (baseline) ขอบล่างและขอบบนของกระดาษโครมาโทกราฟีระยะห่าง 1 ซม. จากขอบ หลังจากนั้นนำสีย้อม spot ลงบนกระดาษบนเส้นฐานจำนวน 1 ครั้ง และปล่อยให้แห้ง (กำหนดให้ปริมาตร 1 spot =10 µL) ใส่ลงในถังสำหรับทำโครมาโทกราฟีที่บรรจุด้วยตัวทำละลาย 70% Ethanol โดยควบคุมระดับตัวทำละลายให้อยู่ต่ำกว่าเส้นฐาน หลังจากตัวทำละลายเคลื่อนที่จนถึงเส้นฐานตัวทำละลายขอบบน (Solvent front) เมื่อเสร็จแล้วนำ

กระดาษโครมาโทกราฟีออกและผึ่งให้แห้ง วัดระยะทางที่แถบสีหลักเคลื่อนที่ และระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ โดยทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นนำค่าที่ได้คำนวณหาค่า Rf ตามสมการ:

Rf = ระยะทางที่สารเคลื่อนที่ / ระยะทางตัวทำละลายเคลื่อนที่

4.4 การวิเคราะห์ค่า RGB และดัชนีความแดง (Redness index) ด้วยโปรแกรม ImageJ

นำภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ โดยนำเข้าภาพและกำหนดบริเวณขอบเขตเนื้อเยื่อที่สนใจทั้งหมด (region of interest; ROI) ให้ให้พื้นที่ใกล้เคียงกันสำหรับทุกตัวอย่าง วัดค่าเฉลี่ยความเข้มของพิกเซลในช่องสีแดง (R) เขียว (G) และน้ำเงิน (B) โดยทำการวิเคราะห์จากกลุ่มตัวอย่างละ 3 ภาพ จากนั้นนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าดัชนีความแดง (redness index) ตามสมการ:

Redness = R – (G + B)/2

4.5 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา โดยประเมินผลการติดสีของเนื้อเยื่อพืชด้วยมาตราส่วนเชิงคุณภาพ 3 ระดับ ได้แก่ +, ++ และ +++ (ดัดแปลงจากงานวิจัย [5]) ตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยที่ “-” แสดงถึงไม่พบการติดสี สำหรับข้อมูลเชิงปริมาณการวิเคราะห์ข้อมูลผลการแยกรงควัตถุด้วยการหาค่าเฉลี่ย R_f จากการโครมาโทกราฟีกระดาษ หาค่าเฉลี่ยความเข้มสีในช่องสีแดง เขียว และน้ำเงิน (RGB) และหาค่าดัชนีความแดง (redness index) จากโปรแกรม ImageJ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการคำนวณวิเคราะห์ข้อมูล

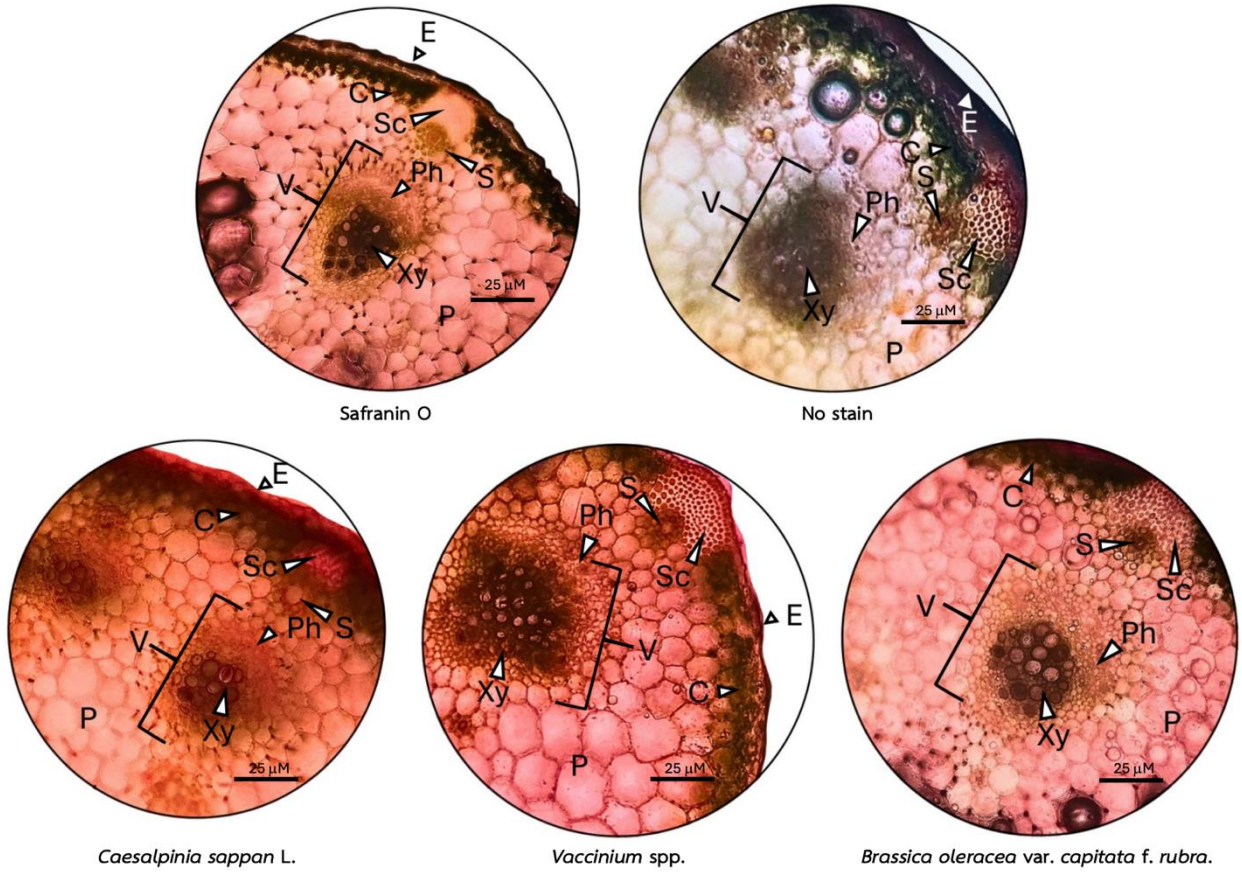
5. ผลการศึกษา

จากการศึกษาประสิทธิภาพการย้อมติดสีของสารสกัดรงควัตถุกลุ่ม polyphenol ใช้พืช 3 ชนิด ได้แก่ *Caesalpinia sappan* L. (แก่นฝาง), *Vaccinium* spp. (บลูเบอร์รี่) และ *Brassica oleracea* var. *capitata f. rubra* (กะหล่ำปลีม่วง) ได้ผลการศึกษาดังนี้

5.1 ผลการศึกษาหลังการย้อมสีเนื้อเยื่อด้วยสีย้อมจากพืชต่างชนิด

ผลการศึกษาพบว่า ภายหลังการย้อมด้วยสีย้อม ได้แก่ สารสกัดสีย้อมธรรมชาติ (*Caesalpinia sappan* L., *Vaccinium* spp. และ *Brassica oleracea* var. *capitata f. rubra*) สีย้อมเชิงพาณิชย์ (Safranin O) และ ชุดควบคุมที่ไม่ย้อมสี โดยการประเมินเชิงคุณภาพของความสามารถในการติดสีในเนื้อเยื่อแต่โครงสร้าง พบว่าสารสกัดสีย้อมจาก *Vaccinium* spp. และ *C. sappan* L. ให้ผลการติดสี เด่นชัดและสม่ำเสมอมากที่สุด โดยมีความเข้มการติดสีระดับสูง (+++) ในโครงสร้าง Epidermis Sclerenchyma Parenchyma และ Vascular tissue ขณะที่ Collenchyma มีความเข้มอยู่ในระดับปานกลาง (++) เมื่อพิจารณาสีย้อมธรรมชาติชนิดอื่น พบว่า Brassica oleracea มีการติดสีระดับสูง (+++) ใน Epidermis Sclerenchyma และ Parenchyma แต่มีการติดสีระดับต่ำ (+) ใน Collenchyma และ Vascular tissue สำหรับสีย้อมเชิงพาณิชย์ Safranin O พบ

การติดสีระดับปานกลาง (++) ใน Epidermis และ Sclerenchyma และติดสีระดับสูง (+++) ใน Parenchyma อย่างไรก็ตาม การติดสีใน Collenchyma และ Vascular tissue อยู่ในระดับต่ำ (+) ทั้งนี้ ชุดควบคุมที่ไม่ย้อมสีไม่พบการติดสีที่สังเกตได้ ในทุกส่วนของเนื้อเยื่อดังรูปที่ 1 แสดงภาพตัวแทนของชิ้นเนื้อเยื่อที่สังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์แสง (กำลังขยาย 40×) และแสดงผลการประเมินความสามารถในการติดสีย้อม ดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 ภาพถ่ายตัวแทนของชิ้นเนื้อเยื่อภายหลังการย้อมด้วยสีย้อมชนิดต่าง ๆ โดยตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงที่กำลังขยาย 40× ได้แก่ (A) Safranin O, (B) No stain, (C) สารสกัดจาก *Caesalpinia sappan* L., (D) สารสกัดจาก *Vaccinium* spp.และ (E) สารสกัดจาก *Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*. (E; Epidermis, C; Collenchyma, Sc; Sclerenchyma, V; Vascular tissue, P; Phloem, Xy; Xylem, P; Parenchyma, S; Secretory duct)

ตารางที่ 1 การประเมินความสามารถในการติดสีของสีย้อมในแต่ละบริเวณของเนื้อเยื่อลำต้น Oenanthe javanica

ตัวอย่างที่ใช้	ประเภทเนื้อเยื่อพืช				
	Epidermis	Collenchyma	Sclerenchyma	Parenchyma	Vascular
Brassica oleracea var.	+++	+	+++	+++	+
Caesalpinia sappan L.	+++	++	+++	+++	+++
Vaccinium spp.	+++	++	+++	+++	+++
Safranin O	++	+	++	+++	+
No stain	-	-	-	-	-

***เกณฑ์การประเมินความสามารถในการติดสี**; ติดสีมากที่สุด +++ , ติดสีปานกลาง ++, ติดสีต่ำ +, ไม่พบการติดสี -

5.2 ผลการศึกษาการแยกรงควัตถุสีด้วยวิธีโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ

ผลการศึกษา ระยะการเคลื่อนที่และค่า Retention factor (R_f) ของตัวอย่างสีย้อมธรรมชาติแต่ละชนิด โดยพบว่า *Caesalpinia sappan* L. มีค่า Rf สูงที่สุด (R_f = 0.70) รองลงมาคือ *Vaccinium* spp. (R_f = 0.66) ขณะที่ Brassica oleracea มีการเคลื่อนที่ในระดับปานกลาง (R_f = 0.44) ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างของการเคลื่อนที่ของรงควัตถุภายใต้สภาวะโครมาโทกราฟีเดียวกัน โดยรงควัตถุที่ได้จาก *Caesalpinia sappan* L. แสดงการเคลื่อนที่มากที่สุด แสดงผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะการเคลื่อนที่และค่า R_f ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีแบบกระดาษของสารสกัดสีย้อมธรรมชาติ

ตัวอย่างที่ใช้	ระยะทางที่สารเคลื่อนที่ได้ (cm)	ค่า R_f
Brassica oleracea var.	2.2	0.44
Caesalpinia sappan L.	3.5	0.7
Vaccinium spp.	3.3	0.66
Safranin O	4.8	0.95

5.3 ผลการศึกษาความเข้มของสีย้อมโดยใช้โปรแกรม ImageJ

ทำการวิเคราะห์ความเข้มของสีเชิงปริมาณโดยใช้โปรแกรม ImageJ ด้วยการวัดค่าเฉลี่ยความเข้มของพิกเซล (mean pixel intensity) และพื้นที่ของบริเวณที่สนใจ (ROI area) สำหรับช่องสีแดง (R) เขียว (G) น้ำเงิน (B) ของแต่ละตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มในช่องสีแดง (red-channel mean intensity) สูงที่สุดใน Brassica oleracea (201.536) และ Safranin O (197.094) ดังตารางที่ 3 จากการคำนวณ พบว่าดัชนีความแดง (redness index) (ตารางที่ 4) จากค่าดัชนีดังกล่าวพบว่า *Caesalpinia sappan* L. ให้สัญญาณความแดงสูงที่สุด (104.8675) รองลงมาคือ *Vaccinium* spp. (95.0775) และ Brassica oleracea (86.5835) ส่วน Safranin O ให้ค่าดัชนีความแดงอยู่ในระดับปานกลาง (78.8945) สำหรับชุดควบคุมที่ไม่ย้อมสี (No stain) มีค่าดัชนีความแดงต่ำ (28.3435)

ตารางที่ 3 ผลการวัดค่าเฉลี่ยความเข้มของสีและพื้นที่ ROI ด้วยโปรแกรม ImageJ

สี	สารตัวอย่าง	พื้นที่	ค่าเฉลี่ย
Green	*Brassica oleracea* var.	39428	119.873
	Caesalpinia sappan L.	34977	96.458
	Vaccinium spp.	35124	96.657
	Safranin O	31250	126.86
	No strain	30936	134.87
Red	*Brassica oleracea* var.	39602	201.536
	Caesalpinia sappan L.	34138	188.504
	Vaccinium spp.	35142	187.694
	Safranin O	31256	197.094
	No strain	30792	159.082

ตารางที่ 3 ผลการวัดค่าเฉลี่ยความเข้มของสีและพื้นที่ ROI ด้วยโปรแกรม ImageJ (ต่อ)

สี	สารตัวอย่าง	พื้นที่	ค่าเฉลี่ย
Blue	*Brassica oleracea* var.	39232	110.032
	Caesalpinia sappan L.	34146	70.815
	Vaccinium spp.	36466	88.576
	Safranin O	31270	109.539
	No stain	30934	126.607

ตารางที่ 4 ค่าการวิเคราะห์ดัชนีความแดง (Redness index)

สารตัวอย่าง	ค่าดัชนีความแดง
Brassica oleracea var.	86.5835
Caesalpinia sappan L.	104.8675
Vaccinium spp.	95.0775
Safranin O	78.8945
No stain	28.3435

6. อภิปรายผลการศึกษา

ผลการศึกษาครั้งนี้บ่งชี้ว่า สารสกัดจากพืชธรรมชาติสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นสีย้อมเนื้อเยื่อพืชในห้องปฏิบัติการระดับมัธยมศึกษาได้ อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการย้อมแตกต่างกันในเชิงคุณภาพตามชนิดพืชและองค์ประกอบของสารสีที่อยู่ในสารสกัดแต่ละชนิด เมื่อพิจารณาผลเชิงปริมาณจากการวิเคราะห์ภาพด้วยโปรแกรม ImageJ พบว่า *Caesalpinia sappan* L. (แก่นฝาง) ให้ค่า redness index สูงที่สุด (104.8675) รองลงมาคือ *Vaccinium* spp. (บลูเบอร์รี่) และ Brassica oleracea var. *capitata f. rubra* (กะหล่ำปลีม่วง) ผลดังกล่าวสะท้อนว่า สีย้อมจากธรรมชาติสามารถใช้ทดแทนสีย้อมสังเคราะห์ได้โดยให้ประสิทธิภาพที่ดี

ผลการสังเกตโครงสร้างเนื้อเยื่อหลังการย้อมสีภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็นว่า สารสกัดสีย้อมจาก *Caesalpinia sappan* L. (แก่นฝาง) และ *Vaccinium* spp. (บลูเบอร์รี่) สามารถย้อมติดได้ในทุกโครงสร้างของเนื้อเยื่อในระดับดี (+++) ถึงแม้ *Brassica oleracea* var. capitata f. rubra (กะหล่ำปลีม่วง) จะย้อมติดสีโครงสร้างได้น้อยกว่า แต่ทั้ง 3 ชนิดนี้ ให้ผลการย้อมสีที่ดีกว่าสีย้อมสังเคราะห์ Safranin O นอกจากนี้การย้อมติดสีมีความสัมพันธ์กับเนื้อเยื่อพืชโดยตรง จากผลที่ได้ เนื้อเยื่อ Parenchyma เป็นบริเวณที่ติดสีได้ชัดเจนกว่าบริเวณอื่น ขณะที่ epidermis sclerenchyma และ Vascular tissue มีแนวโน้มติดสีอ่อนกว่า หรือมีความสม่ำเสมอในการติดสีต่ำกว่าในบางสารสกัด และ collenchyma ให้การติดสีต่ำที่สุด รูปแบบดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการทางพฤกษกายวิภาคที่เนื้อเยื่อซึ่งมีผนังเซลล์หนาและมีการลิกนิฟิเคชันสูง มักแสดงการติดสีได้เด่นกว่าเนื้อเยื่อผนังบาง โดยเฉพาะเมื่อใช้สารสีที่สามารถเกิดปฏิสัมพันธ์กับองค์ประกอบของผนังเซลล์ได้ดี [6] นอกจากนี้การติดสีของสารสกัดแก่นฝางสัมพันธ์กับรงควัตถุหลักกลุ่ม brazilin ซึ่งสามารถถูกออกซิไดซ์ไปเป็น brazilein ที่ให้สีแดงเด่นชัด [7] ขณะที่รงควัตถุแอนโทไซยานินมีรายงานความเสถียรต่ำและไวต่อ pH แสง อุณหภูมิ และออกซิเจน [8] ดังนั้นสีจากแก่นฝางจึงมีแนวโน้มให้ความคงตัวในการใช้งานได้ดีกว่าแอนโทไซยานินภายใต้บางสภาวะการทดลองซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาครั้งนี้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ยังไม่ได้ตรวจสอบกลไกการจับของสารสีในระดับโมเลกุล การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาและประเมินผลเบื้องต้น

ในกรณีของบลูเบอร์รี่ (*Vaccinium* spp.) และกะหล่ำปลีม่วง (*Brassica oleracea* var. *capitata f. rubra*) ผลการย้อมที่ได้สามารถอธิบายได้บนพื้นฐานของสารสีหลักกลุ่ม anthocyanins ซึ่งเป็นรงควัตถุที่มีความไวต่อสภาพแวดล้อมอย่างมาก โดยเฉพาะค่า pH อุณหภูมิ แสง และออกซิเจน [8]

ผลการแยกสารด้วย paper chromatography ยังช่วยสนับสนุนข้อค้นพบจากการย้อมและการวิเคราะห์ภาพ โดยพบว่ากลุ่มสารสกัดธรรมชาติมีค่า R_f แตกต่างกัน โดยที่สารสกัดจาก *Caesalpinia sappan* L. (แก่นฝาง) มีค่าสูงที่สุด (0.70) ขณะที่ Safranin O มีค่า R_f สูงกว่า (0.95) ความแตกต่างของค่า R_f นี้สะท้อนความแตกต่างของสมบัติทางเคมีของสารสี เช่น ความมีขั้วและแรงยึดเหนี่ยวต่อเฟสอยู่กับที่ในระบบตัวทำละลายที่ใช้ ซึ่งสอดคล้องกับข้อสังเกตที่ว่าสารสกัดจากพืชแต่ละชนิดให้ความเข้มสีและรูปแบบการติดสีต่อเนื้อเยื่อต่างกัน ซึ่งบ่งชี้ว่า Safranin O สามารถละลายได้ดีในสารละลาย 70% ethanol และสามารถเคลื่อนที่ได้ดีกว่าสารสกัด ซึ่งสารสกัดมีปัจจัยหลายอย่างเช่น ความเข้มข้นของสาร ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด เป็นต้น [9] ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความแดง พบว่ามีค่าสูงใน *Caesalpinia sappan* L. (แก่นฝาง), *Vaccinium* spp. (บลูเบอร์รี่), และ *Brassica oleracea* var. *capitata f. rubra* (กะหล่ำปลีม่วง) ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 ชนิดให้ค่าดัชนีความเป็นสีแดงสูงกว่าสีย้อมสังเคราะห์ Safranin O ชี้ให้เห็นว่า จากการที่แก่นฝางมีสารกลุ่ม brazilin/brazilein ซึ่งให้โทนแดงและเปลี่ยนแปลงตาม pH ขณะที่บลูเบอร์รี่และกะหล่ำปลีม่วงอุดมไปด้วยสารกลุ่ม anthocyanins แม้สารสกัดจะมีค่า R_f ต่ำกว่า ใน Safranin O ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์การมีขั้วมากและยึดกับ stationary phase (เช่น กระดาษ) ของสารมากกว่า เมื่อย้อมเนื้อเยื่อ ความเข้มสีขึ้นกับ dye–tissue affinity และแรงยึดเหนี่ยวหลายชนิด รวมทั้งการที่รงควัตถุกลุ่ม anthocyanins/polyphenols สามารถเกิดการยึดหรือดูดซับกับโครงสร้าง polysaccharide ของผนังเซลล์พืช (เช่น cellulose และ pectin) ได้ จึงทำให้สารสกัดคงอยู่ในชิ้นเนื้อเยื่อและให้สีเข้มกว่าได้ [10]

ดังนั้นผลการศึกษานี้สนับสนุนว่าสารสกัดจากพืชธรรมชาติมีศักยภาพในการใช้เป็นสีย้อมเนื้อเยื่อพืช โดยเฉพาะ *Caesalpinia sappan* L. (แก่นฝาง) ซึ่งให้ผลเด่นทั้งในเชิงความเข้มสีและค่า redness จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับบริบทของโรงเรียนระดับมัธยมศึกษา เพื่อลดค่าใช้จ่าย และลดการใช้สารเคมี อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาพิจารณาร่วมกับองค์ประกอบทางเคมีของสารสีในพืชแต่ละชนิด รวมถึงข้อจำกัดด้านวิธีวิจัยที่อาจมีผลต่อการวิเคราะห์ภาพและการตีความผล และเสริมการวิเคราะห์องค์ประกอบสารสีด้วยเทคนิคเชิงเครื่องมือในระดับที่สูงขึ้น จึงจะมีศักยภาพสูงในการต่อยอดเป็นแนวทางการใช้สีย้อมทางพฤกษกายวิภาคในบริบทที่กว้างขึ้นต่อไป

7. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้และประเมินประสิทธิภาพของสีย้อมจากสารสกัดธรรมชาติรงควัตุกลุ่ม polyphenol ได้แก่ *Caesalpinia sappan* L. (แก่นฝาง), *Vaccinium* spp. (บลูเบอร์รี่) และ *Brassica oleracea* var. *capitata f. rubra* (กะหล่ำปลีม่วง) ในการย้อมเนื้อเยื่อลำต้นผักชีล้อม (Oenanthe javanica) เปรียบเทียบกับสีย้อมมาตรฐาน Safranin O พบว่าสารสกัดจากพืชแต่ละชนิดมีสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการย้อมเชิงคุณภาพ พบว่า สารสกัดจาก *Caesalpinia sappan* L. (แก่นฝาง) ให้ผลดีที่สุดในทุกเกณฑ์ ทั้งความชัดเจนของการติดสีในแต่ละส่วนของเนื้อเยื่อ มีความใกล้เคียงกับสีมาตรฐาน Safranin O มากที่สุด ในขณะที่การวิเคราะห์ความเข้มสีเชิงปริมาณด้วยโปรแกรม ImageJ พบว่า สารสกัดจากแก่นฝางให้ค่าดัชนีความแดงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสีย้อมสังเคราะห์ Safranin O

ทั้งนี้ สารสกัดธรรมชาติทุกชนิดที่นำมาทดสอบมีศักยภาพในการย้อมติดเนื้อเยื่อพืชได้ โดยเฉพาะสารสกัดจาก *Caesalpinia sappan* L. (แก่นฝาง) ชี้ให้เห็นว่าการเลือกใช้สีย้อมธรรมชาติสามารถนำมาประยุกต์ใช้การทำปฏิบัติการย้อมเนื้อเยื่อพืชระดับมัธยมศึกษาได้จริง

เอกสารอ้างอิง

[1] Ruzin, S.E. (1999). Plant microtechnique and microscopy.

[2] Maceda, A., Andrés-Hernández, A. R., & Terrazas, T. (2024). Protocol to analyse the structural composition by fluorescence microscopy and different conventional and fluorescence staining methods. MethodsX, 13.

[3] United Nations Department of Economic and Social Affairs, S.D. (2025). The Sustainable Development Goals Report 2025. United Nations.

[4] Sachdev, S.S., Chettiankandy, T. J., Sonawane, S. G., Sardar, M. A., Kende, P. P., & Pakhmode, V. (2021). Toward developing natural histologic stains using anthocyanins: A novel approach. Journal of Oral and Maxillofacial Pathology, 25(1), 199.

[5] นภัสสรณ์ กุยวารี และอรวรรณ วนะชีวิน. (2566). สีสกัดจากฝางและอัญชัญสำหรับการย้อมสีเนื้อเยื่อพืชแบบย้อมทับ. วารสาร มรภ.กพ.วิทยาศาสตร คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี, 2(1).

[6] Vij, R., Sharma, M., Prashar, R., & Kaushik, P. (2023). Therapeutic and technological applications of Caesalpinia sappanL.: A review. Molecules, 28(17).

[7] Dapson, R.W., & Bain, C. L. (2015). Brazilwood, sappanwood, brazilin and the red dye brazilein: from textile dyeing and folk medicine to biological staining and musical instruments. Biotech Histochemistry, 90(6), 401-423.

[8] Xue, H., Zhao, J., Wang, Y., Shi, Z., Xie, K., Liao, X., & Tan, J. (2024). Factors affecting the stability of anthocyanins and strategies for improving their stability: A review. Food Chemistry, 24.

[9] Baron, G., Ferrario, G., Marinello, C., Carini, M., Morazzoni, P., & Aldini, G. (2021). Effect of extraction solvent and temperature on polyphenol profiles, antioxidant and anti-inflammatory effects of red grape skin by-product. Molecules, 26(18).

[10] Shahidi, F., & Athiyappan, K. D. (2025). Polyphenol–polysaccharide interactions: Molecular mechanisms and potential applications in food systems – A comprehensive review. Food Production, Processing and Nutrition, 7(1), 42.

การพัฒนาวิธีตรวจหาแบคทีเรียประจำถิ่นแบบรวดเร็วด้วยเทคนิคเทคโนโลยีชีวภาพโมเลกุล เพื่อการควบคุมที่มีประสิทธิภาพในระบบบำบัดน้ำเสีย

วัลย์สห คุ้มครองวงจี[1], นภัสสร บุญสร้าง[1], ณัฐกาญจน์ ศิริพรพันธ์[1], สุนทรี คำก้อนแก้ว[1], เบญญาภา ถาบัวรี[1], เวโรจน์ ต๊ะตุ้ย[2], และ ธีราวุฒิ ภู่สันติสัมพันธ์[1*]

[1]ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ประเทศไทย
[2]บริษัทอายิโนะโมะโต๊ะ (ประเทศไทย) จำกัด โรงงานอยุธยา ประเทศไทย
**Corresponding author: phusantisampan.t@gmail.com*

บทคัดย่อ

ปัญหาตะกอนบวม ซึ่งเกิดจากการเจริญอย่างเกินสมดุลของแบคทีเรียกลุ่มเส้นใย ส่งผลให้การแยกตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง มีประสิทธิภาพลดลง การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ระบุชนิดแบคทีเรียที่ไม่เป็นเส้นใยในระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมจริงด้วยเทคนิคเทคโนโลยีชีวภาพโมเลกุล และ 2) ทดสอบศักยภาพของแบคทีเรียที่ไม่เป็นเส้นใยที่คัดแยกได้ ในการควบคุมปัญหาดังกล่าว ศึกษาโดยเก็บตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดที่กำลังประสบปัญหาตะกอนบวม นำมาเพาะเลี้ยงและคัดแยกเชื้อแบคทีเรีย จากนั้นนำมาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาและระบุชนิดแบคทีเรียที่ไม่เป็นเส้นใยโดยการวิเคราะห์ลำดับยีน 16S rRNA ขั้นตอนต่อไปนำแบคทีเรียที่ไม่เป็นเส้นใยจากตะกอนที่มีเสถียรภาพดี เพื่อเสริมเข้าสู่ระบบปฏิกรณ์ชีวภาพจำลองที่มีการเหนี่ยวนำให้เกิดตะกอนบวม ผลการศึกษาพบว่า เชื้อที่คัดแยกได้มีลักษณะโคโลนีสีขาวขุ่น ผิวเรียบ ขอบเรียบ ผลการย้อมแกรมพบเป็นแท่งสั้นสีม่วงเรียงตัวเป็นสายสั้นๆ การวิเคราะห์ลำดับยีน 16S rRNA ระบุว่าเป็นคือ *Bacillus cereus* strain 1 และการเสริมแบคทีเรียที่ไม่เป็นเส้นใยที่คัดแยกได้สามารถช่วยลดสัดส่วนของแบคทีเรียเส้นใย ทำให้ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนของตะกอนจุลินทรีย์ได้ สรุปได้ว่าแนวทางบูรณาการที่ผสมผสานการวินิจฉัยเชิงโมเลกุลกับการควบคุมโดยชีววิธีนี้ เป็นกลยุทธ์ที่มีศักยภาพสูงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในการป้องกันและแก้ไขปัญหาตะกอนบวมได้อย่างจำเพาะเจาะจง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มเสถียรภาพในการดำเนินงานและยกระดับคุณภาพน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ตะกอนบวม / แบคทีเรียเส้นใย / เทคโนโลยีชีวภาพโมเลกุล / การควบคุมโดยชีววิธี / ระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

Development of a rapid molecular biotechnology-based detection method for indigenous bacteria to enhance control efficiency in wastewater treatment systems

Vansaha Kumkrongvajee[1], Napussorn Bunsang[1], Nattakan Siripornpan[1], Soontari Komkonekaew[1], Benyapa Thabuaree[1], Waroch Tatuy[2], Theerawut Phusantisampan[1*]

[1]Department of Biotechnology Faculty of Applied Science King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand
[2]Ajinomoto co. (Thailand) ltd. Ayutthaya Factory, Thailand
**Corresponding author: phusantisampan.t@gmail.com*

Abstract

Sludge bulking, caused by the excessive proliferation of filamentous bacteria, significantly reduces the separation efficiency of microbial sludge in activated sludge wastewater treatment systems. This study aimed to: 1) identify the non-filamentous bacteria in an actual industrial wastewater treatment system using molecular biotechnology techniques, and 2) evaluate the potential of isolated non-filamentous bacteria to control and inhibit this problem. Sludge samples were collected from a treatment plant experiencing bulking phenomena. Bacteria were cultivated and isolated from these samples. The morphological characteristics of the non-filamentous bacteria were analyzed, and their species were identified through 16S rRNA gene sequencing. Subsequently, non-filamentous bacteria, isolated from a well-settling sludge, were introduced into a laboratory-scale bioreactor where sludge bulking had been artificially induced. The results demonstrated that the isolated bacterium exhibited opaque white colonies with a smooth, entire margin. Gram staining revealed short, purple (Gram-positive) rods arranged in short chains. 16S rRNA gene sequence analysis identified it as *Bacillus cereus* strain 1. Furthermore, the augmentation with the selected non-filamentous bacteria effectively reduced the proportion of filamentous bacteria, leading to a significant decrease in the Sludge Volume Index (SVI) and a notable improvement in sludge settleability. In conclusion, this integrated approach, combining molecular diagnostics with biological control, represents a highly promising and environmentally friendly strategy for the specific prevention and remediation of sludge bulking. This method not only enhances operational stability but also effectively improves the effluent quality of industrial wastewater treatment system.

Keywords: Sludge bulking / Filamentous bacteria / Molecular biotechnology / Biological control / Industrial wastewater treatment system

1. บทนำ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (activated sludge process) เป็นระบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรม เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอาหาร ระบบอาศัยการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ที่รวมตัวกันเป็นฟล็อค (floc) ซึ่งสามารถตกตะกอนแยกออกจากน้ำใสได้ง่าย [1] อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญประการหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบคือ ปัญหาตะกอนบวม (sludge bulking) ซึ่งเกิดจากการเจริญเติบโตมากเกินไปของแบคทีเรียกลุ่มเส้นใย (filamentous bacteria) จนทำให้โครงสร้างฟล็อคหลวม น้ำหนักเบา และตกตะกอนได้ช้าหรือไม่ตกตะกอน [2]

ผลกระทบของตะกอนบวมทำให้ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (Sludge Volume Index: SVI) สูงขึ้น (>150 มิลลิลิตรต่อกรัม) ส่งผลให้ตะกอนจุลินทรีย์หลุดลอยปนออกไปกับน้ำทิ้ง (effluent) ทำให้คุณภาพน้ำทิ้งไม่ได้มาตรฐานและเพิ่มภาระในการจัดการ [3] แบคทีเรียเส้นใยที่มักพบว่าเป็นสาเหตุของปัญหาในระบบอุตสาหกรรม ได้แก่ *Microthrix parvicella*, *Nocardia* spp., Type 0041 และ Type 0675 เป็นต้น [4]

แนวทางการควบคุมตะกอนบวมในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี ทั้งการใช้สารเคมี เช่น คลอรีน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือโพลิเมอร์ ซึ่งให้ผลรวดเร็วแต่อาจเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์และมีค่าใช้จ่ายสูง [5] การควบคุมทางกายภาพ เช่น การปรับอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) การควบคุมอายุตะกอน หรือการเติมออกซิเจน เป็นวิธีที่ปลอดภัยแต่ต้องใช้เวลาและความเข้าใจในระบบอย่างลึกซึ้ง [6]

วิธีการเสริมชีวภาพ (bioaugmentation) หรือการเติมจุลินทรีย์ที่มีศักยภาพลงในระบบ เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีความจำเพาะเจาะจง [7] โดยเฉพาะการใช้แบคทีเรียที่ไม่เป็นเส้นใย (non-filamentous bacteria) ที่มีความสามารถในการแข่งขันกับแบคทีเรียเส้นใยด้านอาหารและพื้นที่อยู่อาศัย ส่งผลให้สัดส่วนของแบคทีเรียเส้นใยลดลงและตะกอนกลับมามีคุณภาพการตกตะกอนที่ดี [8] แบคทีเรียในสกุล *Bacillus* เป็นกลุ่มที่มีศักยภาพสูง เนื่องจากสามารถสร้างเอนโดสปอร์ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง และสามารถสร้างสารยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียอื่นได้ [9]

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมามักใช้จุลินทรีย์ทางการค้าหรือจุลินทรีย์จากต่างถิ่น ซึ่งอาจไม่สามารถปรับตัวเข้ากับระบบบำบัดจริงได้ดีเท่าที่ควร [10] ดังนั้น การคัดแยกจุลินทรีย์ประจำถิ่น (indigenous microorganisms) ที่มีอยู่แล้วในระบบและมีศักยภาพสูงในการควบคุมตะกอนบวม น่าจะเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืนกว่า

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแยกและระบุชนิดแบคทีเรียที่ไม่เป็นเส้นใยจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมจริงที่กำลังประสบปัญหาตะกอนบวม และทดสอบประสิทธิภาพในการควบคุมตะกอนบวมในระบบจำลองแบบ SBR โดยหวังว่าจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีควบคุมตะกอนบวมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถประยุกต์ใช้ได้จริงในภาคอุตสาหกรรมต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อคัดแยกและระบุชนิดของแบคทีเรียที่ไม่เป็นเส้นใย (non-filamentous bacteria) จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของโรงงานอุตสาหกรรม ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ลำดับยีน 16S rRNA
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่คัดแยกได้ในการลดค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ในระบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) จำลองที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดภาวะตะกอนบวม
3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ (TOC) และไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ระหว่างการเสริมแบคทีเรียบาซิลัสเพียงชนิดเดียว การเสริมแบคทีเรียคอคคัสเพียงชนิดเดียว และการเสริมร่วมกันทั้งสองชนิด

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาและคัดแยกแบคทีเรียที่ไม่เป็นเส้นใยจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งจากโรงงาน อายิโนะโมะโต๊ะ อยุธยา
2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพจะจำกัดอยู่ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการ เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างแบคทีเรียในระบบและแบคทีเรียที่คัดแยกมา

4. วิธีการศึกษา

4.1 การเก็บและเตรียมตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างตะกอนจุลินทรีย์ (mixed liquor) จากบ่อเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอายิโนะโมะโต๊ะ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งกำลังประสบปัญหาตะกอนบวม (มีค่า SVI สูงกว่า 200 มิลลิลิตรต่อกรัม) โดยใช้ขวดเก็บตัวอย่างพลาสติกปลอดเชื้อขนาด 1 ลิตร จำนวน 3 ขวด จากนั้นรักษาสภาพตัวอย่างด้วยการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

4.2 การคัดแยกและคัดเลือกจุลินทรีย์

นำตัวอย่างน้ำเสียมาเจือจางด้วย 0.85% NaCl ให้ได้ความเข้มข้น 10^{-1} ถึง 10^{-5} จากนั้นทำการ spread plate บนอาหาร nutrient agar (NA) ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 - 48 ชั่วโมง คัดเลือกโคโลนีที่มีลักษณะแตกต่างกัน (สี ขนาด รูปร่าง ขอบ) มาทำการ streak plate บนอาหาร NA ซ้ำเพื่อให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ จากนั้นนำไปย้อมสีแกรมและส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อดูรูปร่างและการจัดเรียงตัว

4.3 การเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของยีน 16s rRNA ด้วยเทคนิค colony PCR และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่องมือทางชีวสารสนเทศ

นำโคโลนีของแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงบนอาหารคัดเลือกมาตรวจสอบด้วยเทคนิค Colony PCR เพื่อเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนยีน 16S rRNA โดยใช้ไพรเมอร์สากล 27F (5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3') และ 1492R (5'-GGTTACCTTGTTACGACTT-3') [11] ส่วนผสมปฏิกิริยา PCR ประกอบด้วย โคโลนีแบคทีเรีย 1 โคโลนี, 0.5X MyTaq reaction buffer, PCR master mix (ประกอบด้วย dNTP, $MgCl_2$ และ DNA polymerase) ปริมาตร 10 ไมโครลิตร, ไพรเมอร์ forward และ reverse ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ อย่างละ 1.25 ไมโครลิตร และเติมน้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อจนได้ปริมาตรรวม 50 ไมโครลิตร สภาวะการทำ PCR มีดังนี้: เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที (1 รอบ) ตามด้วยการ Denaturation ที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที, Annealing ที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที และ Extension ที่ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที รวม 40 รอบ และสิ้นสุดด้วย Extension ที่ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที (1 รอบ) ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ PCR ด้วยวิธี agarose gel electrophoresis ความเข้มข้น 1.5% เปรียบเทียบกับ DNA marker ขนาด 100 bp จากนั้นส่งตัวอย่างเพื่อหาลำดับนิวคลีโอไทด์โดยวิธี direct DNA sequencing นำลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้มาเปรียบเทียบความเหมือนกับลำดับในฐานข้อมูล GenBank โดยใช้โปรแกรม BLAST (https://blast.ncbi.nlm.nih.gov) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการด้วยโปรแกรม MEGA (Molecular Evolutionary Genetics Analysis) [12]

4.4 การจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SBR

4.4.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ตามสูตรดัดแปลงจาก [13] ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบในน้ำเสียสังเคราะห์

ส่วนประกอบ	ความเข้มข้น (มก./ล.)
กลูโคส ($C_6H_{12}O_6$)	500
เปปโทน	250
แอมโมเนียคลอไรด์ (NH_4Cl)	50
ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4)	10
แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$)	5
แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)	2

4.4.2 การเหนี่ยวนำให้เกิดตะกอนบวม

เหนี่ยวนำให้เกิดตะกอนบวมในระบบจำลอง โดยควบคุมให้มีอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์เริ่มต้น (F/M ratio) สูง (>0.5 กก.ซีโอดี/กก.เอ็มแอลเอสเอส/วัน) และควบคุมความเข้มข้นออกซิเจนละลาย (DO) ให้ต่ำ (<1 มก./ล.) ในช่วง 7 วันแรกของการทดลอง [14]

4.4.3 ชุดการทดลอง

ทำการทดลองในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปริมาตรทำงาน 150 มิลลิลิตร แบ่งเป็น 4 กลุ่มการทดลอง กลุ่มละ 3 ซ้ำ ได้แก่

กลุ่ม C (Control): น้ำเสียสังเคราะห์ + เชื้อจากระบบบำบัดจริง 15 มล., กลุ่ม G1: น้ำเสียสังเคราะห์ + เชื้อจากระบบ 10 มล. + เชื้อ *Bacillus* (G1) 5 มล., กลุ่ม G2: น้ำเสียสังเคราะห์ + เชื้อจากระบบ 10 มล. + เชื้อ Coccus (G2) 5 มล., กลุ่ม G3: น้ำเสียสังเคราะห์ + เชื้อจากระบบ 10 มล. + เชื้อ *Bacillus* 2.5 มล. + เชื้อ Coccus 2.5 มล.

4.4.4 สภาวะการเดินระบบ

เดินระบบแบบกะ (Batch) โดยวางบนเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 28 วัน เก็บตัวอย่างทุก 7 วัน เพื่อวิเคราะห์ค่าต่างๆ

4.5 การวิเคราะห์ค่าต่างๆ

- **ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI):** วัดตามวิธีการมาตรฐาน [13] โดยคำนวณจากปริมาตรตะกอนที่ตกตะกอนใน 30 นาที (SV30) หารด้วยความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (MLSS)
- **ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC):** วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Total Organic Carbon Analyzer (รุ่น TOC-L, Shimadzu, ญี่ปุ่น)
- **ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TN):** วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Total Nitrogen Measuring Unit (รุ่น TNM-L, Shimadzu, ญี่ปุ่น) ต่อกับเครื่อง TOC Analyzer
- **การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของฟล็อคและแบคทีเรียเส้นใย:** ย้อมสีแกรมและส่องกล้องจุลทรรศน์ (1000X) เพื่อประเมินสัดส่วนของแบคทีเรียเส้นใยด้วยสายตา [4]

4.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (Repeated Measures ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 26 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) และเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni

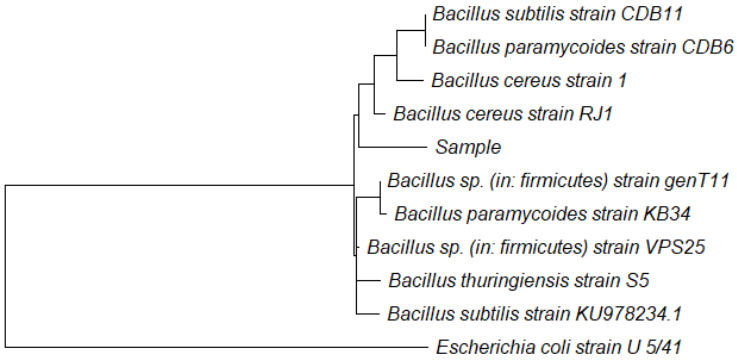
5. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

5.1 การคัดแยกและระบุชนิดแบคทีเรีย

ผลการคัดแยกเชื้อจากตัวอย่างน้ำเสีย พบโคโลนีลักษณะแตกต่างกัน 3 ชนิด เมื่อนำมาย้อมสีแกรม พบลักษณะโคโลนีดังนี้

1. เชื้อชนิดที่ 1: ลักษณะโคโลนีสีขาวขุ่น ผิวเรียบ ขอบเรียบ ผลการย้อมแกรมพบเป็นแท่งสั้น สีม่วง (แกรมบวก) เรียงตัวเป็นสายสั้นๆ
2. เชื้อชนิดที่ 2: ลักษณะโคโลนีสีเหลืองอ่อน ผิวมัน ขอบเรียบ ผลการย้อมแกรมพบเป็นทรงกลม สีม่วง (แกรมบวก) เรียงตัวเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่น
3. เชื้อชนิดที่ 3: ลักษณะโคโลนีสีขาวขุ่น ทึบแสง ขอบหยักไม่สม่ำเสมอ พื้นผิวแห้งและขรุขระ ผลการย้อมแกรมพบเป็นแท่งยาว สีม่วง (แกรมบวก) เรียงตัวเป็นกลุ่มแท่งยาว

จากนั้นทำคัดกรองเบื้องต้นจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยพิจารณาเลือกเฉพาะเชื้อชนิดที่ 1 นำไปวิเคราะห์ลำดับยีน 16S rRNA เนื่องจากเป็นสายพันธุ์เด่น ที่มีลักษณะโคโลนีและรูปร่างเซลล์สอดคล้องกับกลุ่มแบคทีเรียเป้าหมาย เมื่อนำเชื้อชนิดที่ 1 ไปวิเคราะห์ลำดับยีน 16S rRNA (รูปที่ 1) ผลการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล GenBank พบว่ามีความเหมือน (identity) กับ *Bacillus cereus* strain 1 มากที่สุดที่ 98.41% (Accession No. MT539991.1) จึงระบุชื่อแบคทีเรียชนิดนี้ว่า *Bacillus cereus* BTS1



รูปที่ 1 phylogenetic tree ของยีน 16s rRNA ด้วยวิธีการของ UPGMA method

5.2 ประสิทธิภาพของระบบจำลองบำบัดน้ำเสีย

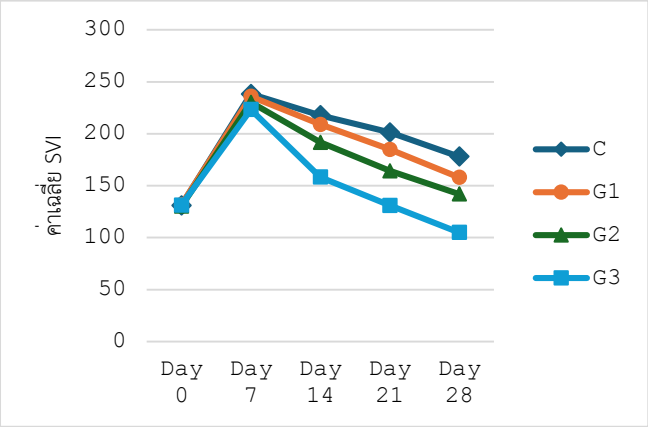
5.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI)

ผลการวิเคราะห์ค่า SVI ตลอด 28 วันแสดงในรูปที่ 2 พบว่าในช่วง 7 วันแรกของการเหนี่ยวนำ ทุกกลุ่มทดลองมีค่า SVI เพิ่มขึ้นสูง (>200 มล./ก.) บ่งชี้ว่าเกิดภาวะตะกอนบวม หลังจากวันที่ 7 เป็นต้นไป กลุ่ม G3 (เสริมเชื้อร่วม) มีค่า SVI ลดลงอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง จนในวันที่ 28 มีค่า SVI ต่ำที่สุด (105 ± 12 มล./ก.) รองลงมาคือกลุ่ม G2 (142 ± 10 มล./ก.) กลุ่ม G1 (158 ± 14 มล./ก.) และกลุ่มควบคุม (178 ± 15 มล./ก.) ตามลำดับ

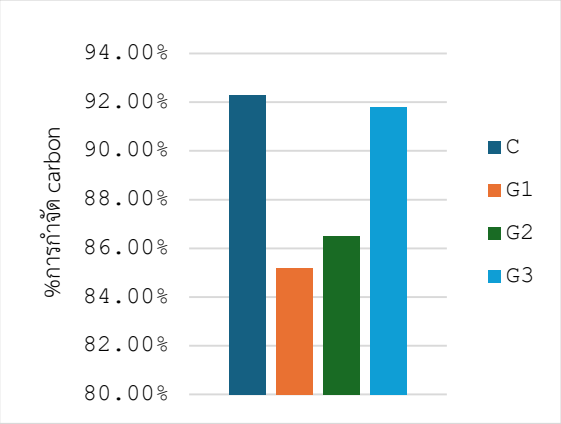
5.2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ (TOC)

ผลการวิเคราะห์ TOC พบว่าทุกกลุ่มมีแนวโน้มการลดลงของ TOC ตามระยะเวลา ($p < 0.05$) ดังแสดงในรูปที่ 3 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 28) กลุ่มควบคุม (C) และกลุ่ม G3 มีประสิทธิภาพการกำจัด TOC สูงสุดที่ 92.3% และ 91.8%

ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่กลุ่ม G1 และ G2 มีประสิทธิภาพการกำจัด TOC ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (85.2% และ 86.5% ตามลำดับ, $p < 0.05$)



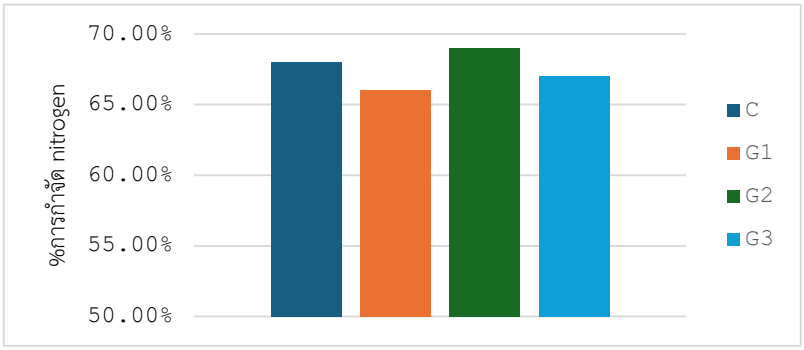
รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่า SVI ตลอดระยะเวลา 28 วัน



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัด TOC ของกลุ่มทดลองต่างๆ

5.2.3 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด (TN)

ผลการวิเคราะห์ TN (รูปที่ 4) พบว่าทุกกลุ่มทดลองมีประสิทธิภาพการกำจัด TN เพิ่มขึ้นตามระยะเวลา โดยในวันที่ 28 ทุกกลุ่มมีประสิทธิภาพการกำจัด TN อยู่ในช่วง 65-70% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเสริมเชื้อ *B. cereus* BTS1 และแบคทีเรียคอคคัสไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อกระบวนการกำจัดไนโตรเจนในระบบ



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัด TN ของกลุ่มทดลองต่างๆ

5.2.4 การสังเกตสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์

การย้อมสีแกรมและส่องกล้องจุลทรรศน์ในวันที่ 28 พบว่ากลุ่มควบคุม (C) ยังคงมีแบคทีเรียเส้นใยปรากฏให้เห็นในสัดส่วนสูง ขณะที่กลุ่ม G3 พบแบคทีเรียเส้นใยน้อยมาก และพบฟล็อคที่มีขนาดกะทัดรัดและขอบเขตชัดเจน สอดคล้องกับค่า SVI ที่ต่ำ

อภิปรายผล

การคัดแยกแบคทีเรียที่ไม่เป็นเส้นใยจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่กำลังประสบปัญหาตะกอนบวม พบว่าแบคทีเรียเด่นชนิดหนึ่งคือ *B. cereus* BTS1 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ที่พบว่า *Bacillus* spp. เป็นแบคทีเรียกลุ่มหลักที่พบในระบบตะกอนเร่งและมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ [9, 18] ความสามารถในการสร้างเอนโดสปอร์ทำให้ *Bacillus* ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่รุนแรงและสามารถคงอยู่ในระบบได้นาน [17]

ผลการทดลองในระบบ SBR พบว่าการเสริม *B. cereus* ร่วมกับแบคทีเรียคอคคัส (G3) สามารถลดค่า SVI ได้ดีที่สุดและมีประสิทธิภาพการกำจัด TOC เทียบเท่ากลุ่มควบคุม ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ว่าความหลากหลายทางชีวภาพ (biodiversity) ที่สูงขึ้นช่วยให้ระบบมีเสถียรภาพและฟื้นตัวจากสภาวะวิกฤติได้ดีกว่า [18] การทำงานร่วมกัน (synergistic effect) ระหว่าง *Bacillus* ซึ่งมีความสามารถในการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ [19] และแบคทีเรียคอคคัสซึ่งอาจมีบทบาทในการสร้างโครงสร้างฟล็อค [18] อาจเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้กลุ่ม G3 มีประสิทธิภาพดีที่สุด ทั้งนี้ เนื่องจากการศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การระบุชนิดของแบคทีเรียสายพันธุ์เด่นเป็นหลัก ยังไม่ได้ทำการจำแนกชนิดแบคทีเรียกลุ่มคอคคัสในระดับโมเลกุล ซึ่งควรดำเนินการในอนาคต

อย่างไรก็ตาม กลุ่มที่เสริม *Bacillus* เพียงชนิดเดียว (G1) และกลุ่มที่เสริมคอคคัสเพียงชนิดเดียว (G2) มีประสิทธิภาพการกำจัด TOC ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ อาจเป็นเพราะในช่วงแรกของการเติมเชื้อ เกิดการแข่งขันกันเองระหว่างจุลินทรีย์ในระบบ (competition) ทำให้ต้องใช้เวลาในการปรับตัว (lag phase) นานขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดลง [21] ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการเลือกใช้จุลินทรีย์หลายชนิดร่วมกันมีความสำคัญมากกว่าการใช้จุลินทรีย์เดี่ยว

ประสิทธิภาพการกำจัด TN ที่ไม่แตกต่างกันในทุกกลุ่มทดลอง แสดงให้เห็นว่าไนโตรเจนส่วนใหญ่ในระบบนี้น่าจะถูกกำจัดผ่านกระบวนการนำไปใช้สร้างเซลล์ (assimilation) ซึ่งเป็นกระบวนการที่แบคทีเรียทั่วไปสามารถทำได้ [22] มากกว่ากระบวนการไนตริฟิเคชัน-ดีไนตริฟิเคชันที่ต้องการจุลินทรีย์เฉพาะทาง ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้คือเป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ (lab-scale) ในระบบ Batch ซึ่งอาจไม่สามารถสะท้อนพฤติกรรมของระบบจริง (full-scale) ที่มีการไหลต่อเนื่องได้ทั้งหมด นอกจากนี้ ยังไม่ได้ทำการศึกษากลไกการแข่งขันระหว่าง *B. cereus* BTS1 กับแบคทีเรียเส้นใยในระดับโมเลกุล ซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

ทั้งนี้ข้อจำกัดสำคัญในการนำ *Bacillus cereus* สายพันธุ์ BTS1 ไปประยุกต์ใช้จริง คือประเด็นด้านความปลอดภัยทางชีวภาพ (Biosafety) เนื่องจากเชื้อชนิดนี้จัดอยู่ในกลุ่มเชื้อโรคระดับที่ 2 ที่อาจก่อโรคในคนและสัตว์ได้ (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง รายการเชื้อโรคที่ประสงค์ควบคุมตามมาตรา 18 พ.ศ. 2561) ดังนั้น การนำไปใช้งานในระบบบำบัดน้ำเสียจริงจึงต้องอยู่ภายใต้การควบคุมที่เข้มงวดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมและผู้ปฏิบัติงาน โดยในอนาคตควรมีการต่อยอดเพื่อตรวจหาสายพันธุ์ย่อยที่ไม่ก่อสารพิษ (Non-toxigenic strain) หรือพิจารณาเลือกใช้สารทุติยภูมิ (Secondary metabolites) ที่ผลิตจากเชื้อแทนการเติมเชื้อชีวิตลงในระบบโดยตรง

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้ประสบความสำเร็จในการคัดแยก *B. cereus* สายพันธุ์ BTS1 จากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม และทดสอบศักยภาพในการควบคุมปัญหาตะกอนบวมด้วยวิธีการเสริมชีวภาพ ผลการทดลองในระบบ SBR จำลองพบว่า:

1. สามารถคัดแยกแบคทีเรียที่ไม่เป็นเส้นใยจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ประสบปัญหาตะกอนบวม และระบุชนิดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ลำดับยีน 16S rRNA พบว่าคือ *Bacillus cereus* สายพันธุ์ BTS1

2. การนำแบคทีเรียที่คัดแยกได้ไปเสริมในระบบ SBR จำลอง สามารถควบคุมปัญหาตะกอนบวมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกลุ่มที่ G3 สามารถลดค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ได้ดีที่สุด เหลือเพียง 105 ± 12 มล./ก. ส่งผลให้ตกตะกอนได้ดีขึ้น

3. จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ พบว่ากลุ่ม G3 ให้ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) สูงสุดที่ 91.8% ซึ่งดีกว่าการเสริมแบบเชื้อเดี่ยว (G1และG2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ การเสริมจุลินทรีย์ทุกกลุ่มการทดลองไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ของระบบ

งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า การใช้จุลินทรีย์ประจำถิ่นแบบผสม (Mixed culture) มีศักยภาพสูงในการนำมาพัฒนาเป็นหัวเชื้อชีวภาพเพื่อควบคุมตะกอนบวม ทั้งนี้ เนื่องจากการจัดระดับความปลอดภัยทางชีวภาพของเชื้อ B. cereus (Biosafety Level 2) การนำผลวิจัยไปประยุกต์ใช้จริงในระดับอุตสาหกรรม จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมด้านการประเมินความเสี่ยงและสายพันธุ์ย่อยที่ไม่ก่อโรค เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดต่อผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อม

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท อายิโนะโมะโต๊ะ (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษา Talent Ajinomoto Scholarship เพื่อใช้ในการดำเนินงานวิจัยชิ้นนี้ การสนับสนุนดังกล่าวมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่ช่วยให้งานวิจัยบรรลุวัตถุประสงค์และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่สนับสนุนสถานที่ อุปกรณ์ และสารเคมีในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Burton, F. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

[2] Jenkins, D., Richard, M. G., & Daigger, G. T. (2004). *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming, and Other Solids Separation Problems* (3rd ed.). CRC Press.

[3] Martins, A. M. P., Pagilla, K., Heijnen, J. J., & van Loosdrecht, M. C. M. (2004). Filamentous bulking sludge—a critical review. *Water Research*, 38(4), 793-817.

[4] Eikelboom, D. H. (2000). *Process Control of Activated Sludge Plants by Microscopic Investigation*. IWA Publishing.

[5] Guo, J., Peng, Y., Wang, S., Zheng, Y., Huang, H., & Ge, S. (2018). Bioaugmentation for filamentous sludge bulking control: A review. *Bioresource Technology*, 265, 554-564.

[6] Metcalf & Eddy, Inc. (2013). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill.

[7] Herrero, M., & Stuckey, D. C. (2015). Bioaugmentation and its application in wastewater treatment: A review. *Chemosphere*, 140, 119-128.

[8] Guo, J., Wang, S., Lian, J., Ngo, H. H., Guo, W., Liu, Y., & Peng, Y. (2017). Rapid control of activated sludge bulking by a novel bioaugmentation strategy: Starvation and reactivation of *Sphaerotilus natans*. *Bioresource Technology*, 241, 722-729.

[9] Shchegolkova, N. M., Krasnov, G. S., Belova, A. A., Dmitriev, A. A., Kharitonov, S. L., Klimina, K. M., ... & Semenov, M. V. (2016). *Bacillus* species in activated sludge: diversity and potential role in wastewater treatment. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(20), 8923-8936.

[10] van Limbergen, H., Top, E. M., & Verstraete, W. (1998). Bioaugmentation in activated sludge: current features and future perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 50(1), 16-23.

[11] Frank, J. A., Reich, C. I., Sharma, S., Weisbaum, J. S., Wilson, B. A., & Olsen, G. J. (2008). *Critical evaluation of two primers commonly used for amplification of bacterial 16S rRNA genes. Applied and Environmental Microbiology*, 74(8), 2461-2470.

[12] Kumar, S., Stecher, G., Suleski, M., Sanderford, M., Sharma, S., & Tamura, K. (2024). *MEGA12: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 12 for adaptive and green computing. Molecular Biology and Evolution*, 41(12), msae263.

[13] Nopens, I., Capalozza, C., & Vanrolleghem, P. A. (2001). Stability analysis of a synthetic municipal wastewater. *Department of Applied Mathematics, Biometrics and Process Control*, University of Gent, Belgium.

[14] Wilén, B. M., & Balmér, P. (1999). The effect of dissolved oxygen concentration on the structure, size and size distribution of activated sludge flocs. *Water Research*, 33(2), 391-400.

[15] APHA, AWWA, & WEF. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association.

[16] Zhang, T., Shao, M. F., & Ye, L. (2012). 454 Pyrosequencing reveals bacterial diversity of activated sludge from 14 sewage treatment plants. *The ISME Journal*, 6(6), 1137-1147.

[17] Nicholson, W. L., Munakata, N., Horneck, G., Melosh, H. J., & Setlow, P. (2000). Resistance of *Bacillus* endospores to extreme terrestrial and extraterrestrial environments. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64(3), 548-572.

[18] Cardinale, B. J., Srivastava, D. S., Duffy, J. E., Wright, J. P., Downing, A. L., Sankaran, M., & Jouseau, C. (2006). Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. *Nature*, 443(7114), 989-992.

[19] Priest, F. G. (1977). Extracellular enzyme synthesis in the genus *Bacillus*. *Bacteriological Reviews*, 41(3), 711-753.

[20] Bossier, P., & Verstraete, W. (1996). Triggers for microbial aggregation in activated sludge? *Applied Microbiology and Biotechnology*, 45(1-2), 1-6.

[21] Thompson, I. P., van der Gast, C. J., Ciric, L., & Singer, A. C. (2005). Bioaugmentation for bioremediation: the challenge of strain selection. *Environmental Microbiology*, 7(7), 909-915.

[22] Henze, M., van Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (2008). *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design*. IWA Publishing.

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภัยพิบัติ
Climate Change and Disaster

Oral Presentation

การประเมินผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทาง Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” ของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ณัชลิดา แสนปราโมทย์[2], มยุรี ศรีสุวรรณ[1], นิตย์ทยา ทีฆาวงค์[1], และ นพเมศฐ์ รังสีเตชาวัฒน์[1*]

[1]หน่วยสิ่งแวดล้อมและอนุรักษ์พลังงาน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ประเทศไทย
[2]งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ประเทศไทย
**Corresponding author: noppamate.rag@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบเชิงบวกของการเดินทางแบบคาร์พูล (Carpool) หรือ "ทางเดียวกันไปด้วยกัน" ต่อการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเทียบกับการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลเพียงคนเดียว การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์จะดำเนินการในช่วงเวลา ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2566 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2568 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 2 ปี 8 เดือน โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นพนักงานและนักศึกษาในคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่เดินทางในเส้นทางเดียวกัน ข้อมูลการเดินทางถูกเก็บรวบรวมจากการเดินทางจากกรุงเทพมหานคร เขตพญาไท ไป นครปฐม เขตศาลายา บันทึกข้อมูลระยะทางและจำนวนผู้โดยสารในแต่ละเที่ยว

ผลการศึกษาพบว่า การเดินทางแบบคาร์พูล (Carpool) สามารถลดจำนวนรถยนต์บนท้องถนนและลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลเพียงคนเดียว โดยเฉลี่ยแล้ว การเดินทางแบบคาร์พูล (Carpool) สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 480,679.19 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า และลดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงลงได้ประมาณ 469,037.57 บาท ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่า การส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดการเดินทางแบบคาร์พูล (Carpool) อย่างจริงจัง ไม่เพียงแต่ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและมลพิษทางอากาศ แต่ยังช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายในการเดินทางของประชาชนได้อีกด้วย บทสรุปนี้ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการส่งเสริมนโยบายและสนับสนุนการเดินทางร่วมกันเพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: การเดินทางแบบคาร์พูล / ก๊าซเรือนกระจก / ภาวะโลกร้อน / การเดินทางอย่างยั่งยืน

Assessment of greenhouse gas emissions from carpool travel "same way, go together" of the Faculty of Dentistry, Mahidol University

Natchalida Sanpramote[2], Mayuree Srisuwan[1], Nittaya Teekawong[1], and Nabameshtha Rangsitejavadhana[1*]

1. Environmental and Energy Conservation Unit, Faculty of Dentistry, Mahidol University, Thailand
2. Physical and Environmental Unit, Faculty of Dentistry, Mahidol University, Thailand
**Corresponding author: noppamate.rag@mahidol.ac.th*

Abstract

This study aims to assess the positive impact of carpooling or "one way together" travel on greenhouse gas emissions reduction compared to traveling alone by personal vehicle. Data collection and analysis will be conducted over a period of 2 years and 8 months from January 1, 2023, to August 31, 2025, with a sample of 1,000 employees and students from the Faculty of Dentistry, Mahidol University, traveling the same route. Travel data was collected for trips from Bangkok, Phaya Thai District, to Nakhon Pathom, Salaya District, and recorded the distance and number of passengers for each trip.

The study found that carpooling significantly reduces the number of cars on the road and reduces fuel consumption compared to traveling alone by personal vehicle. On average, carpooling can reduce greenhouse gas emissions by approximately 480,679.19 kilogram of carbon dioxide equivalent and save fuel costs by approximately 469,037.57 baht. This result indicates that seriously promoting and supporting carpooling not only helps reduce environmental problems and air pollution but also reduces the burden of travel expenses for the public. This conclusion highlights the need to promote policies and support shared mobility as a part of sustainable solutions to environmental problems.

Keywords: Carpooling / Greenhouse gases / Global warming / Sustainable travel

1. บทนำ

โลกเผชิญกับปัญหาภาวะโลกร้อนที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น โดยองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) รายงานว่า น้ำแข็งธารน้ำแข็งที่ละลาย และระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นกำลังส่งผลกระบบต่อสังคม เศรษฐกิจ และระบบนิเวศในภูมิภาคมากขึ้น แนวโน้มภาวะโลกร้อนในเอเชียระหว่างปี พ.ศ. 2534 - 2565 สูงกว่าแนวโน้มภาวะโลกร้อนในช่วงปี พ.ศ. 2504 - 2533 เกือบสองเท่า [1] ภาวะดังกล่าวก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อม ระบบนิเวศ และสุขภาพของมนุษย์ รวมถึงภาวะคลื่นความร้อน ฝนตกหนักอย่างไม่สม่ำเสมอ คุณภาพอากาศเสื่อมโทรม และปัญหาฮีทสโตรกในหลายพื้นที่ของประเทศไทย [2] โดยปัญหาภาวะโลกกร้อนนั้น เกิดจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ หนึ่งในสาเหตุหลักเกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์ การคมนาคม ยานพาหนะบนท้องถนนมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด เพราะเครื่องยนต์แบบสันดาปภายในต้องอาศัยการเผาไหม้ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปิโตรเลียม ปริมาณการปล่อยมลพิษคิดเป็นเกือบ 1 ใน 4 ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [3] ดังนั้น คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เป็นองค์กร และสถานบันการศึกษาของประเทศไทย จึงเล็งเห็นความสำคัญของปัญหาดังกล่าว ปัจจุบันบุคลากรและนักศึกษาส่วนใหญ่ยังคงใช้รถยนต์ส่วนบุคคลในการเดินทางระหว่างพื้นที่พญาไท และพื้นที่ศาลายาของมหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งเป็นเส้นทางที่บุคลากรและนักศึกษาคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ต้องใช้เป็นประจำ ทั้งในการปฏิบัติงาน การเรียนการสอน การทำวิจัย และการเข้าร่วมกิจกรรมต่าง ๆ เนื่องจากคณะฯ มีภารกิจหลักทั้งในด้านบริการทางทันตกรรม การเรียนการสอน และการวิจัย จึงจำเป็นต้องมีการเดินทางเชื่อมโยงระหว่างสองพื้นที่อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดปัญหาหลายประการ ได้แก่ การจราจรหนาแน่นบนเส้นทางหลัก โดยเฉพาะช่วงเวลาเร่งด่วน ค่าใช้จ่ายในการเดินทางที่สูงขึ้นจากค่าน้ำมัน ค่าทางด่วน และค่าที่จอดรถ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และมลพิษทางอากาศ ความเครียด และความไม่สะดวกสบายในการเดินทางระยะทางไกล ด้วยเหตุนี้ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จึงมีแนวคิดในการจัดทำโครงการ Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” ขึ้น โดยการให้บริการรถตู้สำหรับบุคลากรและนักศึกษา เพื่อทดแทนการใช้รถยนต์ส่วนบุคคล โดยมุ่งเน้นการเดินทางร่วมกันในเส้นทางพื้นที่พญาไท - ศาลายา ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการจราจร ลดมลภาวะทางอากาศ เพิ่มความสะดวกสบายและความปลอดภัยในการเดินทาง อีกทั้งยังสนับสนุนนโยบายของมหาวิทยาลัยด้านการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development) และการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว (Green University)

จากเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการศึกษาการประเมินผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทาง Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” ของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ช่วยให้ทราบถึงปริมาณของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทาง นำไปสู่การจัดทำมาตรการด้านการเดินทางอย่างยั่งยืนของ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ต่อไป รวมถึงการแสดงถึงการมีส่วนร่วมรับผิดชอบต่อภาวะโลกร้อนที่เป็นปัญหาระดับโลก

2. วัตถุประสงค์

1. ลดค่าใช้จ่ายจากการเดินทางโดยใช้รถยนต์ส่วนบุคคล
2. ลดมลภาวะทางอากาศ และสนับสนุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทาง
3. ส่งเสริมวัฒนธรรมการเดินทางร่วมกัน (Carpool Culture)

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ผลงานการศึกษาเรื่อง การประเมินผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทาง Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” ของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล มีขอบเขตที่ชัดเจนดังนี้

1. ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การศึกษานี้จะมุ่งเน้นเฉพาะ บุคลากรและนักศึกษาของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ใช้บริการรถตู้ Carpool ของคณะฯ ในเส้นทาง พญาไท - ศาลายา เท่านั้น โดยไม่ได้ครอบคลุมกลุ่มผู้ใช้งานอื่น ๆ หรือเส้นทางอื่น

2. ขอบเขตด้านระยะเวลา

การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์จะดำเนินการในช่วงเวลา ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2566 ถึงวันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2568 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 2 ปี 8 เดือน

3. ขอบเขตด้านเนื้อหา

การศึกษาจะประเมินผลกระทบใน 2 ด้านหลัก ได้แก่:

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่ลดลงจากการใช้บริการรถตู้ขนาด 2,800 ซีซี ดีเซล เทียบกับการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลของผู้โดยสารในเส้นทางเดียวกัน ซึ่งในที่นี้ผู้วิจัยจะเทียบกับรถที่มีขนาดเดียวกัน เพื่อไม่ให้เกิดความเหลื่อมล้ำเรื่องรถยนต์และง่ายต่อการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ประสิทธิภาพของโครงการ Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” ที่ดำเนินการโดยคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล รวมถึงความถี่ในการใช้บริการและจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยต่อเที่ยว

4. ขอบเขตด้านพื้นที่และรูปแบบการเดินทาง

การศึกษาจะจำกัดเฉพาะการเดินทางบนเส้นทาง พญาไท - ศาลายา โดยใช้ข้อมูลจากรถตู้ดีเซลคุณภาพมาตรฐาน จำนวน 2 คัน ที่ให้บริการตามตารางเวลาที่กำหนด ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

รอบที่ 1: ไป 08.00 น. และกลับ 12.00 น.

รอบที่ 2: ไป 08.30 น. และกลับ 16.30 น.

ยกเว้นวันพุธ: ให้บริการเพียง 1 รอบ คือ ไป 08.00 น. และกลับ 12.00 น.

รูปที่ 1 รูปเวลาการเดินรถเส้นทาง พญาไท – ศาลายา

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

4.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data Collection)

ข้อมูลการเดินทาง

จำนวนผู้โดยสาร: บันทึกจำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถตู้ Carpool ทั้ง 2 คัน เลขทะเบียน 1นค7587 และ ฮอ4209 ในแต่ละเที่ยวเดินทาง (พญาไท - ศาลายา และ ศาลายา - พญาไท) โดยให้ผู้รับผิดชอบแต่ละเที่ยวทำแบบบันทึกประจำวัน เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลในการใช้วิเคราะห์

การใช้เชื้อเพลิงและระยะทาง: เก็บรวบรวมข้อมูลจากรายงานการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงของรถตู้ทั้งสองคัน และข้อมูลระยะทางรวมที่วิ่งในแต่ละวัน เพื่อคำนวณปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

ข้อมูลจากผู้ใช้งาน

จัดทำแบบสอบถาม เพื่อสำรวจพฤติกรรมการเดินทางของผู้ใช้บริการรถตู้ Carpool ก่อนเข้าร่วมโครงการ เช่น ข้อมูลการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล จำนวนผู้โดยสารโดยเฉลี่ย และระยะทางที่เดินทางต่อวัน ข้อมูลนี้จะใช้เป็นฐานในการเปรียบเทียบเพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น

4.1.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data Collection)

ข้อมูลจากเอกสาร

รวบรวมข้อมูลย้อนหลังจากรายงานการปฏิบัติงานของรถตู้ Carpool ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2566 ถึง 31 สิงหาคม พ.ศ. 2568 ซึ่งประกอบด้วย วันที่ให้บริการ, รอบเวลาเดินทาง (ตามที่ระบุในขอบเขตการศึกษา), จำนวนผู้โดยสารที่บันทึกไว้ในแต่ละเที่ยว และข้อมูลการเติมเชื้อเพลิง

ข้อมูลจากแหล่งอ้างอิง

สืบค้นค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor: EF) ของเชื้อเพลิงดีเซลจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ เช่น องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.) หรือคู่มือของ IPCC เพื่อแปลงข้อมูลกิจกรรมให้เป็นหน่วย “กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($kgCO_2eq$)” เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาต่อหน่วยการใช้เชื้อเพลิง

4.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

คำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจริง: นำข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงของรถตู้ Carpool เครื่องยนต์ดีเซล กระบอกสูบ 2,800 ซีซี มาคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่รวบรวมได้

คำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่คาดว่าจะเกิดขึ้น: นำข้อมูลจากจำนวนผู้ใช้บริการ มาคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่จะถูกปล่อยออกมา หากแต่ละคนเลือกเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล

เปรียบเทียบผล

นำปริมาณก๊าซเรือนกระจก ที่คำนวณได้จากทั้งสองส่วนมาเปรียบเทียบกัน เพื่อหาค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจากการดำเนินโครงการ Carpool และประเมินผลกระทบเชิงบวกต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวม

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาเรื่อง การประเมินผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทาง Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” ของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) และการคำนวณเชิงปริมาณเพื่อวิเคราะห์และนำเสนอผลลัพธ์ ดังนี้

4.2.1 วิธีการคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากรถยนต์

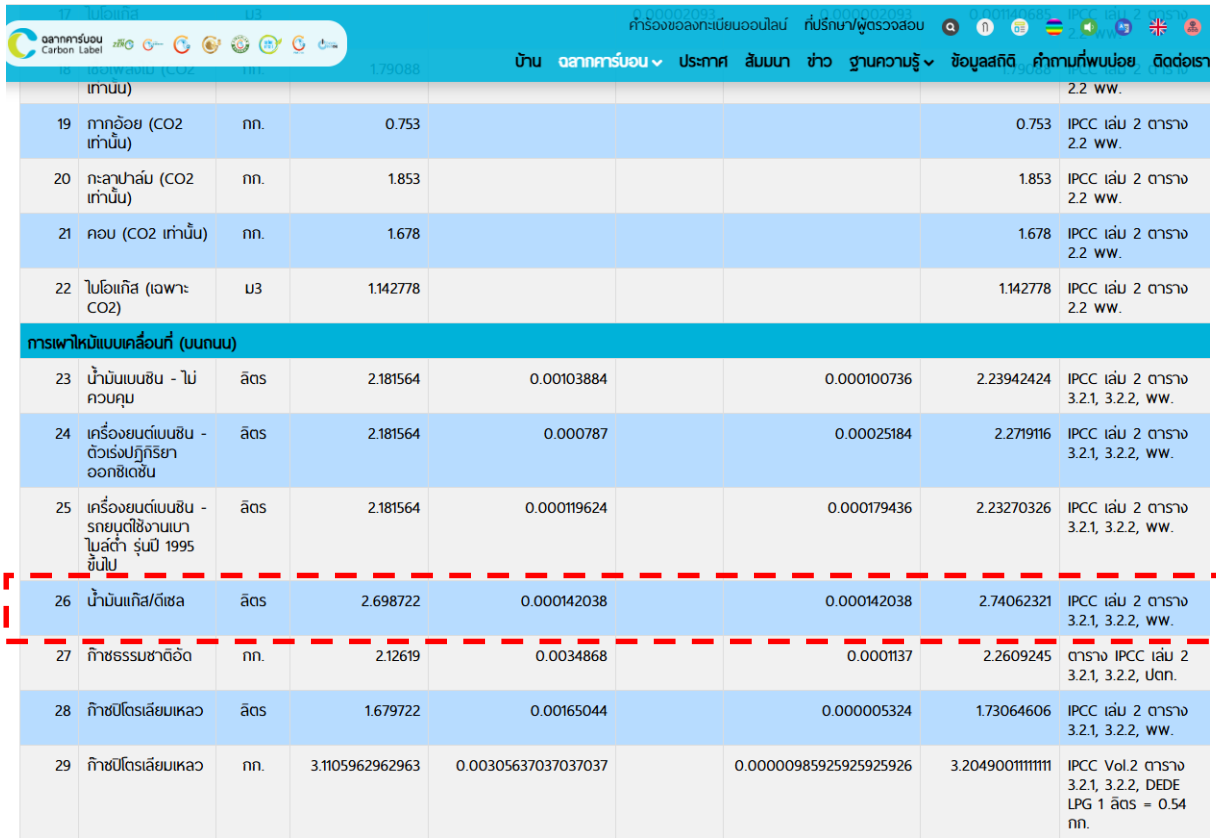
$$\text{อัตราการสิ้นเปลือง} = \frac{\text{ระยะทาง}}{\text{การบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง}} \quad [4]$$

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของรถยนต์ดีเซล ($kgCO_2eq$) = ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร) * ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$/ลิตร) [5] [6]

ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนของรถยนต์ดีเซลที่ผู้ศึกษานำมาคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากรถยนต์จากการเดินทาง Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” ของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นั้น จะเลือกใช้ค่าจากหน่วยงานที่มีความน่าเชื่อถือ เช่น องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.) หรือคู่มือของ IPCC กำหนดให้ค่า EF เครื่องยนต์ดีเซล มีค่าเท่ากับ 2.74062321 ($kgCO_2eq$/ลิตร) [7] แสดงดังรูปที่ 2

การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$) = การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$) รถยนต์ส่วนบุคคล - การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$) รถยนต์โครงการคาร์พูล [8]

$$\text{ร้อยละของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก} = \left[\frac{(\text{การปล่อยก๊าซเรือนกระจก รถยนต์ส่วนบุคคล } (kgCO_2eq) - \text{การปล่อยก๊าซเรือนกระจก รถยนต์โครงการคาร์พูล } (kgCO_2eq))}{\text{การปล่อยก๊าซเรือนกระจก รถยนต์ส่วนบุคคล } (kgCO_2eq)} \right] *100$$



								2.2 ww.
19	กากอ้อย (CO2 เท่านั้น)	กก.	0.753				0.753	IPCC เล่ม 2 ตาราง 2.2 ww.
20	กะลาปาล์ม (CO2 เท่านั้น)	กก.	1.853				1.853	IPCC เล่ม 2 ตาราง 2.2 ww.
21	คอบ (CO2 เท่านั้น)	กก.	1.678				1.678	IPCC เล่ม 2 ตาราง 2.2 ww.
22	ไบโอแก๊ส (เฉพาะ CO2)	ม3	1.142778				1.142778	IPCC เล่ม 2 ตาราง 2.2 ww.
การเผาไหม้แบบเคลื่อนที่ (บนถนน)								
23	น้ำมันเบนซิน - ไม่ควบคุม	ลิตร	2.181564	0.00103884		0.000100736	2.23942424	IPCC เล่ม 2 ตาราง 3.2.1, 3.2.2, ww.
24	เครื่องยนต์เบนซิน - ตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน	ลิตร	2.181564	0.000787		0.00025184	2.2719116	IPCC เล่ม 2 ตาราง 3.2.1, 3.2.2, ww.
25	เครื่องยนต์เบนซิน - รถยนต์ใช้งานเบาไมล์ต่ำ รุ่นปี 1995 ขึ้นไป	ลิตร	2.181564	0.000119624		0.000179436	2.23270326	IPCC เล่ม 2 ตาราง 3.2.1, 3.2.2, ww.
26	น้ำมันแก๊ส/ดีเซล	ลิตร	2.698722	0.000142038		0.000142038	2.74062321	IPCC เล่ม 2 ตาราง 3.2.1, 3.2.2, ww.
27	ก๊าซธรรมชาติอัด	กก.	2.12619	0.0034868		0.0001137	2.2609245	ตาราง IPCC เล่ม 2 3.2.1, 3.2.2, ปตท.
28	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	ลิตร	1.679722	0.00165044		0.000005324	1.73064606	IPCC เล่ม 2 ตาราง 3.2.1, 3.2.2, ww.
29	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	กก.	3.1105962962963	0.00305637037037037		0.00000985925925925926	3.20490011111111	IPCC Vol.2 ตาราง 3.2.1, 3.2.2, DEDE LPG 1 ลิตร = 0.54 กก.

รูปที่ 2 รูปแสดงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ที่มา: https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=EN&mod=YjNKbllXNXBlbUYwYVc5dVgyVnRhWE56YVc5dQ

4.2.2 วิธีการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินทาง

ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง (บาท) = จำนวนรถยนต์ (คัน) x ราคาเชื้อเพลิงดีเซล (บาท/ลิตร) x อัตราการสิ้นเปลือง (กิโลเมตร/ลิตร)

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (บาท) = ค่าใช้จ่ายในการเดินทางโดยรถยนต์ส่วนบุคคล (บาท) - ค่าใช้จ่ายในการเดินทางโดยรถยนต์โครงการ Carpool (บาท)

4.2.3 สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics)

สถิติส่วนนี้จะใช้เพื่อสรุปและอธิบายข้อมูลที่รวบรวมมาได้ในแต่ละวัน แต่ละสัปดาห์ หรือแต่ละเดือน ตลอดระยะเวลาการศึกษา 2 ปี 8 เดือน เพื่อให้เห็นภาพรวมของโครงการ “Carpool ทางเดียวกันไปด้วยกัน” ได้แก่ ค่าความถี่ (Frequency) และ ค่าร้อยละ (Percentage) ใช้เพื่อแสดงจำนวนครั้งของการใช้บริการ และสัดส่วนของผู้โดยสารในแต่ละรอบการเดินทาง รวมถึงความถี่ของการเดินทางในแต่ละวันของสัปดาห์ ค่าเฉลี่ย (Mean) ใช้คำนวณค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้โดยสารต่อเที่ยว และปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ยต่อวัน หรือต่อเดือน ค่าสูงสุด (Maximum) และค่าต่ำสุด (Minimum) ใช้เพื่อระบุจำนวนผู้โดยสารสูงสุด และต่ำสุดที่ใช้บริการในแต่ละเที่ยว

4.2.4 การคำนวณเชิงปริมาณ

ในส่วนนี้จะศึกษา เพื่อคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงจริง โดยใช้สูตรการคำนวณที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล ได้แก่

(ก) การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากรถตู้ Carpool [5] [6]

ผู้ศึกษาได้นำข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของรถตู้ Carpool ทั้ง 2 คัน มาคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของน้ำมันดีเซล เพื่อหาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทาง Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน”ที่ปล่อยออกมาตลอดระยะเวลาการศึกษา

(ข) การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากรถยนต์ส่วนบุคคลที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (ฐานอ้างอิง)

เนื่องจากผู้ศึกษาได้ตั้งข้อสันนิษฐานว่า การดำเนินโครงการ Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนจกได้ เมื่อเปรียบเทียบหากผู้โดยสารแต่ละคนเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลของตนเอง จากการรวบรวมข้อมูลระยะทางไป - กลับเส้นทางพญาไท - ศาลายา (กิโลเมตร) และข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงรถตู้คาร์พูล (Carpool) (ลิตร) ดังนี้

1. คำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง (กิโลเมตร/ลิตร) โดยนำข้อมูลระยะทางไป – กลับ เส้นทางพญาไท - ศาลายา (กิโลเมตร) หารด้วยปริมาณเชื้อเพลิงรถตู้คาร์พูล (ลิตร)

2. คำนวณหาระยะทางของการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล (กิโลเมตร) โดยนำข้อมูลจำนวนผู้โดยสารรถยนต์ส่วนบุคคล (คน) มาคูณกับระยะทางไป - กลับเส้นทางพญาไท - ศาลายา (กิโลเมตร)

3. คำนวณหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้หากผู้โดยสารแต่ละคนเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลของตนเอง (ลิตร) โดยนำระยะทางของการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล (กิโลเมตร) มาหารด้วยอัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง (กิโลเมตร/ลิตร)

4. คำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากรถยนต์ส่วนบุคคลที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (ฐานอ้างอิง) ($kgCO_2eq$) โดยนำปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้หากผู้โดยสารแต่ละคนเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลของตนเอง (ลิตร) มาคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$/ลิตร)

(ค) การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง [8]

การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง ($kgCO_2eq$) ตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการ คำนวณได้จากการนำค่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวมที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล ($kgCO_2eq$) ลบด้วยปริมาณก๊าซ

เรือนกระจกรวมการการเดินทางด้วยรถยนต์คาร์พูล ($kgCO_2eq$) ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงให้เห็นถึง "ผลกระทบเชิงบวกสุทธิ" ของโครงการ Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษาการประเมินผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเดินทาง Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” ของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล พบว่า การเดินทางแบบ Carpool ด้วยรถตู้เครื่องยนต์กระบอกสูบ 2,800 ซีซี จำนวน 2 คัน ในปี พ.ศ. 2566 มีจำนวนผู้โดยสาร 1,485 คน ระยะทางรวม 25,792 กิโลเมตร การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 7,519.80 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี หากพิจารณาการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล พบว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 190,872.63 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ในปี พ.ศ. 2567 มีจำนวนผู้โดยสาร 1,577 คน ระยะทางรวม 25,376 กิโลเมตร การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 7,398.52 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี หากพิจารณาการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล พบว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 208,695.78 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ในปี พ.ศ. 2568 การเก็บรวบรวมข้อมูล ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2568 ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2568 (8 เดือน) มีจำนวนผู้โดยสาร 812 คน ระยะทางรวม 16,432 กิโลเมตร การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 4,790.84 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี หากพิจารณาการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล พบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 100,819.95 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ในภาพรวมของโครงการ Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” ของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลตลอดช่วงปี พ.ศ. 2566 – 2568 กับการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้รวมทั้งสิ้น ประมาณ 480,679.19 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปี พ.ศ. 2566 - พ.ศ. 2568 (พ.ศ. 2568 ข้อมูล 8 เดือน)

ปี	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากโครงการ Carpool ($kgCO_2$)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากรถยนต์ส่วนบุคคล ($kgCO_2$)	การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2$)
พ.ศ. 2566	1,485	7,519.80	190,872.63	183,352.82
พ.ศ. 2567	1,577	7,398.52	208695.78	201,297.26
พ.ศ. 2568 (ม.ค.-ส.ค.)	812	4,790.84	100819.95	96,029.10
รวม	3,874	19,709.16	500,388.35	480,679.19

จะเห็นได้ว่า การลดลงที่มีนัยสำคัญทางสิ่งแวดล้อม สะท้อนให้เห็นว่า โครงการ Carpool ไม่เพียงช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการใช้เชื้อเพลิง แต่ยังมีส่วนในการลดจำนวนรถยนต์บนท้องถนน ลดการจราจรติดขัด และส่งเสริมการเดินทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอันเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับการพัฒนาที่ยั่งยืนและการรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว แสดงดังตารางที่ 2 ตารางที่ 3 ตารางที่ 4 และรูปที่ 3

ตารางที่ 2 ตารางบันทึกข้อมูลการเดินทาง พญาไทย - ศาลายา โครงการ Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” ปี พ.ศ. 2566

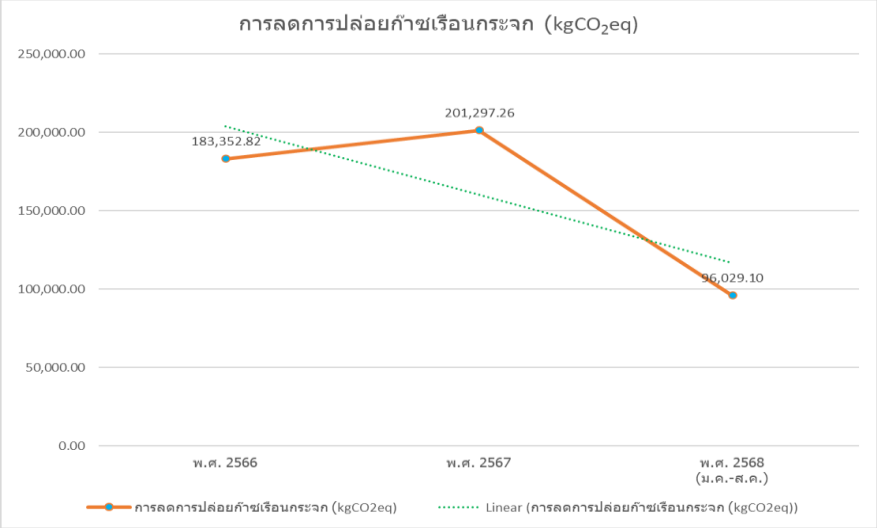
ตารางบันทึกจำนวนผู้โดยสาร พญาไท - ศาลายา โครงการ carpool ทางเดียวกันไปด้วยกัน ปี 2566											
เดือน	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	ชนิดรถที่ใช้เดินทางโครงการ carpool ดีเซล 2,800 ซี ซี				ชนิดเชื้อเพลิง รถยนต์ส่วนบุคคล ดีเซล 2,800 ซี ซี				ค่า EF ($kgCO_2eq$/ลิตร)	สรุปสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)
		ระยะทาง ไป-กลับ (กิโลเมตร)	อัตราการสิ้นเปลือง (กิโลเมตร/ลิตร)	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จริง (ลิตร)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)/เดือน	ระยะทาง ไป-กลับ (กิโลเมตร)	อัตราการสิ้นเปลือง (กิโลเมตร/ลิตร)	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จริง (ลิตร)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)/เดือน		
ม.ค.	163	2,184	9.40	232.34	636.76	8,476	9.40	901.70	2,471.23	2.74062321	1,834.47
ก.พ.	82	2,080	9.40	221.28	606.44	4,264	9.40	453.62	11,686.02	2.74062321	11,079.58
มี.ค.	148	2,392	9.40	254.47	697.40	7,696	9.40	818.72	21,091.84	2.74062321	20,394.44
เม.ย.	91	1,872	9.40	199.15	545.79	4,732	9.40	503.40	12,968.63	2.74062321	12,422.84
พ.ค.	80	2,080	9.40	221.28	606.44	4,160	9.40	442.55	11,400.99	2.74062321	10,794.56
มิ.ย.	108	2,184	9.40	232.34	636.76	5,616	9.40	597.45	15,391.34	2.74062321	14,754.58
ก.ค.	95	2,080	9.40	221.28	606.44	4,940	9.40	525.53	13,538.68	2.74062321	12,932.24
ส.ค.	116	2,080	9.40	221.28	606.44	6,032	9.40	641.70	16,531.44	2.74062321	15,925.00
ก.ย.	170	2,288	9.40	243.40	667.08	8,840	9.40	940.43	24,227.11	2.74062321	23,560.03
ต.ค.	149	2,080	9.40	221.28	606.44	7,748	9.40	824.26	21,234.35	2.74062321	20,627.91
พ.ย.	156	2,288	9.40	243.40	667.08	8,112	9.40	862.98	22,231.94	2.74062321	21,564.86
ธ.ค.	127	2,184	9.40	232.34	636.76	6,604	9.40	702.55	18,099.08	2.74062321	17,462.32
รวม	1,485	25,792	9.40	2,743.83	7,519.80	77,220	9.40	8,214.89	190,872.63	2.74062321	183,352.82
*** เป็นการเปรียบเทียบ ระหว่างการใช้รถยนต์ส่วนตัวเพื่อเดินทางกับรถที่ใช้เดินทางโครงการ carpool											

ตารางที่ 3 ตารางบันทึกข้อมูลการเดินทาง พญาไทย - ศาลายา โครงการ Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” ปี พ.ศ. 2567

ตารางบันทึกจำนวนผู้โดยสาร พญาไท - ศาลายา โครงการ carpool ทางเดียวกันไปด้วยกัน ปี 2567											
เดือน	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	ชนิดรถที่ใช้เดินทางโครงการ carpool ดีเซล 2,800 ซี ซี				ชนิดเชื้อเพลิง รถยนต์ส่วนบุคคล ดีเซล 2,800 ซี ซี				ค่า EF ($kgCO_2eq$/ลิตร)	สรุปสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)
		ระยะทาง ไป-กลับ (กิโลเมตร)	อัตราการสิ้นเปลือง (กิโลเมตร/ลิตร)	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จริง (ลิตร)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)/เดือน	ระยะทาง ไป-กลับ (กิโลเมตร)	อัตราการสิ้นเปลือง (กิโลเมตร/ลิตร)	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จริง (ลิตร)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)/เดือน		
ม.ค.	126	2,288	9.40	243.40	667.08	6,552	9.40	697.02	1,910.27	2.74062321	1,243.19
ก.พ.	131	2,080	9.40	221.28	606.44	6,812	9.40	724.68	18,669.13	2.74062321	18,062.69
มี.ค.	143	2,184	9.40	232.34	636.76	7,436	9.40	791.06	20,379.27	2.74062321	19,742.52
เม.ย.	136	1,976	9.40	210.21	576.11	7,072	9.40	752.34	19,381.69	2.74062321	18,805.57
พ.ค.	162	1,976	9.40	210.21	576.11	8,424	9.40	896.17	23,087.01	2.74062321	22,510.90
มิ.ย.	88	1,976	9.40	210.21	576.11	4,576	9.40	486.81	12,541.09	2.74062321	11,964.98
ก.ค.	125	2,184	9.40	232.34	636.76	6,500	9.40	691.49	17,814.05	2.74062321	17,177.29
ส.ค.	157	2,184	9.40	232.34	636.76	8,164	9.40	868.51	22,374.45	2.74062321	21,737.69
ก.ย.	179	2,184	9.40	232.34	636.76	9,308	9.40	990.21	25,509.72	2.74062321	24,872.96
ต.ค.	141	2,184	9.40	232.34	636.76	7,332	9.40	780.00	20,094.25	2.74062321	19,457.49
พ.ย.	122	2,184	9.40	232.34	636.76	6,344	9.40	674.89	17,386.51	2.74062321	16,749.76
ธ.ค.	67	1,976	9.40	210.21	576.11	3,484	9.40	370.64	9,548.33	2.74062321	8,972.22
รวม	1,577	25,376	9.40	2,699.57	7,398.52	82,004	9.40	8,723.83	208,695.78	2.74062321	201,297.26
*** เป็นการเปรียบเทียบ ระหว่างการใช้รถยนต์ส่วนตัวเพื่อเดินทางกับรถที่ใช้เดินทางโครงการ carpool											

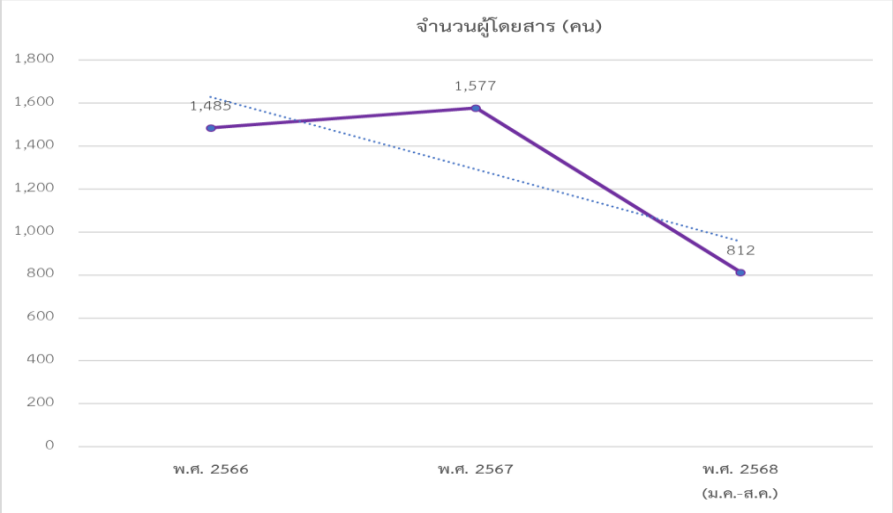
ตารางที่ 4 ตารางบันทึกข้อมูลการเดินทาง พญาไทย - ศาลายา โครงการ Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” ปี พ.ศ. 2568

ตารางบันทึกจำนวนผู้โดยสาร พญาไท - ศาลายา โครงการ carpool ทางเดียวกันไปด้วยกัน ปี 2568											
เดือน	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	ชนิดรถที่ใช้เดินทางโครงการ carpool ดีเซล 2,800 ซี ซี				ชนิดเชื้อเพลิง รถยนต์ส่วนบุคคล ดีเซล 2,800 ซี ซี				ค่า EF ($kgCO_2eq$/ลิตร)	สรุปสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)
		ระยะทาง ไป-กลับ (กิโลเมตร)	อัตราการสิ้นเปลือง (กิโลเมตร/ลิตร)	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จริง (ลิตร)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)/เดือน	ระยะทาง ไป-กลับ (กิโลเมตร)	อัตราการสิ้นเปลือง (กิโลเมตร/ลิตร)	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้จริง (ลิตร)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)/เดือน		
ม.ค.	117	2,288	9.40	243.40	667.08	6,084	9.40	647.23	1,773.82	2.74062321	1,106.75
ก.พ.	134	1,976	9.40	210.21	576.11	6,968	9.40	741.28	19,096.66	2.74062321	18,520.55
มี.ค.	159	2,080	9.40	221.28	606.44	8,268	9.40	879.57	22,659.47	2.74062321	22,053.04
เม.ย.	81	1,872	9.40	199.15	545.79	4,212	9.40	448.09	11,543.50	2.74062321	10,997.71
พ.ค.	72	2,080	9.40	221.28	606.44	3,744	9.40	398.30	10,260.89	2.74062321	9,654.46
มิ.ย.	78	1,976	9.40	210.21	576.11	4,056	9.40	431.49	11,115.97	2.74062321	10,539.85
ก.ค.	80	2,080	9.40	221.28	606.44	4,160	9.40	442.55	11,400.99	2.74062321	10,794.56
ส.ค.	91	2,080	9.40	221.28	606.44	4,732	9.40	503.40	12,968.63	2.74062321	12,362.19
รวม	812	16,432	9.40	1,748.09	4,790.84	42,224	9.40	4,491.91	100,819.95	2.74062321	96,029.10
*** เป็นการเปรียบเทียบ ระหว่างการใช้รถยนต์ส่วนตัวเพื่อเดินทางกับรถที่ใช้เดินทางโครงการ carpool											



รูปที่ 3 กราฟแสดงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปี พ.ศ. 2566 - พ.ศ. 2568 (พ.ศ. 2568 ข้อมูล 8 เดือน)

ข้อมูลจำนวนผู้มาใช้บริการรถตู้โครงการคาร์พูล (Carpool) “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” พบว่าในปี พ.ศ. 2567 มีผู้มาใช้บริการรถตู้โครงการ Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” เพิ่มมากขึ้นจากปี พ.ศ. 2566 คิดเป็น 5.83 % แต่ในช่วงเดือนมกราคม 2568 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2568 (8 เดือน) อาจมีแนวโน้มผู้มาใช้บริการลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ ปี พ.ศ. 2566 และ พ.ศ 2567 ซึ่งทางผู้ศึกษาจะนำผลการศึกษาที่ได้ไปพัฒนานโยบาย และส่งเสริมให้บุคลากรและนักศึกษาคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล มาใช้บริการรถตู้โครงการ Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” มากขึ้นในอนาคต แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแสดงจำนวนผู้มาใช้บริการรถตู้โครงการคาร์พูล “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” ปี พ.ศ. 2566 - พ.ศ. 2568 (พ.ศ. 2568 ข้อมูล 8 เดือน)

6. สรุปผลการศึกษา

6.1 ผลด้านการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผลการศึกษาพบว่าการดำเนินโครงการ Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน” สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีข้อมูลสรุปดังนี้

• ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงรวม: ตลอดระยะเวลาการศึกษา 2 ปี 8 เดือน โครงการ Carpool “ทางเดียวกันไปด้วยกัน” สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้รวมทั้งสิ้นประมาณ 480,679.19 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 96.06

• การลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยต่อวัน: โดยเฉลี่ยแล้วการเดินทางด้วยรถตู้ Carpool ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 715.30 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อวัน เมื่อเทียบกับการที่ผู้โดยสารแต่ละคนเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล นอกจากนี้การศึกษายังพบว่า หากผู้โดยสารเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล จะทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวนมาก ประมาณ 500,388.35 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าตลอดระยะเวลาการศึกษา 2 ปี 8 เดือน

6.2 ผลด้านการลดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง

การลดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง: ตลอดระยะเวลาการศึกษา พบว่าการดำเนินโครงการ Carpool “ทางเดียวกันไปด้วยกัน” สามารถลดค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงลงได้ประมาณ 469,037.57 บาท เมื่อเทียบกับการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนตัว อ้างอิงราคาน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลธรรมดา พ.ศ. 2567 เฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 32.94 บาทต่อลิตร แสดงข้อมูลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงโครงการ Carpool “ทางเดียวกัน ไปด้วยกัน”

ตารางการลดค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงของโครงการ Carpool ทางเดียวกันไปด้วยกัน			
ปี	**ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการเดินทางโดยรถยนต์ส่วนตัว (บาท)**	**ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการเดินทางโดยรถยนต์โครงการCarpool (บาท)**	**ค่าเฉลี่ยการประหยัดค่าใช้จ่าย (บาท)**
2566	270,598.60	90,381.75	180,216.84
2567	287,362.95	88,923.98	198,438.97
2568	147,963.68	57,581.92	90,381.75
รวม	705,925.23	236,887.66	469,037.57

6.3 ประสิทธิภาพการดำเนินงานของโครงการ

• จำนวนผู้โดยสารเฉลี่ย: รถตู้ Carpool มีจำนวนผู้โดยสารเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3 คนต่อเที่ยว จากความจุสูงสุด 15 ที่นั่ง แสดงให้เห็นถึงความเพียงพอต่อการงานในการรองรับผู้ใช้บริการในแต่ละเที่ยว

• การลดจำนวนรถยนต์บนถนน: การให้บริการรถตู้ 2 คันต่อวัน ช่วยลดจำนวนรถยนต์ส่วนบุคคลที่เดินทางบนเส้นทาง พญาไท - ศาลายาได้เฉลี่ยประมาณ 6 คันต่อวัน ส่งผลให้ช่วยลดความแออัดของการจราจร และลดปริมาณมลพิษทางอากาศได้

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าโครงการ Carpool “ทางเดียวกันไปด้วยกัน” ของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล มีบทบาทสำคัญในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับการเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคลของผู้ใช้งานแต่ละราย โดยปริมาณการลดก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาโครงการ สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของโครงการในการเลือกการเดินทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ โครงการยังช่วยลดจำนวนรถยนต์บนท้องถนน ส่งผลให้ลดความแออัดของการจราจรในเส้นทาง พญาไท - ศาลายา และลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงโดยรวม

ข้อเสนอแนะ

เพื่อส่งเสริมและขยายผลโครงการให้เกิดประโยชน์สูงสุดในระยะยาว จึงมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

• การขยายเส้นทางและเพิ่มรอบบริการ: พิจารณาการเพิ่มเส้นทางหรือรอบบริการในชั่วโมงเร่งด่วนอื่น ๆ เพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้งานที่หลากหลายและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้รถให้เต็มที่

• การนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้: พัฒนาระบบสำรองที่นั่งและติดตามการเดินทางผ่านแอปพลิเคชัน เพื่อให้การบริหารจัดการข้อมูลและการจองที่นั่งเป็นไปอย่างสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

• การประชาสัมพันธ์และสร้างแรงจูงใจ: ส่งเสริมให้มีการประชาสัมพันธ์โครงการอย่างต่อเนื่องและสร้างแรงจูงใจให้แก่ผู้ใช้งาน เช่น การประชาสัมพันธ์เรื่องสวัสดิการรถตู้คาร์พูล (Carpool) ของคณะฯ ที่ให้บริการแบบไม่มีค่าบริการ หรือสิทธิพิเศษอื่น ๆ เพื่อดึงดูดบุคลากรและนักศึกษาให้เข้าร่วมโครงการมากขึ้น

• การศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต: ควรมีการศึกษาถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานและการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน (Cost Benefit Analysis) เพื่อยืนยันความคุ้มค่าของโครงการในภาพรวม

โดยสรุปแล้ว โครงการ Carpool “ทางเดียวกันไปด้วยกัน” นี้ไม่เพียงแต่เป็นเพียงทางเลือกในการเดินทาง แต่ยังเป็นต้นแบบของการเดินทางอย่างยั่งยืน ที่สามารถนำไปเป็นแนวทางให้กับองค์กร

เอกสารอ้างอิง

[1] World Meteorological Organization. (27, July, 2023). Climate change impacts increase in Asia, https://wmo.int/media/news/climate-change-impacts-increase-asia

[2] พิมนารา อินต๊ะประเสริฐ. (28 สิงหาคม 2564). SDG Insights ท่ามกลางวิกฤติสภาพภูมิอากาศ. ระบบสุขภาพไทยต้องรับมือกับอะไรบ้าง, 1 กันยายน 2568. https://www.sdgmove.com/

[3] สหประชาชาติใน ประเทศไทย. (12 มีนาคม 2565). สาเหตุหลักของการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก, 1 กันยายน 2568. https://thailand.un.org/th

[4] บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด. (6 มิถุนายน 2567). คำนวณอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน, 2 กันยายน 2568. https://www.toyotasure.com/home/about-us

[5] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (June, 2010, June, 2019). CO_2 FROM ROAD TRANSPORT, https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf

[6] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก). (6 กรกฎาคม 2565). วิธีการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจก, 2 กันยายน 2568. https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/tools/files.php?mod=YjNKbllXNXBlbUYwYVc5dVgyUnZkMjVzYjJGaw&type=WDBaSlRFVlQ&files=TkRFPQ

[7] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก). (2565). ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor: EF) ของเชื้อเพลิงดีเซล, 2 กันยายน 2568. https://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=EN&mod=YjNKbllXNXBlbUYwYVc5dVgyVnRhWE56YVc5dQ

[8] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก). (2565). วิธีการคำนวณการลดก๊าซเรือนกระจก, 2 กันยายน 2568. https://ghgreduction.tgo.or.th/th/download-less/download/374/496/32.html

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรเพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน: กรณีศึกษา บริษัทสร้างและซ่อมเรือแห่งหนึ่ง

อรรถพล พุทธดิสสอน*, นันท์นภัสร อินยิ้ม, และ เสรีย์ ตู้ประกาย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

** Corresponding author: 6614350003@rumail.ru.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรของบริษัทสร้างและซ่อมเรือแห่งหนึ่ง และวิเคราะห์แหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกเพื่อจัดทำฐานข้อมูลในการกำหนดแนวทางลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน การศึกษาใช้ข้อมูลกิจกรรมจริงจากการดำเนินงานภายในองค์กรในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 ตามหลักเกณฑ์ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ครอบคลุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 1, 2 และ 3 ผลการศึกษาพบว่าองค์กรมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้น 265 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า (ขอบเขตที่ 2) มีสัดส่วนสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 51.70 รองลงมาคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ ในห่วงโซ่กิจกรรมขององค์กร (ขอบเขตที่ 3) ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมสร้างและซ่อมเรือ ทั้งนี้ ข้อมูลฐานที่ได้จากการประเมินสามารถนำไปใช้สนับสนุนการกำหนดมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การติดตามผลในระยะยาว และการวางแผนเชิงยุทธศาสตร์เพื่อบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนอย่างเป็นระบบในอนาคต

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร / ก๊าซเรือนกระจก / อุตสาหกรรมต่อเรือและซ่อมเรือ / การจัดการพลังงาน / ความเป็นกลางทางคาร์บอน

Organizational carbon footprint assessment toward carbon neutrality: A case study of a Shipbuilding and Ship Repair Company

Athaphon Puthadissorn*, Nannapasorn Inyim, and Seree Tuprakay

Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University, Hua-Mark, Bangkapi, Bangkok, Thailand

**Corresponding author: 6614350003@rumail.ru.ac.th*

Abstract

This study aims to assess the organizational carbon footprint of a shipbuilding and ship repair company and to analyze greenhouse gas emission sources in order to establish a baseline database for developing greenhouse gas reduction strategies toward carbon neutrality. The assessment was conducted using actual operational activity data collected from January to December 2024, in accordance with the guidelines of the Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). The evaluation covered greenhouse gas emissions across Scope 1, Scope 2, and Scope 3. The results indicate that the organization generated total greenhouse gas emissions of 265 tons of carbon dioxide equivalent per year. Indirect emissions from electricity (Scope 2) were the primary source at 51.70% of total emissions, followed by other indirect emissions along the organizational value chain (Scope 3). The findings highlight that improving electricity energy management efficiency is a key factor in reducing greenhouse gas emissions in the shipbuilding and ship repair industry. The baseline data obtained from this assessment can support the formulation of greenhouse gas mitigation measures, long-term monitoring, and strategic planning to systematically achieve carbon neutrality goals in the future.

Keywords: Carbon footprint Organization / Greenhouse gas / Shipbuilding and Ship Repair Industry / Energy management / Carbon Neutrality

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นประเด็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในระดับโลกที่เชื่อมโยงโดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์ รายงานของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) ระบุว่าการจำกัดอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกไม่ให้เพิ่มขึ้นเกิน 1.5 องศาเซลเซียส จำเป็นต้องอาศัยการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเร่งด่วนและเป็นระบบในทุกภาคส่วน [1] ความตกลงปารีสจึงถูกกำหนดให้เป็นกรอบความร่วมมือระหว่างประเทศในการขับเคลื่อนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งประเทศไทยได้เข้าร่วมเป็นภาคี [2] และกำหนดเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายใต้แผนการมีส่วนร่วมที่ประเทศกำหนด (NDC) รวมถึงการประกาศเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนภายในปี พ.ศ. 2593 นอกจากนี้ ประเทศไทยอยู่ระหว่างการจัดทำร่างพระราชบัญญัติการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เพื่อสร้างกรอบกฎหมายด้านการรายงาน การติดตาม และการใช้กลไกทางเศรษฐศาสตร์ในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [3] ส่งผลให้องค์กรภาคอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีระบบข้อมูลและการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีความถูกต้องและสามารถตรวจสอบได้ เพื่อรองรับการบังคับใช้กฎหมายในอนาคต

ในบริบทดังกล่าว ภาคอุตสาหกรรมถือเป็นหนึ่งในแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญของประเทศ [4] โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานและวัตถุดิบในปริมาณสูง เช่น อุตสาหกรรมสร้างและซ่อมเรือ อย่างไรก็ตาม งานศึกษาด้านการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรในอุตสาหกรรมดังกล่าวในประเทศไทยยังมีอยู่อย่างจำกัด ส่งผลให้ขาดข้อมูลเชิงประจักษ์เพื่อสนับสนุนการกำหนดมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเหมาะสม

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรในกรณีศึกษาบริษัทสร้างและซ่อมเรือแห่งหนึ่ง ตามหลักเกณฑ์ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ครอบคลุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งในขอบเขตที่ 1, 2 และ 3 พร้อมทั้งวิเคราะห์โครงสร้างและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขอบเขตการรายงาน เพื่อสะท้อนลักษณะเฉพาะของอุตสาหกรรม และใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการกำหนดมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนในระดับองค์กรและระดับอุตสาหกรรม

2. วัตถุประสงค์

เพื่อประเมินและวิเคราะห์โครงสร้างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรในกรณีศึกษาบริษัทสร้างและซ่อมเรือแห่งหนึ่ง ครอบคลุมขอบเขตที่ 1 ขอบเขตที่ 2 และขอบเขตที่ 3 เพื่อระบุแหล่งที่มีนัยสำคัญต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้มีขอบเขตการศึกษาวิจัยเรื่อง แนวทางเพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน ของบริษัทสร้างและซ่อมเรือกรณีศึกษา บริษัทสร้างและซ่อมเรือแห่งหนึ่ง โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร เป็นข้อมูลจากการบันทึกด้านการเงินและกิจกรรมที่มีการใช้ไฟฟ้าและปล่อยก๊าซเรือนกระจก การเบิกจ่ายและใบเสร็จ ที่รวบรวมได้ในระหว่าง เดือนมกราคม พ.ศ. 2567 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2567

2. การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหน่วยปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2eq) ตามมาตรฐานแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของประเทศไทยโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) และเป็นขอบเขตที่ทางองค์กรสามารถควบคุมได้

4. วิธีการศึกษา

4.1 การรวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้ดำเนินการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยและการดูดกลับก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานขององค์กร กรณีศึกษาบริษัทสร้างและซ่อมเรือแห่งหนึ่ง เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO) ตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) การประเมินครอบคลุมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 1 ขอบเขตที่ 2 และขอบเขตที่ 3 โดยใช้ข้อมูลกิจกรรมที่เกิดขึ้นจริงภายในองค์กรในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2567

4.2 ขั้นตอนการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรดำเนินการตามคู่มือการประเมินขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [5] ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การกำหนดขอบเขตขององค์กร (Organization Boundaries): กำหนดขอบเขตขององค์กรตามแนวทางการควบคุมการดำเนินงาน (Operational Control) โดยครอบคลุมกิจกรรมที่องค์กรมีอำนาจควบคุมการดำเนินงานและสามารถจัดเก็บข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ

2. การกำหนดขอบเขตของการดำเนินงาน (Operational Boundaries): กำหนดขอบเขตการรายงานและระบุแหล่งปล่อยและแหล่งดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานขององค์กร แบ่งออกเป็น 3 ขอบเขต ได้แก่

ขอบเขตที่ 1 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากกิจกรรมขององค์กร

ขอบเขตที่ 2 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน

ขอบเขตที่ 3 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับห่วงโซ่กิจกรรมขององค์กร

3. การคำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจก: ดำเนินการระบุแหล่งปล่อยและแหล่งดูดกลับก๊าซเรือนกระจก คัดเลือกวิธีการคำนวณและค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ที่เหมาะสม เพื่อคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยใช้สมการ

$$GHG = Activity\ data \times Emission\ Factor \qquad (1)$$

โดยที่ GHG คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจก
Activity คือ ข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก
Emission Factor คือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ทั้งนี้ ก๊าซเรือนกระจกที่นำมาพิจารณาในการคำนวณประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) กลุ่มก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) กลุ่มก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) โดยค่าศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนใช้ค่าตาม IPCC (GWP100)

4. การจัดทำบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจก: รวบรวมผลการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมในทั้งสามขอบเขต เพื่อจัดทำบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจกขององค์กร และสรุปภาพรวมโครงสร้างการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

5. การประเมินความไม่แน่นอน (Assessing Uncertainty): ดำเนินการประเมินความไม่แน่นอนของข้อมูลกิจกรรมและการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจก โดยประยุกต์ใช้แนวทางการประเมินความไม่แน่นอนตามคู่มือขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) เพื่อแสดงระดับคุณภาพของข้อมูลและความน่าเชื่อถือของผลการประเมิน

ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรในกรณีศึกษา บริษัทสร้างและซ่อมเรือแห่งหนึ่ง ได้กำหนดขอบเขตและระบุกิจกรรมที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก พร้อมทั้งการระบุแหล่งที่มาของข้อมูล และลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร (ดังแสดงในตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 รายการกิจกรรมและการกำหนดขอบเขตในการประเมิน

ขอบเขต	รายการกิจกรรม	ลักษณะข้อมูล	แหล่งเก็บข้อมูล	อยู่ในขอบเขตของการพิจารณา	หมายเหตุ
1	การเผาไหม้อยู่กับที่	ปริมาณการใช้ LPG	หลักฐานการสั่งซื้อ/ใบเสร็จ	O	
	การเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่	ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล B7	หลักฐานการสั่งซื้อ/ใบเสร็จ	O	
	การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการรั่วไหลและอื่นๆ	ปริมาณการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	เก็บข้อมูลจากการประมาณค่า	X	หลักฐานในการบันทึกไม่สมบูรณ์
2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	ใบเสร็จ	O	
3	แผ่นอลูมิเนียม	ปริมาณการใช้อลูมิเนียมแผ่น	ใบเสร็จ	O	
	แผ่นเหล็ก	ปริมาณการใช้เหล็กแผ่น	ใบเสร็จ	O	
	การได้มาซึ่งไฟฟ้า	การได้มาซึ่งไฟฟ้า	ใบเสร็จ	O	
	ทินเนอร์	ปริมาณการใช้ทินเนอร์	ใบเสร็จ	O	
	น้ำมันดีเซลเติมเรือเพื่อส่งมอบ	น้ำมันดีเซลเติมเรือเพื่อส่งมอบ	ใบเสร็จ	O	
	น้ำประปา	ปริมาณการใช้น้ำประปา	ใบเสร็จ	O	
	อุปกรณ์สำนักงาน	ปริมาณการใช้กระดาษ	เก็บข้อมูลจากการประมาณค่า	X	ไม่มีการเก็บข้อมูล

หมายเหตุ: O คือ อยู่ในขอบเขตการพิจารณา, X คือ ไม่อยู่ในขอบเขตการพิจารณา เนื่องจากการได้มาซึ่งข้อมูลมีคุณภาพเพียงพอหรือไม่มีการเก็บข้อมูล

4.3 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ ได้แก่ สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) โดยมุ่งเน้นการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบของร้อยละ (Percentage) เพื่ออธิบายลักษณะและสัดส่วนของข้อมูลที่ได้จากการศึกษา ทั้งนี้ การใช้สถิติร้อยละช่วยให้สามารถแสดงการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละกลุ่มได้อย่างชัดเจน และเอื้อต่อการตีความผลการศึกษาในภาพรวม นอกจากนี้ ยังช่วยสนับสนุนการเปรียบเทียบข้อมูลในประเด็นต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการสร้างและซ่อมเรือได้อย่างเหมาะสมและเข้าใจง่าย

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรในกรณีศึกษาพบว่า บริษัทสร้างและซ่อมเรือมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมเท่ากับ 265 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี เมื่อจำแนกตามขอบเขตการรายงาน พบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า (ประเภทที่ 2) มีปริมาณสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 51.70 ของการปล่อยทั้งหมด รองลงมาคือการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับห่วงโซ่คุณค่า (ประเภทที่ 3) และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากการดำเนินงานขององค์กร (ประเภทที่ 1) ตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 1 และดังตารางที่ 2-4) ผลการประเมินดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร ซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าและการใช้วัตถุดิบในกระบวนการสร้างและซ่อมเรือที่มีความเข้มข้นด้านพลังงาน โครงสร้างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่พบในการศึกษานี้สะท้อนลักษณะเฉพาะของอุตสาหกรรมสร้างและซ่อมเรือ ซึ่งมีการพึ่งพาพลังงานไฟฟ้าเป็นหลักในกระบวนการผลิตและซ่อมบำรุง รวมถึงการใช้อุปกรณ์และเครื่องจักรไฟฟ้าในกิจกรรมสนับสนุน ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2556 ซึ่งภาคพลังงานมีสัดส่วนปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด [7]

นอกจากนี้ สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 3 ที่มีค่าค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นถึงบทบาทของห่วงโซ่อุปทานและกิจกรรมสนับสนุนที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานขององค์กร โดยเฉพาะการใช้วัตถุดิบหลัก เช่น โลหะและวัสดุอุตสาหกรรม รวมถึงพลังงานและทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมทางอ้อมอื่น ๆ ประเด็นดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการบริหารจัดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับองค์กรไม่สามารถจำกัดอยู่เพียงภายในกระบวนการผลิตหลักเท่านั้น แต่จำเป็นต้องพิจารณาความเชื่อมโยงกับคู่ค้า ผู้จัดหาวัตถุดิบ และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในห่วงโซ่อุปทาน เพื่อให้การ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพในภาพรวม

ผลการศึกษานี้จึงเป็นสิ่งเน้นย้ำว่าการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ควบคู่กับการบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานและการใช้ทรัพยากรอย่างเหมาะสม เป็นกลไกสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมสร้างและซ่อมเรือ ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรในครั้งนี้จึงสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลเชิงประจักษ์เพื่อสนับสนุนการกำหนดนโยบาย มาตรการ และแผนการดำเนินงานในการมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนขององค์กรในระยะยาวได้อย่างเป็นระบบ

ตารางที่ 2 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากการดำเนินงานขององค์กร ประเภทที่ 1

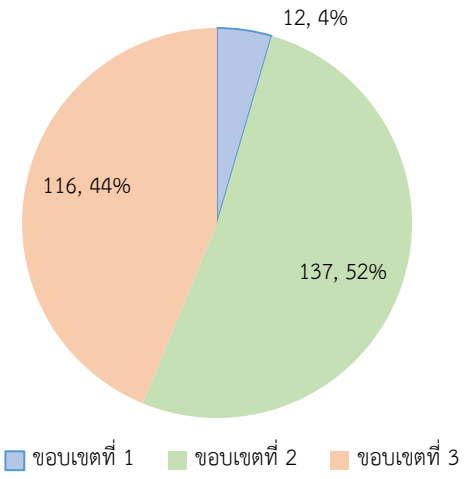
รายการกิจกรรม	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก		แหล่งอ้างอิงของค่า Emission Factor	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ($TonCO_2e$)
ปริมาณการใช้ LPG	kg	3.1133	$kgCO_2e/kg$	TGO	2
ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล B7	liter	2.9051	$kgCO_2e/liter$	TGO	10
รวมขอบเขตที่ 1					12

ตารางที่ 3 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้าขององค์กร ประเภทที่ 2

รายการกิจกรรม	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก		แหล่งอ้างอิงของค่า Emission Factor	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ($TonCO_2e$)
ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	kWh	0.4999	$kgCO_2e/kWh$	TGO	137
รวมขอบเขตที่ 2					137

ตารางที่ 4 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับห่วงโซ่กิจกรรมขององค์กร ประเภทที่ 3

รายการกิจกรรม	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก		แหล่งอ้างอิงของค่า Emission Factor	ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ($TonCO_2e$)
แผ่นอลูมิเนียม	kg	3.2231	$kgCO_2e/kg$	TGO	60
แผ่นเหล็ก	kg	1.6382	$kgCO_2e/kg$	TGO	8
การได้มาซึ่งไฟฟ้า	kWh	0.0987	$kgCO_2e/kWh$	TGO	27
น้ำมันดีเซลเติมเรือเพื่อส่งมอบ	kg	0.3522	$kgCO_2e/kg$	TGO	10
ทินเนอร์	liter	2.1222	$kgCO_2e/liter$	TGO	8
น้ำประปา	m^3	0.7948	$kgCO_2e/m^3$	TGO	3
รวมขอบเขตที่ 3					116



รูปที่ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร

การประเมินและจัดการความไม่แน่นอน (Uncertainty) การประเมินและจัดการความไม่แน่นอนของข้อมูลกิจกรรมที่ใช้ในการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในการศึกษานี้ คือ อยู่ในระดับที่ 2 คือ มีความไม่แน่นอนเล็กน้อย คุณภาพข้อมูลอยู่ในระดับปานกลาง (ดังแสดงในตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 การประเมินและจัดการความไม่แน่นอน (Uncertainty)

ขอบเขต	รายการกิจกรรม	ลักษณะข้อมูล	คะแนนแหล่งการเก็บข้อมูล	คะแนนที่มาของค่า Emission Factor	ผลการประเมิน	ระดับของความไม่แน่นอนและคุณภาพข้อมูล
1	การเผาไหม้อยู่กับที่	ปริมาณการใช้ LPG	3	3	9	2
	การเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่	ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซล B7	3	3	9	2
2	การใช้พลังงานไฟฟ้า	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า	3	3	9	2
3	แผ่นอลูมิเนียม	ปริมาณการใช้อลูมิเนียมแผ่น	3	3	9	2
	แผ่นเหล็ก	ปริมาณการใช้เหล็กแผ่น	3	3	9	2
	การได้มาซึ่งไฟฟ้า	การได้มาซึ่งไฟฟ้า	3	3	9	2
	น้ำมันดีเซลเติมเรือเพื่อส่งมอบ	น้ำมันดีเซลเติมเรือเพื่อส่งมอบ	3	3	9	2
	ทินเนอร์	ปริมาณการใช้ทินเนอร์	3	3	9	2
	น้ำประปา	ปริมาณการใช้น้ำประปา	3	3	9	2

ผลการประเมินความไม่แน่นอนและระดับคุณภาพข้อมูลพบว่า ข้อมูลทั้งหมดอยู่ในระดับที่ 2 ซึ่งสะท้อนว่าข้อมูลมีความไม่แน่นอนในระดับเล็กน้อย และมีคุณภาพอยู่ในระดับปานกลาง สาเหตุหลักมาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่อาศัยข้อมูลจากหลักฐานการสั่งซื้อและใบเสร็จเป็นหลัก รวมถึงการใช้ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากผู้ผลิตที่อ้างอิงจากองค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก ทั้งนี้ ผลการประเมินดังกล่าวจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบในการวางแผนปรับปรุงกระบวนการจัดเก็บข้อมูลกิจกรรมและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กร เพื่อยกระดับคุณภาพข้อมูลและลดความไม่แน่นอนในการประเมินในรอบถัดไป

อภิปรายผลการศึกษา การศึกษานี้มีข้อจำกัดด้านข้อมูล เนื่องจากข้อมูลกิจกรรมและวัสดุบางส่วนไม่ครบถ้วน ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นขององค์กรมีความคลาดเคลื่อนและมีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่น้อย เมื่อเทียบงานวิจัยอุตสาหกรรมต่อเรือจากประเทศฟินแลนด์ [6] ที่เรือน้ำหนัก (lightweight) ขนาด 60,000 ตัน และจำนวนวันปฏิบัติงาน 340 วัน มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์เฉพาะในส่วนของการใช้วัสดุ (ขอบเขตที่ 3) เท่ากับ 101,097 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ส่วนในกรณีศึกษามีน้ำหนักรวมของเรือ (lightweight) ที่ผลิตในปีที่ทำการศึกษาเท่ากับ 50 ตัน มีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (ขอบเขตที่ 3) เท่ากับ 116 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เมื่อนำสัดส่วนขนาดเรือกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรในกรณีศึกษากับองค์กรดังกล่าวนี้ พบว่า องค์กรจากกรณีศึกษามีค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในขอบเขตที่ 3 มากกว่าที่ 1.38 เท่าหากเทียบขนาดตามบัญญัติยานเรือที่เท่ากัน และมีปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่นำมาประเมินไม่ได้ครอบคลุมกิจกรรมทั้งหมดเช่นเดียวกัน เนื่องจากไม่สามารถเข้าถึงแหล่งข้อมูลหรือไม่มีการเก็บข้อมูลที่เพียงพอ

ผลการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการสร้างและซ่อมเรือในกรณีศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์โดยตรงกับแนวทางการมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน กล่าวคือ โครงสร้างการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรที่พบว่ามีสัดส่วนสูงสุดมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้า รองลงมาคือการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลและก๊าซ LPG แสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดการปล่อยหลักที่ควรได้รับการจัดลำดับความสำคัญในการบริหารจัดการ

ความสัมพันธ์ดังกล่าวมีความสำคัญต่อการกำหนดกลยุทธ์และมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยองค์กรสามารถมุ่งเน้นการปรับเปลี่ยนการใช้พลังงานไปสู่พลังงานหมุนเวียน เช่น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงการเปลี่ยนผ่านไปสู่การใช้เครื่องจักรที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า เพื่อลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งแนวทางเหล่านี้จะช่วยสนับสนุนการบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนในระยะยาว

นอกจากนี้ ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกยังมีบทบาทสำคัญในการใช้เป็นฐานในการวางแผนการจัดการคาร์บอนขององค์กร เพื่อให้มาตรการที่กำหนดมีความเหมาะสมทั้งในเชิงเศรษฐกิจและสอดคล้องกับบริบททางธุรกิจ ควบคู่ไปกับการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม ความถูกต้องของข้อมูลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระยะเริ่มต้นถือเป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจากหากข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน จะส่งผลต่อความแม่นยำของการวางแผนทั้งในส่วนของการลดการปล่อยและการชดเชยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งอาจทำให้การดำเนินงานเพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนขาดประสิทธิภาพได้

ดังนั้นเพื่อให้ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์มีความถูกต้องและครบถ้วนมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยเสนอแนวทางในการปรับปรุงระบบการเก็บข้อมูลกิจกรรม เช่น พัฒนาระบบการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณจากการดำเนินงานจริงให้ครอบคลุมมากขึ้น รวมถึงการจัดเก็บข้อมูลจากใบแจ้งหนี้ ใบส่งมอบวัสดุ และบันทึกการใช้งานอย่างเป็นระบบ เพื่อลดการพึ่งพาการประมาณค่าและสมมติฐานในการคำนวณ และแยกประเภทวัสดุที่ใช้ในกระบวนการต่อและซ่อมเรือให้ชัดเจนมากขึ้น เช่น เหล็ก อลูมิเนียม สแตนเลส ฉนวน สายเคเบิล และอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ รวมถึงการจำแนกกระบวนการผลิตหรือซ่อมตามลักษณะงานจริง เพื่อให้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสะท้อนสภาพการดำเนินงานจริงมากยิ่งขึ้น

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการทำความเข้าใจโครงสร้างและรูปแบบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมสร้างและซ่อมเรืออย่างเป็นระบบ โดยผลการประเมินสามารถชี้ให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญในแต่ละขอบเขต ซึ่งช่วยให้องค์กรสามารถระบุประเด็นที่ควรให้ความสำคัญในการบริหารจัดการได้อย่างชัดเจน ผลการศึกษาพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด สะท้อนถึงบทบาทสำคัญของการจัดการพลังงานและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าในการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมขององค์กรในภาคอุตสาหกรรมนี้

ข้อมูลฐานที่ได้จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์สามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการกำหนดมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมกับบริบทขององค์กร เช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การนำพลังงานทางเลือกมาใช้ การปรับปรุงกระบวนการทำงาน และการบริหารจัดการกิจกรรมในห่วงโซ่คุณค่า นอกจากนี้ ยังสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการติดตามและประเมินผลการดำเนินงานด้านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระยะยาว ตลอดจนสนับสนุนการจัดทำแผนและเป้าหมายเชิงยุทธศาสตร์เพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนขององค์กรได้อย่างเป็นระบบและมีทิศทางที่ชัดเจน

ทั้งนี้ องค์กรควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาแนวทางการจัดเก็บข้อมูลที่เป็นระบบและต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น รวมถึงการสร้างความร่วมมือกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในห่วงโซ่คุณค่า นอกจากนี้ ควรมีการวิเคราะห์สถานการณ์และทางเลือกในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายใต้สมมติฐานต่าง ๆ เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์และเชิงนโยบายขององค์กรและภาคอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืนในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

[1] IPCC, (2018). *Global warming of 1.5°C*. Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/sr15

[2] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, (2561). รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 2 ของประเทศไทย (Second Biennial Update Report). กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. climate.onep.go.th

[3] กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม, (2568). ข้อมูลการจัดทำร่างพระราชบัญญัติการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. https://www.dcce.go.th/datacenter/3345/

[4] กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม. (2567). ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับประเทศของประเทศไทย. https://ghgplatform.dcce.go.th/th/national.

[5] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), (2565). ข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร, กรุงเทพ, 100 น.

[6] Hilakari, M. (2019). Carbon footprint calculation of shipbuilding Turku University of Applied Sciences.

[7] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2563). รายงานผลการศึกษาการกำหนดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Threshold). องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน).

ฟลักซ์ของแก๊สไนตรัสออกไซด์เชิงพื้นที่และศักยภาพการปล่อยแก๊สเรือนกระจกของพรุบางกล่ำ จังหวัดสงขลา

สุกาญดา เชื้อสุวรรณ[1], นิรัตน์ ภูทัดหมาก[1], ปฏิญญา ภักดีเมฆ[2] และ นเรศ เชื้อสุวรรณ[2*]

[1]กองวิจัย พัฒนาและอุทกวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ แขวงพญาไท เขตพญาไท กรุงเทพฯ
[2]หลักสูตรมลพิษสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ประเทศไทย
** Corresponding author: chuersuwan@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ประเมินฟลักซ์ของแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N_2O flux) เชิงพื้นที่และศักยภาพการปล่อยแก๊สเรือนกระจกในพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ (พรุบางกล่ำ) จังหวัดสงขลา ด้วยการตรวจวัดแก๊สด้วยวิธีกล่องปิด (Closed chamber method) และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์เชิงปริมาณเปรียบเทียบกับแก๊สมาตรฐานด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตรกราฟ (Gas chromatograph – GC) ที่มีตัววัดสัญญาณชนิดไมโครอิเล็กตรอนแคปเจอร์ (Micro Electron Capture Detector) ตัวอย่างแก๊สไนตรัสออกไซด์เก็บกระจาย 3 พื้นที่ของพรุ เก็บตัวอย่างแก๊สทุก 20 นาทีในชั่วโมงเช้า (9.00 – 10.00 น.) ชั่วโมงบ่าย (13.00 – 14.00 น.) ระหว่างเดือนเมษายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2568 อัตราการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์คำนวณจากความชันและสมการเชิงเส้นของปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น (Evolved gas) ต่อพื้นที่ของกล่องปิด

ผลการวิจัยพบว่า พื้นที่พรุบางกล่ำปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ในระดับที่สามารถตรวจวัดเชิงปริมาณได้ในการเก็บตัวอย่างแบบกล่องปิดทุก 20 นาทีของชั่วโมงเช้าและบ่าย ในช่วงเดือนเมษายน-ธันวาคม พรุบางกล่ำปล่อยฟลักซ์ของแก๊สไนตรัสออกไซด์ในช่วง 0.83-4.49 ไมโครกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ค่าฟลักซ์ของเดือนอยู่ระหว่าง 1.21±0.4 ถึง 3.82±1.48 ไมโครกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง โดยมีค่าเฉลี่ยของทั้งปี 2.34±0.93 ไมโครกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ลักษณะของความแตกต่างรายเดือนของฟลักซ์เพิ่มสูงในเดือนตุลาคมและสูงสุดในเดือนธันวาคม มีค่าสูงกว่าค่าต่ำสุดในเดือนกรกฎาคมประมาณ 3.2 เท่า ในภาพรวมเชิงพื้นที่ของพรุบางกล่ำปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ปีละ 26.69±10.61 กิโลกรัมไนตรัสออกไซด์ เมื่อคำนวณศักยภาพการปล่อยแก๊สเรือนกระจกปีละ 7,205.22±2,864.50 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ลักษณะความผันแปรของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ฟลักซ์ของพรุบางกล่ำเป็นผลมาจากกระบวนการปัจจัยทางกายภาพของระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงเปียกสลับแห้งและกระบวนการทางชีวเคมีในธรรมชาติ

คำสำคัญ: ไนตรัสออกไซด์ / แก๊สเรือนกระจก / พรุบางกล่ำ / พื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ / ภาวะโลกร้อน

Nitrous oxide spatial fluxes and greenhouse gas potential emissions from Bang Klam peat swamp forest, Songkhla province

Sukanda Chuersuwan[1], Nirat Pootudmark[1], Pathinya Phakdimek[2], and Nares Chuersuwan[2]

[1]Research, Development and Hydrology Division, Department of Water Resources, Bangkok, Thailand.
[2]Graduate Program in Environmental Pollution and Safety, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand
**Corresponding author: chuersuwan@gmail.com*

Abstract

This article presents the evaluation of nitrous oxide spatial fluxes and greenhouse gas potential emissions from Bang Klam peat swamp forest in Songkla province. Closed chamber method was used to collect evolved gases and gas samples were quantitatively determined against a known standard gas in a gas chromatography with a μECD. The samples were collected at 3 sampling sites across the swamp. The gas samples were collected every 20 minutes for the morning (9.00-10.00) and afternoon (13.00-14.00) periods from April to December 2025. Nitrous oxide emissions were calculated from linear regression of the evolved gas concentrations against the area of the closed chamber.

The results showed that the 20-minute interval of gas collection procedures was able to quantify the emission of nitrous oxide gas during the morning and afternoon hours. The average emissions of nitrous oxide ranged from 0.83 to 4.49 μg/m^2/hr between April and December 2025. Monthly fluxes ranged from 1.21±0.4 to 3.82±1.48 μg/m^2/hr, with the average of 2.34±0.93 μg/m^2/hr. Monthly variations of the fluxes increased in October and peak in December, which 3.2 times higher than the lowest month in July. The overall area of the peat forest emitted 26.69±10.61 kg of N_2O annually or 7,205.22±2,864.50 kg of CO_{2eq}. Higher flux occurred in October, about 3.4 times of April. The differences caused by physical changes of water levels with the alternate of wet and dry including the natural biochemical processes in the peat forest.

Keywords: Nitrous oxide / Greenhouse gas / Bang Klam peat swamp forest / Natural wetland / Global warming

1. บทนำ

แก๊สไนตรัสออกไซด์เป็นหนึ่งในแก๊สเรือนกระจกที่สำคัญรองจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนเมื่อพิจารณาในด้านปริมาณการระบายออกสู่บรรยากาศจากกิจกรรมของมนุษย์ [1] หากพิจารณในด้านศักยภาพที่ส่งผลต่อสภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential – GWP) แก๊สไนตรัสออกไซด์กลับมีศักยภาพสูงกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 270 เท่า [2] ทำให้มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหากมีระดับเพิ่มขึ้น การติดตามตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงขององค์การบริหารมหาสมุทรและบรรยากาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA) รายงานว่าในปี พ.ศ. 2567 ระดับความเข้มข้นของแก๊สไนตรัสออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มขึ้นถึง 339 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb) [3] เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับระดับก่อนเกิดยุคการพัฒนาอุตสาหกรรมเมื่อประมาณ 276 ปีก่อน หรือเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 25 [4] ทั้งนี้ การเพิ่มขึ้นของอุตสาหกรรมและประชากรบนโลกส่งผลต่อปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจก ในปี พ.ศ. 2568 ประเทศที่มีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศสู่สามลำดับแรก ได้แก่ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนจีน สหรัฐอเมริก และอินเดีย ในภูมิภาคอาเซียนมีประเทศอินโดนีเซียอยู่ในลำดับหกของโลกและเป็นลำดับหนึ่งในอาเซียน ประเทศไทยมีรายงานการประเมินปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกในแต่ละภาคส่วนเรียงตามลำดับดังนี้ ภาคพลังงานสูงสุดร้อยละ 71.65 ภาคเกษตรกรรมร้อยละ 14.72 ภาคอุตสาหกรรมร้อยละ 8.90 และภาคของเสียร้อยละ 4.73 [5] โดยการประเมินนี้ยังไม่รวมภาคการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและป่าไม้ ด้วยข้อจำกัดของข้อมูลด้านการปล่อยแก๊สเรือนกระจกโดยเฉพาะแก๊สไนตรัสออกไซด์จากแหล่งกำเนิดมีค่อนข้างจำกัด

แหล่งกำเนิดของแก๊สไนตรัสออกไซด์มาจากธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ การเผาไหม้เชื้อเพลิงเป็นกิจกรรมสำคัญของมนุษย์ที่ทำให้เกิดการระบายแก๊สเรือนกระจก เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนธรรมชาติมีความสำคัญกับการปล่อยแก๊สมีเทนจากการปฏิกิริยาในพื้นที่ชุ่มน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากภูเขาไฟ อิทธิพลต่อสภาวะเรือนกระจกของบรรยากาศโลก การสะสมแก๊สเรือนกระจกมีมากขึ้นตามกิจกรรมของมนุษย์ ภาคเกษตรกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้ปุ๋ยเคมีและการจัดการมูลสัตว์เป็นแหล่งกำเนิดสำคัญ ส่วนธรรมชาติมีการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ตามวัฏจักรไนโตรเจนที่มีการหมุนเวียนจากกระบวนการทางชีวเคมี เช่น การสลับเปียกและแห้งในพื้นที่ชุ่มน้ำธรรมชาติ

พื้นที่พรุเป็นระบบนิเวศที่มีลักษณะเด่นจากองค์ประกอบทางกายภาพและชีวภาพ พรุเป็นระบบนิเวศที่กักเก็บคาร์บอน [6] ดินพรุเป็นดินอินทรีย์ตามการจัดชนิดของดิน มีองค์ประกอบของดินเส้นใยสูงด้านบนจากการสะสมของเศษพืช ใต้ชั้นเส้นใยในดินเป็นดินเลนตะกอนน้ำกร่อย (Brackish water deposit) มีไพไรท์สูง ความหนาแน่นรวมของชั้นดินอินทรีย์อยู่ในช่วง 0.1 – 0.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร ดินอินทรีย์ในพรุสามารถอุ้มน้ำได้มาก มีค่าการนำน้ำของดิน (Hydraulic conductivity) 0.4 – 2.0 เซ็นติเมตรต่อชั่วโมง ดินพรุมีความเป็นกรดสูงเนื่องจากมีองค์ประกอบของกำมะถันในดินชั้นชั้นล่าง

ข้อมูลการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ในประเทศไทยมีค่อนข้างจำกัด การสืบค้นฐานข้อมูลวิชาการ Scopus ยังไม่พบว่ามีการประเมินการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ในพื้นที่ป่าพรุป่ากล่ำ จังหวัดสงขลา ข้อมูลใกล้เคียงมีในพื้นที่ป่าชายเลนจังหวัดระนอง พบว่า การปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์มีค่าเฉลี่ย 2.09±1.59 ไมโครโมลของแก๊สไนตรัสออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อวัน [7] รายงานในพื้นที่ปลูกข้าวโพดและถั่วเขียวในแปลงทดลองใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยคอกในจังหวัดลพบุรี พบว่า ปริมาณการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากพื้นที่ใช้ปุ๋ยเคมีเกิดขึ้นสูงกว่าปุ๋ยคอกในระดับ 322 และ 188 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ [8] ข้อจำกัดด้านข้อมูลการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากพรุธรรมชาติยังมีอยู่ ส่งผลต่อการประเมินและความเข้าใจกับสถานการณ์ของแก๊สเรือนกระจกในประเทศ งานวิจัยนี้จึงช่วยให้มีข้อมูลและทราบถึงลักษณะของการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์จากป่าพรุธรรมชาติในพื้นที่ภาคใต้ได้

2. วัตถุประสงค์

1) ประเมินฟลักซ์ของแก๊สไนตรัสออกไซด์จากพรุบางกล่ำ จังหวัดสงขลา

2) สนับสนุนข้อมูลการปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากแหล่งกำเนิดธรรมชาติชนิดป่าพรุ

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เก็บตัวอย่างแก๊สในพื้นที่จริงและนำตัวอย่างไปวิเคราะเชิงปริมาณด้วยเครื่องมือในห้องปฏิบัติการอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยเก็บตัวอย่างแก๊สไนตรัสออกไซด์ทุกเดือนระหว่างเดือนเมษายน - ธันวาคม พ.ศ. 2568 ในพื้นที่ของพรุบางกล่ำ จังหวัดสงขลา

4. วิธีการศึกษา

4.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่พรุบางกล่ำครอบคลุมประมาณ 1.30 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่อำเภอบางกล่ำ จังหวัดสงขลา (รูปที่ 1) พรุบางกล่ำเคยมีปัญหาถูกบุกรุก มีการเผาทำให้เกิดไฟไหม้สร้างความเดือดร้อนในช่วงแล้ง ปัจจุบันได้รับการฟื้นฟูและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติใช้เป็นพื้นที่อนุรักษ์และเป็นพื้นที่แก้มลิงในช่วงน้ำหลาก พื้นที่พรุมีพันธุ์ไม้ทนน้ำ เช่น ต้นเสม็ดขาว กระจูด หญ้าปล้อง หญ้าไทร มีพื้นล้มลุก เช่น ผักกูด ลิเภา

รูปที่ 1 ภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่พรุบางกล่ำ จังหวัดสงขลา

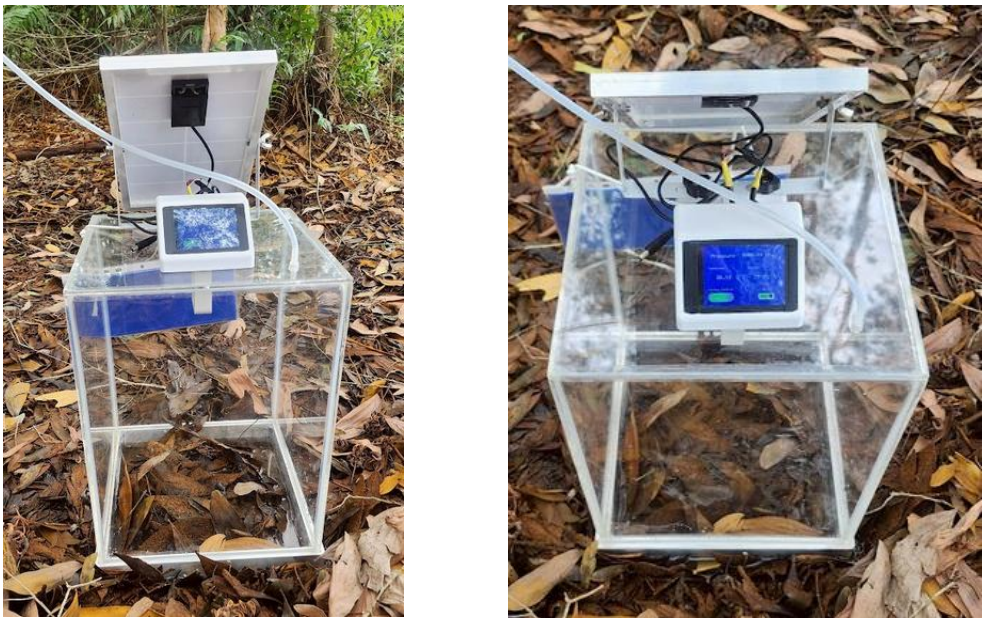
4.2 การเตรียมอุปกรณ์และการเก็บแก๊สตัวอย่าง

ขวดเก็บตัวอย่างแก๊สเป็นขวดแก้วความจุ 15 มิลลิลิตร ฝาปิดมีจุกยางและครอบด้วยโครงอะลูมิเนียมทรงกลมให้รัดแน่นด้วยชุดปิดฝาที่ใช้กับเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Vial crimper) มีการเตรียมขวดเก็บตัวอย่างก่อนนำออกไปใช้งานภาคสนามด้วยการไล่แก๊สในขวดก่อนปิดจุด (Gas flush) ด้วยการแทนที่ของแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ระดับ 99.99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมคุณภาพในการเก็บตัวอย่าง เพื่อให้มั่นใจว่าแก๊สในขวดไม่มีแก๊สชนิดอื่นปะปนอยู่ก่อนนำไปใช้เก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา

การเก็บตัวอย่างแก๊สใช้วิธีกล่องปิด (Closed-static chamber) [9] ด้วยการสร้างกล่องสี่เหลี่ยมใสจากแผ่นอะคิริคหนา 3 มิลลิเมตรขนาดกว้าง 0.3 เมตร ยาว 0.3 เมตร สูง 0.4 เมตร (รูปที่ 2) ภายในกล่องด้านบนติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องในช่วงเก็บตัวอย่าง และมีพัดลมหมุนเวียนอากาศภายในให้แก๊สกระจายภายในกล่องอย่างทั่วถึง มีแผงโซลาห์เซลล์ขนาดเล็กช่วยให้พลังงานกับแบตเตอรี่ ข้อมูลระดับอุณหภูมิและความชื้นรายงานได้ตามเวลาจริง (Real-time

record) ท่อเก็บแก๊สติดตั้งอยู่ด้านบนของกล่องพร้อมวาล์วปิด-เปิด ฐานรองรับกล่องทำจากอะลูมิเนียมสี่เหลี่ยม มีการเซาะร่องลึกให้กล่องวางอยู่ในร่องได้อย่างมั่นคง

การเก็บตัวอย่างแก๊สดำเนินการเป็นรายเดือนระหว่างเมษายนถึงธันวาคม พ.ศ. 2568 จุดเก็บตัวอย่างกระจาย 3 จุดของพรุบางกล่ำ ก่อนเก็บตัวอย่างช่วงเช้ามีการวางฐานอะลูมิเนียม ณ จุดเก็บตัวอย่างล่วงหน้าอย่างในช่วง 6.00 – 7.00 น. กดให้ฐานจมลงดินช้า ๆ ลด เพื่อผลการรบกวนพื้นที่และยึดฐานกับดินให้แน่น ช่วง 8.00 – 9.00 น. วางกล่องปิดลงบนฐานและเทน้ำตามร่องป้องกันการรั่วไหลของก๊าซออกจากกล่องปิด เริ่มเก็บตัวอย่างแก๊สที่เวลาเริ่มต้น (0 นาที) ลงขวดเก็บตัวอย่างที่เป็นสุญญากาศหลังจากได้ดูดแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิออกหมดแล้ว การเก็บตัวอย่างแก๊สทำสองซ้ำ (Duplicate) นำขวดเก็บตัวอย่างแช่ในกล่องปิดที่มีการรักษาอุณหภูมิด้วยน้ำแข็ง การเก็บตัวอย่างแก๊สเริ่มพร้อมกันทั้งสามจุด การเก็บตัวอย่างดำเนินใหม่ในช่วง 20, 40, และ 60 นาที โดยช่วงบ่ายมีการเก็บตัวอย่างในช่วง 13.00 – 14.00 น. ให้ได้ตัวอย่างครอบคลุมการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ของสองช่วงเวลาของวัน ขวดเก็บตัวอย่างแก๊สในกล่องปิดรักษาความเย็นขนส่งไปยังห้องปฏิบัติการ และเก็บรักษาในตู้แช่ควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน -4 องศาเซลเซียส ขวดเก็บตัวอย่างมีการนำออกจากตู้แช่เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟด้วยการวางให้อุณหภูมิเป็นอุณหภูมิห้องก่อนทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณ



(ก) (ข)

รูปที่ 2 กล่องเก็บตัวอย่างแก๊สตัวอย่างขณะใช้งาน (ก) การวางกล่องในจุดเก็บตัวอย่าง (ข) อุปกรณ์ประกอบที่มีชุดตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในกล่องขณะเก็บตัวอย่าง

4.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างแก๊สไนตรัสออกไซด์และการคำนวณฟลักซ์

เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ (Gas chromatograph – GC) รุ่นHP 6890 ชนิด Micro-electron capture detector (μECD) (Agilent Inc., USA) ใช้ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณ การระบุชนิดของแก๊สตัวอย่างว่าเป็นแก๊สไนตรัสออกไซด์ใช้คอลัมภ์ Agilent PLOT Q (Agilent Inc., USA) ในการแยกพีคของแก๊สจำแนกตัวอย่าง โดยมีแก๊สไนตรัสออกไซด์มาตรฐาน (N_2O standard gas) ช่วยยืนยันความถูกต้องของการวิเคราะห์ตัวอย่าง แก๊สไนตรัสออกไซด์มาตรฐานสั่งจากบริษัทผู้จำหน่าย (Air Liquid, Co. Ltd. (Thailand)) มีการยืนยันความเข้มข้นมาตรฐานในระดับ 10.03 ส่วนในล้านส่วน (certified ppm) เพื่อใช้วิเคราะห์เชิงปริมาณของแก๊สตัวอย่าง หลอดฉีดตัวอย่างชนิดใช้กับแก๊ส (Gas-tighten syringe) ใช้ดูดตัวอย่างจากขวดและฉีดเข้าสู่

เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟในปริมาตร 500 ไมโครลิตร แก๊สไนตรัสออกไซด์เชิงปริมาณที่ได้จากการเคราะห์นำมาสร้างกราฟการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของแก๊สไนตรัสออกไซด์ตามเวลาหรือ $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ ของแต่ละช่วงการเก็บตัวอย่าง [8] และนำไปใช้เป็นตัวแปรในการคำนวณหาฟลักซ์การปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ดังสมการ

$$Flux_{N_2O} = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{V}{A} \times \rho \times \frac{273}{273 + T} \times \frac{28}{44}$$

เมื่อ $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ คือ การเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (ppm N_2O ต่อชั่วโมง)

V คือ ปริมาณอากาศในกล่องปิด 0.036 ลูกบาศก์เมตร

A คือ พื้นที่หน้าตัดของกล่องปิด 0.09 ตารางเมตร

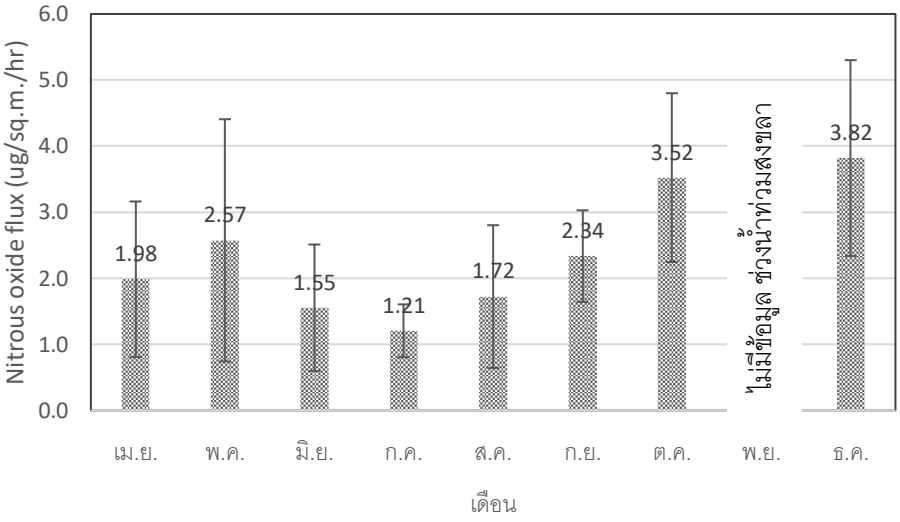
ρ คือ ความหนาแน่นของแก๊สไนตรัสออกไซด์ 1.911 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

T คือ อุณหภูมิเฉลี่ยช่วงเก็บตัวอย่างภายในกล่องปิด (องศาเซลเซียส)

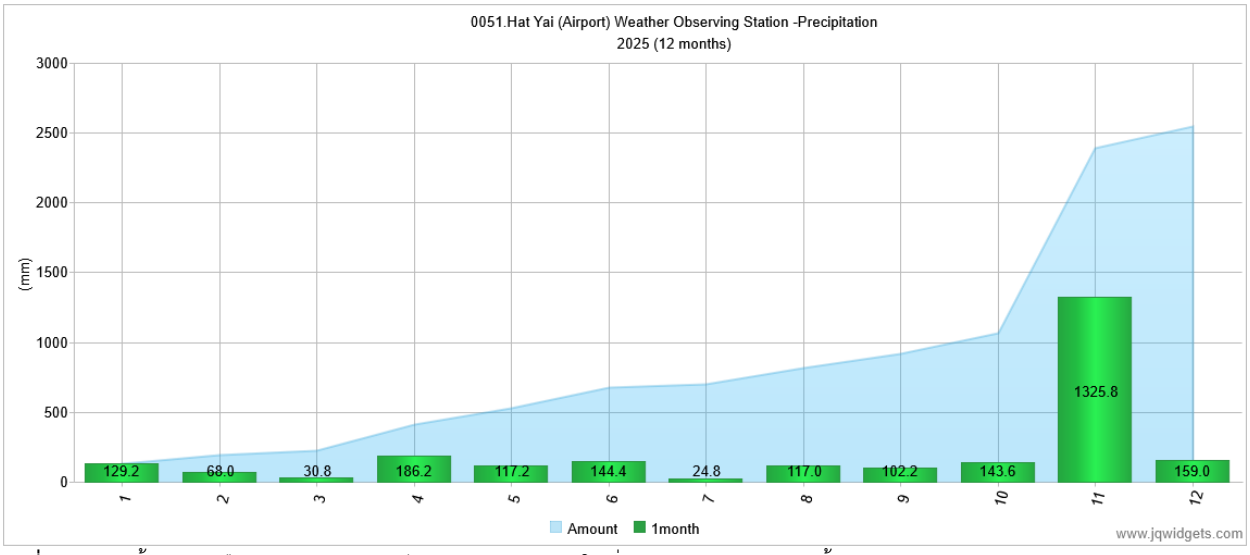
ปริมาณการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ของพรุบางกล่ำคำนวณจากค่าฟลักซ์ด้วยการใช้พื้นที่รวม และปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกใช้ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน (GWP = 273) [2] ได้ปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกในหน่วยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแก๊สไนตรัสออกไซด์เชิงปริมาณจากเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟพบว่า ความเข้มข้นของแก๊สไนตรัสออกไซด์ในแต่ละเดือนมีความผันแปรทั้งในตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างเดิมของพรุบางกล่ำและตามช่วงเดือนการเก็บตัวอย่าง โดยการคำนวณฟลักซ์จากสมการเชิงเส้นตรงมีค่า r^2 ในช่วง 0.83 - 0.91 ประมาณการแก๊สไนตรัสออกไซด์ฟลักซ์ได้ค่าอยู่ในช่วง 0.83–4.49 ไมโครกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง แก๊สไนตรัสออกไซด์ฟลักซ์ระหว่างเดือนเมษายน - ธันวาคม พ.ศ. 2568 อยู่ในช่วง 1.21±0.40 ถึง 3.82±1.48 ไมโครกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง (ค่าเฉลี่ย 2.34±0.93 ไมโครกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) โดยเดือนธันวาคมมีค่าเฉลี่ยของการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ต่อพื้นที่สูงกว่าเดือนอื่น โดยมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเดือนกรกฎาคมประมาณ 3.2 เท่า (รูปที่ 3) ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน ณ สนามบินหาดใหญ่ กรมอุตุนิยมวิทยา [10] พบว่า เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2568 เป็นเดือนที่มีฝนตกสะสมต่ำสุด 24.8 มิลลิเมตร ทั้งนี้ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2568 เป็นช่วงเหตุการณ์น้ำท่วมสูงในหลายพื้นที่ของจังหวัดสงขลา ทำให้ไม่สามารถเดินทางเข้าพื้นที่เก็บตัวอย่างได้ (รูปที่ 4) การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติในแต่ละช่วงมีผลต่อพรุบางกล่ำและส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของแก๊สไนตรัสออกไซด์ฟลักซ์รายเดือนที่ตรวจวัดได้ เช่น สภาวะเปียกสลับแห้งที่เกิดขึ้นในพื้นที่พรุบางกล่ำ ซึ่งส่งเสริมให้เกิดกระบวนการ Nitrification ที่มักเกิดในดินชั้นบนช่วงน้ำแห้ง ในขณะที่กระบวนการ Denitrification เกิดในดินชั้นลึกกว่าในช่วงน้ำขัง [4] ทั้งนี้ ฟลักซ์มักเพิ่มขึ้นในช่วงดินมีความชื้นสูง



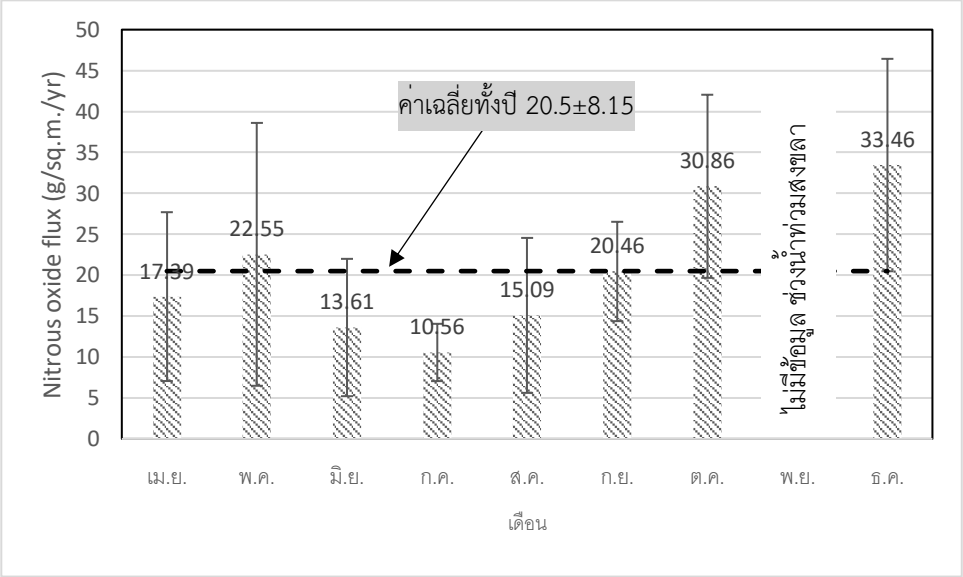
รูปที่ 3 ค่าเฉลี่ยของแก๊สไนตรัสออกไซด์ฟลักซ์ (ไมโครกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) ตามข้อมูลจำแนกเป็นรายเดือน เส้นบาร์เป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลในเดือนนั้น (เดือน พ.ย. 2568 เป็นช่วงน้ำท่วมอำเภอหาดใหญ่ ทำให้เข้าพื้นที่ไม่ได้)



รูปที่ 4 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน พ.ศ. 2568 สถานี 0051 สนามบินหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จากฐานข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา [10]

ในทางปฏิบัติของการใช้ประโยชน์ข้อมูลไนตรัสออกไซด์ฟลักซ์ของพรุบางกล่ำ การคำนวณในฐานปีช่วยให้สะดวกมากขึ้นในการประเมินในภาพรวมจากค่าฟลักซ์เฉลี่ยต่อปี 20.50±8.15 กรัมไนตรัสออกไซด์ต่อตารางเมตร (รูปที่ 5) อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงฟลักซ์รายเดือนเป็นข้อมูลเชิงเวลา (Temporal scale) ที่ช่วยให้การประมาณการเชิงพื้นที่ของพรุบางกล่ำครอบคลุมช่วงของฟลักซ์ที่เกิดขึ้นได้ดีกว่า การเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในภูมิภาคพบว่า พรุบางกล่ำมีแก๊สไนตรัสออกไซด์ฟลักซ์ 0.21±0.11 กิโลกรัมไนตรัสออกไซด์ต่อเฮกแตร์ต่อปี ต่ำกว่าพื้นที่ทำการเกษตรปลูกปาล์มน้ำมันและป่าในอินโดนีเซีย 5.0±3.9 และ 5.2±3.7 กิโลกรัมไนตรัสออกไซด์ต่อเฮกเตอร์ต่อปี ตามลำดับ [11] เมื่อนำมาคำนวณหาปริมาณการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ทั้งพื้นที่พรุบางกล่ำ (1.3 ตารางกิโลเมตร) ด้วยการใช้ข้อมูลรายเดือน พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 13.75-43.53 กิโลกรัมไนตรัสออกไซด์ต่อปี (ค่าเฉลี่ย 26.69±10.61 กิโลกรัมไนตรัสออกไซด์ต่อปี) ดังนั้น การคำนวณปริมาณการปล่อยแก๊สเรือนกระจกด้วยค่าศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน พบว่า พรุบางกล่ำมีค่าเฉลี่ย 7,205.22±2,864.50 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี

อย่างไรก็ตาม การเก็บตัวอย่างไนตรัสออกไซด์ได้จากการเก็บตัวอย่างในช่วงเช้าและบ่าย ไม่มีการเก็บตัวอย่างในช่วงกลางคืน โดยปกติไนตรัสออกไซด์ฟลักซ์จะสูงในช่วงกลางวันมากกว่ากลางคืน [12] งานวิจัยนี้ให้ค่าประมาณการของการปล่อยแก๊สที่ไม่รวมช่วงกลางคืนที่มีไนตรัสออกไซด์ฟลักซ์ต่ำ



รูปที่ 5 ประมาณการค่าเฉลี่ยของแก๊สไนตรัสออกไซด์ฟลักซ์ (กรัมต่อตารางเมตรต่อปี) เมื่อใช้ข้อมูลรายเดือนที่มีความผันแปรต่างกัน (เดือน พ.ย. 2568 เป็นช่วงน้ำท่วมอำเภอหาดใหญ่ ทำให้เข้าพื้นที่ไม่ได้) ค่าเฉลี่ยรายปีแสดงด้วยเส้นประ

6. สรุปผลการศึกษา

พื้นที่พรุบางกล่ำ จังหวัดสงขลา ปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ในระดับที่สามารถตรวจวัดเชิงปริมาณได้ในการเก็บตัวอย่างแบบกล่องปิดทุก 20 นาทีของชั่วโมงเช้าและบ่าย ข้อมูลระหว่างเดือนเมษายน-ธันวาคม พ.ศ. 2568 พบว่า ฟลักซ์ของแก๊สไนตรัสออกไซด์ในพื้นที่พรุบางกล่ำมีการผันแปรตามเวลาตลอดช่วงปี โดยเดือนตุลาคมพบว่ามีค่าฟลักซ์เพิ่มขึ้นกว่าเดือนอื่นและมีค่าสูงสุดในเดือนธันวาคม และสูงกว่าเดือนกรกฎาคมที่มีฟลักซ์ต่ำสุด 3.2 เท่า เมื่อพิจารณาแก๊สไนตรัสออกไซด์ฟลักซ์พบว่าอยู่ในช่วง 1.21±0.40 ถึง 3.82±1.48 ไมโครกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง (ค่าเฉลี่ย 2.34±0.93 ไมโครกรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) เมื่อนำมาคำนวณกับพื้นที่รวมของพรุบางกล่ำพบว่า มีปริมาณการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์เฉลี่ย 26.69±10.61 กิโลกรัมไนตรัสออกไซด์ต่อปี คิดเป็นศักยภาพการปล่อยแก๊สเรือนกระจกเฉลี่ย 7,205.28±2,864.50 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ลักษณะการผันแปรของแก๊สไนตรัสออกไซด์ฟลักซ์เปลี่ยนแปลงลดลงและเพิ่มขึ้นตลอดช่วงเก็บตัวอย่างเป็นผลมาจากการเงื่อนไขตามธรรมชาติของพรุบางกล่ำที่เปลี่ยนแปลงจากปัจจัยทางกายภาพและทางชีวเคมี ส่งผลให้ระดับของแก๊สไนตรัสออกไซด์ฟลักซ์เปลี่ยนแปลงแบบไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน อย่างไรก็ตาม เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2568 เกิดน้ำท่วมใหญ่ในพื้นที่จังหวัดสงขลาทำให้ไม่สามารถเข้าถึงพื้นที่ แต่ผลการเก็บตัวอย่างในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2568 มีระดับของแก๊สไนตรัสออกไซด์ฟลักซ์สูงสุด การสลับเปียกและแห้งของดินในพื้นที่พรุเป็นปัจจัยสำคัญต่อการปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ตามธรรมชาติ ของปฏิกิริยา Nitrification และ Denitrification

เอกสารอ้างอิง

[1] United Nations Environment Programme and Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). Global nitrous oxide assessment. Nairobi, Kenya.

[2] Forster P, Storelvmo T, Armour K, Collins W, Dufresne J-L, Frame D, Lunt DJ, Mauritsen T, Palmer MD, Watanabe M, Wild M, and Zhang H. (2021). The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

[3] National Oceanic and Atmospheric Administration. (2026). Trends in atmospheric nitrous oxide (N_2O). 5 February 2026. https://https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_n2o/

[4] Jauhiainen J, Silvennoinen H, Hamalainen R, Kusin K, Limin S, Raison RJ, and Vasander H. (2012). Nitrous oxide fluxes from tropical peat with different disturbance history and management. Biogeosciences, 9, 1337-1350.

[5] Office of National Resources and Environmental Policy and Planning. (2020). Thailand Third Biennial Update Report. Bangkok.

[6] Rotherham I D. (2020). Peatlands: ecology, conservation and heritage. Routledge New York, USA.

[7] Kitpahornsanti K, Pengthamkeerati P, Limsakul A, and Worachananant P. (2022). Greenhouse gas emission from soil and surface water in different mangrove establishments and management in Ranong Biosphere Reserve, Thailand. Regional Studies in Marine Science. 56(1-2) 102690.

[8] Sriphirom P, Chidthaisong A, Yagi K, Nobuntou W, Luanmanee S, Boonapatcharoen N, and Suksong W. (2024). Direct nitrous oxide emissions from a crop rotation of maize and mung bean after different long-term fertilizer applications in Thailand. Field Crops Research, 312, 109382

[9] Minamikawa K, Tokida T, Sudo S, Padre A, and Yagi K. (2015). Guidelines for measuring CH_4 and N_2O emissions from rice paddies by a manually operated closed chamber method. National Institute for Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, Japan.

[10] กรมอุตุนิยมวิทยา. (2569). ปริมาณน้ำฝนรายเดือนสถานี 0051 สนามบินหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา จากระบบตรวจวัดสภาพอากาศอัตโนมัติ http://www.aws-observation.tmd.go.th/aws/awsPrcptMonthly

[11] Swails E, Hergoualic'h K, Verchot L, Novita N, and Lawrence D. (2021). Spatio-temporal variability of peat CH_4 and N_2O fluxes and their contribution to peat GHG budgets in Indonesian forest and oil palm plantations. Front. Environ. Sci, 9.

[12] Wu Y-F, Whitaker J, Toet S. Bradley A, Davies CA, McNamara NP. (2021). Diurnal variability in soil nitrous oxide emissions is a widespread phenomenon. Global Change Biology. 00:1-17.

ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง เศษซากชีวมวล และพลวัตของรากฝอย ภายใต้การจำกัดปริมาณน้ำฝนลดลง ร้อยละ 50 ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ

ธนภัทร มงคลธนโชค[1], สุขุมาภรณ์ แสงงาม[2], อำนาจ ชิดไธสง[3], และ พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ[1*]

[1]คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร
[2]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร
[3]บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร
** Corresponding author: phongthep@g.swu.ac.th*

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อระบบนิเวศป่าไม้ โดยเฉพาะในป่าเขตร้อนที่มีความผันแปรของภูมิอากาศสูง โดยเฉพาะป่าเต็งรัง ซึ่งเป็นป่าที่มีการปรับตัวต่อสภาพอากาศที่แห้งแล้ง เนื่องจากมีความแปรปรวนต่อภาวะฝนทิ้งช่วงที่รุนแรง การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลจากการลดปริมาณน้ำฝนลง ร้อยละ 50 ต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง เศษซากชีวมวล และพลวัตของรากฝอยในป่าเต็งรังทุติยภูมิ ในพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี ระหว่างเดือนมีนาคม 2567 ถึงกุมภาพันธ์ 2568 โดยคัดเลือกไม้เด่น 5 ชนิดพันธุ์ โดยวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงด้วยค่า Fv/Fm และดัชนีประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (Pi) การศึกษาพบว่าในฤดูแล้ง ค่า Fv/Fm ลดลงอย่างมีนัยสำคัญของต้นไม้ทุกชนิด นอกจากนี้ ผลผลิตเศษซากชีวมวลภายใต้สภาวะน้ำฝนลดลง ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตเศษซากชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่พลวัตของรากฝอยมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญต่อสภาวะแล้ง สะท้อนให้เห็นถึงกลไกการปรับตัวของพืชต่อภัยแล้ง แม้มีภาวะขาดแคลนน้ำ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การลดลงของปริมาณน้ำฝนส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง เศษซากชีวมวลและพลวัตของรากฝอย ที่สอดคล้องกับวัฏจักรคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ ชี้ให้เห็นถึงผลกระทบของพันธุ์ไม้ต่อศักยภาพในการปรับตัวของระบบนิเวศป่าไม้ภายใต้สภาวะโลกร้อนในอนาคต

คำสำคัญ: ความแห้งแล้ง / รากฝอย / ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง / เศษซากชีวมวล / ป่าเต็งรังทุติยภูมิ

Photosynthetic efficiency, litterfall production, and fine root dynamics under a 50% rainfall reduction in secondary dry dipterocarp forests

Thanapat Mongkolthanachok[1], Sukhumaporn Saeng-ngam[2], Amnat Chidthaisong[3] and Phongthep Hanpattanakit[1*]

[1]Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University, Bangkok 10110, Thailand
[2]Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok 10110, Thailand
[3]The Joint Graduate School of Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10140, Thailand
**Corresponding author: phongthep@g.swu.ac.th*

Abstract

Climate change has significantly affected forest ecosystems, particularly tropical forests characterized by high climatic variability. Dry dipterocarp forests, which are adapted to dry conditions, are especially sensitive to prolonged drought and irregular rainfall patterns. This study aimed to investigate the effects of a 50% reduction in rainfall on photosynthetic efficiency, litterfall production, and fine root dynamics in a secondary deciduous dipterocarp forest. The study was conducted at King Mongkut's University of Technology Thonburi, Ratchaburi campus from March 2024 to February 2025. Five dominant tree species were selected for observation. Photosynthetic performance was evaluated using the maximum quantum efficiency of photosystem II (Fv/Fm) and the Performance Index (PI). The results showed that during the dry season, Fv/Fm values significantly decreased in all studied species. In addition, reduced rainfall significantly affected litter biomass production. In contrast, fine root dynamics showed a significant increase under drought conditions, reflecting plant adaptive mechanisms to water limitation. Overall, the findings indicate that reduced rainfall significantly influences photosynthetic efficiency, litterfall production, and fine root dynamics, which are closely linked to carbon cycling in forest ecosystems. These results highlight species-specific responses and the adaptive potential of forest ecosystems under future climate change scenarios.

Keywords: Drought / Fine root / Photosynthetic efficiency / Litterfall production / Secondary dry dipterocarp forest

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) มีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อระบบนิเวศป่าไม้ทั่วโลก โดยเฉพาะในป่าเขตร้อนที่มีความแปรปรวนของภูมิอากาศสูง เช่น เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมถึงประเทศไทย ซึ่งกำลังเผชิญกับรูปแบบปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนไปและอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องสาเหตุหลักของปรากฏการณ์นี้คือการสะสมของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHGs) ในบรรยากาศ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), มีเทน (CH_4), และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล การตัดไม้ทำลายป่า และกิจกรรมทางการเกษตร ก๊าซเหล่านี้กักเก็บความร้อนไว้ในบรรยากาศ ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้น หรือเป็นที่รู้จักในชื่อว่า “ภาวะโลกร้อน” ผลกระทบจากภาวะโลกร้อนประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบสภาพภูมิอากาศอย่างมีนัยสำคัญในหลายภูมิภาค เช่น พายุที่ทวีความรุนแรงขึ้น ฝนที่ตกอย่างหนักในช่วงเวลาอันสั้น และภัยแล้งที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งและรุนแรงยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในเขตร้อน เช่น เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มักประสบกับภัยแล้งซ้ำซาก ภัยแล้งนับเป็นหนึ่งในปัจจัยความเครียดทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญซึ่งส่งผลต่อระบบนิเวศป่าไม้ [1][2] โดยเฉพาะป่าไม้เขตร้อนผลัดใบที่แห้งแล้งตามฤดูกาล ซึ่งไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดิน การขาดน้ำส่งผลให้การเจริญเติบโตของต้นไม้ลดลง ประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสงเสื่อมลง [3][4] และความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนลดลง ระบบนิเวศป่าไม้มีบทบาทสำคัญในวัฏจักรคาร์บอนของโลกผ่านกระบวนการต่าง ๆ เช่น การสังเคราะห์ด้วยแสงและการหายใจของพืช สภาวะแห้งแล้งที่ยาวนานสามารถนำไปสู่การลดลงของการร่วงหล่นของเศษซากชีวมวล [5][6]ซึ่งส่งผลต่อการหมุนเวียนของธาตุอาหาร การขาดแคลนน้ำในระยะยาวยังยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photoinhibition) [7][8] และการสะสมคาร์บอนในระบบนิเวศ นอกจากนี้ความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนยังส่งผลต่อสมดุลคาร์บอนของพื้นดิน เนื่องจากความพร้อมของน้ำเป็นปัจจัยจำกัดหลักที่ควบคุมการผลิตชีวมวลและการทำงานทางสรีรวิทยาของพืช ความสามารถของพืชในการตรึงและสะสมคาร์บอนขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ด้วยแสงภายใต้สภาวะเครียดจากภัยแล้งโดยตรง การลดลงของมวลชีวภาพของใบไม้และอินทรียวัตถุในดินส่งผลให้กระบวนการหมุนเวียนธาตุอาหารลดลง รวมทั้งการสะสมคาร์บอนในดินต่ำลง ในระยะยาว ภายในระบบนิเวศป่าไม้ รากฝอย (ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ≤ 2 มม.) มีบทบาทสำคัญในการดูดซับธาตุอาหารและในการหมุนเวียนของคาร์บอน รากฝอยมีอายุขัยสั้นและมีการเติบโตและตายอย่างต่อเนื่อง และมีส่วนสำคัญต่ออินทรียวัตถุในดิน[9][10]งานวิจัยในป่าผสมทางตอนใต้ของรัฐแคลิฟอร์เนีย พบว่าการเจริญเติบโตของรากฝอยตอบสนองเชิงบวกต่ออุณหภูมิของดินที่สูงขึ้น ขณะที่ดินที่มีอุณหภูมิเย็นกว่า จะชะลอการพัฒนาการเติบโตของราก ในทำนองเดียวกัน ความชื้นในดินมีอิทธิพลต่อกิจกรรมของรากฝอย ซึ่งป่าที่มีพรรณไม้โปร่งและได้รับแสงมากจะแสดงให้เห็นถึงการยืดตัวของรากฝอยได้ดีกว่าป่าทึบหรือมีเรือนยอดปิดแน่น ป่าเต็งรัง (Dry Dipterocarp Forest: DDF) เป็นระบบนิเวศหลักประเภทหนึ่งในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สำหรับในประเทศไทย ป่าเต็งรังจัดเป็นระบบนิเวศป่าธรรมชาติที่มีพื้นที่มากเป็นอันดับสามของประเทศ โดยครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 21 ล้านไร่ แม้ว่าป่าเต็งรังจะมีชีวมวลเหนือพื้นดินและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนน้อยกว่าป่าดิบชื้น แต่มันก็ยังมีบทบาทสำคัญในวัฏจักรคาร์บอนผ่านกระบวนการ เช่น การร่วงของเศษชีวมวล การหมุนเวียนของรากฝอย และการสะสมของคาร์บอนในดิน อย่างไรก็ตาม ป่าเต็งรังมีความเปราะบางต่อความผันแปรของปริมาณน้ำฝนและภัยแล้งอย่างมาก เนื่องจากมีดินมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการทางสรีรวิทยาหลักที่ควบคุมการตรึงคาร์บอนในพืช และเป็นตัวกำหนดความสามารถในการผลิตทางชีวภาพของระบบนิเวศ ตัวชี้วัดทางสรีรวิทยา เช่น ประสิทธิภาพควอนตัมสูงสุดของระบบแสง II และดัชนีประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง สามารถใช้ในการประเมินผลกระทบของภัยแล้งต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงได้อย่างแม่นยำ [3][4][11] ข้อจำกัดทางสรีรวิทยาเหล่านี้ยับยั้งการเติบโตของไม้ยืนต้นและการผลิตเศษซากชีวมวล ส่งผลให้การสะสมคาร์บอนในป่าเต็งรังลดลงเมื่อเวลาผ่านไป แม้ที่ผ่านจะมีการศึกษาที่สำรวจการตอบสนองของพืชไม้เขตร้อนต่อความเครียดจากภัยแล้ง แต่ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงและการกักเก็บคาร์บอนในป่าเต็งรังทุติยภูมิยังมีจำกัด

ป่าเหล่านี้กำลังขยายตัวจากกระบวนการฟื้นฟูธรรมชาติและการฟื้นตัวจากการใช้ที่ประโยชน์ในอดีต อย่างไรก็ตาม กลไกของวัฏจักรคาร์บอนภายใต้เงื่อนไขของการลดลงของปริมาณน้ำฝนยังไม่ชัดเจน ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบของการลดปริมาณน้ำฝนลง 50% ต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาและนิเวศวิทยาที่สำคัญ ได้แก่ ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง การผลิตเศษซากชีวมวล และพลวัตของรากฝอย ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ประเทศไทย พื้นที่ศึกษาคัดเลือกมาจากป่าที่เคยถูกใช้ประโยชน์และกำลังอยู่ในระยะฟื้นฟูตัว ซึ่งมีลักษณะทั่วไปของป่าเต็งรังทุติยภูมิที่พบกระจายอยู่อย่างแพร่หลายในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะในประเทศไทย ลาว กัมพูชา และเมียนมา พื้นที่นี้ตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อนที่มีลักษณะเฉพาะคือมีฤดูแล้งที่ชัดเจนและยาวนานถึง 5-6 เดือน โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,000-1,250 มิลลิเมตรต่อปี [12][13]ทำให้พื้นที่นี้เป็นที่ที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาผลกระทบของภัยแล้งจากการลดลงของปริมาณน้ำฝนต่อระบบนิเวศป่าเต็งรัง

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความแปรผันของดัชนีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและผลผลิตเศษซากชีวมวลภายใต้สภาวะความเครียดจากการลดปริมาณน้ำฝนลง 50% ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ
2. เพื่อศึกษาการตอบสนองของรากฝอยภายใต้สภาวะความเครียดจากภัยแล้ง ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบของการลดปริมาณน้ำฝนร้อยละ 50 ต่อประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง เศษซากชีวมวล และพลวัตของรากฝอย ในป่าเต็งรัง ประเทศไทย ในพื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี ระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 โดยทำการศึกษาในพืชเด่น 5 ชนิด ได้แก่ รัง (*Pentacme siamensis*) เต็ง (*Shorea obtusa*) เหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*) อ้อยช้าง (*Lannea coromandelica*) และ คำรอก (*Ellipanthus tomentosus*) การศึกษาดำเนินการเก็บข้อมูลการร่วงหล่นของเศษซากชีวมวลโดยใช้กระบะรองรับเศษซากชีวมวล (litter trap) เพื่อวัดปริมาณการร่วงหล่นของเศษซากชีวมวลในแต่ละฤดูกาลและทำการวิเคราะห์พลวัตของรากฝอยด้วยเทคนิค soil core วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรากฝอย จากการเก็บตัวอย่างดินดำเนินการที่ระดับความลึก 4 ระดับ ได้แก่ 0-5, 5-10, 10-15 และ 15-20 เซนติเมตร วิเคราะห์ค่าดัชนีประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (Photosynthetic Performance Index, Pi) และค่า Fv/Fm ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ระดับความเครียดของพืช ซึ่งสะท้อนประสิทธิภาพควอนตัมสูงสุดของระบบ PSII โดยวิธีการวัดค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซ็นท์ (Chlorophyll fluorescence) เพื่อประเมินการตอบสนองของพืชต่อความเครียดจากภัยแล้ง ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดย เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง เศษซากชีวมวล และพลวัตของรากฝอยระหว่างพื้นที่สภาพภูมิอากาศปกติและพื้นที่สภาพภูมิอากาศที่มีการจำลองการลดลงของปริมาณน้ำฝนลง ร้อยละ 50

4. วิธีการศึกษา

4.1 พื้นที่การศึกษา

พื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิตั้งอยู่ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตราชบุรี ตำบลรางบัว อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี อยู่ทางทิศตะวันตก ประเทศไทย ละติจูด: 13° 35' 13.3"N, ลองจิจูด: 99° 30' 3.9"E ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 110 เมตร มีปริมาณน้ำฝนรวมเฉลี่ยรายปี เท่ากับ 1,028.98 มม. มีอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี เท่ากับ 28.46°C อุณหภูมิ

สูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 34.18°C และอุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 22.82°C พื้นที่ป่าเต็งรังทุติยภูมิมีขนาดเท่ากับ 1,170 ไร่ [14] ในอดีตป่ามีการตัดต้นไม้เพื่อผลิตถ่าน ทำให้ต้นไม้ ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงการฟื้นฟู ภายหลังได้รับการอนุรักษ์ ไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ.2548 [15]

4.2 การเตรียมพื้นที่ศึกษาการจำลองการลดลงของปริมาณน้ำฝนร้อยละ 50

การศึกษานี้ได้ทำการทดลองทั้งหมด 2 เงื่อนไขการทดลอง โดยแบ่งเป็นแปลงจำลองสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศให้อยู่ในสภาวะแห้งแล้ง โดยการลดปริมาณน้ำฝนลงร้อยละ 50 (T1) จำนวน 2 แปลง และแปลงสภาพภูมิอากาศปกติ (T2) จำนวน 2 แปลง ในการศึกษานี้ต้องเตรียมแปลงทดลองที่จำลองสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำการสร้างหลังคาอะคลิลิคใส เพื่อให้แปลงทดลองได้รับปริมาณน้ำฝนลดลงโดยจะติดแผ่นอะคลิลิคใสเป็นหลังคาแบบเว้นช่อง พร้อมทั้งติดตั้งรางน้ำฝนเพื่อให้น้ำไหลออกจากพื้นที่ของแปลงทดลอง (รูปที่ 1 ก) โดยมีขนาด 20 เมตร x 10 เมตร จำนวน 2 แปลงและเตรียมพื้นที่แปลงสภาพภูมิอากาศปกติจำนวน 2 แปลง (รูปที่ 1 ข)

รูปที่ 1 (ก) แปลงที่ได้ทำการจำลองสถานการณ์ลดลงของปริมาณน้ำฝน ร้อยละ 50 (T1) และ (ข) แปลงทดลองควบคุม (Control) ตามสภาพภูมิอากาศปกติ (T2)

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง

การศึกษาประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง เป็นการวิเคราะห์และประเมินความสามารถของพืชในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานเคมีในรูปของสารอินทรีย์ โดยอาศัยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่มีบทบาทหลักต่อการเจริญเติบโตและการผลิตชีวมวลของพืช โดยเราได้ชนิดของไม้เด่นจำนวน 5 ชนิด ของทั้ง 2 การจำลองสภาวะเวดล้อม ได้แก่ รัง (*Pentacme siamensis*) เต็ง (*Shorea obtusa*) เหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*) อ้อยช้าง (*Lannea coromandelica*) และ คำรอก (*Ellipanthus tomentosus*) มาทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง ด้วยเทคนิคคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนซ์เป็นเทคนิคการหาค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชจากค่าเรืองแสงของคลอโรฟิลล์ในระบบ Photosystem II โดยใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ด้วย Chlorophyll- fluorimeter (Pocket PEA, Hansatech instruments) บันทึกค่าประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (Photosynthetic performance index, Pi) และค่า Fv/Fm ของพืชคือค่าที่บ่งบอกถึงความเครียดของพืช ซึ่งค่าสภาวะปกติจะมีค่าอยู่ที่ 0.83 หรืออยู่ในช่วง 0.79-0.85 หากพืชนั้นมีสภาวะเครียดจะมีค่า Fv/Fm ต่ำกว่า 0.79 โดยแปลว่ามีกระบวนการยับยั้งการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photoinhibition) ในพืช [16] จากสภาวะที่พืชมีความเครียดต่าง ๆ เช่น ภัยแล้ง การขาดธาตุอาหาร และอื่น ๆ

4.4 การศึกษาพลวัตของรากฝอย

ตัวอย่างรากฝอยในการศึกษานี้ได้มาจากตัวอย่างดินที่เก็บมาจากวิธี Soil core โดยจะนำดินที่เก็บมาจากแปลงทดลองทั้ง 4 แปลง แยกจุดแยกชั้นตามตัวอย่างดินที่เก็บมา นำดินมาร่อนในตะแกรงขนาด 1 มม. เพื่อแยกรากออกจากดินและทำการแยกรากเป็นและรากตายก่อนจะนำตัวอย่างรากไปทำวิเคราะห์ลักษณะต่าง ๆ โดยใช้เครื่องสแกนสำหรับการวิเคราะห์ความยาวปริมาตร และความหนาแน่นของราก สำหรับการนำไปวิเคราะห์จะทำโดยใช้เครื่องสแกน Epson Perfection-V39 สแกนที่ความละเอียด 300 dpi ด้วยโปรแกรม Maeght เพื่อภาพที่มีความละเอียดสูง และใช้โปรแกรม ImageJ วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา

4.5 การศึกษาเศษซากชีวมวล

ผลผลิตเศษซากชีวมวลจากกระบะรองรับชีวมวล (Litterfall trap) ที่ทำมาจากท่อ PVC มาประกอบเป็นเสาและกรอบกระบะ ลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยม ที่มีขนาดกว้าง ยาว 1 เมตร และสูง จากพื้นดิน 1 เมตร และทำการติดตั้งตาข่ายไนล่อนเพื่อรองรับชีวมวลที่ร่วงมาจากต้นไม้ในแปลงทั้งหมด 4 แปลงโดยจะมีกระบะรองรับ แปลงละ 3 กระบะ แบ่งเป็นแปลงป่าเต็งรังสภาพภูมิอากาศปกติ จำนวน 2 แปลงและแปลงที่ได้ทำการจำลองสถานการณ์ลดลงของปริมาณน้ำฝนร้อยละ 50 จำนวน 2 แปลง ทำการเก็บตัวอย่างใส่ถุงตาข่ายไนล่อน (Litterfall bag) ทุก ๆ 1 เดือน จากนั้นนำตัวอย่างเศษซากชีวมวลมาแยกส่วนใบไม้ ก้าน และอื่น ๆ ออกจากกันหลังจากนั้นทำการชั่งแยกส่วน ใส่ตะกร้าแล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่งเมื่อได้ค่าปริมาณน้ำหนักแห้งในส่วนของใบไม้ ก้าน และอื่น ๆ จากผลผลิตเศษซากชีวมวลต่อหน่วยพื้นที่ (ตารางเมตร) นำไปคูณกับสัดส่วนคาร์บอนที่ได้มาจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHN Analyzer เพื่อหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของผลผลิตเศษซากชีวมวล

4.6 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

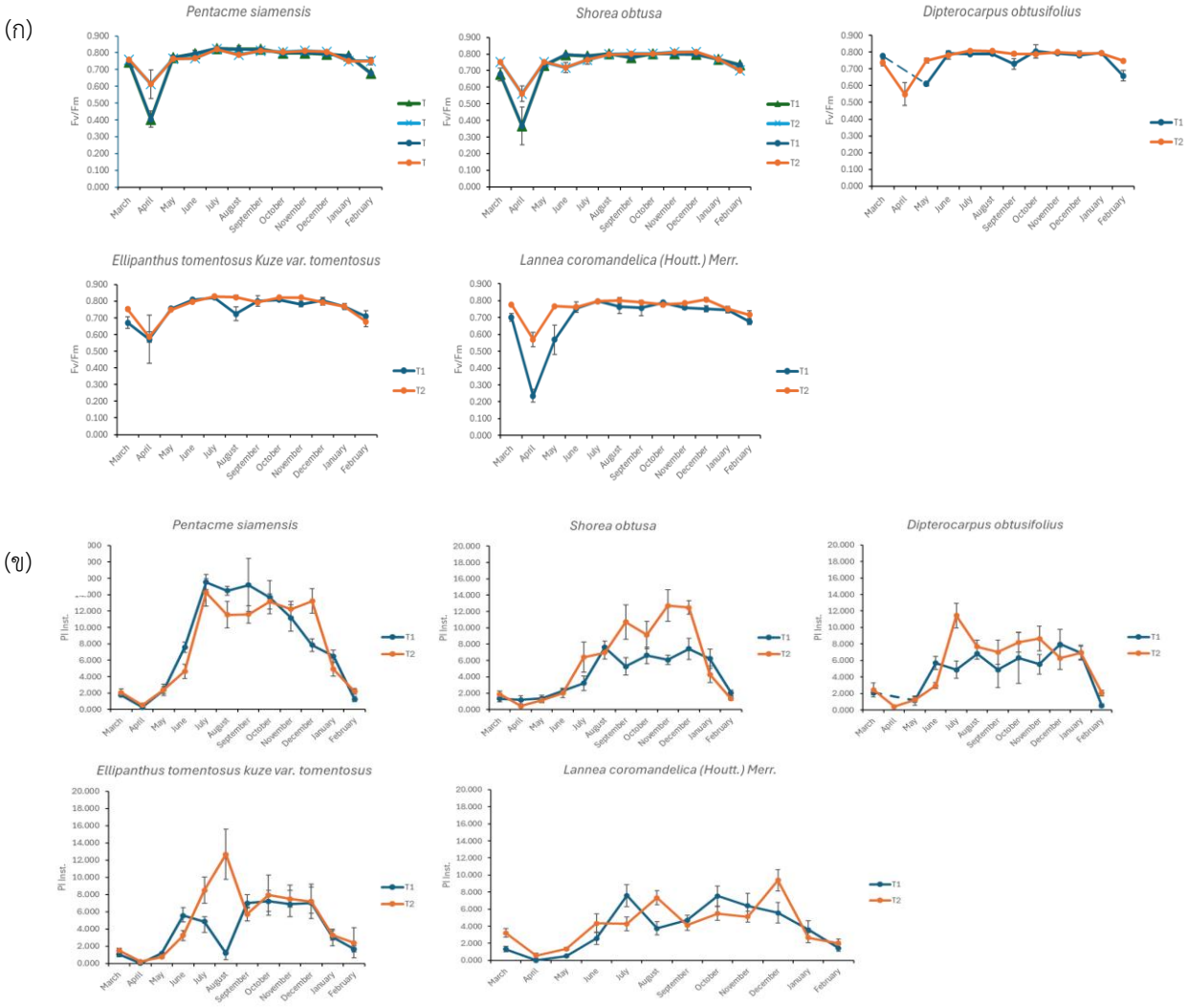
การวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error: SE) เพื่อสรุปลักษณะของข้อมูลในเบื้องต้น จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างแปลงทดลองที่ทำการลดลงของปริมาณน้ำฝนร้อยละ 50 (T1) และแปลงควบคุม (T2) โดยทดสอบด้วย Independent Sample t-test

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นประเมินผลกระทบของการลดปริมาณน้ำฝนร้อยละ 50 (T1) เทียบกับแปลงควบคุม (T2) ต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาและการเติบโตของพันธุ์ไม้ในป่าเต็งรัง โดยพิจารณาจากตัวแปรสำคัญ 3 ด้าน ได้แก่ ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง พลวัตรากฝอย และเศษซากชีวมวล ซึ่งทั้งสามด้านสะท้อนการตอบสนองของระบบนิเวศทั้งเหนือพื้นดินและใต้พื้นดินภายใต้สภาวะความเครียดจากภัยแล้งที่เพิ่มขึ้น

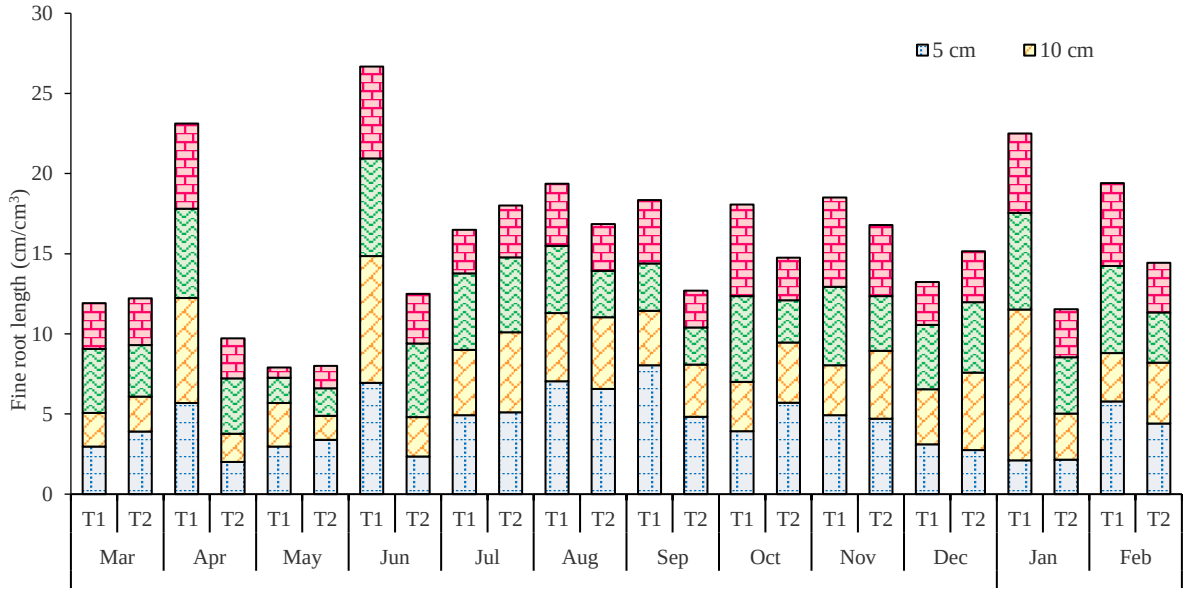
ผลการวัดค่า Fv/Fm ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพสูงสุดของ Photosystem II (PSII) พบว่าภายใต้แปลง T1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.663 ± 0.013 ค่า Fv/Fm มีแนวโน้มต่ำกว่า T2 มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.729 ± 0.005 และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในช่วงฤดูร้อน ($P < 0.001$) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในฤดูฝน (รูปที่ 2 ก) โดยพันธุ์ไม้แต่ละชนิดแสดงการตอบสนองที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน อ้อยช้าง (*Lannea coromandelica*) และคำรอก (*Ellipanthus tomentosus*) แสดงค่า Fv/Fm ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่รัง (*Pentacme siamensis*) เต็ง (*Shorea obtusa*) และเหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*) ซึ่งเป็นพันธุ์ไม้เด่นในป่าเต็งรัง มีค่า Fv/Fm ค่อนข้างคงที่ระหว่างสองแปลงทดลองการที่ค่า Fv/Fm ลดลงในอ้อยช้างและคำรอกสะท้อนถึงการเกิด photoinhibition หรือการปิดการทำงานชั่วคราวของ PSII เมื่อพืชเผชิญกับสภาวะขาดน้ำร่วมกับความเข้มของแสงสูง ความแตกต่างนี้น่าจะเป็นผลมาจากกลไกการทนแล้งเชิงวิวัฒนาการที่พันธุ์ไม้เด่นได้พัฒนามาเพื่อรับมือกับสภาพภูมิอากาศแบบมรสุมที่มีฤดูแล้งยาวนานของภูมิภาค [16] ทั้งนี้ค่า Fv/Fm ปกติของพืชในช่วง 0.75–0.85 และเมื่อค่าลดลงต่ำกว่าเกณฑ์นี้บ่งชี้ถึงความเสียหายหรือการยับยั้งการทำงานของ PSII [3][4]กระบวนการดังกล่าวเกี่ยวข้อง

กับการเพิ่มขึ้นของ non-photochemical quenching (NPQ) ซึ่งเป็นกลไกระบายพลังงานส่วนเกินออกในรูปความร้อนเพื่อป้องกันความเสียหายต่อเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ [7][8]ในทางตรงกันข้าม การที่รัง เต็ง และเหียง รักษาค่า Fv/Fm ได้อย่างคงที่ภายใต้สภาวะขาดน้ำ แสดงให้เห็นถึงกลไกการปรับตัวทางสรีรวิทยาที่มีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับลักษณะทางนิเวศวิทยาของป่าเต็งรังที่วิวัฒนาการมาในสภาพแวดล้อมที่มีฤดูแล้งยาวนานและรุนแรง [16] โดยกลไกการปิดปากใบ (stomatal closure) และการสะสมสารออสโมติก (osmotic adjustment) มีบทบาทสำคัญในการรักษาสมดุลของน้ำในเซลล์ใบและป้องกันความเสียหายต่อระบบสังเคราะห์ด้วยแสง [17] สำหรับดัชนีประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (Performance Index; PI) พบว่าเต็ง (*Shorea obtusa*) มีค่า PI ลดลงภายใต้แปลง T1 อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.5$) ขณะที่ชนิดอื่นมีค่า PI ลดลงเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (รูปที่ 2 ข) ผลดังกล่าวมีนัยสำคัญเชิงวินิจฉัย เนื่องจาก PI สะท้อนประสิทธิภาพของห่วงโซ่การถ่ายทอดอิเล็กตรอนทั้งระบบตั้งแต่การดูดกลืนแสงจนถึงการรีดักชัน PSI ได้ครอบคลุมกว่า Fv/Fm เพียงอย่างเดียว [11] ดังนั้นแม้เต็งจะรักษาค่า Fv/Fm ได้ในระดับหนึ่ง แต่ผลของ PI บ่งชี้ว่าประสิทธิภาพรวมของกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงยังคงได้รับผลกระทบจากภาวะขาดน้ำ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการใช้ตัวชี้วัดทั้งสองร่วมกัน มีความสำคัญในการประเมินสถานะความเครียดของพืชได้อย่างครอบคลุมยิ่งขึ้น



รูปที่ 2 ค่า Fv/Fm (ก) และดัชนีประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง (Pi) (ข)ภายใต้สภาวะลดปริมาณน้ำฝน 50% (T1) และสภาวะควบคุม (T2) ของพันธุ์ไม้เด่นในป่าเต็งรังทุติยภูมิ ระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568

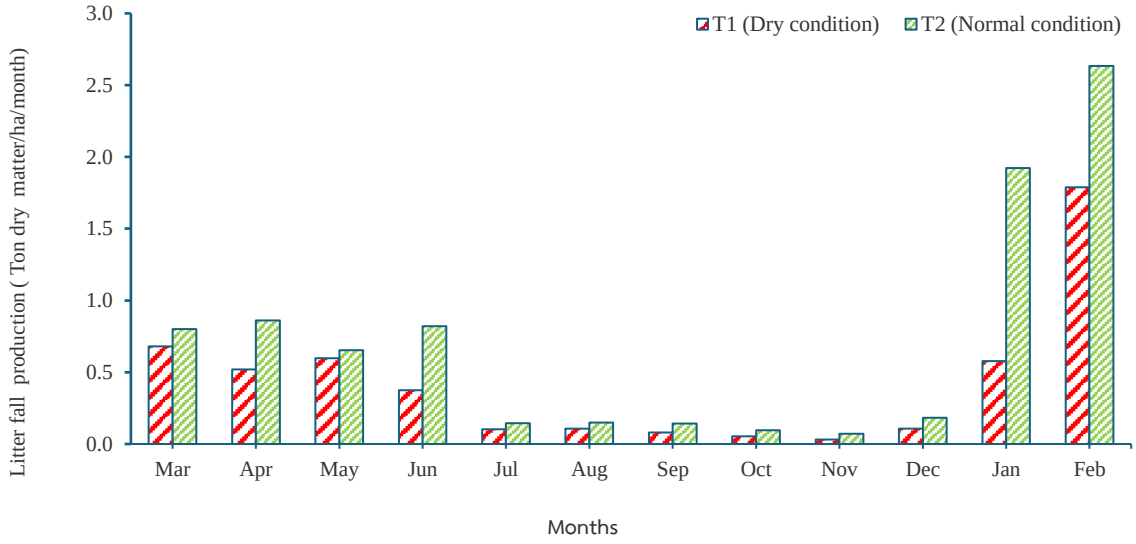
ขณะที่ประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงเหนือพื้นดินลดลง ระบบรากกลับแสดงการตอบสนองในทิศทางตรงกันข้าม โดยความยาวรากฝอยรวมภายใต้แปลง T1 สูงกว่าแปลง T2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) (รูปที่ 3) โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 17.98 ± 4.88 และ 13.53 ± 2.88 เซนติเมตรต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ สำหรับการแปรผลตามฤดูกาล พบว่าความยาวรากฝอยสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนมิถุนายน ซึ่งตรงกับช่วงต้นฤดูฝนที่ฝนเริ่มตกครั้งแรกหลังจากผ่านช่วงแล้งยาวนาน เพื่อชดเชยการสูญเสียน้ำ สะท้อนถึงกลยุทธ์การปรับตัวที่ซับซ้อนของพันธุ์ไม้ในป่าเต็งรังภายใต้สภาวะความเครียดจากภัยแล้งในด้านประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง ในขณะที่ช่วงฤดูแล้งความยาวรากฝอยมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างสองแปลงความยาวรากฝอยที่สูงขึ้นภายใต้แปลง T1 สะท้อนถึงกลไกการชดเชยใต้พื้นดิน (belowground compensatory mechanism) ที่พืชเพิ่มการสร้างรากฝอยเพื่อขยายพื้นที่ดูดน้ำและธาตุอาหารเมื่อเผชิญกับสภาวะน้ำจำกัด ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวคิดการปรับตัว ระบุว่าพืชจะเพิ่มสัดส่วนคาร์บอนที่จัดสรรลงสู่รากเมื่อทรัพยากรในดินมีจำกัด [9][18]รูปแบบการตอบสนองนี้สะท้อนให้เห็นการแลกเปลี่ยนที่ชัดเจน กล่าวคือ เมื่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและผลิตภาพเหนือพื้นดินถูกจำกัดลง พืชจึงปรับเปลี่ยนทิศทางการจัดสรรคาร์บอนมาสู่ระบบรากเพื่อรักษาสมดุลของน้ำความยาวรากฝอยที่สูงสุดในเดือนมิถุนายนสามารถอธิบายได้ด้วยปรากฏการณ์ "root flush" ซึ่งเป็นการแตกแขนงของรากฝอยอย่างรวดเร็วภายหลังเหตุการณ์ฝนตกครั้งแรกของฤดูฝน สอดคล้องกับการศึกษาในป่าเขตร้อนแล้งที่พบว่ารากฝอยมีพลวัตสูงและตอบสนองอย่างรวดเร็วต่อการเพิ่มขึ้นของความชื้นในดิน [19] นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะเชิงหน้าที่ของราก เช่น Specific Root Length (SRL) ที่สูงขึ้นภายใต้สภาวะน้ำจำกัด ยังเป็นกลยุทธ์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดน้ำต่อหน่วยคาร์บอนที่ลงทุนในราก อันเป็นลักษณะเชิงหน้าที่ที่สัมพันธ์กับการปรับตัวในสภาพแวดล้อมที่น้ำจำกัด [10]



รูปที่ 3 พลวัตรากฝอยในชั้นดิน 4 ระดับ ภายใต้การลดปริมาณน้ำฝนร้อยละ 50 (DC) เปรียบเทียบกับแปลงควบคุมที่ได้รับปริมาณน้ำฝนตามธรรมชาติ (NC) ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ ระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568

ในด้านผลิตภาพเหนือพื้นดิน พบว่าชีวมวลเศษซากพืชเฉลี่ยภายใต้แปลง T1 ต่ำกว่าแปลง T2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) 0.418 ± 0.143 ตัน/เฮกตาร์ /เดือน และ 0.706 ± 0.234 ตัน/เฮกตาร์ /เดือน ตามลำดับ (รูปที่ 4) โดยรูปแบบตามฤดูกาลแสดงให้เห็นว่าปริมาณเศษซากพืชสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งตรงกับช่วงปลายฤดูแล้งที่ไม้เต็งรังเข้าสู่ช่วงผลัดใบ จากนั้นลดลงในช่วงฤดูฝนและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งชีวมวลเศษซากพืชที่ต่ำกว่าในแปลง T1 บ่งชี้อย่างชัดเจนว่าการขาด

น้ำมีผลจำกัดผลิตภาพเหนือพื้นดินโดยตรง เมื่อน้ำเป็นปัจจัยจำกัดหลัก กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงและการเติบโตของใบถูกยับยั้ง ส่งผลให้ผลผลิตใบรวมและปริมาณเศษซากชีวมวลที่ร่วงหล่นลดลงตามไปด้วย [20] ผลนี้เชื่อมโยงสอดคล้องกับค่า Fv/Fm และ PI ที่ลดลงในบางชนิด ยืนยันว่าความเครียดจากภัยแล้งส่งผลกระทบเป็นลูกโซ่ตั้งแต่ระดับสรีรวิทยาของเซลล์ไปจนถึงผลิตภาพระดับระบบนิเวศ รูปแบบเศษซากชีวมวลสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์สอดคล้องกับพฤติกรรมการผลัดใบของไม้ในป่าเต็งรัง ซึ่งเป็นกลยุทธ์การปรับตัวเพื่อลดการสูญเสียน้ำผ่านปากใบในช่วงที่ความเครียดจากภัยแล้งรุนแรงที่สุด [21] อย่างไรก็ตาม ผลกระทบที่น่ากังวลในระยะยาวคือการลดลงของปริมาณเศษซากชีวมวลอย่างต่อเนื่องภายใต้สภาวะแล้งที่รุนแรงขึ้นจะส่งผลต่อการหมุนเวียนธาตุอาหาร (nutrient cycling) และการสะสมอินทรียวัตถุในดิน ซึ่งอาจนำไปสู่การเสื่อมถอยของความอุดมสมบูรณ์ของดินในระยะยาว [5] และอาจส่งผลย้อนกลับมาจำกัดการเติบโตและความสามารถในการฟื้นตัวของป่าในระยะต่อไป



รูปที่ 4 ปริมาณเศษซากชีวมวลรายเดือนภายใต้การลดลงปริมาณน้ำฝนร้อยละ 50 (T1) เปรียบเทียบกับแปลงควบคุมที่ได้รับปริมาณน้ำฝนตามธรรมชาติ (T2) ในป่าเต็งรังทุติยภูมิ ระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568

6. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองของระบบนิเวศป่าเต็งรังทุติยภูมิต่อสภาวะความเครียดจากภัยแล้งจากการลดปริมาณน้ำฝน ร้อยละ 50 พบว่าส่งผลกระทบต่อดัชนีการสังเคราะห์ด้วยแสงและผลผลิตเศษซากชีวมวลมีความแปรผันตามฤดูกาลและภัยแล้งอย่างชัดเจน โดยพันธุ์ไม้แต่ละชนิดแสดงความสามารถปรับตัวต่อความแห้งแล้งที่แตกต่างกัน พันธุ์ไม้เด่นอย่างรัง เต็ง และเหียง สามารถรักษาประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงได้ดีกว่า ในขณะที่ผลผลิตเศษซากชีวมวลโดยรวมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สะท้อนให้เห็นว่าภาวะขาดน้ำมีผลจำกัดในการผลิตของภาคเหนือพื้นดินอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ในขณะที่ผลิตภาคเหนือพื้นดินลดลง ระบบรากกลับแสดงการตอบสนองในทิศทางตรงกันข้าม โดยความยาวรากฝอยในแปลงที่มีการลดปริมาณน้ำฝนมีค่าสูงกว่าแปลงควบคุม สะท้อนถึงกลยุทธ์การจัดสรรทรัพยากรของพืชที่เพิ่มการลงทุนในระบบรากเพื่อขยายพื้นที่ดูดน้ำและธาตุอาหารทดแทนการสูญเสียจากภาวะขาดน้ำ รูปแบบการตอบสนองแบบแลกเปลี่ยนระหว่างเหนือพื้นดินและใต้พื้นดิน การตอบสนองที่ต่างกันเหล่านี้เน้นย้ำถึงกลยุทธ์ของพืชที่ซับซ้อนในการเน้นย้ำว่าให้เห็นว่าระบบนิเวศป่าเต็งรังไม่ได้ตอบสนองและปรับตัวต่อสภาวะภัยแล้งในรูปแบบเดียว แต่มีการปรับกลยุทธ์ทั้งในระดับชนิดพันธุ์และสรีรวิทยาอย่างละเอียดอ่อน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเป็นองค์ความรู้สำคัญที่จะช่วยอธิบายกลไกการอยู่รอดของป่าเต็งรังทุติยภูมิภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่รุนแรงขึ้นใน

สภาวะที่ไม่แน่นอนของสภาพภูมิอากาศในอนาคตและชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการติดตามและประเมินสรีรวิทยาของพืชในระดับชนิดพันธุ์อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถคาดการณ์ความสามารถในการฟื้นตัวของป่าเต็งรังได้อย่างแม่นยำภายใต้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่รูปแบบฝนมีความแปรปรวนมากขึ้นในอนาคต ความรู้ที่ได้จากการศึกษานี้ยังมีความสำคัญต่อการวางแผนการจัดการและอนุรักษ์ป่าเต็งรังในระดับภูมิภาค โดยเฉพาะในการคัดเลือกพันธุ์ไม้ที่มีศักยภาพสูงในการทนทานต่อภัยแล้งสำหรับโครงการปลูกป่าฟื้นฟู

เอกสารอ้างอิง

[1] Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., ... & Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, *259*(4), 660–684.

[2] Choat, B., Jansen, S., Brodribb, T. J., Cochard, H., Delzon, S., Bhaskar, R., ... & Zanne, A. E. (2012). Global convergence in the vulnerability of forests to drought. *Nature*, *491*(7426), 752–755.

[3] Baker, N. R. (2008). Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis *in vivo*. *Annual Review of Plant Biology*, *59*, 89–113.

[4] Maxwell, K., & Johnson, G. N. (2000). Chlorophyll fluorescence: A practical guide. *Journal of Experimental Botany*, *51*(345), 659–668.

[5] Brando, P. M., Nepstad, D. C., Davidson, E. A., Trumbore, S. E., Ray, D., & Camargo, P. (2008). Drought effects on litterfall in an Amazon forest: Integration of field data with a simple model. *Global Change Biology*, *14*(10), 2401–2412.

[6] Sayer, E. J. (2006). Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of tropical forest ecosystems. *Biological Reviews*, *81*(1), 1–31.

[7] Demmig-Adams, B., & Adams, W. W., III. (1992). Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, *43*, 599–626.

[8] Powles, S. B. (1984). Photoinhibition of photosynthesis in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, *35*, 15–44.

[9] McCormack, M. L., Dickie, I. A., Eissenstat, D. M., Fahey, T. J., Fernandez, C. W., Guo, D., ... & Zadworny, M. (2015). Redefining fine roots improves understanding of belowground contributions to terrestrial biosphere processes. *New Phytologist*, *207*(3), 505–518.

[10] Ostonen, I., Püttsepp, Ü., Biel, C., Alberton, O., Bakker, M. R., Lõhmus, K., ... & Brunner, I. (2007). Specific root length as an indicator of environmental change. *Plant and Soil*, *300*(1–2), 69–83.

[11] Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., & Srivastava, A. (2004). Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient OJIP: Phenomenological and structural models. In G. C. Papageorgiou & Govindjee (Eds.), *Chlorophyll a fluorescence: A signature of photosynthesis* (pp. 321–362). Springer.

[12] Kaewthongrach, R., Vitasse, Y., Lamjiak, T., et al. (2019). Impact of severe drought during the strong 2015/2016 El Nino on the phenology and survival of secondary dry dipterocarp species in Western Thailand. Forests, 10(9), 801.

[13] Kaewthongrach, R., Chidthaisong, A., et al. (2020). Impacts of a strong El Niño event on leaf phenology and carbon dioxide exchange in a secondary dry dipterocarp forest. Agricultural and Forest Meteorology, 284, 107893.

[14] วิตตานันท์ ธรรมดิษฐ์. (2563). *การประเมินผลผลิตคาร์บอนสุทธิในป่าเต็งรังปฐมภูมิ จังหวัดนครราชสีมา และป่าเต็งรังทุติยภูมิ จังหวัดราชบุรี ประเทศไทย* [ปริญญานิพนธ์ วท.บ. เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและการจัดการทรัพยากร]. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[15] Hanpattanakit, P., Leclerc, M. Y., Mcmillan, A. M. S., & Limtong, P. (2015). Multiple timescale variations and controls of soil respiration in a tropical dry dipterocarp forest, western Thailand. *Plant and Soil*, *390*, 167–181.

[16] Stott, P. (1990). Stability and stress in the savanna forests of mainland South-East Asia. *Journal of Biogeography*, *17*(4–5), 373–383.

[17] Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osório, M. L., ... & Pinheiro, C. (2002). How plants cope with water stress in the field: Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, *89*(7), 907–916.

[18] Brunner, I., Herzog, C., Dawes, M. A., Arend, M., & Sperisen, C. (2015). How tree roots respond to drought. *Frontiers in Plant Science*, *6*, 547.

[19] Eissenstat, D. M., & Yanai, R. D. (1997). The ecology of root lifespan. *Advances in Ecological Research*, *27*, 1–60.

[20] Zhang, D., Hui, D., Luo, Y., & Zhou, G. (2014). Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems: Global patterns and controlling factors. *Journal of Plant Ecology*, *1*(2), 85–93.

[21] Eamus, D. (1999). Ecophysiological traits of deciduous and evergreen woody species in the seasonally dry tropics. *Trends in Ecology & Evolution*, *14*(1), 11–16.

4

นิเวศวิทยาเมืองและอุตสาหกรรม
Urban and Industrial Ecology

Oral Presentation

การพัฒนาระบบสแกนโพรงภายในต้นไม้ด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาแบบอัตโนมัติ

ภาณุพงศ์ มหันตพลานนท์*, มนัสวี เลาะวิธี, และ กมลทิพย์ พลอยกระจ่าง

ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

**Corresponding author: manasavee.l@chula.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถของระบบสแกนด้วยรังสีร่วมกับหัววัดรังสีในการตรวจสอบโครงสร้างภายในเนื้อไม้ โดยมุ่งเน้นการตรวจจับโพรงภายในชิ้นไม้เนื้อแข็ง อาศัยหลักการลดทอนรังสีตามทฤษฎี Beer–Lambert Law และการวิเคราะห์ค่าการนับรังสีจากการสแกนในตำแหน่งต่าง ๆ ของชิ้นงาน ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยต้นกำเนิดรังสี หัววัดรังสี และระบบกลควบคุมการเคลื่อนที่เชิงเส้น

ในขั้นตอนการทดลอง ได้ทำการทดสอบความแม่นยำของระบบกลควบคุมการเคลื่อนที่ในช่วงระยะ 0–500 มิลลิเมตร พบว่าระบบสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดได้อย่างสม่ำเสมอ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 1.04–1.33 เปอร์เซ็นต์ และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยประมาณ 0.6 มิลลิเมตร จากนั้นได้ทำการสแกนชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมตันเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง ซึ่งพบว่าค่าความเข้มของรังสีมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องและสมมาตรจากขอบเข้าสู่ใจกลางของชิ้นไม้ สอดคล้องกับการลดทอนรังสีในตัวกลางที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ

สำหรับการสแกนชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมเจาะรู พบว่าค่าการนับรังสีบริเวณใจกลางของชิ้นไม้มีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่ ซึ่งสามารถระบุเป็นตำแหน่งของโพรงภายในได้ โดยคำนวณความกว้างของโพรงได้ประมาณ 5 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของโพรงจริง ผลการศึกษาสรุปได้ว่าระบบสแกนด้วยรังสีร่วมกับหัววัดรังสีสามารถตรวจจับและประมาณขนาดของโพรงภายในเนื้อไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นเทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายสำหรับวัสดุไม้และวัสดุเนื้อแน่นอื่น ๆ

คำสำคัญ: การสแกนด้วยรังสี / การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย / โพรงภายในเนื้อไม้ / การลดทอนรังสี / Beer–Lambert Law

Development of gamma transmission automatic scanning system for inspection of internal structure of tree

Panupong Mahuntpalanon *, Manasavee Lohvithee, and Kamontip Ploykrachang

Department of Nuclear Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

**Corresponding author: manasavee.l@chula.ac.th*

Abstract

This research aims to investigate the capability of a radiation scanning system combined with a radiation detector for inspecting internal structures of wood, with particular emphasis on detecting internal cavities in hardwood samples. The study is based on the principle of radiation attenuation according to the Beer–Lambert Law and the analysis of radiation count rates obtained from scanning at different positions along the specimen. The developed system consists of a radiation source, a radiation detector, and a linear motion control mechanism.

The accuracy of the motion control system was assessed over a travel range of 0–500 mm. The results demonstrate that the system can accurately move to the specified positions, exhibiting an average positional error of approximately 1.04–1.3% and an average standard deviation of approximately 0.6 mm. Subsequently, solid cylindrical hardwood samples devoid of internal cavities were scanned to establish a reference baseline. The radiation intensity was observed to diminish gradually and symmetrically from the periphery toward the core of the sample, which aligns with the principles of radiation attenuation in a homogeneous medium.

In cylindrical hardwood samples with a single drilled cavity, radiation count rates were notably lower and relatively constant within the central region compared to the surrounding areas. This region was identified as the internal cavity, with a width estimated to be approximately 50 mm, which aligns well with the actual cavity dimensions. The findings substantiate the efficacy of the proposed radiation scanning system in detecting and estimating the size of internal cavities in wood, thereby highlighting its potential as a non-destructive testing technique for wood and other dense materials.

Keywords: Radiation scanning / Non-destructive testing / Internal cavity in wood / Radiation attenuation / Beer–Lambert Law

1. บทนำ

การตรวจสอบโพรงภายในต้นไม้เป็นปัญหาที่ท้าทาย เนื่องจากความเสียหายภายในลำต้นไม่สามารถตรวจพบได้จากการตรวจสอบภายนอกด้วยสายตา เทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลายด้วยการส่งผ่านรังสีจึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการประเมินสภาพภายในของเนื้อไม้ โดยอาศัยหลักการลดทอนรังสีตามกฎ Beer–Lambert [1,2] ซึ่งความแตกต่างของการลดทอนรังสีสามารถสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของความหนาและความหนาแน่นของวัสดุได้ โดยทฤษฎีของ Beer–Lambert Law[1,2] ซึ่งระบุว่า

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

โดยที่ I คือ ความเข้มของรังสีที่ผ่านวัสดุ
I_0 คือ ความเข้มเริ่มต้น
μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเชิงเส้น
X คือ ความหนาของวัสดุที่รังสีผ่าน

เมื่อรังสีผ่านเนื้อไม้ปกติ ความเข้มของรังสีจะเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตลอดขนาดของเนื้อไม้ สอดคล้องกับความหนาและความหนาแน่นของเนื้อไม้ในแต่ละตำแหน่งตามความหนาของวัสดุ แต่ในกรณีที่มีโพรงภายใน การลดลงของความหนาและความหนาแน่นของเนื้อไม้จะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของสัญญาณรังสีจากรูปแบบสัญญาณที่ตรวจวัดได้จากเนื้อไม้ปกติ ซึ่งความเบี่ยงเบนดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ตำแหน่งของโพรงภายในลำต้นได้

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบสแกนตรวจสอบโพรงภายในต้นไม้ด้วยรังสี โดยใช้การเปรียบเทียบสัญญาณรังสีที่วัดได้กับค่าพื้นฐานของเนื้อไม้ปกติ ร่วมกับการวิเคราะห์ความผิดปกติของสัญญาณ โดยอุปกรณ์แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ระบบเคลื่อนที่ทางกล ระบบนับวัดรังสี และ ต้นกำเนิดรังสี ดังรูปที่ 1 การทดลองดำเนินการกับชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมทั้งแบบตันและแบบเจาะรูเพื่อจำลองโพรงภายใน โดยไม้ทรงกลมตันทำการสแกนในช่วงระยะทุก 10 มิลลิเมตร และวัดซ้ำ 3 ครั้งเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล และชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมแบบเจาะรู ทำการสแกนในช่วงระยะทุก 2 มิลลิเมตร และ วัดจำนวน 1 ครั้ง นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟเพื่อใช้กำหรับการวิเคราะห์โพรงภายในต้นไม้ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจจับตำแหน่งโพรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจสอบสภาพภายในต้นไม้ในงานภาคสนามได้

รูปที่ 1 ระบบสแกนตรวจสอบโพรงภายในต้นไม้

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาและทดสอบระบบสแกนตรวจสอบโพรงภายในต้นไม้ด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาแบบไม่ทำลาย โดยอาศัยหลักการลดทอนรังสีตามกฎ Beer–Lambert
2. เพื่อศึกษาลักษณะสัญญาณรังสีในเนื้อไม้ปกติและบริเวณที่มีโพรงจำลอง รวมถึงพัฒนาเกณฑ์การตรวจจับตำแหน่งโพรงจากการเปรียบเทียบกับค่าพื้นฐาน และการวิเคราะห์ความผิดปกติของสัญญาณเชิงสถิติ
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบสแกนในการตรวจจับโพรงภายในเนื้อไม้

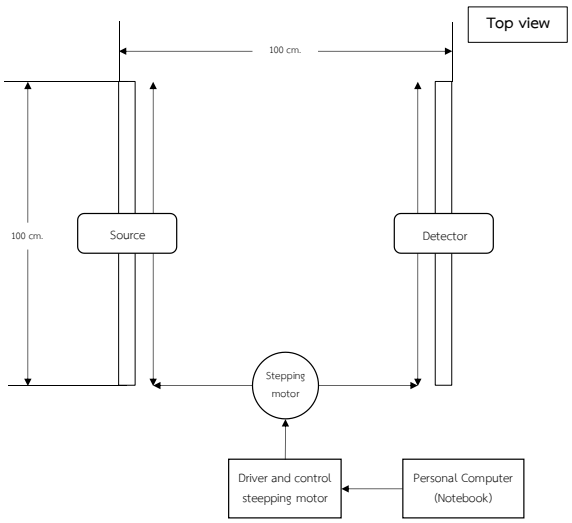
3. ขอบเขตของการศึกษา

1. การศึกษานี้จำกัดขอบเขตที่การตรวจสอบโพรงภายในเนื้อไม้ด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาแบบไม่ทำลาย โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าการนับรังสีตามหลักการลดทอนรังสีของ Beer–Lambert
2. การทดลองดำเนินการกับชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมทั้งแบบตันและแบบเจาะรูเพื่อจำลองโพรงภายใน ภายใต้สภาวะการสแกนแบบหนึ่งมิติ ด้วยระยะและเวลาการวัดคงที่ในแต่ละตำแหน่ง
3. การวิเคราะห์ข้อมูลมุ่งเน้นการตรวจจับตำแหน่งโพรงจากการเปรียบเทียบกับค่าพื้นฐาน ของไม้ปกติ และทำการวิเคราะห์ขนาดโพรงจากข้อมูลที่วัดได้

4. วิธีการศึกษา

4.1 วิธีการทดสอบระบบทางกล

การทดสอบระบบกลสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี ทำได้โดยการจัดระบบทดสอบ ดังรูปที่ 2 กำหนดให้ระบบเคลื่อนที่ไปและกลับ โดยทำเครื่องหมายที่ระยะ 5, 10, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300 , 325 , 350, 375, 400, 425, 450, 475 และ 500 มิลลิเมตร แล้ววัดพร้อมบันทึกผลของแต่ละตำแหน่ง



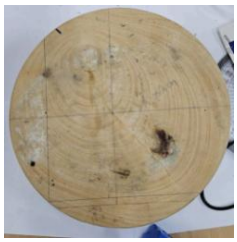
รูปที่ 2 การทดสอบระบบการเคลื่อนที่

4.2 วิธีการทดสอบระบบสแกนโพรงภายในต้นไม้

การทดสอบระบบสแกนโพรงภายในต้นไม้ดำเนินการโดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาแบบไม่ทำลาย ชิ้นงานทดสอบเป็นไม้เนื้อแข็งทรงกลมทั้งแบบตันและแบบเจาะรูเป็นทรงกลมขนาด 5 เซนติเมตร เพื่อจำลองโพรงภายใน ดังตารางที่

1 ระบบสแกนควบคุมการเคลื่อนที่ของต้นกำเนิดรังสีและหัววัดในแนวเส้นตรงผ่านชิ้นงาน โดยกำหนดระยะการเคลื่อนที่ครั้งละ 10 มิลลิเมตร ใช้เวลาการวัดตำแหน่งละ 10 วินาที และวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้งสำหรับตัวอย่างไม้ทรงกลมตัน ค่าการนับรังสีที่ตรวจวัดได้ถูกนำมาสร้างโปรไฟล์ และเปรียบเทียบกับผลการสแกนของชิ้นงานที่มีโพรง โดยพิจารณาจาการเปรียบเทียบโปรไฟล์ของไม้ทรงกลมตันกับโปรไฟล์ของเนื้อไม้ที่ทำการเจาะรูเพื่อวิเคราะห์ขนาดของโพรง

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างชิ้นไม้ที่ใช้ในการทดสอบ

ชิ้นที่	ภาพชิ้นไม้	หมายเหตุ
1		ตัวอย่างไม้เนื้อแข็งทรงกลมตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร
2		ตัวอย่างไม้เนื้อแข็งทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตรเจาะรูขนาด 5 เซนติเมตร

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของระบบกล

การทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี ได้ทำการวัดตำแหน่งที่ระยะการเคลื่อนที่ตั้งแต่ 0–500 มิลลิเมตร โดยวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้งในแต่ละตำแหน่ง ผลการวัดแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการวัดการเคลื่อนที่ในแต่ละตำแหน่ง

ระยะทางจากจุดเริ่มต้น (มิลลิเมตร)	วัดครั้งที่ 1 (มิลลิเมตร)	วัดครั้งที่ 2 (มิลลิเมตร)	วัดครั้งที่ 3 (มิลลิเมตร)	วัดครั้งที่ 4 (มิลลิเมตร)	วัดครั้งที่ 5 (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
0	0	0	0	0	0	0	0.00%
5	5	5	5	5	5	5	0.00%
10	10	10	10	10	10	10	0.00%
25	25	25	25	25	26	25.2	0.80%
50	50	50	50	50	51	50.2	0.40%
75	75	74	75	74	75	74.6	0.53%
100	99	99	99	99	100	99.2	0.80%
125	124	124	124	124	124	124	0.80%
150	149	149	149	148	149	148.8	0.80%

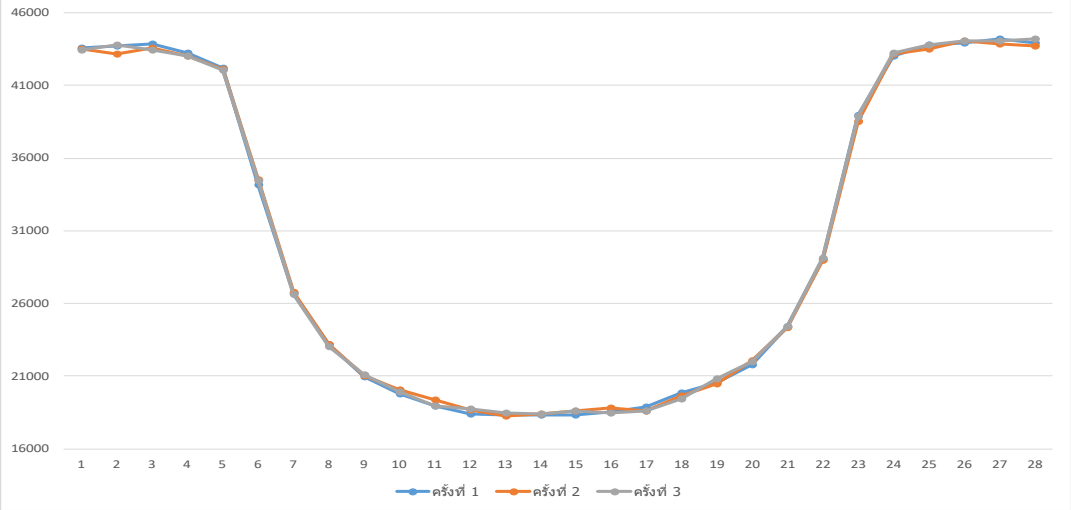
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการวัดการเคลื่อนที่ในแต่ละตำแหน่ง (ต่อ)

ระยะทางจากจุดเริ่มต้น (มิลลิเมตร)	วัดครั้งที่ 1 (มิลลิเมตร)	วัดครั้งที่ 2 (มิลลิเมตร)	วัดครั้งที่ 3 (มิลลิเมตร)	วัดครั้งที่ 4 (มิลลิเมตร)	วัดครั้งที่ 5 (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
175	173	174	173	173	174	173.4	0.91%
200	198	198	197	197	198	197.6	1.20%
225	222	223	222	222	223	222.4	1.16%
250	248	247	247	247	248	247.4	1.04%
275	273	272	271	271	272	271.8	1.16%
300	298	296	296	296	297	296.6	1.13%
325	323	321	321	321	322	321.6	1.05%
350	348	345	345	345	346	345.8	1.20%
375	371	369	369	369	372	370	1.33%
400	396	395	394	394	395	394.8	1.30%
425	421	419	419	419	420	419.6	1.27%
450	445	444	444	444	445	444.4	1.24%
475	470	469	469	469	469	469.2	1.22%
500	495	494	494	494	494	494.2	1.16%

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบระบบกลควบคุมการเคลื่อนที่ของต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดได้อย่างสม่ำเสมอ โดยค่าระยะทางที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งมีความใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดไว้ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่คำนวณได้จากผลการวัดอยู่ในช่วงประมาณ 1.04–1.33 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะทางการเคลื่อนที่มากขึ้น ผลการวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้งในแต่ละตำแหน่งมีการกระจายตัวต่ำ โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยประมาณ 0.6 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอของการเคลื่อนที่ในแต่ละตำแหน่งนอกจากนี้เมื่อพิจารณาการเคลื่อนที่ในลักษณะไป–กลับ ไม่พบแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของค่าความคลาดเคลื่อนตามจำนวนรอบการเคลื่อนที่

5.2 ผลการทดสอบสแกนโพรงภายในตัวอย่างชิ้นไม้

5.2.1 จากการเก็บโปรไฟล์การลดทอนรังสีของชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมตัน โดยทำการเคลื่อนตำแหน่งการวัดครั้งละ 10 มิลลิเมตร ใช้เวลาเก็บข้อมูลในแต่ละตำแหน่ง 10 วินาที และทำการวัดซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นนำค่าค่านับวัดรังสีที่ได้มาแสดงผลในรูปแบบกราฟดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่าค่าความเข้มของรังสีที่ตรวจวัดได้มีค่าสูงบริเวณขอบของชิ้นไม้ และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเข้าสู่บริเวณใจกลางของชิ้นไม้

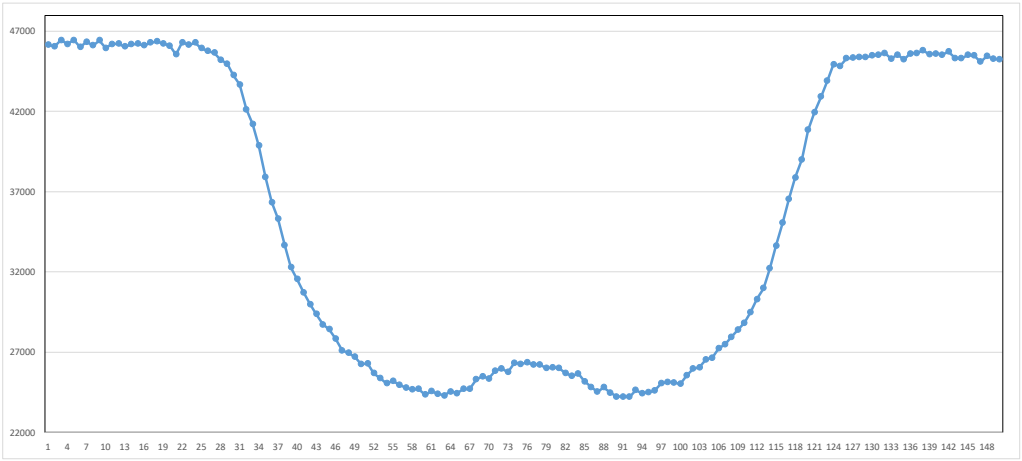


รูปที่ 3 กราฟที่ได้จากการสแกนตัวอย่างไม้ทรงกลมตัน

รูปที่ 3 แสดงกราฟค่านับวัดรังสีที่ได้จากการสแกนตัวอย่างไม้ทรงกลมตัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มของรังสีลดลงอย่างสม่ำเสมอจากขอบเข้าสู่ใจกลางของชิ้นไม้ และเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจากบริเวณใจกลางออกไปสู่ขอบอีกด้านหนึ่ง ลักษณะดังกล่าวสะท้อนถึงการดูดกลืนและการลดทอนของรังสีภายในเนื้อไม้ที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ

ตามทฤษฎีของ Beer–Lambert Law [1,2] ความเข้มของรังสีจะลดลงในลักษณะเอ็กซ์โพเนนเชียลเมื่อรังสีผ่านตัวกลางที่มีสมบัติทึบรังสี ดังนั้นแนวโน้มของกราฟที่ลดลงอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอจึงสอดคล้องกับลักษณะของชิ้นไม้ทรงกลมตันที่ไม่มีโพรงหรือความไม่สม่ำเสมอภายในเนื้อไม้

5.2.2 จากการเก็บโปรไฟล์ชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมเจาะรู โดยเคลื่อนที่ครั้งละ 2 มิลลิเมตรใช้เวลาในแต่ละตำแหน่ง 10 วินาที ได้ค่านับวัดรังสีแล้วนำมาแสดงข้อมูลเป็นรูปแบบกราฟดังรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ระบบสแกนด้วยรังสีและหัววัดรังสีสามารถตรวจจับโพรงภายในเนื้อไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถระบุตำแหน่งของโพรงจำลองได้ตรงกับลักษณะจริงของชิ้นไม้ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 4 กราฟที่ได้จากการสแกนตัวอย่างไม้ที่เจาะรู 5 เซนติเมตร

การศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์การลดทอนรังสีผ่านชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมที่มีการเจาะโพรงภายใน โดยทำการสแกนรังสีตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน ใช้ระยะการเคลื่อนตำแหน่งการวัด 2 มิลลิเมตรต่อจุด และใช้เวลาเก็บข้อมูลตำแหน่งละ 10 วินาที ค่านับวัดรังสีที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ในลักษณะโปรไฟล์เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในของชิ้นไม้

จากการพิจารณาข้อมูลดิบ พบว่าค่านับวัดรังสีมีค่าสูงบริเวณขอบของชิ้นไม้และลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเข้าสู่บริเวณภายใน อันเป็นผลจากการดูดกลืนรังสีในเนื้อไม้ตาม Beer–Lambert Law อย่างไรก็ตาม บริเวณใจกลางของชิ้นไม้พบช่วงที่ค่านับวัดรังสีลดลงมาอยู่ในระดับต่ำและมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับบริเวณโดยรอบ โดยช่วงที่ค่านับวัดรังสีมีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่อยู่ระหว่าง จุดที่ 65 ถึงจุดที่ 90 ซึ่งสอดคล้องกับบริเวณที่ลำรังสีเดินทางผ่านอากาศภายในโพรงเป็นหลัก จึงสามารถนิยามช่วงดังกล่าวให้เป็นตำแหน่งของโพรงภายในชิ้นไม้ตามแนวการสแกน

เมื่อคำนวณความกว้างของโพรงจากช่วงตำแหน่งดังกล่าว โดยใช้ระยะการเคลื่อนตำแหน่งการวัด 2 มิลลิเมตรต่อจุด พบว่าโพรงมีความกว้างประมาณ 5 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของโพรงจริงที่ทำการเจาะไว้ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าวิธีการนิยามโพรงจากช่วงที่ค่านับวัดรังสีต่ำและมีลักษณะค่อนข้างคงที่ สามารถใช้ในการระบุตำแหน่งและขนาดของโพรงภายในชิ้นไม้ได้อย่างถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ ทั้งยังเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการสแกนรังสีในการตรวจสอบโครงสร้างภายในของวัสดุไม้และวัสดุเนื้อแน่นอื่น ๆ

6. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสามารถของระบบสแกนด้วยรังสีร่วมกับหัววัดรังสีในการตรวจสอบโครงสร้างภายในเนื้อไม้ โดยเริ่มจากการประเมินความแม่นยำของระบบควบคุมการเคลื่อนที่ และต่อด้วยการทดสอบประสิทธิภาพของระบบในการตรวจจับโพรงภายในชิ้นไม้เนื้อแข็ง

ผลการทดสอบความแม่นยำในการเคลื่อนที่ของระบบกลควบคุมการเคลื่อนที่ของต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีในช่วงระยะ 0–500 มิลลิเมตร พบว่าระบบสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดได้อย่างสม่ำเสมอ โดยค่าระยะทางที่วัดได้มีความใกล้เคียงกับค่าที่ตั้งไว้ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 1.04–1.33 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะการเคลื่อนที่มากขึ้น ขณะที่ผลการวัดซ้ำในแต่ละตำแหน่งมีการกระจายตัวต่ำ โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยประมาณ 0.6 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นถึงความเสถียรและความสม่ำเสมอของระบบกลในการควบคุมตำแหน่งการสแกน ทั้งนี้ไม่พบแนวโน้มของการสะสมความคลาดเคลื่อนจากการเคลื่อนที่แบบไป–กลับ ซึ่งยืนยันถึงความเหมาะสมของระบบสำหรับการใช้งานสแกนรังสีในงานทดลอง

ในส่วนของการทดสอบสแกนโพรงภายในชิ้นไม้ การทดลองกับชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมตันซึ่งไม่มีโพรงภายในแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มของรังสีมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องและสมมาตรจากขอบเข้าสู่ใจกลางของชิ้นไม้ สอดคล้องกับการลดทอนรังสีในตัวกลางที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอและเป็นไปตามทฤษฎี Beer–Lambert Law ผลดังกล่าวสามารถใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงของเนื้อไม้ปกติสำหรับการตรวจหาความผิดปกติภายใน

สำหรับการทดสอบกับชิ้นไม้เนื้อแข็งทรงกลมเจาะรู ระบบสแกนด้วยรังสีสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของค่าการนับวัดรังสีบริเวณใจกลางของชิ้นไม้ได้อย่างชัดเจน โดยช่วงที่ค่านับวัดรังสีมีค่าต่ำและค่อนข้างคงที่ถูกระบุว่าเป็นตำแหน่งของโพรงภายในชิ้นไม้ เมื่อคำนวณจากข้อมูลเชิงปริมาณพบว่าโพรงมีความกว้างประมาณ 5 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับขนาดของโพรงจริงที่ทำการเจาะไว้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์โปรไฟล์การลดทอนรังสีสามารถใช้ในการระบุตำแหน่งและขนาดของโพรงภายในเนื้อไม้ได้อย่างมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ

โดยสรุป ระบบสแกนด้วยรังสีร่วมกับหัววัดรังสีที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความแม่นยำสำหรับการสแกนเชิงตำแหน่ง และมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างภายในเนื้อไม้

เอกสารอ้างอิง

[1] Swinehart, D. F. (1962). The Beer–Lambert law. *Journal of Chemical Education, 39*(7), 333–335. https://doi.org/10.1021/ed039p333

[2] International Union of Pure and Applied Chemistry. (2014). *Beer–Lambert law*. In *Compendium of Chemical Terminology (IUPAC Gold Book)*. https://goldbook.iupac.org/terms/view/B00626

นวัตกรรมโฟมยางพาราเสริมจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* บำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม

นิสรีน ทิ้งปากน้ำ[1], ปพิชญา แซ่ชั่น[1], คณิน ภักดีรักษ์พงศ์[1], อัมพร เพชรโชติ[1], สิรินาถ ทองทวี[1], อดุลย์สมาน สุขแก้ว[2,3], และ สุธี จุ้งลก[1*]

[1]โรงเรียนเบตง"วีระราษฎร์ประสาน"19 ถนนรวมวิทย์ ตำบลเบตง อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[2]สมาคมนักวิจัยชายแดนภาคใต้ ตำบลสะเตง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[3]คณะวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ตำบลสะเตง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัญหามลพิษทางน้ำจากการปล่อยน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาสูตรโฟมยางพาราเสริมจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* ที่เหมาะสม และ 2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียระหว่างโฟมยางพาราเสริมจุลินทรีย์ *B. subtilis* และโฟมยางพาราปกติ

ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของโฟมยางพาราลดลง โดยโฟมยางพาราเสริมจุลินทรีย์ *B. subtilis* ที่มีความหนาแน่นในช่วง 0.16–0.17 g/cm3 มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งสามารถลดค่า BOD ได้ร้อยละ 75 และลดค่า COD ได้ร้อยละ 70 ในขณะที่โฟมยางพาราปกติสามารถลดค่า BOD ได้ร้อยละ 60 และลดค่า COD ได้ร้อยละ 50 เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า โฟมยางพาราเสริมจุลินทรีย์ *B. subtilis* มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงกว่าโฟมยางพาราปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่านวัตกรรมโฟมยางพาราเสริมจุลินทรีย์ *B. subtilis* เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียอุตสาหกรรมให้เป็นไปตามมาตรฐานสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: น้ำเสียอุตสาหกรรม / *Bacillus subtilis* / โฟมยางพาราธรรมชาติ / การบำบัดทางชีวภาพ / การบำบัดน้ำเสีย

Innovative natural rubber foam embedded with *Bacillus subtilis* for industrial wastewater treatment

Nisarin Tingpaknum[1], Paphitchaya Saechan[1], Kanin Pakdeerakpong[1], Amporn Petchote[1], Sirinat Thongtawee[1], Adulsman Sukkaew[2,3] , and Suthee Junglok[1*]

[1]Betong Wirartprasan school, 19 Ruamwit Road, 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

Industrial wastewater discharge poses a significant environmental threat due to organic and chemical contaminants. The objectives of this study were 1) to develop an optimal microbial-reinforced natural rubber foam formulation using *Bacillus subtilis* and 2) to evaluate its wastewater treatment efficiency compared to conventional rubber foam.

The results indicated that the Biochemical Oxygen Demand (BOD) removal efficiency increased as the foam density decreased. The optimal *B. subtilis*-reinforced foam, with a density range of 0.16–0.17 g/cm^3, exhibited the highest performance, achieving a 75% reduction in BOD and a 70% reduction in Chemical Oxygen Demand (COD). In contrast, conventional rubber foam achieved only a 60% BOD reduction and a 50% COD reduction. Statistical analysis confirmed that the *B. subtilis*-reinforced foam performed significantly better than the control group ($p < 0.05$). This study demonstrates that the developed microbial-reinforced natural rubber foam is an effective innovation for treating industrial wastewater before its release into the environment.

Keywords: Industrial wastewater / *Bacillus subtilis* / Natural rubber foam / Bioremediation / Water treatment

1. บทนำ

มลภาวะทางน้ำที่เกิดจากการปล่อยน้ำเสียที่ไม่ได้มาตรฐานจากชุมชนและภาคอุตสาหกรรมเป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติ โดยเฉพาะพื้นที่มีการผลิตและแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร[1] น้ำเสียเหล่านี้มักมีสารอินทรีย์เข้มข้นสูง ซึ่งเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของจุลินทรีย์ก่อโรคส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนและระบบนิเวศ ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกยางธรรมชาติรายใหญ่ การแปรรูปยางให้เป็นนวัตกรรมที่มีมูลค่าสูงจึงเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญ การพัฒนาโฟมยางธรรมชาติที่มีรูพรุนน้ำหนักเบาและทนทาน เพื่อใช้เป็นวัสดุรองรับจุลินทรีย์ เป็นแนวคิดที่ช่วยแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมและเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรไปพร้อมกัน

เพื่อนำไปปฏิบัติจริง จึงได้เลือกแบคทีเรีย *B. subtilis* มาผสมผสานลงในโฟมยาง แบคทีเรียชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตเอนไซม์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ และมีความทนทานสูงต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ การผสมผสานระหว่างวัสดุธรรมชาติและเทคโนโลยีชีวภาพนี้เป็นกุญแจสำคัญในการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ เข้าถึงได้ง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาสูตรโฟมยางธรรมชาติที่มีโครงสร้างรูพรุนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการดูดซับสารมลพิษและการตรึงเชื้อแบคทีเรีย *B. subtilis*

2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของโฟมยางเสริมจุลินทรีย์ โดยวิเคราะห์การลดลงของตัวชี้วัดคุณภาพน้ำที่สำคัญ

3. ขอบเขตของการศึกษา

ส่วนที่ 1 การเตรียมและการรวมตัวของแบคทีเรีย *B. subtilis*

ตัวแปรอิสระ : ความเข้มข้นของแบคทีเรีย *B. subtilis* ที่ผสมอยู่ในโฟมยางธรรมชาติ

ตัวแปรตาม : ประสิทธิภาพการยึดเกาะและความทนทานของจุลินทรีย์บนวัสดุโฟมยาง

ตัวแปรควบคุม : ชนิดของอาหารเลี้ยงเชื้อ อุณหภูมิในการบ่ม และระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ก่อนนำไปผสมในโฟมยางพารา

ส่วนที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

ตัวแปรอิสระ: ประเภทของวัสดุที่ใช้ในการบำบัด (โฟมยางผสมจุลินทรีย์ เทียบกับ โฟมยางธรรมดา และเทียบกับระบบบำบัดแบบดั้งเดิม)

ตัวแปรตาม : คุณภาพน้ำหลังการบำบัด โดยเฉพาะการลดลงของสารอินทรีย์ (BOD/COD) การลดลงของความเข้มข้นของโลหะหนัก และความใสของน้ำโดยรวม

ตัวแปรควบคุม : ปริมาณตัวอย่างน้ำเสีย อุณหภูมิของน้ำเสีย และระยะเวลาของกระบวนการบำบัด

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

สืบค้นข้อมูลและศึกษาข้อมูลเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพเพื่อใช้ในการอ้างอิงทฤษฎีคุณสมบัติของจุลินทรีย์ *B. subtilis* และคุณสมบัติของโฟมยางพาราในการเป็นวัสดุพยุงจุลินทรีย์ [2],[3]เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการออกแบบการทดลอง จากนั้นทำการเตรียมชุดทดลองจำนวน 2 ชุด ได้แก่ ชุดควบคุมซึ่งใช้น้ำเสียร่วมกับโฟมยางพาราแบบไม่เสริมจุลินทรีย์ และชุดทดลองที่ใช้น้ำเสียร่วมกับโฟมยางพาราที่จุ่มเชื้อจุลินทรีย์ *B. subtilis* แล้วทำการบำบัดเป็นระยะเวลาที่กำหนด

ระหว่างการทดลองได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยวัดค่าความสกปรกของน้ำในรูปแบบค่า BOD ก่อนและหลังการบำบัด รวมถึงตรวจวัดค่า pH และสังเกตลักษณะทางกายภาพของน้ำ เช่น สี กลิ่น และความขุ่น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาบันทึกลงในตาราง เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงของค่า BOD ระหว่างชุดควบคุมและชุดทดลอง พร้อมคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่า BOD เพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโฟมยางพาราเสริมจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย

4.2 การเตรียมการเพาะเลี้ยงเชื้อ *B. subtilis* และการผสมแบคทีเรียในโฟมยางพารา

ในการเตรียมจุลินทรีย์ *B. subtilis* เริ่มต้นด้วยการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยใช้น้ำเปล่า 2 ลิตรต้มจนเดือด จากนั้นเติมสารอาหารประกอบด้วย ผงโกโก้ 150 กรัม, นมถั่วเหลือง 300 มิลลิลิตร และกากน้ำตาล 500 กรัม คนจนส่วนผสมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นทำการเจือจางสารละลายด้วยการเติมน้ำสะอาดเพิ่มอีก 15 ลิตร เมื่อสารละลายมีอุณหภูมิลดลงจนถึง 30-37 องศาเซลเซียส จึงทำการเติมหัวเชื้อ *B. subtilis* ชนิดผงจำนวน 40 กรัม โดยทำการเพาะเลี้ยงทิ้งไว้เป็นเวลา 36-72 ชั่วโมง เพื่อให้เชื้อเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะที่เหมาะสมก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งแบคทีเรียชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงในการผลิตเอนไซม์ย่อยสลายสารอินทรีย์และมีความทนทานต่อสภาวะต่างๆ[4], [5], [6]

สำหรับการผสมแบคทีเรียในโฟมยางพารา โดยนำโฟมยางพาราธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปและล้างสะอาดแล้วมาจุ่มแช่ ในสารละลายเชื้อ *B. subtilis* ที่เตรียมไว้ข้างต้น โดยใช้ระยะเวลาในการจุ่มแช่ประมาณ 6-12 ชั่วโมง เพื่อให้เชื้อมีเวลาสร้าง "Biofilm" ยึดเกาะกับรูพรุนของโฟมยางพาราอย่างทั่วถึง ก่อนนำไปใช้ทดสอบประสิทธิภาพในบ่อบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตหกรรมจำลอง

4.3 การขึ้นรูปโฟมยางพาราธรรมชาติ

นำน้ำยางพารา 60% ใส่ลงในเครื่องตีโฟมและปั่นที่ความเร็วรอบต่ำ 2.45 นาที นำ K-Oleat ,sulfur , ZDEC , ZMBT ใส่ลงในเครื่องตีโฟมและปั่นที่ความเร็วรอบสูง 1.55 นาที ปรับสปีดกลับ มาที่ความเร็วรอบต่ำปั่นไว้ 2 นาที นำ DPG ใส่ลงในเครื่องตีโฟมและปั่นไว้ 2 นาที นำZnO ใส่ลงในเครื่องตีโฟมและปั่นไว้ 2 นาที นำ SSF ใส่ลงในเครื่องตีโฟมและปั่นไว้ 45 วินาที เทโฟมลงในแม่พิมพ์และรอให้โฟมเกิดการจับตัว 4 นาที นำโฟมที่ได้ไปนึ่ง 10 นาทีและล้างสารเคมี นำโฟมยางพาราไปอบแห้งไว้ที่อุณหภูมิ 60 องศา 48 ชั่วโมง

4.4 การวิเคราะห์และกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำ

ได้มีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำหลังจากผ่านกระบวนการบำบัด โดยเน้นการประเมินค่า BOD, COD และ pH ผลการวิเคราะห์พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยโฟมยางพาราเสริมจุลินทรีย์มีค่า BOD อยู่ในช่วง 20–40 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า COD อยู่ในช่วง 120–150 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นแนวโน้มที่เข้าใกล้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม และเมื่อนำโฟมยางผสมจุลินทรีย์มาใช้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นที่สาม จะช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์ตกค้างให้ต่ำลงจนมั่นใจได้ว่าน้ำทิ้งขั้นสุดท้ายมีคุณภาพตามมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมสูงสุด[7]

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยโฟมยางพาราเสริมจุลินทรีย์ *B. subtilis* พบว่าปริมาณสารอินทรีย์ตกค้างในน้ำเสียมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยนวัตกรรมนี้สามารถลดค่า BOD ได้ร้อยละ 75 และค่า COD ได้ร้อยละ 70 ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของโครงสร้างโฟมยางพาราที่มีลักษณะเป็นรูพรุน โครงสร้างดังกล่าวไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับการยึดเกาะและการสร้างฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) ของจุลินทรีย์เท่านั้น แต่ยังทำหน้าที่เป็นที่พักอาศัยที่ช่วยปกป้องจุลินทรีย์จากสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง ส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและมีเสถียรภาพสูง

นอกจากนี้ ผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำมีความใสมากขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากโครงสร้างตาข่ายภายในโฟมยางพารามีบทบาทในการดักจับสารแขวนลอย (Suspended Solids) และอาจช่วยในกระบวนการดูดซับโลหะหนักบางส่วนที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย โดยระหว่างกระบวนการบำบัด ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ยังคงรักษาเสถียรภาพอยู่ในช่วง 7–8 ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิและสภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลินทรีย์ *B. subtilis* จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า การประยุกต์ใช้โฟมยางพาราธรรมชาติร่วมกับเทคโนโลยีชีวภาพมีศักยภาพสูงในการพัฒนาเป็นวัสดุบำบัดน้ำเสียเชิงพาณิชย์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสอดคล้องกับแนวทางการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน

5.1 ผลการศึกษารูปแบบผลงานวิชาการ

ประสิทธิภาพที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ของโฟมยางพาราเสริมจุลินทรีย์ เมื่อเทียบกับโฟมยางปกติ เกิดจากการที่โครงสร้างรูพรุนของยางพาราทำหน้าที่เป็นวัสดุค้ำจุน (Carrier) ที่ช่วยป้องกันจุลินทรีย์ *B. subtilis* ไม่ให้ถูกชะล้างไปกับกระแสของน้ำเสีย ทำให้จุลินทรีย์สามารถสร้างชั้นฟิล์มชีวภาพ และย่อยสลายสารอินทรีย์ในรูปแบบ BOD และ COD ได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้วัสดุโฟมยางพารายังมีสมบัติในการดักจับสารแขวนลอยบางส่วน จึงทำให้น้ำมีความใสมากขึ้น นวัตกรรมนี้จึงสอดคล้องกับแนวทางการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน โดยการนำผลิตผลทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่าเป็นวัสดุบำบัดน้ำเสียที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ดังนั้น การประยุกต์ใช้โฟมยางพาราผสมจุลินทรีย์จึงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นวัสดุบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับมาตรฐานสิ่งแวดล้อมของประเทศ และสนับสนุนแนวทางการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืนในอนาคต

5.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียแสดงให้เห็นว่า ระบบโฟมยางพาราที่เสริมจุลินทรีย์ *B. subtilis* ให้ประสิทธิภาพสูงสุด ดังปรากฏผลการวิเคราะห์ค่า BOD ดังแสดงในตารางที่ 1 และค่า COD ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยสามารถลดค่า BOD ได้ร้อยละ 75.00 และลดค่า COD ได้ร้อยละ 70.00 ตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหลังการบำบัด ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าค่า pH มีเสถียรภาพอยู่ในช่วง 7.5 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมตามเกณฑ์มาตรฐานสิ่งแวดล้อม[7] สะท้อนถึงศักยภาพของการตรึงจุลินทรีย์ในโครงสร้างโฟมที่ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวและเสถียรภาพของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับโฟมยางพาราเปล่าและการใช้จุลินทรีย์เพียงอย่างเดียว พบว่าระบบที่มีการตรึงจุลินทรีย์ในโฟมมีประสิทธิภาพเหนือกว่าอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาเชิงนวัตกรรมที่ผสานวัสดุชีวภาพกับเทคโนโลยีชีวภาพได้อย่างเหมาะสม

นอกจากนี้โครงงานนี้มุ่งเน้นการเพิ่มมูลค่าให้กับยางพาราไทย ซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศ โดยนำวัสดุจากภาคเกษตรพื้นบ้านมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบนวัตกรรมด้านสิ่งแวดล้อม ช่วยยกระดับผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบขั้นต้นไปสู่วัสดุบำบัดน้ำเสียที่มีศักยภาพเชิงอุตสาหกรรม อันนำไปสู่การสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจและสนับสนุนการพัฒนาอย่างยั่งยืนของภาคเกษตรกรรมในอนาคต [1]

ตารางที่ 1 แสดงประสิทธิภาพการลดค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ของชุดการทดลองรูปแบบต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสียเมื่อทดสอบในน้ำเสีย ภายใต้การทดลอง

ประเภทการทดลอง	ค่า BOD เริ่มต้น (ppm)	ค่า BOD หลังบำบัด (ppm)	ร้อยละการลดลงของค่า BOD
1.โฟมยางพาราเปล่า (ไม่เสริมจุลินทรีย์) (*Bacillus subtilis*)	200	80	60
2.โฟมยางพาราเสริมจุลินทรีย์ (*Bacillus subtilis*)	200	50	75
3.*Bacillus subtilis* (ไม่มียางพารา)	200	90	55
4 เกณฑ์มาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ)		ไม่เกิน 20.0	

ตารางที่ 2 แสดงประสิทธิภาพการลดค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (COD) ของชุดการทดลองรูปแบบต่างๆ ในการบำบัดน้ำเสีย เมื่อทดสอบในน้ำเสีย ภายใต้การทดลอง

ประเภทการทดลอง	ค่า COD เริ่มต้น (ppm)	ค่า COD หลังบำบัด (ppm)	ร้อยละการลดลงของค่า COD
1.โฟมยางพาราเปล่า (ไม่เสริมจุลินทรีย์) *(Bacillus subtilis)*	500	250	50
2.โฟมยางพาราเสริมจุลินทรีย์ *(Bacillus subtilis)*	500	150	70
3.*Bacillus subtilis* (ไม่มียางพารา)	500	250	50
4 เกณฑ์มาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ)		ไม่เกิน 120.0	

ตารางที่ 3 แสดงความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย

ประเภทการทดลอง	pH เริ่มต้น	pH หลังบำบัด
1.โฟมยางพาราเปล่า (ไม่เสริมจุลินทรีย์) (*Bacillus subtilis*)	3-4	5-6
2.โฟมยางพาราเสริมจุลินทรีย์ (*Bacillus subtilis*)	3-4	7.5
3.*Bacillus subtilis* (ไม่มียางพารา)	3-4	8.3

6. สรุปผลการศึกษา

ผลงานชิ้นนี้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาวัสดุค้ำจุนจุลินทรีย์ที่เป็นนวัตกรรมใหม่ โดยใช้โฟมยางธรรมชาติที่มีโครงสร้างรูพรุนสำหรับการบำบัดน้ำเสียขั้นสูง (การบำบัดขั้นที่สาม) ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) สามารถลดลงได้สูงสุดร้อยละ 75 และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) ลดลงได้ร้อยละ 70 ซึ่งผลการบำบัดนี้เป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทย[7]

ผลการค้นพบเหล่านี้แสดงให้เห็นอย่างเป็นรูปธรรมว่า แบคทีเรีย *B. subtilis* ที่ได้รับการตรึงอยู่ในโครงสร้างรูพรุนของโฟมยางพาราสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ตกค้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำหลังการบำบัดยังมีความเสถียรอยู่ในช่วง 7 ถึง 8 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อระบบนิเวศ การใช้โฟมยางพาราธรรมชาติไม่เพียงแต่เป็นการสร้างวัสดุค้ำจุนที่มีความทนทานและยืดหยุ่นสูง แต่ยังเป็นกลยุทธ์สำคัญในการเพิ่มมูลค่าให้กับยางพาราไทย และส่งเสริมความยั่งยืนทางด้านสิ่งแวดล้อมโดยการลดการใช้วัสดุสังเคราะห์ในระบบบำบัดน้ำเสีย ท้ายที่สุดผลงานนี้ถือเป็นก้าวสำคัญในการบูรณาการเทคโนโลยีชีวภาพเข้ากับวิทยาศาสตร์วัสดุธรรมชาติ เพื่อปูทางไปสู่การพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียเชิงพาณิชย์ที่มีประสิทธิภาพในอนาคต

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 การพัฒนาศักยภาพเชิงวิศวกรรมวัสดุสำหรับการขยายขนาด

ควรมีการพัฒนาโครงสร้างรูพรุนของโฟมยางพาราให้มีประสิทธิภาพในการยึดเกาะของจุลินทรีย์สูงขึ้นจนสามารถลดขนาดวัสดุลงได้ (Miniaturization) โดยในอนาคตอาจออกแบบจากวัสดุขนาดเล็กหลายชิ้น ให้เป็นวัสดุชิ้นเดียวที่มีขนาดใหญ่และเหมาะสมกับโครงสร้างของบ่อบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรม (เช่น รูปทรงแผงขนาดใหญ่ หรือทรงกระบอก) เพื่อลดความยุ่งยากในการติดตั้งและลดปริมาณชิ้นงานที่ต้องใช้

7.2 การประยุกต์ใช้ในลักษณะนวัตกรรมทางเลือก

ควรส่งเสริมให้โฟมยางพาราเสริมจุลินทรีย์เป็นตัวเลือกเสริม (Option) ในระบบบำบัดน้ำเสียเดิมที่มีอยู่ เพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายในการวางระบบใหม่ทั้งหมด โดยเฉพาะในโรงงานขนาดเล็กหรือธุรกิจครอบครัวที่มีงบประมาณจำกัด ซึ่งนวัตกรรมนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดได้โดยไม่ต้องใช้สารเคมีเพิ่มเติม

7.3 การจำแนกกลุ่มเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนการผลิต

ควรศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์แยกตามความเหมาะสมของพื้นที่ ได้แก่ รุ่นสำหรับครัวเรือน/บ่อน้ำชุมชน และรุ่นสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เพื่อให้กระบวนการผลิตมีความเจาะจง ไม่ซับซ้อน ช่วยลดความหลากหลายของแม่พิมพ์และลดต้นทุนการผลิตรวม ทำให้ผู้ใช้เข้าถึงนวัตกรรมได้ในราคาที่เหมาะสมและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง

เอกสารอ้างอิง

[1] บริบูรณ์ สมบุญสุข, และ พัทธ์ พิทยาภินันท์. (2024). รูปแบบและปัญหาในระบบการผลิตยางและผลไม้: ภาพสะท้อนจากชุมชนทุ่งนุ้ย อำเภอควนกาหลง จังหวัดสตูล วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, 42(3), 290-298.

[2] Suppanucroa, N. (2019). การพัฒนาและลักษณะเฉพาะของฟองน้ำเซลลูโลสยางธรรมชาติ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์).

[3] รัชพล กาญจนจักร. (2547). การพัฒนากระบวนการผลิตยางฟองน้ำจากยางธรรมชาติ [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[4] คลองแก้ว, เอ. (2017). การพัฒนาการผลิตเอนไซม์โปรตีเอสต้นทุนต่ำจาก *Bacillus subtilis* เพื่อการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปยางพารา (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[5] Thitirakpanich, U. (1991). การทำให้บริสุทธิ์และลักษณะเฉพาะของเอนไซม์ Neutral Protease จาก Bacillus subtilis TISTR 25 (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[6] Phasura, A. (2015). รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์: การใช้ไบโอโปรดักต์ *Bacillus subtilis* เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวที่ปลูกในสภาพดินที่ได้รับผลกระทบจากเกลือทะเล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[7] Thongrueang, W., Detwayukul, C., Suntho, J., & Rukkajatisuwan, Y. (2004). การพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมแห่งประเทศไทย (TSRI)

เกษตรกรรมที่ยั่งยืนและความมั่นคงทางอาหาร
Sustainable Agriculture and Food Security

Oral Presentation

แผ่นฟิล์มชีวภาพเชิงรุกจากสารไอโซไธโอไซยาเนตในลำต้นแก่ผักน้ำเบตง เพื่อควบคุม *Escherichia coli* สนับสนุนการยืดอายุอาหาร และยกระดับความปลอดภัยอาหาร

ชยุตรา แก้วกำเนิด, ธมนวรรณ ช่วยนุกูล, ชิดชนนี แซ่เซ, สิรินาถ ทองทวี, สุกัญญา ปัญญาวิศิษฏ์กุล, และ สุธี จุ้งลก*

เบตง วีระราษฎร์ประสาน 19 ถนนรวมวิทย์ ตำบลเบตง อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันภาคการเกษตรมีการใช้ปุ๋ยคอกและปุ๋ยอินทรีย์อย่างแพร่หลายเพื่อเพิ่มผลผลิตและฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดิน อย่างไรก็ตามแนวปฏิบัติดังกล่าวอาจเป็นช่องทางนำพาจุลชีพก่อโรคเข้าสู่ผลผลิตทางการเกษตร โดยเฉพาะ *Escherichia coli* ซึ่งสามารถปนเปื้อนผ่านดิน น้ำ และกระบวนการเก็บเกี่ยว ส่งผลกระทบโดยตรงต่อความปลอดภัยของผู้บริโภคและเร่งการเสื่อมคุณภาพของอาหารสด ในขณะเดียวกัน การพึ่งพาบรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว แม้ช่วยยืดอายุอาหารในระยะสั้น แต่กลับก่อให้เกิดปัญหาไมโครพลาสติกสะสมในสิ่งแวดล้อมและห่วงโซ่อาหาร ซึ่งสะท้อนถึงความจำเป็นในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ทางเลือกที่สามารถแก้ปัญหาได้ทั้งด้านความปลอดภัยอาหารและสิ่งแวดล้อมควบคู่กัน

โครงงานนี้มุ่งพัฒนาแผ่นฟิล์มชีวภาพเชิงรุกจากสารไอโซไธโอไซยาเนตที่สกัดจากลำต้นแก่ของผักน้ำเบตง ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการบริโภค โดยออกแบบให้วัสดุสามารถทำหน้าที่มากกว่าการเป็นเพียงชั้นกั้นทางกายภาพ แต่มีบทบาทในการยับยั้งจุลชีพและชะลอการเกิดออกซิเดชันในระดับโมเลกุล ผลการวิเคราะห์พบว่าสารสกัดมีปริมาณไอโซไธโอไซยาเนตเฉลี่ย 10.95 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และสามารถยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีขนาดวงยับยั้งเชื้อในช่วง 11–15 มิลลิเมตร สะท้อนถึงศักยภาพในการควบคุมจุลชีพก่อโรคที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยอาหาร

แผ่นฟิล์มชีวภาพที่พัฒนาขึ้นจากเจลาตินและกลีเซอรอลมีสมบัติย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ไม่ก่อให้เกิดไมโครพลาสติกตกค้าง และสามารถชะลอการเสื่อมคุณภาพของอาหารได้อย่างมีนัยสำคัญ การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ในลักษณะนี้จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าทรัพยากร ลดของเสีย และยกระดับการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยเฉพาะด้านการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน และกรอบเศรษฐกิจ BCG (Bio–Circular–Green Economy) โดยสรุป นวัตกรรมนี้เป็นแนวทางบูรณาการที่เชื่อมโยงความปลอดภัยอาหารเข้ากับความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม และมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารเชิงหน้าที่ในอนาคต

คำสำคัญ: ไอโซไธโอไซยาเนต / แผ่นฟิล์มชีวภาพเชิงรุก / *Escherichia coli* / ฤทธิ์ต้านจุลชีพ / ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน / บรรจุภัณฑ์ยั่งยืน

Active biodegradable film from isothiocyanates extracted from mature stems of Betong aquatic plants for controlling *Escherichia coli*, extending food shelf life, and enhancing food safety

Chayutha Keawkemned, Thamonwan Chuaynukoon, Chitchonni Sae-se, Sirinat Thongtawee, Sukanya Panyavisitkul, and Suthee Junglok*

Betong Wiraratprasan School, 19 Ruamwit Road, Betong District, Betong District, Yala Province, Thailand
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

Abstract

Currently, organic fertilizers and manure are widely used in agricultural practices to enhance crop yield and maintain soil fertility. However, these practices may serve as potential sources of pathogenic contamination in agricultural products, particularly *Escherichia coli*, which can be introduced through soil, water, and harvesting processes. This contamination poses significant risks to food safety and accelerates the deterioration of fresh produce. Meanwhile, the extensive use of single-use plastic packaging, although effective in short-term preservation, contributes to the accumulation of microplastics in the environment and food chain, highlighting the need for sustainable and functional alternatives.

This study aims to develop an active biodegradable film incorporating isothiocyanates extracted from mature stems of Betong aquatic plants, which are typically considered agricultural waste. The developed material is designed to function beyond a passive barrier by exhibiting antimicrobial and antioxidative properties. The results indicated that the extract contained an average isothiocyanate concentration of 10.95 µg/mL and demonstrated effective inhibition against *Escherichia coli*, with inhibition zones ranging from 11 to 15 mm, confirming its potential in controlling foodborne pathogens.

The resulting film, composed of gelatin and glycerol, exhibited biodegradability without generating microplastic residues and showed the ability to delay food deterioration. The utilization of agricultural waste as a bioactive component not only enhances resource efficiency but also aligns with the principles of Circular Economy, Sustainable Development Goals (SDGs), and the Bio–Circular–Green (BCG) Economy model. Overall, this innovation demonstrates strong potential as a sustainable food packaging alternative that integrates food safety with environmental responsibility.

Keywords: Isothiocyanates / Active biodegradable film / *Escherichia coli* / Antimicrobial activity / Antioxidant activity / Sustainable packaging

1. บทนำ

อาหารสด โดยเฉพาะผักที่บริโภคโดยไม่ผ่านความร้อน เป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีความอ่อนไหวต่อการปนเปื้อนทางจุลชีววิทยาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในกระบวนการเพาะปลูกที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยคอก แม้จะช่วยปรับปรุงโครงสร้างดินและเพิ่มธาตุอาหาร แต่ก็อาจเป็นแหล่งสะสมของจุลชีพก่อโรค ซึ่งสามารถถ่ายทอดสู่ผลผลิตทางการเกษตรได้โดยตรง หนึ่งในจุลชีพที่ได้รับความกังวลคือ *Escherichia coli* ซึ่งสามารถเพิ่มจำนวนได้ดีในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นและสารอาหารเพียงพอ และเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้บริโภค [1]

แม้ว่าการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกจะช่วยลดการสัมผัสกับสิ่งปนเปื้อนภายนอกได้ระดับหนึ่ง แต่แนวทางดังกล่าวทำหน้าที่เพียงเป็นเกราะป้องกันเชิงกายภาพ มิได้มีบทบาทในการควบคุมการเจริญของจุลชีพภายในระบบ อีกทั้งยังสร้างภาระด้านสิ่งแวดล้อมจากวัสดุที่ย่อยสลายได้ยาก โดยเฉพาะปัญหาไมโครพลาสติกที่สะสมในสิ่งแวดล้อม จึงเกิดแนวคิดในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์เชิงรุก (active packaging) ที่สามารถยับยั้งจุลชีพและชะลอกระบวนการเสื่อมสภาพของอาหารได้ในตัววัสดุเอง

สารในกลุ่มไอโซไธโอไซยาเนต ซึ่งพบในพืชตระกูลกะหล่ำ ได้รับความสนใจจากงานวิจัยจำนวนมาก เนื่องจากหมู่ฟังก์ชัน –N=C=S สามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไทออลของกรดอะมิโนในโปรตีนจุลชีพ ส่งผลให้เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างพลังงานและการสังเคราะห์องค์ประกอบของผนังเซลล์ทำงานผิดปกติ กลไกดังกล่าวนำไปสู่ความไม่สมดุลของระบบรีดอกซ์ภายในเซลล์ เพิ่มระดับอนุมูลอิสระ และยับยั้งการแบ่งตัวของจุลชีพ [1],[3]

นอกจากฤทธิ์ต้านจุลชีพแล้ว สารกลุ่มไอโซไธโอไซยาเนตยังแสดงศักยภาพในการต้านออกซิเดชัน โดยสามารถลดการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชันและควบคุมสมดุลรีดอกซ์ในระบบอาหาร ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการคงสภาพสี กลิ่น และคุณค่าทางโภชนาการ [1] การรวมคุณสมบัติต้านจุลชีพและต้านออกซิเดชันไว้ในวัสดุเดียวกันจึงเป็นแนวทางที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากพื้นฐานดังกล่าว โครงงานนี้จึงมุ่งพัฒนาแผ่นฟิล์มชีวภาพจากพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ผสานสารออกฤทธิ์กลุ่มไอโซไธโอไซยาเนต เพื่อให้วัสดุมีบทบาทมากกว่าการเป็นชั้นกั้นทางกายภาพ แต่สามารถควบคุมจุลชีพและชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันในระดับโมเลกุล แนวทางนี้ไม่เพียงช่วยเพิ่มความปลอดภัยอาหาร แต่ยังสนับสนุนการพัฒนาวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสอดคล้องกับแนวคิดความยั่งยืนในระยะยาว

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสกัดและศึกษาคุณสมบัติของสารไอโซไธโอไซยาเนตจากลำต้นแก่ผักน้ำเบตงสำหรับควบคุมการปนเปื้อนของจุลชีพก่อโรคในอาหาร โดยเฉพาะ *Escherichia coli* ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญด้านความปลอดภัยอาหาร

2. เพื่อศึกษาศักยภาพของสารออกฤทธิ์ในการยับยั้งจุลชีพ และประเมินความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นกลไกสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมคุณภาพของอาหาร

3. เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้สารสกัดดังกล่าวเป็นองค์ประกอบเชิงรุกในการพัฒนาแผ่นฟิล์มชีวภาพที่ปลอดภัยต่อการใช้งานด้านอาหาร เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพโดยไม่ก่อให้เกิดไมโครพลาสติกตกค้าง

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาการสกัดสารออกฤทธิ์กลุ่มไอโซไธโอไซยาเนตจากลำต้นแก่ผักน้ำเบตง โดยกำหนดขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ วิธีการสกัด และการเก็บรักษาสารสกัดภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

2. ทดสอบฤทธิ์ต้านจุลชีพของสารสกัดต่อ *Escherichia coli* ภายใต้สภาวะควบคุมในห้องปฏิบัติการ

3. ประเมินความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพในการชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมคุณภาพของอาหาร

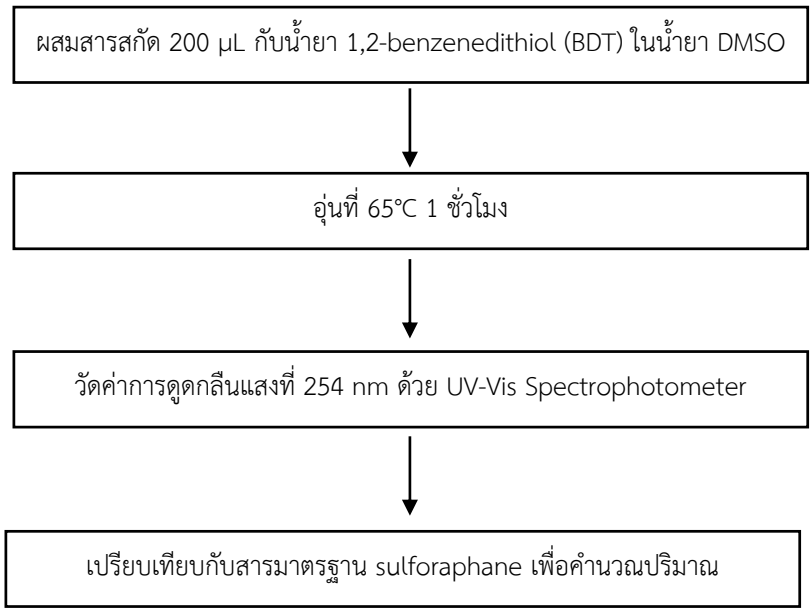
4. วิธีการศึกษา

4.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

4.1.1 ขั้นตอนการสกัดสารจากผักน้ำ

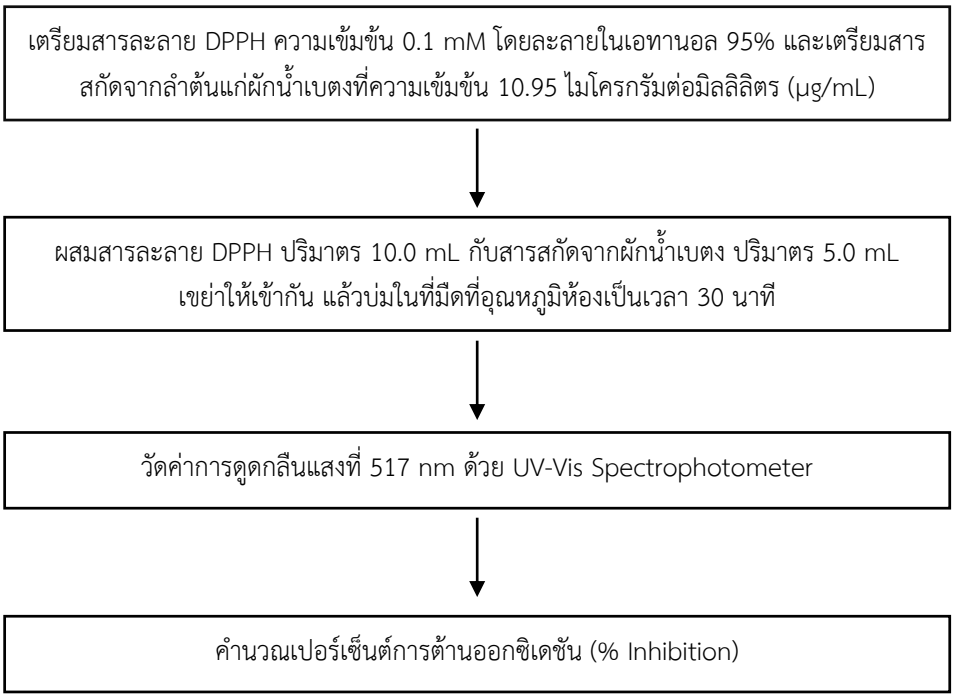
แผนผัง : ขั้นการสกัดสารจากผักน้ำ

4.1.2 ทดสอบปริมาณสารไอโซไธโอไซยาเนต



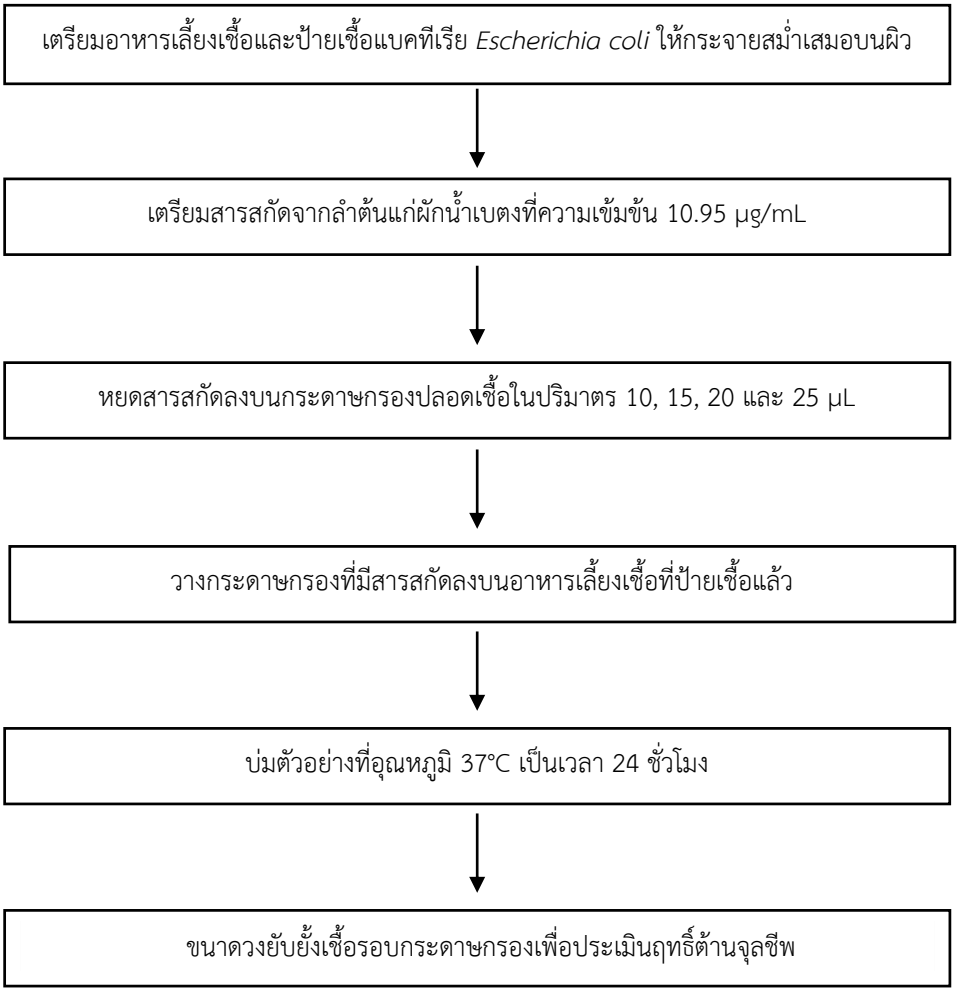
แผนผัง : ทดสอบปริมาณสารไอโซไธโอไซยาเนต

4.1.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน



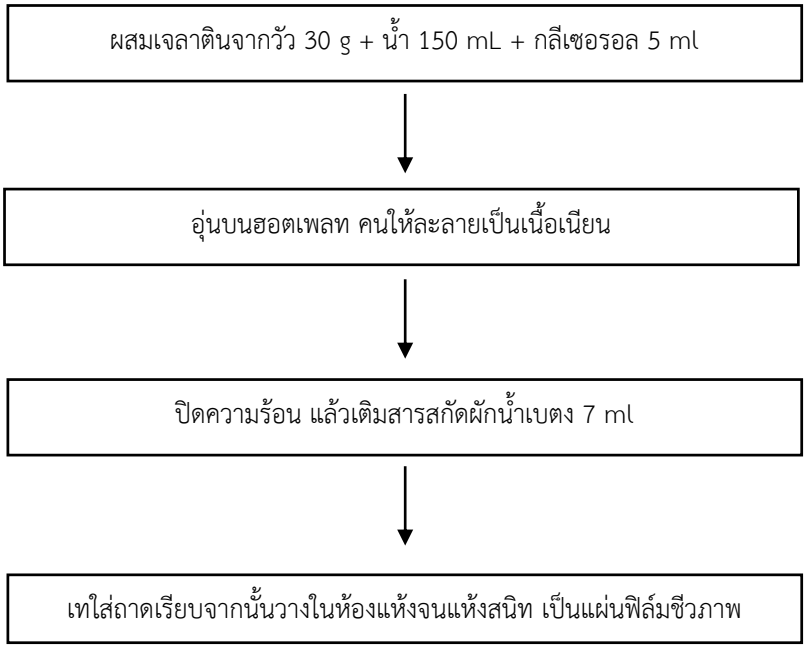
แผนผัง : การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน

4.1.4 การทดสอบฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์



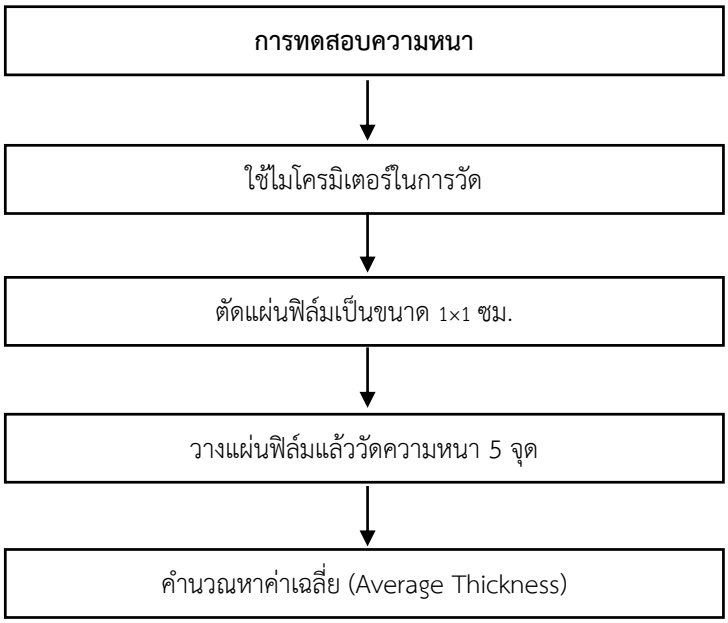
แผนผัง : การทดสอบฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์

4.1.5 การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพเจลาตินผสมสารสกัด

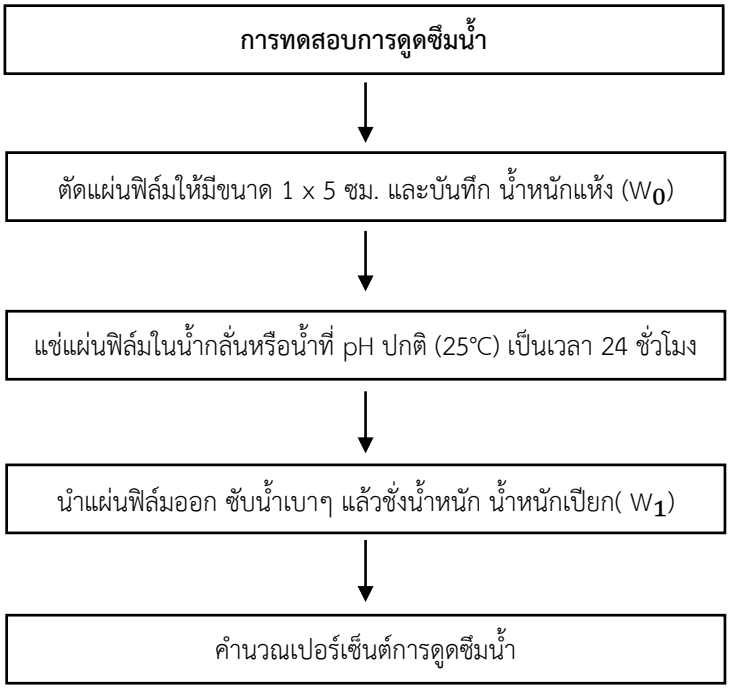


แผนผัง : การเตรียมแผ่นฟิล์มชีวภาพเจลาตินผสมสารสกัด

4.1.6 ทดสอบประสิทธิภาพทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม



แผนผัง : การทดสอบความหนา



แผนผัง : ทดสอบประสิทธิภาพทางการดูดซึมน้ำ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

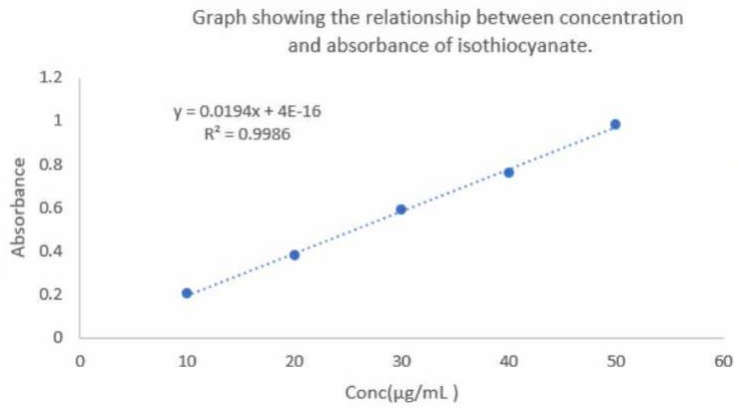
5.1 ผลของการทดสอบสารไอโซไธโอไซยาเนต

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของสารไอโซไธโอไซยาเนต (µg/mL) กับ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 256 นาโนเมตร ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV–Visible Spectrophotometerโดยใช้ ซัลโฟราเฟรน (Sulforaphane) เป็นสารมาตรฐานอ้างอิง ในการสร้างกราฟมาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 1

จากตารางที่ 1 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารอย่างเป็นสัดส่วน แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่ดี สามารถนำสมการเส้นตรงจากกราฟมาตรฐานมาใช้คำนวณปริมาณสารไอโซไธโอไซยาเนตในตัวอย่างได้อย่างเหมาะสม เมื่อวิเคราะห์สารสกัดจากลำต้นแก่ผักน้ำเบตงที่เจือจางในอัตราส่วน 1:40 พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.146 ซึ่งเมื่อเทียบกับกราฟมาตรฐานของซัลโฟราเฟรน คิดเป็นความเข้มข้นของสารไอโซไธโอไซยาเนตประมาณ 10.95 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 1 ตารางผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณของไอโซไธโอไซยาเนต

ชื่อสารตัวอย่าง	ความยาวคลื่นที่ใช้ (นาโนเมตร)	อัตราการเจือจาง	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)	ความเข้มข้นที่คำนวณได้ (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)
ไอโซไธโอไซยาเนต	256	1:40	0.416	10.95



รูปที่1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสงของไอโซไธโอไซยาเนต

กราฟมาตรฐานดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) อยู่ในระดับสูง แสดงถึงความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของวิธีการวิเคราะห์ และยืนยันว่าลำต้นแก่ของผักน้ำเบตงซึ่งเป็นของเหลือหลังการบริโภค มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในระดับที่สามารถตรวจวัดได้จริง และมีศักยภาพเพียงพอสำหรับการนำไปศึกษาฤทธิ์ต้านจุลชีพและพัฒนาเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพเชิงรุกในขั้นตอนต่อไป

5.2 ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านจุลชีพต่อ *Escherichia coli*

การทดสอบฤทธิ์ต้านจุลชีพของสารสกัดจากลำต้นแก่ผักน้ำเบตงต่อแบคทีเรีย *Escherichia coli* ดำเนินการโดยวิธี paper disc diffusion method โดยใช้สารสกัดในปริมาตรที่แตกต่างกัน ได้แก่ 10, 15, 20 และ 25 ไมโครลิตร เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (0 ไมโครลิตร) จากนั้นวัดขนาดวงยับยั้งเชื้อหลังการบ่มเชื้อ แสดงดังรูปที่ 2

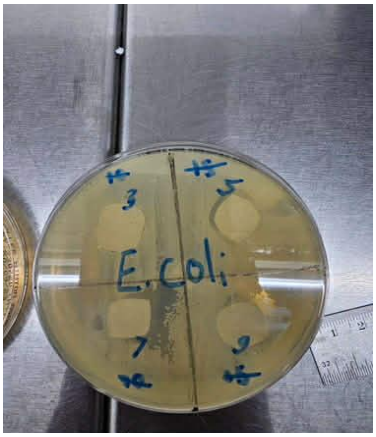
จากตารางที่ 2 พบว่าชุดควบคุมไม่ปรากฏวงยับยั้งเชื้อ แสดงให้เห็นว่าอาหารเลี้ยงเชื้อและตัวทำละลายไม่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli* ขณะที่สารสกัดจากลำต้นแก่ผักน้ำเบตงสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลของสารสกัดไอโซไธโอไซยาเนตปริมาณต่างๆในการยับยั้งจุลชีพ

เชื้อทดสอบ	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณวงใส (มิลลิเมตร)				
	ชุดควบคุม	10 ไมโครลิตร	15 ไมโครลิตร	20 ไมโครลิตร	25 ไมโครลิตร
Escherichia coli	0	10.83±1.04	12.35±0.55	13.00±1.73	19.00±2.18

เมื่อพิจารณาผลตามปริมาตรของสารสกัด พบว่า ขนาดวงยับยั้งเชื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาตรที่ใช้โดยปริมาตร 25 ไมโครลิตรให้ขนาดวงยับยั้งเชื้อสูงที่สุด (19.00 ± 2.18 มิลลิเมตร) สะท้อนถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารออกฤทธิ์กับประสิทธิภาพในการต้านจุลชีพ

ผลการทดลองดังกล่าวยืนยันว่า สารสกัดจากลำต้นแก่ผักน้ำเบตงมีศักยภาพในการยับยั้ง *Escherichia coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียสำคัญที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยอาหาร และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารออกฤทธิ์ในแผ่นฟิล์มชีวภาพเชิงรุกเพื่อช่วยลดการปนเปื้อนจุลชีพและยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้



รูปที่ 2 แสดงขนาดวงยับยั้งเชื้อของ *Escherichia coli*

ภายหลังการทดสอบด้วยสารสกัดจากลำต้นแก่ผักน้ำเบตงในปริมาตร 10, 15, 20 และ 25 ไมโครลิตร เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (0 ไมโครลิตร) โดยพบว่าขนาดวงยับยั้งเชื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาตรของสารสกัดที่ใช้สะท้อนถึงศักยภาพของสารออกฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยอาหาร

5.3 ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากลำต้นแก่ผักน้ำเบตง

การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากลำต้นแก่ผักน้ำเบตงดำเนินการเพื่อประเมินความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นกลไกสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมคุณภาพของอาหารหลังการเก็บเกี่ยว โดยการทดสอบอาศัยการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเปรียบเทียบ

$$\%\,\text{Inhibition} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \times 100$$

โดยที่

- A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม
- A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัด

จากตารางที่ 3 พบว่าสารสกัดจากลำต้นแก่ผักน้ำเบตงแสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัด โดยชุดควบคุมไม่แสดงความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ขณะที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด ค่าการดูดกลืนแสงลดลงอย่างชัดเจน ส่งผลให้ค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากลำต้นแก่ผักน้ำเบตง

ความเข้มข้นสารสกัด (µg/ml)	% การยับยั้งอนุมูลอิสระ (Mean ± SD)
0 (ชุดควบคุม)	0.00 ± 0.00
2.50	17.84 ± 1.12
5.00	28.96 ± 1.34
7.50	37.52 ± 1.08
10.95	**46.87 ± 1.25**

ความเข้มข้น 10.95 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ให้ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงที่สุดที่ 46.87 ± 1.25 เปอร์เซ็นต์ สะท้อนถึงศักยภาพของสารออกฤทธิ์ในลำต้นแก่ผักน้ำเบตงในการลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมคุณภาพอาหารหลังการเก็บเกี่ยว

ผลการทดลองนี้สนับสนุนว่าสารไอโซไธโอไซยาเนตจากลำต้นแก่ผักน้ำเบตงไม่เพียงมีฤทธิ์ต้านจุลชีพ แต่ยังมีบทบาทในการชะลอการเสื่อมคุณภาพอาหารผ่านกลไกการต้านออกซิเดชัน จึงเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารออกฤทธิ์ในแผ่นฟิล์มชีวภาพเชิงรุก เพื่อการยืดอายุอาหารและเพิ่มความปลอดภัยของอาหาร

5.4 ผลการวัดความหนาของแผ่นฟิล์มชีวภาพ

จากตารางที่ 4 การวัดความหนาของแผ่นฟิล์มชีวภาพเชิงรุกจากสารไอโซไธโอไซยาเนตในตำแหน่งที่แตกต่างกัน จำนวน 5 จุด พบว่าแผ่นฟิล์มมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 0.121 ± 0.004 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มที่พัฒนาขึ้นมีความหนาสม่ำเสมอ และมีความแปรปรวนต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานเป็น บรรจุภัณฑ์อาหาร เนื่องจากช่วยให้การกระจายตัวของสารออกฤทธิ์และสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มมีความคงที่

ตารางที่ 4 ความหนาของแผ่นฟิล์มชีวภาพเชิงรุกจากสารไอโซไธโอไซยาเนต

จุดที่วัด	ความหนา (มม.)
จุดที่ 1	0.118
จุดที่ 2	0.124
จุดที่ 3	0.121
จุดที่ 4	0.116
จุดที่ 5	0.127
ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**0.121 ± 0.004**

5.5 การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพเชิงรุก

การย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพเชิงรุกที่ผสมสารไอโซไธโอไซยาเนตจากลำต้นแก่ผักน้ำเบตง ได้รับการประเมินภายใต้สภาวะจำลองที่อุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแผ่นฟิล์มเมื่อเวลาผ่านไป คิดเป็นร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักตามสมการ

$$Weight\ loss\ (\%) = \frac{W0-W1}{W0} \times 100$$

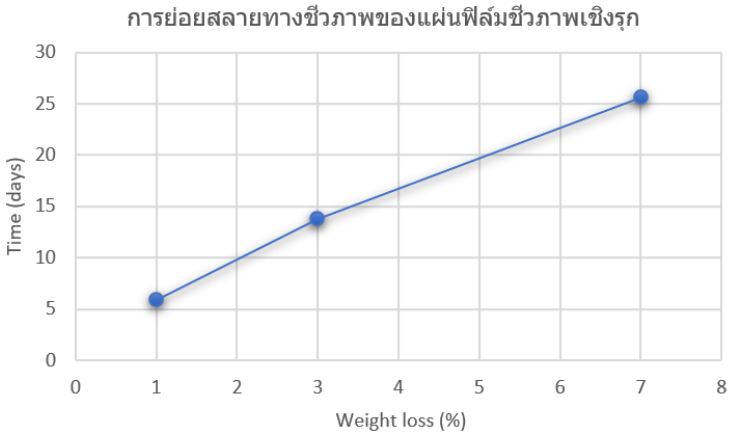
โดยที่

- W_0 คือ น้ำหนักแห้งเริ่มต้นของแผ่นฟิล์ม
- W_1 คือ น้ำหนักแห้งของแผ่นฟิล์มหลังการทดสอบการย่อยสลาย

ผลการทดลองพบว่า แผ่นฟิล์มชีวภาพมีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ทดสอบ โดยมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 6.2% หลัง 1 วัน, 14.7% หลัง 2 วัน และ 26.4% หลัง 3 วัน แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มสามารถย่อยสลายได้อย่างค่อยเป็นค่อยไป ไม่เกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วเกินไป

การย่อยสลายที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับองค์ประกอบของแผ่นฟิล์มที่ใช้วัสดุจากธรรมชาติ ได้แก่ เจลาติน และกลีเซอรอล ซึ่งสามารถถูกจุลชีพในสิ่งแวดล้อมย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ อีกทั้งการเติมสารสกัดจากพืชไม่ได้ส่งผลให้โครงสร้างของแผ่นฟิล์มสูญเสียความเสถียรอย่างฉับพลัน

ผลการทดสอบนี้ชี้ให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มชีวภาพเชิงรุกที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถลดการตกค้างของวัสดุในธรรมชาติ และไม่ก่อให้เกิดไมโครพลาสติกในระยะยาว สอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและการพัฒนาที่ยั่งยืน แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นฟิล์มชีวภาพเชิงรุก

5.6 อภิปรายผล

ผลการทดลองยืนยันว่าลำต้นแก่ของผักน้ำเบตงสามารถเป็นแหล่งของสารไอโซไธโอไซยาเนตที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli* ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยขนาดวงยับยั้งเชื้ออยู่ในช่วง 11–15 มิลลิเมตร และเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารสกัด สะท้อนลักษณะการออกฤทธิ์แบบขึ้นกับความเข้มข้น (dose-dependent) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานเกี่ยวกับฤทธิ์ต้านจุลชีพของสารในกลุ่มกลูโคซิโนเลตและไอโซไธโอไซยาเนตในพืชตระกูลกะหล่ำ [1] ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าวัสดุเหลือทิ้งจากระบบเกษตรสามารถคง “ประสิทธิภาพเชิงชีวภาพ” ได้ในระดับที่เทียบเคียงกับแหล่งวัตถุดิบมาตรฐาน

ในเชิงกลไก สารไอโซไธโอไซยาเนตสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไทออลของโปรตีน ส่งผลให้เอนไซม์สำคัญของจุลชีพถูกยับยั้งและกระบวนการเมแทบอลิซึมเสียสมดุล นำไปสู่การหยุดการเจริญเติบโตของเซลล์ ซึ่งสอดคล้องกับงานที่อธิบายบทบาทของสารกลุ่มนี้ต่อการยับยั้งเอนไซม์และจุลชีพ [3] เมื่อพิจารณาในระดับการประยุกต์ใช้ แนวทางการผสานสารออกฤทธิ์ดังกล่าวลงในแผ่นฟิล์มชีวภาพยังสอดคล้องกับทิศทางการพัฒนาวัสดุบรรจุภัณฑ์ต้านจุลชีพจากพอลิเมอร์ธรรมชาติที่สามารถยืดอายุอาหารได้ [2]

จุดเด่นของงานวิจัยนี้อยู่ที่การ “ยกระดับของเหลือทิ้งทางการเกษตรให้เป็นวัสดุเชิงหน้าที่” ซึ่งไม่เพียงคงประสิทธิภาพด้านความปลอดภัยอาหาร แต่ยังลดภาระของเสียและการพึ่งพาพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว เมื่อเชื่อมโยงในมิติสิ่งแวดล้อม

แนวทางนี้ช่วยลดทั้ง food waste และ plastic waste ในระบบเดียวกัน สอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและทิศทางการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ยั่งยืน [4] อย่างไรก็ตาม ประเด็นด้านความคงทนของวัสดุภายใต้ความชื้นและอุณหภูมิที่แปรผันยังเป็นข้อจำกัดที่ควรพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้จริงในระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรมขนาดย่อมในอนาคต

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการสกัดและประเมินศักยภาพของสารไอโซไธโอไซยาเนตจากลำต้นแก่ของผักน้ำเบตง ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร พบว่าวัตถุดิบดังกล่าวสามารถเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถตรวจวัดปริมาณไอโซไธโอไซยาเนตได้อย่างชัดเจน สะท้อนถึงศักยภาพในการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์เชิงหน้าที่และลดการสูญเสียทรัพยากรในภาคการเกษตร

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านจุลชีพด้วยวิธี paper disc diffusion แสดงให้เห็นว่าสารสกัดมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli* โดยขนาดวงยับยั้งเชื้อเพิ่มขึ้นตามปริมาตรที่ใช้ และให้ค่าสูงสุดที่ 25 ไมโครลิตร ซึ่งสะท้อนถึงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์กับประสิทธิภาพในการต้านจุลชีพ

ในด้านฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารสกัดและแผ่นฟิล์มชีวภาพที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการชะลอกระบวนการออกซิเดชันในระดับที่เหมาะสม ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการลดการเสื่อมคุณภาพของอาหาร โดยเฉพาะการลดการเกิดลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน อันเป็นปัจจัยหลักของการเสื่อมสภาพด้านกลิ่นและคุณค่าทางโภชนาการ ขณะเดียวกันผลการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพพบว่าแผ่นฟิล์มมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาอย่างต่อเนื่อง แสดงถึงสมบัติการย่อยสลายที่สอดคล้องกับแนวคิดวัสดุเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

โดยสรุป สารไอโซไธโอไซยาเนตจากลำต้นแก่ผักน้ำเบตงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นองค์ประกอบเชิงรุกสำหรับวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหารที่สามารถควบคุมจุลชีพและชะลอการเสื่อมคุณภาพของอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควบคู่กับการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ในลักษณะนี้จึงสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) สนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) และกรอบเศรษฐกิจ BCG (Bio–Circular–Green Economy)

ในเชิงการนำไปใช้จริง วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีข้อได้เปรียบด้านต้นทุน เนื่องจากเป็นของเหลือทิ้งที่หาได้ในท้องถิ่น และกระบวนการสกัดสามารถปรับใช้กับเทคนิคพื้นฐานที่ไม่ซับซ้อน จึงมีแนวโน้มต่อการขยายขนาดการผลิต (process scalability)
ได้ในระดับครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมขนาดย่อม ทั้งนี้ แม้ยังต้องมีการพัฒนาเพิ่มเติมในด้านความคงทนของวัสดุและการควบคุมคุณภาพในระดับอุตสาหกรรม แต่ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพในการต่อยอดสู่การใช้งานเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] Aires, A., Mota, V. R., Saavedra, M. J., Rosa, E. A. S., & Bennett, R. N. (2009). The antimicrobial effects of glucosinolates and their respective isothiocyanates on bacteria and fungi. Food Control, 20(9), 857–863. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.11.005

[2] Dutta, P. K., Tripathi, S., Mehrotra, G. K., & Dutta, J. (2009). Perspectives for chitosan based antimicrobial films in food applications. Food Chemistry, 114(4), 1173–1182. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.047

[3] Luciano, F. B., & Holley, R. A. (2009). Enzymatic inhibition and the antimicrobial activity of isothiocyanates against Aspergillus species. Journal of Food Protection, 72(3), 563–568.

[4] ทีมวิจัยม.จอมบึง. (2023,May,9). พัฒนาแผ่นฟิล์มทานได้จากโปรตีนไฮโดรไลเซส แถมยืดอายุอาหาร–สินค้าเกษตรได้ 4 เดือน. สืบค้นจาก https://www.thaipackmagazine.com/activity/protein-hydrolysate/

การรับรู้และทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารในพื้นที่เมือง กรณีศึกษา กรุงเทพมหานคร

ณัฐสลิล อิศรางกูร ณ อยุธยา และ ปรียาภรณ์ หมื่นราช*

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

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลต่อการลดลงของปริมาณผลผลิตในภาคเกษตรกรรมนำไปสู่ปัญหาความมั่นคงทางอาหารในพื้นที่เมือง โดยเฉพาะกรุงเทพมหานครที่มีประชากรอาศัยอยู่กันอย่างหนาแน่น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการรับรู้และทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารในกรุงเทพมหานคร เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสอบถาม โดยตรวจสอบความเชื่อมั่นด้วย Reliability Test (Cronbach Alpha = 0.95) หลังจากนั้นทำการแจกแบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 ราย โดยวิธีการสุ่มแบบโควต้า ภายในพื้นที่เขตชั้นใน เขตชั้นกลาง และเขตชั้นนอกของจังหวัดกรุงเทพมหานคร และนำมาวิเคราะห์ด้วย Kruskal Wallis H-test เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอันดับ (Mean Rank) ระหว่างกลุ่มตัวอย่าง ผลการวิจัย พบว่า การรับรู้ต่อความมั่นคงทางอาหารระหว่างเขตที่พักอาศัยหรือที่ทำงานในกรุงเทพมหานคร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดย เขตชั้นนอก มีการรับรู้ต่อความมั่นคงทางอาหารน้อยที่สุด นอกจากนี้ทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารระหว่างเขตที่พักอาศัยหรือที่ทำงานในกรุงเทพมหานคร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเขตชั้นนอกมีทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารน้อยที่สุด ผลการวิจัยนี้ได้สะท้อนให้เห็นว่า หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรผลักดันนโยบายเพื่อส่งเสริมแนวทางการจัดการปัญหาความมั่นคงทางอาหารทั้ง 4 ด้านในบริบทเชิงพื้นที่ จากมุมมองการรับรู้และทัศนคติของประชาชนในกรุงเทพมหานคร งานวิจัยนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการพัฒนาความมั่นคงทางอาหารให้เหมาะสมกับบริบทเชิงพื้นที่ในกรุงเทพมหานครได้ในอนาคต

คำสำคัญ: ความมั่นคงทางอาหาร / การรับรู้ / ทัศนคติ / พื้นที่เมือง / กรุงเทพมหานคร

Perceptions and attitudes toward food security in urban areas: A case study of Bangkok

Natsalin Isarangkul Na Ayutthaya and Preeyaporn Muenratch*

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

Abstract

Climate change has led to a decline in agricultural yields, resulting in food security in urban areas, particularly in densely populated Bangkok. This research aims to compare perceptions and attitudes toward food security in Bangkok. The research instrument was a questionnaire, and its reliability was tested using the Cronbach's Alpha Test (α = 0.95). The questionnaires were distributed to 100 respondents using quota sampling within the inner, middle, and outer districts of Bangkok. Data was analyzed using Kruskal Wallis H-test to compare mean rank among different groups. The results show a statistically significant difference ($p < .05$) in perceptions of food security between residential and work areas in Bangkok, with outer districts showing the lowest perception. Furthermore, attitudes toward food security also differed significantly ($p < .05$), with outer districts showing the lowest attitude. These findings suggest that relevant agencies should promote policies to address all four aspects of food security within their respective spatial contexts. From the perspective of public perceptions and attitudes in Bangkok, this research can be applied as a guideline for developing food security appropriate to the spatial context of Bangkok in the future.

Keywords: Food security / Perception / Attitude / Urban area / Bangkok

1. บทนำ

ความมั่นคงทางอาหาร (Food Security) เป็นปัญหาที่สร้างผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของประชากรโลก การตั้งเป้าหมายเพื่อสร้างความสมดุลทางปริมาณและคุณภาพจึงกลายเป็นความท้าทายสำคัญในระดับโลก [1] ใน พ.ศ. 2567 ประชากรกว่า 720 ล้านคนประสบกับภาวะความหิวโหย ได้แก่ ประชากรราว 307 ล้านคนในแอฟริกา 323 ล้านคนในเอเชีย และ 34 ล้านคนในละตินอเมริกาและแคริบเบียน [1] นอกจากนี้ ประชากรกว่า 295 ล้านคน (22.6%) เผชิญกับภาวะความไม่มั่นคงทางอาหารในระดับสูง [2] การแก้ปัญหานี้เป็นวาระสำคัญระดับชาติ โดยเฉพาะในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาซึ่งประสบปัญหาขาดแคลนอาหาร เนื่องจากภาวะทางเศรษฐกิจถดถอย ปัญหาความขัดแย้ง และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ [1-2] ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อการเข้าถึงอาหารที่เพียงพอและคุณค่าทางโภชนาการที่ดี อย่างไรก็ตาม ความมั่นคงทางอาหารมีความแตกต่างกันตามบริบททางพื้นที่ จึงทำให้ประเด็นเรื่องความมั่นคงทางอาหารกลายเป็นหัวข้อสำคัญที่ต้องได้รับความสนใจและหาแนวทางการแก้ไขสถานการณ์ความมั่นคงทางอาหารได้อย่างเหมาะสม [1-2] จากรายงานตัวชี้วัดสถานการณ์ของ Global Food Security Index (GFSI) ใน พ.ศ. 2565 ประเทศไทยเป็นประเทศลำดับที่ 64 จาก 113 มีความเสี่ยงทางด้านอาหาร เนื่องจาก ความไม่มั่นคงของปริมาณและคุณภาพของอาหารที่ประชากรควรได้รับซึ่งแสดงถึงความเสี่ยงโดยรวมที่ประเทศไทยจะต้องเผชิญในอนาคต [3]

กรุงเทพมหานครเผชิญกับความท้าทายความไม่มั่นคงทางอาหารจากผลกระทบของการแพร่ระบาดของโรคโควิด 19 ทำให้เกิดการกักตุนอาหารและกิจกรรมทางด้านอาหารต้องปรับตัวจากการหยุดนิ่งของวิกฤตการณ์ ดังนั้น กรุงเทพมหานครควรที่จะต้องสร้างแนวทางเพื่อรับมือกับความมั่นคงทางอาหารในอนาคต [4-5] อีกทั้ง พื้นที่เมืองยังมีความเสี่ยงต่อการเผชิญกับความไม่มั่นคงทางอาหารได้มากกว่าพื้นที่ชนบท เนื่องจากมีพื้นที่จำกัดในการผลิตอาหาร [5] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยด้านความมั่นคงทางอาหารในกรุงเทพมหานครที่ผ่านมาส่วนใหญ่ศึกษาเกี่ยวกับความมั่นคงทางอาหารในสถานการณ์การระบาดของโรคโควิด 19 [4-5] พฤติกรรมของประชาชนต่อสถานการณ์ความมั่นคงทางอาหาร [6-7] ความมั่นคงทางอาหารของกลุ่มคนเปราะบาง [8-9] และแนวทางการพัฒนาพื้นที่เกษตรในเมือง [10] นอกจากนี้ งานวิจัยความมั่นคงทางอาหารในพื้นที่อื่นๆ เช่น จังหวัดแม่ฮ่องสอน น่าน กำแพงเพชร เป็นต้น ส่วนใหญ่ศึกษาสถานการณ์ความมั่นคงทางอาหารในภาพรวม [11-13]

อย่างไรก็ตาม การศึกษาเกี่ยวกับความมั่นคงทางอาหารที่ผ่านมา ยังขาดประเด็นการเปรียบเทียบการรับรู้และทัศนคติของประชาชนเชิงพื้นที่ โดยเฉพาะการแบ่งพื้นที่ศึกษาในกรุงเทพมหานครแบบเขตชั้นใน ชั้นกลาง และชั้นนอก ที่สะท้อนผ่านผังเมืองและโครงสร้างการใช้ที่ดินในเขตเมืองที่ส่งผลต่อความมั่นคงทางอาหาร ดังนั้น งานวิจัยเรื่องการรับรู้และทัศนคติต่อความมั่นคงทางด้านอาหารในพื้นที่เมือง กรณีศึกษา กรุงเทพมหานคร จึงมีความสำคัญเพื่อเปรียบเทียบการรับรู้และทัศนคติตามลักษณะโครงสร้างเมืองหลายระดับพื้นที่ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการพัฒนาความมั่นคงทางอาหารให้เฉพาะเจาะจงตามพื้นที่เขตในกรุงเทพฯ และสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

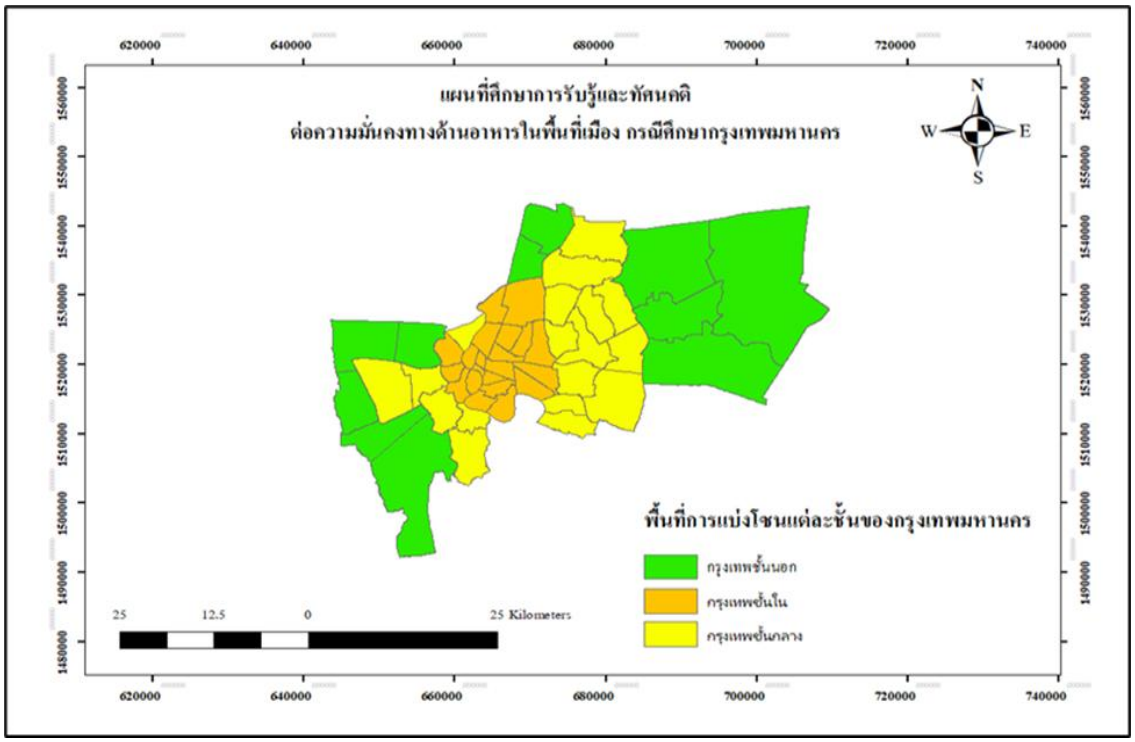
1. เพื่อศึกษาการรับรู้ต่อความมั่นคงทางอาหารของประชาชนในพื้นที่เมือง จังหวัดกรุงเทพมหานคร
2. เพื่อศึกษาทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารของประชาชนในพื้นที่เมือง จังหวัดกรุงเทพมหานคร
3. เพื่อเปรียบเทียบระดับการรับรู้และทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารของประชาชนในแต่ละพื้นที่ของกรุงเทพมหานคร

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษางานวิจัยเรื่อง การรับรู้และทัศนคติต่อความมั่นคงทางด้านอาหารในพื้นที่เมือง กรณีศึกษากรุงเทพมหานคร มีการกำหนดขอบเขตการวิจัยด้านต่าง ๆ ดังนี้

3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่

จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยทำการแบ่งออกเป็น 3 พื้นที่ ได้แก่ เขตเมืองชั้นใน เขตชั้นกลาง และเขตชั้นนอก (ม.ร.ว.สุขุมพันธุ์ บริพัตร, 2556) (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษา

3.2 ขอบเขตด้านเวลา

ระยะเวลาในการศึกษาและเก็บข้อมูลทางการรับรู้และทัศนคติต่อความมั่นคงทางด้านอาหารในพื้นที่เมือง กรณีศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร อยู่ระหว่างระยะเวลาตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2568 – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2569

3.3 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การเก็บรวมรวมข้อมูลของประชาชนในด้านการรับรู้และทัศนคติต่อความมั่นคงทางด้านอาหารในพื้นที่เมือง กรณีศึกษากรุงเทพมหานคร และอธิบายภายใต้การอ้างอิงกรอบแนวคิดของความมั่นคงทางอาหารขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization of the United Nations : FAO)

3.4 ขอบเขตด้านประชากร

กลุ่มประชากรที่ใช้เพื่อการศึกษาวิจัย คือ ประชาชนที่อาศัยอยู่จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยมีประชากรรวมทั้งหมด 5,435,265 คน โดยทำการแบ่งกลุ่มประชากรเป็น 3 ส่วน คือ เขตกรุงเทพชั้นใน เขตกรุงเทพชั้นกลาง และเขตกรุงเทพชั้นนอก (ข้อมูลสถิติประชากรเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2568 กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย (2568))

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การกำหนดกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย ทำการกำหนดกลุ่มตัวอย่างด้วยสูตรการคำนวณ Taro Yamane (1973) โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่นอยู่ที่ 90% แทนค่าตามสูตรดังต่อไปนี้

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

กำหนดให้ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง
N = จำนวนประชากร
e = ค่าความคลาดเคลื่อนจากกลุ่มตัวอย่าง

แทนค่า $n = \frac{5{,}435{,}265}{1 + 5{,}435{,}265(0.1)^2}$

$n = 100$

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสอบถาม (Questionnaire) ในการประเมินการรับรู้และทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารในพื้นที่เมือง โดยการออกแบบตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ อาชีพ รายได้เฉลี่ย และพื้นที่เขตที่พักอาศัย เป็นต้น

ส่วนที่ 2 ข้อมูลการรับรู้ต่อความมั่นคงทางอาหารในพื้นที่เมืองโดยการวัดระดับรูปแบบ Likert Scale 5 ระดับ

ส่วนที่ 3 ข้อมูลทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารในพื้นที่เมืองโดยการวัดระดับรูปแบบ Likert Scale 5 ระดับ

ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ผู้วิจัยทำการทดสอบนำร่องโดยแจกแบบสอบถามให้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน และนำมาตรวจสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม ด้วย Reliability Test ได้ค่า Cronbach Alpha = 0.95 ซึ่งมีค่าความเชื่อมั่นสูง หลังจากนั้น ผู้วิจัยทำการเก็บแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างผ่านวิธีการสุ่มแบบโควต้า (Quota Sampling) โดยสุ่มตัวอย่างเพศชายและเพศหญิงในพื้นที่ 3 ชั้นเขต ได้แก่ เขตชั้นใน 28 คน เขตชั้นกลาง 42 คน และเขตชั้นนอก 30 คน ตามสัดส่วนของประชากร

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลผ่านโปรแกรมทางสถิติ โดยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ สถิติเชิงพรรณา และสถิติเชิงอนุมาน ดังนี้

4.2.1 สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถามตามการรับรู้และทัศนคติ แบ่งออกได้ดังนี้

1) ความถี่ (Frequency) แสดงความถี่ของจำนวนทางประชากรศาสตร์
2) ร้อยละ (Percentage) แสดงจำนวนทางประชากรศาสตร์เป็นรูปแบบของร้อยละ
3) ค่าเฉลี่ย (Mean) แสดงค่ากลางของระดับการรับรู้และทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถาม
4) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) แสดงการกระจายของข้อมูล

4.2.2 สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics)

Kruskal Wallis H-Test เป็นวิธีการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยอันดับ (Mean Rank) ระหว่าง 3 กลุ่มตัวแปรอิสระขึ้นไป โดยข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการรับรู้และทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารในพื้นที่เมือง กรณีศึกษา กรุงเทพมหานคร มีผลการศึกษา ดังนี้

5.1 ผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

- เพศ จากการศึกษาพบว่ามีเพศชาย 46 คน คิดเป็นร้อยละ 46 และเพศหญิง 54 คน คิดเป็นร้อยละ 54 จากจำนวนรวมทั้งหมด 100 คน
- เขตที่พักอาศัย/ที่ทำงาน จากการศึกษาพบว่า เขตชั้นใน(เขตวัฒนา) มีผู้ตอบแบบสอบถาม 28 คน คิดเป็นร้อยละ 28 เขตชั้นกลาง(เขตบางแค) มีผู้ตอบแบบสอบถาม 42 คน คิดเป็นร้อยละ 42 และเขตชั้นนอก(เขตมีนบุรี) มีผู้ตอบแบบสอบถาม 30 คน คิดเป็นร้อยละ 30
- อายุ จากการศึกษาพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีอายุเฉลี่ยส่วนใหญ่ในกลุ่มอายุ 31 – 40 ปี จำนวน 36 คน คิดเป็นร้อยละ 36 รองลงมาเป็นกลุ่มอายุ 20 – 30 ปี จำนวน 30 คน คิดเป็นร้อยละ 30
- อาชีพ จากการศึกษาพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มอาชีพพนักงานบริษัทเอกชน จำนวน 43 คน คิดเป็นร้อยละ 43 รองลงมาเป็นกลุ่มอาชีพค้าขาย จำนวน 18 คน คิดเป็นร้อยละ 18
- รายได้เฉลี่ยต่อเดือน (บาท) จากการศึกษาพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน (บาท) ในกลุ่ม 20,001 – 30,000 บาท จำนวน 38 คน คิดเป็นร้อยละ 38 และรองลงมามีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน (บาท) ในกลุ่ม 15,001 – 20,000 บาท จำนวน 23 คน คิดเป็นร้อยละ 23
- ระดับการศึกษาสูงสุด ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาสูงสุดในกลุ่มปริญญาตรี จำนวน 62 คน คิดเป็นร้อยละ 62 และรองลงมาเป็นกลุ่มมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 21 คน คิดเป็นร้อยละ 21

5.2 ผลการศึกษาระดับการรับรู้ต่อความมั่นคงทางอาหาร

จากผลการวิเคราะห์การรับรู้ด้านความมั่นคงทางอาหารของประชาชนใน 3 เขตพื้นที่ พบว่า การรับรู้ทั้ง 4 ด้านมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยอันดับพบว่า เขตชั้นกลาง (เขตบางแค) มีค่าเฉลี่ยอันดับสูงที่สุดในทุกมิติ ในขณะที่เขตชั้นในและเขตชั้นนอกมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมิติด้านความมีเสถียรภาพทางอาหารเป็นด้านที่มีความแตกต่างชัดเจนมากที่สุด ผลการวิจัยจึงสะท้อนให้เห็นว่า พื้นที่อยู่อาศัยเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการรับรู้ด้านความมั่นคงทางอาหารของประชาชนอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบข้อมูลระดับการรับรู้ต่อความมั่นคงทางอาหารระหว่างเขตที่พักอาศัย/ที่ทำงานด้วย Kruskal Wallis H-Test

มิติความมั่นคงอาหาร	วัฒนา (ชั้นใน)	บางแค (ชั้นกลาง)	มีนบุรี (ชั้นนอก)	p-value	การแปลผล
ความพร้อมด้านอาหาร	44.46	60.63	41.95	.010	มีนัยสำคัญทางสถิติ
การเข้าถึงอาหาร	41.70	62.49	41.93	.001	มีนัยสำคัญทางสถิติ
การใช้ประโยชน์จากอาหาร	41.25	62.67	42.10	.001	มีนัยสำคัญทางสถิติ
ความมีเสถียรภาพทางอาหาร	37.25	70.77	34.48	.000	มีนัยสำคัญทางสถิติ

หมายเหตุ: ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยอันดับและกำหนดให้ $p < .05$ แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลการวิเคราะห์การรับรู้ด้านความมั่นคงทางอาหารจำแนกตามอาชีพ พบว่า ด้านความพร้อมของอาหาร การเข้าถึงอาหาร และการใช้ประโยชน์จากอาหาร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) อย่างไรก็ตาม ในด้านความเสถียรภาพทางอาหารพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = .000$) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยอันดับพบว่า กลุ่มข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจมีค่าเฉลี่ยอันดับสูงที่สุด แสดงถึง ระดับการรับรู้ด้านความมีเสถียรภาพทางอาหารที่สูงกว่ากลุ่มอาชีพอื่น ขณะที่กลุ่มนักเรียน/นักศึกษา และกลุ่มอาชีพอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยอันดับต่ำกว่า ผลการศึกษาจึงสะท้อนว่า อาชีพเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการรับรู้ด้านความเสถียรภาพทางอาหารของประชาชนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบข้อมูลระดับการรับรู้ต่อความมั่นคงทางอาหารระหว่างอาชีพด้วย Kruskal Wallis H-Test

มิติความมั่นคงอาหาร	นักเรียน/นักศึกษา	พนักงานเอกชน	รัฐวิสาหกิจ/ข้าราชการ	อื่น ๆ	p-value	การแปลผล
ความพร้อมด้านอาหาร	48.69	49.34	64.60	45.40	.202	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
การเข้าถึงอาหาร	48.44	51.64	58.67	45.17	.492	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
การใช้ประโยชน์จากอาหาร	40.16	53.79	59.40	46.29	.180	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
ความมีเสถียรภาพทางอาหาร	34.41	58.06	68.67	37.42	.000	มีนัยสำคัญทางสถิติ

หมายเหตุ: ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยอันดับและกำหนดให้ $p < .05$ แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.3 ผลการศึกษาระดับทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหาร

จากผลการวิเคราะห์ทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารของประชาชนใน 3 เขตพื้นที่ พบว่า ทัศนคติทั้ง 4 ด้านมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยอันดับ พบว่า เขตชั้นกลาง (เขตบางแค) มีค่าเฉลี่ยอันดับสูงที่สุดในทุกมิติ สะท้อนว่าประชาชนในเขตชั้นกลางมีทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารสูงกว่าพื้นที่อื่น ขณะที่เขตชั้นในและเขตชั้นนอกมีค่าเฉลี่ยอันดับต่ำกว่า โดยเฉพาะมิติด้านการเข้าถึงอาหารและความมีเสถียรภาพทางอาหาร ซึ่งมีความแตกต่างเด่นชัดมากที่สุด ผลการศึกษานี้จึงชี้ให้เห็นว่า พื้นที่อยู่อาศัยมีความสัมพันธ์กับระดับทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบข้อมูลทัศนคติความมั่นคงทางอาหารระหว่างเขตที่พักอาศัย/ที่ทำงานด้วย Kruskal Wallis H-Test

มิติความมั่นคงอาหาร	วัฒนา (ชั้นใน)	บางแค (ชั้นกลาง)	มีนบุรี (ชั้นนอก)	p-value	การแปลผล
ความพร้อมด้านอาหาร	41.05	59.26	47.05	.023	มีนัยสำคัญทางสถิติ
การเข้าถึงอาหาร	49.46	62.10	35.23	.000	มีนัยสำคัญทางสถิติ
การใช้ประโยชน์จากอาหาร	50.52	57.69	40.42	.029	มีนัยสำคัญทางสถิติ
ความมีเสถียรภาพทางอาหาร	44.54	66.05	34.30	.000	มีนัยสำคัญทางสถิติ

หมายเหตุ: ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยอันดับและกำหนดให้ $p < .05$ แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลการวิเคราะห์ทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารจำแนกตามอาชีพ พบว่า ทัศนคติในด้านความพร้อมของอาหาร การเข้าถึงอาหาร และการใช้ประโยชน์จากอาหาร ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ในมิติด้านความมีเสถียรภาพทางอาหารพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = .032$) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยอันดับ พบว่า กลุ่มข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจมี

ค่าเฉลี่ยอันดับสูงที่สุด แสดงถึง ระดับทัศนคติด้านความเสถียรภาพทางอาหารที่สูงกว่ากลุ่มอาชีพอื่น ผลการศึกษาจึงสะท้อนว่าอาชีพมีอิทธิพลต่อทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารเฉพาะในมิติด้านความเสถียรภาพทางอาหาร (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบข้อมูลทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารระหว่างอาชีพ Kruskal Wallis H-Test

มิติความมั่นคงอาหาร	นักเรียนนักศึกษา/	พนักงานเอกชน	ข้าราชการรัฐวิสาหกิจ/	อื่น ๆ	p-value	การแปลผล
ความพร้อมด้านอาหาร	40.59	51.55	61.17	48.71	.238	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
การเข้าถึงอาหาร	47.16	53.23	57.00	44.29	.436	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
การใช้ประโยชน์จากอาหาร	55.88	46.29	63.47	46.67	.133	ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
ความมีเสถียรภาพทางอาหาร	42.78	53.23	65.97	41.81	.032	มีนัยสำคัญทางสถิติ

หมายเหตุ: ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ยอันดับและกำหนดให้ $p < .05$ แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6. สรุปผลการศึกษา

การรับรู้ของประชาชนต่อความมั่นคงทางอาหารในพื้นที่เมืองทั้ง 4 ด้าน อยู่ในระดับมาก ประชาชนรับรู้เกี่ยวกับสถานการณ์ด้านความพร้อมทางด้านอาหารที่เพียงพอ ซึ่งเป็นการรับรู้ต่อความเพียงพอของจำนวนอาหารที่มีหลากหลายประเภทการผลิตอาหาร และการนำเข้าอาหารของไทยตอบสนองความต้องการคนกรุงเทพฯ เพียงพอด้านการเข้าถึงอาหาร ประชาชนรับรู้ว่า กรุงเทพมหานครมีปริมาณอาหารเพียงพอและหลากหลายทั้งจากการผลิตและการนำเข้า สามารถตอบสนองความต้องการของประชาชนได้อย่างเหมาะสม ด้านการเข้าถึงอาหาร พบว่า ประชาชนและสมาชิกในครอบครัวสามารถเข้าถึงอาหารที่มีคุณภาพได้ในบริเวณที่อยู่อาศัย สำหรับด้านการใช้ประโยชน์จากอาหาร ประชาชนมีความรู้ด้านโภชนาการและตระหนักถึงคุณค่าของอาหารที่บริโภค ขณะที่ด้านความมีเสถียรภาพทางอาหาร ประชาชนรับรู้ถึงความเสี่ยงหรือสถานการณ์ฉุกเฉินที่อาจเกิดขึ้น รวมถึงบทบาทของนโยบายภาครัฐในการสนับสนุนความมั่นคงทางอาหาร

ทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารของประชาชนในพื้นที่เมือง จังหวัดกรุงเทพมหานคร ผลการวิจัย พบว่า ทัศนคติภาพรวมอยู่ในระดับมากเช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงถึง ทัศนคติของประชาชนต่อความมั่นคงทางอาหารของบริบทพื้นที่สำหรับคนกรุงเทพฯ พื้นที่กายภาพส่งผลต่อทัศนคติที่ต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัย เรื่อง ความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการบริโภคอาหารของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาในกรุงเทพมหานคร [7] ที่พบว่า นักเรียนในกรุงเทพฯ มีทัศนคติเกี่ยวกับการบริโภคอาหารใน ระดับดี ซึ่งเป็นตัวช่วยในการยืนยันทัศนคติระยะยาวสำหรับประชาชนในกรุงเทพมหานครเกี่ยวกับความมั่นคงทางอาหารทั้งกับการใช้ประโยชน์จากอาหาร และเสถียรภาพทางอาหารได้อย่างดี นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังสอดคล้องกับงานวิจัย เรื่อง การสร้างความมั่นคงทางอาหารและทัศนคติต่อการสร้างความมั่นคงทางอาหารระดับครัวเรือนของเกษตรกรในระบบเกษตรแปลงใหญ่ เขตพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน ประเทศไทย [11] ที่ระบุว่า ทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารเป็นผลมาจาก "ประสบการณ์ส่วนบุคคลและบริบทของพื้นที่" โครงสร้างของเมืองในแต่ละเขตมอบประสบการณ์ที่ต่างกัน ในงานวิจัยนี้เขตชั้นกลางเป็นพื้นที่ที่มีความสมดุล สาเหตุมากจากการมีตลาดหรือห้างสรรพสินค้าที่เข้าถึงง่ายอยู่ในพื้นที่ที่ประชากรมองว่าสามารถเข้าถึงอาหารได้ แต่ไม่พลุกพล่านเหมือนกับเขตชั้นในและไม่สร้างความรู้สึกห่างไกลหรือยากที่จะเข้าถึงเหมือนกับเขตชั้นนอก [11]

การรับรู้และทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารในพื้นที่เมือง กรณีศึกษา กรุงเทพมหานคร สะท้อนให้เห็นว่า ความเป็นเมืองทำให้เกิดการรับรู้และทัศนคติที่ไม่เท่าเทียมกันในทุกพื้นที่ เนื่องจากปัจจัยทางประชากรศาสตร์ เช่น ลักษณะพื้นที่สำหรับทำงานหรืออาศัย อาชีพ และรายได้ เป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อความแตกต่างดังกล่าวอย่างชัดเจน [5-10] ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรให้ความสำคัญกับการยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนในมิติเศรษฐกิจและสังคม [7,9-10,12-13] ควบคู่กับการกำหนดนโยบายเพื่อส่งเสริมแนวทางการจัดการปัญหาความมั่นคงทางอาหารทั้ง 4 ด้านที่สอดคล้องกับบริบทเฉพาะ

ของโครงสร้างเมือง โดยเฉพาะ เขตชั้นนอก (มีนบุรี) ซึ่งผลการวิจัย พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้และทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารน้อยที่สุด หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีมาตรการเพื่อส่งเสริมการรับรู้และทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหาร เช่น การเพิ่มพื้นที่เกษตรในเมือง การเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ข้อมูลด้านความมั่นคงทางอาหาร การสนับสนุนงบประมาณเพื่อเพิ่มความมั่นคงทางอาหาร รวมทั้ง การอบรมให้ความรู้ด้านความมั่นคงทางอาหารให้กับคนในชุมชน และส่งเสริมให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการสร้างความมั่นคงทางอาหารในพื้นที่ของตนเอง เป็นต้น มาตรการดังกล่าวจะช่วยเพิ่มการรับรู้และทัศนคติต่อความมั่นคงทางอาหารให้กับประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เขตชั้นนอกของกรุงเทพมหานครได้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). *The state of food security and nutrition in the world 2025.* https://openknowledge.fao.org/

[2] FSIN and GNAFC. (2025). *Global Report on Food Crises*. Rome. https://doi.org/10.71958/wfp130664

[3] Economist Impact. (2022). *Global food security index 2022.* https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/about

[4] จักรสิน น้อยไร่ภูมิ, ธิติพัทธ์ อัศวรักษ์เดโช, และ วรางคณา นิ่มเจริญ. (2565). *แนวทางการพัฒนาพื้นที่เกษตรในเมืองเพื่อเพิ่มความมั่นคงทางอาหารของคนเมือง: กรณีศึกษา ย่านท่าพระ กรุงเทพมหานคร. วารสารวารสารสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์แห่งรัตนโกสินทร*, 4(3), 19–31.

[5] รัศมี เอกศิริ และ ศยามล เจริญรัตน์. (2563). ทางเลือกทางรอดของคนทำงานในระบบอาหารต่อความมั่นคงทางอาหาร ท่ามกลางโควิด-19. *วารสารวิจัยสังคมและปริทัศน์*, *43*(2), 23-53.

[6] วิภาวี โถหินัง. (2562). *พฤติกรรมของประชาชนต่อสถานการณ์ความมั่นคงทางอาหารใน*กรุงเทพมหานคร [วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD). https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/

[7] ศิษฏ์ เกตุเอี่ยม. (2564). ความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการบริโภคอาหารของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาในกรุงเทพมหานคร. *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 5384. https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/5384

[8] เปียซื่อ, นพวรรณ, ไกรถาวร, ผจงจิต, ตันติ ประสพลาภ, สุกัญญา, ... & ซู้หงษ์. (2560). การศึกษาติดตามความมั่นคงทางอาหารในครัวเรือนของสตรีสูงอายุในชุมชนแออัด. *Journal of Nursing Research, Innovation, and Health*, *29*(2), 52-61.

[9] วาสนา ศรีจำปา. (2568). การทำความเข้าใจเมืองผ่านสภาวะความเปราะบางทางอาหารของกลุ่มแรงงานรับจ้างทั่วไปที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานคร. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, *16*(1), 104-143.

[10] จักรสิน น้อยไร่ภูมิ, ธิติพัทธ์ อัศวรักษ์เดโช, และ วรางคณา นิ่มเจริญ. (2565). แนวทางการพัฒนาพื้นที่เกษตรในเมืองเพื่อเพิ่มความมั่นคงทางอาหารของคนเมือง กรณีศึกษา ย่านท่าพระ, กรุงเทพมหานคร. *Rattanakosin Journal of Social Sciences and Humanities*, *4*(3), 19-31.

[11] มนตรี สิงหะวาระ, กมลทิพย์ ปัญญาสิทธิ์, ชนิตา พันธุ์มณี, และ สุปรียา หวังเสถียร. (2567). *การสร้างความมั่นคงทางอาหารและทัศนคติต่อการสร้างความมั่นคงทางอาหารระดับครัวเรือนของเกษตรกรในระบบเกษตรแปลงใหญ่ เขตพื้นที่*จังหวัดแม่ฮ่องสอน ประเทศไทย. Journal of Roi Kaensarn Academi, 9(12), 2239–2255.

[12] เพ็ญจันทร์ ระวิยวงค์. (2563). ความมั่นคงทางอาหารของครัวเรือนเกษตรกรในจังหวัดน่าน. *RMUTL Journal of Business Administration and Liberal Arts*, *8*(1), 25-36.

[13] ศุภฤทธิ์ ธาราทิพย์นรา และ พิษณุ บุญนิยม. (2568). ข้อเสนอเชิงนโยบายความมั่นคงทางอาหารของชุมชน จังหวัดกำแพงเพชร. *วารสารพิกุล คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร*, *22*(2), 61-76.

[14] ม.ร.ว. สุขุมพันธุ์ บริพัตร. (2556). *ร่างแผนการบริหารราชการกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2556–2560.* https://thaipublica.org/wp-content/uploads/2016/07/plan-กรุงเทพฯ-2556-2560.pdf

[15] สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง. (2568). *สถิติประชากรทางการทะเบียนราษฎร (รายเดือน).* https://stat.bora.dopa.go.th/stat/statnew/statMONTH/statmonth/#/mainpage

แคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียน เสริมจุลินทรีย์พรีไบโอติก

ณัฐปภัสร์ แซ่หลี, ณัฐกฤตา ม่านทอง, ชโนทัย ลิ้มศุภากร, สุธี จุ้งลก*, และ รุสนานี ซียง

โรงเรียนเบตง "วีระราษฎร์ประสาน, 19 ถ.รวมวิทย์ อ.เบตง, อำเภอเบตง ยะลา 95110 ประเทศไทย

**Corresponding author: Email: gaschem4159@kbyala.ac.th; be417450@gmail.com*

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแคปซูลนิ่มจากโปรตีนที่สกัดจากเปลือกทุเรียน ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีศักยภาพสูงในการนำมาเพิ่มมูลค่า โดยแคปซูลดังกล่าวได้รับการเสริมด้วยพรีไบโอติกเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ส่งเสริมสุขภาพลำไส้ การศึกษาครอบคลุมถึงกระบวนการสกัดโปรตีนจากเปลือกทุเรียน การขึ้นรูปแคปซูลนิ่มด้วยกระบวนการทางเทคโนโลยีอาหาร การเคลือบพรีไบโอติกบนผิวแคปซูล รวมถึงการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความคงตัวของพรีไบโอติกภายใต้สภาวะจำลองของระบบทางเดินอาหาร

ผลการศึกษาพบว่าแคปซูลนิ่มที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม โดยมีค่าความแข็งเฉลี่ย 13.8 ± 1.1 นิวตัน และใช้เวลาในการแตกตัวต่ำกว่า 7 นาที ในด้านองค์ประกอบทางเคมี พบว่าแคปซูลมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 17.5 และมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 11 ซึ่งช่วยยืดอายุการเก็บรักษา คุณสมบัติดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่โดดเด่นของโปรตีนจากเปลือกทุเรียนในการใช้เป็นวัสดุทดแทนเจลาตินจากสัตว์ได้อย่างเหมาะสม

พฤติกรรมการปลดปล่อยของพรีไบโอติกภายใต้สภาวะจำลองของกระเพาะอาหารและลำไส้ พบว่าแคปซูลสามารถคงสภาพและเพิ่มประสิทธิภาพในการนำส่ง Fructooligosaccharides (FOS) ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ การศึกษาในหลอดทดลอง (in vitro) ยังพบว่าแคปซูลนิ่มสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของ *Lactobacillus acidophilus* และ *Bifidobacterium lactis* ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้น แคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนเสริมพรีไบโอติกจึงมีศักยภาพสูงในการเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งช่วยส่งเสริมสุขภาพลำไส้ และสะท้อนถึงแนวทางการพัฒนานวัตกรรมอาหารที่ยั่งยืน

คำสำคัญ: แคปซูลนิ่ม / โปรตีนเปลือกทุเรียน / พรีไบโอติก / ฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ / ความยั่งยืน

Soft capsules from durian peel protein enhanced with prebiotics

Natpapat Sae-lee, Nattakrita Manthong, Chanothai Limsuphakon, Suthee Junglok*, and Rusnanee Seeyong

Betong Wiraratprasan School, 19 Ruamwit Road, Betong Subdistrict, Betong District, Yala Province, Thailand
**Corresponding author Email: gaschem4159@kbyala.ac.th; be417450@gmail.com*

Abstract

This project aims to develop soft capsules derived from protein extracted from durian peel, an agricultural waste material with high potential for value addition. The capsules are supplemented with prebiotics to create a dietary supplement that promotes gut health. The study encompasses protein extraction from durian peel, soft capsule formation using food technology processes, prebiotic coating on the capsule surface, and evaluation of physical, chemical, and microbiological properties. In addition, the stability of prebiotics under simulated gastrointestinal conditions was investigated.

The results demonstrated that the developed soft capsules possessed appropriate physical properties, with an average hardness of 13.8 ± 1.1 N and a disintegration time of less than 7 minutes. In terms of chemical composition, the capsules contained an average protein content of 17.5% and moisture content below 11%, which contributes to extended shelf life. These findings indicate the strong potential of durian peel-derived protein as a suitable alternative to animal-based gelatin.

The release behavior of prebiotics under simulated gastric and intestinal conditions showed that the capsules effectively preserved and enhanced the delivery of FOS (Fructooligosaccharides). Furthermore, in vitro studies revealed that the soft capsules significantly promoted the growth of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium lactis* ($p < 0.05$). Therefore, soft capsules made from durian peel protein enriched with prebiotics demonstrate strong potential as an environmentally friendly dietary supplement that supports gut health and reflects an innovative approach to sustainable food development.

Keywords: Soft capsule / Durian peel protein / Prebiotic supplementation / Fructooligosaccharides / Sustainable innovation

1. บทนำ

ปัจจุบัน "เปลือกทุเรียน" จัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีศักยภาพและมีปริมาณมหาศาลในประเทศไทย โดยทุเรียน 1 ผล มีสัดส่วนที่เป็นเปลือกประมาณร้อยละ 58.56 ของน้ำหนักทั้งหมด ส่งผลให้ในแต่ละฤดูกาลเก็บเกี่ยวมีปริมาณเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งสะสมมากกว่า 146,467.34 ตัน [1] ซึ่งหากไม่ได้รับการจัดการที่เหมาะสมจะสร้างภาระต่อสิ่งแวดล้อม

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยหลายฉบับระบุว่าเปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบของโปรตีนและเส้นใยที่มีคุณสมบัติเด่นในการเกิดเจลและสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มชีวภาพ (Biopolymer film) ได้ดีใกล้เคียงกับเจลาตินจากสัตว์ ทำให้สามารถสกัดและแปรรูปเป็นวัสดุทดแทนเจลาตินได้โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์อาหารและวัสดุศาสตร์ [6], [7], [8] ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งและสนับสนุนแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy)

ในอุตสาหกรรมยาและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ประเทศไทยมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ในรูปแบบ "แคปซูลนิ่ม" ซึ่งได้รับความนิยมสูงเนื่องจากรับประทานง่าย ดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดี และสามารถบรรจุสารในรูปของเหลวได้อย่างมีประสิทธิภาพ [4], [5]

ทว่าในปัจจุบัน แคปซูลนิ่มส่วนใหญ่มักผลิตจากเจลาตินที่ได้จากสัตว์ ทำให้เกิดข้อจำกัดสำหรับผู้บริโภคบางกลุ่ม เช่น ผู้ที่รับประทานอาหารตามหลักศาสนา (ฮาลาลหรือมังสวิรัติ) ผู้ที่มีภาวะภูมิแพ้เจลาตินจากสัตว์ หรือกลุ่มผู้บริโภคที่เลือกวิถี Plant-based ซึ่งเป็นเทรนด์สุขภาพและสิ่งแวดล้อมที่กำลังเติบโตอย่างรวดเร็ว [9], [11] ปัญหาเหล่านี้ทำให้ผู้บริโภคบางกลุ่มยังคงขาดทางเลือกที่สอดคล้องกับความต้องการและหลักปฏิบัติของตนอย่างครอบคลุม

ด้วยเหตุนี้ คณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดในการพัฒนาแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนเสริมด้วยพรีไบโอติก โดยมุ่งเน้นการใช้วัสดุจากพืชเพื่อตอบโจทย์ผู้บริโภคที่ต้องการความปลอดภัยตามหลักศาสนาและสอดคล้องกับกระแสการใส่ใจสิ่งแวดล้อม การวิจัยนี้บูรณาการความรู้ตั้งแต่การสกัดโปรตีนพืช [10] การสร้างพอลิเมอร์ชีวภาพ [12] ไปจนถึงเทคนิคการขึ้นรูปแคปซูลด้วยเทคโนโลยีอาหาร [4], [5]

นอกจากนี้ การเสริมพรีไบโอติกในแคปซูลยังช่วยเพิ่มประโยชน์ด้านสุขภาพลำไส้และระบบภูมิคุ้มกัน [9], [11] ตอบรับเทรนด์สุขภาพแบบองค์รวม นวัตกรรมนี้จึงไม่เพียงแต่เป็นการเพิ่มทางเลือกที่ปลอดภัยให้กับกลุ่มผู้บริโภคเฉพาะทางเท่านั้น แต่ยังเป็นการเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้เป็นนวัตกรรมที่มีมูลค่าสูงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและประเมินศักยภาพของโปรตีนจากเปลือกทุเรียน ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในการนำมาใช้เป็นวัสดุพื้นฐานสำหรับผลิตเปลือกแคปซูลนิ่มทดแทนเจลาตินจากสัตว์
2. เพื่อพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตเปลือกแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียน ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการบรรจุสารอาหาร โดยปราศจากเจลาตินจากสัตว์
3. เพื่อส่งเสริมการใช้ทรัพยากรท้องถิ่นและเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียทางการเกษตรโดยเฉพาะเปลือกทุเรียน

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาแคปซูลนิ่มจากโปรตีนที่สกัดจากเปลือกทุเรียน โดยมุ่งเน้นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่า และเสริมด้วยสารพรีไบโอติกเพื่อส่งเสริมสุขภาพระบบทางเดินอาหาร ซึ่งกำหนดขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาการสกัดโปรตีนจากเปลือกทุเรียน โดยประยุกต์ใช้วิธีการสกัดด้วยสารละลายด่าง (0.1 M NaOH) และตกตะกอนด้วยกรด (0.5 M HCl) เพื่อหาจุดไอโซอิเล็กทริกที่เหมาะสม (pH 2–3) และวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของโปรตีนที่ได้ [10]

2. ศึกษาการขึ้นรูปแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียน และประเมินลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ ความแข็ง ความยืดหยุ่น และอัตราการละลายในสภาวะจำลอง โดยอ้างอิงแนวทางการพัฒนาวัสดุชีวภาพจากโปรตีนพืชและโครงสร้างฟิล์มชีวภาพ [6], [7], [12]
3. ศึกษาการเสริมสารพรีไบโอติกฟรุกโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (FOS) ลงในโครงสร้างแคปซูลโปรตีน และประเมินความคงสภาพรวมถึงความสามารถในการปลดปล่อยสารสำคัญภายใต้สภาวะจำลองระบบทางเดินอาหาร [9], [11]
4. วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของแคปซูลนิ่ม ได้แก่ การหาปริมาณโปรตีน และการหาค่าความชื้น ตามวิธีมาตรฐาน AOAC เพื่อควบคุมคุณภาพและความคงตัวของผลิตภัณฑ์
5. ประเมินศักยภาพในการประยุกต์ใช้ โดยวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารทางเลือกในกลุ่ม Plant-based และการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร [4], [5], [8]

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยศึกษาข้อมูลจากเอกสาร งานวิจัย และบทความวิชาการที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียน จากนั้นดำเนินการทดลองโดยเตรียมวัตถุดิบ สกัดโปรตีน พัฒนาสูตรและขึ้นรูปแคปซูล เสริมสารพรีไบโอติก FOS ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี ความคงสภาพในสภาวะจำลองระบบทางเดินอาหาร และการส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์โปรไบโอติก เพื่อนำผลที่ได้มาประเมินศักยภาพของผลิตภัณฑ์

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลจากการทดลองจะแสดงในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD) จากการทดลองอย่างน้อย 3 ซ้ำต่อกลุ่มตัวอย่าง และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมด้วยสถิติ One-way ANOVA หากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี Tukey's Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p < 0.05$) พร้อมนำเสนอผลในรูปแบบตารางและกราฟ

4.3 วิธีการทดลอง

วิธีดำเนินการงาน และการทดสอบของโครงงานนวัตกรรม

1. วิธีการสกัดเปลือกทุเรียน

1.1 การเตรียมวัตถุดิบ
- ล้างเปลือกทุเรียนให้สะอาด → หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ → นำไปอบแห้งที่ 50°C 24 ชม.
- บดเปลือกทุเรียนที่อบแห้งให้เป็นผงละเอียด
- ร่อนผงเปลือกทุเรียนผ่านตะแกรง 80 mesh

1.2 การสกัดด้วยสารละลายด่าง
- **อัตราส่วนผสม:** ผงเปลือกทุเรียน : 0.1 M NaOH (pH 9–10) = 1 : 20 (w/v)
- กวนที่อุณหภูมิ 40–50°C นาน 1–2 ชม.
- กรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นปั่นเหวี่ยงที่ 4,000 rpm นาน 15 นาที
- เก็บเฉพาะส่วนสารละลายใส (ของเหลวใสด้านบน)

1.3 การปรับค่า pH ด้วยกรด HCl
- ปรับ pH ของสารละลายใสด้วย HCl ความเข้มข้น 0.5 M ทีละน้อย ขณะกวน
- ตรวจวัดค่า pH อย่างต่อเนื่อง จนได้ค่า pH ที่เหมาะสม 2–3
- ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้โปรตีนเสถียรและตกตะกอน

1.4 การเก็บตะกอน
- ปั่นเหวี่ยงที่ 4,000 rpm นาน 15 นาที
- เทส่วนใสทิ้ง ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง
- นำตะกอนที่ได้ไปใช้ในการเตรียมสาร

2. การเตรียมสารประกอบและขึ้นรูปแคปซูลนิ่ม

2.1 เตรียมสารละลายอัลจิเนต (จากขั้นตอนการสกัด)

2.2 เติม Sodium Alginate 1–2% (w/v)

2.3 เติมพรีไบโอติกในสารละลายในปริมาณ 1–5% (w/v)

2.4 คนให้เข้ากันจนเป็นเนื้อเดียว และกรองสารละลายเพื่อกำจัดฟองอากาศ/สิ่งเจือปน

2.5 ให้ความร้อนแบบอ่อน (40–60°C) เพื่อเพิ่มความหนืด

2.6 ขึ้นรูปแคปซูลนิ่มด้วยวิธีหยดในสารละลายแคลเซียม (Dipping method)

2.7 ทำให้แห้งในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

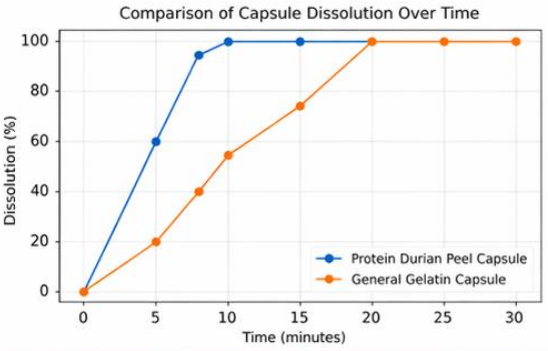
3. การแสดงผลการทดลอง (รูปแบบตารางหรือกราฟ)

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียน

คุณสมบัติ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความแข็ง (นิวตัน)	13.8	± 1.1
ระยะเวลาการละลาย (นาที)	6.5	± 0.5
ปริมาณโปรตีน (%)	17.5	± 0.8
ความชื้น (%)	10.8	±0.8

หมายเหตุ: แสดงค่าเป็น ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (n ≥ 3)

3.2 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การละลายของแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนและแคปซูลเจลาตินทั่วไปในช่วงเวลาต่าง ๆ



4. สรุปผลการศึกษา

สรุปคุณสมบัติและประสิทธิภาพของตัวอย่างแคปซูลนิ่มจากเปลือกทุเรียน เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน และอภิปรายผล

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษาและทดลองการพัฒนาแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนเสริมสารพรีไบโอติก FOS โดยวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และความสามารถในการส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์โปรไบโอติก พบว่าแคปซูลนิ่มที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร โดยสามารถคงรูปได้ดี มีความแข็งแรงเหมาะสม และละลายได้ภายในระยะเวลาที่เหมาะสมในสภาวะจำลองระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้ยังมีปริมาณโปรตีนอยู่ในระดับที่เหมาะสม และสามารถคงสภาพของสารพรีไบโอติกได้ ซึ่งสะท้อนศักยภาพของการนำโปรตีนจากเปลือกทุเรียนมาใช้เป็นวัสดุพื้นฐานทดแทนเจลาตินจากสัตว์

5.1 ผลการศึกษารูปแบบผลงานวิชาการ

ผลการศึกษาพบว่าแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนมีลักษณะใสถึงกึ่งโปร่งแสง มีความยืดหยุ่น และไม่แตกหักง่ายเมื่อได้รับแรงกด โดยมีค่าความแข็งเฉลี่ยเท่ากับ 13.8 ± 1.1 นิวตัน และสามารถละลายในสภาวะจำลองของระบบทางเดินอาหารภายในเวลา 6.5 ± 0.5 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในรูปแบบแคปซูลนิ่ม (ตารางที่ 1)

ในด้านองค์ประกอบทางเคมี พบว่าแคปซูลนิ่มมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ย 17.5 ± 0.8% และมีความชื้นเฉลี่ย 10.8 ± 0.6% ซึ่งระดับความชื้นดังกล่าวอาจช่วยลดโอกาสการเสื่อมสภาพและยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้าที่ระบุว่าวัสดุชีวภาพจากเปลือกทุเรียนสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาโครงสร้างฟิล์มหรือแคปซูลได้ [6], [7], [8]

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียน

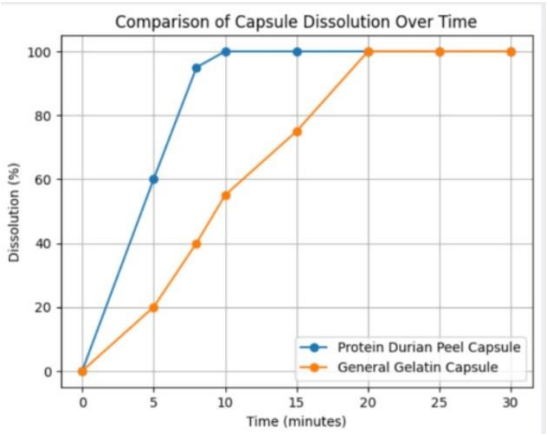
คุณสมบัติ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความแข็ง (นิวตัน)	13.8	± 1.1
ระยะเวลาการละลาย (นาที)	6.5	± 0.5
ปริมาณโปรตีน (%)	17.5	± 0.8
ความชื้น (%)	10.8	±0.6

5.2 ผลการศึกษาข้อมูลผลงานวิชาการในฐานข้อมูล Scopus

จากการเปรียบเทียบการละลายของแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนกับแคปซูลเจลาตินทั่วไปในสภาวะจำลองระบบทางเดินอาหาร พบว่าแคปซูลจากโปรตีนเปลือกทุเรียนมีแนวโน้มละลายได้รวดเร็วกว่ากลุ่มควบคุม โดยเริ่มละลายอย่างชัดเจนในนาทีที่ 5 และละลายเกือบสมบูรณ์ในนาทีที่ 10 ขณะที่แคปซูลเจลาตินใช้เวลานานกว่าจึงละลายสมบูรณ์ (รูปที่ 1)

เนื่องจากเจลาตินจากสัตว์มีโครงสร้างแบบเกลียวสามสาย (triple helix) ที่หนาแน่นและมีพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงกว่า ในขณะที่โปรตีนจากเปลือกทุเรียนที่นำมาขึ้นรูปด้วยโซเดียมอัลจิเนตมีโครงสร้างเครือข่ายที่ยืดหยุ่นและซับซ้อนน้อยกว่า ทำให้โมเลกุลของน้ำในสภาวะจำลองกรดในกระเพาะอาหารแทรกซึมและสลายพันธะได้ง่ายกว่า จึงส่งผลให้อัตราการละลายสูงกว่าเจลาติน [4], [5], [11], [12]

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ One-way ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($p < 0.05$) พบว่าความแตกต่างของอัตราการละลายระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแคปซูลจากโปรตีนเปลือกทุเรียนมีศักยภาพในการปลดปล่อยสารสำคัญได้รวดเร็ว [9] อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาความคงตัวและประสิทธิภาพเพิ่มเติมในระดับที่สูงขึ้นต่อไป



รูปที่ 1 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การละลายของแคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนและแคปซูลเจลาตินทั่วไปในช่วงเวลาต่าง ๆ

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า สมมติฐานของโครงงานได้รับการยืนยันว่าเป็นจริง โดยสามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังนี้

1. ผลการทดลองยืนยันว่า โปรตีนที่สกัดจากเปลือกทุเรียน มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัสดุพื้นฐานหลักเพื่อพัฒนาแคปซูลนิ่ม (Soft Capsules) แทนการใช้เจลาตินจากสัตว์ได้ โดยแคปซูลที่ได้มีลักษณะคงรูป ผิวสัมผัสสม่ำเสมอ และมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการบรรจุผลิตภัณฑ์

2. แคปซูลนิ่มจากโปรตีนเปลือกทุเรียนมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดี ทั้งในด้านความยืดหยุ่นและความทนทานต่อแรงกด นอกจากนี้ยังสามารถละลายและปลดปล่อยสารสำคัญได้ในระยะเวลาที่เหมาะสมเมื่อทดสอบในสภาวะจำลองระบบทางเดินอาหาร

3. แคปซูลนิ่มจากโปรตีนสามารถทำหน้าที่เป็นวัสดุห่อหุ้ม (Encapsulation material) สำหรับสารพรีไบโอติกฟรุคโตโอลิโกแซคคาไรด์ (FOS) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลการวิเคราะห์พบว่าสารพรีไบโอติกยังคงสภาพและคุณสมบัติทางเคมีภายหลังกระบวนการขึ้นรูปแคปซูล

4. แคปซูลจากโปรตีนที่พัฒนาขึ้นมีปริมาณความชื้นอยู่ในระดับที่เหมาะสมตามมาตรฐาน ซึ่งส่งผลดีต่อการรักษาความคงตัวของโครงสร้างและลดความเสี่ยงในการเสื่อมสภาพระหว่างการเก็บรักษา

5. นี้พิสูจน์ให้เห็นว่า โปรตีนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (เปลือกทุเรียน) สามารถนำมาพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์อาหารเชิงฟังก์ชันได้จริง ซึ่งนอกจากจะช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) แล้ว ยังเป็นทางเลือกที่สำคัญสำหรับผู้บริโภคกลุ่ม Plant-based และผู้ที่ต้องการหลีกเลี่ยงผลิตภัณฑ์จากสัตว์

เอกสารอ้างอิง

[1] สยามรัฐ. (2567, 9 กันยายน). *ชุมพรประกาศ “วัน Kick Off สร้างมูลค่าเปลือกทุเรียนด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรม”*. https://siamrath.co.th/n/564523

[2] กรมทรัพย์สินทางปัญญา. (ปีที่จดทะเบียน). *สิทธิบัตรไทยเลขที่ 123456: กระบวนการผลิตแคปซูลจากเส้นใยธรรมชาติ*.

[3] United States Patent and Trademark Office. (ปีที่จดทะเบียน). *U.S. Patent No. US9876543B2: Capsule composition using plant-based polysaccharides for probiotic delivery*.

[4] Gandhi, A., Patel, P., & Others. (2024). Plant protein-based soft capsules: Formulation and functional properties. *Food Hydrocolloids, 150*, Article 108123. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108123

[5] Gandhi, A. P., & Patel, P. (2024). Plant protein-based soft capsules: Formulation and functional properties. *Journal of Functional Foods, 115*, Article 105633. https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.105633

[6] Hosseini-Parvar, S. H., Matia-Merino, L., & Golding, M. (2015). Extraction and characterization of protein from durian (*Durio zibethinus*) rind. *Food Hydrocolloids, 51*, 307–313. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.05.029

[7] Kai, S. F., Tan, L. H., & Lim, S. J. (2023). Techno-functional properties of protein extracts derived from two local durian cultivars (D24 and D197). *Food Hydrocolloids, 137*, Article 108000. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108000

[8] Lubis, Z., Yusof, N. L., Salihon, J., & Others. (2018). Durian (*Durio zibethinus*) waste: A promising resource for food and non-food applications. *Journal of Food Science and Technology, 55*(1), 1–10. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2914-0

[9] Edible coatings and films with incorporation of prebiotics—A review. (2021). *Trends in Food Science & Technology, 110*, 35–45. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.084

[10] Tran, L. T., Nguyen, M. T., & Others. (2024). Optimized extraction of protein from durian peel using alkaline and enzymatic hydrolysis. *Journal of Food Engineering, 345*, Article 112519. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.112519

[11] Wang, L., et al. (2015). Development of probiotic microcapsules using natural polysaccharides: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 55*(7), 1141–1152. https://doi.org/10.1080/10408398.2012.675601

[12] Yin, L., et al. (2023). Development of protein-based edible films for encapsulation of probiotics. *Food Packaging and Shelf Life, 37*, Article 101039. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101039

แผ่นฟิล์มชีวภาพจากวัสดุธรรมชาติเพื่อยืดอายุผลไม้

ศุภกานต์ พิภูพัชญ์ชา, ชัญญานุช คงมั่น, ตัสบีลา เจ๊ะเด๊ะ, จิรกานต์ วิทยปรีชา, และ สุธี จุ้งลก*

โรงเรียนเบตง วีระราษฎร์ประสาน 19 ถนนรวมวิทย์ ตำบลเบตง อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปัญหาการสูญเสียอาหารหลังการเก็บเกี่ยว โดยเฉพาะผักและผลไม้ ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม จากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา ฟิล์มชีวภาพเชิงประกอบรูปแบบใหม่ จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ฝอยข้าวโพดและเปลือกกระเทียม เพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศและสร้างมูลค่าเพิ่มตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

ผลการทดลองพบว่า ฟิล์มชีวภาพที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติทางกายภาพโดดเด่น สามารถลดการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันการสูญเสียความชื้นและการแลกเปลี่ยนออกซิเจนที่ดี ในด้านการถนอมอาหาร พบว่าผลไม้ที่เคลือบฟิล์มสามารถรักษาคุณภาพผิวและความแน่นของเนื้อได้นานกว่ากลุ่มควบคุมอย่างชัดเจน โดยกลุ่มที่ไม่เคลือบจะเริ่มเสื่อมสภาพภายใน 2–3 วัน

แผ่นฟิล์มนี้ทำหน้าที่เป็นเยื่อกึ่งซึมผ่าน (Semi-permeable Membrane) ที่ช่วยชะลอกระบวนการหายใจและการสุก นอกจากนี้ สารสกัดธรรมชาติจากฝอยข้าวโพดและเปลือกกระเทียมยังมีฤทธิ์ต้านจุลชีพ ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและลดการเกิดรอยช้ำบนผิวผลไม้ งานวิจัยนี้จึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

คำสำคัญ: ฟิล์มชีวภาพ / ยืดอายุผลไม้ / วัสดุธรรมชาติ / วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร / สารต้านจุลชีพธรรมชาติ

Biofilm from natural materials to extend the shelf life of fruits

Suphakarn Phiphupatcha, Chanyanut Kongman, Tusbeela Cheadea, Jirakarn wityapreecha, and Suthee Junglok*

Betong Wiraratprasan School, 19 Ruamwit Road , Betong District, Betong District, Yala Province, Thailand
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

Abstract

Food loss during the post-harvest stage, particularly in fruits and vegetables, poses significant economic challenges and environmental concerns due to greenhouse gas emissions. This research aims to develop an innovative bio-composite film derived from agricultural waste—corn silk and garlic skin—to extend the shelf life of tomatoes. This approach promotes value-added waste utilization aligned with the Circular Economy and Sustainable Development Goals (SDGs).

The experimental results demonstrated that the developed bio-film possesses superior physical properties, low water vapor and gas permeability. These characteristics enable the film to function as an effective barrier against moisture loss and oxygen exchange. In terms of food preservation, film-coated bananas maintained significantly better surface quality and firmness compared to the control group, which began deteriorating within 2–3 days.

The film acts as a semi-permeable membrane that slows down respiration and the ripening process. Furthermore, natural extracts from corn silk and garlic skin exhibit antimicrobial properties, effectively inhibiting fungal growth and reducing bruising on the fruit surface. This research offers an efficient, consumer-safe, and biodegradable alternative for resource management in the agricultural sector.

Keywords: Biofilm / Extend fruit shelf life / Natural materials / Agricultural residues / Natural antimicrobial agents

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่ยังคงพึ่งพาพลาสติกสังเคราะห์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ แม้ว่าพลาสติกเหล่านี้จะมีประสิทธิภาพในการรักษาความสดใหม่ของผลไม้ แต่ก็ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมร้ายแรง เนื่องจากใช้เวลาหลายร้อยปีในการย่อยสลาย ส่งผลให้เกิดการขยะพลาสติกในธรรมชาติและมหาสมุทร [1] นอกจากนี้ การเผาไหม้พลาสติก ยังปล่อยสารเคมีอันตรายสู่บรรยากาศ ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์ [2]

ผลไม้เป็นแหล่งอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ทั้งวิตามิน เกลือแร่ และสารต้านอนุมูลอิสระที่จำเป็นต่อร่างกาย อย่างไรก็ตาม ผลไม้ส่วนใหญ่จัดเป็นผลผลิตที่เน่าเสียง่ายและมีอายุการเก็บรักษาสั้น โดยมักเกิดการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วภายหลังการเก็บเกี่ยว ทั้งจากการสูญเสียความชื้น การหายใจของพืช และการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ในระหว่างกระบวนการจัดเก็บและการขนส่ง [3] ซึ่งปัญหาการเน่าเสียดังกล่าวไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อรายได้ของเกษตรกร แต่ยังก่อให้เกิดขยะอาหาร (Food Waste) ที่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและระบบเศรษฐกิจในภาพรวม [4]

โครงงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาฟิล์มชีวภาพที่ผสมผสานวัสดุธรรมชาติหลายชนิดเพื่อให้ได้สมบัติที่เหมาะสมกับการเก็บรักษาผลไม้ มีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน และสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติอย่างสมบูรณ์ [5] ผลการวิจัยที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกร ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมอาหาร และสังคมโดยรวมในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [6]

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสกัดและเตรียมวัสดุธรรมชาติ โดยเฉพาะฝอยข้าวโพด จากนั้นนำมาผสมกับเจลาตินเพื่อผลิตฟิล์มชีวภาพที่ย่อยสลายได้สำหรับการเคลือบผลไม้ [7]
2. เพื่อประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฟิล์มชีวภาพที่พัฒนาขึ้นในการยืดอายุการเก็บรักษาของมะเขือเทศ (*Solanum lycopersicum* L.) โดยพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สี กลิ่น และเนื้อสัมผัส [8]
3. เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของผลไม้ที่เคลือบด้วยฟิล์มชีวภาพกับผลไม้ที่ไม่ได้เคลือบ ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่กำหนด

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. โครงงานนี้ศึกษาการผลิตแผ่นฟิล์มชีวภาพจากวัสดุธรรมชาติที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ฝอยข้าวโพด และ เปลือกกระเทียม โดยนำมาสกัดและผสมร่วมกับสารช่วยขึ้นรูปฟิล์ม เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ
2. การทดลองดำเนินการในระยะเวลาที่กำหนดภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยไม่ได้ศึกษาผลกระทบในระดับอุตสาหกรรมหรือการเก็บรักษาระยะยาว
3. โครงงานนี้มุ่งเน้นการใช้วัสดุธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ลดการใช้พลาสติกสังเคราะห์ และสนับสนุนแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

4. วิธีการศึกษา

4.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1. ฝอยข้าวโพด
2. เปลือกกระเทียม
3. เจลาติน
4. ถาดรอง
5. กรดซิตริก
6. บีกเกอร์
7. แท่งแก้วคนสาร
8. เครื่องชั่งดิจิทัล

4.2 การเตรียมฝอยข้าวโพด

ทำการล้างฝอยข้าวโพดให้สะอาดด้วยน้ำสะอาด เพื่อลดสิ่งสกปรกและสิ่งปนเปื้อน จากนั้นนำไปอบให้แห้งเพื่อกำจัดความชื้นที่อาจส่งผลต่อคุณภาพของสารสกัด เมื่อแห้งสนิทแล้วจึงนำมาบดให้เป็นผงละเอียด เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส ช่วยให้การสกัดสารสำคัญมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

4.3 กระบวนการฟอกสีฝอยข้าวโพด

นำฝอยข้าวโพดที่บดแล้วมาแช่ในสารละลายกรดซิตริกผสมน้ำสะอาดในอัตราส่วน 1:1 เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อช่วยปรับสีของฝอยข้าวโพดให้มีความสม่ำเสมอและมีสีอ่อนลง (สีเหลืองนวล) อีกทั้งยังช่วยลดสารเจือปนบางชนิดที่อาจมีผลต่อคุณภาพของฟิล์มชีวภาพ หลังจากนั้นนำไปล้างและเตรียมสำหรับขั้นตอนถัดไป

4.4 การเตรียมเปลือกกระเทียม

นำเปลือกกระเทียมมาล้างให้สะอาดเพื่อลดสิ่งปนเปื้อน จากนั้นนำไปอบให้แห้งเพื่อลดความชื้น และทำให้สะดวกต่อการสกัดสารสำคัญ หลังจากอบแห้งแล้วทำการคั้นหรือสกัดน้ำจากเปลือกกระเทียม เพื่อนำสารออกฤทธิ์ เช่น สารต้านจุลชีพมาใช้เป็นส่วนผสมในฟิล์มชีวภาพ

4.5 การขึ้นรูปแผ่นฟิล์ม

การขึ้นรูปแผ่นฟิล์มในโครงงานนี้โดยมีขั้นตอนการดำเนินในรูปที่ 1 ซึ่งแบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม ตามส่วนผสมของสารสกัดจากธรรมชาติ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 (กลุ่มควบคุม) : กลุ่มตัวอย่างที่ไม่ได้รับการเคลือบผิวฟิล์มหรือไม่ผสมสารสกัด

กลุ่มที่ 2 (กลุ่มทดลอง) : ฟิล์มที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากฝอยข้าวโพด

กลุ่มที่ 3 (กลุ่มทดลอง): ฟิล์มที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากฝอยข้าวโพดร่วมกับเปลือกกระเทียม

ขั้นตอนที่ 1 การละลายเจลาติน : นำเจลาตินมาละลายในน้ำโดยให้ความร้อนและคนอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เจลาตินละลายจนได้สารละลายที่มีลักษณะใสและเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของฟิล์มชีวภาพ

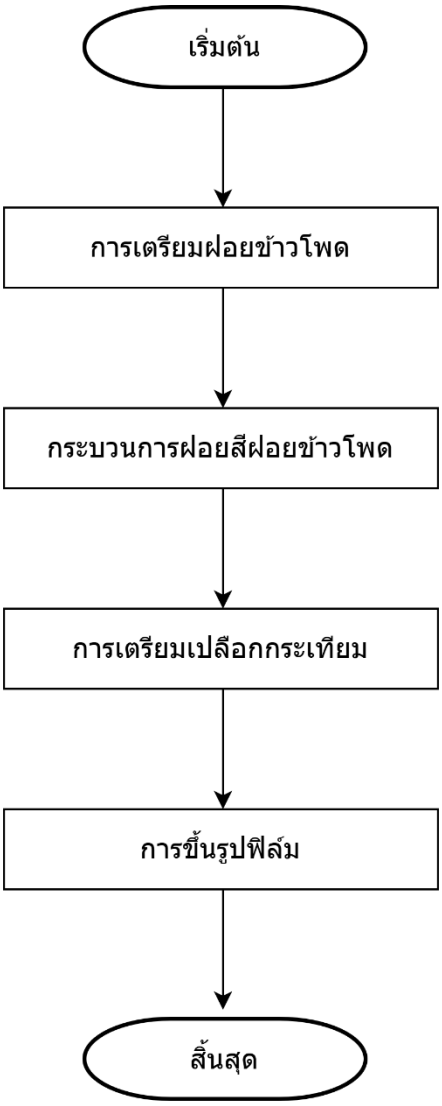
ขั้นตอนที่ 2 การผสมสาร : เติมฝอยข้าวโพดที่เตรียมไว้ลงในสารละลายเจลาติน พร้อมทั้งเติมน้ำสกัดจากเปลือกกระเทียม จากนั้นคนให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้สาระสำคัญกระจายตัวทั่วทั้งระบบ

ขั้นตอนที่ 3 การทำให้เย็นและกำจัดฟองอากาศ : หลังจากผสมสารเสร็จแล้ว ปล่อยให้สารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง พร้อมทั้งตักฟองอากาศที่เกิดขึ้นออก เพื่อป้องกันการเกิดรูพรุนในแผ่นฟิล์ม ซึ่งอาจส่งผลต่อความแข็งแรงและคุณสมบัติของฟิล์ม

ขั้นตอนที่ 4 การเทขึ้นรูปฟิล์ม : นำสารละลายที่เตรียมไว้เทลงบนภาชนะหรือถาดเรียบ เพื่อให้ได้ความหนาของฟิล์มที่สม่ำเสมอ

ขั้นตอนที่ 5 การทำให้ฟิล์มแห้งและแข็งตัว : ปล่อยให้ฟิล์มแห้งและเซตตัวที่อุณหภูมิห้องในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก จนกระทั่งฟิล์มแข็งตัวสมบูรณ์

ขั้นตอนที่ 6 การลอกแผ่นฟิล์ม : เมื่อฟิล์มแห้งสนิทแล้ว ทำการลอกแผ่นฟิล์มออกจากถาดอย่างระมัดระวัง เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มชีวภาพที่พร้อมนำไปใช้งาน



รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากฝอยข้าวโพดและเปลือกกระเทียม

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 พบว่า ฟิล์มชีวภาพจากวัสดุธรรมชาติสามารถช่วยชะลอการเสื่อมสภาพของผลไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เคลือบฟิล์ม พบว่ากลุ่มที่ไม่เคลือบฟิล์มเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพตั้งแต่วันที่ 3 เช่น ผิวคล้ำและเนื้อสัมผัสนิ่มลงอย่างรวดเร็ว แสดงถึงการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่กลุ่มที่เคลือบฟิล์มจากฝอยข้าวโพดสามารถคงความสดของผลไม้ได้นานกว่า โดยเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงช้ากว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฟิล์มชีวภาพช่วยลดการสูญเสียน้ำและชะลอกระบวนการสุกของผลไม้ สำหรับกลุ่มที่เคลือบฟิล์มจากฝอยข้าวโพดร่วมกับเปลือกกระเทียมให้ผลลัพธ์ดีที่สุด โดยสามารถรักษาความสดและความแน่นของผลไม้ได้นานที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารสำคัญในเปลือกกระเทียมที่มีคุณสมบัติต้านจุลชีพ ช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อราและแบคทีเรีย ส่งผลให้การเน่าเสียเกิดขึ้นช้าลง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ฟิล์มชีวภาพที่พัฒนาขึ้น โดยเฉพาะสูตรที่มีส่วนผสมของฝอยข้าวโพดและเปลือกกระเทียมมีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่เคลือบและสูตรอื่น ๆ

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยืดอายุผลไม้ของแผ่นฟิล์มชีวภาพในแต่ละกลุ่มการทดลอง

กลุ่มการทดลอง	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5
กลุ่มควบคุม (ไม่เคลือบฟิล์ม)	สดใหม่ ผิวตึง	สดใหม่**เล็กน้อย**	เริ่มคล้ำ ผิวนิ่ม	มีสีคล้ำชัดเจน นิ่มมาก	เสื่อมสภาพ
กลุ่มทดลอง (เคลือบฝอยข้าวโพด)	สดใหม่ ผิวตึง	สดใหม่	เริ่มเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	สีคล้ำเล็กน้อย เริ่มนิ่ม	ยังพอคงสภาพและคุณภาพลดลง
กลุ่มทดลอง เคลือบฝอยข้าวโพด+ เปลือกกระเทียม)	สดใหม่ ผิวตึง	สดใหม่	สดใหม่	สีเริ่มคล้ำ ยังไม่นิ่ม	คงรูปได้ดี ผิวตึง

6. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาฟิล์มชีวภาพเชิงประกอบรูปแบบใหม่ โดยผสาน ฝอยข้าวโพดและเปลือกกระเทียมเข้าด้วยกัน วัตถุประสงค์หลักคือการสร้างวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืน ซึ่งสามารถยืดอายุการเก็บรักษาและคงคุณภาพของผลไม้หลังการเก็บเกี่ยวได้

ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาพบว่า ฟิล์มชีวภาพเชิงประกอบจากฝอยข้าวโพดและเปลือกกระเทียมสามารถชะลอการเสื่อมสภาพของผลผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (Control) ที่ไม่ได้เคลือบฟิล์มซึ่งเริ่มปรากฏรอยช้ำและเนื้อสัมผัสนิ่มเละภายใน 2–3 วัน

ในด้านลักษณะทางกายภาพ ผลไม้ที่ผ่านการเคลือบด้วยฟิล์มชีวภาพ ยังคงความแน่นเนื้อ (Firmness) และมีลักษณะผิวที่เต่งตึง โดยไม่ปรากฏอาการเหี่ยวแห้งจากการสูญเสียน้ำ ชั้นฟิล์มทำหน้าที่เป็นวัสดุเคลือบผิวที่สม่ำเสมอ ช่วยลดการคายน้ำและชะลอการเปลี่ยนสีของเปลือกผลไม้ให้ช้าลง นอกจากนี้ ฤทธิ์ต้านจุลชีพจากสารสกัดธรรมชาติในฟิล์มยังช่วยลดการอุบัติของจุดกระสีน้ำตาลและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราบนผิวผลผลิต ส่งผลให้มะเขือเทศที่ได้รับการทดสอบยังคงคุณภาพทางกายภาพ ที่เหมาะสมต่อการบริโภคได้ยาวนานกว่ากลุ่มควบคุมอย่างชัดเจน

ในด้านการถนอมผลไม้ พบว่า ผลไม้ที่เคลือบด้วยฟิล์มชีวภาพจากฝอยข้าวโพดและเปลือกกระเทียมมีประสิทธิภาพในการรักษาคุณภาพได้อย่างโดดเด่น เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เคลือบ ซึ่งเริ่มเสื่อมสภาพภายใน 2–3 วัน ผลไม้ที่เคลือบฟิล์มยังคงสภาพผิวและความแน่นของเนื้อผลไม้ได้นานกว่า ฟิล์มชีวภาพทำหน้าที่เป็น เยื่อกึ่งซึมผ่าน (semi-permeable membrane) ที่ช่วยชะลอกระบวนการสุกของผลไม้ นอกจากนี้ สารสกัดจากฝอยข้าวโพดยังมีคุณสมบัติต้านจุลชีพ ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและลดการเกิดรอยช้ำบนผิวผลไม้

โดยสรุป ฟิล์มชีวภาพเชิงประกอบนี้ไม่เพียงแต่มีประสิทธิภาพสูงในการรักษาคุณภาพผลไม้เท่านั้น แต่ยังช่วยแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย เนื่องจากฟิล์มสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้อย่างสมบูรณ์ในระยะเวลาอันสั้นเมื่อฝังในดิน แสดงให้

เห็นถึงศักยภาพในการเป็นทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแทนพลาสติกสังเคราะห์จากปิโตรเลียม งานวิจัยนี้ยังชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฝอยข้าวโพด มาพัฒนาเป็นวัสดุเชิงหน้าที่ที่มีมูลค่าสูงสำหรับอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร

เอกสารอ้างอิง

[1] จิรวัฒน์ ด้วงทอง. (2563). *การศึกษาการย่อยสลายของฟิล์มชีวภาพจากวัตถุดิบธรรมชาติ*. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 28(2), 45–53.

[2] Junaid, M., & Gokce, A. (2024). *Global insights and advances in edible coatings or films toward sustainable food packaging*. Foods, 13(1), 98.

[3] พิชญา ลิ้มสุวรรณ. (2561). *แนวทางการลดการสูญเสียอาหารหลังการเก็บเกี่ยวในประเทศไทย*. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

[4] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2011). Global food losses and food waste: Extent, causes and prevention.

[5] อารยา พันธ์แทน. (2563). *การเคลือบผิวผลไม้ด้วยสารจากธรรมชาติเพื่อลดการสูญเสียหลังเก็บเกี่ยว*. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, 9(2), 54–60.

[6] รศ.ดร.สมบัติ ชุติมา. (2562). *เศรษฐกิจหมุนเวียนกับการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร*. วารสารนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน, 3(1), 10–17.

[7] Barbosa, J. R., et al. (2021). *An overview: Exploring the potential of fruit and vegetable waste and by-products in developing active and intelligent packaging systems*. Food Packaging and Shelf Life, 30, 100743.

[8] วีรวัฒน์ พิทักษ์ชัยกุล. (2562). การใช้สารเคลือบธรรมชาติในการชะลอการสุกของผลไม้เขตร้อน. วารสารเทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์อาหาร, 27(1), 23–30.

พัฒนาเครื่องดื่มหมักโพรไบโอติกจากเปลือกมังคุดและเฉาก๊วยเบตง เพื่อสุขภาพทางเดินอาหารและลดของเสียเกษตร

เขมจิรา ยาหัวดง, ปวีญากร กรเกษแก้ว, ปิ่นวรา ภูสิทธิอุดมเดช, กรกช จันทร์บุญพิทักษ์, และ สุธี จุ้งลก*

เบตง วีระราษฎร์ประสาน บ้านเลขที่ 19 ถนนรวมวิทย์ ตำบลเบตง อำเภอเบตง จังหวัดยะลา 95110 ประเทศไทย

**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องดื่มโพรไบโอติกจากเปลือกมังคุด ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่อุดมด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ แทนนิน แซนโทน และโพลีฟีนอล ร่วมกับเฉาก๊วยเบตง (*Mesona chinensis*) พืชท้องถิ่นของอำเภอเบตง จังหวัดยะลา ซึ่งมีใยอาหารที่อาจสนับสนุนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การดำเนินการวิจัยเป็นการทดลอง เชิงพัฒนา โดยเตรียมสารสกัดจากเปลือกมังคุดผสมกับเฉาก๊วยเบตงในอัตราส่วน 1:5 (เปลือกมังคุดต่อน้ำ) และเฉาก๊วยร้อยละ 10 โดยปริมาตร และหมักด้วยหัวเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก (lactic acid bacteria; LAB) ชนิดผงสำเร็จรูป เป็นระยะเวลา 14 วัน ภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศ (Anaerobic) ณ อุณหภูมิห้อง

ผลการศึกษาพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ลดลงจาก 5.1 เป็น 3.8 หลังสิ้นสุดการหมัก ซึ่งสะท้อนถึงการผลิตกรดอินทรีย์จากกิจกรรมทางเมแทบอลิซึมของแบคทีเรียกรดแลคติก ในขณะเดียวกันจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นจาก 6.0 เป็น 8.0 log CFU/mL (จาก 10^6 เป็น 10^8 CFU/mL) แสดงถึงการเจริญเติบโตของแบคทีเรียภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ทั้งนี้ระยะเวลาการหมักที่นานถึง 14 วัน เกิดจากสารแทนนินในเปลือกมังคุดที่มีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ในระยะแรก อย่างไรก็ตาม จุลินทรีย์สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้จนมีปริมาณตามเกณฑ์มาตรฐานโพรไบโอติก สำหรับลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์มีสีเข้มตามธรรมชาติ มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว และมีรสเปรี้ยวเล็กน้อย ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคพบว่าอยู่ในระดับดีถึงดีมาก

ผลการวิจัยชี้ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำวัตถุดิบและของเสียเกษตรในท้องถิ่นมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหมักที่มีคุณสมบัติเทียบเคียงกับผลิตภัณฑ์โพรไบโอติกทั่วไป พร้อมทั้งเป็นการส่งเสริมการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดในระดับชุมชน

คำสำคัญ: เครื่องดื่มโพรไบโอติก / เปลือกมังคุด / เฉาก๊วยเบตง / Lactic acid bacteria / การหมัก

Development of a probiotic fermented beverage from mangosteen peel and Betong Grass Jelly for gut health and food waste reduction

Kaemjira Yahuadong, Paweeyakorn Kornketkew, Pinwara Pusitthiudomdet, Korakot Chanbunphithak, and Suthee Junglok*

Betong Wiraratprasan School, 19 Ruamwit Road, Betong District, Betong District,Yala Province, Thailand
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

Abstract

This project aimed to develop a probiotic beverage from mangosteen peel, an agricultural by product rich in bioactive compounds such as tannins, xanthones, and polyphenols, combined with Betong grass jelly (*Mesona chinensis*), a local plant from Betong District, Yala Province, which contains dietary fiber that may support microbial growth. The study was conducted as a developmental experimental research project. Mangosteen peel extract was prepared and mixed with Betong grass jelly at a 1:5 ratio of mangosteen peel to water and 10% grass jelly, followed by fermentation using a powdered starter culture of lactic acid bacteria (LAB) for 14 days under anaerobic conditions at room temperature.

The results indicated that the pH decreased from 5.1 to 3.8 after fermentation, reflecting the production of organic acids. Simultaneously, the microbial count increased from 6.0 to 8.0 log CFU/mL (from 1×10^6 to 1×10^8 CFU/mL), demonstrating effective bacterial growth. The extended fermentation period of 14 days was attributed to the high tannin content in mangosteen peel, which initially inhibited microbial activity; however, the LAB eventually adapted and flourished. The final product exhibited a naturally dark color, a distinctive aroma, and a mildly sour taste. Consumer satisfaction evaluation revealed acceptance at a good to very good level.

The findings suggest the feasibility of utilizing local raw materials and agricultural waste to develop fermented beverages with characteristics comparable to conventional probiotic products, while supporting value-added resource utilization at the community level.

Keywords: Probiotic beverage / Mangosteen peel / Betong grass jelly / Lactic acid bacteria / Fermentation

1. บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มการบริโภคอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์หมัก ที่มีจุลินทรีย์มีชีวิตซึ่งมีบทบาทในการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร แบคทีเรียกรดแลคติก (Lactic Acid Bacteria; LAB) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการหมักอาหารอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถผลิตกรดแลคติกซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการหมักและการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์อาหาร การพัฒนา เครื่องดื่มหมักจากวัตถุดิบธรรมชาติจึงเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับกระแสความต้องการผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและนวัตกรรมอาหารในปัจจุบัน

ในขณะเดียวกัน เปลือกมังคุดซึ่งเป็นของเหลือใช้ทางการเกษตรจากการบริโภคและการแปรรูป ยังมีองค์ประกอบ ของสารพฤกษเคมีและสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด หากได้รับการพัฒนาอย่างเหมาะสมอาจสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุ เหลือใช้และลดปริมาณของเสียทางการเกษตรได้ นอกจากนี้ เฉาก๊วยเบตง (*Mesona chinensis*) ซึ่งเป็นพืชท้องถิ่น ในพื้นที่อำเภอเบตง จังหวัดยะลา มีองค์ประกอบของใยอาหารและสารพฤกษเคมีตามธรรมชาติ ซึ่งอาจมีศักยภาพเชิงหน้าที่ ต่อผลิตภัณฑ์หมัก และช่วยปรับปรุงลักษณะทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มให้เหมาะสมต่อการบริโภค [1] [3]

สำหรับการเลือกใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ในรูปแบบผงสำเร็จรูป ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วยแบคทีเรียกลุ่ม *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* นั้น เนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่มนี้มีความสามารถในการผลิตกรดแลคติกที่ช่วยปรับปรุงรสชาติและยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค อย่างไรก็ตาม การใช้ร่วมกับสารสกัดเปลือกมังคุดที่มีปริมาณสารแทนนิน (Tannins) และแซนโทน (Xanthones) สูง อาจมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เนื่องจากสารดังกล่าวมีฤทธิ์ในการต้านจุลชีพ (Antimicrobial activity) ผู้วิจัยจึงมุ่งศึกษาความสอดคล้องระหว่างคุณสมบัติทางหน้าที่ของวัตถุดิบและกิจกรรมทางเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะดังกล่าว [2]

ดังนั้น โครงงานนี้จึงมุ่งพัฒนาเครื่องดื่มหมักจากสารสกัดเปลือกมังคุดผสมเฉาก๊วยเบตง โดยใช้หัวเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกชนิดผงสำเร็จรูปสำหรับการหมักโยเกิร์ตเป็นตัวเริ่มต้นกระบวนการหมัก พร้อมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า pH และจำนวนจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการหมัก เพื่อประเมินศักยภาพของผลิตภัณฑ์ในเชิงคุณภาพและการยอมรับเบื้องต้นของผู้บริโภค ตลอดจนส่งเสริมแนวคิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและการลดของเสียทางการเกษตรในระดับชุมชน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาเครื่องดื่มหมักจากสารสกัดเปลือกมังคุดผสมเฉาก๊วยเบตง โดยใช้หัวเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกชนิดผงสำเร็จรูป (Lactic Acid Bacteria; LAB) เป็นตัวเริ่มต้นกระบวนการหมัก
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า pH และจำนวนจุลินทรีย์ (CFU/mL) ระหว่างกระบวนการหมัก เพื่อประเมินคุณภาพเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์
3. เพื่อประเมินการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะทางประสาทสัมผัส และศึกษาศักยภาพในการพัฒนาในระดับชุมชน

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการพัฒนาเครื่องดื่มหมักจากสารสกัดเปลือกมังคุดผสมเฉาก๊วยเบตงในระดับโครงงาน โดยกำหนดขอบเขตดังต่อไปนี้

1. ด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ศึกษาการเตรียมวัตถุดิบ อัตราส่วนผสม และกระบวนการหมัก โดยใช้หัวเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกชนิดผงสำเร็จรูป (Lactic Acid Bacteria; LAB) สำหรับการหมักโยเกิร์ต เป็นตัวเริ่มต้นกระบวนการหมักภายใต้อุณหภูมิห้อง และระยะเวลาการหมัก 14 วัน

2. ด้านการประเมินคุณภาพเบื้องต้น ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า pH และจำนวนจุลินทรีย์ (CFU/mL) ระหว่างกระบวนการหมัก รวมถึงการสังเกตลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น สี กลิ่น และลักษณะเนื้อสัมผัส
3. ด้านการประเมินผู้บริโภคและการประยุกต์ใช้ ประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคโดยใช้แบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scale) และวิเคราะห์ศักยภาพเบื้องต้นในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในระดับชุมชน
4. ข้อจำกัดของการศึกษา การศึกษานี้ไม่ได้ดำเนินการวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนาการ การทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพเชิงลึก หรือการประเมินความปลอดภัยทางจุลชีววิทยาขั้นสูง

4. วิธีการศึกษา

4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

เปลือกมังคุดสดถูกคัดเลือก ล้างทำความสะอาด และหั่นเป็นชิ้นขนาดเล็ก จากนั้นนำไปต้มในน้ำสะอาดตามอัตราส่วน 1:5 (เปลือกมังคุดต่อน้ำ) แล้วกรองแยกกากออก เตรียมเฉาก๊วยเบตงโดยล้างทำความสะอาดและหั่นเป็นชิ้น ก่อนนำมาผสมในปริมาณ ร้อยละ 10 โดยปริมาตร ของสารสกัดพื้นฐาน

4.2 การเตรียมหัวเชื้อและกระบวนการหมัก

หัวเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกชนิดผงสำเร็จรูปสำหรับการหมักโยเกิร์ต (commercial lactic acid bacteria starter; LAB) ถูกเติมลงในส่วนผสมในปริมาณ 0.1 กรัมต่อปริมาตรส่วนผสม 1 ลิตร และคนให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นบรรจุ ในภาชนะที่สะอาดและปิดสนิทเพื่อเข้าสู่กระบวนการหมักโดยดำเนินการหมักภายใต้ สภาวะไม่ใช้อากาศ (Anaerobic fermentation) การหมักดำเนินการที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 14 วัน โดยเก็บตัวอย่างในวันเริ่มต้นและวันสิ้นสุดการหมักเพื่อตรวจวิเคราะห์

4.3 การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์

ทำการวัดค่า pH ของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องวัด pH แบบดิจิทัล โดยทำการสอบเทียบเครื่องมือก่อนใช้งานทุกครั้ง และบันทึกค่าที่ได้ในวันเริ่มต้นและวันสิ้นสุดการหมัก นอกจากนี้ ตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์โดยวิธีการเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียกรดแลคติก และรายงานผลในหน่วยโคโลนีต่อมิลลิลิตร (CFU/mL) พร้อมทั้งสังเกตและบันทึกลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส เพื่อใช้ประกอบการประเมินคุณภาพโดยรวม

4.4 การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภค

ดำเนินการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคจำนวน 50 คน โดยใช้แบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scale) เพื่อประเมินด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) และร้อยละ (Percentage) เพื่อสรุประดับการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์3. วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) และร้อยละ (Percentage)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาการพัฒนาเครื่องดื่มหมักจากสารสกัดเปลือกมังคุดผสมเฉาก๊วยเบตง โดยใช้หัวเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก ชนิดผงสำเร็จรูป พบว่า หลังการหมัก 14 วัน ค่า pH ลดลงจาก 5.1 เหลือ 3.8 คิดเป็นการลดลงร้อยละ 25.49 สะท้อนถึง การเกิดกระบวนการหมักและการผลิตกรดอินทรีย์ของจุลินทรีย์ ในขณะเดียวกัน จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นจาก 1×10^6 เป็น 1×10^8 CFU/mL แสดงให้เห็นว่ากระบวนการหมักสามารถสนับสนุนการเจริญเติบโต ของแบคทีเรียกรดแลคติกได้อย่างเหมาะสม

ในด้านลักษณะทางกายภาพ ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้นตามธรรมชาติของสารสกัดเปลือกมังคุด มีกลิ่นเฉพาะตัว และมีรสเปรี้ยวอ่อนมากขึ้นตามระยะเวลาการหมัก โดยไม่พบการแยกชั้นอย่างชัดเจน ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคจำนวน 50 คน

พบว่าผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับในระดับดีถึงดีมากในด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส สะท้อนถึงศักยภาพเบื้องต้น ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในระดับชุมชน

5.1 ผลการศึกษารูปแบบผลงานวิชาการ

จากการวิเคราะห์รูปแบบผลงานวิชาการที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์หมักจากพืชและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่มีโครงสร้างประกอบด้วย บทนำ วัตถุประสงค์ วิธีดำเนินการ ผลการศึกษา และอภิปรายผล โดยเน้นการรายงานค่าทางจุลชีววิทยา ค่า pH และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสอย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ ยังให้ความสำคัญ กับการเชื่อมโยงผลการทดลองกับแนวคิดด้านความยั่งยืนและการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบท้องถิ่น ซึ่งเป็นแนวทางเดียวกับงานวิจัยฉบับนี้

5.2 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการหมัก

จากการศึกษาการหมักเครื่องดื่มจากสารสกัดเปลือกมังคุดผสมเฉาก๊วยเบตง เป็นระยะเวลา 14 วัน โดยใช้หัวเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกชนิดผงสำเร็จรูป พบว่าค่า pH และจำนวนจุลินทรีย์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ (LAB) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในระหว่างกระบวนการหมัก

ระยะเวลาการหมัก	จำนวนจุลินทรีย์ (CFU/mL)	จำนวนจุลินทรีย์ (log CFU/mL)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)
วันเริ่มต้น (วันที่ 0)	1×10^6	6.0	5.1
วันสิ้นสุด (วันที่ 14)	1×10^8	8.0	3.8
การเปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 100 เท่า	+2.0 log unit	-1.4

จากตารางที่ 1 พบว่าค่า pH ลดลงจาก 5.1 เป็น 3.8 แสดงถึงการสร้างกรดอินทรีย์ของแบคทีเรียกรดแลคติกในระหว่างกระบวนการหมัก ขณะเดียวกัน จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นจาก 1×10^6 เป็น 1×10^8 CFU/mL สะท้อนถึงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ผลดังกล่าวยืนยันว่ากระบวนการหมักดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพตลอดระยะเวลา 14 วัน สาเหตุที่การหมักใช้ระยะเวลานานถึง 14 วัน ซึ่งมากกว่าการหมักโยเกิร์ตทั่วไป (24-48 ชั่วโมง) อาจเนื่องมาจากสารสกัดจากเปลือกมังคุดมีปริมาณสารแทนนินสูง ซึ่งมีกลไกในการตกตะกอนโปรตีนที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียและยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์บางชนิด ส่งผลให้แบคทีเรียกรดแลคติกมีระยะปรับตัว (Lag phase) นานขึ้น อย่างไรก็ตาม การที่จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นถึง 8 log CFU/mL และค่า pH ลดลงเหลือ 3.8 แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ภายใต้สภาวะที่มีสารพฤกษเคมีเหล่านี้ และเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์โพรไบโอติก

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องดื่มหมักจากสารสกัดเปลือกมังคุดผสมเฉาก๊วยเบตง โดยใช้หัวเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกชนิดผงสำเร็จรูปเป็นตัวเริ่มต้นกระบวนการหมัก ผลการทดลองพบว่า หลังการหมักเป็นระยะเวลา 14 วัน ค่า pH ลดลงจาก 5.1 เหลือ 3.8 แสดงถึงการเกิดกระบวนการหมักและการสร้างกรดอินทรีย์ของจุลินทรีย์ ขณะเดียวกัน จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นจาก 1×10^6 เป็น 1×10^7 CFU/mL สะท้อนถึงการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกรดแลคติกภายใต้สภาวะที่เหมาะสม [4]

ในด้านคุณภาพทางกายภาพ ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้นตามธรรมชาติของสารสกัด มีกลิ่นเฉพาะตัว และมีรสเปรี้ยวอ่อน ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์หมัก โดยไม่พบการแยกชั้นอย่างชัดเจน นอกจากนี้ ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคจำนวน 50 คน พบว่าอยู่ในระดับดีถึงดีมาก สะท้อนถึงการยอมรับเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์

เครื่องดื่มหมักจากเปลือกมังคุดผสมเฉาก๊วยเบตงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่าวัตถุดิบทางการเกษตรในระดับชุมชน ทั้งนี้ ควรมีการศึกษาต่อยอดในด้านความปลอดภัย อายุการเก็บรักษา และองค์ประกอบทางโภชนาการเพื่อรองรับการพัฒนาในระดับที่สูงขึ้นต่อไป [5] [6]

ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาต่อยอด ควรมีการตรวจสอบความปลอดภัยทางจุลชีววิทยาตามมาตรฐานอาหารหมัก เช่น การตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของเชื้อ *Salmonella* spp. และ *E. coli* เพื่อยืนยันความปลอดภัยก่อนการนำไปส่งเสริมเป็นผลิตภัณฑ์ในระดับชุมชนอย่างเต็มรูปแบบ

เอกสารอ้างอิง

[1] Fuller, R. (1989). Probiotics in man and animals. Journal of Applied Bacteriology, 66(5), 365-378.

[2] Pedraza-Chaverri, J., Cárdenas-Rodriguez, N., Orozco-Ibarra, M., & Pérez-Rojas, J. M. (2008). Medicinal properties of mangosteen (Garcinia mangostana). Food and Chemical Toxicology, 46(10), 3227-3239.

[3] Xu, W., Zhao, Y., & Wang, Y. (2017). Chemical composition and antioxidant activity of Mesona chinensis. Food Chemistry, 221, 182-188.

[4] Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., et al. (2014). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology, 11, 506-514.

[5] Swanson, K. S., Gibson, G. R., Hutkins, R., et al. (2020). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the definition and scope of prebiotics. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology, 17, 74-90.

[6] FAO/WHO. (2002). Guidelines for the evaluation of probiotics in food. Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization.

ประสิทธิภาพของถ่านชีวภาพต่อการปรับปรุงคุณสมบัติดินและการเจริญเติบโตของต้นฟ้าทะลายโจรในพื้นที่จังหวัดนครนายก

กมลวรรณ หงษ์ทอง[1], สมมาส แก้วล้วน[2], และ พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ[1*]

[1]คณะวัฒนธรรมสิ่งแวดล้อมและการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ตำบลองครักษ์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ประเทศไทย
**Corresponding author: phongthep@g.swu.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัญหาคุณสมบัติดินส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืชในหลายพื้นที่ โดยพบมากในเขตเกษตรกรรมบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำซึ่งเคยมีการทับถมของตะกอนน้ำกร่อย ทำให้ดินมีข้อจำกัดต่อการเจริญเติบโตของพืช ขณะเดียวกัน ในช่วงการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ฟ้าทะลายโจรถูกนำมาใช้เป็นยาสมุนไพรอย่างแพร่หลายเพื่อบรรเทาอาการป่วย จึงได้มีการคาดการณ์ว่าในอนาคตอาจมีการนำมาใช้เพิ่มสูงขึ้น งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลของการปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร 5 ชนิด ได้แก่ ทะลายปาล์ม ลำต้นไผ่ ฟางข้าว และเหง้ามันสำปะหลังผสมกับซังข้าวโพด ในพื้นที่จังหวัดนครนายก เพื่อประเมินประสิทธิภาพการยกระดับคุณภาพดินควบคู่กับการผลิตพืชสมุนไพรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยศึกษาคุณสมบัติดิน ได้แก่ ค่า pH ปริมาณอินทรียวัตถุ คาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดในดิน รวมถึงการเจริญเติบโตและน้ำหนักแห้งของฟ้าทะลายโจร ผลการทดลองพบว่า ถ่านชีวภาพจากเศษซากพืชทั้ง 4 สูตร สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ประกอบด้วย ช่วยเพิ่มค่า pH ปริมาณคาร์บอน อินทรียวัตถุ และไนโตรเจนในดิน โดยถ่านชีวภาพจากลำต้นไผ่สามารถปรับ pH ดินเพิ่มสูงสุด มีค่าเท่ากับ 7.28 เหมาะสมต่อการดูดซึมธาตุอาหารของพืช ขณะที่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าวให้ผลดีในด้านการปรับปรุงปริมาณคาร์บอน อินทรียวัตถุ และไนโตรเจน ในดิน มีค่าเท่ากับ 8.20%, 14.14% และ 0.245% ตามลำดับ ด้านการเจริญเติบโตของฟ้าทะลายโจรพบว่ามวลชีวภาพสดสูงสุดในช่วง 30 วันแรก ก่อนลดลงในช่วง 60 วัน ขณะที่น้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้นต่อเนื่องตามอายุพืช และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยน้ำหนักแห้งรวมและความสูงไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่าถ่านชีวภาพมีศักยภาพในการยกระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินและการกักเก็บคาร์บอน โดยเฉพาะถ่านชีวภาพจากฟางข้าวเหมาะต่อการปรับปรุงดินอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การปรับปรุงดิน / ถ่านชีวภาพ / คุณสมบัติของดิน / สมุนไพรฟ้าทะลายโจร / ดินเสื่อมโทรม

Effectiveness of biochar application on soil properties and growth performance of *Andrographis paniculata* in Nakhon Nayok Province

Kamolwan Hongthong[1] Sommas Kaewluan[2] and Phongthep Hanpattanakit[1*]

[1]Faculty of Environmental Culture and Ecotourism, Srinakharinwirot University, Thailand
[2]Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Thailand
**Corresponding author: phongthep@g.swu.ac.th*

Abstract

Soil properties significantly affect crop growth and yield in many areas, particularly in agricultural lowlands along rivers where brackish water sediment deposition limits plant growth. During the COVID-19 pandemic, *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Wall ex Nees. was widely used as a herbal medicine to alleviate symptoms, leading to predictions of increased future demand. This study aimed to investigate the effects of soil improvement using biochar produced from 5 types of agricultural residues: palm stalks, bamboo stalks, rice straw, a mixture of cassava rhizomes and corn cobs in Nakhon Nayok Province. The effectiveness of biochar in improving soil quality while promoting environmentally friendly herbal crop production was evaluated. Soil properties, including pH, organic matter content, total carbon and nitrogen, were analyzed, along with the growth and dry weight of *Andrographis paniculata*. The results showed that biochar derived from all 4 treatments significantly improved soil quality by increasing pH, carbon, organic matter, and nitrogen contents. Bamboo biochar significantly increased soil pH to the highest value of 7.28, which is optimal for nutrient availability. Rice straw biochar showed strong performance in enhancing soil carbon, organic matter, and nitrogen contents, with values of 8.20%, 14.14%, and 0.245%, respectively. Regarding plant growth, fresh biomass of *Andrographis paniculata* peaked at 30 days and declined at 60 days, whereas dry weight increased continuously with plant age. At the end of the experiment, total dry weight and plant height did not differ significantly from the control treatment. In conclusion, biochar has strong potential to improve soil fertility and enhance carbon sequestration, with rice straw biochar being particularly suitable for sustainable soil improvement.

Keywords: Soil amendment / Biochar / Soil properties / *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Wall ex Nees / Degraded soil

1. บทนำ

ทรัพยากรดินของประเทศไทยมีพื้นที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรประมาณ 153 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 47.77 ของพื้นที่ทั้งหมด ในขณะเดียวกันพื้นที่เกษตรกรรมจำนวนมากยังมีคุณภาพดินต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก โดยพบว่าประมาณร้อยละ 33 ของพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมดอยู่ในกลุ่มดินเสื่อมโทรม หรือดินที่มีข้อจำกัดต่อการทำการเกษตร เช่น ดินกรด ดินตื้น ดินเค็ม ดินเปรี้ยวจัด เป็นต้น [1] สภาพดินเสื่อมโทรมดังกล่าวก่อให้เกิดผลกระทบต่อการทำการเกษตรในหลายด้าน ตั้งแต่พื้นที่เพาะปลูกที่ลดลง การสูญเสียธาตุอาหารพืชในดิน ปริมาณผลผลิตที่ลดต่ำลง ไปจนถึงการเสื่อมสภาพของโครงสร้างดิน ทำให้ดินอุ้มน้ำได้ลดลง การแก้ปัญหาดินเสื่อมโทรมหรือคุณภาพดินต่ำ เพิ่มผลผลิตทางการเกษตร และช่วยเหลือเกษตรกรที่กำลังประสบปัญหาผลผลิตทางการเกษตรลดลงจากดินเสื่อมโทรมและคุณสมบัติดินไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีการประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพ (biochar) เพื่อแก้ไขปัญหาดินเสื่อมโทรมโดยใช้ถ่านชีวภาพ ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งภาคการเกษตร เช่น ทะลายปาล์ม ลำต้นไผ่ ฟางข้าว เหง้ามันสำปะหลัง และ ซังข้าวโพด เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดให้คุณสมบัติของถ่านชีวภาพแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างของชีวมวล มีผลให้คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเผา ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำและธาตุอาหาร [2] ช่วยลดความเป็นกรดของดิน ลดความเป็นพิษของเหล็กและอะลูมิเนียม และเพิ่มการเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัส [3] นอกจากนี้ ถ่านชีวภาพยังเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในดิน [4] และช่วยเพิ่มค่าความเป็นด่างของดิน รวมถึงธาตุอาหารหลัก เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียม นอกจากนี้ด้วยคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีพื้นที่ผิวภายในมาก (ประมาณ 10–400 m^2/g) มีความคงตัวสูง ย่อยสลายช้า และไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่นง่าย จึงเหมาะสำหรับการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน การดูดซับสารปนเปื้อน และเป็นกลไกสำคัญในการกักเก็บคาร์บอนระยะยาวในดินได้ยาวนานและไม่ทำปฏิกิริยากับสารใด ๆ ยิ่งไปกว่านั้นสิ่งสำคัญที่ได้จากการใช้ถ่านชีวภาพคือการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยช่วยลดการเผาวัสดุเหลือทิ้งภาคการเกษตร ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ เช่น ปัญหาฝุ่น PM2.5 และก๊าซเรือนกระจก ด้วยสมบัติที่หลากหลายและประโยชน์เชิงสิ่งแวดล้อม ถ่านชีวภาพจึงได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในฐานะวัสดุเพื่อการเกษตรอย่างยั่งยืน และเป็นแนวทางสำคัญในการฟื้นฟูดินเสื่อมโทรมอย่างมีประสิทธิภาพในระยะยาว

ถ่านชีวภาพ (biochar) เป็นวัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอนซึ่งผลิตจากกระบวนการแยกสลายชีวมวล (biomass) ด้วยความร้อน (pyrolysis) โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ การแยกสลายด้วยความร้อนแบบช้า (slow pyrolysis) และ แบบเร็ว (fast pyrolysis) ซึ่งแตกต่างกันที่อุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน [5] แบบช้าจะใช้เวลาในระดับชั่วโมง ที่อุณหภูมิระหว่าง 350-600°C ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ได้ผลผลิตเป็น น้ำมัน (bio-oil) ก๊าซ (bio-gas) และ ถ่านชีวภาพ (bio-char) ในอัตราส่วน 30 : 35 : 35 [6] ส่วนการแยกสลายแบบเร็วจะใช้เวลาในระดับวินาทีที่อุณหภูมิระหว่าง 500-1,000°C ได้ผลผลิตเป็นน้ำมัน (bio-oil) ก๊าซ (bio-gas) และ ถ่านชีวภาพ (bio-char) ในอัตราส่วน 75:13:12 และยังมีการศึกษาว่าหากใช้อุณหภูมิในการเผาไหม้เฉลี่ย 500°C จะได้ผลผลิตที่เป็นถ่านชีวภาพมากกว่า 50% [7] ดังนั้นการเลือกกระบวนการแบบช้าจึงเหมาะสมที่สุดหากต้องการปริมาณถ่านชีวภาพสูง ถ่านชีวภาพที่ได้มีปริมาณคาร์บอนสูงกว่า พื้นที่ผิวมากกว่า และมีเถ้าน้อยกว่า ซึ่งเหมาะสมต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็งและสารปรับปรุงดิน [8] นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และปริมาณคาร์บอนรวม (Total C) เพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณไนโตรเจน (Total N) และฟอสฟอรัส (Total P) ลดลง ภาพจากกล้องจุลทรรศน์พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ความหนาของผนังเซลล์ลดลงและความพรุนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [9]

ประเทศไทยมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจำนวนมากจากพืชเศรษฐกิจหลัก และยังเผชิญปัญหามลพิษทางอากาศจากการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร [10] จึงมีการผลักดันการใช้ชีวมวลเป็นพลังงานทดแทนและวัตถุดิบผลิตถ่านชีวภาพควบคู่ไปกับการจัดการเศษวัสดุ โดยช่วง ก.พ.–เม.ย. 2567 มีเศษวัสดุรวมประมาณ 48.6 ล้านตัน นำไปใช้แล้วประมาณ 29.7 ล้านตัน (61%) คิดเป็นมูลค่าเศรษฐกิจกว่า 3.3 พันล้านบาท [10] จากคุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่มีสถานะเป็นประจุลบ ทำให้สามารถช่วยปรับค่า pH ของดินและน้ำได้นั้น ในทางการเกษตรจึงได้นำถ่านชีวภาพมาเป็นวัสดุในการปรับปรุงดินเปรี้ยว นอกจากนี้ คุณสมบัติที่เป็นรูพรุนของถ่านชีวภาพสามารถดักจับธาตุอาหารไว้ไม่ให้ถูกชะล้างไปก่อนที่พืชจะดูดซึมไปใช้ได้ [11] จากการศึกษาของกมลชนก เจริญศรี และคณะ (2560) พบว่า การเติมถ่านชีวภาพจากปาล์มน้ำมันในดินนาเปรี้ยวจัดช่วยเพิ่มค่า pH ดินจาก 3.6 เป็น 4.2 ภายใน 16 สัปดาห์ และเพิ่มธาตุอาหารสำคัญ เช่น ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และซิลิคอน โดยช่วยเปลี่ยนฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ง่ายขึ้น แม้ใช้อัตราส่วนถ่านชีวภาพต่างกันแต่ไม่แตกต่างมากนัก นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการเติมถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรลงในดินเปรี้ยวที่ใช้ปลูกหญ้าเทฟฟ์ พบว่าเมื่อ [12] เติมถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 12 t ha^{-1} ในดินเปรี้ยวช่วยลดความเป็นกรดแลกเปลี่ยนได้จาก 0.60 เป็น 0.39 cmol(c) kg^{-1} เพิ่มค่า pH และ CEC ของดิน

รวมทั้งเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสและคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ส่งผลให้ผลผลิตและชีวมวลของหญ้าเทฟฟ์สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่มีผลโดยตรงต่อปริมาณไนโตรเจนรวมในดิน [13]

ปัจจุบันประเทศไทย มีการปลูกพืชสมุนไพรมากถึง 89 ชนิด โดยมีการส่งออกวัตถุดิบสมุนไพรคุณภาพและผลิตภัณฑ์จากสมุนไพร เป็นอันดับ 1 ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คิดเป็นมูลค่ากว่า 12,211 ล้านบาท [14] สอดคล้องกับแผนปฏิบัติการด้านสมุนไพรแห่งชาติ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2566 - 2570 กำหนดเป้าหมายพื้นที่ปลูกพืชสมุนไพรที่ได้มาตรฐานเพิ่มขึ้นไม่น้อยกว่า 50,000 ไร่ และรัฐบาลยังได้กำหนดแนวทางส่งเสริมการพัฒนาสมุนไพรไทยโดยครอบคลุมตั้งแต่ต้นทางการผลิตไปจนถึงปลายทางการตลาด ซึ่งมีเป้าหมายหลักเพื่อยกระดับสมุนไพรไทยสู่ตลาดโลก และสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับประเทศ โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 สมุนไพรที่มีความพร้อมเพื่อการพัฒนาต่อยอด 3 รายการ ได้แก่ ขมิ้นชัน ฟ้าทะลายโจร และกระชายดำ และกลุ่มที่ 2 สมุนไพรที่มีศักยภาพและต้องการความต่อเนื่องในการพัฒนา 12 รายการ ได้แก่ บัวบก มะขามป้อม ไพล ขิง กระชายว่านหางจระเข้ กวาวเครือขาว มะระขี้นก เพชรสังฆาต กระท่อม กัญชง และกัญชา [15] ทั้งนี้ จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ในช่วงที่ผ่านมา ได้นำฟ้าทะลายโจรมาใช้เป็นยารักษาอย่างแพร่หลาย เพื่อรักษาอาการของโรคโควิด 19 หรือไข้หวัดใหญ่ จึงได้มีการคาดการณ์การใช้ยาฟ้าทะลายโจรในประเทศไทยว่ามีแนวโน้มการเติบโตอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตาม สมุนไพรไทยยังคงประสบปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบ คุณภาพวัตถุดิบไม่ผ่านมาตรฐาน และปัญหาด้านการกำหนดมาตรฐานคุณภาพวัตถุดิบ เนื่องจากมีการบริหารจัดการสมุนไพรที่ไม่เป็นระบบ พื้นที่ปลูกไม่เหมาะสม และปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ส่งผลให้ผลผลิตน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด นอกจากนี้ ปัญหาความเสื่อมโทรมของดินนับว่าเป็นปัญหาทางกายภาพที่ล้วนส่งผลต่อผลผลิตและคุณภาพของพืชสมุนไพร [14] จากปัญหาและแนวคิดที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จึงนำมาสู่การศึกษาการปรับปรุงดินโดยการเติมถ่านชีวภาพจากเศษวัสดุทางการเกษตรลงในดิน เพื่อศึกษาความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพดิน และการเพิ่มปริมาณของสารสำคัญทางการแพทย์ เช่น Andrographolide ในฟ้าทะลายโจรที่มีความสำคัญในการรักษาโรคชนิดหนึ่งของประเทศไทย อีกทั้งการใช้ถ่านชีวภาพสามารถเก็บกักคาร์บอนลงดินจากการตัดวงจรการกลับสู่ชั้นบรรยากาศของ CO_2 แนวทางนี้กำลังได้รับการยอมรับจากสหประชาชาติให้เป็นเครื่องมือหนึ่งในการลดและหลีกเลี่ยงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการนำมวลชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเผาด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแทนการเผาทิ้ง จะสร้างผลกระทบต่อมลพิษทางอากาศจากการเพิ่มสารพิษทั้งก๊าซเรือนกระจกและฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยถ่านชีวภาพจะแยกคาร์บอนให้อยู่ในรูปถ่านชีวภาพและเติมลงในดินเพื่อการกักเก็บคาร์บอนเสถียรไว้ในดิน เพื่อลดผลกระทบจากการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการเกษตรที่ไม่ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหารและยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จากข้อมูลการวิจัยในทุกมิติสนับสนุนว่า ถ่านชีวภาพช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและกลไกการทำงานของพืชในภาคการเกษตรและสามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งในแง่ของการลดใช้ปุ๋ยเคมีและการบรรเทาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้ แนวความคิดต่อยอดจากงานวิจัยในการเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ ผ่านทางการพัฒนาสูตรปุ๋ยที่ใช้กับดินเปรี้ยวด้วยถ่านชีวภาพจากเศษวัสดุในภาคการเกษตร เพิ่มการต่อยอดทางธุรกิจที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของดินเสื่อมโทรมเมื่อปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งภาคการเกษตร 4 สูตร ได้แก่ ฟางข้าว ลำต้นไผ่ ทะลายปาล์ม และซังข้าวโพดผสมกับเหง้ามันสำปะหลัง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพ ต่อการเจริญเติบโต และชีวมวล ในต้นฟ้าทะลายโจรภายใต้การปลูกในดินเสื่อมโทรม

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาคุณสมบัติของดินทางกายภาพ และเคมีของดินเสื่อมโทรมที่ได้รับการปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพจากเศษวัสดุเหลือทิ้งภาคการเกษตรต่างชนิดกัน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณอินทรียวัตถุ (Organic Matter) ปริมาณคาร์บอนในดิน (Soil Organic Carbon) และปริมาณไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen) เพื่อประเมินศักยภาพในการฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมถึงการเจริญเติบโตของต้นฟ้าทะลายโจร ภายใต้การปลูกด้วยการใช้ถ่านชีวภาพ 4 ชนิด ได้แก่ ฟางข้าว ลำต้นไผ่ ทะลายปาล์ม และซังข้าวโพดผสมเหง้ามันสำปะหลัง เป็นสารปรับปรุงดินในจังหวัดนครนายก

4. วิธีการศึกษา

เก็บตัวอย่างดินเสื่อมโทรม จากโรงเรียนบ้านดงวิทยาคาร ตั้งอยู่ที่ หมู่ 1 ตำบลสาริกา อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก ตั้งอยู่ภาคตะวันออก ประเทศไทย ตำแหน่งละติจูด: 14° 18' 49.68" N, ลองจิจูด: 101° 17' 47.40" E

4.1 การเตรียมสารปรับปรุงดินและการปลูกต้นฟ้าทะลายโจร

เตรียมสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ ฟางข้าว ลำต้นไผ่ ทะลายปาล์ม และเหง้ามันสำปะหลังผสมกับซังข้าวโพด โดยการนำถ่านชีวภาพมาผสมกับมูลวัวและดักแด้แมลงวัน ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 5:4:1 ตามลำดับ หมักส่วนผสมเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ก่อนนำไปใช้ในการทดลอง จากนั้น ผสมสารปรับปรุงดินในอัตราส่วน 0.6 กิโลกรัม ต่อดิน 6 กิโลกรัม แล้วนำไปปลูกต้นฟ้าทะลายโจร (*Andrographis paniculata*) ภายใต้การทดลองแบบปลูกในกระถาง ระยะเวลาการทดลอง 60 วัน เพื่อศึกษาการเจริญเติบโต และผลผลิตของต้นฟ้าทะลายโจร โดยมีการกำหนดชุดการทดลองจำนวน 5 ชุด ชุดละ 15 กระถาง (ตารางที่ 1) ทำการบันทึกความสูงของฟ้าทะลายโจรทุกต้นเป็นรายสัปดาห์ตลอดระยะเวลาการทดลอง และเก็บตัวอย่างพืชชุดละ 5 ต้น เมื่ออายุ 30 และ 60 วัน เพื่อวิเคราะห์น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของใบ ลำต้น และราก พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างดินของแต่ละชุดการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของดินต่อไป

ตารางที่ 1 ชื่อชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	อักษรย่อ
ดินปกติที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ	A1 (Control)
ดินที่เติมสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพฟางข้าว	A2 (Straw)
ดินที่เติมสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพลำต้นไผ่	A3 (Bamboo)
ดินที่เติมสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพทะลายปาล์ม	A4 (Palm)
ดินที่เติมสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพซังข้าวโพดผสมเหง้ามันสำปะหลัง	A5 (Mix)

4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน

ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0–15 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างดินมาอบด้วยตู้อบลมร้อน (Universal Oven) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นบดให้ละเอียด เพื่อเตรียมการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินทั้งก่อนและหลังการใส่สารปรับปรุงดิน การวิเคราะห์ดำเนินการตามแนวทางที่ระบุในคู่มือการวิเคราะห์ดินทางเคมีเพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน กรมพัฒนาที่ดิน

4.2.1 การวัดค่าความเป็นกรด–ด่างของดิน (pH)

ค่าความเป็นกรด–ด่างของดินวัดด้วยวิธี Electrometric หรือ Potentiometric โดยใช้เครื่อง pH meter อาศัยหลักการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง glass electrode และ reference electrode ที่จุ่มอยู่ในสารละลายดิน ศักย์ไฟฟ้าของ glass electrode เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน ในสารละลาย ขณะที่ reference electrode มีศักย์คงที่การวัดดำเนินการภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการ

4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมด

ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHN Analyzer โดยเตรียมสารมาตรฐาน EDTA น้ำหนัก 0.200 กรัม สำหรับทดสอบ blank ชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล บรรจุใน sample cup holder และห่อด้วยทินฟอยล์ที่มีขนาดพอดีกับถาดใส่ตัวอย่าง จากนั้นนำไปวิเคราะห์เพื่อสอบเทียบเครื่องมือ โดยทำการวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ

4.2.3 การวิเคราะห์ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน

อินทรียวัตถุในดินมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 58 โดยน้ำหนัก ดังนั้น จึงสามารถคำนวณได้จากปริมาณคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้คูณด้วยค่า 1.724 ก็จะได้ค่าอินทรียวัตถุที่ต้องการ

4.3 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS version 24 (Statistical Package for the Social Sciences) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มด้วย post-hoc test แบบ Tukey's HSD [16]

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 คุณสมบัติของดินเมื่อปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพ

การศึกษาผลของสารปรับปรุงดิน (Soil Amendment: SOA) ที่ผลิตจากถ่านชีวภาพ 4 ชนิด ได้แก่ ทะลายปาล์ม, สูตรผสม, ลำต้นไผ่ และฟางข้าว เปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณคาร์บอนเฉลี่ย (%) ปริมาณไนโตรเจน (%) และปริมาณอินทรียวัตถุ (%OM) ในวันเริ่มต้น จนถึงวันที่ 60 ผลการศึกษาปรากฏดังนี้ (ตารางที่ 2, 3, 4 และ 5)

ตารางที่ 2 ค่า pH ค่าเฉลี่ยร้อยละของคาร์บอน ไนโตรเจน และอินทรียวัตถุของดิน จำแนกตามสารปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพ

ชนิดถ่านชีวภาพ	pH	คาร์บอนเฉลี่ย (%)	ไนโตรเจนเฉลี่ย (%)	อินทรียวัตถุ (%)
	สารปรับปรุงคุณภาพดิน			
ฟางข้าว	10.55	53.04	0.87	91.45
ลำต้นไผ่	9.78	67.47	0.57	116.33
ทะลายปาล์ม	10.34	64.08	1.07	110.49
สูตรผสม	8.91	54.64	1.18	94.20

ตารางที่ 3 ค่า pH และค่าเฉลี่ยร้อยละของคาร์บอน ไนโตรเจน และอินทรียวัตถุของดินในวันเริ่มต้นการทดลอง

ชนิดถ่านชีวภาพ	pH	คาร์บอนเฉลี่ย (%)	ไนโตรเจนเฉลี่ย (%)	อินทรียวัตถุ (%)
	วันเริ่มต้น			
ชุดควบคุม (A1)	6.67	0.93	0.09	1.60
ฟางข้าว (A2)	10.08	10.14	0.23	17.49
ลำต้นไผ่ (A3)	8.35	10.62	0.18	18.32
ทะลายปาล์ม (A4)	8.35	6.07	0.19	10.47
สูตรผสม (A5)	8.77	7.53	0.20	12.99

ตารางที่ 4 ค่า pH และค่าเฉลี่ยร้อยละของคาร์บอน ไนโตรเจน และอินทรียวัตถุของดินในวันที่ 30 ของการทดลอง

ชนิดถ่านชีวภาพ	pH	คาร์บอนเฉลี่ย (%)	ไนโตรเจนเฉลี่ย (%)	อินทรียวัตถุ (%)
	วันที่ 30 หลังจากย้ายปลูกลงกระถาง			
ชุดควบคุม (A1)	6.71	0.78	0.09	1.35
ฟางข้าว (A2)	8.59	9.18	0.26	15.82
ลำต้นไผ่ (A3)	7.80	8.14	0.19	14.04
ทะลายปาล์ม (A4)	8.33	7.76	0.23	13.38
สูตรผสม (A5)	8.09	7.35	0.24	12.67

ตารางที่ 5 ค่า pH และค่าเฉลี่ยร้อยละของคาร์บอน ไนโตรเจน และอินทรียวัตถุของดินในวันที่ 60 ของการทดลอง

ชนิดถ่านชีวภาพ	pH	คาร์บอนเฉลี่ย (%)	ไนโตรเจนเฉลี่ย (%)	อินทรียวัตถุ (%)
	วันที่ 60 หลังจากย้ายปลูกลงกระถาง			
ชุดควบคุม (A1)	6.53	0.70	0.07	1.21
ฟางข้าว (A2)	8.29	8.21	0.25	14.15
ลำต้นไผ่ (A3)	7.28	6.80	0.15	11.71
ทะลายปาล์ม (A4)	7.96	6.94	0.21	12.00
สูตรผสม (A5)	7.91	5.60	0.19	9.65

5.1.1 ความเป็นกรด-ด่างในดิน (Soil pH)

การเติมสารปรับปรุงดินส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับชุดควบคุม ตลอดระยะเวลาการทดลอง 60 วัน ชุดควบคุม มีสภาพเป็นกรดอ่อนถึงกลาง [17] มีค่าอยู่ในช่วง 6.53-6.71 ในขณะที่ชุดการทดลองที่ได้รับถ่านชีวภาพมีค่า pH สูงขึ้นอย่างชัดเจนซึ่งเป็นผลมาจากความเป็นด่างของถ่านชีวภาพ มีค่าอยู่ในช่วง 9.60-10.80 โดยเมื่อเริ่มต้นการปลูก ดินที่ผสมถ่านชีวภาพจากฟางข้าวมี pH สูงสุดที่ 10.08 เมื่อระยะเวลาผ่านไปถึง 60 วัน พบว่าค่า pH ของทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ดินชุดที่ปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพจากฟางข้าวมีค่า pH เท่ากับ 8.29 ขณะที่ดินชุดที่ปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพจากต้นไผ่มีค่า pH ลดลงมาอยู่ที่ 7.28 (ตารางที่ 6) โดยค่า pH ดังกล่าวอยู่ในช่วงใกล้เป็นกลางและจัดว่าเหมาะสมต่อการดูดซึมธาตุอาหารของพืชมากกว่าชุดการทดลองอื่นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม [18] ผลการทดลองสะท้อนให้เห็นว่าแม้ถ่านชีวภาพจะทำให้ดินมีความเป็นด่างสูงในระยะต้น ซึ่งเกิดจากปริมาณเถ้า (Ash content) และเกลือที่ละลายน้ำได้ง่าย เช่น K_2CO_3 และ Na_2CO_3 เมื่อมีการรดน้ำหรือมีความชื้นในดิน เกลือเหล่านี้จะละลายและอาจถูกชะล้าง (Leaching) ออกไปจากบริเวณเม็ดดิน หรือทำปฏิกิริยาสะเทินกับกรดในดิน ส่งผลให้ฤทธิ์ความเป็นด่างค่อยๆ ลดลงจนเข้าสู่จุดสมดุลใหม่ [19]

ตารางที่ 6 : ค่า pH ทุกชุดการทดลองตามระยะเวลา

ชนิดถ่านชีวภาพ	pH			
	SOA	D-0	D-30	D-60
ชุดควบคุม (A1)	-	6.67	6.71	6.53
ฟางข้าว (A2)	10.55	10.08	8.59	8.29
ลำต้นไผ่ (A3)	9.78	8.35	7.8	7.28
ทะลายปาล์ม (A4)	10.34	8.35	8.33	7.96
สูตรผสม (A5)	8.91	8.77	8.09	7.91

5.1.2 การเปลี่ยนแปลงของอินทรียวัตถุและคาร์บอนในดิน (Soil Organic Matter and Carbon Content)

การศึกษาคุณสมบัติของสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพพบว่าทุกชนิดมีปริมาณคาร์บอนและอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูงมาก โดยมีค่าคาร์บอนเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 53.04–67.47 (ตารางที่ 2) ซึ่งถ่านชีวภาพจากไผ่มีปริมาณคาร์บอนและอินทรียวัตถุสูงที่สุด รองลงมาคือถ่านชีวภาพจากปาล์มในขณะที่ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว และสูตรผสม มีปริมาณอยู่ในระดับรองลงมาตามลำดับ เมื่อนำสารปรับปรุงดินไปผสมในดินทดลอง ณ วันเริ่มต้น พบว่าดินที่ได้รับการปรับปรุงด้วยสารปรับปรุงดินทุกสูตรมีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดดเป็น ร้อยละ 6.07–10.62 และมีอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 10.47–18.32 เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่มีคาร์บอนเพียงร้อยละ 0.93 และอินทรียวัตถุร้อยละ 1.60 (ตารางที่ 3) โดยในระยะเริ่มแรกนี้ ดินในชุดการทดลองที่เติมถ่านชีวภาพจากต้นไผ่มีการเพิ่มปริมาณคาร์บอนและอินทรียวัตถุได้สูงที่สุด

ตลอดระยะเวลาการทดลอง 60 วัน แม้ปริมาณคาร์บอนและอินทรียวัตถุในทุกชุดทดลองจะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยตามธรรมชาติของการย่อยสลาย แต่ยังคงระดับที่สูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าในระยะยาว ดินที่ปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพจากฟางข้าวสามารถรักษาปริมาณคาร์บอน (ร้อยละ 8.20) และอินทรียวัตถุ (ร้อยละ 14.14) ให้คงเหลืออยู่ในดินได้สูงสุด (ตารางที่ 5) สะท้อนถึงบทบาทสำคัญของถ่านชีวภาพในการเป็นกลไกปรับปรุงโครงสร้างดินและกักเก็บคาร์บอนอย่างยั่งยืน

5.1.3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจน (Total Nitrogen)

การประเมินปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยในดินภายใต้การปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพชนิดต่าง ๆ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่าการเติมสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพทุกสูตรช่วยเพิ่มไนโตรเจนในดินได้อย่างชัดเจนตลอดระยะเวลาการทดลอง เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนของวัสดุปรับปรุงดินเพียงอย่างเดียว พบว่าสูตรผสมมีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุด รองลงมาคือ ทะลายปาล์ม ฟางข้าว และต้นไผ่ ตามลำดับ เมื่อเติมสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพลงในดิน ในวันเริ่มต้นทดลอง ดินชุดควบคุมมีไนโตรเจนเพียง 0.089% ขณะที่ดินที่เติมถ่านชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้น โดยดินที่เติมถ่านชีวภาพจากฟางข้าวให้ค่าสูงสุด รองลงมาคือ สูตรผสม ทะลายปาล์ม และต้นไผ่ (ตารางที่ 3) และยังคงมีแนวโน้มเดิมอย่างต่อเนื่องในระยะ 30 และ 60 วัน (ตารางที่ 4 และ 5) แต่ในชุดควบคุมมีไนโตรเจนลดลงอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ดินที่เติมถ่านชีวภาพยังคงมีค่าไนโตรเจนสูงกว่าอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะดินที่เติมถ่านชีวภาพจากฟางข้าวยังคงให้ค่าปริมาณไนโตรเจนเฉลี่ยสูงสุดในทุกช่วงเวลา แสดงให้เห็นว่าถ่านชีวภาพทุกชนิดช่วย

เพิ่มและคงระดับไนโตรเจนในดินได้ดีกว่าดินไม่ปรับปรุงอย่างชัดเจน โดยถ่านชีวภาพจากฟางข้าวมีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการเพิ่มและรักษาปริมาณไนโตรเจนในดิน

5.2 การเจริญเติบโตของต้นฟ้าทะลายโจร

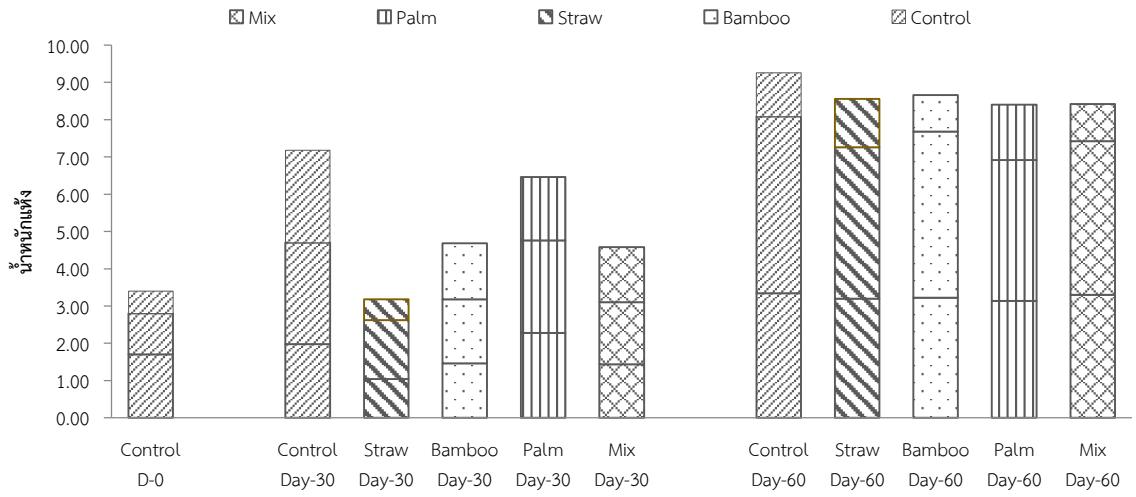
5.2.1 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง

การศึกษาการเจริญเติบโตของฟ้าทะลายโจรภายใต้การปรับปรุงดินด้วยสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพ 4 ชนิด เปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยติดตามน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง ที่ 30 วัน และ 60 วัน หลังย้ายปลูกลงในกระถาง พบว่า ที่ระยะ 30 วัน ฟ้าทะลายโจรมีการสะสมน้ำหนักสดสูงกว่าระยะ 60 วัน โดยชุดที่ปลูกด้วยถ่านชีวภาพจากต้นไผ่ และชุดควบคุมมีน้ำหนักสดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 40.60 ± 19.63 และ 39.00 ± 14.00 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ในขณะที่ชุดที่ปลูกด้วยถ่านชีวภาพจากฟางข้าว มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 16.40 ± 3.65 กรัมต่อต้น (ตารางที่ 7) เมื่อเข้าสู่ระยะ 60 วัน น้ำหนักสดเฉลี่ยของฟ้าทะลายโจรในเกือบทุกชุดทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับวันที่ 30 โดยชุดที่ปลูกด้วยถ่านชีวภาพจากฟางข้าวมีน้ำหนักสดมากที่สุดอยู่ที่ 18.2 ± 3.19 กรัมต่อต้น และชุดที่ปลูกด้วยถ่านชีวภาพจากลำต้นไผ่มีน้ำหนักสดน้อยที่สุดอยู่ที่ 15.4 ± 3.65 กรัมต่อต้น

ตารางที่ 7 น้ำหนักสดของต้นฟ้าทะลายโจรตามระยะเวลาการปลูก (กรัมต่อต้น)

ชนิดถ่านชีวภาพ	วันเริ่มต้น	วันที่ 30	วันที่ 60
ชุดควบคุม (A1)	14.6 ± 12.58	39.00 ± 14	13.80 ± 4.44
ฟางข้าว (A2)	-	16.40 ± 3.65	18.2 ± 3.19
ลำต้นไผ่ (A3)	-	40.60 ± 19.63	15.4 ± 3.65
ทะลายปาล์ม (A4)	-	27.60 ± 5.41	18 ± 5.96
สูตรผสม (A5)	-	29.00 ± 7.07	16.8 ± 2.77

ในด้านน้ำหนักแห้ง ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักของต้นฟ้าทะลายโจรแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุของพืชในทุกชุดทดลอง ที่ระยะ 30 วัน การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) ร่วมกับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี Tukey's HSD พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ โดยชุดควบคุมมีน้ำหนักแห้งรวมสูงสุด ขณะที่ชุดที่ปลูกด้วยถ่านชีวภาพจากทะลายปาล์ม และ สูตรผสมมีน้ำหนักแห้งรวมรองลงมา ส่วนชุดถ่านชีวภาพจากต้นไผ่และฟางข้าวมีน้ำหนักแห้งรวมต่ำรองลงมาตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าชนิดของถ่านชีวภาพมีผลต่อการสะสมมวลชีวภาพแห้งของฟ้าทะลายโจร ในช่วงต้นของการปลูกอย่างมีนัยสำคัญ ในระยะ 60 วัน น้ำหนักแห้งรวมของทุกชุดการทดลองเพิ่มขึ้นเข้าสู่ช่วง 8.40–9.26 กรัมต่อต้น แต่ผลการวิเคราะห์ ANOVA และการทดสอบ Tukey's HSD ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 กราฟแสดงน้ำหนักแห้งของต้นฟ้าทะลายโจร

5.2.2 การเปลี่ยนแปลงของส่วนสูง

ผลการเจริญเติบโตของฟ้าทะลายโจรในด้านส่วนสูงภายใต้การปรับปรุงดินด้วยสารปรับปรุงดินจากถ่านชีวภาพชนิดต่าง ๆ แสดงให้เห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความสูงอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงการติดตาม 8 สัปดาห์ โดยค่าเฉลี่ยความสูงในสัปดาห์ที่ 1 อยู่ที่ประมาณ 30–36 เซนติเมตร และเพิ่มขึ้นจนอยู่ในช่วงประมาณ 39–48 เซนติเมตร ในสัปดาห์ที่ 8 ทุกชุดการทดลองมีรูปแบบการเพิ่มขึ้นของความสูงคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ มีการยืดตัวอย่างชัดเจนในช่วงสัปดาห์ที่ 1–5 ก่อนเข้าสู่ระยะทรงตัวหรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงสัปดาห์ที่ 6–8 ทั้งนี้ชุดที่ปลูกด้วย ถ่านชีวภาพจากฟางข้าว มีค่าเฉลี่ยความสูงต่ำกว่าชุดอื่นเล็กน้อยในทุกสัปดาห์ ขณะที่ชุด ควบคุม ทะลายปาล์ม สูตรผสม และต้นไผ่ มีค่าเฉลี่ยความสูงในสัปดาห์ที่ 8 อยู่ที่ประมาณ 42.72–47.94 เซนติเมตร

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แสดงให้เห็นว่า ชนิดของถ่านชีวภาพไม่มีผลต่อความสูงเฉลี่ยของฟ้าทะลายโจรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สะท้อนให้เห็นว่าการใช้ถ่านชีวภาพทั้ง 4 ชนิดให้ผลต่อความสูงของต้นในภาพรวมไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ แม้ค่าเฉลี่ยของบางชุด เช่น ชุดที่ปลูกด้วยถ่านชีวภาพจากฟางข้าว จะต่ำกว่าชุดอื่นในเชิงตัวเลขก็ตาม ในทางตรงกันข้าม ตัวแปรด้านเวลามีผลต่อความสูงของฟ้าทะลายโจรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .001$) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอายุพืชเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดการยืดตัวของต้น มากกว่าชนิดของถ่านชีวภาพที่ใช้ปรับปรุงดิน

การปรับปรุงดินด้วยถ่านชีวภาพจากวัสดุทั้งสี่ชนิดไม่ทำให้ความสูงของฟ้าทะลายโจรแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พืชในทุกชุดการทดลองมีการเพิ่มความสูงตามอายุอย่างต่อเนื่องตลอดช่วง 8 สัปดาห์ แสดงให้เห็นว่าการใช้ถ่านชีวภาพในระดับและเงื่อนไขการทดลองนี้ไม่เป็นปัจจัยจำกัดการยืดตัวของฟ้าทะลายโจร แต่การเปลี่ยนแปลงของความสูงส่วนใหญ่เกิดจากความก้าวหน้าของระยะการเจริญเติบโตของพืชเองเป็นสำคัญ

6. สรุปผลการศึกษา

ถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร สามารถปรับปรุงคุณภาพดินเสื่อมโทรมในจังหวัดนครนายกได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยช่วยเพิ่มค่า pH ของดินให้เหมาะสมต่อการดูดซึมธาตุอาหาร และยกระดับปริมาณอินทรียวัตถุรวมถึงการกักเก็บคาร์บอนในดินอย่างชัดเจน โดยเฉพาะถ่านชีวภาพจากฟางข้าวที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการรักษาปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนได้ในระยะยาว ในด้านการเจริญเติบโตของฟ้าทะลายโจรพบว่าพืชมีการสะสมมวลชีวภาพแห้งเพิ่มขึ้นตามอายุ และมีขนาดความสูงไม่แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญในช่วงสิ้นสุดการทดลอง สรุปได้ว่าการใช้ถ่านชีวภาพเป็นแนวทางที่ยั่งยืนในการฟื้นฟูความอุดมสมบูรณ์ของดินควบคู่ไปกับการผลิตสมุนไพรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยในอนาคตควรเพิ่มเติมการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางยาในต้นฟ้าทะลายโจรภายใต้การปรับปรุงด้วยถ่านชีวภาพเพิ่มเติมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] สุรัสวดี จันทร์บุญนะ. (2568, มีนาคม). ปัญหาวิกฤตดินไทยเสื่อมโทรมและดินปนเปื้อน. รายการร้อยเรื่อง...เมืองไทย, สถานีวิทยุกระจายเสียงรัฐสภา และสำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร.

[2] Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. Biology and Fertility of Soils, 35(3), 219–230. https://doi.org/10.1007/s00374-002-0466

[3] Masulili, A., Utomo, W. H., & Syechfani, M. (2010). Rice husk biochar for rice-based cropping system in acid soil: The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in West Kalimantan, Indonesia. Journal of Agricultural Science, 2(1), 39-47. https://doi.org/10.5539/jas.v2n1p39

[4] Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C. and Crowley, D. (2011) Biochar Effects on Soil Biota—A Review. Soil Biology & Biochemistry, 43, 1812-1836. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022

[5] Phongthep, H., Jiranut, W., Tanakit, S., Sathaporn, J., & Sukanya, T. (2017). Soil respiration in rubber tree plantation applied with biochar. Research Journal of Chemistry and Environment, 21(10), 27–34. https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85041112866&origin=resultslist

[6] พินิจภณ ปิตุยะ. (2557). เอกสารองค์ความรู้เรื่องถ่านชีวภาพ. ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.

[7] Winsley, S. R. (2007). Pyrolysis of agricultural wastes for biochar production. Energy for Sustainable Development, 11(4), 79–86.

[8] Abdullah, N., Taib, R. M., Mohamad Aziz, N. S., Omar, M. R., & Md Disa, N. (2023). Banana pseudo-stem biochar derived from slow and fast pyrolysis process. Heliyon, 9, e12940. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12940

[9] ณิชาภัทร สิทธิวรนนท์. (2562). ผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน การกักเก็บน้ำในดิน และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[10] คณะกรรมการนโยบายสมุนไพรแห่งชาติ. (2566). แผนปฏิบัติการด้านสมุนไพรแห่งชาติ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2566–2570 (พิมพ์ครั้งที่ 2). กองสมุนไพรเพื่อเศรษฐกิจ กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข.

[11] Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I. F., Anshori, S., & Ogawa, M. (2006). Effects of the application of charred bark of Acacia mangium on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. Soil Science and Plant Nutrition, 52(4), 489–495. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2006.00065.x

[12] กมลชนก เจริญศรี, วรชาติ วิศวพิพัฒน์, ทิมทอง ดรุณสนธยา, ณัฐพร ประคองเก็บ. (2560). อิทธิพลของถ่านชีวภาพจากปาล์มน้ำมันต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารพืชและการละลายของฟอสฟอรัสในดินนาเปรี้ยวจัด. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.

[13] Jemal, K., & Yakob, A. (2021). Role of biochar on the amelioration of soil acidity. Agrotechnology, 10(4), 212. https://www.researchgate.net/publication/353406424

[14] กรมพัฒนาที่ดิน. (2567). ผลงานการถอดบทเรียนการจัดการดินเพื่อปลูกพืชสมุนไพร: เผยแพร่ในวันครบรอบสถาปนา 61. กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[15] คณะกรรมการนโยบายสมุนไพรแห่งชาติ. (2566). แผนปฏิบัติการด้านสมุนไพรแห่งชาติ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2566–2570 (พิมพ์ครั้งที่ 2). กองสมุนไพรเพื่อเศรษฐกิจ กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข. ISBN 978-616-11-5107-2

[16] Shetty, R., & Prakash, N. B. (2020). Effect of different biochars on acid soil and growth parameters of rice plants under aluminium toxicity. Scientific Reports, 10(1), 12249. https://doi.org/10.1038/s41598-020-69262-x

[17] ปิยะ ดวงพัตรา. 2556. สารปรับปรุงดิน. ภาคปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 256 หน้า.

[18] O' Kennedy, S. (2022). Soil pH and its impact on nutrient availability and crop growth. International Journal of Geography, Geology and Environment, 4(2), 236–238. https://www.geojournal.net

[19] Joseph, S. D., Camps-Arbestain, M., Lin, Y., Munroe, P., Chia, C. H., Hook, J., van Zwieten, L., Kimber, S., Cowie, A., Singh, B. P., Lehmann, J., Foidl, N., Smernik, R. J., & Amonette, J. E. (2010). An investigation into the reactions of biochar in soil. Australian Journal of Soil Research, 48, 501–515. https://doi.org/10.1071/SR10009

การพัฒนาฟิล์มชีวภาพอัจฉริยะจากเห็ดเข็มทองและเปลือกหอมแดงเสริมสารสกัดแอนโทไซยานินเพื่อบ่งชี้ความสดของผลิตภัณฑ์ปูอัด

ปภาวิน ศิริสุวรรณ, โชติการ เฉลิมเมือง, สุธี จุ้งลก*, และ กรองทอง เจริญวัฒนวิโรจน์

โรงเรียนเบตง "วีระราษฎร์ประสาน", 19 ถ.รวมวิทย์ ตำบลเบตง, อำเภอเบตง จังหวัดยะลา 95110 ประเทศไทย

**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th; paphawin0251@gmail.com*

บทคัดย่อ

วิกฤตการณ์ขยะพอลิเมอร์สังเคราะห์และความเสี่ยงจากการสะสมของไมโครพลาสติกในร่างกายมนุษย์เป็นแรงขับเคลื่อนสำคัญในการปฏิวัตินวัตกรรมบรรจุภัณฑ์ยั่งยืน โครงงานนี้จึงมุ่งพัฒนาระบบบรรจุภัณฑ์เชิงหน้าที่ในรูปแบบ "ฟิล์มชีวภาพอัจฉริยะ" จากการอัปไซเคิลวัสดุเหลือทิ้งอย่างเห็ดเข็มทองและเปลือกหอมแดง เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวต้านจุลชีพ และระบบแจ้งเตือนคุณภาพอาหารเชิงลึก โดยประยุกต์ใช้การสกัดเชิงความร้อนในสภาวะกรดเพื่อดึงประสิทธิภาพสูงสุดของไคตินและเควอซิทินนำมาจัดเรียงโมเลกุลในโครงข่ายพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพสมบูรณ์ ปราศจากสารตกค้างและปลอดภัยต่อสุขภาพผู้บริโภคในระยะยาว

หัวใจสำคัญของนวัตกรรมคือการบูรณาการแอนโทไซยานินเพื่อเป็น "เซนเซอร์เชิงชีวภาพ" (Biosensor) ผลการทดลองเชิงประจักษ์พบว่าฟิล์มที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะทางกายภาพที่โดดเด่น ทั้งความโปร่งแสงและความเสถียรทางโครงสร้างสูง โดยสารเควอซิทินสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ชะลอการเน่าเสียและยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ปูอัดได้เหนือกว่าบรรจุภัณฑ์พลาสติกทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อปูอัดเริ่มเสื่อมสภาพ ฟิล์มจะแสดงปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีเชิงวิเคราะห์จากสีม่วงเป็นสีเขียวและเหลืองอย่างชัดเจน และฉับไว สัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณก๊าซแอมโมเนียและดัชนีสารประกอบไนโตรเจนระเหยง่าย *(TVB-N)* จากกระบวนการเมแทบอลิซึมของแบคทีเรีย

สรุปได้ว่านวัตกรรมฟิล์มพอลิเมอร์ธรรมชาตินี้ไม่เพียงแต่ลดความเสี่ยงจากการรับไมโครพลาสติกเข้าสู่ร่างกาย และขจัดขยะพลาสติกที่ย่อยสลายยาก แต่ยังเป็นต้นแบบที่บูรณาการตามแนวคิดเศรษฐกิจ BCG เพื่อยกระดับความมั่นคงทางอาหารและตอบโจทย์เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ของสหประชาชาติได้อย่างเป็นรูปธรรมและทรงพลัง

คำสำคัญ: ฟิล์มชีวภาพอัจฉริยะ / เซนเซอร์เชิงชีวภาพ / พอลิเมอร์ธรรมชาติย่อยสลายได้ / การยับยั้งจุลินทรีย์ / ดัชนีสารประกอบไนโตรเจนระเหยง่าย

Development of smart biopolymer films from golden needle mushroom and shallot peels incorporated with anthocyanins for freshness monitoring of imitation Crab Stick

Paphawin Sirisuwan, Chotikarn Chalermmueang, Suthee Junglok*, and Krongthong Jaroenwattanawirot

Betong Wiraratprasan, 19 Ruamwit Road, Betong District, Yala Province, Thailand
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th; paphawin0251@gmail.com*

Abstract

The global crisis of synthetic polymer pollution and the alarming bioaccumulation of microplastics in human tissues have emerged as critical drivers for a paradigm shift in sustainable packaging. This project pioneers the development of a multifunctional "Intelligent Bio-composite Film" engineered through the upcycling of agricultural waste—specifically *Flammulina velutipes* (Enoki mushroom) and *Allium cepa* (Red onion) skins. By employing an acid-thermal extraction technique, we maximized the synergistic potential of chitin and quercetin, reorganizing their molecular structures within a 100% biodegradable natural polymer matrix that ensures long-term consumer safety and zero chemical residues.

The hallmark of this innovation is the seamless integration of anthocyanins to function as a sophisticated chromogenic biosensor. Our empirical findings reveal that the resulting film possesses exceptional physical characteristics, including high optical clarity and robust structural integrity. Furthermore, the infused quercetin acts as a potent antimicrobial agent, significantly inhibiting microbial proliferation. This effectively retards spoilage and extends the shelf life of surimi products, outperforming conventional plastic packaging with high statistical significance.

The intelligence of the system is demonstrated when food begins to degrade; the film triggers a rapid and vivid analytical color shift from purple to green and yellow. This transition is directly coupled with the release of ammonia gas and the Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N) index—a byproduct of bacterial metabolism. Ultimately, this natural polymer innovation transcends mere waste reduction; it stands as a powerful BCG-aligned prototype that enhances food security and provides a concrete solution to the United Nations' Sustainable Development Goals (SDGs).

Keywords: Intelligent Bio-composite Film/ Chromogenic Biosensor/ Fully Biodegradable Natural Polymers/ Antimicrobial Activity/ *TVB-N*

1. บทนำ

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา นักวิจัยด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุขได้รายงานการตรวจพบไมโครพลาสติกในอาหารหลายประเภท รวมถึงอาหารทะเลและผลิตภัณฑ์แปรรูป โดยการทบทวนงานวิจัยในปี พ.ศ. 2565 (ค.ศ. 2022) ระบุว่าไมโครพลาสติกสามารถปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหาร และอาจเป็นพาหะนำสารเคมีหรือสิ่งปนเปื้อนอื่นเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ ซึ่งยังอยู่ระหว่างการศึกษาผลกระทบระยะยาวต่อสุขภาพ

อาหารทะเลเป็นกลุ่มที่ตรวจพบไมโครพลาสติกอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากสัตว์น้ำสามารถสะสมอนุภาคจากสิ่งแวดล้อมก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์แปรรูปอย่าง “ปูอัด” ซึ่งผลิตจากเนื้อปลาบดปรุงแต่ง ผ่านกระบวนการขึ้นรูปและให้ความร้อน แม้จะผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรมแล้ว แต่ยังคงเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา โดยเฉพาะการสลายตัวของโปรตีนที่ทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงและก่อให้เกิดสารประกอบที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพ ซึ่งไม่สามารถสังเกตได้อย่างแม่นยำด้วยสายตาเพียงอย่างเดียว

จากบริบทดังกล่าว คณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนานวัตกรรมที่สามารถบ่งชี้ความสดของผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โครงงานนี้มุ่งพัฒนา ฟิล์มชีวภาพอัจฉริยะจากเห็ดเข็มทองและเปลือกหอมแดงเสริมสารสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน เพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้ความสดของผลิตภัณฑ์ปูอัด โดยอาศัยคุณสมบัติการเปลี่ยนสีของแอนโทไซยานินที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH อันเกิดจากกระบวนการเสื่อมสภาพของโปรตีน

นวัตกรรมดังกล่าวไม่เพียงช่วยให้ผู้บริโภคสามารถประเมินความสดของอาหารได้อย่างเป็นรูปธรรม แต่ยังส่งเสริมการใช้วัสดุชีวภาพและเพิ่มมูลค่าของทรัพยากรธรรมชาติ ลดการพึ่งพาพลาสติกสังเคราะห์ และสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาอย่างยั่งยืนในอุตสาหกรรมอาหารยุคใหม่

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสกัดพอลิเมอร์ชีวภาพจากโคนเห็ดเข็มทอง และสาระสำคัญทางชีวภาพ
2. เพื่อพัฒนาฟิล์มชีวภาพอัจฉริยะที่สามารถย่อยสลายได้ และมีสมบัติต้านการเจริญเติบโตของเชื้อรา
3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงเฉดสีของฟิล์มบ่งชี้ เมื่อตอบสนองต่อก๊าซจากการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ปูอัด

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาการสกัดพอลิเมอร์ธรรมชาติกลุ่มไคติน-กลูแคนจากส่วนโคนของก้านเห็ดเข็มทอง เพื่อใช้เป็นโครงสร้างหลัก ในการขึ้นรูปฟิล์มชีวภาพ
2. ศึกษาการสกัดสารเควอซิทินและแอนโทไซยานินจากเปลือกหอมแดงและดอกอัญชันด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้การเน่าเสียของอาหาร
3. ศึกษาประสิทธิภาพการเปลี่ยนสีของฟิล์มชีวภาพอัจฉริยะในการตรวจวัดก๊าซจากดัชนีการเน่าเสียเมื่อนำไปใช้งานกับผลิตภัณฑ์ปูอัด
4. ศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหารของฟิล์มชีวภาพที่เสริมสารสกัดจากธรรมชาติภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิ

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อพัฒนาบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะจากวัสดุธรรมชาติ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

4.1.1 การเตรียมและสกัดไคตินจากโคนเห็ดเข็มทอง นำโคนเห็ดเข็มทองมาล้างสะอาด อบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นละเอียดเป็นผง จากนั้นนำผงเห็ด 4 กรัม ต้มกับน้ำส้มสายชู 5 mL และน้ำ 150 mL ที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อสกัดไคติน

4.1.2 การสกัดเควอซิทินจากเปลือกหอมแดง นำเปลือกหอมแดง 3 กรัม อบที่อุณหภูมิ 60°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นละเอียด จากนั้นต้มในน้ำ 100 mL ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที แล้วกรองแยกกากออก

4.1.3 การสกัดแอนโทไซยานินจากดอกอัญชัน นำดอกอัญชัน 5 กรัม ปั่นกับน้ำ 100 mL นำไปต้มที่อุณหภูมิ 60°C แล้วกรองเอาเฉพาะส่วนน้ำสีม่วงเข้ม

4.1.4 การขึ้นรูปฟิล์มชีวภาพอัจฉริยะ นำสารสกัดไคติน 120 mL ต้มที่ 80°C เติมแป้งมันสำปะหลัง 5 กรัม ที่ละลายน้ำแล้ว เจลาติน 5 กรัม และกลีเซอรีน 2 mL กวนจนเป็นเนื้อเดียวกัน ปิดไฟแล้วจึงเติมสารสกัดเควอซิทิน 20 mL และสารสกัดอัญชัน 20 mL จากนั้นเทลงถาดเกลี่ยให้เท่ากันและนำไปอบที่ 70°C นาน 4 ชั่วโมง 30 นาที

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เพื่ออธิบายลักษณะทางกายภาพ สมบัติการละลายน้ำ และการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม โดยใช้การสังเกตและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการละลายของฟิล์มในน้ำที่อุณหภูมิต่างกัน รวมถึงการบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงเฉดสีของฟิล์มเมื่อสัมผัสกับสภาวะกรด-ด่าง และการตรวจวัดประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในช่วงระยะเวลา 7 วัน

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการสืบค้นและทดลองพัฒนาฟิล์มชีวภาพอัจฉริยะ โดยใช้ฐานข้อมูลทางวิชาการและผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ มีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

5.1 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของสารละลายพอลิเมอร์ผสม

จากผลการทดลองที่ 1 พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ทั้งในสภาวะอุณหภูมิห้อง และน้ำร้อน โดยในน้ำอุณหภูมิปกติ พอลิเมอร์จะใช้เวลาในการละลายค่อนข้างช้า (เฉลี่ย 40 นาที) แต่เมื่อทดสอบในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 °C พบว่าสามารถละลายได้ดีและรวดเร็วขึ้นอย่างชัดเจน โดยใช้เวลาเพียง 8 นาทีเท่านั้น (ตารางที่ 1)

นอกจากนี้ ในด้านลักษณะพื้นฐานทางกายภาพ พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีความยืดหยุ่นและปรากฏเป็นสีม่วงอ่อน ซึ่งเป็นผลมาจากสีธรรมชาติของสารสกัดแอนโทไซยานินที่เติมลงไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วรัญญู รัตนพันธุ์ และคณะ [1] ในด้านความยืดหยุ่นเชิงกลและการประสานตัวของเนื้อฟิล์มจากเส้นใยธรรมชาติ แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของพอลิเมอร์มีความเข้ากันได้ดี และสามารถรักษาเสถียรภาพของสารสีไว้ในเนื้อฟิล์มได้ในเบื้องต้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาเสถียรภาพ ของสารสีธรรมชาติของสุชาดา บุญเกื้อ [2] โดยลักษณะทางกายภาพและการละลายน้ำดังกล่าว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gontard et al. [3] เกี่ยวกับฟิล์มบริโภคได้ (Edible Films) ที่ระบุว่าโครงสร้างพอลิเมอร์ที่ดีต้องสามารถรวมตัวกับสารเติมแต่ง ได้ดีและรักษาสมบัติทางกายภาพไว้ได้ การที่ฟิล์มสามารถละลายน้ำได้ดียังช่วยลดปัญหาขยะบรรจุภัณฑ์ และไมโครพลาสติกตกค้างในสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

ตารางที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติการละลายน้ำของพอลิเมอร์ผสม เบื้องต้น

การทดสอบ	ผลการทดสอบ
การละลายในน้ำ	ละลายน้ำได้ช้า (เวลา 40 นาที)
การละลายในน้ำร้อน (90 °C)	ละลายน้ำได้ดีและรวดเร็ว (เวลา 8 นาที)
ลักษณะพื้นฐาน	มีความยืดหยุ่น โปร่งแสงสีม่วงอ่อน

5.2 ประสิทธิภาพการยับยั้งจุลินทรีย์และการประยุกต์ใช้เพื่อความยั่งยืน

จากผลการทดลองที่ 2 พบว่า ฟิล์มชีวภาพอัจฉริยะที่ผสมสารสกัดจากเปลือกหอมแดงสามารถชะลอการเกิดเชื้อรา และแบคทีเรียบนปูอัดได้ยาวนานกว่ากลุ่มอื่นถึง 7 วันนั้น สามารถอภิปรายผลได้ว่าเกิดจากฤทธิ์ของสารเควอซิทิน (Quercetin) ซึ่งเป็นสารสำคัญในเปลือกหอมแดง โดยมีกลไกทางเคมีในการยับยั้งเชื้อคือ สารเควอซิทินจะเข้าไปรบกวนการทำงานของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะกลุ่มแบคทีเรียแกรมลบอย่าง *Pseudomonas* spp. ส่งผลให้เซลล์ของจุลินทรีย์สูญเสียสมดุลและไม่สามารถขยายพันธุ์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กิตติมา มนตรา และคณะ [4] ในด้านประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ และ สิริมา พานิช และคณะ [5] ในด้านความสามารถในการขยายตัวและออกฤทธิ์ของสารสกัดฟลาโวนอยด์เมื่อบูรณาการเข้ากับโครงข่ายพอลิเมอร์ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าฟิล์มที่พัฒนาขึ้นสามารถทำหน้าที่เป็นระบบนำส่งสารต้านจุลชีพที่มีประสิทธิภาพ (ตารางที่ 2)

นอกจากนี้ การเปลี่ยนสีของฟิล์มเพื่อแจ้งเตือนความสด สอดคล้องกับการศึกษาของ ณัฐพร แก้วประดิษฐ์ และคณะ [6] ในด้านการตอบสนองเชิงสีของแอนโทไซยานินต่อสภาวะความเป็นด่างที่เกิดจากก๊าซแอมโมเนีย และ Huang, S., et al. [7] โดยโครงสร้างฟิล์มจากไคติน-กลูแคนยังมีส่วนช่วยป้องกันไม่ให้ออกซิเจนซึมผ่านเข้าไปได้ง่าย สอดคล้องกับสมบัติการเป็นเกราะป้องกันก๊าซของไคตินตามงานวิจัยของ Dhillon, G. S., และคณะ [8] การพัฒนาโครงงานนี้จึงเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาสร้างมูลค่าเพิ่มตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน และช่วยลดการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายยากได้อย่างยั่งยืน

ตารางที่ 2 การสังเกตลักษณะทางกายภาพและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระยะเวลา 7 วัน

วันที่	ไม่ห่อ	ห่อพลาสติก	ห่อฟิล์มชีวภาพอัจฉริยะ
1	ผิวเริ่มแห้ง สีซีดลงเล็กน้อย กลิ่นปกติ	เนื้อชุ่มชื้น กลิ่นปกติ	ฟิล์มสีม่วงปกติ ไม่พบรา
2	ผิวแห้งแข็ง เริ่มมีกลิ่นคาว	มีไอน้ำเกาะข้างในพลาสติก	ฟิล์มสภาพสมบูรณ์ไม่พบรา
3	เริ่มมีเมือกเหนียวและกลิ่นคาว	เนื้อนิ่ม มีกลิ่นคาว	ฟิล์มเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำเงินแกมเขียว ไม่พบรา
4	กลิ่นเน่า สีคล้ำ	เริ่มมีเมือกขาวขุ่น	ไม่พบราบนผิวฟิล์มและปูอัด
5	พบเชื้อราจุดสีดำ/เทา	กลิ่นแรง เนื้อเละ	ฟิล์มเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีเขียว ไม่พบราบนผิวฟิล์มและปูอัด
6	เชื้อราขยายตัวครอบคลุมเนื้อ	เน่าเสีย	ฟิล์มยังคงรูปเดิม ไม่พบรา
7	มีกลิ่นรุนแรง	พบเชื้อราใต้พลาสติก	เริ่มพบจุดราเล็กน้อยที่ขอบ

6. สรุปผลการศึกษา

การพัฒนาฟิล์มชีวภาพอัจฉริยะจากโคนเห็ดเข็มทอง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของวัสดุ ที่ช่วยในการถนอมอาหารและบ่งชี้ความสดของผลิตภัณฑ์ปูอัด ผลการทดลองพบว่าฟิล์มที่พัฒนาขึ้น มีลักษณะที่เรียบเนียน ยืดหยุ่น และมีความเสถียรทางโครงสร้างภายใต้การควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสม โดยมีคุณสมบัติที่สามารถตอบสนองต่อสภาวะความเป็นกรด-ด่างได้

จากการทดสอบพบว่า สารสกัดแอนโทไซยานินและเควอซิทินในเนื้อฟิล์มสามารถตอบสนอง ต่อก๊าซไนโตรเจน (TVB-N) ที่เกิดจากการเน่าเสียของปูอัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นกลไกสำคัญ ในการดัชนีชี้วัดความสด โดยเมื่อฟิล์มสัมผัสกับก๊าซ จากการเน่าเสียในสภาวะอุณหภูมิห้อง พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงเฉดสีจากสีม่วงอมน้ำเงินเป็นสีน้ำเงินเข้มและสีเขียวตามลำดับ ซึ่งเกิดขึ้นเร็วกว่า และชัดเจนกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่ห่อหรือห่อด้วยพลาสติกใสทั่วไป นอกจากนี้สารสกัดเควอซิทินยังสามารถชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อราบนแผ่นฟิล์มได้จนถึงวันที่ 7 ของการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

[1] วรัญญู รัตนพันธุ์, และคณะ. (2563). *การขึ้นรูปฟิล์มชีวภาพจากเห็ดและเจลาตินเพื่อการบรรจุภัณฑ์เชิงนิเวศ*. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[2] สุชาดา บุญเกื้อ. (2566). *การสกัดและเสถียรภาพของสารสีธรรมชาติในสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน*. สงขลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.

[3] Gontard, N., Guilbert, S., & Cuq, J. L. (1993). Edible wheat gluten films: Influence of the main process variables. *Journal of Food Science*, *58*(4), 853-859.

[4] กิตติมา มนตรา, และคณะ. (2565). *การพัฒนาบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะเพื่อตรวจสอบการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำแปรรูป*. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[5] สิริมา พานิช, และคณะ. (2564). *คุณสมบัติของเควอซิทินจากเปลือกหอมแดงและการยับยั้งจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหาร*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[6] ณัฐพร แก้วประดิษฐ์, และคณะ. (2565). *สารสกัดแอนโทไซยานินจากพืชธรรมชาติและการประยุกต์ใช้ในฟิล์มบ่งชี้ความสดของอาหาร*. นครศรีธรรมราช: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

[7] Huang, S., et al. (2019). A novel colorimetric packaging film based on nano-cellulose and anthocyanins for real-time monitoring of shrimp freshness. *Food Control*, *100*, 100-110.

[8] Dhillon, G. S., Kaur, S., & Brar, S. K. (2012). *Chitin and chitosan: Production from marine and terrestrial sources and their applications*. Canada: Institut National de la Recherche Scientifique.

สร้างโอกาสจากสื่อใกล้ตัว: แนวทางการใช้โซเชียลมีเดีย เพื่อประชาสัมพันธ์สินค้าเกษตรอย่างยั่งยืน

ธวัชชัย ก้านศรีรัตน์* และ พรชนก นุชนารถ

กลุ่มวิชาการและหลักสูตร โครงการจัดตั้งวิทยาเขตนครสวรรค์ มหาวิทยาลัยมหิดล อำเภอพยุหะคีรี จังหวัดนครสวรรค์ ประเทศไทย

**Corresponding author: thawatchai.kan@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีการดำเนินงานจัดขึ้น กับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ ในรูปแบบการบรรยายร่วมกับเวิร์กชอปเชิงปฏิบัติการ ระยะเวลา 3 ชั่วโมง โดยออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้บนแนวคิดของการถ่ายทอดประสบการณ์จริง การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ และการส่งเสริมการคิดเชิงประยุกต์ มากกว่าการมุ่งสอนการใช้เครื่องมือหรือเทคนิคเชิงเทคโนโลยีโดยตรง

เนื้อหาการถ่ายทอดความรู้ มุ่งเน้นการสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทของสื่อใกล้ตัว ในฐานะเครื่องมือทางการเรียนรู้และการสื่อสารดิจิทัล เพื่อการเข้าถึงกลุ่มเป้าหมาย การสื่อสารคุณค่าของสินค้าเกษตร และการเชื่อมโยงการใช้สื่อสังคมออนไลน์กับบริบทการเรียนรู้ด้านการงานและอาชีพในยุคดิจิทัล ผลจากการจัดกิจกรรมสะท้อนให้เห็นว่า นักเรียนสามารถใช้สื่อสังคมออนไลน์ในการประชาสัมพันธ์สินค้าเกษตรได้อย่างเป็นระบบมากขึ้น เห็นความเชื่อมโยงระหว่างทักษะดิจิทัลกับโอกาสทางอาชีพ และบทบาทของสื่อสังคมออนไลน์ ในการสนับสนุนการเรียนรู้ที่นำไปสู่การประยุกต์ใช้จริง บทความนี้จึงสะท้อนบทบาทของการพัฒนาศักยภาพเยาวชนด้านการสื่อสารดิจิทัล ในฐานะกลไกการเรียนรู้ที่สนับสนุนแนวคิดเกษตรกรรมที่ยั่งยืน เพื่อนำไปสู่ความมั่นคงทางอาหาร สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน เป้าหมายที่ 2 ที่ให้ความสำคัญกับความมั่นคงทางอาหารและการส่งเสริมเกษตรกรรมที่ยั่งยืน

คำสำคัญ: โซเชียลมีเดีย / การตลาดสินค้าเกษตร / ทักษะดิจิทัล / เยาวชน / เกษตรยั่งยืน

Creating opportunities from familiar media: Educational approaches to social media use for sustainable agriculture

Thawatchai Kansrirat* **and Pornchanok Nutchanart**

Academic and Curriculum Division, Nakhonsawan Campus, Mahidol University, Thailand

**Corresponding author: thawatchai.kan@mahidol.ac.th*

Abstract

This article aims to present practical approaches to using social media for communicating and disseminating agricultural products that students and youth can readily apply in order to initiate the sharing of agricultural products from their own activities or local communities. The activity was conducted with Grade 11 Thailand students at Takhliprachasan School, Nakhon Sawan Province, Thailand, through a lecture combined with a practice-based workshop, with a total duration of three hours. The learning activities were designed based on experience-based knowledge sharing, collaborative learning, and the development of applied thinking, rather than focusing on direct instruction in specific tools or technical procedures.

The knowledge-sharing content focused on building students' understanding of the role of familiar media as learning tools and digital communication resources for reaching intended audiences, communicating the value of agricultural products, and connecting social media use with career-related learning in a digital context. The outcomes of the activity indicate that students were able to use social media for agricultural product communication in a more systematic manner, recognized the relationship between digital skills and career opportunities, and became aware of the role of social media in supporting learning that leads to practical application. This article therefore reflects the role of youth capacity building in digital communication as a learning mechanism that supports the concept of sustainable agriculture and contributes to food security. The study aligns with Sustainable Development Goal 2, which emphasizes food security and the promotion of sustainable agriculture.

Keywords: Social media / Agricultural marketing / Digital literacy / Youth / Sustainable agriculture

1. บทนำ

ปัจจุบันสื่อสังคมออนไลน์เป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันของคนทุกวัย โดยเฉพาะเยาวชนที่คุ้นเคยกับการใช้สื่อดิจิทัลในการสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูล ตามที่ Kaplan และ Haenlein [1] ได้อธิบายว่า สื่อสังคมออนไลน์เป็นแพลตฟอร์มที่เปิดโอกาสให้ผู้ใช้สร้างและแลกเปลี่ยนเนื้อหาได้อย่างมีส่วนร่วม และกลายเป็นส่วนหนึ่งของพฤติกรรมการสื่อสารในชีวิตประจำวันของคนยุคดิจิทัล อย่างไรก็ตาม การนำสื่อใกล้ตัวเหล่านี้มาใช้เพื่อสื่อสารและเผยแพร่สินค้าเกษตรอย่างเหมาะสมยังไม่เป็นระบบ โดยเฉพาะในระดับโรงเรียนและชุมชน นักเรียนจำนวนมากยังมองสื่อสังคมออนไลน์เป็นเพียงช่องทางเพื่อความบันเทิง มากกว่าจะเห็นศักยภาพในการใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้และการสร้างโอกาสด้านอาชีพ ดังจะได้เห็นจากรายงานของ Pew Research Center [2] ระบุว่า วัยรุ่นส่วนใหญ่ใช้สื่อสังคมออนไลน์เพื่อความบันเทิง การติดต่อเพื่อน และการบริโภคเนื้อหา มากกว่าการใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทางการศึกษาโดยตรง นอกจากนี้ Greenhow และ Lewin [3] ยังอธิบายอีกว่า แม้สื่อสังคมออนไลน์จะมีศักยภาพทางการศึกษา แต่การนำมาใช้ในบริบทการเรียนรู้ยังต้องการการออกแบบกิจกรรมอย่างเป็นระบบ มิฉะนั้นจะถูกใช้ในเชิงสันทนาการมากกว่าเชิงวิชาการ ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างการใช้ดิจิทัลเพื่อความบันเทิงกับการใช้เพื่ออาชีพ ตามที่ OECD (2021) [4] อธิบายว่า “เยาวชนจำนวนมากมีทักษะการใช้เทคโนโลยีพื้นฐาน แต่ยังขาดการเชื่อมโยงทักษะดิจิทัลกับโอกาสทางอาชีพและเศรษฐกิจ” ในขณะเดียวกัน แนวคิดเรื่องเกษตรกรรมที่ยั่งยืนและความมั่นคงทางอาหาร ไม่ได้หมายถึงเพียงการผลิตอาหารให้เพียงพอเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการสร้างระบบที่ช่วยให้สินค้าเกษตรสามารถเข้าถึงผู้บริโภคได้อย่างต่อเนื่องและเป็นธรรม การสื่อสารข้อมูลสินค้าอย่างเหมาะสมจึงเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการสนับสนุนระบบอาหารในระดับชุมชน ดังจะเห็นได้จาก การนำเสนอของ FAO [5] ที่อธิบายว่า เกษตรกรรมที่ยั่งยืนต้องครอบคลุมทั้งมิติด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม รวมถึงการทำให้ระบบอาหารสามารถดำรงอยู่ได้ในระยะยาว และเกษตรกรมีรายได้ที่มั่นคง ไม่ใช่เพียงเพิ่มปริมาณผลผลิต

จากบริบทดังกล่าว จึงเห็นความจำเป็นในการพัฒนาความเข้าใจของเยาวชนเกี่ยวกับการใช้สื่อสังคมออนไลน์ในทางสร้างสรรค์ โดยเชื่อมโยงทักษะดิจิทัลกับภาคเกษตรกรรม เพื่อเปิดมุมมองใหม่ในการเรียนรู้และการมองเห็นโอกาสในอนาคต ทั้งในด้านการศึกษาและการประกอบอาชีพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ เมธิกา เมฆฉายและคณะ [6] ได้นำเสนอผลว่า สื่อสังคมออนไลน์มีบทบาทสำคัญในด้านการถ่ายทอดความรู้ การเข้าถึงข้อมูลเกษตรสมัยใหม่ การลดช่องว่างข้ อมูลระหว่างแหล่งนวัตกรรมกับเกษตรกร การสร้างเครือข่ายการเรียนรู้ และการส่งเสริมการตลาดเกษตรออนไลน์ นอกจากนี้ Raina et al. [7] ยังกล่าวเสริมอีกว่า สื่อสังคมออนไลน์ได้กลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการสื่อสารด้านการเกษตร โดยเชื่อมโยงทักษะดิจิทัลกับภาคเกษตรกรรม เพื่อเปิดมุมมองใหม่ในการเรียนรู้และการมองเห็นโอกาสในอนาคต ทั้งในด้านการศึกษาและการประกอบอาชีพ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการส่งเสริมเกษตรกรรมที่ยั่งยืนและความมั่นคงทางอาหาร ตามแนวคิดของ สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ [8] ที่เสนอว่า เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน เป้าหมายที่ 2 (SDG 2) เน้นการยุติความหิวโหยและส่งเสริมเกษตรกรรมที่ยั่งยืน โดยคำนึงถึงทั้งความมั่นคงด้านอาหารและระบบการผลิตที่เป็นธรรม และยั่งยืนในระยะยาว

2. วัตถุประสงค์

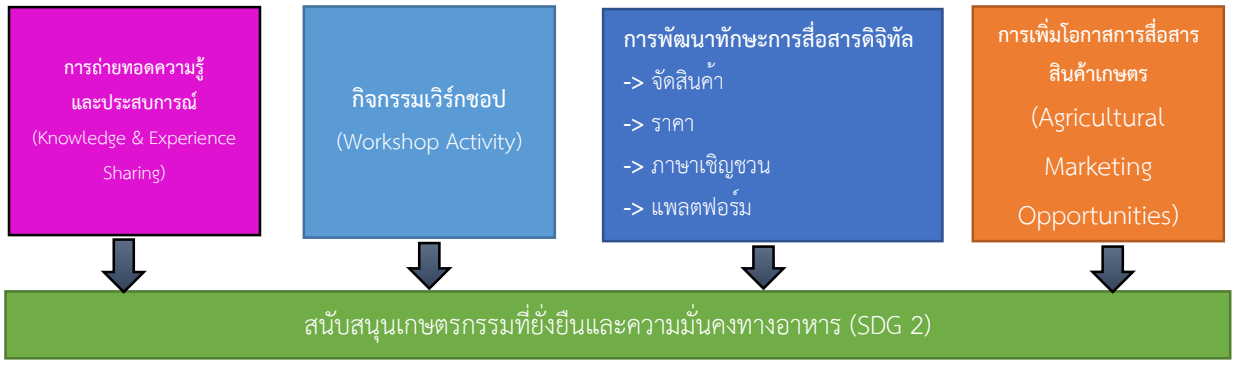
เพื่อเสนอแนวทางการปฏิบัติด้านการใช้สื่อสังคมออนไลน์ในการสื่อสารและเผยแพร่สินค้าเกษตร ที่นักเรียนและเยาวชนสามารถนำไปปรับใช้ได้ทันที เพื่อเปิดมุมมองและเริ่มต้นการสื่อสารสินค้าเกษตรของตนเองหรือของชุมชนอย่างเหมาะสมกับบริบทดิจิทัล

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. การศึกษานี้ดำเนินการกับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ ในรูปแบบกิจกรรมบรรยายและเวิร์กชอปเชิงปฏิบัติการ ระยะเวลา 3 ชั่วโมง เนื้อหามุ่งเน้นการใช้สื่อสังคมออนไลน์เพื่อการสื่อสารสินค้าเกษตรในเชิงแนวคิดและ

การประยุกต์ใช้ โดยใช้ใบงานเป็นเครื่องมือสนับสนุนกระบวนการคิดของผู้เรียน การดำเนินงานอยู่ในลักษณะการถอดบทเรียนจากกิจกรรมการเรียนรู้ ไม่เป็นการวิจัยเชิงทดลองหรือการวัดผลเชิงสถิติ รวมถึงไม่มีการวิเคราะห์ข้อมูลรายบุคคล

2. การจัดกิจกรรมถ่ายทอดความรู้ ด้านการใช้สื่อสังคมออนไลน์เพื่อประชาสัมพันธ์สินค้าเกษตรในครั้งนี้ ตั้งอยู่บนแนวคิดว่าการพัฒนาทักษะการสื่อสารดิจิทัลของเยาวชน สามารถเป็นกลไกสนับสนุนการเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรในระดับชุมชนได้ กิจกรรมถูกออกแบบในลักษณะการเรียนรู้เชิงประสบการณ์ (experiential learning) ที่เน้นการถ่ายทอดประสบการณ์จริง การแลกเปลี่ยนแนวคิด และการลงมือปฏิบัติผ่านเวิร์กชอป เพื่อให้ผู้เรียนได้สร้างความเข้าใจจากสถานการณ์จำลองที่ใกล้เคียงบริบทจริง แนวคิดดังกล่าวนำไปสู่การกำหนดกรอบอธิบายความสัมพันธ์ ระหว่างกระบวนการจัดกิจกรรมและผลลัพธ์ที่คาดหวัง ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยเริ่มต้นจากการถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์จริง ซึ่งทำหน้าที่เป็นฐานความเข้าใจเบื้องต้น ก่อนเข้าสู่กิจกรรมเวิร์กชอปเชิงปฏิบัติการที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนออกแบบสารประชาสัมพันธ์สินค้าเกษตรของตนเอง



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดแสดงความเชื่อมโยงระหว่างกระบวนการจัดกิจกรรม การพัฒนาทักษะการสื่อสารดิจิทัล และบทบาทในการสนับสนุนเกษตรกรรมที่ยั่งยืนและความมั่นคงทางอาหาร (SDG 2)

จากรูปที่ 1 กระบวนการเรียนรู้ถูกอธิบายเป็นลำดับขั้น เริ่มจาก (1) การถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์จริง และ (2) กิจกรรมเวิร์กชอปเชิงปฏิบัติการ ซึ่งนำไปสู่ (3) การพัฒนาทักษะการสื่อสารดิจิทัลของผู้เรียนใน 4 องค์ประกอบ ได้แก่ การสื่อสารจุดเด่นสินค้า การระบุราคาและเงื่อนไขการจำหน่าย การใช้ภาษาเชิญชวน และการเลือกแพลตฟอร์มที่เหมาะสม โดยทักษะดังกล่าวเชื่อมโยงไปสู่ (4) การเพิ่มโอกาสในการสื่อสารสินค้าเกษตรผ่านสื่อสังคมออนไลน์ กรอบแนวคิดนี้มิได้มุ่งสร้างแบบจำลองเชิงเหตุและผล แต่ใช้เป็นกรอบอธิบายเพื่อจัดระบบความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ โดยอ้างอิงจากข้อมูลเชิงประจักษ์จากชิ้นงานของผู้เรียน และความสามารถในการอธิบายผลการจัดกิจกรรมอย่างเป็นระบบ ในมิติของการพัฒนาอย่างยั่งยืน การพัฒนาทักษะการสื่อสารดิจิทัลช่วยเพิ่มศักยภาพในการเผยแพร่สินค้าเกษตร ทำให้สินค้าเข้าถึงผู้บริโภคได้มากขึ้น และเอื้อต่อการเพิ่มโอกาสในการจำหน่ายในระดับชุมชน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกลไกที่สนับสนุนความมั่นคงทางอาหารตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน เป้าหมายที่ 2 (SDG 2)

รูปที่ 2 กระบวนการเรียนรู้จากใบงานสู่การวิเคราะห์องค์ประกอบการสื่อสารสินค้าเกษตร และการเชื่อมโยงกับ SDG 2

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นลำดับกระบวนการเรียนรู้ของผู้เรียน เริ่มจากการใช้ใบงานเป็นเครื่องมือช่วยจัดโครงสร้างความคิด นำไปสู่การสร้างชิ้นงาน และการพิจารณาองค์ประกอบที่ปรากฏในชิ้นงาน ได้แก่ จุดเด่นสินค้า ราคา ภาษาเชิญชวน และแพลตฟอร์ม ก่อนนำไปสู่การวิเคราะห์ภาพรวม ซึ่งสะท้อนโอกาสในการสื่อสารสินค้าเกษตรผ่านสื่อสังคมออนไลน์ และเชื่อมโยงกับแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDG 2)

3. การศึกษาครั้งนี้มีข้อจำกัดบางประการที่ควรพิจารณา ในการตีความผลลัพธ์ ประการแรก กิจกรรมดำเนินการในระยะเวลาสั้นเพียง 3 ชั่วโมง จึงสะท้อนผลลัพธ์ในเชิงแนวคิดและการรับรู้ของผู้เรียนในระยะสั้น ยังไม่ได้ติดตามผลการประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริงหรือผลลัพธ์ในระยะยาว ประการที่สอง กลุ่มเป้าหมายเป็นนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากโรงเรียนเดียว ทำให้ผลการศึกษาอยู่ในบริบทเฉพาะ และไม่สามารถอ้างอิงทั่วไปในเชิงประชากรได้ ประการที่สาม การเก็บรวบรวมข้อมูลใช้แนวทางเชิงคุณภาพ โดยอาศัยการสังเกต บันทึกภาคสนาม และการวิเคราะห์ชิ้นงานในภาพรวม มิได้มีการวัดผลเชิงปริมาณหรือเปรียบเทียบก่อน–หลังการเข้าร่วมกิจกรรม ดังนั้น ผลที่ได้จึงเป็นการอธิบายแนวโน้มและรูปแบบความเข้าใจของผู้เรียน มากกว่าการสรุปเชิงสถิติ อย่างไรก็ตาม แม้จะมีข้อจำกัดดังกล่าว การศึกษานี้ยังสามารถสะท้อนกระบวนการเรียนรู้และแนวทางการพัฒนาทักษะการสื่อสารดิจิทัลที่เชื่อมโยงกับบริบทเกษตรกรรมได้อย่างเป็นระบบ และสามารถใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับการออกแบบกิจกรรมลักษณะใกล้เคียงกันในอนาคต

4. วิธีการศึกษา

การดำเนินงานจัดขึ้นในรูปแบบการบรรยายร่วมกับเวิร์กชอป ใช้เวลา 3 ชั่วโมง โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ กิจกรรมออกแบบให้ผู้เรียนมีส่วนร่วม ได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และได้คิดวิเคราะห์จากสถานการณ์จริง มากกว่าการสอนเทคนิคหรือวิธีใช้เครื่องมือเฉพาะอย่างละเอียด ทั้งนี้ มีการใช้ใบงานอย่างง่ายเป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้ เพื่อช่วยจัดโครงสร้างความคิดของผู้เรียนให้เป็นระบบระหว่างการทำกิจกรรม ผ่านขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่

ช่วงที่ 1 ปูพื้นฐานและสร้างความเข้าใจ เริ่มจากอธิบายบทบาทของสื่อสังคมออนไลน์ในชีวิตประจำวัน และเชื่อมโยงให้เห็นว่าสามารถนำมาใช้สื่อสารสินค้าเกษตรได้อย่างไร รวมถึงความสำคัญของเกษตรกรรมที่ยั่งยืน เพื่อให้ผู้เรียนเห็นภาพรวมก่อนเข้าสู่กิจกรรมเชิงปฏิบัติ

ช่วงที่ 2 ถ่ายทอดประสบการณ์จริง นำเสนอแนวทางและตัวอย่างจากประสบการณ์การทำงานจริง เพื่อให้ผู้เรียนเห็นภาพว่าการใช้สื่อสังคมออนไลน์สามารถช่วยเผยแพร่สินค้าเกษตรได้อย่างเป็นระบบ พร้อมอธิบายองค์ประกอบสำคัญของการสื่อสารสินค้า ได้แก่ การสื่อสารจุดเด่นสินค้า การระบุราคา การใช้ภาษาที่เหมาะสม และการเลือกแพลตฟอร์ม

ช่วงที่ 3 กิจกรรมเวิร์กชอปและแลกเปลี่ยนความคิดเห็น เปิดโอกาสให้นักเรียนร่วมคิดและเสนอแนวทางการสื่อสารสินค้าเกษตรของตนเองหรือของชุมชน โดยใช้ใบงานเป็นแนวทางในการวางแผน เช่น การกำหนดจุดเด่นสินค้า กลุ่มเป้าหมาย ข้อความประชาสัมพันธ์ และช่องทางเผยแพร่ ใบงานดังกล่าวไม่ได้ใช้เพื่อประเมินผลรายบุคคล แต่ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือช่วยให้ผู้เรียนคิดอย่างเป็นขั้นตอนและสามารถนำเสนอแนวคิดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น หลังจากนั้นนักเรียนแต่ละกลุ่มได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็นและรับข้อเสนอแนะร่วมกัน

ช่วงที่ 4 สรุปและสะท้อนการเรียนรู้ ร่วมกันสรุปสิ่งที่ได้เรียนรู้ พร้อมชวนผู้เรียนมองเห็นความเชื่อมโยงระหว่างทักษะดิจิทัลกับโอกาสด้านการเรียนต่อหรือการประกอบอาชีพในอนาคต โดยเน้นว่าการใช้สื่อสังคมออนไลน์สามารถเป็นเครื่องมือสร้างโอกาสให้กับสินค้าเกษตรในระดับชุมชนได้ หากมีการวางแผนและสื่อสารอย่างเหมาะสม

การดำเนินงานครั้งนี้มุ่งเน้นการสร้างความเข้าใจและเปิดมุมมองใหม่ให้กับนักเรียน โดยใช้การสังเกต การสนทนา และการสะท้อนความคิดเห็นของนักเรียนเป็นข้อมูลประกอบการอธิบายผลลัพธ์

การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลดำเนินการกับนักเรียน จำนวน 30 คน โดยใช้วิธีเชิงคุณภาพ ข้อมูลได้มาจาก 1. การสังเกตพฤติกรรมการมีส่วนร่วมระหว่างกิจกรรม 2. การบันทึกภาคสนามโดยผู้ดำเนินกิจกรรม และ 3. ชิ้นงานแนวคิดการประชาสัมพันธ์สินค้าเกษตรที่นักเรียนจัดทำในช่วงเวิร์กชอป การวิเคราะห์ชิ้นงานใช้แนวทางการวิเคราะห์เนื้อหาเชิงคุณภาพ โดยกำหนดกรอบพิจารณาองค์ประกอบสำคัญของสารประชาสัมพันธ์ เพื่อใช้เป็นแนวทางจัดกลุ่มและอธิบายลักษณะของผลงาน ทั้งนี้ กรอบดังกล่าวมิได้ใช้เพื่อการให้คะแนนหรือการวัดผลสัมฤทธิ์ แต่ใช้เพื่อจัดระบบการอธิบายผลลัพธ์ของกิจกรรม โดยประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 4 ประการ ได้แก่ 1) การสื่อสารจุดเด่นสินค้า 2) การระบุราคาและเงื่อนไขการจำหน่าย 3) การใช้ภาษาเชิญชวนหรือการดึงดูดความสนใจ 4) การเลือกใช้แพลตฟอร์มที่เหมาะสมกับรูปแบบการสื่อสาร กรอบการพิจารณาดังกล่าวช่วยให้การวิเคราะห์ชิ้นงานเป็นไปอย่างมีระบบ และสะท้อนแนวโน้มความเข้าใจของผู้เรียน เกี่ยวกับการสื่อสารสินค้าเกษตรในบริบทสื่อสังคมออนไลน์

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการจัดกิจกรรมบรรยายและเวิร์กชอปเชิงปฏิบัติการ เรื่องการใช้สื่อสังคมออนไลน์เพื่อประชาสัมพันธ์สินค้าเกษตร สำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 30 คน ได้จัดทำชิ้นงานตัวอย่างการสื่อสารสินค้าเกษตรผ่านแพลตฟอร์มสื่อสังคมออนไลน์ตามบริบทที่ตัวเองสนใจ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้แนวทางการวิเคราะห์เนื้อหาเชิงคุณภาพ โดยมุ่งเน้นการสังเคราะห์รูปแบบร่วมของชิ้นงานทั้งหมด เพื่อจำแนกองค์ประกอบสำคัญของการสื่อสาร ใบงานถูกใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้ของผู้เรียน ขณะที่ตารางผลการศึกษา เป็นผลจากการวิเคราะห์ชิ้นงานที่นักเรียนจัดทำขึ้น โดยอาศัยกรอบองค์ประกอบเดียวกันกับที่ใช้ในใบงาน และมีการนับความถี่ขององค์ประกอบที่ปรากฏในชิ้นงาน เพื่อนำเสนอในรูปแบบร้อยละ

จากตารางที่ 1 พบว่า องค์ประกอบที่ปรากฏในชิ้นงานมากที่สุดคือ การเลือกแพลตฟอร์มที่เหมาะสม คิดเป็นร้อยละ 90.00 รองลงมาคือการสื่อสารจุดเด่นสินค้า คิดเป็น ร้อยละ 86.67 และการใช้ภาษาเชิญชวน คิดเป็น ร้อยละ 80.00 ขณะที่การระบุราคาพบในระดับรองลงมา คิดเป็นร้อยละ 70.00 สะท้อนให้เห็นว่าผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงการเลือกช่องทางสื่อสารและการนำเสนอสินค้าได้อย่างเหมาะสม

ตารางที่ 1 การจำแนกองค์ประกอบการสื่อสารในชิ้นงานของนักเรียน (30 คน)

องค์ประกอบ	จำนวน (ชิ้นงาน)	ร้อยละ
การสื่อสารจุดเด่นสินค้า	26	86.67
การระบุราคา	21	70.00
การใช้ภาษาเชิญชวน	24	80.00
การเลือกแพลตฟอร์มเหมาะสม	27	90.00

จากตารางที่ 2 พบว่า ผู้เรียนให้ความสำคัญกับ ความสดใหม่ มากที่สุด ร้อยละ 40.00 รองลงมาคือ ความเป็นสินค้าในท้องถิ่นคิดเป็น ร้อยละ 30.00 และ ความปลอดภัยหรือความเป็นธรรมชาติ คิดเป็น ร้อยละ 20.00 ขณะที่ ราคาที่เข้าถึงได้ปรากฏในสัดส่วนที่น้อยกว่าคิดเป็น ร้อยละ 10.00 ซึ่งสะท้อนแนวโน้มการให้ความสำคัญกับคุณค่าของสินค้ามากกว่าปัจจัยด้านราคาเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 2 ประเภทจุดเด่นสินค้าในชิ้นงานของนักเรียน (30 คน)

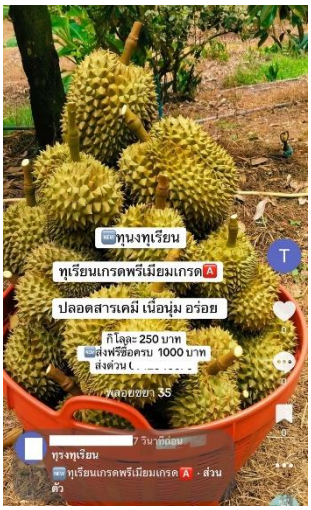
ประเภทจุดเด่น	จำนวน	ร้อยละ
ความสดใหม่	12	40.00
สินค้าท้องถิ่น	9	30.00
ปลอดสาร/ธรรมชาติ	6	20.00
ราคาเข้าถึงได้	3	10.00

สำหรับผลการวิเคราะห์พบแนวโน้มสำคัญ 4 ประเด็น มีดังนี้

5.1 การสื่อสารจุดเด่นสินค้าอย่างชัดเจน

นักเรียนสามารถระบุคุณลักษณะเฉพาะของสินค้าเกษตรได้อย่างเป็นรูปธรรม เช่น การใช้คำว่า “เกรด A” “พรีเมียม” “ปลอดสารเคมี” “สดจากสวน” หรือการเน้นคุณภาพและแหล่งที่มาอย่างชัดเจน การใช้ถ้อยคำดังกล่าวสะท้อนความเข้าใจเกี่ยวกับการสื่อสารคุณค่า (value communication) ที่มากกว่าการบอกเพียงชนิดของสินค้า

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าข้อความเน้นคุณภาพสินค้า ควบคู่กับภาพที่ชัดเจนของตัวสินค้า ทำให้สารที่ต้องการสื่อมีความตรงประเด็นและเข้าใจง่าย สะท้อนการนำแนวคิดจากกิจกรรมไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเป็นระบบ



รูปที่ 3 ตัวอย่างการสื่อสารจุดเด่นสินค้าเกษตร พร้อมระบุคุณภาพและคุณลักษณะเด่นอย่างชัดเจน

5.2 การระบุราคาและเงื่อนไขการจำหน่าย

ชิ้นงานจำนวนมากมีการระบุราคาต่อหน่วยอย่างชัดเจน รวมถึงการกำหนดเงื่อนไขส่งเสริมการจำหน่าย เช่น การจัดส่งฟรีเมื่อมียอดสั่งซื้อถึงเกณฑ์ที่กำหนด หรือโปรโมชั่นซื้อครบจำนวนหนึ่งได้รับสินค้าเพิ่ม การใส่ข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความเข้าใจองค์ประกอบพื้นฐานของการสื่อสารสินค้าในบริบทดิจิทัล

จากรูปที่ 4 พบการจัดโครงสร้างข้อความที่ประกอบด้วยชื่อสินค้า ราคา โปรโมชั่น และข้อความเชิญชวนสะท้อนการคิดเชิงโครงสร้างมากกว่าการโพสต์ภาพสินค้าเพียงอย่างเดียว

รูปที่ 4 ตัวอย่างการระบุราคาและเงื่อนไขส่งเสริมการขายอย่างครบถ้วน

5.3 การใช้ภาษาและสัญลักษณ์เพื่อดึงดูดความสนใจ

นักเรียนจำนวนหนึ่งใช้ภาษาเชิญชวน พร้อมเครื่องหมายเน้นคำ อีโมจิ และแฮชแท็ก เพื่อเพิ่มความน่าสนใจและความเป็นกันเองของข้อความ รูปแบบการใช้ภาษาดังกล่าวสอดคล้องกับธรรมชาติของสื่อสังคมออนไลน์ที่เน้นการสื่อสารสั้น กระชับ และเข้าถึงอารมณ์ของผู้รับสาร

จากรูปที่ 5 การปรากฏของแฮชแท็กและข้อความกระตุ้นการตัดสินใจ สะท้อนให้เห็นถึงความเข้าใจบริบทของแพลตฟอร์มและความพยายามทำให้เนื้อหามีความสอดคล้องกับพฤติกรรมผู้ใช้งานออนไลน์

รูปที่ 5 ตัวอย่างการใช้ภาษาและแฮชแท็กเพื่อเพิ่มความน่าสนใจในแพลตฟอร์มสื่อสังคมออนไลน์

5.4 การเลือกใช้รูปแบบสื่อที่สอดคล้องกับแพลตฟอร์ม

นอกจากโพสต์ภาพนิ่งพร้อมข้อความ นักเรียนบางส่วนเลือกใช้รูปแบบ Story หรือวิดีโอสั้น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความตระหนักรู้เกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของแพลตฟอร์มและพฤติกรรมผู้ใช้งานในยุคดิจิทัล (รูปที่ 6)

รูปที่ 6 ตัวอย่างการนำเสนอสินค้าเกษตรในรูปแบบ Story ที่เน้นข้อความสั้น กระชับ และดึงดูดสายตา

รูปแบบดังกล่าวสะท้อนความเข้าใจว่าการสื่อสารในสื่อสังคมออนไลน์ จำเป็นต้องปรับเนื้อหาให้เหมาะสมกับช่องทาง ไม่ใช่เพียงคัดลอกข้อความแบบเดียวกันในทุกแพลตฟอร์มภาพรวมของผลการศึกษา จากการดำเนินกิจกรรมบรรยายร่วมกับเวิร์กชอป ระยะเวลา 3 ชั่วโมง พบว่า ผู้เรียนสามารถพัฒนาแนวคิดเกี่ยวกับการใช้สื่อสังคมออนไลน์เพื่อประชาสัมพันธ์สินค้าเกษตรได้อย่างเป็นระบบมากขึ้น โดยพิจารณาจากชิ้นงานที่จัดทำผ่านใบงาน และการนำเสนอแนวคิดในชั้นเรียน เมื่อวิเคราะห์ในภาพรวมของชิ้นงานทั้งหมด พบแนวโน้มสำคัญ 4 ประการ ได้แก่ 1. ผู้เรียนสามารถระบุจุดเด่นของสินค้าเกษตรได้ชัดเจนขึ้น เช่น ความสดใหม่ ความเป็นสินค้าในท้องถิ่นหรือกระบวนการผลิตที่เป็นธรรมชาติ 2. มีการระบุราคาสินค้าและเหตุผลประกอบการตั้งราคาในระดับพื้นฐาน 3. มีการใช้ภาษาที่สื่อสารเชิญชวน เข้าใจง่าย และเหมาะสมกับบริบทของสื่อสังคมออนไลน์ และ 4. ผู้เรียนสามารถเลือกแพลตฟอร์มที่เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายได้ โดยให้เหตุผลประกอบ เช่น การเข้าถึงกลุ่มวัยรุ่นหรือกลุ่มครอบครัว แม้ว่าชิ้นงานจะจัดทำในลักษณะรายบุคคลหรือรายกลุ่มย่อย แต่การวิเคราะห์ดำเนินการในระดับภาพรวม โดยพิจารณาองค์ประกอบร่วมที่ปรากฏในชิ้นงานทั้งหมด มิได้มีการเปรียบเทียบหรือประเมินรายบุคคล ผลที่ได้สะท้อนว่าใบงานและกระบวนการเวิร์กชอปช่วยจัดโครงสร้างความคิดของผู้เรียน ทำให้สามารถเชื่อมโยงทักษะการใช้สื่อดิจิทัลกับบริบทสินค้าเกษตรได้ชัดเจนยิ่งขึ้น นอกจากนี้ จากการสังเกตและการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในช่วงสรุปกิจกรรม ผู้เรียนเริ่มมองเห็นความเป็นไปได้ของการใช้สื่อสังคมออนไลน์เป็นเครื่องมือสร้างโอกาสในการเผยแพร่สินค้าเกษตรของตนเองหรือของชุมชน ซึ่งสะท้อนการเปลี่ยนมุมมองจากการใช้สื่อเพื่อความบันเทิงไปสู่การใช้เพื่อการเรียนรู้และการพัฒนาอาชีพในอนาคต ในภาพรวม ผลการดำเนินกิจกรรมชี้ให้เห็นว่าการพัฒนาศักยภาพเยาวชนด้านการสื่อสารดิจิทัล สามารถเป็นกลไกหนึ่งที่สนับสนุนระบบเกษตรในระดับชุมชนได้ โดยเฉพาะในมิติการเข้าถึงตลาดและการสื่อสารคุณค่าของสินค้าเกษตร ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของเกษตรกรรมที่ยั่งยืนและความมั่นคงทางอาหาร ภายใต้เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน เป้าหมายที่ 2 ที่มุ่งยุติความหิวโหย บรรลุความมั่นคงทางอาหาร และส่งเสริมเกษตรกรรมที่ยั่งยืน การสร้างความเข้าใจแก่เยาวชนเกี่ยวกับการใช้สื่อดิจิทัลอย่างสร้างสรรค์ จึงถือเป็นการวางรากฐานเชิงความรู้ที่เชื่อมโยงการเรียนรู้ในโรงเรียนกับระบบอาหารในระดับชุมชนอย่างเป็นรูปธรรม ผลดังกล่าวสอดคล้องกับกรอบแนวคิดที่กำหนดไว้ ซึ่งมุ่งเน้นองค์ประกอบ 4 ประการของการสื่อสารสินค้าเกษตรผ่านสื่อสังคมออนไลน์

6. สรุปผลการศึกษา

การจัดกิจกรรมถ่ายทอดความรู้ด้านการใช้สื่อสังคมออนไลน์ เพื่อประชาสัมพันธ์สินค้าเกษตรในครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าแม้ระยะเวลาเพียง 3 ชั่วโมง ผู้เรียนสามารถพัฒนาแนวคิดและความเข้าใจ เกี่ยวกับการสื่อสารสินค้าเกษตรในบริบทสื่อดิจิทัลได้อย่างเป็นระบบมากขึ้น จากเดิมที่มองการโพสต์สินค้าเป็นเพียงการนำเสนอภาพและราคา ผู้เรียนเริ่มตระหนักถึงองค์ประกอบสำคัญของ

การสื่อสาร ได้แก่ การสื่อสารจุดเด่นสินค้า การระบุข้อมูลที่ชัดเจน การใช้ภาษาเชิญชวน และการเลือกแพลตฟอร์มให้เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย ผลจากการวิเคราะห์ชิ้นงานนักเรียนสะท้อนให้เห็นว่า การเรียนรู้เชิงประสบการณ์ที่เปิดโอกาสให้ลงมือปฏิบัติจริง ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงทักษะดิจิทัล กับบริบทการงานและอาชีพได้อย่างเป็นรูปธรรม แม้กิจกรรมจะมีลักษณะเป็นการถอดบทเรียนจากการปฏิบัติ (Practice-based Reflection) มากกว่างานวิจัยเชิงทดลอง แต่ก็สามารถอธิบายกระบวนการเรียนรู้และผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจนผ่านกรอบแนวคิดที่กำหนดไว้ ในภาพรวม กิจกรรมดังกล่าวสะท้อนบทบาทของการพัฒนาศักยภาพเยาวชนด้านการสื่อสารดิจิทัลในฐานะกลไกหนึ่ง ที่สามารถสนับสนุนแนวคิดเกษตรกรรมที่ยั่งยืน และความมั่นคงทางอาหารซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน เป้าหมายที่ 2 ที่มุ่งส่งเสริมความมั่นคงทางอาหารและระบบเกษตรกรรมที่ยั่งยืน ทั้งนี้ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ธนากร เที่ยงน้อย อาจารย์ ดร.เปล่งสุรีย์ เที่ยงน้อย อาจารย์ ดร.ณัฐฐิญา อัครวิวัฒน์ดำรง และอาจารย์ แพทย์หญิง มนทกานติ์ โอประเสริฐสวัสดิ์ สำหรับการสนับสนุนและให้คำแนะนำในการดำเนินกิจกรรมครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Kaplan, A. M., & Haenlein, M. (2010). Users of the world, unite! The challenges and opportunities of social media. *Business Horizons*, *53*(1), 59–68. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2009.09.003

[2] Pew Research Center. (2022). Teens, social media and technology 2022. https://www.pewresearch.org/internet/2022/08/10/teens-social-media-and-technology-2022/

[3] Greenhow, C., & Lewin, C. (2016). Social media and education: Reconceptualizing the boundaries of formal and informal learning. Learning, Media and Technology, 41(1), 6–30. https://doi.org/10.1080/17439884.2015.1064954

[4] OECD. (2021). 21st-century readers: Developing literacy skills in a digital world. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/a83d84cb-en

[5] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). Sustainable food and agriculture: An integrated approach. FAO. https://www.fao.org/3/i8358en/I8358EN.pdf

[6] เมธิกา เมฆฉาย, วิทยาธร ท่อแก้ว, & กวิทธิ์ ศรีสัมฤทธิ์. (2568). สื่อสังคมออนไลน์กับการส่งเสริมการเกษตร 4.0. วารสารศิลปการจัดการ, 9(4), 41–53. https://so02.tci-thaijo.org/index.php/jam/article/download/280208/186035

[7] Raina, P., Darji, R. K., & Mittal, R. (2025). Impact of social media campaigns on farmers' awareness of environmental conservation practices. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 27(4), 1–8. https://doi.org/10.12692/jbes/27.4.1

[8] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (n.d.). เป้าหมายที่ 2 ขจัดความหิวโหย. https://sdgs.nesdc.go.th/goal-2/?utm_source=chatgpt.com

การพัฒนาแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ชีวภาพจากสาหร่าย *Cladophora* sp. ที่มีการชักนำให้เกิด Polyploid เพื่อประยุกต์ใช้ในการผลิตเปลือกแคปซูล

วิรัลพัชร พิริยโยธากุล,กัญญาพัชร คงอินทร์,หทัยภัทร คงคานนท์, สุธี จุ้งลก*, และ อัมพร เพชรโชติ

โรงเรียนเบตง "วีระราษฎร์ประสาน" 19 ถนนรวมวิทย์ ตำบลเบตง อำเภอเบตง จังหวัดยะลา 95110

* Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ชีวภาพจากสาหร่าย *Cladophora* sp. เพื่อใช้เป็นวัสดุทางเลือกในการผลิตแคปซูลยาที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพและปลอดภัยต่อการบริโภค โดยเน้นการสกัดเซลลูโลสที่มีความเป็นผลึกสูงจากสาหร่าย *Cladophora* sp. มาเป็นวัตถุดิบหลัก เนื่องจากสาหร่ายชนิดนี้มีโครงสร้างเส้นใยที่แข็งแรงและมีความบริสุทธิ์ของเซลลูโลสสูงในการเพิ่มศักยภาพของสาหร่าย มีการใช้เทคนิคการปรับปรุงพันธุ์โดยสารโคลชิซิน (Colchicine) ซึ่งมีคุณสมบัติในการยับยั้งการแบ่งเซลล์ที่ระยะเมทาเฟส ทำให้เกิดโพลีพลอยด์ซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณสารชีวภาพที่ สังเคราะห์ได้ รวมถึงการเจริญเติบโตของเซลล์ โครงงานนี้มุ่งเน้นการศึกษาสาหร่าย *Cladophora* sp. ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียว โดยจะดำเนินการสกัดและทำให้บริสุทธิ์ จะได้พอลิเมอร์ชีวภาพ จากนั้นจะนำมาขึ้นรูปเป็นเปลือกแคปซูลยาและยังมีกลไกการแตกตัวและการละลาย (Disintegration and Dissolution) ในสภาวะจำลองของกระเพาะอาหารและลำไส้ เพื่อให้มั่นใจว่าแคปซูลสามารถปลดปล่อยตัวยาได้ในตำแหน่งและเวลาที่เหมาะสม โดยทดลองโดยการแช่ในกรด HCl ใช้เวลาเฉลี่ย 27นาที

ผลการทดลองพบว่าแผ่นฟิล์มจากสาหร่าย *Cladophora* sp.จะมีสมบัติเชิงกลที่แข็งแรงเพียงพอต่อการขึ้นรูปเป็นแคปซูล และสามารถละลายได้ตามมาตรฐานทางเภสัชกรรม ซึ่งจะเป็นการยกระดับทรัพยากรท้องถิ่นมาใช้ใน อุตสาหกรรมยาสมัยใหม่ ลดการใช้เจลาตินจากสัตว์และพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ย่อยสลายยาก

คำสำคัญ: *Cladophora* sp. / เซลลูโลส / โคลชิซิน / พอลิเมอร์ชีวภาพ / แคปซูลยา / การแตกตัวและการละลาย

Development of biopolymer films from *Cladophora* sp. induced for polyploidy for application in drug capsule production

Hathaipat Kongkanon, Wiranphat piriyayothakul, Kanyaphat Kong-in, Suthee Junglok*, and Amphon Phetchot[1]

Betong Wiraratprasan School, 19 Ruamwit Road , Betong District, Betong District,Yala 95110

**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

Abstract

This project aims to study the effect of inducing polyploidy in *Cladophora* sp .on their cellulose content per unit dry mass. The goal of this study was to develop biodegradable biopolymer films from *Cladophora* sp . for use as orally safe drug capsules.

This project aims to enhance the potential of algae using a colchicine-induced polyploidy technique. Colchicine's ability to inhibit cell division at the metaphase stage leads to polyploidy, which is known to increase the production of bioactive compounds and promote cell growth. Our research specifically focuses on *Cladophora* sp.., a green algae phylogenetically related to Spirulina and Chlorella spp. Biopolymers extracted and purified from *Cladophora* sp .used to fabricate thin biopolymer films. These films will undergo a comprehensive analysis of their physical, chemical, and mechanical properties, Thermal Stability, and biodegradability. Furthermore, their biocompatibility and cytotoxicity were evaluated to assess their potential for various applications.

The expected results indicate that polyploid *Cladophora* sp .was exhibit a higher cellulose content per unit of dry weight than their non-polyploid counterparts. The resulting biopolymer film is anticipated to be biodegradable, offering significant potential benefits for the pharmaceutical industry and public health.

Keywords: *Cladophora* sp . / polyploid / Colchicine / Biopolymer film / Drug Capsule Introduction

1. บทนำ

สาหร่ายนับเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในระบบนิเวศแหล่งน้ำ เนื่องจากมีความสามารถในการสังเคราะห์แสงและมีอัตราการเจริญเติบโตสูง ทำให้เป็นแหล่งผลิตอาหารสำคัญตลอดทั้งปี อีกทั้งยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ไม่ว่าจะเป็นโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ [7] ทำให้มีการนำสาหร่ายมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างแพร่หลาย เช่น อาหารเสริม, ปุ๋ย, และพลังงานทดแทน แม้ว่าสาหร่ายบางชนิด เช่น สไปรูลิน่า และ คลอเรลลา จากข้างต้นสาหร่ายมีประโยชน์อีกหลาย โดยสาหร่ายที่เลี้ยงได้สาหร่าย สีเขียว เช่น สาหร่ายสไปรูลิน่า สาหร่ายคลอเรลลา สาหร่ายซีนีเตสมัส เป็นต้น โดยคุณสมบัติเคนของสาหร่ายเหล่านี้คือ ทนทาน สามารถเพาะเลี้ยงได้ง่าย ขยายพันธุ์ได้รวดเร็ว และให้คุณค่าทางอาหารและสารสำคัญที่ เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ และเนื่องจากในปัจจุบันความต้องการใช้ประโยชน์สาหร่ายมากขึ้น จึงมีการควบคุม การเพาะเลี้ยงมาก [3] เพื่อให้ได้ผลผลิตตามต้องการ ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้สาหร่ายมีผลผลิตที่ดี คือ การควบคุม การเพาะเลี้ยงอย่างเหมาะสม ปัจจัยสำคัญที่ทำให้สาหร่ายมีผลผลิตที่ดี อาทิ การใช้อุณหภูมิที่เหมาะสม และการเพาะเลี้ยงแบบสองขั้นตอนเพื่อเพิ่มมวลชีวภาพและการสะสมสารสำคัญ [2] การจัดการเพาะเลี้ยงภายในฟาร์ม การใช้ปฏิกรณ์ชีวภาพ (bioreactor) ใน การเพาะเลี้ยง [4] จะได้รับการพัฒนาในเชิงอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง แต่ด้วยความต้องการในตลาดที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้จำเป็นต้องมีการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตให้สูงขึ้น งานวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในการใช้เทคนิคทางชีวภาพเพื่อปรับปรุงพันธุ์สาหร่าย เช่น การใช้สาร โคลชิซีน (Colchicine) เพื่อชักนำให้เกิด โพลีพลอยด์ (Polyploid) ซึ่งส่งผลให้จำนวนโครโมโซมเพิ่มขึ้น ทำให้เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถผลิตสารสำคัญต่างๆ ได้มากขึ้น เช่น เซลลูโลส เทคนิคนี้ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตในพืชหลายชนิด เช่น กล้วยไม้ [5] และในสาหร่ายบางชนิด อย่างไรก็ตาม ยังคงมีช่องว่างทางองค์ความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้กับสาหร่ายที่พบในท้องถิ่น ซึ่งมีคุณสมบัติที่น่าสนใจแต่ยังไม่ได้รับการพัฒนาอย่างเต็มที่ เช่น สาหร่าย *Cladophora* sp. ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียวที่มีปริมาณสารอาหารและรงควัตถุใกล้เคียงกับสาหร่ายที่ใช้ในอุตสาหกรรม การพัฒนาสาหร่ายชนิดนี้จึงอาจเป็นก้าวสำคัญในการสร้างทางเลือกใหม่ให้กับอุตสาหกรรม ด้วยเหตุนี้ โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งมั่นที่จะนำเทคนิคการชักนำโพลีพลอยด์มาประยุกต์ใช้กับสาหร่าย *Cladophora* sp.เพื่อเพิ่มปริมาณเซลลูโลส ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในการพัฒนา แคปซูลชีวภาพที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable biopolymer capsules) โดยมุ่งหวังให้เป็นทางเลือกใหม่ที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อทดแทนแคปซูลเจลาตินที่ได้จากสัตว์ ซึ่งจะตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภคกลุ่มวีแกนและผู้ที่แพ้โปรตีนจากสัตว์ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการขึ้นรูปของฟิล์มพอลิเมอร์ชีวภาพ สำหรับพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ยาในรูปแบบแคปซูลที่บริโภคได้และย่อยสลายได้ทางชีวภาพ

2. เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเปลือกแคปซูลจากสาหร่าย กับเปลือกแคปซูลเจลาตินทางการค้าเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการใช้งานทดแทน

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. ขอบเขตด้านการเตรียมวัตถุดิบและสารตั้งต้น มุ่งเน้นการสกัดเซลลูโลสจากสาหร่าย*Cladophora* spโดยใช้วิธีการทางเคมีที่ลดการใช้สารรุนแรงและไม่มีกระบวนการฟอกขาว เพื่อรักษาโครงสร้างธรรมชาติและลดสารตกค้างในวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ยา

2. ขอบเขตด้านการพัฒนาและขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดำเนินการศึกษาการขึ้นรูปฟิล์มพอลิเมอร์ชีวภาพด้วยเทคนิคการหล่อขึ้นรูปโดยแปรผันสัดส่วนความเข้มข้นของเซลลูโลสสกัดเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบเปลือกแคปซูลยาผ่านแม่พิมพ์ขนาดมาตรฐาน

3. ขอบเขตด้านการทดสอบและประเมินผล ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพการแตกตัวในสภาวะจำลองทางเดินอาหาร เปรียบเทียบผลการทดลองกับแคปซูลเจลาตินจากสัตว์ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริง

4. วิธีการศึกษา

1. เริ่มต้นด้วยการนำสาหร่าย *Cladophora* sp. มาทำความสะอาดและเตรียมความพร้อมเพื่อเข้าสู่กระบวนการชักนำ Polyploid โดยการแช่ในสารละลาย Colchicine ความเข้มข้น 0.05% ถึง 0.1% เป็นเวลา 24 ถึง 48 ชั่วโมงเพื่อให้โครโมโซมเพิ่มชุดขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เซลล์มีขนาดใหญ่และมีปริมาณเซลลูโลสที่สูงขึ้นกว่าปกติ [1][6][9]

2. ขั้นต่อมาคือการสกัดเซลลูโลสจากสาหร่ายที่เตรียมไว้ โดยนำไปต้มกับโซเดียมไบคาบอเนต 2 กรัม ที่อุณหภูมิ 90°C จากนั้นล้างสาหร่าย *Cladophora* sp. จนค่า pH เป็นกลาง [8]

3. นำเซลลูโลสมาผสมกับสารเพิ่มความยืดหยุ่นเพื่อเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ แล้วนำไปเทลงในแม่พิมพ์ที่ทำจาก Food-grade Silicone ซึ่งถอดแบบมาจากแคปซูลยามาตรฐาน เพื่อให้ได้เปลือกแคปซูลที่มีความหนาและขนาดที่สม่ำเสมอ

4. ขั้นตอนสุดท้ายคือการทดสอบประสิทธิภาพของแคปซูลที่ผลิตได้ โดยการนำไปทดสอบการแตกตัวในสภาวะจำลองของกระเพาะอาหารเพื่อวัดเปอร์เซ็นต์การปล่อยยาออกมาให้เห็นว่าทำงานได้จริง พร้อมทั้งทำการสังเกตการณ์เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ได้ผลดังนี้

5.1 ผลการศึกษารูปแบบผลงานวิชาการ

จากการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแตกตัวของแคปซูลที่ผลิตจากสาหร่าย *Cladophora* sp. กับแคปซูลมาตรฐานทั่วไป โดยทำการทดสอบในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก(HCl) ที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส และการศึกษาความทนทานของแคปซูลต่อสภาพแวดล้อมขณะพกพา ได้นำแคปซูลจากสาหร่าย *Cladophora* sp. ไปวางไว้ในสภาวะอุณหภูมิที่แตกต่างกันเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

5.2 การทดสอบประสิทธิภาพของแคปซูลจาก *Cladophora* sp.

ผลวิจัยดังแสดงดังตารางที่ 1 การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแตกตัวของแคปซูลที่ผลิตจากสาหร่าย *Cladophora* sp. กับแคปซูลมาตรฐานทั่วไปในสภาวะจำลอง และ ตารางที่ 2 แสดงการารศึกษาความทนทานของแคปซูลต่อสภาพแวดล้อมขณะพกพา โดยวางแคปซูลจากสาหร่าย Cladophora sp. ไว้ในอุณหภูมิที่แตกต่างกันเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการย่อยสลาย

ประเภทของแคปซูล	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
แคปซูลจากสาหร่าย *Cladophora* sp.	30 นาที	27 นาที	26 นาที
กับแคปซูลมาตรฐานทั่วไป	10 นาที	9 นาที	9 นาที

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความคงทนต่ออุณหภูมิสภาวะแวดล้อม

สภาวะจำลองการพกพา	อุณหภูมิ (°C)	ผลลัพธ์
ห้องปรับอากาศ	20 - 25	คงรูปทรงได้ดี ผิวแห้ง ไม่เหนียว
อุณหภูมิห้องปกติ	30 - 32	คงรูปทรงได้ดี ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
สภาวะร้อน	35 - 40	ยังคงรูปทรงเดิมได้ ผิวมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

5.3 ผลการศึกษาข้อมูลผลงานวิชาการในฐานข้อมูล Scopus

แคปซูลจากสาหร่ายสามารถย่อยสลายในสภาวะจำลองกระเพาะอาหาร ได้ในเวลาเฉลี่ย 27.67 นาที ซึ่งช้ากว่าแคปซูลมาตรฐานทั่วไป (14.33 นาที) แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเภสัชไม่เกิน 30 นาที

ในสภาวะจำลองการพกพา 6 ชั่วโมง แคปซูลจากสาหร่ายไกมีเสถียรภาพสูงโดยเฉพาะในสภาวะร้อน ที่ยังคงรูปทรงได้ดี ไม่ละลายติดกันหรือเหนียวเหนอะหนะ

แม้โคลชิซินจะเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูงในรูปสารละลายตั้งต้น แต่คุณสมบัติทางเคมีของสารชนิดนี้มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี (High Water Solubility) และโครงสร้างโมเลกุลไม่เสถียรเมื่อได้รับความร้อนสูงเป็นเวลานาน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในฐานข้อมูลที่ระบุว่ากระบวนการสกัดเซลลูโลสด้วยสารละลายด่าง (Alkaline Extraction) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ร่วมกับการล้างด้วยน้ำสะอาด [10]

6. สรุปผลการศึกษา

จากการที่แคปซูลจากสาหร่ายไกใช้เวลาในการแตกตัวเฉลี่ย 27.67 นาที ซึ่งช้ากว่าแคปซูลมาตรฐานทั่วไปนั้น สามารถอธิบายได้ด้วยลักษณะทางโครงสร้างแบบ คอมโพสิต ระหว่างเซลลูโลสจากสาหร่ายและแป้งมันสำปะหลัง ที่เกิดการสร้าง พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bonding) อย่างหนาแน่นภายในโครงสร้าง โดยเส้นใยเซลลูโลสทำหน้าที่เป็นโครงร่างเสริมแรง (Reinforcing Agent) ที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ส่งผลให้โมเลกุลของของเหลวแทรกซึมเข้าสู่ภายในได้ยากในช่วงแรก กลไกนี้ช่วยให้การปลดปล่อยตัวยาเป็นไปอย่าง ค่อยเป็นค่อยไป (Sustained Release) และช่วยแก้ปัญหาการเสื่อมสภาพหรือการแตกตัวที่เร็วเกินไปเมื่อสัมผัสความชื้นในสภาวะปกติ

ในด้านความคงตัวต่อความร้อน พบว่าที่อุณหภูมิสูง แคปซูลจากสาหร่ายไกมีความโดดเด่นด้าน ความคงตัวทางกายภาพ (Physical Stability) ที่เหนือกว่าแคปซูลเจลาตินมาตรฐาน เนื่องจากเจลาตินมีจุดหลอมเหลวต่ำและไวต่อความร้อนสูง มักเกิดการอ่อนตัวหรือละลายติดกัน แต่โครงสร้างเซลลูโลสจากสาหร่ายมีจุดหลอมเหลวทางเคมีที่สูงกว่าและมีเส้นใยช่วยพยุงโครงสร้างให้คงรูปทรงเดิมได้ดี จึงมีความเหมาะสมอย่างยิ่งกับการใช้งานในสภาพภูมิอากาศเขตร้อนและการพกพาในชีวิตประจำวัน

เอกสารอ้างอิง

[1] กานต์ธิดา บุญลอย, จารุวัตร จันทร์ประดิษฐ์, และ ศุภรชัย นิติพันธ์. (2559). อิทธิพลของสารละลายโคลชิซินต่อการเพิ่มจำนวนโครโมโซมของมะพร้าวนกคุ้ม. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 19*(2), 81–88.

[2] กวินนาฏ เสืออบ, ธัญนันท์ วรรณธง, และ บรอคเคิลเฮอร์ส. (2562). ผลของอุณหภูมิและการเพาะเลี้ยงแบบสองขั้นตอนต่อมวลชีวภาพและการสะสมแคโรทีนอยด์ในสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Scenedesmus* PY215. *KKU Science Journal, 47*(2), 243–256.

[3] จิตตนันท์ แก้วมณีสุข. (2564). *การเพาะเลี้ยงและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากสาหร่าย Nostoc commune* [วิทยานิพนธ์ดุษฎีนิพนธ์, มหาวิทยาลัยแม่โจ้].

[4] ณัฐจักร วงศ์คำ, จตุพร ภักดี, และ ธนวรรณ พิณรัตน์. (2558). เครื่องปฏิกรณ์ชนิดหมุนวนสำหรับเพาะเลี้ยงสาหร่าย. *วิศวสารลาดกระบัง, 32*(1), 1–6.

[5] รัชนี เพ็ชร์ช้าง. (2553). ผลของความเข้มข้นและระยะเวลาการให้โคลชิซีนต่อการเจริญและจำนวนโครโมโซมของกล้วยไม้เอื้องเงิน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 29*(4), 413–419.

[6] อรวรรณ รักษ์สงฆ์, อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์, และ ธีรพันธ์ บัญญัติรัชต. (2554). ผลของสารโคลชิซีนต่อลักษณะทางสัณฐานของสบู่ดำ. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร*, (ฉบับพิเศษ), 319–325.

[7] ยุวดี พีรพรพิศาล. (2556). *Freshwater Algae in Thailand* (พิมพ์ครั้งที่ 2). โชตนาพริ้นท์.

[8] Joris, F., et al. (2014). "Assessing the Biocompatibility of Nanocellulose from Algae." *Toxicology Letters*.

[9] O'Neil, M. J. (2013). The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. Royal Society of Chemistry.

[10] Sun, R. C., Sun, X. F., & Liu, G. Q. (2004). Fractional isolation and characterization of cellulose from wheat straw. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*.

ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ญานิสา ดีใจงาม, ภูริพัตร์ มะโดด, ธนัญชนก อรุณมาศ, และ รัชนี โสดถานา*

โรงเรียนพิจิตรพิทยาคม ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร

**Corresponding author: ruch.chee.ppk@gmail.com*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปัญหาขยะพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์อาหารส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง จึงต้องพัฒนาบรรจุภัณฑ์ทางเลือกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพและสามารถตรวจสอบคุณภาพอาหารได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร และค้นหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัด 2) เพื่อสร้างฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารด้วยเพคตินที่สกัดออกมา และค้นหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการขึ้นรูปฟิล์ม 3) เพื่อทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับฟิล์มพลาสติก สำหรับใช้พัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ให้สามารถทำหน้าที่เป็นบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะสำหรับตรวจสอบความสดของอาหารแบบเรียลไทม์

ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินคือการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 mol/dm³ 100 cm³ และสารละลายเอทานอล 150 cm³ สำหรับสกัดเพคติน ฟิล์มชีวภาพที่เตรียมโดยใช้น้ำผึ้งเป็นตัวประสานในปริมาณ 3 g มีสมบัติเชิงกลดีและสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้อย่างมีเสถียรภาพ การเติมสารสกัดจากดอกอัญชัน ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย กะหล่ำปลีม่วง และสารจากธรรมชาติผสม ทำให้ฟิล์มเกิดการเปลี่ยนสีตามการเสื่อมคุณภาพของอาหาร ส่งผลให้สามารถตรวจสอบความสดของอาหารได้โดยไม่ต้องเปิดภาชนะบรรจุ ฟิล์มชีวภาพที่พัฒนาขึ้นมีความแข็งแรงใกล้เคียงกับฟิล์มพลาสติกทั่วไป แต่มีข้อได้เปรียบด้านการย่อยสลายได้ ลดการใช้พลาสติกสังเคราะห์ และเพิ่มมูลค่าให้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ดังนั้น ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมจึงมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารอัจฉริยะที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: ฟิล์มชีวภาพ / เปลือกแตงโม / เพคติน / สารจากธรรมชาติ / ตรวจสอบคุณภาพอาหารแบบเรียลไทม์

Biofilm from watermelon rind for monitoring food quality

Yanisa Deejaingam, Phuriphat Madod, Thananchanok Aroonmas, and Ratchanee Sodtana*

Phichitphitthayakhom School, Mueang District, Phichit Province, 66000, Thailand

**Corresponding author: ruch.chee.ppk@gmail.com*

Abstract

This article presents that plastic waste from food packaging has continuously impacted the environment, creating an urgent need to develop alternative biodegradable packaging capable of monitoring food quality. This research aimed to: (1) extract pectin from watermelon rind for producing a biofilm used in food quality monitoring and determine the optimal extraction conditions; (2) fabricate biofilms from watermelon rind using the extracted pectin and identify suitable film-forming conditions; and (3) evaluate the properties of the developed biofilm and compare its performance with conventional plastic films. The study focuses on utilizing watermelon rind, an agricultural waste material, to develop an intelligent packaging film capable of real-time food freshness monitoring.

The results indicated that the optimal pectin extraction condition involved using 100 cm^3 of 0.1 mol/dm^3 hydrochloric acid solution and 150 cm^3 of ethanol solution. Biofilms prepared with 3 g of honey as a binding agent exhibited good mechanical properties and stable film formation. The incorporation of natural extracts from *Clitoria ternatea*, *Ruellia tuberosa*, *Catharanthus roseus*, *Brassica oleracea* var. *capitata* f. *rubra*, and natural substance mixes of pigments enabled the biofilm to change color according to food spoilage conditions, allowing food freshness to be monitored without opening the packaging. The developed biofilm demonstrated mechanical strength comparable to conventional plastic films while offering advantages in biodegradability, reduction of synthetic plastic usage, and value addition to agricultural waste materials. Therefore, watermelon rind biofilm shows strong potential for application as an environmentally friendly intelligent food packaging system.

Keywords: Biofilm / Watermelon Rind / Pectin / Natural Substances / Real-Time Food Quality Monitoring

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาขยะพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์อาหารส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ มุ่งพัฒนาวัสดุทางเลือกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม บรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ (intelligent packaging) ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหาร เช่น ค่า pH หรือสารระเหยที่เกิดขึ้นระหว่าง การเสื่อมสภาพของอาหาร ช่วยเพิ่มความปลอดภัยของผู้บริโภคและลดการสูญเสียอาหาร [1], [2]

งานวิจัยที่ผ่านมาได้รายงานการพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากวัสดุธรรมชาติและของเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายชนิด เช่น แป้ง เซลลูโลส เพคติน และไคโตซาน ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นฟิล์มย่อยสลายได้สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร นอกจากนี้ การเติมสาร สีธรรมชาติกลุ่มแอนโทไซยานินจากพืช เช่น กะหล่ำปลีม่วง ดอกอัญชัน และผลไม้ต่าง ๆ สามารถทำให้ฟิล์มแสดงการเปลี่ยนสีตามค่าความเป็นกรด–ด่างของอาหาร จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ความสดของอาหาร งานศึกษาหลายผลงานแสดงให้เห็นว่าฟิล์มชีวภาพที่เติมแอนโทไซยานิน สามารถตรวจสอบคุณภาพอาหารทะเลและเนื้อสัตว์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3]-[5]

อย่างไรก็ตาม การนำเปลือกแตงโมซึ่งเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตรปริมาณมากมาใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตฟิล์มชีวภาพเพื่อการตรวจสอบคุณภาพอาหารยังมีการศึกษาจำกัด โดยเฉพาะการใช้ร่วมกับสารสกัดจากพืชหลายชนิด ได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย และกะหล่ำปลีม่วง เป็นต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตอบสนองต่อการเสื่อมคุณภาพของอาหาร ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนา “ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร” เพื่อสร้างบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะที่สามารถตรวจสอบความสดของอาหารแบบเรียลไทม์ ลดของเสียทางการเกษตร และสนับสนุนการพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร และค้นหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัด
2. เพื่อสร้างฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารด้วยเพคตินที่สกัดออกมา และค้นหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการขึ้นรูปฟิล์ม
3. เพื่อทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับฟิล์มพลาสติก

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาภายใต้ขอบเขตดังต่อไปนี้

1. ชนิดกรดที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก และกรดแอซิติก
2. ชนิดตัวประสาน ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ กลีเซอรอล น้ำผึ้ง และซอร์บิทอล
3. ชนิดสารจากธรรมชาติ ที่ใช้ศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย และกะหล่ำปลีม่วง

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยแบ่งการดำเนินการทดลองออกเป็น 8 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 เพื่อศึกษาชนิดกรดที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

1) ชั่งเปลือกแตงโมสีขาวที่ปั่นละเอียดแล้ว 200 g ต้มกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 mol/dm^3 50 cm^3 และ น้ำกลั่น 200 cm^3 เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรองเอาเฉพาะของเหลวใส่ขวดแก้ว แล้วเติมสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร 100 cm^3 ตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง กรองเพคตินด้วยผ้าขาวบางแล้วชั่งน้ำหนักเพคตินที่ได้ พร้อมตรวจสอบคุณภาพเพคตินด้วยการตรวจสอบค่าดูดกลืนแสงด้วยอุปกรณ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สังเกตและบันทึกผล
2) ทำซ้ำข้อ 1 แต่เปลี่ยนชนิดกรดเป็นกรดแอซิติก

ตอนที่ 2 เพื่อศึกษาความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

1) ชั่งเปลือกแตงโมสีขาวที่ปั่นละเอียดแล้ว 200 g ต้มกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 mol/dm^3 50 cm^3 และ น้ำกลั่น 200 cm^3 เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรองเอาเฉพาะของเหลวใส่ขวดแก้ว แล้วเติมสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร 100 cm^3 ตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง กรองเพคตินด้วยผ้าขาวบางแล้วชั่งน้ำหนักเพคตินที่ได้ พร้อมตรวจสอบคุณภาพเพคตินด้วยการตรวจสอบค่าดูดกลืนแสงด้วยอุปกรณ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สังเกตและบันทึกผล
2) ทำซ้ำข้อ 1 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็น 0.1 และ 0.2 mol/dm^3 ตามลำดับ

ตอนที่ 3 เพื่อศึกษาปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

1) ชั่งเปลือกแตงโมสีขาวที่ปั่นละเอียดแล้ว 200 g ต้มกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 50 cm^3 และน้ำกลั่น 200 cm^3 เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรองเอาเฉพาะของเหลวใส่ขวดแก้ว แล้วเติมสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร 100 cm^3 ตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง กรองเพคตินด้วยผ้าขาวบางแล้วชั่งน้ำหนักเพคตินที่ได้ พร้อมตรวจสอบคุณภาพเพคตินด้วยการตรวจสอบค่าดูดกลืนแสงด้วยอุปกรณ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สังเกตและบันทึกผล
2) ทำซ้ำข้อ 1 แต่เปลี่ยนปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเป็น 75, 100, และ 125 cm^3 ตามลำดับ

ตอนที่ 4 เพื่อศึกษาปริมาณสารละลายเอทานอลที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

1) ชั่งเปลือกแตงโมสีขาวที่ปั่นละเอียดแล้ว 200 g ต้มกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 100 cm^3 และน้ำกลั่น 200 cm^3 เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรองเอาเฉพาะของเหลวใส่ขวดแก้ว แล้วเติมสารละลายเอทานอลเข้มข้น ร้อยละ 95 โดยปริมาตร 100 cm^3 ตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง กรองเพคตินด้วยผ้าขาวบางแล้วชั่งน้ำหนักเพคตินที่ได้ พร้อมตรวจสอบคุณภาพเพคตินด้วยการตรวจสอบค่าดูดกลืนแสงด้วยอุปกรณ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ สังเกตและบันทึกผล
2) ทำซ้ำข้อ 1 แต่เปลี่ยนปริมาณสารละลายเอทานอลเป็น 125, 150, และ 175 cm^3 ตามลำดับ

ตอนที่ 5 เพื่อศึกษาชนิดตัวประสานที่เหมาะสมในการทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

1) ชั่งเปลือกแตงโมสีขาวที่ปั่นละเอียดแล้ว 200 g ต้มกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 100 cm^3 และน้ำกลั่น 200 cm^3 เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรองเอาเฉพาะของเหลวใส่ขวดแก้ว แล้วเติมสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร 150 cm^3 ตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง กรองเพคตินด้วยผ้าขาวบางแล้วชั่งน้ำหนักเพคตินที่ได้
2) ชั่งเพคติน 3 g แล้วเติมน้ำกลั่น 20 cm^3 นำไปต้มเป็นเวลา 5 นาที แล้วเติมกลีเซอรอล 3 g คนให้เข้ากัน แล้วเทใส่ภาชนะที่เตรียมไว้ ตรวจสอบคุณภาพฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร
3) ทำซ้ำข้อ 1-2 แต่เปลี่ยนชนิดตัวประสานจากกลีเซอรอลเป็น น้ำผึ้ง และซอร์บิทอล ตามลำดับ

ตอนที่ 6 เพื่อศึกษาปริมาณน้ำผึ้งที่เหมาะสมในการทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

1) ชั่งเปลือกแตงโมสีขาวที่ปั่นละเอียดแล้ว 200 g ต้มกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 100 cm^3 และ น้ำกลั่น 200 cm^3 เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรองเอาเฉพาะของเหลวใส่ขวดแก้ว แล้วเติมสารละลายเอทานอลเข้มข้น ร้อยละ 95 โดยปริมาตร 150 cm^3 ตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง กรองเพคตินด้วยผ้าขาวบางแล้วชั่งน้ำหนักเพคตินที่ได้
2) ชั่งเพคติน 3 g แล้วเติมน้ำกลั่น 20 cm^3 นำไปต้มเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมน้ำผึ้ง 2 g คนให้เข้ากัน แล้วเทใส่ภาชนะ
3) ทำซ้ำข้อ 1-2 แต่เปลี่ยนปริมาณน้ำผึ้งเป็น 3 และ 4 g ตามลำดับ

ตอนที่ 7 เพื่อศึกษาชนิดสารจากธรรมชาติที่เหมาะสมในการทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

1) ชั่งเปลือกแตงโมสีขาวที่ปั่นละเอียดแล้ว 200 g ต้มกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 mol/dm^3 100 cm^3 และ น้ำกลั่น 200 cm^3 เป็นเวลา 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วกรองเอาเฉพาะของเหลวใส่ขวดแก้ว แล้วเติมสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร 150 cm^3 ตั้งทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง กรองเพคตินด้วยผ้าขาวบาง
2) ชั่งดอกอัญชัน 20 g แล้วบดให้ละเอียด จากนั้นเติมน้ำ 20 cm^3 คนเป็นเวลา 10 นาที แล้วกรองเอาเฉพาะของเหลว
3) ชั่งเพคติน 3 g แล้วเติมน้ำกลั่น 20 cm^3 นำไปต้มเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมน้ำผึ้ง 3 g ลงในของเหลวจากข้อ 2 คนให้เข้ากัน แล้วเทใส่ภาชนะที่เตรียมไว้ นำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารดอกอัญชัน ไปทดสอบประสิทธิภาพ
4) ทำซ้ำข้อ 1-3 แต่เปลี่ยนเป็น ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย กะหล่ำปลีม่วง และสารจากธรรมชาติผสมระหว่างดอกอัญชัน ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย กะหล่ำปลีม่วง ตามลำดับ

ขั้นตอนการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโมและการทำฟิล์มชีวภาพเพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพอาหาร ดำเนินการตามลำดับขั้นตอนดังแสดงใน รูปที่ 1 โดยรูปที่ 1 (ก) แสดงขั้นตอนการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโม และรูปที่ 1 (ข) แสดงขั้นตอนการทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

(ก) ขั้นตอนการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโม

(ข) ขั้นตอนการทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

รูปที่ 1 แสดง (ก) ขั้นตอนการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโม และ (ข) ขั้นตอนการทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ตอนที่ 8 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพฟิล์มบรรจุภัณฑ์อาหาร ระหว่างการใช้ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร กับฟิล์มพลาสติก

- นำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร และฟิล์มพลาสติกไปตรวจสอบประสิทธิภาพโดยห่อหุ้มเนื้อสัตว์ เป็นเวลา 5 วัน สังเกตและบันทึกผล

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่

ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; S.D.)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษา เรื่องฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร โดยมีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

5.1 ผลการศึกษารูปแบบผลงานวิชาการ

การศึกษานี้ได้ทำการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโม โดยใช้กรดชนิดต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสกัดและคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำไปผลิตฟิล์มชีวภาพ โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณเพคตินที่สกัดได้และค่าดูดกลืนแสง เมื่อใช้ชนิดกรดต่างกันในการสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ชนิดกรด	ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ (g)					ค่าการดูดกลืนแสง (A)				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
สารละลายกรดไฮโดรคลอริก	2.56	2.53	2.42	2.50	0.074	0.033	0.029	0.028	0.030	0.003
สารละลายกรดแอซิติก	0.81	0.88	1.02	0.90	0.107	0.019	0.025	0.027	0.024	0.004

จากตารางที่ 1 พบว่า การใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกให้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้เฉลี่ยเท่ากับ 2.50 g ซึ่งสูงกว่าการใช้สารละลายกรด แอซิติกที่ให้ค่าเฉลี่ย 0.90 g อย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่ากรดไฮโดรคลอริกมีประสิทธิภาพในการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโมได้ดีกว่า นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสง พบว่าสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ย 0.030 สูงกว่าสารละลายกรดแอซิติกซึ่งมีค่าเฉลี่ย 0.024 ซึ่งอาจสะท้อนถึงความเข้มข้นของเพคตินที่สกัดได้และความบริสุทธิ์ของสารสกัดที่แตกต่างกัน ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของทั้งสองวิธีมีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองมีความสม่ำเสมอและเชื่อถือได้ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้กรดไฮโดรคลอริกเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการเตรียมเพคตินสำหรับผลิตฟิล์มชีวภาพตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการศึกษาปริมาณเพคตินที่สกัดได้และค่าการดูดกลืนแสง เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณเพคตินที่สกัดได้และค่าดูดกลืนแสง เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริกต่างกันในการสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ความเข้มข้นสารละลายกรด HCl (mol/dm³)	ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ (g)					ค่าการดูดกลืนแสง (A)				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
0.05	2.56	2.53	2.42	2.50	0.074	0.033	0.029	0.028	0.030	0.003
0.10	2.93	2.88	2.89	2.90	0.026	0.261	0.256	0.258	0.258	0.003
0.20	3.12	3.07	3.11	3.10	0.026	0.268	0.262	0.264	0.265	0.003

จากตารางที่ 2 พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรด HCl จาก 0.05 เป็น 0.20 mol/dm³ ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้น 0.05 mol/dm³ ให้ปริมาณเพคตินเฉลี่ย 2.50 g ขณะที่ความเข้มข้น 0.10 และ 0.20 mol/dm³ ให้ค่าเฉลี่ย 2.90 และ 3.10 g ตามลำดับ ในส่วนของค่าการดูดกลืนแสงพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของกรด โดยมีค่าเฉลี่ย 0.030, 0.258 และ 0.265 ตามลำดับ ซึ่งสะท้อนถึงปริมาณเพคตินที่สกัดได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม แม้ความเข้มข้น 0.20 mol/dm³ จะให้ปริมาณเพคตินสูงกว่าเล็กน้อย แต่ความเข้มข้นที่ สูงเกินไปอาจส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของโครงสร้างเพคตินและคุณสมบัติของฟิล์มชีวภาพได้ เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ที่ต่ำและความเหมาะสมในการใช้งานจริง จึงสรุปได้ว่าความเข้มข้นสารละลายกรด HCl ที่ 0.10 mol/dm³ เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดเพคตินเพื่อผลิตฟิล์มชีวภาพตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการศึกษาปริมาณเพคตินที่สกัดได้และค่าการดูดกลืนแสง เมื่อใช้ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแตกต่างกันในการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโม แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณเพคตินที่สกัดได้และค่าดูดกลืนแสง เมื่อใช้ปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกต่างกัน ในการสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ปริมาณสารละลายกรด HCl (cm³)	ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ (g)					ค่าการดูดกลืนแสง (A)				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
50	2.93	2.88	2.89	2.90	0.026	0.261	0.256	0.258	0.258	0.003
75	2.97	3.01	3.02	3.00	0.026	0.261	0.262	0.261	0.261	0.001
100	4.92	4.88	4.91	4.90	0.021	0.270	0.268	0.269	0.269	0.001
125	5.03	4.95	5.02	5.00	0.044	0.281	0.274	0.279	0.278	0.004

จากตารางที่ 3 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายกรด HCl จาก 50 เป็น 125 cm³ ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยปริมาณสารละลายกรด 50 และ 75 cm³ ให้ปริมาณเพคตินเฉลี่ย 2.90 และ 3.00 g ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณ 100 และ 125 cm³ ให้ค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 4.90 และ 5.00 g ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นจาก 0.258 เป็น 0.278 แสดงถึงความเข้มข้นของเพคตินในสารสกัดที่สูงขึ้น ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) อยู่ในระดับต่ำ แสดงถึงความสม่ำเสมอของผลการทดลอง อย่างไรก็ตาม แม้ปริมาณกรดที่ 125 cm³ จะให้ปริมาณเพคตินสูงกว่าเล็กน้อย แต่การใช้ปริมาณกรดมากเกินไปอาจทำให้สิ้นเปลืองสารเคมีโดยไม่เพิ่มประสิทธิภาพของระบบสกัด เมื่อพิจารณาความเหมาะสมด้านประสิทธิภาพและการใช้ทรัพยากร จึงสรุปได้ว่าปริมาณสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ 100 cm³ เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดเพคตินเพื่อนำไปผลิตฟิล์มชีวภาพตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการศึกษาปริมาณเพคตินที่สกัดได้และค่าการดูดกลืนแสง เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเอทานอลแตกต่างกันในการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโม แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณเพคตินที่สกัดได้และค่าดูดกลืนแสง เมื่อใช้ปริมาณสารละลายเอทานอลต่างกันในการสกัดเพคตินสำหรับทำฟิล์มชีวภาพ จากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ปริมาณสารละลายเอทานอล (cm³)	ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ (g)					ค่าการดูดกลืนแสง (A)				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
100	4.92	4.88	4.91	4.90	0.021	0.270	0.268	0.269	0.269	0.001
125	5.46	5.53	5.51	5.50	0.036	0.260	0.264	0.261	0.262	0.002
150	6.58	6.61	6.61	6.60	0.017	0.272	0.276	0.276	0.275	0.002
175	6.86	6.91	6.93	6.90	0.036	0.276	0.277	0.280	0.278	0.002

จากตารางที่ 4 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายเอทานอลจาก 100 เป็น 175 cm³ ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยปริมาณเอทานอล 100 และ 125 cm³ ให้ปริมาณเพคตินเฉลี่ย 4.90 และ 5.50 g ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณ 150 และ 175 cm³ ให้ค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 6.60 และ 6.90 g ตามลำดับ ในส่วนของค่าการดูดกลืนแสงมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 0.269-0.278 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของเพคตินในสารสกัดไม่แตกต่างกันมาก เมื่อใช้เอทานอลในปริมาณสูงขึ้น ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) อยู่ในระดับต่ำ แสดงถึงความสม่ำเสมอของผลการทดลอง แม้ว่าปริมาณเอทานอลที่ 175 cm³ จะให้ปริมาณเพคตินสูงกว่าเล็กน้อย แต่การเพิ่มปริมาณเอทานอลมากเกินไปไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพการสกัดที่คุ้มค่าและอาจทำให้สิ้นเปลืองตัวทำละลายโดยไม่จำเป็น เมื่อพิจารณาด้านประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในการใช้งานจริง จึงสรุปได้ว่าปริมาณสารละลายเอทานอลที่ 150 cm³ เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโมเพื่อนำไปผลิตฟิล์มชีวภาพตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการศึกษาความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโม เมื่อใช้ตัวประสานชนิดต่างกันที่อุณหภูมิน้ำแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เวลาที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ เมื่อใช้ชนิดตัวประสานต่างกัน

ชนิดตัวประสาน	เวลาที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (นาที)														
	น้ำเย็น					น้ำอุณหภูมิห้อง					น้ำร้อน				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
กลีเซอรอล	09.31	09.35	09.39	09.35	0.040	05.14	05.00	05.02	05.05	0.076	04.02	04.51	04.22	04.25	0.246
น้ำผึ้ง	10.18	10.12	10.15	10.15	0.030	08.28	08.26	08.16	08.23	0.064	06.05	06.00	06.14	06.06	0.071
ซอร์บิทอล	ไม่สามารถทำเป็นฟิล์มได้														

จากตารางที่ 5 พบว่า ชนิดของตัวประสานมีผลต่อความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโม โดยฟิล์มที่ใช้น้ำผึ้งเป็นตัวประสานสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดีที่สุดในทุกอุณหภูมิ เมื่อเปรียบเทียบ

กับฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอล ในน้ำเย็นฟิล์มน้ำผึ้งมีเวลาเฉลี่ย 10.15 นาที สูงกว่ากลีเซอรอลที่มีค่าเฉลี่ย 9.35 นาที และยังคงให้ค่าการป้องกันสูงกว่าในน้ำอุณหภูมิห้องและน้ำร้อน นอกจากนี้ เมื่ออุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้น ระยะเวลาในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำของฟิล์มทุกสูตรมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากโครงสร้างฟิล์มเกิดการคลายตัวทำให้น้ำซึมผ่านได้ง่ายขึ้น สำหรับซอร์บิทอลไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มชีวภาพได้ แสดงว่าสมบัติของตัวประสานไม่เหมาะสมต่อการสร้างโครงสร้างฟิล์ม ดังนั้น น้ำผึ้ง จึงเป็นตัวประสาน ที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมเพื่อตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการศึกษาแรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมสามารถรับได้ เมื่อใช้ตัวประสานชนิดต่างกัน แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถรับได้เมื่อใช้ชนิดตัวประสานต่างกัน

ชนิดตัวประสาน	แรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถรับได้ (N)				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
กลีเซอรอล	1.50	1.40	1.20	1.37	0.153
น้ำผึ้ง	1.80	1.60	1.60	1.67	0.115
ซอร์บิทอล	ไม่สามารถทำเป็นฟิล์มได้				

จากตารางที่ 6 พบว่า ชนิดของตัวประสานมีผลต่อความแข็งแรงเชิงกลของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมอย่างชัดเจน โดยฟิล์มที่ใช้น้ำผึ้งเป็นตัวประสานสามารถรับแรงดึงได้สูงที่สุด มีค่าเฉลี่ย 1.67 นิวตัน (N) สูงกว่าฟิล์มที่ใช้กลีเซอรอลซึ่งมีค่าเฉลี่ย 1.37 นิวตัน (N) ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของทั้งสองอยู่ในระดับต่ำ แสดงถึงความสม่ำเสมอของผลการทดลอง น้ำผึ้งอาจช่วยเสริมแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโครงสร้างพอลิเมอร์ของเพคติน ทำให้ฟิล์มมีความแข็งแรงและทนต่อแรงดึงได้ดีขึ้น ขณะที่การใช้ซอร์บิทอลไม่สามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มชีวภาพได้ จึงไม่สามารถทดสอบสมบัติแรงดึงได้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำผึ้งเป็นตัวประสานที่เหมาะสมต่อการพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมเพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพอาหาร เนื่องจากช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของฟิล์มได้ดีกว่าตัวประสานชนิดอื่น

ผลการศึกษาความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโม เมื่อใช้ปริมาณน้ำผึ้งแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เวลาที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ เมื่อใช้ปริมาณน้ำผึ้งต่างกัน

ปริมาณน้ำผึ้ง (g)	เวลาที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (นาที)														
	น้ำเย็น					น้ำอุณหภูมิห้อง					น้ำร้อน				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
2	09.36	09.39	09.27	09.34	0.062	07.22	07.49	07.56	07.42	0.180	04.58	04.59	04.42	04.53	0.095
3	10.18	10.12	10.15	10.15	0.030	08.28	08.26	08.16	08.23	0.064	06.05	06.00	06.14	06.06	0.071
4	09.17	09.56	09.32	09.35	0.197	05.32	05.24	04.59	05.05	0.400	04.04	04.45	04.27	04.25	0.206

จากตารางที่ 7 พบว่า ปริมาณน้ำผึ้งมีผลต่อความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมอย่างชัดเจน โดยฟิล์มที่ใช้น้ำผึ้งปริมาณ 3 g ให้ประสิทธิภาพในการต้านทานการซึมผ่านของน้ำดีที่สุดในทุกสภาวะ

อุณหภูมิ ในน้ำเย็นมีค่าเฉลี่ย 10.15 นาที สูงกว่าปริมาณ 2 และ 4 g ซึ่งมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันที่ประมาณ 9.34-9.35 นาที ขณะที่น้ำอุณหภูมิห้องและน้ำร้อน ฟิล์มสูตรน้ำผึ้ง 3 g ยังคงให้ค่าการป้องกันการซึมผ่านของน้ำสูงสุดที่ 8.23 และ 6.06 นาที ตามลำดับ เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำผึ้งเป็น 4 g พบว่าประสิทธิภาพลดลง อาจเนื่องจากปริมาณพลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) ที่มากเกินไปทำให้โครงสร้างฟิล์มมีความยืดหยุ่นสูงและเกิดช่องว่างในโครงข่ายพอลิเมอร์ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) อยู่ในระดับต่ำ แสดงถึงความสม่ำเสมอของผลการทดลอง ดังนั้น ปริมาณน้ำผึ้ง 3 g จึงเหมาะสมต่อการพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมเพื่อใช้ตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการศึกษาแรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมสามารถรับได้ เมื่อใช้ปริมาณน้ำผึ้งแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถรับได้เมื่อใช้ปริมาณน้ำผึ้งต่างกัน

ปริมาณน้ำผึ้ง (g)	แรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถรับได้ (N)				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
2	0.70	0.60	0.40	0.57	0.153
3	1.80	1.60	1.60	1.67	0.115
4	1.10	1.20	1.00	1.10	0.100

จากตารางที่ 8 พบว่า ปริมาณน้ำผึ้งมีผลต่อความแข็งแรงเชิงกลของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมอย่างชัดเจน โดยการใช้น้ำผึ้งปริมาณ 3 g ให้ค่าแรงดึงเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 1.67 นิวตัน แสดงถึงความแข็งแรงของฟิล์มที่เหมาะสมที่สุด ขณะที่การใช้น้ำผึ้ง 2 g ให้ค่าแรงดึงต่ำสุด เนื่องจากปริมาณ พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) ไม่เพียงพอ ทำให้โครงสร้างฟิล์มเปราะและแตกง่าย ส่วนการเพิ่มน้ำผึ้งเป็น 4 g แม้ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์ม แต่ทำให้ความแข็งแรงลดลงเนื่องจากโครงสร้างพอลิเมอร์หลวมมากขึ้น ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของผลการทดลองมีค่าต่ำ แสดงถึงความสม่ำเสมอของข้อมูลทดลอง ดังนั้น ปริมาณน้ำผึ้ง 3 g จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมที่มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการศึกษาความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโม เมื่อเติมสารธรรมชาติชนิดต่างกัน แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เวลาที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ เมื่อใช้ชนิดสารจากธรรมชาติต่างกัน

ชนิดสาร	เวลาที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (นาที)														
	น้ำเย็น					น้ำอุณหภูมิห้อง					น้ำร้อน				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
ดอกอัญชัน	10.01	10.27	10.17	10.15	0.131	08.09	08.36	08.24	08.23	0.135	4.53	5.45	5.14	5.04	0.468
ดอกต้อยติ่ง	9.24	10.00	9.35	9.53	0.411	06.00	06.41	06.02	06.14	0.231	3.57	4.15	4.46	4.06	0.452
ดอกแพงพวย	8.40	8.59	8.42	8.47	0.104	07.08	07.45	07.29	07.27	0.186	5.26	5.56	5.36	5.39	0.153
กะหล่ำปลี	11.04	10.46	11.57	11.02	0.555	06.23	07.11	06.41	06.58	0.465	3.06	3.56	4.01	3.54	0.475

ม่วง															
สารธรรมชาติผสม	12.14	12.55	12.39	12.36	0.207	07.00	07.32	07.10	07.14	0.164	6.09	5.24	5.39	5.57	0.454

จากตารางที่ 9 พบว่า การเติมสารธรรมชาติ ได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย กะหล่ำปลีม่วงและสารธรรมชาติผสม มีผลช่วยเพิ่มความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโม โดยฟิล์มที่เติมสารธรรมชาติแต่ละชนิดให้ค่าระยะเวลาในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำแตกต่างกันเล็กน้อยในแต่ละสภาวะอุณหภูมิ แสดงให้เห็นว่าสารธรรมชาติสามารถเสริมสมบัติโครงสร้างของฟิล์มได้อย่าง มีประสิทธิภาพ ทั้งในน้ำเย็น น้ำอุณหภูมิห้อง และน้ำร้อน ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ระยะเวลาในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากความร้อนทำให้โครงสร้างพอลิเมอร์ของฟิล์มคลายตัว ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แสดงถึงความสม่ำเสมอของผลการทดลอง ดังนั้น การเติมสารธรรมชาติจึงมีความเหมาะสมต่อการพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมสำหรับตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการศึกษาแรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมสามารถรับได้ เมื่อเติมสารธรรมชาติชนิดต่างกัน แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถรับได้เมื่อใช้ชนิดสารจากธรรมชาติต่างกัน

ชนิดสารจากธรรมชาติ	แรงดึงที่ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมตรวจสอบคุณภาพอาหารสามารถรับได้ (N)				
	1	2	3	$\bar{x}$	S.D.
ดอกอัญชัน	1.80	1.60	1.60	1.67	0.115
ดอกต้อยติ่ง	1.70	1.50	1.50	1.57	0.115
ดอกแพงพวย	1.70	1.60	1.40	1.57	0.153
กะหล่ำปลีม่วง	1.80	1.70	1.50	1.67	0.153
สารธรรมชาติผสม	1.80	1.60	1.50	1.63	0.153

จากตารางที่ 10 พบว่า การเติมสารธรรมชาติ ได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย กะหล่ำปลีม่วงและสารธรรมชาติผสม ส่งผลต่อความแข็งแรงเชิงกลของฟิล์ม โดยฟิล์มที่เติมสารธรรมชาติแต่ละชนิดสามารถรับแรงดึงได้ในช่วงใกล้เคียงกัน คือประมาณ 1.57–1.67 นิวตัน (N) แสดงให้เห็นว่าสารธรรมชาติทุกชนิดสามารถเสริมความแข็งแรงของโครงสร้างฟิล์มได้ แม้ว่าค่าแรงดึงเฉลี่ยจะแตกต่างกันเล็กน้อย แต่ยังอยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของทุกสูตรมีค่าต่ำ แสดงถึงความสม่ำเสมอและความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง ทั้งนี้สารประกอบรงควัตถุและสารฟีนอลิกในสารสกัดธรรมชาติอาจช่วยเพิ่มการยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ของเพคติน ส่งผลให้ฟิล์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ดังนั้น การเติมสารธรรมชาติทุกชนิดจึงมีความเหมาะสมต่อการพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมสำหรับใช้ตรวจสอบคุณภาพอาหาร

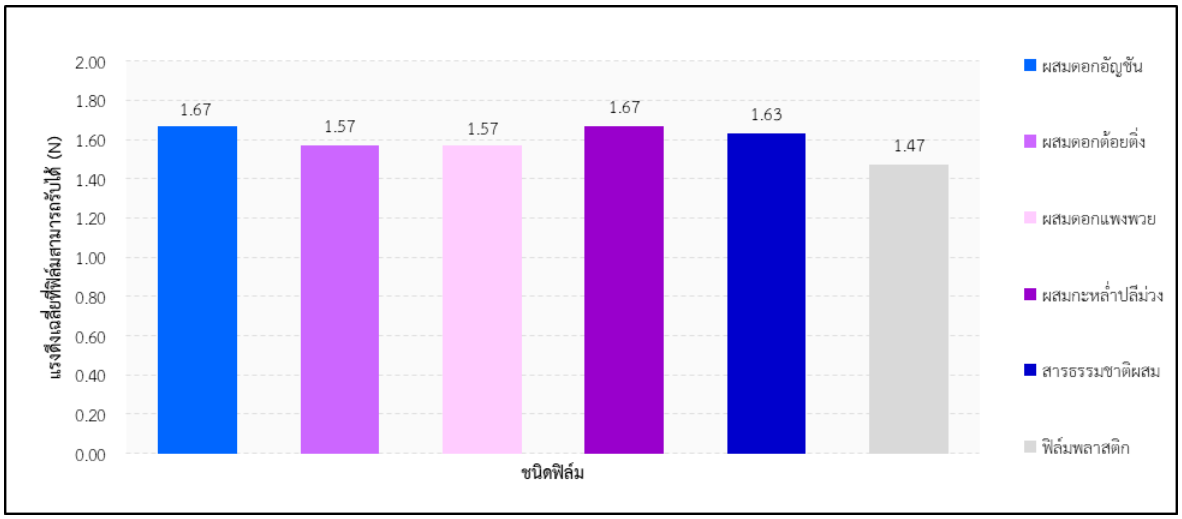
ผลการทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมในการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มในระยะเวลา 5 วัน แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพฟิล์มในการบรรจุภัณฑ์อาหาร เมื่อใช้ชนิดฟิล์มต่างกัน

ชนิดฟิล์ม	ประสิทธิภาพฟิล์มในการบรรจุภัณฑ์อาหารเป็นเวลา 5 วัน				
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5
ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมผสมดอกอัญชัน	สีน้ำเงินอ่อน	สีน้ำเงินแกมเขียว	สีน้ำเงินแกมเขียว	สีน้ำเงินแกมเขียวเข้ม	สีน้ำเงินแกมเขียวเข้ม
ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมผสมดอกต้อยติ่ง	สีน้ำตาลแดง	สีน้ำตาลอมเหลือง	สีน้ำตาลอมเหลือง	สีน้ำตาลอมเหลือง	สีน้ำตาลอมเหลือง
ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมผสมดอกแพงพวย	สีเหลือง	สีเหลืองอมน้ำตาล	สีเหลืองอมน้ำตาล	สีเหลืองอมน้ำตาลเข้ม	สีเหลืองอมน้ำตาลเข้ม
ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมผสมกะหล่ำปลีม่วง	สีม่วงแดง	สีเหลือง	สีเหลือง	สีเหลืองเข้ม	สีเหลืองเข้ม
ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมผสม	สีน้ำเงินเข้ม	สีน้ำเงินแกมเขียวเข้ม	สีน้ำเงินแกมเขียวเข้ม	สีน้ำเงินแกมเขียวเข้ม	สีน้ำเงินแกมเขียวเข้ม
ฟิล์มพลาสติก	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง

จากตารางที่ 11 พบว่า ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมที่เติมสารธรรมชาติทุกชนิดมีการเปลี่ยนแปลงสีแตกต่างกันตามระยะเวลาการเก็บรักษาอาหารภายใน 5 วัน แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทำหน้าที่เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพอาหารได้อย่างชัดเจน การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มเกิดจากการตอบสนองของสารรงควัตถุธรรมชาติต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด – เบสภายในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งสัมพันธ์กับกระบวนการเสื่อมสภาพของอาหาร ฟิล์มที่เติมสารจากดอกอัญชัน ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย กะหล่ำปลีม่วง และสารธรรมชาติผสม ต่างแสดงการเปลี่ยนสีในลักษณะเฉพาะของแต่ละชนิด สะท้อนถึงศักยภาพในการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะได้ทั้งหมด ในขณะที่ฟิล์มพลาสติกทั่วไปไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีตลอดระยะเวลาการทดลอง แสดงให้เห็นว่า ไม่สามารถบ่งชี้คุณภาพอาหารได้ ดังนั้น ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมที่เติมสารธรรมชาติทุกชนิดจึงมีความเหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ตรวจสอบคุณภาพอาหาร

ผลการเปรียบเทียบค่าแรงดึงเฉลี่ยของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมที่ผสมสารธรรมชาติต่างชนิด เปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติก แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงแรงดึงเฉลี่ยที่ฟิล์มชนิดต่าง ๆ สามารถรับได้

อภิปรายผล

จากการศึกษาการสกัดเพคตินเพื่อพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโม พบว่าชนิดและเงื่อนไขของกรดมีผลต่อประสิทธิภาพการสกัด โดยกรด HCl ให้ปริมาณเพคตินและค่าการดูดกลืนแสงสูงกว่ากรด CH_3COOH แสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่าความเข้มข้นกรดที่เหมาะสมคือ 0.1 M เนื่องจากให้ผลการสกัดสูงสุดโดยไม่เกิดการสลายตัวมากเกินไป ปริมาณกรดที่เหมาะสมคือ 100 cm^3 เพราะให้ปริมาณเพคตินสูงและเริ่มเข้าสู่จุดอิ่มตัวเมื่อเพิ่มมากกว่านี้ สำหรับเอทานอล ปริมาณ 150 cm^3 เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ผลใกล้เคียงกับ 175 cm^3 แต่ประหยัดกว่า ในการขึ้นรูปฟิล์ม น้ำผึ้งเป็นตัวประสานที่ดีที่สุด โดยปริมาณ 3 กรัม ให้ความแข็งแรงและทนต่อน้ำสูงสุด การเติมสารธรรมชาติช่วยเพิ่มคุณสมบัติการใช้งานของฟิล์ม และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มพลาสติก พบว่าฟิล์มชีวภาพมีความแข็งแรงใกล้เคียงกัน แต่มีข้อดีเพิ่มเติมคือสามารถเปลี่ยนสีเพื่อตรวจสอบคุณภาพอาหารได้แบบเรียลไทม์ จึงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะในอนาคต นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างเปลือกแตงโม และเป็นแนวทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าพลาสติกทั่วไป อีกทั้งสามารถต่อยอดพัฒนาเชิงพาณิชย์ได้ ในอนาคตหากมีการปรับปรุงความคงทนและกระบวนการผลิตให้เหมาะสมยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้วัสดุชีวภาพเพื่อทดแทนบรรจุภัณฑ์แบบดั้งเดิม และสนับสนุนแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนอย่างยั่งยืน

5.2 ผลการศึกษาข้อมูลผลงานวิชาการในฐานข้อมูล Scopus

ผลการศึกษาผลงานวิชาการที่ตีพิมพ์และจัดทำดัชนีในฐานข้อมูล Scopus เกี่ยวกับฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมเพื่อการตรวจสอบคุณภาพอาหาร สามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังต่อไปนี้

1) งานวิจัยของนักวิจัยไทยเกี่ยวกับฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโม

การพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องในประเทศไทย โดยเฉพาะการนำเปลือกแตงโมซึ่งเป็นของเหลือจากกระบวนการแปรรูปอาหารมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ นักวิจัยไทยได้ศึกษาการพัฒนาฟิล์มเทอร์โมพลาสติกจากแป้งร่วมกับสารสกัดเปลือกแตงโม เพื่อเพิ่มสมบัติต้านออกซิเดชันและต้านจุลินทรีย์สำหรับการประยุกต์ใช้ด้านบรรจุภัณฑ์อาหาร ผลการศึกษาพบว่า การเติมสารสกัดเปลือกแตงโมช่วยเพิ่มความแข็งแรงเชิงกลของฟิล์ม เพิ่มความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และสามารถลดการเจริญของจุลินทรีย์ในผักสดระหว่างการเก็บรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ สะท้อนถึงศักยภาพของการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน [6]

2) ฟิล์มแอคทีฟจากสารสกัดเปลือกแตงโม (Active Bio-Packaging)

กรณีศึกษาการพัฒนาฟิล์มพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA)/แป้ง ผสมสารสกัดเปลือกแตงโม (Watermelon Rind Extract: WMRE) รายงานในวารสาร Polymers (ค.ศ. 2022) พบว่า การเติม WMRE ร้อยละ 10 (v/v) ส่งผลให้ค่าความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้นจาก 19.44 เป็น 33.67 MPa และค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH scavenging activity) เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 29.21 เป็นร้อยละ 63.37 นอกจากนี้ ฟิล์มดังกล่าวยังแสดงฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Bacillus cereus* ได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 เมื่อประยุกต์ใช้ในการห่อกะหล่ำปลีหั่นสด พบว่าสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์หลังการเก็บรักษา 3 วัน ได้ดีกว่าฟิล์มควบคุมและบรรจุภัณฑ์ PET เชิงพาณิชย์ สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของฟิล์มแอคทีฟจากเปลือกแตงโมในการยืดอายุการเก็บรักษา อีกทั้งเพิ่มความปลอดภัยของอาหาร และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [7]

3) ฟิล์มเพคตินจากเปลือกแตงโมเสริมแรงด้วยนาโนเซลลูโลสเพื่อยืดอายุอาหารสด

งานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสาร International Journal of Biological Macromolecules (ค.ศ. 2025) ได้พัฒนาฟิล์มจากเพคตินที่สกัดจากเปลือกแตงโมร่วมกับนาโนเซลลูโลส โดยพบว่า ฟิล์มที่เติมนาโนเซลลูโลสร้อยละ 5 มีค่าความต้าน

แรงดึงสูงสุดประมาณ 22.88 MPa ขณะที่สูตรที่เติมร้อยละ 10 สามารถลดการสูญเสียน้ำของดอกกะหล่ำหั่นสดจากร้อยละ 64.82 เหลือร้อยละ 46.07 ภายในระยะเวลา 7 วัน นอกจากนี้ ฟิล์มดังกล่าวสามารถย่อยสลายในดินได้หมดภายใน 24 วัน แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการเป็นบรรจุภัณฑ์ชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถใช้ทดแทนพลาสติกแบบดั้งเดิมได้ [8]

4) แนวโน้มภาพรวมจากงานวิจัยในฐานข้อมูล Scopus

จากการทบทวนวรรณกรรมในฐานข้อมูล Scopus พบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการใช้เพคตินและสารโพลีฟีนอลจากเปลือกแตงโมเป็นวัตถุดิบหลัก โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มสำคัญ ได้แก่ ฟิล์มแอคทีฟ (Active films) ที่มีสมบัติต้านออกซิเดชันและต้านจุลินทรีย์ และฟิล์มอัจฉริยะ (Intelligent films) ที่สามารถเปลี่ยนสีตามการเปลี่ยนแปลงค่า pH หรือก๊าซที่เกิดจากการเน่าเสียของอาหาร การประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มอาหารสด นอกจากนี้ แนวโน้มงานวิจัยยังเชื่อมโยงกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และการใช้ของเหลือทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกแตงโมเพื่อใช้ทำฟิล์มชีวภาพตรวจสอบคุณภาพอาหาร คือ การใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 mol/dm³ ปริมาตร 100 cm³ ร่วมกับน้ำกลั่น 200 cm³ และสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 150 cm³ โดยใช้เปลือกแตงโมส่วนสีขาว 200 g ซึ่งสามารถให้ปริมาณเพคตินที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูปฟิล์มชีวภาพ สำหรับการเตรียมฟิล์มพบว่าน้ำผึ้งเป็นตัวประสานที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ในปริมาณ 3 g และมีอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเพคติน : น้ำผึ้ง : สารสกัดจากธรรมชาติ เท่ากับ 3 : 3 : 20 นอกจากนี้ การเติมสารสกัดจากพืชธรรมชาติ ได้แก่ ดอกอัญชัน ดอกต้อยติ่ง ดอกแพงพวย กะหล่ำปลีม่วง และสารธรรมชาติผสมสามารถทำให้ฟิล์มชีวภาพมีสมบัติเปลี่ยนสีเพื่อตรวจสอบคุณภาพอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ฟิล์มชีวภาพที่พัฒนาขึ้นมีความแข็งแรงใกล้เคียงกับฟิล์มพลาสติกทั่วไป แต่มีข้อได้เปรียบคือสามารถทำหน้าที่เป็นตัวบ่งชี้ความสดของอาหารแบบเรียลไทม์โดยไม่ต้องเปิดภาชนะบรรจุ

สำหรับการศึกษาต่อไป ควรมีการทดสอบประสิทธิภาพของฟิล์มชีวภาพกับอาหารหลากหลายประเภทภายใต้สภาวะการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน รวมถึงการศึกษาความคงตัวของสีและอายุการใช้งานของฟิล์มในระยะยาว นอกจากนี้ การพัฒนากระบวนการผลิตในระดับกึ่งอุตสาหกรรม และการปรับปรุงสมบัติการกันความชื้น จะช่วยผลักดันให้ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกแตงโมสามารถนำไปใช้จริงในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหารอย่างยั่งยืนในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] Ahmed, I., Lin, H., Zou, L., Li, Z., Brody, A. L., & Qazi, I. M. (2018). A comprehensive review on intelligent packaging for food applications. *Trends in Food Science & Technology*, 72, 91–103. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.016

[2] Kuswandi, B. (2020). Intelligent food packaging: Sensors for monitoring of food quality and safety. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 28, 100342. https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100342

[3] Ma, P., Wang, Y., & Fan, K. (2026). Intelligent packaging films based on anthocyanins: Structural properties and food freshness monitoring. *Food Chemistry X*, 34, 103634

[4] Yang, M., et al. (2025). Recent advances in anthocyanin-based intelligent active food packaging: A review. *Food Chemistry*, 492, 145309

[5] Zheng, D., Cao, S., Li, D., Wu, Y., Duan, P., Liu, S., Li, X., & Chen, Y. (2024). Chitosan/anthocyanin intelligent packaging film for shrimp freshness monitoring. *International Journal of Biological Macromolecules*, 264, 130692

[6] โตธนะเกษม, ท., ใจประเสริฐ, ช., สร้อยสุวรรณ, ธ., สุขเสริมสกุล, ศ., สุวพานิช, ร., กิจสวัสดิ์ มาลีนนท์, ก., คุ้มพงศ์, ป., และ ยัง, บี. เอ็ม. (2565). Active thermoplastic starch films incorporated with watermelon rind extract for biodegradable food packaging applications [ฟิล์มเทอร์โมพลาสติกจากแป้งผสมสารสกัดเปลือกแตงโมเพื่อการประยุกต์ใช้ด้านบรรจุภัณฑ์อาหารย่อยสลายได้]. *Polymers, 14*(16), 3310. https://doi.org/10.3390/polym14163310

[7] Zhang, Y., Liu, X., Wang, S., Li, J., & Chen, H. (2022). Development of poly(vinyl alcohol)/starch film incorporated with watermelon rind extract for active food packaging applications. *Polymers, 14*(16), 3310. https://doi.org/10.3390/polym14163310

[8] Chen, L., Zhang, H., Wu, J., Sun, Y., & Li, X. (2025). Preparation and characterization of watermelon rind pectin-based films reinforced with nanocellulose for fresh-cut vegetable preservation. *International Journal of Biological Macromolecules, 260*, 129801. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129801

การพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากแป้งข้าวโพดผสมสารดูดกลิ่นจากชีวมวลเปลือกส้มโชกุนเพื่อยืดอายุการใช้งานบรรจุภัณฑ์อาหาร

อภิญญา แซ่โฮ[1], ภวรัญชน์ ยอดแก้ว[1], ณัฐวุฒิ ศรีอัดชา[1], อดุลย์สมาน สุขแก้ว[2,3], อัมพร เพชรโชติ[1] , และ สุธี จุ้งลก[1*]

[1]โรงเรียนเบตง "วีระราษฎร์ประสาน" ตำบลเบตง อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[2]สมาคมนักวิจัยชายแดนใต้ ตำบลสะเตง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[3]คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ตำบลสะเตง อำเภอเมือง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
** Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันบรรจุภัณฑ์อาหารจากพลาสติกสังเคราะห์ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากย่อยสลายได้ยากและก่อให้เกิดขยะสะสมในระบบนิเวศ ฟิล์มชีวภาพจากพอลิเมอร์ธรรมชาติจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากแป้งข้าวโพดผสมสารดูดกลิ่นที่ได้จากชีวมวลเปลือกส้มโชกุนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์อาหารและยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร โดยใช้แป้งข้าวโพดเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติหลักร่วมกับสารพลาสติไซเซอร์ เพื่อช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์ม และเติมสารดูดกลิ่นจากเปลือกส้มโชกุนซึ่งผ่านกระบวนการเตรียมที่เหมาะสม ฟิล์มชีวภาพที่ได้ถูกนำไปศึกษาสมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกล รวมถึงการประเมินความสามารถในการดูดซับกลิ่นและการประยุกต์ใช้กับบรรจุภัณฑ์อาหารตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่าฟิล์มชีวภาพที่พัฒนาขึ้นสามารถดูดซับกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีค่า pH อยู่ในช่วงประมาณ 4.5–5.5 ซึ่งสามารถช่วยลดการเสื่อมคุณภาพของอาหารได้ นอกจากนี้ ฟิล์มยังคงมีสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมต่อการใช้งาน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ฟิล์มชีวภาพ / แป้งข้าวโพด / เปลือกส้มโชกุน / สารดูดกลิ่นจากชีวมวล / บรรจุภัณฑ์

Development of odor-absorbing bio-films from corn starch and shogun orange peel biomass for enhanced food packaging longevity

Apinya Saeho[1] , Pawarun Yodkaeo[1] , Nadthawut Sriatcha[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

Currently, synthetic plastic food packaging remains a persistent environmental challenge due to its resistance to degradation and the resulting accumulation of waste in ecosystems. Consequently, biopolymer films derived from natural sources have emerged as a widely recognized alternative. This research aims to develop a bio-based film using corn starch incorporated with odor-absorbing agents derived from Shogun orange peel biomass to enhance packaging efficiency and extend the shelf life of food products.

In this study, corn starch served as the primary natural polymer, with plasticizers added to improve film flexibility. The odor-absorbing agents from Shogun orange peels were prepared through an optimized process and integrated into the film matrix. The resulting bio-based films were evaluated for their physical and mechanical properties, as well as their odor-absorption capacity and practical application in food packaging samples. The results demonstrated that the developed bio-based film effectively absorbs unpleasant odors and maintains a pH range of approximately 4.5–5.5, which contributes to reducing food spoilage. Furthermore, the film exhibited mechanical properties suitable for practical use. This research highlights the potential of developing eco-friendly food packaging and provides a sustainable pathway for adding value to agricultural waste.

Keywords: Bio-based film / Corn starch / Shogun orange peel / Biomass-derived odor absorber / Food packaging

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาขยะพลาสติกจากบรรจุภัณฑ์อาหารเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในด้านการสะสมของขยะที่ย่อยสลายยาก การปนเปื้อนในดินและแหล่งน้ำ รวมถึงการเกิดไมโครพลาสติกที่ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตและมนุษย์โดยตรง บรรจุภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่ผลิตจากพลาสติกสังเคราะห์ซึ่งมีความทนทาน แต่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติในระยะเวลาสั้น ๆ จึงก่อให้เกิดปัญหาด้านการจัดการขยะในระยะยาว [1]

ในขณะเดียวกัน แนวคิดการพัฒนาวัสดุชีวภาพได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการนำวัสดุจากธรรมชาติ เช่น แป้งจากพืช มาพัฒนาเป็นฟิล์มชีวภาพสำหรับใช้ทดแทนพลาสติก แป้งข้าวโพดเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายและสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ดีเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนและเติมสารช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและยังสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากปัญหาขยะแล้ว ปัญหากลิ่นไม่พึงประสงค์ภายในบรรจุภัณฑ์อาหารก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพสินค้าและอายุการเก็บรักษา กลิ่นที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของอาหารอาจทำให้ผู้บริโภคไม่มั่นใจในความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น การพัฒนาฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่สามารถดูดซับกลิ่นหรือยับยั้งการเกิดกลิ่นได้จึงเป็นแนวทางที่ช่วยเพิ่มมูลค่าและประสิทธิภาพของบรรจุภัณฑ์อาหาร

เปลือกส้มโชกุนซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งเป็นชีวมวลที่มีสารประกอบสำคัญ เช่น น้ำมันหอมระเหยและสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยดูดซับกลิ่นและยับยั้งจุลินทรีย์บางชนิด การนำเปลือกส้มมาแปรรูปและผสมลงในฟิล์มชีวภาพจากแป้งข้าวโพด จึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มคุณสมบัติการดูดกลิ่นให้กับฟิล์ม อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณของเสียทางการเกษตรและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุชีวมวล [2]

ที่ผ่านมามีการศึกษาอย่างแพร่หลายในการนำของเสียชีวภาพหลากหลายชนิดมาพัฒนาเป็นฟิล์มชีวภาพเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างเช่น การสกัดเซลลูโลสจากเปลือกข้าวโพดและซังข้าวโพด เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับฟิล์มแป้ง การใช้เปลือกกุ้งและกระดองปู มาผลิตไคโตซานซึ่งมีคุณสมบัติยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี รวมถึงการนำกากกาแฟและเปลือกผลไม้ เช่น เปลือกส้มหรือเปลือกกล้วย มาผสมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการป้องกันแสงยูวีและการซึมผ่านของไอน้ำ งานวิจัยเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าของเสียทางการเกษตรไม่เพียงแต่เป็นแหล่งวัตถุดิบราคาถูก แต่ยังมีสารสำคัญที่ช่วยยกระดับประสิทธิภาพของฟิล์มให้ใช้งานได้จริงในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์

ดังนั้น โครงงานนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากแป้งข้าวโพดผสมสารดูดกลิ่นจากเปลือกส้มโชกุน เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ความสามารถในการดูดกลิ่น และศักยภาพในการยืดอายุการใช้งานของบรรจุภัณฑ์อาหาร อันจะเป็นแนวทางในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากแป้งข้าวโพดผสมเปลือกส้มโชกุนสำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร
2. เพื่อศึกษาความสามารถของฟิล์มในการดูดซับกลิ่นและยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร
3. เพื่อประเมินความเหมาะสมในการนำฟิล์มชีวภาพที่พัฒนาไปประยุกต์ใช้จริง

3. ขอบเขตของการศึกษา

ตัวแปรอิสระ	ปริมาณน้ำสกัดจากเปลือกส้มโชกุนที่เติมลงในฟิล์มชีวภาพจากแป้งข้าวโพดในสัดส่วนที่แตกต่างกัน
ตัวแปรตาม	ความสามารถในการลดกลิ่น ระยะเวลาในการคงคุณภาพอาหาร
ตัวแปรควบคุม	ปริมาณแป้งข้าวโพดและกลีเซอรอล อุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน ขนาดและความหนาของแผ่นฟิล์ม

4. วิธีการศึกษา

4.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1. แป้งข้าวโพด
2. เปลือกส้มโชกุน
3. กลีเซอรีน (VG Glycerine 99.5% USP Grade)
4. น้ำส้มสายชูกลั่น 5%
5. น้ำกลั่นบริสุทธิ์
6. เครื่องชั่งดิจิทัล
7. เครื่องปั่นอเนกประสงค์
8. บีกเกอร์
9. แท่งแก้วคนสาร

4.2 วิธีการขึ้นรูปฟิล์มต้นแบบ

การขึ้นรูปฟิล์มต้นแบบในโครงงานนี้ใช้กระบวนการหล่อแบบสารละลายโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแบ่งสูตรการทดลองออกเป็น 3 สูตรตามสัดส่วนของน้ำต้มเปลือกส้มโชกุน [3] ดังนี้

สูตรควบคุม : ปริมาณสารสกัดเปลือกส้มโชกุน 0%
สูตรที่ 1 : ปริมาณสารสกัดเปลือกส้มโชกุน 10%
สูตรที่ 2 : ปริมาณสารสกัดเปลือกส้มโชกุน 20%
สูตรที่ 3 : ปริมาณสารสกัดเปลือกส้มโชกุน 30%

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมสารละลาย : ผสมแป้งข้าวโพดและน้ำกลั่นตามสัดส่วนในบีกเกอร์ จากนั้นเติมน้ำต้มเปลือกส้มโชกุนตามสูตรที่กำหนดทั้ง 3 สูตร

ขั้นตอนที่ 2 การทำให้เกิดเจล : นำสารละลายไปให้ความร้อนด้วยเครื่อง Hot plate stirrer ที่อุณหภูมิประมาณ 80-85°C กวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 20-30 นาที จนสารละลายเริ่มมีความหนืดและใสขึ้น

ขั้นตอนที่ 3 การเติมสารเพิ่มความยืดหยุ่น : เติมกลีเซอรอลลงไปในขณะที่เจลยังร้อนอยู่ กวนต่ออีก 5-10 นาทีเพื่อให้เนื้อสารเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 4 การหล่อฟิล์ม : เทสารละลายปริมาณที่เท่ากันลงในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ พยายามเกลี่ยให้ทั่ว นำแม่พิมพ์ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าฟิล์มจะแห้งสนิท

ขั้นตอนที่ 5 การแกะฟิล์ม : ค่อยๆ ลอกฟิล์มออกจากแม่พิมพ์ และเก็บไว้ในถุงซิปล็อกเพื่อป้องกันความชื้นก่อนนำไปทดสอบ

รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มจากแป้งข้าวโพดและเปลือกส้มโชกุน

4.3 การตรวจสอบประสิทธิภาพในการลดกลิ่น [4]

4.3.1 เตรียมขวดโหลขนาดเท่ากัน 4 ใบ บรรจุสำลีชุบแอมโมเนียเข้มข้น 10% ปริมาณ 2 มิลลิลิตร เพื่อสร้างกลิ่นตัวแทน

4.3.2 นำฟิล์มชีวภาพแต่ละสูตร 0%, 10%, 20%, 30% ปิดทับที่ปากขวดโหลให้สนิทด้วยยางรัด

4.3.3 ให้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 คน ทำการทดสอบดมกลิ่นที่เล็ดลอดออกมาหลังจากผ่านไป 30 นาที และ 60 นาทีให้คะแนนความสามารถในการลดกลิ่น (Rating Scale 1-5) โดยกำหนดเกณฑ์ดังนี้

5 คะแนน ลดกลิ่นได้ดีเยี่ยม (ไม่ได้กลิ่นแอมโมเนียเลย)
1 คะแนน ลดกลิ่นไม่ได้เลย (ได้กลิ่นแอมโมเนียรุนแรง)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านลักษณะปรากฏและประสิทธิภาพในการลดกลิ่นของฟิล์มชีวภาพสูตรต่าง ๆ ถูกแสดงอยู่ใน ตารางที่ 1 โดยมีรายละเอียดดังนี้ [5]

ตารางที่ 1 แสดงระดับความยืดหยุ่นของฟิล์ม

สูตรฟิล์ม	ปริมาณสารสกัด (%)	ระดับความยืดหยุ่น	คะแนนการลดกลิ่น(1-5)
สูตรควบคุม	0%	ดีมาก	1.2 ± 0.2
สูตรที่ 1	10%	ดี	2.6 ± 0.5
สูตรที่ 2	20%	ปานกลาง	4.0 ± 0.4
สูตรที่ 3	30%	ค่อนข้างเหนียว	4.8 ± 0.3

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าระดับความยืดหยุ่นของฟิล์มสูตรควบคุมมีระดับดีมากและสูตรที่ 1 2 และ 3 มีความยืดหยุ่นดี ปานกลาง ค่อนข้างเหนียว ลดลงตามลำดับ ในส่วนของประสิทธิภาพการลดกลิ่นสูตรควบคุมสามารถลดกลิ่นได้ 1.2 ± 0.2 สูตรที่ 1 2 และ 3 คะแนนการลดกลิ่นมีเปอร์เซ็นต์สูงขึ้นตามตาราง

6. สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองพบว่า ปริมาณสารสกัดจากเปลือกส้มโชกุนมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพเชิงหน้าที่ของฟิล์มแป้งข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญ โดยในสูตรควบคุม 0% ฟิล์มที่ได้จะมีลักษณะใสและผิวเรียบเนียนสม่ำเสมอ แต่ในทางเทคนิคจะมีข้อจำกัดเรื่องความเปราะและแตกหักง่าย เนื่องจากโมเลกุลของแป้งยึดเกาะกันแน่นเกินไปจนขาดความยืดหยุ่น อีกทั้งยังไม่มีคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย เมื่อมีการเติมสารสกัดจากเปลือกส้มโชกุนในระดับ 10% ถึง 20% สารสำคัญกลุ่มน้ำมันหอมระเหยและฟีนอลิกจะเข้าไปทำหน้าที่เป็น "สารช่วยปรับสภาพความยืดหยุ่นธรรมชาติ" ซึ่งทำให้ฟิล์มมีความเหนียว ยืดหยุ่น และทนทานต่อการดึงได้ดีขึ้น พร้อมกันนี้ยังมีสมบัติในการกรองแสงและมีกลิ่นหอมจากสารสกัดที่ช่วยกลบและลดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในอาหารตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดสูงขึ้นถึงระดับ 30% พบว่าความเข้มข้นที่มากเกินไปกลับส่งผลเสียต่อโครงสร้าง โดยจะเข้าไปขัดขวางการสร้างพันธะระหว่างโมเลกุลแป้งและทำให้เกิดการแยกชั้นของส่วนประกอบ ส่งผลให้ฟิล์มสูญเสียความแข็งแรงเชิงกลจนเปราะแตกง่ายและไม่สามารถนำมาขึ้นรูปเพื่อใช้งานจริงได้ ในขณะที่ด้านการต้านจุลชีพพบว่าประสิทธิภาพจะแปรผันตรงตามความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารออกฤทธิ์จะเข้าไปทำลายระบบเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ได้รุนแรงขึ้น

ดังนั้น จากการเปรียบเทียบปัจจัยรอบด้านพบว่า สูตรที่ผสมสารสกัด 20% เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้งาน เนื่องจากเป็นจุดที่สร้างสมดุลได้อย่างสมบูรณ์ ระหว่างความแข็งแรงทนทานของตัวฟิล์มที่ยังสามารถห่อหุ้มอาหารได้จริง ควบคู่กับความสามารถในการยับยั้งเชื้อและการลดกลิ่นที่มีประสิทธิภาพสูงเพียงพอต่อการยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมวิชาการเกษตร. (2565). *แนวทางการพัฒนาวัสดุชีวภาพจากพืชเศรษฐกิจเพื่ออุตสาหกรรมสีเขียว.* กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[2] กรมวิชาการเกษตร. (2564). *การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.* กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[3] วิไลวรรณ โชติรัตน์. (2565). *การปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของฟิล์มแป้งข้าวโพดด้วยพลาสติไซเซอร์และสารสกัดธรรมชาติ*. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. (2565). *มาตรฐานและการทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่นในผลิตภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ*. กรุงเทพฯ: กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

[5] อรทัย สุขเกษม และคณะ. (2564). *ประสิทธิภาพการดูดซับกลิ่นและสารระเหยง่ายของฟิล์มพลาสติกชีวภาพที่มีส่วนผสมของน้ำมันเปลือกส้ม*. เชียงใหม่: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ไบโอชาร์จากเปลือกมังคุด ทางเลือกในการปรับปรุงดินและลดการสะสมของเชื้อโรคในดิน

ธนกฤต เวียงทอง[1], กฤติพงศ์ ลิปิธีรกร[1], พีรวิชญ์ ชัยพานิชย์[1], อดุลย์สมาน สุขแก้ว[2,3], และ สุธี จุ้งลก[1*]

[1]โรงเรียนเบตง "วีระราษฎร์ประสาน" 19 ถนนรวมวิทย์ อำเภอเบตง จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[2]สมาคมนักวิจัยชายแดนใต้ ตำบลสะเตง อำเภอเมืองยะลา จังหวัดยะลา ประเทศไทย
[3]คณะวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ตำบลสะเตง อำเภอเมืองยะลา จังหวัดยะลา ประเทศไทย
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th*

บทคัดย่อ

การเสื่อมโทรมของดินและปัญหาดินเป็นกรดเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการเกษตรของประเทศไทย ขณะเดียวกันการผลิตมังคุดก่อให้เกิดเปลือกมังคุดจำนวนมากซึ่งยังไม่ได้รับการใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตไบโอชาร์จากเปลือกมังคุดด้วยกระบวนการไพโรไลซิสภายใต้สภาวะออกซิเจนจำกัดที่อุณหภูมิประมาณ 450 องศาเซลเซียส และศึกษาผลของการเติมไบโอชาร์ต่อสมบัติของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) และอัตราการซึมน้ำของดิน โดยกำหนดอัตราการเติมไบโอชาร์ที่ร้อยละ 0, 2, 5 และ 10 และบ่มดินเป็นเวลา 28 วัน ผลการทดลองพบว่า การเติมไบโอชาร์ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด–ด่างของดินเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตามปริมาณที่เติม โดยอัตราร้อยละ 10 ให้ค่าการปรับปรุง pH สูงสุด จากค่าเฉลี่ย 5.32 เป็น 6.18 นอกจากนี้ การเติมไบโอชาร์ในอัตราร้อยละ 2 และ 5 ช่วยเพิ่มอัตราการซึมน้ำของดินได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ขณะที่อัตราร้อยละ 10 แม้ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ แต่ทำให้อัตราการซึมน้ำลดลงเล็กน้อย

สรุปได้ว่า ไบโอชาร์จากเปลือกมังคุดมีศักยภาพในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน โดยเฉพาะในดินกรด ซึ่งอัตราการเติมร้อยละ 5 ให้ผลสมดุลที่เหมาะสมทั้งด้านการปรับค่า pH และการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการน้ำในดิน การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงแนวทางการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และสนับสนุนการพัฒนาเกษตรกรรมอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ไบโอชาร์/ เปลือกมังคุด / ไพโรไลซิส / เชื้อโรค

Mangosteen pericarp-derived biochar: A sustainable alternative for soil amendment and the mitigation of soil-borne pathogen accumulation.

Thanakrit Wiangthong[1], Kritipong Lipiteerakorn [1], Pheerawit Chaipanit[1], Adulsman Sukkaew[2,3], 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

Soil degradation and acidic soil problems are major obstacles to agriculture in Thailand. At the same time, mangosteen production creates a large amount of mangosteen peels that have not been fully utilized. This research aims to produce biochar from mangosteen peels through a pyrolysis process under limited oxygen conditions at a temperature of approximately 450°C, and to study the effects of adding biochar on soil properties, including pH value and soil water infiltration rate. The biochar addition rates were set at 0%, 2%, 5%, and 10%, and the soil was incubated for 28 days. The results showed that adding biochar clearly increased the soil pH according to the amount added. The 10% rate gave the highest pH improvement, from an average of 5.32 to 6.18. In addition, adding biochar at 2% and 5% helped improve the soil water infiltration rate the most compared to the control group. Meanwhile, the 10% rate helped increase water-holding capacity but caused the infiltration rate to decrease slightly.

In conclusion, mangosteen peel biochar has the potential to be used as a soil amendment, especially in acidic soil. An addition rate of 5% provides the most suitable balance for both adjusting the pH value and increasing water management efficiency in the soil. This study shows a way to add value to agricultural waste and supports the development of sustainable agriculture.

Keywords: Biochar / Mangosteen peel / Pyrolysis / Pathogen

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีพื้นที่เพาะปลูกมากกว่าร้อยละ 40 ของพื้นที่ทั้งหมด ภาคการเกษตรจึงมีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจและความมั่นคงทางอาหาร อย่างไรก็ตาม ปัญหาดินเสื่อมโทรม เช่น ดินเป็นกรด ความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ และการสูญเสียธาตุอาหาร กำลังทวีความรุนแรงจากการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างต่อเนื่องและการจัดการดินที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตลดลงในระยะยาว ขณะเดียวกัน ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตมังคุดรายสำคัญ ทำให้เกิดเปลือกมังคุดจำนวนมากซึ่งยังไม่ได้รับการใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า การนำวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงจึงเป็นแนวทางที่ช่วยลดของเสียและเพิ่มมูลค่าทางการเกษตร [1]

ไบโอชาร์ (Biochar) เป็นวัสดุคาร์บอนที่ผลิตจากกระบวนการไพโรไลซิสภายใต้สภาวะออกซิเจนจำกัด ซึ่งสามารถควบคุมพารามิเตอร์ของกระบวนการ เช่น อุณหภูมิ อัตราการให้ความร้อน และระยะเวลา เพื่อปรับสมบัติของวัสดุให้เหมาะสมต่อการใช้งาน โครงสร้างรูพรุนของไบโอชาร์มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ การกักเก็บธาตุอาหาร และการปรับสมดุลค่าความเป็นกรด–ด่างของดิน อีกทั้งยังช่วยกักเก็บคาร์บอนในดิน ซึ่งมีส่วนช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ [2]

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าการนำวัสดุชีวภาพเหลือทิ้ง เช่น แกลบ ฟางข้าว ซังข้าวโพด กะลาปาล์ม และเศษไม้ มาแปรรูปเป็นไบโอชาร์ สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติของดินได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในด้านโครงสร้างดิน ความสามารถในการอุ้มน้ำ นอกจากนี้ งานวิจัยหลายฉบับยังรายงานว่าไบโอชาร์มีศักยภาพในการลดความเป็นกรดของดินและเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการใช้เปลือกมังคุดเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอชาร์ยังมีอยู่อย่างจำกัด [3] [4] [5] [6] ดังนั้น โครงงานนี้จึงมุ่งศึกษาการผลิตไบโอชาร์จากเปลือกมังคุดภายใต้กรอบแนวคิดวิศวกรรมเคมี ตั้งแต่การออกแบบและควบคุมกระบวนการไพโรไลซิส ไปจนถึงการประเมินผลของไบโอชาร์ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด–ด่าง ความสามารถในการอุ้มน้ำ และพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน การศึกษานี้ไม่เพียงช่วยแก้ไขปัญหาดินเสื่อมโทรม แต่ยังเป็นแนวทางในการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติในด้านการเกษตรที่ยั่งยืน การผลิตและการบริโภคอย่างรับผิดชอบ และการรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยบูรณาการองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมกระบวนการ วัสดุศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ดินเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ

ด้วยเหตุนี้ โครงงานนี้จึงมีความสำคัญทั้งในเชิงวิชาการและเชิงประยุกต์ โดยแสดงให้เห็นถึงบทบาทของวิศวกรรมเคมีในการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร และสนับสนุนการพัฒนาเกษตรกรรมอย่างยั่งยืนในระยะยาว

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อผลิตไบโอชาร์จากเปลือกมังคุดด้วยกระบวนการไพโรไลซิสภายใต้สภาวะออกซิเจนจำกัด และศึกษาศักยภาพของวัสดุที่ได้ในฐานะวัสดุปรับปรุงดิน

2.2 เพื่อศึกษาผลของการเติมไบโอชาร์ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 2, 5 และ 10 ต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด–ด่าง ความสามารถในการอุ้มน้ำ และอัตราการซึมน้ำของดิน

2.3 เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของอัตราการเติมไบโอชาร์ที่ส่งผลต่อการปรับปรุงคุณภาพดินและประสิทธิภาพการจัดการน้ำในดิน ภายใต้แนวคิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและการพัฒนาเกษตรกรรมอย่างยั่งยืน

3. ขอบเขตของการศึกษา

3.1 การศึกษานี้มุ่งผลิตไบโอชาร์จากเปลือกมังคุดด้วยกระบวนการไพโรไลซิสภายใต้สภาวะออกซิเจนจำกัดที่อุณหภูมิประมาณ 450 องศาเซลเซียส โดยไม่ศึกษาผลของอุณหภูมิหรือเงื่อนไขการผลิตอื่นที่แตกต่างกัน

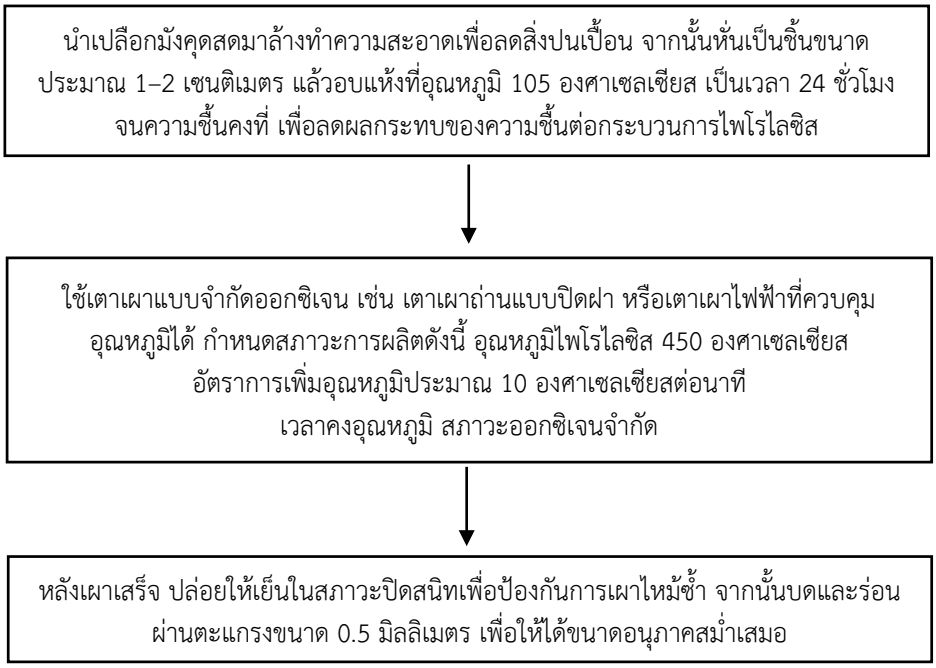
3.2 การทดลองประเมินผลของไบโอชาร์ต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินเฉพาะค่าความเป็นกรด–ด่าง อัตราการซึมน้ำ และความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ภายใต้อัตราการเติมไบโอชาร์ร้อยละ 0, 2, 5 และ 10 โดยน้ำหนัก โดยไม่ศึกษาสมบัติทางเคมีขั้นสูงอื่น เช่น ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออน หรือองค์ประกอบธาตุอาหารในดิน

3.3 การศึกษานี้ดำเนินการในระดับห้องปฏิบัติการ โดยบ่มดินเป็นระยะเวลา 28 วัน และไม่ได้ศึกษาผลกระทบระยะยาวในสภาพแปลงปลูกจริงหรือประเมินผลต่อผลผลิตพืชเชิงพาณิชย์

4. วิธีการศึกษา

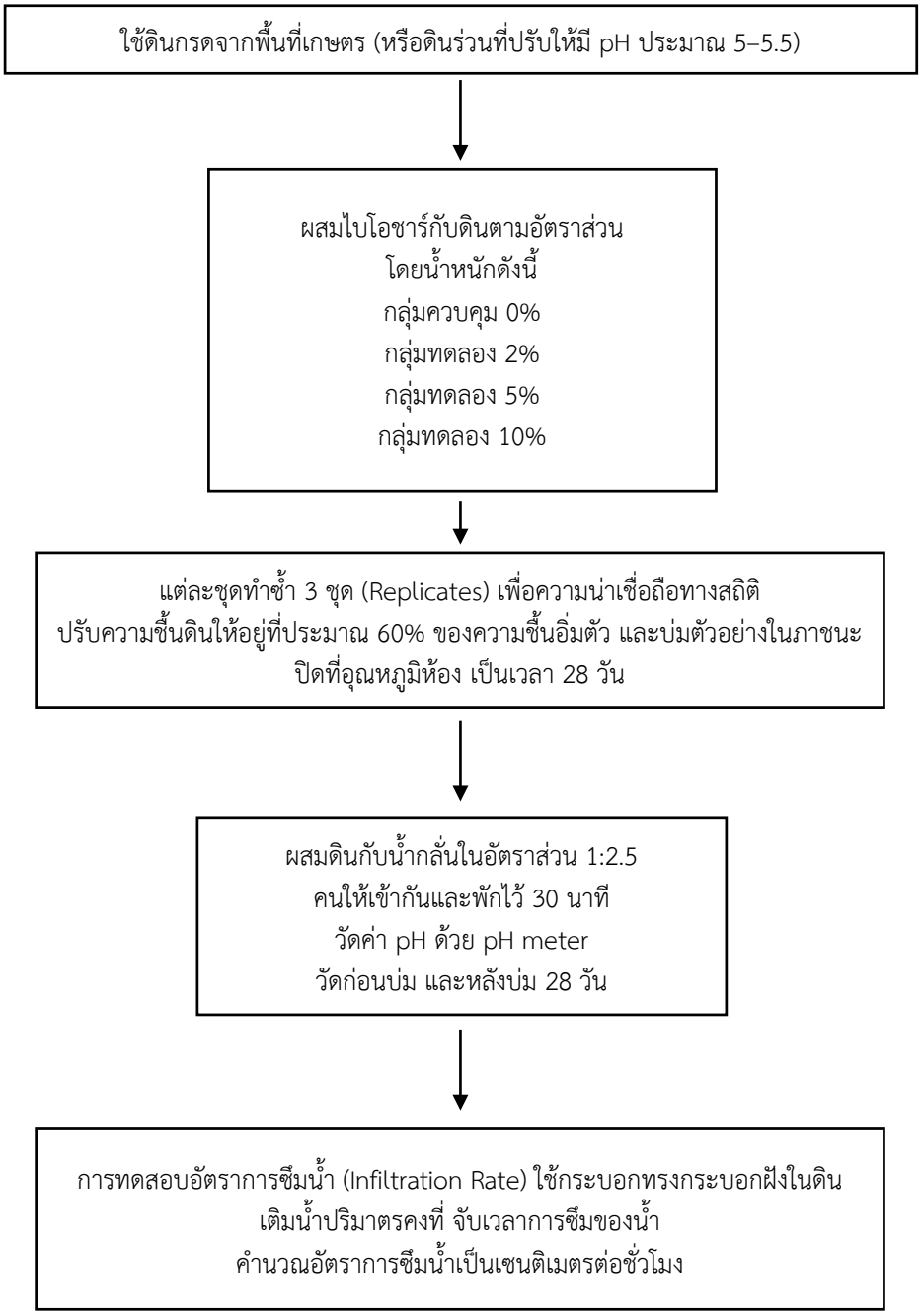
4.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

4.1.1 ขั้นตอนการทำไบโอชาร์ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตไบโอชาร์

4.1.2 ขั้นตอนการเตรียมดินทดลองและทดสอบสมบัติของดิน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมดินทดลองและทดสอบสมบัติของดิน

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการวัดค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) ของดิน

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่า pH ของดินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณไบโอชาร์ที่เติม โดยกลุ่มควบคุม (0%) แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ขณะที่กลุ่มร้อยละ 10 มีค่าการเพิ่มขึ้นมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า pH ดินก่อนและหลังบ่ม 28 วัน

อัตราการเติมไบโอชาร์ (%)	pH ก่อนบ่ม (Mean ± SD)	pH หลังบ่ม (Mean ± SD)	การเปลี่ยนแปลง
0	5.30 ± 0.04	5.27 ± 0.05	-0.03
2	5.31 ± 0.05	5.55 ± 0.06	0.24
5	5.29 ± 0.03	5.82 ± 0.07	0.53
10	5.32 ± 0.06	6.18 ± 0.08	0.86

5.2 ผลการทดสอบอัตราการซึมน้ำของดิน

ผลการทดลองพบว่า การเติมไบโอชาร์ในอัตราส่วนร้อยละ 2 และ 5 ช่วยเพิ่มอัตราการซึมน้ำของดินเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณเป็นร้อยละ 10 อัตราการซึมน้ำลดลงเล็กน้อย แต่ยังคงสูงกว่ากลุ่มควบคุม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการซึมน้ำของดิน

อัตราการเติมไบโอชาร์ (%)	อัตราการซึมน้ำ (ซม./ชม.) Mean ± SD
0	3.85 ± 0.22
2	4.52 ± 0.30
5	4.87 ± 0.28
10	4.18 ± 0.25

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าไบโอชาร์จากเปลือกมังคุดสามารถผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยกระบวนการไพโรไลซิสภายใต้สภาวะออกซิเจนจำกัด และมีศักยภาพในการนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพดิน โดยเฉพาะในดินที่มีความเป็นกรด

ผลการทดลองพบว่า การเติมไบโอชาร์ในดินส่งผลให้ค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) ของดินเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณที่เติม โดยอัตราการเติมร้อยละ 10 ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในการปรับสภาพดินกรดให้เหมาะสมต่อการเพาะปลูก

ในด้านสมบัติการเคลื่อนที่ของน้ำ การเติมไบโอชาร์ในระดับร้อยละ 2–5 ช่วยเพิ่มอัตราการซึมน้ำของดินได้ดีที่สุด สะท้อนถึงการปรับปรุงโครงสร้างดินให้โปร่งมากขึ้น ขณะที่การเติมในระดับสูง (ร้อยละ 10) แม้จะช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ แต่ส่งผลให้อัตราการซึมน้ำลดลงเล็กน้อย เนื่องจากโครงสร้างรูพรุนขนาดเล็กของไบโอชาร์

โดยรวมแล้ว ไบโอชาร์จากเปลือกมังคุดมีความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน โดยอัตราการเติมร้อยละ 5 ให้ผลสมดุลที่ดีทั้งด้านการปรับค่า pH และการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการน้ำในดิน ขณะที่อัตราร้อยละ 10 เหมาะสำหรับการปรับปรุงดินกรดอย่างเข้มข้น

ดังนั้น การนำไบโอชาร์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ ไม่เพียงช่วยเพิ่มคุณภาพดินและประสิทธิภาพการเพาะปลูก แต่ยังเป็นแนวทางที่ส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและสนับสนุนการเกษตรที่ยั่งยืนในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาที่ดิน. (2021). *สถานการณ์ทรัพยากรดินของประเทศไทย*. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[2] นันทนา ศรีสวัสดิ์. (2020). การผลิตและการประยุกต์ใช้ไบโอชาในระบบเกษตรกรรมไทย. *วารสารดินและปุ๋ยแห่งประเทศไทย, 41*(1), 1–15.

[3] สมชาย ใจดี และคณะ. (2019). ผลของไบโอชาร์ต่อสมบัติทางเคมีของดินกรดในพื้นที่เกษตรภาคใต้. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร, 12*(2), 45–56.

[4] Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – A review. *Biology and Fertility of Soils, 35*(4), 219–230. https://doi.org/10.1007/s00374-002-0536-4

[5] Laird, D. A. (2008). The charcoal vision: A win–win–win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy Journal, 100*(1), 178–181. https://doi.org/10.2134/agronj2007.0068

[6] Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). *Biochar for environmental management: Science and technology*. Earthscan.

เกษตรกรรมที่ยั่งยืนและความมั่นคงทางอาหาร
Sustainable Agriculture and Food Security

Poster Presentation

เว็บแอปพลิเคชันอัจฉริยะสำหรับจำแนกและทำนายระยะเวลาการสุกของกล้วยหอมทองเพื่อลดขยะอาหาร

กันต์ เอี่ยมชัยมงคล*, ณภัทร รณเกียรติ, พิชยินทร์ อินทรวงศ์ศักดิ์, และ จุฑาวรรณ ตรีชัย

โรงเรียนอัสสัมชัญ ถนนเจริญกรุง แขวงบางรัก เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

**Corresponding author: kaneamchaimongkol@gmail.com*

บทคัดย่อ

กล้วยหอมทองเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ที่ผ่านมาการระบุระยะเวลาการสุกต้องอาศัยประสบการณ์เฉพาะบุคคล ทำให้ประสบปัญหาการสูญเสียจากการคัดแยกที่ไม่เหมาะสมมากกว่า 30% ของผลผลิต งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโมเดลการเรียนรู้ของเครื่องและการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อจำแนกความสุกของกล้วยหอมทองออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่ ดิบ ห่าม สุก และงอม พร้อมทั้งพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับทำนายระยะเวลาการสุก โดยใช้วิธีการเก็บข้อมูลค่าความหวาน (Brix) และอุณหภูมิแวดล้อมเพื่อสร้างความเชื่อมั่นในแบบจำลอง

ผลการดำเนินงานพบว่า สภาพแวดล้อมมีผลต่อการสุกอย่างมีนัยสำคัญ โดยกล้วยที่เก็บในบ้านมีค่าความหวาน (ค่า Brix) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องกว่ากล้วยที่เก็บนอกบ้าน เนื่องจากอุณหภูมินอกบ้านมีความผันผวนมากกว่า ส่วนการดำเนินงานพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันนั้น ใช้โมเดล YOLO ในการตรวจจับวัตถุ ใช้ Teachable Machine ในการจำแนกประเภท และ ใช้เครื่องมือ Random Forest ในการทำนายระยะเวลาการสุกโดยอ้างอิงจากอุณหภูมิและเวลาหลังการเก็บเกี่ยว ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าสีและลักษณะภายนอกมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความหวานอย่างมีนัยสำคัญ โดยเว็บแอปพลิเคชันต้นแบบนี้ช่วยให้เกษตรกรสามารถจำแนกและทำนายระยะเวลาการสุกของกล้วยหอมทองได้ ส่งผลให้การบริหารจัดการผลผลิตมีประสิทธิภาพสูงสุด ช่วยลดขยะอาหารและเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจในอนาคต

คำสำคัญ: กล้วยหอมทอง / การจำแนกความสุก / การทำนายระยะเวลาการสุก / เว็บแอปพลิเคชัน / การลดขยะอาหาร

An intelligent web application for classifying and predicting the ripeness period of 'Hom Thong' bananas to reduce food waste

Kan Eamchaimongkol*, Naphat Ronnakiat, Pichayin Intharawongsak, and Juthawan Treechai

Assumption College Charoenkrung Road, Bangrak, Bangkok, Thailand
**Corresponding author: kaneamchaimongkol@gmail.com*

Abstract

This article presents 'Hom Thong' banana is a vital economic fruit in Thailand, but it faces over 30% post-harvest loss due to improper sorting. As ripeness identification typically relies on individual experience, this project aims to develop Machine Learning and Deep Learning models to classify banana ripeness into four stages: unripe, half-ripe, ripe, and overripe. Additionally, a web application was developed to predict the ripeness period using sweetness (Brix) and ambient temperature data to ensure model reliability.

The results indicate that environmental factors significantly affect ripening; bananas stored indoors showed a faster and more consistent increase in Brix values compared to those stored outdoors, where temperatures fluctuated. The web application integrates YOLO for object detection, Teachable Machine for classification, and Random Forest for predicting the ripening timeframe based on temperature data. Findings confirm that external appearance and color directly correlate with average Brix values. This prototype application will assist farmers in efficient produce management, thereby reducing food waste and enhancing economic value in the future.

Keywords: Hom Thong Banana / Ripeness classification / Ripening prediction / Web application / Food waste reduction

1. บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกล้วยหอมทองทั้งหมด 80,716.38 ไร่ พื้นที่ให้ผลผลิตแล้ว จำนวน 47,842.61 ไร่ เกษตรกรจำนวน 17,207 ครัวเรือน มีผลผลิตทั้งสิ้น 154,011.06 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 3,219.12 กิโลกรัม/ไร่ ต้นทุนการผลิต 5,687 บาท/ตัน โดยแหล่งเพาะปลูกกล้วยหอมทอง ที่สำคัญมีพื้นที่เพาะปลูกกล้วยหอมทอง มากที่สุด 5 อันดับแรกในปี 2565 คือ จังหวัด เพชรบุรี 13,818.24 ไร่, จังหวัดปทุมธานี 13,382.02 ไร่, จังหวัดชุมพร 7,433 ไร่, จังหวัดสระบุรี 6,132.5 ไร่ และจังหวัดสุราษฎร์ธานี 4,598.60 ไร่ มีพื้นที่รวม 45,364.36 ตามลำดับ มีผลผลิตรวม 108,714.59 ตัน คิดเป็นร้อยละ 70 ของผลผลิตทั้งหมด มีผลผลิตเฉลี่ย 2,396.47 กิโลกรัม/ไร่ [1] นอกจากนี้ กล้วยหอมยังเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของไทย [2] รายงานว่า กล้วยหอมเป็นสายพันธุ์ที่นิยมส่งออกมากที่สุด โดยเฉพาะกล้วยหอมทอง ประเทศไทยส่งออกกล้วยหอมคิดเป็นมูลค่ากว่า 2,800 ล้านบาท/ปี โดยตลาดหลักคือจีน ญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ ทั้งนี้ กระบวนการคัดแยกผลผลิตในปัจจุบันยังอาศัยการประเมินความสุกของกล้วยหอมทองด้วยสายตามนุษย์ เป็นวิธีการที่ขาดความแม่นยำและเป็นอัตวิสัย (subjective) ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการคัดแยกผลผลิต การสูญเสียรายได้ และความไม่สม่ำเสมอของสินค้าที่ส่งถึงผู้บริโภค ปัญหานี้เป็นส่วนหนึ่งของการสูญเสียผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว (post-harvest loss) ซึ่งข้อมูลจาก FAO (องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ) [3] ระบุว่าในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาอาจสูงถึง 20-40% ของผลผลิตทั้งหมด

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) ที่สามารถจำแนกและทำนายระยะเวลาการสุกของกล้วยหอมทองได้อย่างแม่นยำและสะดวกต่อการใช้งาน ซึ่งผู้ใช้สามารถเข้าถึงได้ผ่านเบราว์เซอร์บนอุปกรณ์ใดก็ได้ โดยในปัจจุบันงานวิจัยส่วนใหญ่มักเน้นการใช้แบบจำลองเดียว (Single Model) เช่น Convolutional Neural Networks (CNN) เพื่อจำแนกความสุกของผลไม้จากคุณลักษณะทางภาพเพียงอย่างเดียว อาจมีข้อจำกัดเมื่อนำไปใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมไม่ได้ งานวิจัยนี้จึงนำเสนอแนวทางบูรณาการแบบจำลองหลายรูปแบบ (Multi-model Integration) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยการนำ YOLO มาใช้เพื่อตรวจจับวัตถุและตัดภาพกล้วยออกจากพื้นหลังที่ซับซ้อน ช่วยลดสัญญาณรบกวนก่อนส่งต่อให้ Teachable Machine ทำการจำแนกความสุก นอกจากนี้ ยังแตกต่างจากงานวิจัยทั่วไปโดยการผนวก Random Forest เข้ามาเพื่อประมวลผลข้อมูลเชิงตัวเลขจากสภาพแวดล้อมจริง จะช่วยยกระดับจากการเป็นเพียงระบบจำแนกภาพ (Classification) ไปสู่ระบบทำนายอนาคต (Prediction) ที่มีความแม่นยำและตอบโจทย์การใช้งานของเกษตรกรอย่างแท้จริง

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาโมเดลการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning Model) สร้างแบบจำลองที่สามารถ จำแนกความสุกของกล้วยได้จากภาพถ่าย โดยใช้ข้อมูลจากภาพกล้วยหอมทองในแต่ละระยะของ ความสุก (เช่น ดิบ, ห่าม, สุก, งอม)
2. เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชั่น ให้ผู้ใช้สามารถถ่ายภาพกล้วยและรับการวิเคราะห์ผลได้ทันที
3. เพื่อทำนายระยะเวลาการสุกของกล้วยหอมทอง

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการนำเครื่องมือทางเทคโนโลยีมาช่วยในการศึกษาและทำนายระยะเวลาการสุกของกล้วยหอมทอง โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาโมเดลการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning Model) เพื่อสร้างแบบจำลองที่สามารถจำแนกความสุกของกล้วยจากภาพถ่าย
2. ศึกษาลักษณะการสุกของกล้วย โดยแบ่งระยะการสุกของกล้วยเป็น ดิบ ห่าม สุก และงอม

4. วิธีการศึกษา

4.1 การรวบรวมข้อมูล

4.1.1 ได้มีการรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายจำนวน 1,200 ภาพ (300 ภาพต่อระยะการสุก ได้แก่ ดิบ, ห่าม, สุก, งอม) โดยมีรายละเอียดการควบคุมสภาพแวดล้อมดังนี้

4.1.1.1 ถ่ายภาพในสภาพแสงธรรมชาติ และแสงสว่างภายในอาคาร เพื่อให้โมเดลมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงในสภาพแวดล้อมการใช้งานจริง

4.1.1.2 มีการใช้ภาพจากหลายมุมมอง ทั้งด้านหน้า ด้านข้าง และด้านเฉียง เพื่อให้ครอบคลุมลักษณะสีผิวและจุดสีน้ำตาลที่ชัดเจน

4.1.1.3 ในกระบวนการฝึกฝนได้มีการหมุนภาพ และปรับความสว่าง เพื่อช่วยให้โมเดลสามารถจดจำคุณลักษณะของกล้วยหอมทองได้แม่นยำขึ้นแม้ภาพที่ได้รับจากผู้ใช้งานจะมีความหลากหลาย

4.1.2 ใช้เครื่องวัดความหวาน (Brix Refractometer) วัดค่าความหวานของกล้วยแต่ละตัวอย่าง ในทุกระยะการสุกทุกวัน เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบ (วันที่, ค่าของระดับน้ำตาล) และบันทึกข้อมูลไว้ในตาราง

4.1.3 เก็บค่าอุณหภูมิในพื้นที่การเก็บตัวอย่างกล้วยหอมทองทุกวัน วันละหลายครั้งมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อสร้างความแม่นยำในการทำนายระยะเวลาการสุกของกล้วย

4.2 การพัฒนาโมเดล

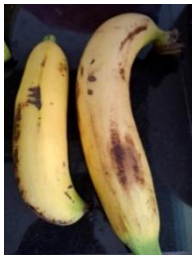
ในขั้นตอนนี้ เราจะนำข้อมูลที่เตรียมไว้เข้าสู่ Teachable Machine โดย

4.2.1 ใช้ Teachable Machine เพื่อฝึกสอนโมเดลด้วยภาพถ่ายกล้วย 300 ภาพ ต่อระยะการสุก โดยจะแบ่งระยะการสุกของกล้วยออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่ 1. กล้วยสีเขียว (กล้วยดิบ) 2. กล้วยสีเขียวปนเหลือง (กล้วยห่าม) 3. กล้วยสีเหลือง (กล้วยสุก) และ 4. กล้วยสีเหลือปนน้ำตาล (กล้วยงอม) (รูปที่ 1-4)

รูปที่ 1 กล้วยดิบ

รูปที่ 2 กล้วยห่าม

รูปที่ 3 กล้วยสุก



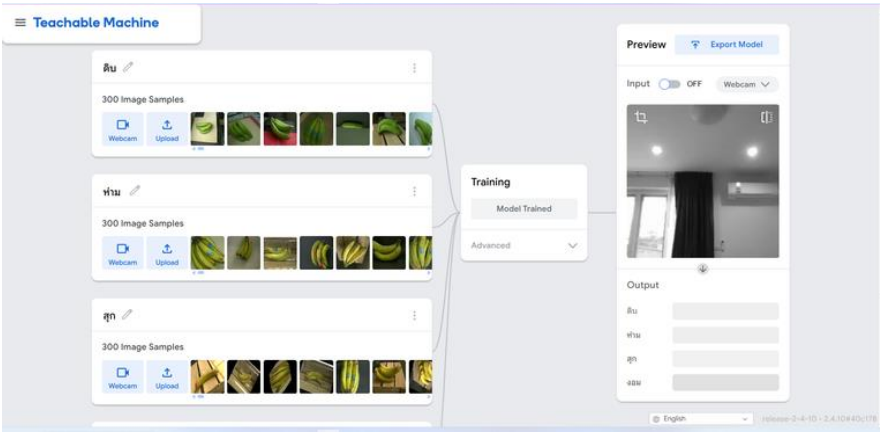
รูปที่ 4 กล้วยงอม

4.2.2 นำภาพเข้าสู่ Teachable Machine โดยแต่ละโฟลเดอร์จะถูกแบ่งเป็นกลุ่มความสุกตามที่ต้องการฝึกฝน (Train Model) เมื่อข้อมูลพร้อมแล้ว จะเริ่มกระบวนการฝึกฝน โมเดลจะทำการเรียนรู้จากคุณลักษณะของภาพแต่ละภาพในทุกชั้นเรียน เช่น สี, รูปร่าง, และลักษณะพื้นผิว เพื่อสร้างรูปแบบการจำแนก

4.2.3 หลังจากฝึกฝนเสร็จสิ้น ทำการทดสอบโมเดลใน Teachable Machine โดยใช้ตัวอย่างกล้วยจริงเพื่อดูว่าโมเดลสามารถจำแนกได้อย่างถูกต้องหรือไม่

4.2.4 เมื่อโมเดลมีความแม่นยำมากกว่า 85% แล้ว ให้ส่งออกโมเดลในรูปแบบที่เหมาะสมกับการใช้งานบนเว็บแอปพลิเคชัน ได้แก่ TensorFlow.js

ทั้งนี้ แบบจำลองการจำแนกประเภท (Classification Model) ถูกพัฒนาผ่านโครงสร้าง Neural Network ของ Teachable Machine และส่งออกในรูปแบบ TensorFlow.js เพื่อรองรับการทำงานบนเว็บแอปพลิเคชัน โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ (Hyperparameters) ในการฝึกฝนเพื่อให้ได้ความแม่นยำสูงสุด (Accuracy > 85%) Epochs กำหนดไว้ที่ 50 รอบ เพื่อให้โมเดลได้เรียนรู้รูปแบบสีผิวที่ซับซ้อนในระยะกล้วยห่ามและกล้วยสุกได้อย่างเพียงพอโดยไม่เกิดการ Overfitting Batch Size ใช้ขนาด 16 เพื่อความสมดุลระหว่างความเร็วในการฝึกฝนและความเสถียรของความแม่นยำ Learning Rate กำหนดไว้ที่ 0.001 เพื่อให้การปรับค่าน้ำหนัก (Weight) ในเครือข่ายประสาทเทียมเป็นไปอย่างละเอียดและมีประสิทธิภาพในการแยกแยะความแตกต่างระหว่าง "สีเหลืองปนเขียว" ของกล้วยห่าม และ "สีเหลือง" ของกล้วยสุก



รูปที่ 5 Teachable Machine

4.3 การวัดค่าน้ำตาล

วัดค่าน้ำตาลในกล้วยหอมตัวอย่างซึ่งเป็นกล้วยหอมดิบมาวัดค่าน้ำตาลตั้งแต่วันแรก และวัดค่าน้ำตาลของกล้วยหอมใบนั้นทุก ๆ วันเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลยืนยันว่ากล้วยหอมระยะใดมีค่าน้ำตาลเท่าใด ซึ่งวิธีการวัดค่าน้ำตาลนั้นจะนำเนื้อกล้วยบดละเอียดมาวางบนเครื่อง Refractometer (รูปที่ 6) เพื่อให้อ่านค่าน้ำตาลซึ่งมีหน่วยเป็น องศา Brix เช่นหากวัดค่าน้ำตาลได้ 5 Brix หมายถึง มีน้ำตาลอยู่ 5 กรัมในเนื้อกล้วย 100 กรัม

รูปที่ 6 Refractometer

ได้ทำการทดลองบันทึกสีเปลือกกล้วยและค่าน้ำตาลของกล้วย 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 วางไว้ในบ้าน ส่วนกลุ่มที่ 2 วางไว้นอกบ้าน ซึ่งจะบันทึกทุกวันตั้งแต่กล้วยยังดิบจนกระทั่งกล้วยงอม โดยแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สีของเปลือกกล้วยและค่าน้ำตาลในกล้วยในวันต่าง ๆ

วันที่	ในบ้าน			นอกบ้าน		
	ค่า Brix	สีเปลือก	ลักษณะ	ค่า Brix	สีเปลือก	ลักษณะ
1	7.5	เขียว	ดิบ	5.4	เขียว	ดิบ
2	17.8	เขียวปนเหลือง	ห่าม	5.6	เขียวปนเหลืองเล็กน้อย	ดิบ
3	26	เหลือง	สุก	12.2	เขียวปนเหลืองเล็กน้อย	ห่าม
4	27.1	เหลืองปนน้ำตาล	งอม	23.6	เหลือง	สุก
5	29	น้ำตาลมากกว่าเหลือง	งอมมาก	24.6	เหลืองปนน้ำตาล	งอม

4.4 การวัดอุณหภูมิ

จะนำกล้วยดิบ 2 หวี วางไว้ในบ้านและนอกบ้านเพื่อวัดอุณหภูมิภายนอกโดยใช้บอร์ด Cucumber RS (รูปที่ 7) และการบันทึกอุณหภูมิทั้งวัน เพื่อหาค่าอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งวันทั้งในและนอกบ้าน

รูปที่ 7 บอร์ด Cucumber RS

4.5 การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน

4.5.1 ออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ (UI) ออกแบบหน้าตาของเว็บแอปพลิเคชันให้ใช้งานง่ายและเป็นมิตรต่อผู้ใช้

4.5.2 พัฒนาส่วนหน้าบ้าน (Frontend) ใช้ภาษาและเฟรมเวิร์กสำหรับเว็บ เช่น HTML, CSS, และ JavaScript

4.5.3 บูรณาการโมเดล AI นำโมเดลที่ส่งออกมาจาก Teachable Machine มาฝังในโค้ดของเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อให้สามารถประมวลผลภาพที่ผู้ใช้อัปโหลดได้โดยตรงในเบราว์เซอร์

4.5.4 พัฒนาส่วนหลังบ้าน (Backend) พัฒนาส่วนควบคุมเบื้องหลังด้วยภาษาโปรแกรม ได้แก่ Python (Flask) จัดการการทำงานเบื้องหลัง

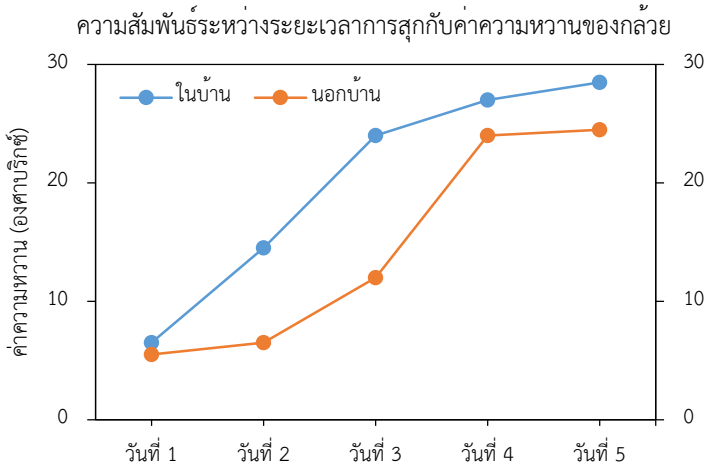
4.5.5 การแสดงผลลัพธ์ สร้างหน้าจอเพื่อแสดงผลการจำแนกความสุกของกล้วย

4.6 การทำนายระยะเวลาการสุก

ทำนายระยะเวลาการสุกของกล้วยหอมทอง ตั้งแต่ระยะกล้วยดิบ ไปจนถึงกล้วยสุกโดยใช้ข้อมูลการเก็บอุณหภูมิร่วมกับระดับความสุกของกล้วยในแต่ละระยะการสุก

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

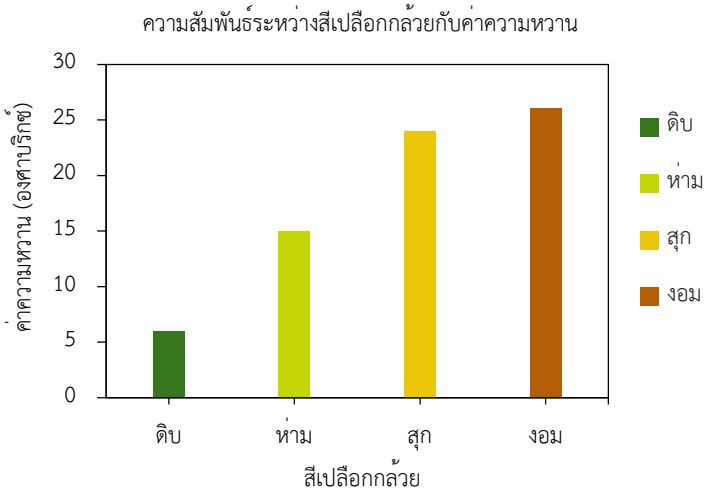
5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล การเก็บข้อมูลค่าความหวาน (Brix) ของกล้วยหอมทองที่เก็บในบ้านและนอกบ้าน ได้ผลดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการสุกกับค่าความหวานของกล้วย

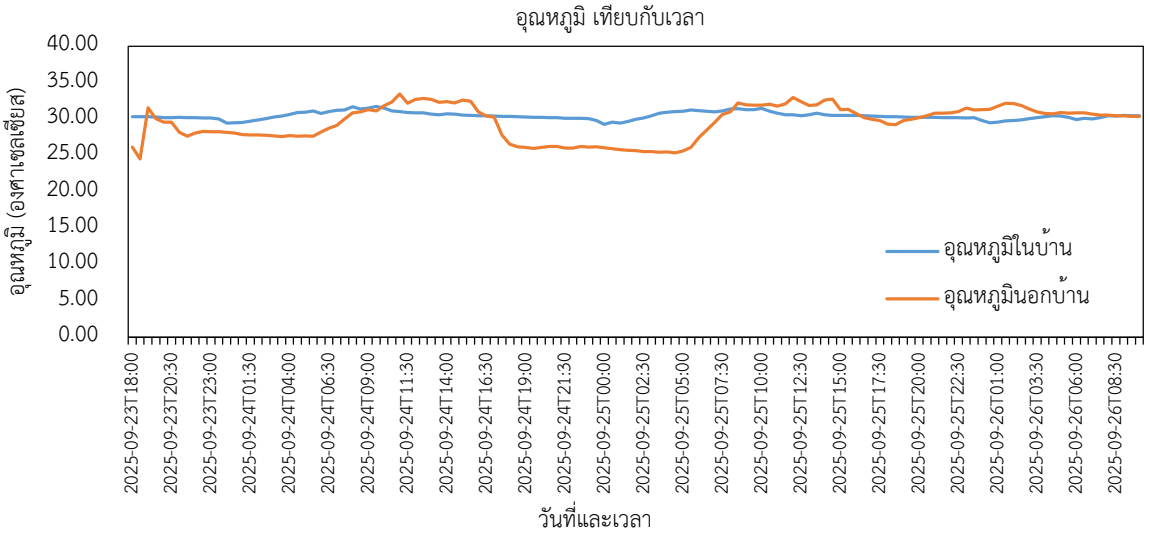
จากกราฟแสดงให้เห็นว่ากล้วยที่เก็บ "ในบ้าน" มีค่า Brix เพิ่มขึ้นเร็วกว่ากล้วยที่เก็บ "นอกบ้าน" โดยเฉพาะในช่วงวันที่ 2 ถึง 3 ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่คงที่และเอื้อต่อการสุก กล้วยที่เก็บนอกบ้าน มีค่า Brix เพิ่มขึ้นช้ากว่า เนื่องจากอุณหภูมิผันผวนและมีลมถ่ายเทมาก ทำให้กล้วยสุกช้าลง

จากภาพจะเห็นว่า สีและลักษณะภายนอกของกล้วยหอมทองมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความหวาน โดยยิ่งกล้วยสุกมีสีเหลืองมากเท่าไหร่ ค่าความหวานก็จะยิ่งสูงขึ้นตามลำดับ (รูปที่ 9)



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างสีเปลือกกล้วยกับค่าความหวาน

จากภาพอธิบายได้ว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่เร่งให้กล้วยหอมทองสุก สภาพแวดล้อมภายในบ้านที่มีอุณหภูมิที่ค่อนข้างคงที่และสูงกว่าอุณหภูมิต่ำสุดนอกบ้านทำให้กล้วยสุกเร็วขึ้น และจากการสังเกตพบว่าพื้นที่เก็บตัวอย่างกล้วยที่มีอุณหภูมิที่สูงและสม่ำเสมอจะทำให้กล้วยสุกทั้งหวีพร้อมกันทุกลูก ส่วนตัวอย่างกล้วยที่เก็บไว้นอกบ้านจะมีการผันผวนของอุณหภูมิสูงกว่าในบ้าน โดยเฉพาะช่วงกลางคืนที่อุณหภูมิจะลดลงจะไปชะลอกระบวนการสุกทางชีวเคมี ทำให้การเปลี่ยนสีเป็นไปช้ากว่าเมื่อเทียบกับกล้วยในบ้าน และลักษณะการสุกของกล้วยในหนึ่งหวีจะสุกไม่พร้อมกันทุกลูก (รูปที่ 10)

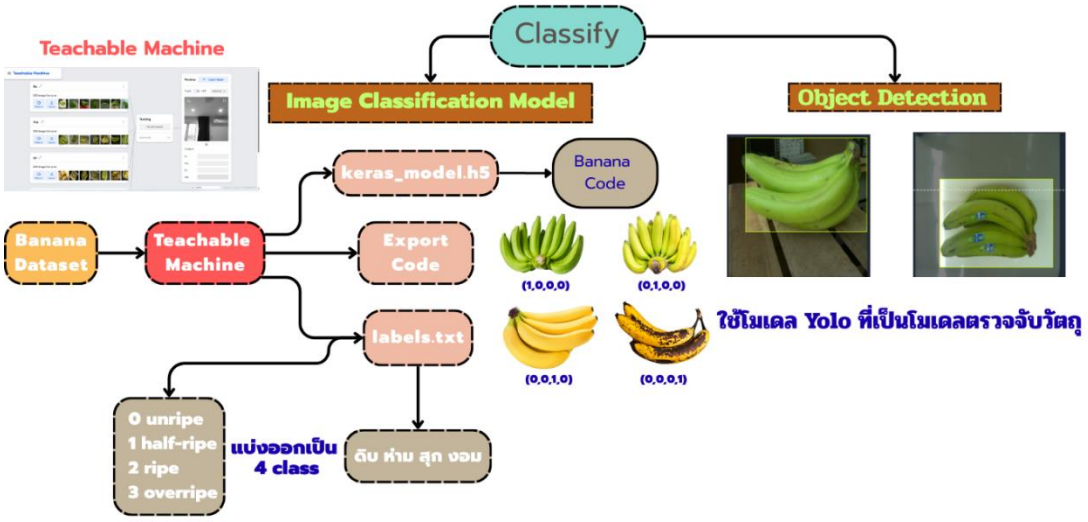


รูปที่ 10 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิในบ้านและนอกบ้าน

5.2 การพัฒนาโมเดล

5.2.1 โมเดลการจำแนกความสุกของกล้วยหอมทอง (Classification) (รูปที่ 11)

จากการดำเนินงานทำให้ได้โมเดลการจำแนกความสุกของกล้วยหอมทองแบ่งเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ดิบ ห่าม สุก และงอม



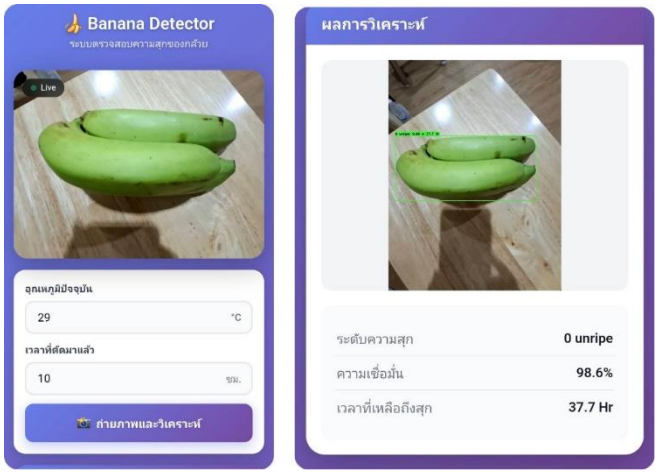
รูป 11 การจำแนกความสุกของกล้วยหอมทอง

5.2.2 การทำนายระยะเวลาการสุกของกล้วยหอมทอง (Prediction)

จากการทำนายระยะเวลาการสุกของกล้วยหอมทอง 100 ลูก พบว่า มีการทำนายคลาดเคลื่อนโดยประมาณ 5 ชั่วโมง ซึ่งวัดผลความคลาดเคลื่อนด้วย Mean Absolute Error (MAE) โดยค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างเวลาที่ทำนายกับเวลาที่สุกจริง มีความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับวงจรการสุกทั้งหมดของกล้วยหอมทองที่ใช้เวลาหลายวัน สะท้อนถึงความแม่นยำของแบบจำลองในระดับที่นำไปใช้งานจริงได้ สามารถช่วยลดความเสี่ยงในการคัดเกรดกล้วยที่สุกเกินไป หรือยังไม่สุก ก่อนถึงมือผู้บริโภค

5.3 การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชั่น

จากรูปที่ 12 แสดงเว็บแอปพลิเคชั่นที่ใช้ในการจำแนกและทำนายระยะเวลาการสุกของกล้วยหอมทอง โดยแสดงจำนวนชั่วโมงที่เหลือจากระดับความสุกปัจจุบันไปจนถึงระยะกล้วยสุก



รูปที่ 12 เว็บแอปพลิเคชั่น

5.4 การทดสอบความเชื่อมั่น

ดำเนินการทดสอบกล้วยหอมทองจำนวน 100 ลูก โดยแบ่งเป็น 4 คลาส (ดิบ, ห่าม, สุก, งอม) ทำการสุ่มตัวอย่างมาคลาสละ 25 ลูก ผลการทดสอบภาพรวมมีความแม่นยำ 90% รายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Confusion Matrix

จริง \ ทำนาย	ดิบ	ห่าม	สุก	งอม
ดิบ	25	0	0	0
ห่าม	2	21	2	0
สุก	0	1	22	2
งอม	0	0	3	22

จากตารางแสดงประสิทธิภาพของการทำนาย โดยแบ่งออกเป็น 4 คลาส ตามระดับการสุกของกล้วย ดังนี้

- กล้วยดิบ มีความแม่นยำ 100% ทำนายถูกต้องทั้ง 25 ลูก
- กล้วยห่าม มีความแม่นยำ 84% ทำนายถูกต้อง 21 ลูก ทำนายว่าดิบ 2 ลูก และทำนายว่าสุก 2 ลูก

- กล้วยสุก มีความแม่นยำ 88% ทำนายถูกต้อง 22 ลูก ทำนายว่าห่าม 1 ลูก และทำนายว่างอม 2 ลูก
- กล้วยงอม มีความแม่นยำ 88% ทำนายถูกต้อง 22 ลูก ทำนายว่าสุก 3 ลูก

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพสูงในการจำแนกคลาสที่มีลักษณะเด่นชัด แต่คลาสที่มีลักษณะใกล้เคียงกันหรือเป็นช่วงเปลี่ยนผ่านมีแนวโน้มเกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่า

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถจำแนกระยะความสุกของกล้วยได้ในระดับที่น่าพอใจ โดยมีค่า Accuracy โดยรวมประมาณ 90% เมื่อพิจารณาในระดับรายคลาสจาก Confusion Matrix และค่า Precision, Recall และ F1-score มีรายละเอียดดังนี้

ในคลาส “ดิบ” มีค่า Recall เท่ากับ 1.00 และ F1-score สูงถึง 0.96 แสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถตรวจจับกล้วยดิบได้ครบถ้วนโดยไม่มีการผิดพลาด (False Negative = 0) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของกล้วยดิบที่มีสีเขียวเข้มและมีความแตกต่างจากระยะอื่นอย่างชัดเจน ทำให้โมเดลสามารถแยกแยะได้ง่าย ในทางตรงกันข้าม คลาส “ห่าม” มีค่า Recall ต่ำที่สุด (0.84) แม้ว่าจะมีค่า Precision สูง (0.95) แสดงให้เห็นว่าโมเดลมีแนวโน้มเกิดข้อผิดพลาดในการตรวจจับกล้วยห่ามบางส่วน โดยมักสับสนกับคลาส “ดิบ” และ “สุก” เนื่องจากเป็นช่วงเปลี่ยนผ่านของสี จากสีเขียวเป็นสีเหลือง ส่งผลให้ลักษณะเชิงภาพมีความไม่ชัดเจน สำหรับคลาส “สุก” พบว่ามีค่า Precision ต่ำที่สุด (0.81) เมื่อเทียบกับคลาสอื่น แสดงว่าเมื่อโมเดลทำนายว่าเป็น “สุก” ยังมีโอกาสทำนายผิดพลาดค่อนข้างสูง เนื่องมาจากการสับสนกับคลาส “งอม” ซึ่งมีลักษณะของจุดสีน้ำตาลบนผิวคล้ายคลึงกัน ส่งผลให้เกิด False Positive ในคลาสนี้มากกว่าคลาสอื่น ในคลาส “งอม” F1-score = 0.90 แต่ยังคงพบความสับสนกับคลาส “สุก” เนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพที่คล้ายกันบางจุด (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ค่า Precision, Recall และ F1-score

Class	Precision	Recall	F1-score
ดิบ	0.93	1.00	0.96
ห่าม	0.95	0.84	0.89
สุก	0.81	0.88	0.84
งอม	0.92	0.88	0.90

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า การเลือกใช้โครงสร้างแบบ Hybrid ที่ผสมผสานทั้ง Computer Vision (YOLO, Teachable Machine) และ Predictive Modeling (Random Forest) สำหรับกล้วยหอมทองโดยเฉพาะ ช่วยแก้ปัญหาการประเมินความสุกที่เป็นอัตวิสัยและขาดความแม่นยำในอดีต นวัตกรรมนี้ไม่เพียงแต่ให้ผลลัพธ์ในการจำแนกที่แม่นยำเท่านั้น แต่ยังสร้างมูลค่าเพิ่มผ่านการทำนายระยะเวลาการสุกที่แม่นยำ ซึ่งถือเป็นก้าวสำคัญที่เหนือกว่างานวิจัยในอดีต และเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการลดขยะอาหารและบริหารจัดการผลผลิตทางการเกษตรอย่างเป็นระบบ

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมส่งเสริมการเกษตร. (2565). คู่มือการปลูกและการตลาดกล้วยหอมทองเพื่อการส่งออก. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (สศก.). (2566). สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2566.

[3] FAO (Food and Agriculture Organization). (2023). FAOSTAT – Banana production statistics in Thailand.

กรณีศึกษาการใช้ถ่านชีวภาพ (Biochar) ร่วมกับฟางข้าวและน้ำหมักปลา ต่อการปรับปรุงดินเปรี้ยวใน ชุดดินรังสิต เขตอำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา

พัทธนันท์ คชสีห์[1] และ ไพลิน กิตติคุณ[2*]

[1]ศูนย์จัดการดินและปุ๋ยชุมชนบ้านเตาอิฐ ตำบลบางคา อำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา ประเทศไทย
[2]สำนักงานเกษตรอำเภอราชสาส์น ตำบลบางคา อำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา ประเทศไทย
**Corresponding author: appleblueskу1@gmail.com*

บทคัดย่อ

ปัญหาดินเปรี้ยวเป็นปัญหาสำคัญของอำเภอราชสาส์น เนื่องจากพื้นที่ตั้งอยู่ในชุดดินกรดจัด ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตในระดับต่ำ ประกอบกับปริมาณน้ำและต้นทุนของปูนที่ค่อนข้างสูง กรณีศึกษานี้ได้นำเสนอวิธีของเกษตรกรที่ทำการทดสอบในแปลง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลการใช้ของถ่าน ไบโอชาร์จากถ่านไม้ร่วมกับการห่มฟางและน้ำหมักปลาในดินเปรี้ยวว่ามีผลต่อระดับการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของดินตามระยะเวลา 3 และ 6 เดือนตามลำดับโดยแปลงเกษตรกรได้ใช้ไบโอชาร์ร่วมกับการห่มฟาง ร่วมกับน้ำหมักปลาจำนวน 3 ไร่ โดยไถแปลงแล้วหว่านไบโอชาร์ในอัตรา 100 กิโลกรัมต่อ 3 ไร่ โดย ร่วมกับการห่มฟางพร้อมด้วยรดด้วยน้ำหมักปลา จนฟางย่อยครบ 3 เดือนแล้วไถกลบ ทำซ้ำกรรมวิธีอีกครั้ง จากนั้นทำการไถกลบ ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินจำนวน 10 จุดในแต่ละแปลง และวัดค่า pH ทุก 3 เดือนหลังจากนั้นทำการปลูกปอเทืองแล้วไถกลบแล้วจึงปลูกพืชในแปลง พบว่า แปลงที่ใช้ไบโอชาร์ร่วมกับการห่มฟางสามารถเพิ่มค่า pH ของดินจาก 3 เป็น 4.5 ภายใน 3 เดือน และเพิ่มเป็น 5 ภายใน 6 เดือน และไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการทดสอบ กรณีศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า แนวโน้มการใช้ไบโอชาร์ร่วมกับการห่มฟางมีศักยภาพเพิ่มค่า pH ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมและขยายผลการประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นต่อไป

คำสำคัญ: ดินเปรี้ยว / ไบโอชาร์ / การห่มฟาง / น้ำหมักปลา / การปรับปรุงดิน

Case study on the use of biochar combined with rice straw and fish emulsion for improving acidic soil in the Rangsit soil series, Ratchasathit District, Chachoengsao Province

Pattanan Kotchasre[1] and Pailin Kittikun[2*]

[1]Community Soil and Fertilizer Management Center (CSMC) Ban Tao-it, Bang Kha Subdistrict, Ratchasan District, Thailand
[2]Ratchasan District Agricultural Extension Office, Thailand
**Corresponding author: appleblueskу1@gmail.com*

Abstract

This study investigates the impact of biochar, derived from wood charcoal, combined with straw mulching and fish emulsion, on soil pH levels in acidic soil conditions prevalent in Ratchasima District. Given the challenges posed by high soil acidity, which results in low agricultural productivity, this research aims to evaluate the effectiveness of these amendments over 3 and 6 months. The farmer applied biochar in combination with rice straw mulching and fish amino acid fertilizer on a total area of 3 rai. Biochar was applied at a rate of 100 kilograms per 3 rai, and the plots were watered with fish emulsion. Soil pH was measured at ten random points in each plot every three months, following the initial amendments and subsequent planting of a cover crop, Sunn hemp (Crotalaria juncea). Results indicated a significant increase in soil pH in the biochar and straw mulching plot, rising from 3 to 4.5 within three months and reaching 5 by the six-month mark. These findings suggest that the integration of biochar with straw mulching is an effective strategy for improving soil pH in acidic soils, thereby enhancing agricultural productivity. Further research is recommended to explore the long-term effects and broader applicability of this approach in other agricultural contexts.

Keywords: Acidic soil / Biochar / Straw mulching / Fish Emulsion / Soil improvement

1. บทนำ

ปัญหาดินเปรี้ยว เป็นปัญหาสำคัญของอำเภอราชสาส์น เนื่องจากในสมัยอดีตพื้นที่ส่วนใหญ่น้ำทะเลท่วมถึง ทำให้มีการสะสมของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กลไกการดินเปรี้ยวเกิดการสะสมของตะกอนโลหะหนัก เช่น เหล็ก ซัลเฟอร์ อะลูมิเนียม [1] เป็นต้น จากลักษณะของพื้นดังกล่าว ทำให้ผลผลิตต่อไร่ของอำเภอราชสาส์นมีปริมาณต่ำ เนื่องจากดินเป็นกรดจัดทำให้การปลดปล่อยของธาตุอาหารทำได้ยาก อีกทั้งการใช้ปุ๋ยเคมีเป็นเวลายาวนานทำให้ปัญหามีแนวโน้มรุนแรงขึ้น แนวทางการจัดการดินเปรี้ยวจะใช้วัสดุปรับปรุงดินตามค่าความต้องการปูนในแต่ละพื้นที่นั้นหรือการใช้น้ำเป็นตัวชะล้างความเป็นกรดให้เจือจางลง [1] [2] แต่เนื่องจากในพื้นที่อำเภอราชสาส์นบางบริเวณมีแหล่งน้ำจำกัด บางครั้งมีการรุกล้ำของน้ำเค็มในช่วงฤดูแล้ง อีกทั้งการใช้วัสดุปรับปรุงดิน เช่นปูน ต้องนำภายนอกพื้นที่และมีราคาแพง ด้วยเหตุนี้ทางศูนย์จัดการดินปุ๋ยชุมชนบ้านเตาอิฐ จึงได้พยายามหาแนวทางเลือกอื่นในการปรับปรุงดิน นั้นคืออินทรียวัตถุ และไบโอชาร์ มาเป็นทางเลือกในการจัดการดินกรดจัด

มีการศึกษาการใช้ถ่านไบโอชาร์ในการปรับปรุงดินทั้งในดินกรด และดินเค็ม เช่น การใช้ไบโอชาร์สามารถปรับปรุงดินกรดจัดให้ลดความเป็นกรดได้ ในพื้นที่จังหวัดปราจีนบุรี [3]หรือการใช้ถ่านชีวภาพจากแกลบและเหง้ามันสำปะหลัง ปรับปรุงดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [4] นอกจากนี้มีการศึกษาการใช้ฟางข้าวในอัตรา 1,000 กิโลกรัม, 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับปุ๋ยคอก ยูเรีย หินฟอสเฟต สามารถทำให้ดินมีค่า pH เพิ่มขึ้น [5] ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้นำไบโอชาร์จากถ่านไม้และการใช้ฟางข้าวและปุ๋ยน้ำหมักปลามาใช้ในการศึกษา โดยติดตามความคงตัวของระดับ pH ที่ระยะ 3 และ 6 เดือน

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการผลของการเปลี่ยนแปลงระดับความเป็นกรด-ด่าง (pH) ใช้ถ่านชีวภาพ (biochar) ร่วมกับฟางข้าวและน้ำหมักปลา ต่อการปรับปรุงดินเปรี้ยวใน ชุดดินรังสิต เขตอำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา
2. เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงค่า pH หลังปรับปรุงดิน ไประยะ 3 เดือน และ 6 เดือน

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบใช้ถ่านชีวภาพ (biochar) ร่วมกับฟางข้าวและน้ำหมักปลา ต่อการปรับปรุงดินเปรี้ยว โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาในเขตพื้นที่ชุดดินรังสิต เขตอำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของดินหลังปรับปรุง 3 เดือน และ 6 เดือน

4. วิธีการศึกษา

4.1 สถานที่ทำการเก็บข้อมูลวิจัย

นายมานพ ทรัพย์คง หมู่ 4 ตำบลบางคา อำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา พิกัดที่ตั้งแปลง 13.753747, 101.299353 ซึ่งเป็นบุคคลภายนอกกลุ่มฯ มาขอคำแนะนำการปรับปรุงดินจากศูนย์ ศดปช บ้านเตาอิฐ

แปลงของนายมานพ ทรัพย์คง หมู่ 4 ตำบลบางคา อำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา พิกัดที่ตั้งแปลง 13.753747, 101.299353 ดังรูปที่ 1

ระยะเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล

- ระยะเวลาเก็บข้อมูล มกราคม 2566 ถึง มกราคม 2567

วัสดุอุปกรณ์

- ชุดตรวจวิเคราะห์ดินมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ถ่านไบโอชาร์ถ่านไม้บด จากบริษัทซินแม็กซ์ อินเตอร์เนชัลแนล จำกัด

รูปที่ 1 ที่ตั้งแปลงที่ใช้ในการศึกษา

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

ค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (± SD)

สูตรค่าเฉลี่ย (mean) คือผลรวมของข้อมูลหารด้วยจำนวนข้อมูล มีสูตรดังนี้

ค่าเฉลี่ย = ผลรวมของข้อมูล/จำนวนข้อมูลทั้งหมด

$$\text{ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน} = \sqrt{(\text{จำนวนข้อมูลแต่ละตัว} - \text{ค่าเฉลี่ย})/\text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด} - 1}$$

4.3 วิธีดำเนินการ

1. เก็บตัวอย่างดินจำนวน 15 จุดทั่วแปลง ช่วงเดือน มกราคม 2566
2. ทำการไถแปลงโดยใช้ผานไถ 2 ครั้ง ตากดินไว้ 1 อาทิตย์ แล้วหว่านไบโอชาร์ที่บดเป็นผง จำนวน 100 กก./3 ไร่ รดปุ๋ยปลาในอัตราส่วน 1 ต่อ 50 ลิตร ฉีดพ่นให้ทั่วแปลง และทำการ ห่มฟางหนา 8 เซนติเมตร (1,500 กก./3 ไร่) ดังรูปที่ 2
3. จากนั้นครบระยะเวลา 3 เดือน ทำการไถพลิก 1 ครั้ง เก็บตัวอย่างดินจำนวน 15 จุดทั่วแปลง เพื่อนำไปตรวจการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในดินโดยใช้ชุดตรวจวิเคราะห์ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำการหว่านไบโอชาร์อีก 100/3 ไร่ รดปุ๋ยปลา รดปุ๋ยปลาในอัตราส่วน 1 ต่อ 50 ลิตร ฉีดพ่นให้ทั่วแปลง และทำการห่มฟางหนา 8 เซนติเมตร (1,500 กก./3 ไร่)
4. จากนั้นเมื่อครบระยะ 6 เดือน ทำการไถพลิกหน้าดิน 1 ครั้ง เก็บตัวอย่างดิน จำนวน 15 จุดทั่วแปลง ทำการตรวจวัดระดับ pH ที่เปลี่ยนแปลง จากนั้นทำการหว่านเมล็ดปอเทืองอัตรา 20 กิโลต่อไร่ แล้วไถกลบ
5. ทำการยกร่องแปลงเพื่อปลูกพืชต่อไป

รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินการในแปลงวิจัย ดำเนินการ มิถุนายน 2566 - มกราคม 2567

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

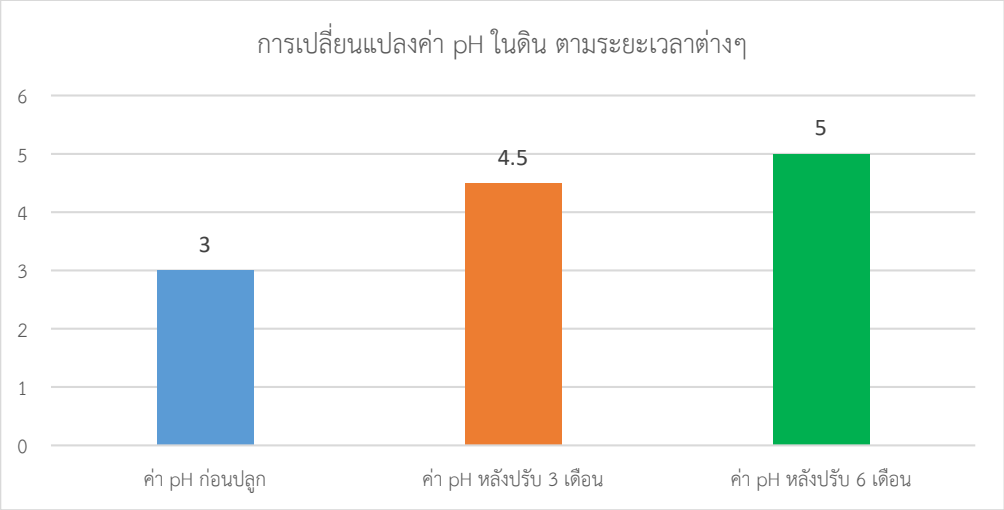
ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด–ด่าง (pH) ของดินภายหลังการปรับปรุงด้วยปุ๋ยอินทรีย์ ตารางที่ 1 และ ดังรูปที่ 3 พบว่า ค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 3 เป็น 4.5 ภายในระยะเวลา 3 เดือน และเพิ่มขึ้นเป็น 5 เมื่อครบ 6 เดือน แสดงให้เห็นว่าการใช้ถ่านชีวภาพ (biochar) ร่วมกับฟางข้าวและน้ำหมักปลา มีประสิทธิภาพในการเพิ่ม pH สาเหตุที่ระดับ pH เพิ่มขึ้น อาจจะเป็นเพราะ ฟางข้าว และน้ำหมักปลา ย่อยสลายเป็นสารอินทรีย์ทำให้เกิดอินทรียวัตถุในดินจึงทำให้ระดับ pH เพิ่มขึ้น [6] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ พงษ์พันธุ์ (2548) ที่ศึกษาการใช้ฟางข้าวในอัตรา 1,500 กก./ไร่ และ 2,000 กก./ไร่ ร่วมกับร่วมกับปุ๋ยคอก ยูเรีย หินฟอสเฟต สามารถเพิ่มค่า pH และปริมาณผลผลิตผัก นอกจากนี้ยังเพิ่มกิจกรรมจุลินทรีย์ให้มากขึ้น [5] นอกจากนี้ ไบโอชาร์ก็ยังมีความสามารถเพิ่มระดับ pH ในดินได้ เนื่องจากไบโอชาร์มีฤทธิ์เป็นด่าง เมื่อทำปฏิกิริยากับดินกรดจัด จะเกิดปฏิกิริยาปล่อย H^+ ทำให้ระดับ pH สูงขึ้น [2,6] นอกจากนี้ ไบโอชาร์ยังสามารถเพิ่มการนำไฟฟ้าของดินได้ และเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน บวก ในขณะที่ลดความเป็นกรดของดินลง [7] และจากการศึกษานี้การใช้ปริมาณฟางข้าวน้อยกว่า ของพงษ์พันธุ์ มากในการศึกษานี้ใช้ในอัตรา 1,500 กก./3ไร่ เหตุด้วยวัสดุทั้งฟางข้าว น้ำหมักปลา และไบโอชาร์สามารถเพิ่ม pH ในดินได้ การใช้ทั้งวัสดุทั้งฟางข้าวร่วมกันช่วยส่งเสริมกิจกรรมในจุลินทรีย์ในดินจึงสามารถเพิ่ม pH ในดินได้ [5] และนอกจากนี้ถ่านชีวภาพยังสามารถเป็นที่อยู่อาศัยให้จุลินทรีย์ในดินได้ จึงทำให้ pH ไม่ได้ลดลงหลังผ่านระยะเวลาไป 6 เดือน [8] อย่างไรก็ตาม ในช่วงระยะเวลา 3 และ 6 เดือนหลังทำการปรับดิน พบว่าอัตราการเพิ่มของค่า pH ลดลง (เพิ่มขึ้นเพียง 0.5 หน่วย) ซึ่งอาจบ่งชี้ว่าดินเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลใหม่ หรืออาจจะปริมาณอินทรียวัตถุที่เติมลงไปเริ่มมีการสลายตัวตามระยะเวลา ซึ่งต้องมีการเก็บข้อมูลระดับของ pH ในระยะยาวต่อไป

5.1 ผลการการเปลี่ยนแปลงระดับ pH

ผลการศึกษาพบว่าระดับค่า pH มีค่าที่เพิ่มขึ้นหลังจากปรับปรุงดินด้วยถ่านไบโอชาร์ น้ำหมักปลา และฟางข้าว เมื่อครบระยะเวลา 3 เดือน และคงที่ ในระดับที่ pH 5 ในระยะเวลา 6 เดือน

ตารางที่ 1 ผลการของ pH เรื่องการใช้ไบโอชาร์ในการปรับปรุงดินเปรี้ยวในพื้นที่ดินรกร้าง (สวนเก่า) แปลงของนายมานพ ทรัพย์คง หมู่ 4 ตำบลบางคา อำเภอราชสาส์น จังหวัดฉะเชิงเทรา พิกัดที่ตั้งแปลง 13.753747, 101.299353 (ชุดดินรังสิต)

แปลงทดลองที่	ค่า pH ก่อนปลูก	ค่า pH หลังปรับ 3 เดือน	ค่า pH หลังปรับ 6 เดือน
แปลงเรียนรู้ห่มฟาง+ไบโอชาร์ 100 กก (ต่อ 3ไร่)	3±0	4.5±0	5±0



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่า pH ในดิน ตามระยะเวลา 3 เดือน และ 6 เดือน

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการใช้ไบโอชาร์ร่วมกับการห่มฟางมีศักยภาพในเพิ่มค่า pH ได้อย่างมีประสิทธิภาพในพื้นที่กรดจัด เนื่องจากวัสดุทั้งสามชนิดมีส่วนช่วยเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน และจากการปรับดินด้วยวิธีการดังกล่าวพบว่า pH ขึ้นถึงระยะเวลา 6 เดือน แนวทางจากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นแนวทางใหม่ในการปรับปรุงดินกรดจัดด้วยการใช้วัสดุผสมผสาน ช่วยลดต้นทุนในการปรับปรุงดินและสามารถรักษาความคงตัวของ pH ได้ถึง 6 เดือน อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการรวบรวมเก็บข้อมูลเบื้องต้น ยังไม่ได้ศึกษาตามแนวทางวิจัยทางการเกษตร นอกจากนี้ติดตามความคงตัวของค่า pH ในดินในระยะยาว และขยายผลการประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นต่อไป

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาในครั้งนี้ เป็นการรวบรวมองค์ความรู้ของเกษตรกรในการปรับปรุงบำรุงดินในการปฏิบัติที่ทดสอบในดินพื้นที่กรดจัดเพาะปลูกไม่ได้และขาดแคลนแหล่งน้ำ โดยเน้นที่ประหยัดต้นทุนและเกษตรกรสามารถทำเองได้ มาเขียนนำเสนอเป็นงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาที่ดิน. (2560). ข้อมูลจัดการดิน. https://www.ldd.go.th/web_soil/acid.htm

[2] Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). Biochar for environmental management: Science, technology and implementation (2nd ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203762264

[3] อัจจิมา ควรสงวน, ภีรพร แซ่เล้า, ธานี ศรีวงศ์ชัย, แลนรอด, โกติเย่ และแสงดาว เขาแก้ว. (2559). ผลของวัสดุปูนและถ่านแกลบไบโอชาร์ต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุฟอสฟอรัสในดินและผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินกรดจัด: กรณีศึกษาชุดดินมหาโพธิ จังหวัดปราจีนบุรี. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54. (น. 185-192). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. https://doi.org/10.14457/KU.res.2016.40

[4] บัวหลวง ฝ้ายเยื่อ และ เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม. (2563). “ถ่านชีวภาพ (biochar)” วัสดุปรับปรุงดินเพื่อส่งเสริมการปลูกข้าวในพื้นที่ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย. วารสารสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 24 (ฉบับที่ 2).

[5] พงษ์พันธุ์ กาวิละ. (2548).ผลของการจัดการตอซังและฟางข้าวที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินและผลผลิตพืช. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากร การเกษตรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้. http://mdc.library.mju.ac.th/thesis/2566/phongphan-kawila/fulltext.pdf

[6] Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). The nature and properties of soils (15th ed.). Pearson Education.

[7] กรกนกโกศล ศศิธร ศรีอ่อน พรรณพรรธน์จำปาแพง และ สายันต์แสงสุวรรณ (2566). ไบโอชาร์ (วัสดุมหัศจรรย์) : การสังเคราะห์ พิสูจน์เอกลักษณ์และศักยภาพการประยุกต์ใช้งาน Biochar (Magical Material) : Synthesis, Characterization and Potential Applications. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[8] เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม และทวีวงศ์ ศรีบุรี. (2564). ถ่านชีวภาพและการประยุกต์ใช้เพื่อเกษตรกรรมอย่างยั่งยืน สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สังคมศาสตร์และสาธารณสุข
Social Science and Public Health

Oral Presentation

บทบาทผู้ช่วยพยาบาลในการดูแลผู้ป่วยถูกล่วงละเมิดทางเพศในหน่วยตรวจผู้ป่วยนอกนรีเวช โรงพยาบาลรามาธิบดี

มัลลิกา แสงหิรัญ, นิตยา คนชม, เจนจิรา มานิชสาร, และ นงลักษณ์ สว่างศรี*

หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกนรีเวช งานการพยาบาลผู้ป่วยนอก 1 ฝ่ายงานการพยาบาล 270
คณะแพทย์ศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
**Corresponding author: Nongluksaw3173@gmail.com*

บทคัดย่อ

อุบัติการณ์การล่วงละเมิดทางเพศส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อสุขภาวะของสตรีทั้งด้านร่างกายและจิตใจ หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกนรีเวชโรงพยาบาลรามาธิบดี ให้ความสำคัญกับการพัฒนาการดูแลผู้ป่วยกลุ่มนิติเวช โดยมีผู้ช่วยพยาบาลซึ่งเป็นกำลังสำคัญในการสนับสนุนรักษามาตรฐานห่วงโซ่การคุ้มครองพยานหลักฐาน (Chain of Custody)

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินกระบวนการปฏิบัติงานในการสนับสนุนการเก็บวัตถุพยานทางนิติเวชให้มีความถูกต้อง รวดเร็ว และประเมินความพึงพอใจของบุคลากรต่อระบบที่พัฒนาขึ้นโดยใช้การวิจัยเชิงปฏิบัติการร่วมกับการพัฒนาคุณภาพ (CQI) ภายใต้วงจร PDCA ในช่วงปี พ.ศ. 2566 - มกราคม 2569 กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วย ผู้ป่วย 16 ราย และบุคลากรทางการแพทย์ 8 ราย คัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ ได้แก่นวัตกรรม "Forensic Kit" คู่มือปฏิบัติงาน และแบบสอบถามความพึงพอใจแบบมาตรส่วนประมาณค่า 5 ระดับ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และร้อยละ

ผลการศึกษาพบว่า หลังการใช้นวัตกรรม ระยะเวลาเฉลี่ยในการเตรียมอุปกรณ์ลดลงจากเดิมเฉลี่ย 15 นาที ลดเหลือ 3นาที (ลดลงร้อยละ 80) และอัตราความครบถ้วนถูกต้องของการจัดการพยานหลักฐานเท่ากับร้อยละ 100 บุคลากรทางการแพทย์มีความพึงพอใจต่อกระบวนการใหม่ในระดับดีมากทุกด้าน

สรุปการพัฒนานวัตกรรมดังกล่าวช่วยยกระดับมาตรฐานนิติเวชคลินิกเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงานและสนับสนุนการเข้าถึงกระบวนการยุติธรรมอย่างรวดเร็วและเป็นธรรม ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDG 16)

คำสำคัญ: ผู้ช่วยพยาบาล / นรีเวชวิทยา / นิติเวชคลินิก / ผู้ป่วยที่ถูกล่วงละเมิดทางเพศ / ความพึงพอใจ

The role of practical nurse in caring for sexual assault victims at the Gynecological Outpatient Unit, Ramathibodi Hospital

Mallika Saenghiran, Nittaya Konchom, Jenjira Manichsarn, and Nongluk Sawansri*

Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Thailand
**Corresponding author: Ngluksaw3173@gmail.com*

Abstract

Sexual assault is a critical global public health and human rights issue with severe physical and psychological consequences. The Gynecological Outpatient Unit at Ramathibodi Hospital prioritizes comprehensive care for survivors, recognizing that practical nurses play a vital role in supporting clinical forensic examinations to maintain the integrity of evidence.

Objective: This study aims to develop and evaluate a standardized nursing practice process and the "Forensic Kit" innovation to enhancing the efficiency of evidence collection and to assess medical personnel satisfaction.

Methods: This action research and quality improvement (CQI) study applied the Plan-Do-Check-Act (PDCA) cycle From2023 to January 2026. Purposive sampling was used to select 16 cases and 8 medical personnel. The research instruments included the standardized "Forensic Kit", clinical work instructions, and a 5-ponint Likert scale satisfaction questionnaire. Data were analyzed using descriptive statistics, including mean and percentages.

Results: Post-implementation, the average equipment preparation time was significantly reduced from over 15 minutes to only 3 minutes, representing an 80% reduction. the accuracy evidence collection and documentation (Chain of Custody) achieved a 100% success rate. Furthermore, Medical staff reported a high level of satisfaction across all evaluated dimensions.

Conclusion: The systematic development of the practical nurse's role through the " Forensic Kit" innovation strengthens clinical forensic processes and supports the justice system. The initiative aligns with Sustainable Development Goal 16 (SDG 16: Peace, Justice, and Strong Institutions) by ensuring high-quality evidence collection for equitable judicial outcomes.

Keywords: Practical Nurse / Gynecology / Clinical Forensics / Forensic Medicine / Sexual Assault Victims / Satisfaction

1. บทนำ

อุบัติการณ์การล่วงละเมิดทางเพศเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและส่งผลกระทบรุนแรงต่อสุขภาวะของสตรีระดับโลก โดยข้อมูลจาก World Health Organization ระบุว่าผู้หญิงประมาณ 1 ใน 3 เคยประสบกับความรุนแรงทางเพศ [1]

สำหรับหน่วยตรวจนรีเวช โรงพยาบาลรามาธิบดี แม้เคสนิติเวชจะมีจำนวนไม่มาก (16 รายในช่วงปี 2566 - มกราคม 2569) [2] แต่เป็นกลุ่มที่ต้องการความแม่นยำสูงสุดเพื่อ "พิทักษ์สิทธิ" และลดระยะเวลาที่ผู้ป่วยต้องเผชิญกับภาวะตึงเครียด ปัญหาหลักคือ "ช่องว่างระหว่างความรู้และการปฏิบัติ" ที่มักคุ้นเคยกับการเตรียมอุปกรณ์แบบเดิมซึ่งใช้เวลานานและเสี่ยงต่อการปนเปื้อน ผู้วิจัยจึงพัฒนานวัตกรรมชุดอุปกรณ์เก็บหลักฐานนิติเวช (Forensic Kit) เพื่อยกระดับมาตรฐานการปฏิบัติงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น [3]

การดูแลผู้ป่วยกลุ่มไม่ได้จำกัดเพียงการรักษาทางกาย แต่ครอบคลุมถึงการเคารพศักดิ์ศรีความเป็นมนุษย์ การรักษาความลับ และการป้องกันการเกิดบาดแผลทางใจซ้ำ (Re-traumatization) [5] ดังนั้น การพัฒนาสมรรถนะของผู้ช่วยพยาบาลผ่านกระบวนการความรู้ (Knowledge Management) และการพัฒนาคุณภาพอย่างต่อเนื่อง (Continuous Quality Improvement-CQI) จึงเป็นสิ่งจำเป็นเร่งด่วน [4] เพื่อให้สามารถให้บริการได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้อง และยึดผู้ป่วยเป็นศูนย์กลาง

2. วัตถุประสงค์:

เพื่อศึกษากระบวนการปฏิบัติงานการพัฒนาสมถรรถนะผู้ช่วยพยาบาลผ่านกระบวนการความรู้และพัฒนาคุณภาพอย่างต่อเนื่อง (CQI) และผลลัพธ์ของการพัฒนานวัตกรรมในการสนับสนุนการเก็บวัตถุพยานทางนิติเวชเพื่อที่จะได้ให้บริการได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และความพึงพอใจของบุคลากรต่อระบบที่พัฒนาขึ้น

3. ขอบเขตของการศึกษา:

การศึกษาครั้งนี้กำหนดขอบเขตเพื่อให้ครอบคลุมมิติการปฏิบัติงานในผู้ป่วยที่มารับบริการ ณ หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกนรีเวช โรงพยาบาลรามาธิบดี ที่มีประวัติถูกล่วงละเมิดทางเพศหรือสงสัยว่าถูกกระทำรุนแรงทางเพศ ดังนี้

3.1 ขอบเขตการศึกษา:

มุ่งเน้นการศึกษากระบวนการปฏิบัติงานของผู้ช่วยพยาบาลในหน่วยตรวจผู้ป่วยนอกนรีเวช ตั้งแต่ขั้นตอนการคัดกรอง การเตรียมอุปกรณ์ เอกสาร สำหรับเก็บสิ่งส่งตรวจ (Forensic Kit) การช่วยเหลือแพทย์ในห้องตรวจ การจัดการห่วงโซ่พยานหลักฐาน (Chain of Custody) ไปจนถึงการประสานงานกับสหวิชาชีพที่เกี่ยวข้อง เช่น นิติเวช จิตเวช และนักสังคมสงเคราะห์

3.2 ขอบเขตด้านประชาชนและกลุ่มเป้าหมาย:

3.2.1 ผู้ช่วยพยาบาล (Practical Nurse): ที่ปฏิบัติงานหมุนเวียนภายในหน่วยตรวจผู้ป่วยนอกนรีเวช โรงพยาบาลรามาธิบดี ทุกคน ซึ่งต้องทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยแพทย์ในการตรวจร่างกายผู้ป่วย จำนวน 8 คน

3.2.2 ผู้ป่วย (Patients): สตรีหรือเด็กที่ถูกล่วงละเมิดทางเพศภายในระยะเวลา 7 วันหลังเกิดเหตุ และเข้ารับบริการที่หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกนรีเวช โรงพยาบาลรามาธิบดี จำนวน 16 ราย

3.2.3 ขอบเขตด้านสถานที่และระยะเวลา: การศึกษาดำเนินการ ณ หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกนรีเวช โรงพยาบาลรามาธิบดี โดยเก็บรวบรวมข้อมูลอุบัติการณ์และผลการดำเนินงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2565 ถึงปัจจุบัน (มกราคม 2569) เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มและความก้าวหน้าของการพัฒนาสมรรถนะบุคลากร

4. วิธีการศึกษา:

ผู้วิจัยดำเนินการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) และการพัฒนาคุณภาพ (CQI) โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ขั้นตอนการศึกษาและการรวบรวมข้อมูล

4.1.1 กลุ่มตัวอย่าง: คัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) ได้แก่ ผู้ป่วยที่ใช้กระบวนการนี้ 16 คน และบุคลากรทางการแพทย์ 8 คน ในช่วง พ.ศ. 2566 - มกราคม 2569 การวิเคราะห์ปัญหา (Problem Identification): ทีมงานได้วิเคราะห์สาเหตุของความล่าช้าในการจัดเก็บสิ่งส่งตรวจ โดยพบว่าปัจจัยด้าน "บุคลากร" (Man) เป็นสาเหตุสำคัญเนื่องจาก

เจ้าหน้าที่หมุนเวียนมีประสบการณ์น้อย ปัจจัยด้าน "วิธีการ" (Method) มีขั้นตอนที่ซับซ้อน และปัจจัยด้วย "วัสดุอุปกรณ์" (Material) มีเอกสารและอุปกรณ์ที่ต้องใช้หลายชนิด

4.1.2 เครื่องมือที่ใช้:

1. นวัตกรรม Forensic Kit [3 ,10] แสดงดังรูปที่ 1 และ 2

รูปที่ 1 และรูปที่ 2 แสดงชุดนวัตกรรม Forensic Kit ถ่ายภาพโดย มัลลิกา แสงหิรัญ เมื่อ 10 มีนาคม 2569

2. คู่มือปฏิบัติงาน
3. แบบบันทึกสถิติระยะเวลา
4. แบบสอบถามความพึงพอใจแบบมาตรส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scale)

4.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูล: ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และร้อยละ (Percentage)

4.1.4 กระบวนการ: ใช้โครงสร้าง PDCA ในการวิเคราะห์และพัฒนาระบบร่วมกับทีมสหวิชาชีพ

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เพื่อนำเสนอข้อมูลในรูปแบบที่เข้าใจง่ายเป็นรูปธรรม ได้แก่

- **จำนวนและร้อยละ (Frequency and Percentage):** ใช้สำหรับวัดระดับความพร้อมของชุดตรวจและเอกสาร และความพึงพอใจของบุคลากร
- **ค่าเฉลี่ย (Mean):** ใช้สำหรับวัดระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเตรียมอุปกรณ์และเอกสารสำหรับการตรวจผู้ป่วยที่ถูกล่วงละเมิดทางเพศ
- **สถิติเปรียบเทียบ:** เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการนำแนวทางปฏิบัติใหม่มาใช้ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการพัฒนา

4.3 ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลหลังการนำนวัตกรรมและแนวปฏิบัติใหม่มาใช้ พบผลลัพธ์ดังนี้

4.3.1 ประสิทธิภาพเชิงระยะเวลาและความถูกต้อง: ระยะเวลาเฉลี่ยในการเตรียมอุปกรณ์ละช่วยแพทย์เตรียมตรวจลดลงอย่างมีนัยสำคัญ บรรลุความสำเร็จในการลดระยะเวลาได้ร้อยละ 80 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบระยะเวลาในการเตรียมอุปกรณ์ก่อนและหลังใช้นวัตกรรม [2]

รายการ	กระบวนการเดิม	กระบวนการใหม่
1.ระยะเวลาเฉลี่ยในการเตรียมอุปกรณ์ (นาที)	15	3
2.ระยะเวลาที่ลดลง (ร้อยละ)	-	80

นอกจากนี้ อัตราความครบถ้วนและถูกต้องของพยานหลักฐานและการส่งตรวจตามหลัก Chain of Custody เท่ากับร้อยละ 100 ในผู้ป่วยทั้ง 16 ราย

4.3.2 ความพึงพอใจของบุคลากร: จากการประเมินความพึงพอใจของบุคคากร 8 คน ต่อกระบวนการใหม่ พบว่าอยู่ในระดับดีมาก ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับความพึงพอใจของบุคลากรต่อนวัตกรรมและการใช้กระบวนการใหม่ (n=8) [2]

รายการ	ค่าเฉลี่ย	ความหมาย
1.ความสะดวกในการใช้งาน	4.85	ดีมาก
2.ความครบถ้วนและถูกต้องของอุปกรณ์	5.00	ดีมาก
3.ความพึงพอใจโดยรวม	4.92	ดีมาก

บุคลากรทั้ง 8 คน มีความพึงพอใจต่อนวัตกรรมและการใช้กระบวนการใหม่ในระดับ "ดีมาก"

4.3.3 สถิติผลการดำเนินงานสะสม (Cumulative Statistics): ข้อมูลสถิติจากปี พ.ศ. 2566 ถึง มกราคม 2569 แสดงให้เห็นถึงการรักษามาตรฐานการดูแลที่มีความเสถียร แม้จำนวนเคสของผู้ป่วยจะมีไม่มาก (เฉลี่ย 4-5 รายต่อปี) แต่ความพร้อมของระบบและการรักษาความชำนาญของบุคลากรยังคงอยู่ในระดับสูง [2] ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงสถิติผู้ป่วยในแต่ละปี อัตราความพร้อมของอุปกรณ์ และระยะเวลาเฉลี่ยในการเตรียมอุปกรณ์ [2]

ปี พ.ศ.	จำนวนผู้ป่วย (ราย)	อัตราความพร้อมของอุปกรณ์ (%)	ระยะเวลาเฉลี่ย (นาที)
2566	5	100	3
2567	4	100	3
2568	5	100	3
2569 (ม.ค.)	2	100	3

แม้จำนวนเคสจะเฉลี่ย 4-5 รายต่อปี แต่ความพร้อมของระบบคงอยู่ที่ 100% ตลอดช่วงปี พ.ศ. 2566- มกราคม 2569

การที่เด็กอายุน้อยลงเข้าสู่กระบวนการตรวจนรีเวชส่งผลโดยตรงต่อภาระงานและความเชี่ยวชาญของทีมการพยาบาล เนื่องจากเด็กในวัย 3-14 ปีมีพัฒนาการทางร่างกายและจิตใจที่แตกต่างจากผู้ใหญ่ การตรวจร่างกายเพื่อเก็บวัตถุพยานจึงต้องอาศัยเทคนิคการปลอบโยน การจัดท่าทางที่ลดความตื่นตระหนก และการใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมกับสรีระ หากกระบวนการนี้ทำได้ไม่ดีพอ อาจกลายเป็นการตอกย้ำบาดแผลทางใจ (re-traumatization) [5] ให้กับเด็กหรือผู้เสียหาย ซึ่งขัดกับหลักการดูแลสุขภาพที่ยั่งยืนที่มุ่งเน้นการฟื้นฟูโดยไม่สร้างบาดแผลและผลกระทบซ้ำซ้อน

บทบาทของผู้ช่วยพยาบาลในหน่วยตรวจนรีเวช: จากการดูแลพื้นฐานสู่นิติเวช หน่วยตรวจนรีเวชโรงพยาบาลรามาธิบดีมีขั้นตอนการรับบริการที่ออกแบบมาเพื่อความรวดเร็วและรักษาความลับของผู้ป่วยสูงสุด พยาบาลวิชาชีพจะมีบทบาทในการคัดกรอง ซักประวัติ ในขณะที่ผู้ช่วยพยาบาล จะเป็นกำลังสำคัญในการสนับสนุนด้านเทคนิค ดูแลสภาพแวดล้อมให้พร้อมสำหรับการตรวจทางนิติเวช และประสานงานกับทีมสหวิชาชีพ [6]

ภารกิจหลักของผู้ช่วยพยาบาลต่อผู้ป่วยคดีทางเพศ: ความรับผิดชอบของผู้ช่วยพยาบาลในหน่วยตรวจนรีเวชตามมาตรฐานของโรงพยาบาลรามาธิบดี ครอบคลุมตั้งแต่การต้อนรับผู้ป่วยด้วยความนุ่มนวล การช่วยจัดเตรียมห้องตรวจที่เป็นส่วนตัว ไปจนถึงการสนับสนุนแพทย์ขณะทำหัตถการเก็บสิ่งส่งตรวจ บทบาทเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของการสร้าง "บรรยากาศแห่งความปลอดภัย" (Safety Environment) ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับผู้ป่วยที่พึ่งผ่านเหตุการณ์สะเทือนขวัญ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 บทบาทและหน้าที่เชิงโครงสร้างของทีมการพยาบาลในการดูแลผู้ป่วยกลุ่มนิติเวช

ขั้นตอนการดูแล	บทบาทของพยาบาลวิชาชีพ (RN)	บทบาทของผู้ช่วยพยาบาล (PN)
การแรกรับและคัดแยก (Triage)	ประเมินภาวะวิกฤตทางร่างกายและจิตใจ	ช่วยรับผู้ป่วย วัดสัญญาณชีพเบื้องต้น และนำส่งห้องตรวจที่เป็นส่วนตัว เตรียมอุปกรณ์และเอกสารเพื่อใช้ตรวจร่างกาย
การช่วยเหลือขณะตรวจนิติเวช	-	ช่วยจัดท่าผู้ป่วย และอยู่เป็นบุคคลที่สาม (Chaperone) เพื่อความโปร่งใส
การจัดการวัตถุพยาน	ตรวจสอบความถูกต้องของสติ๊กเกอร์และตำแหน่งที่เก็บสิ่งส่งตรวจก่อนส่งห้องปฏิบัติการ	ช่วยบรรจุสิ่งส่งตรวจในกล่องที่ถูกต้อง ผึ่งไม้พันสำลีให้แห้ง และลงบันทึกนำส่ง
การดูแลหลังการตรวจ	นัดหมายการติดตามผล	ช่วยเหลือผู้ป่วยในการทำความสะอาดร่างกายหลังตรวจ และดูแลความสะดวกให้แก่ญาติ

ผู้ช่วยพยาบาลทำหน้าที่เป็น “สะพานเชื่อม” ระหว่างผู้ป่วยกับทีมผู้รักษา โดยเฉพาะในขณะที่ผู้ป่วยต้องขึ้นขาหยั่งเพื่อตรวจภายใน ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ผู้ป่วยรู้สึกเปราะบางที่สุด การพูดคุยเบี่ยงเบนความสนใจหรือการจับมือให้กำลังใจในขอบเขตที่เหมาะสม เป็นสิ่งที่ผู้ช่วยพยาบาลสามารถทำได้เพื่อลดความกังวลให้แก่ผู้ป่วย [5]

กระบวนการเก็บสิ่งส่งตรวจเพื่อประกอบคดี: มาตรฐานนิติวิทยาศาสตร์ในหน่วยตรวจนรีเวช พยานหลักฐานทางชีวภาพ (Biological Evidence) คือหัวใจสำคัญในการนำผู้กระทำผิดมาลงโทษ แต่หลักฐานเหล่านี้มีความเสื่อมสลายได้ง่าย (Fragile Evidence) หากกระบวนการเก็บรักษาไม่เป็นไปตามมาตรฐานนิติวิทยาศาสตร์ ผู้ช่วยพยาบาลที่ทำหน้าที่ช่วยแพทย์เก็บสิ่งส่งตรวจจึงต้องมีความรู้ความเข้าใจในหลักการป้องกันการปนเปื้อน (Contamination Prevention) และกลไกห่วงโซ่แห่งการครอบครองวัตถุพยาน (Chain of Custody) อย่างเคร่งครัด

ขั้นตอนการเก็บสิ่งส่งตรวจเพื่อประกอบคดี: การเก็บหลักฐานต้องทำอย่างครอบคลุมทุกช่องทางที่มีโอกาสถูกล่วงล้ำ ไม่ว่าจะเป็นช่องปาก ช่องคลอด หรือทวารหนัก โดยมีรายละเอียดเชิงเทคนิคที่ทีมสุขภาพต้องปฏิบัติร่วมกันดังนี้

1. ช่องปากและลำคอ (Oral and Throat Swabs): ในกรณีที่มีประวัติการถูกบังคับสอดใส่อวัยวะเพศทางปาก แพทย์จะใช้ไม้พันสำลี (Cotton Swab) ป้ายบริเวณซอกเหงือก ใต้ลิ้น และต่อมทอนซิล ผู้ช่วยพยาบาลต้องช่วยเตรียมสไลด์แก้วสำหรับทำ Smear และที่สำคัญที่สุดคือต้องผึ่ง Swab ให้แห้งสนิทที่อุณภูมิห้องก่อนบรรจุซอง เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อราที่อาจทำลาย DNA

2. ช่องคลอดและปากช่องคลอด (Vaginal and Cervical Swabs): เป็นตำแหน่งที่สำคัญที่สุดในการหาตัวอสุจิและเชื้ออสุจิ แพทย์จะเก็บจาก Fossa Navicularis และในช่องคลอดส่วนลึก ผู้ช่วยพยาบาลต้องช่วยเตรียมสไลด์แก้วสำหรับทำ Smear และที่สำคัญที่สุดคือต้องผึ่ง Swab ให้แห้งสนิทที่อุณภูมิห้องก่อนบรรจุซอง เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อราที่อาจทำลาย DNA และจัดเรียงตามลำดับที่กำหนดพร้อมระบุตำแหน่งที่เก็บให้ชัดเจนบนกล่องเก็บสิ่งส่งตรวจ

3. ทวารหนัก (Anal Swabs and Smear): หากมีประวัติการร่วมเพศทางทวารหนักหรือพบรอยฉีกขาด (Anal Laceration) จะต้องเก็บสิ่งส่งตรวจในลักษณะเดียวกับช่องคลอด แม้รอยแผลสดมักหายภายใน 1-2 สัปดาห์ แต่การเก็บ DNA จากคราบอสุจิยังคงทำได้หากปฏิบัติอย่างรวดเร็ว

การรักษาความคงตัวของหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เป็นความรับผิดชอบร่วมกันของทีมงาน นอกจากนี้ ซองบรรจุต้องมีการผนึก (Sealing) ที่ป้องกันการเปิดก่อนถึงมือเจ้าหน้าที่นิติเวชศาสตร์ เพื่อป้องกันข้อครหาเรื่องการปลอมแปลงหลักฐานในชั้นศาล

การดูแลสภาพจิตใจผู้ป่วยและญาติ: หัวใจการพยาบาลแบบองค์รวม ความเจ็บปวดจากการถูกล่วงละเมิดทางเพศไม่ได้สิ้นสุดที่บาดแผลทางกาย แต่ทิ้งบาดแผลทางใจที่ลึกซึ้งซึ่งอาจพัฒนาเป็นโรคซึมเศร้า หรือความผิดปกติทางจิตใจหลังเผชิญเหตุการณ์รุนแรง ทีมการพยาบาลในหน่วยตรวจนรีเวชต้องใช้ทักษะการเยียวยาจิตใจควบคู่ไปกับการรักษาพยาบาล โดยเน้นการสร้างสัมพันธ์ที่ตั้งอยู่บนความไว้วางใจ เทคนิคการสื่อสารและการปฏิบัติเพื่อเยียวยาจิตใจ พยาบาลและผู้ช่วยพยาบาลจะใช้แนวทางปฏิบัติเพื่อสร้างความปลอดภัยและความเชื่อมั่นให้แก่ผู้รับบริการดังนี้

1. การใช้เสียงและท่าทางที่เหมาะสม: ควรพูดด้วยน้ำเสียงที่ชัดเจน นุ่มนวล หลีกเลี่ยงการกระซิบกระซาบซึ่งอาจทำให้ผู้ป่วยที่หวาดระแวงรู้สึกไม่ปลอดภัย

2. การให้เกียรติในศักดิ์ศรีความเป็นมนุษย์: การปฏิบัติการพยาบาลทุกขั้นตอนต้องทำด้วยความนุ่มนวล การเช็ดทำความสะอาดร่างกายหรือช่วยสวมใส่เสื้อผ้าต้องทำอย่างมิดชิดเพื่อรักษาภาพลักษณ์และศักดิ์ศรีของผู้ป่วย

การดูแลและสนับสนุนญาติ: ญาติมักมีความวิตกกังวลสูงกับอนาคตของผู้ป่วย การติดเชื้อ หรือผลกระทบต่อชื่อเสียงครอบครัว ผู้ช่วยพยาบาลมีบทบาทในการช่วยลดความตึงเครียดด้วยการให้ข้อมูลขั้นตอนการรับบริการที่ชัดเจน การจัดหาที่นั่งรอที่สงบและเป็นส่วนตัว หากญาติแสดงอาการก้าวร้าวเนื่องจากความโกรธแค้นต่อผู้กระทำผิด ทีมพยาบาลต้องใช้เทคนิคการลดความรุนแรง (De-escalation) โดยการเรียกชื่อญาติให้รู้สึกตัวและสื่อสารด้วยความเห็นใจ

4.3.4 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

จากการสืบค้นข้อมูลผ่านระบบ BI (Business Intelligence) ของโรงพยาบาลรามาธิบดี พบจำนวนผู้ป่วยที่ถูกล่วงละเมิดทางเพศซึ่งเข้ารับการดูแลตามกระบวนการนิติเวชศาสตร์ที่หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกนรีเวช ในปีพ.ศ. 2566 – มกราคม 2569 ดังนี้ [2] ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สถิติผู้ป่วยที่เข้ารับการตรวจและเก็บหลักฐานทางนิติเวช (พ.ศ. 2566 - มกราคม 2569) [2]

ปี พ.ศ.	จำนวนผู้ป่วย	หมายเหตุ
2566	5	ข้อมูลตลอดทั้งปี
2567	4	ข้อมูลตลอดทั้งปี
2568	5	ข้อมูลตลอดทั้งปี
2569	2	เฉพาะเดือนมกราคม2569
รวม	16	ข้อมูลสะสม ณ มกราคม พ.ศ.2569

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ความสำเร็จของ Forensic Kit เกิดจากการออกแบบตามหลัก ในการลดระยะเวลา (Poka-Yoke) โดยการจัดทำชุดอุปกรณ์นิติเวชไว้เป็นหมวดหมู่พร้อมป้ายกำกับที่ชัดเจน [9] นอกจากนี้ การสร้างความตระหนักรู้แก่ผู้ช่วยพยาบาลถึงความสำคัญของบทบาทตนเองในฐานะ “ผู้รักษาพิทักษ์พยานหลักฐาน” ช่วยเพิ่มแรงจูงใจในการปฏิบัติงานให้ถูกต้องตั้งแต่วินาทีแรกที่ผู้ป่วยรับบริการ

แนวโน้มอุบัติการณ์: แม้จำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการตรวจรักษาในแต่ละปีจะมีจำนวนไม่มาก (เฉลี่ย 4-5 รายต่อปี) แต่ข้อมูลนี้สะท้อนถึงความสำคัญของการเตรียมความพร้อมเนื่องจากเป็นกลุ่มผู้ป่วยที่ต้องการความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านสูง

ข้อจำกัดด้านประสบการณ์: เนื่องจากจำนวนผู้ป่วยมีน้อยรายในแต่ละปี ส่งผลให้ผู้ช่วยพยาบาลอาจมีประสบการณ์ในการดูแลเคสจริงค่อนข้างน้อย ซึ่งอาจนำไปสู่ปัญหาการขาดความชำนาญในการช่วยเก็บหลักฐาน หรือการเตรียมเอกสารและอุปกรณ์ที่ไม่ครบถ้วนหากไม่มีการจัดระบบที่ดี

การพัฒนากระบวนการ (Evidence-based Practice): จากข้อจำกัดดังกล่าว ทีมงานจึงได้จัดทำชุดตรวจ (Forensic Kit) และเอกสารที่เกี่ยวข้องให้มีความพร้อมใช้งานทันที เพื่อลดระยะเวลาในการเตรียมอุปกรณ์จากเดิมที่ใช้เวลาเฉลี่ย 15 นาที เป็นลดเหลือ 3 นาที เมื่อต้องตรวจผู้ป่วย เพื่อให้การตรวจรวดเร็วและถูกต้องตามหลักนิติวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น

เป้าหมายเชิงคุณภาพ: มุ่งเน้นให้ผู้ป่วยได้รับผลลัพธ์ (Outcome) คือการดูแลทั้งร่างกายและจิตใจอย่างรวดเร็ว ถูกต้องตามหลักวิชาการ โดยคำนึงถึงความรู้สึกของผู้ป่วยและญาติเป็นสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 6

5.1 ผลการศึกษารูปแบบผลงานวิชาการ

จากการวิเคราะห์ผลการศึกษาความรู้และการปฏิบัติงานทางนิติเวชคลินิก พบข้อค้นพบที่น่าสนใจดังนี้

1. ช่องว่างระหว่างความรู้และการปฏิบัติ (Knowledge-Practice Gap): จากการเก็บข้อมูลชี้ว่าบุคลากรทางการพยาบาลจำนวนมากอาจมีความรู้เชิงทฤษฎีเกี่ยวกับการเก็บพยานหลักฐานในระดับน้อย แต่มีระดับการปฏิบัติงานจริงระดับปานกลางถึงสูง สิ่งนี้สะท้อนว่าการปฏิบัติงานจริงมักเกิดจากความคุ้นเคยหรือการทำงานตามแบบรุ่นพี่ (On-the-job training) มากกว่าการใช้พื้นฐานความรู้ทางนิติวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง ซึ่งอาจมีความเสี่ยงในกรณีที่พบเคสที่มีความซับซ้อน ดังนั้นการจัดทำคู่มือมาตรฐาน (Standard Operating Procedure - SOP) ที่เข้าใจง่ายสำหรับผู้ช่วยพยาบาลจึงเป็นสิ่งจำเป็น

2. ความสำคัญของการฝึกอบรมเฉพาะทาง: ข้อมูลระบุว่าบุคลากรเกือบร้อยละ 60 ไม่เคยได้รับการอบรมเฉพาะทางด้านนิติเวชคลินิก แต่ส่วนใหญ่เห็นด้วยอย่างยิ่งว่าการอบรมนี้มีความสำคัญต่อการทำงาน การที่ผู้ช่วยพยาบาลได้รับความรู้เรื่องการเก็บสิ่งส่งตรวจที่ถูกต้องจะช่วยลดความผิดพลาดในการเตรียมอุปกรณ์และลดการปนเปื้อนของหลักฐานได้

ตารางที่ 6 สรุปประเด็นการพัฒนาคุณภาพงาน (CQI / WI) ในหน่วยตรวจผู้ป่วยนอกนรีเวชโรงพยาบาลรามาธิบดีต่อผู้ป่วยคดีล่วงละเมิดทางเพศ [4]

ประเด็นปัญหา (Pain Point)	นวัตกรรมหรือแนวทางแก้ไข	ผลลัพธ์ที่คาดหวัง (Outcome)
ความล่าช้าในการเตรียมอุปกรณ์ตรวจนิติเวช	พัฒนา "ชุดเก็บหลักฐานพร้อมใช้งาน" (Forensic Kit) ที่ระบุรายการอุปกรณ์ชัดเจน	ลดระยะเวลารอคอยของผู้ป่วยและลดความผิดพลาดในการเตรียมอุปกรณ์
ญาติมีความวิตกกังวลสูงระหว่างรอตรวจ	การอธิบายขั้นตอนการตรวจและการประสานหน่วยงานต่างๆให้แก่ญาติ	ญาติเข้าใจและลดความวิตกกังวล

บทบาทของผู้ช่วยพยาบาลไม่ใช่เพียงผู้ช่วยหยิบจับอุปกรณ์แต่คือ "ผู้คุ้มครองสิทธิและผู้เยียวยาเบื้องต้น" การปฏิบัติหน้าที่อย่างเป็นระบบตามหลักนิติเวชควบคู่ไปกับความเมตตา จะช่วยให้ผู้ป่วยรอดพ้นจากภาวะแทรกซ้อนทางจิตใจ (เช่น PTSD) [5] และได้รับความยุติธรรมตามกฎหมายอย่างมีประสิทธิภาพ

6. สรุปผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่านวัตกรรมส่งผลต่อประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญ:

- ประสิทธิภาพเชิงระยะเวลา: ระยะเวลาลดลงจาก 15นาที เหลือ 3 นาที (ลดลง 80%) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด Trauma-Informed Care ที่ลดระยะเวลาตึงเครียดของผู้ป่วย [1, 6]

- ความสมบูรณ์ของพยานหลักฐาน: บรรลุร้อยละ 100 (Chain of Custody) ซึ่งเป็นหัวใจของการสนับสนุนกระบวนการยุติธรรม

ความสำเร็จนี้เกิดจากการนำแนวคิด Poka-Yoke มาลดความสูญเสียในกระบวนการ (Process Waste) [9] ทำให้ผู้ช่วยพยาบาลปฏิบัติงานได้อย่างแม่นยำแม้ในสภาวะกดดัน งานวิจัยนี้ไม่ได้ส่งผลเพียงการบริการทางการแพทย์ แต่เชื่อมโยงโดยตรงกับ SDG 16 (Peace, Justice, and Strong Institutions) [7] โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 16.3 ในการส่งเสริมหลักนิติธรรมและการเข้าถึงความยุติธรรม การที่หน่วยงานที่ระบบการจัดการพยานหลักฐานที่รวดเร็วและถูกต้องร้อยละ 100 คือการสร้าง "สถาบันที่มีประสิทธิภาพและโปร่งใส" (เป้าหมาย 16.6) ซึ่งช่วยให้ผู้ป่วยได้รับความเป็นธรรมตามกฎหมายอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงสุด [8]

เอกสารอ้างอิง

[1] World Health Organization. (2019). Clinical management of rape and intimate partner violence survivors. Geneva: World Health Organization.

[2] หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกนรีเวช. (2569) สถิติการให้บริการผู้ป่วยนิติเวชปีงบประมาณ 2567 -มกราคม 2569 (รหัส Y05). กรุงเทพฯ: คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี.

[3] มัลลิกา แสงหิรัญ, นิตยา คนชม, นงลักษณ์ สว่างศรี, และเจนจิรา มานิชสาร. (2568). โครงการพัฒนากระบวนการช่วยแพทย์เก็บสิ่งส่งตรวจหลักฐานประกอบคดีในกลุ่มผู้ป่วย Y05.กรุงเทพฯ: หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกนรีเวช คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี.

[4] กองการพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล. (2568). แนวทางการเขียนบทความวิจัย R2R และ CQI สายสนับสนุน. นครปฐม: มหาวิทยาลัยมหิดล

[5] แนวทางทั่วไปและการจัดการผู้ป่วยที่เปิดเผยเรื่องการถูกล่วงละเมิดทางเพศ: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov สืบค้นเมื่อ 12 มกราคม พ.ศ. 2569

[6] คณะกรรมการพัฒนาคุณภาพงาน. (2568). รายงานสรุปผลโครงการ CQI: การพัฒนาการจัดเก็บหลักฐานนิติเวชประกอบผู้ป่วย Y05 กรุงเทพฯ: คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี.

[7] United Nations. (2015). Sustainable Development Goal 16: Peace, justice and strong institutions. (Online). Available: https://sdgs.un.org/goals/goal16

[8] คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2569). เป้าหมายความยั่งยืนและการจัดการสิ่งแวดล้อมในสถานพยาบาล. นครปฐม: มหาวิทยาลัยมหิดล.

[9] Shingo, S. (1986). Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-yoke System. Productivity Press.

[10] Division of Forensic Medicine. (2022). ISO17025 Standard for External Chain of Custody (Fo-WI-PAE-002/003). Bangkok: of Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital.

การวิเคราะห์โครงสร้างโปรตีนในพิษแมงกะพรุนกล่อง โดยใช้ฐานข้อมูลชีวสารสนเทศเพื่อการออกแบบยาต้านพิษในอนาคต

พชณัน แซ่ลิ่ม[1], ญัลวา กิตติชัย[1], อภิเดช พงศ์แผ้ว[1*] , และ มนิดา นกเกษม[1*]

[1]โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย สตูล ตำบลฉลุง อำเภอเมืองสตูล จังหวัดสตูล ประเทศไทย

** Corresponding author: apidat.p@pccst.ac.th*

บทคัดย่อ

โครงงานการวิเคราะห์โครงสร้างโปรตีนในพิษแมงกะพรุนกล่อง โดยใช้ฐานข้อมูลชีวสารสนเทศ เพื่อการออกแบบยาต้านพิษในอนาคต มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโครงสร้างโปรตีนพิษของแมงกะพรุนกล่องและแมงกะพรุนสายพันธุ์ต่าง ๆ รวมถึงหน้าที่และกลไกการออกฤทธิ์ของพิษในระดับโมเลกุลอย่างเป็นระบบ ค้นหาและคัดเลือกสารจากธรรมชาติรวมถึงสารสังเคราะห์ที่มีศักยภาพในการยับยั้งพิษของแมงกะพรุนกล่องโดยใช้การจำลองระดับโมเลกุล (Molecular Docking) และประเมินประสิทธิภาพการจับกันระหว่างสารยากับโปรตีนพิษจากค่า Binding Affinity โครงงานดำเนินการโดยการบูรณาการความรู้ทางชีววิทยาระดับโมเลกุลเข้ากับเทคโนโลยีชีวสารสนเทศและการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลโปรตีนพิษของแมงกะพรุนกล่องจากฐานข้อมูล UniProt และข้อมูลสารยับยั้งจากฐานข้อมูล PubChem จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์และจำลองการจับกันระหว่างโปรตีนพิษและสารยับยั้ง พร้อมทั้งแสดงผลโครงสร้างโมเลกุลแบบสามมิติและผลการวิเคราะห์ในรูปแบบตารางและกราฟผ่านเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาด้วย React จากการศึกษาพบว่าสารจากธรรมชาติรวมถึงสารสังเคราะห์ที่มีศักยภาพหลายชนิดสามารถจับกับโปรตีนพิษของแมงกะพรุนกล่องได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสาร Silymarin แสดงค่าการจับสูงที่สุดอย่างสม่ำเสมอในโปรตีนพิษทุกชนิด ขณะที่โปรตีนพิษ CFTX-1 และ CFTX-2 แสดงความไวต่อการยับยั้งมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ CFTX-A และ CFTX-B การศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาพิษวิทยาในระดับโมเลกุล ช่วยลดข้อจำกัดด้านเวลา ด้านค่าใช้จ่ายของการทดลองในห้องปฏิบัติการ เป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการวิจัยและพัฒนายาต้านพิษแมงกะพรุนในอนาคต

คำสำคัญ: แมงกะพรุนกล่อง / โปรตีนพิษ / ชีวสารสนเทศ / Molecular Docking / Binding affinity

Analysing the protein structure of *Chironex fleckeri* venom using bioinformatics databases for the future anti-venom design

Phachanan Saelim[1], Yalwa Kittichai[1], Apidat Phongpaew[1*] , and Manida Nokkasem[1*]

[1] Princess Chulabhorn Science High School, Chalung, Mueang, Satun, Thailand

**Corresponding author: apidat.p@pccst.ac.th*

Abstract

The project Analysing the protein structure of *Chironex fleckeri* venom using bioinformatics databases for the future anti-venom design aimed to systematically investigate the venom protein structures of *Chironex fleckeri* and other jellyfish species, including their biological functions and mechanisms of action at the molecular level. In addition, the study sought to identify and screen natural as well as synthetic compounds with potential inhibitory effects against box jellyfish venom through molecular docking simulations, and to evaluate their binding efficiency to venom proteins based on binding affinity values. This project integrated knowledge of molecular biology with bioinformatics technologies and web application development. Venom protein data of *Chironex fleckeri* were collected from UniProt, while candidate inhibitor compounds were obtained from PubChem. The datasets were subsequently analyzed, and protein–ligand interactions were simulated using molecular docking techniques. Three-dimensional molecular structures and analytical results were then visualized in tabular and graphical formats through a web application developed using React. The results demonstrated that several natural and synthetic compounds exhibited strong binding potential toward box jellyfish venom proteins. Among the tested compounds, Silymarin consistently showed the highest binding affinity across all target proteins. Furthermore, the venom proteins CFTX-1 and CFTX-2 appeared to be more susceptible to inhibition than CFTX-A and CFTX-B. This study contributes to the field of molecular toxicology by providing a cost-effective and time-efficient alternative to conventional laboratory experimentation. Moreover, it establishes an important preliminary framework for future research and development of effective antivenoms against jellyfish envenomation.

Keywords: *Chironex Fleckeri* / Toxin proteins / Bioinformatics / Molecular Docking / Binding affinity

1. บทนำ

แมงกะพรุนกล่อง (*Chironex fleckeri*) เป็นสัตว์ทะเลที่ขึ้นชื่อว่ามีพิษร้ายแรงที่สุดในโลก พบมากในเขตทะเลเขตร้อน โดยเฉพาะบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกและทะเลอันดามัน พิษของแมงกะพรุนกล่องสามารถออกฤทธิ์ทำลายเซลล์ผิวหนัง เซลล์ประสาท และกล้ามเนื้อหัวใจ ส่งผลให้ผู้ถูกพิษมีอาการเจ็บปวดรุนแรง หายใจลำบาก ช็อก และอาจเสียชีวิตได้ในเวลาอันสั้น รายงานทางการแพทย์ระบุว่ามีผู้เสียชีวิตจากพิษแมงกะพรุนกล่องหลายรายต่อปี โดยเฉพาะในกลุ่มนักท่องเที่ยวและชาวประมงที่สัมผัสโดยไม่ทันระวัง [1] [2]

สารพิษหลักในแมงกะพรุนกล่องประกอบด้วย โปรตีนและเปปไทด์เชิงซ้อน ที่มีคุณสมบัติทำให้เยื่อหุ้มเซลล์รั่วและกระตุ้นการไหลเข้าของแคลเซียมในเซลล์ ส่งผลให้เซลล์เสียสมดุลอย่างรวดเร็ว โปรตีนพิษเหล่านี้ยังมีความซับซ้อนและหลากหลาย ทำให้การศึกษาเชิงโครงสร้างมีความยากลำบาก อีกทั้งยังขาด ยาต้านพิษที่เฉพาะเจาะจง ในปัจจุบันการรักษามักอาศัยการประคับประคอง เช่น การใช้น้ำส้มสายชู เพื่อลดการยิงพิษของเข็มพิษ หรือการทำ CPR หากเกิดภาวะหัวใจหยุดเต้น แต่ยังไม่มีแนวทางที่สามารถยับยั้งฤทธิ์ของโปรตีนพิษได้โดยตรง [2] [3]

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เทคโนโลยีด้านชีวสารสนเทศ (Bioinformatics) ได้พัฒนาอย่างก้าวกระโดด นักวิทยาศาสตร์สามารถใช้ฐานข้อมูลสากล เช่น UniProt, NCBI Protein และ Protein Data Bank (PDB) เพื่อค้นหาลำดับกรดอะมิโนของโปรตีน วิเคราะห์โครงสร้างสามมิติ และทำนายบริเวณสำคัญของโปรตีน เช่น ตำแหน่งที่จับกับเยื่อหุ้มเซลล์หรือโมเลกุลเป้าหมาย ความก้าวหน้านี้ช่วยลดความจำเป็นในการทดลองซ้ำซ้อนในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมักใช้ต้นทุนสูงและมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัย [4] [5]

โครงงาน “การวิเคราะห์โครงสร้างโปรตีนในพิษแมงกะพรุนกล่องโดยใช้ฐานข้อมูลชีวสารสนเทศ เพื่อการออกแบบยาต้านพิษในอนาคต” จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะเป็นการนำองค์ความรู้ด้านชีววิทยาและคอมพิวเตอร์มาบูรณาการเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างเครื่องมือวิเคราะห์ต้นแบบที่ช่วยให้ผู้วิจัยสามารถดึงข้อมูลโปรตีนพิษจากฐานข้อมูลสากล วิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติทางชีวเคมีของโปรตีน และคัดเลือกบริเวณที่มีศักยภาพเป็นเป้าหมายในการพัฒนายาต้านพิษ [4] [5] [6]

การดำเนินโครงงานนี้ไม่เพียงช่วยให้ผู้จัดทำได้ฝึกทักษะการเขียนโปรแกรมและการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลชีวสารสนเทศ แต่ยังเป็นการวางรากฐานงานวิจัยที่อาจนำไปสู่การออกแบบยาเชิงโมเลกุลในอนาคต ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการแพทย์ การสาธารณสุข และการท่องเที่ยวของประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่มีความเสี่ยงต่อพิษแมงกะพรุนกล่องโดยตรง [1] [4]

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาโครงสร้างโปรตีนพิษของแมงกะพรุนกล่องและแมงกะพรุนสายพันธุ์ต่าง ๆ รวมถึงหน้าที่และกลไกการออกฤทธิ์ของพิษในระดับโมเลกุลอย่างเป็นระบบ [2] [4]
2. เพื่อค้นหาและคัดเลือกสารจากธรรมชาติรวมถึงสารสังเคราะห์ที่มีศักยภาพในการยับยั้งพิษของแมงกะพรุนกล่องโดยใช้การจำลองระดับโมเลกุล (Molecular Docking) [6] [7] [8]
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพการจับกันระหว่างสารยากับโปรตีนพิษจากค่า Binding Affinity [6]

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. ผลการศึกษานี้อาศัยการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เป็นหลัก ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้อาจแตกต่างจากผลการทดลองจริงในห้องปฏิบัติการ จึงควรใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการศึกษาต่อยอด [6]

2. โครงสร้างโปรตีนบางส่วนที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้มาจากการทำนายโครงสร้างด้วยเครื่องมือชีวสารสนเทศ และยังไม่ได้รับการยืนยันด้วยการทดลองเชิงโครงสร้างจริง [5]
3. การคัดกรองสารในโครงงานนี้พิจารณาเฉพาะความสามารถในการจับกับโปรตีนเป้าหมายในระดับโมเลกุลเท่านั้น โดยยังไม่ได้ครอบคลุมปัจจัยทางเภสัชวิทยาอื่น ๆ เช่น การดูดซึม การกระจายตัวในร่างกาย การเผาผลาญ และความเป็นพิษของสาร [7]

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูลโปรตีนพิษแมงกะพรุน

1. เข้าเว็บไซต์ฐานข้อมูล UniProt (www.uniprot.org)
2. ค้นหาคำว่า "jellyfish toxin" หรือ "box jellyfish"
3. เลือกโปรตีนพิษที่น่าสนใจ เช่น CfTX-1 , CfTX-2 จากแมงกะพรุนกล่อง
4. บันทึกข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ รหัสโปรตีน , ชื่อโปรตีน , สายพันธุ์แมงกะพรุน , ลำดับกรดอะมิโน และหน้าที่ของพิษ [4]

4.2 รวบรวมข้อมูลสารยาที่มีศักยภาพ

1. เข้าเว็บไซต์ฐานข้อมูล PubChem (pubchem.ncbi.nlm.nih.gov)
2. ค้นหาสารที่มีการศึกษาว่าสามารถยับยั้งพิษได้ เช่น Silymarin, Quercetin
3. บันทึกข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ รหัสสาร (CID) , ชื่อสาร , สูตรโมเลกุล , น้ำหนักโมเลกุล และโครงสร้าง SMILES [5]

4.3 สร้างฐานข้อมูลในโปรแกรม

1. สร้างไฟล์สำหรับเก็บข้อมูลโปรตีนและสารยา
2. นำข้อมูลที่รวบรวมมาจัดเก็บอย่างเป็นระบบ [3] [4]
3. จัดแบ่งหมวดหมู่ตามสายพันธุ์แมงกะพรุนและประเภทสารยา

4.4 สร้างส่วนแสดงผลโครงสร้าง 3 มิติ

1. ใช้เครื่องมือ 3Dmol.js แสดงโครงสร้างโมเลกุลแบบ 3 มิติ
2. เชื่อมต่อกับ PubChem และ NCI Cactus เพื่อดึงโครงสร้าง 3 มิติของสารยา (SDF format) [4]
3. เชื่อมต่อกับ AlphaFold API เพื่อดึงโครงสร้าง 3 มิติของโปรตีน (PDB format) [5]
4. แสดง Molecular Surface (พื้นผิวโมเลกุล) แบบ PyMOL-style
5. แสดงลูกศรอธิบาย (Annotations) ชี้ตำแหน่ง Binding Pocket, Drug Molecule และ H-bonds

4.5 สร้างส่วนจำลองการจับกันของโมเลกุล

1. สร้างสูตรคำนวณค่า Binding Affinity โดยพิจารณาจาก : [6]
   - น้ำหนักโมเลกุลของสารยา
   - ความเหมาะสมของตำแหน่งที่จับ
   - ความเข้ากันได้ระหว่างโปรตีนและสารยา

2. กำหนดเกณฑ์การตัดสิน : [6]
    - ดีเยี่ยม : ต่ำกว่า -9.0 kcal/mol
    - ดี : -9.0 ถึง -7.0 kcal/mol
    - ปานกลาง : -7.0 ถึง -5.0 kcal/mol

4.6 ออกแบบและสร้างหน้าเว็บ

หน้าที่ 1: หน้าแรก (Home)
- แสดงข้อมูลภาพรวมของโครงการ
- แสดงจำนวนโปรตีนและสารยาในฐานข้อมูล
- แสดงผลลัพธ์เด่น (Featured Result) พร้อมค่า Binding Affinity
- มี Micro-interactions และ Animations ด้วย Framer Motion

หน้าที่ 2: โปรตีนพิษ (Proteins)
- แสดงรายการโปรตีนพิษทั้งหมดแบบ Card-based
- มีตัวกรองตามสายพันธุ์และชนิดพิษ
- แสดงโครงสร้าง 3 มิติของโปรตีนจาก AlphaFold API [5]
- แสดงลำดับกรดอะมิโนแบบขยาย/ย่อได้

หน้าที่ 3: สารยา (Drugs)
- แสดงรายการสารยาทั้งหมดในตาราง
- มีช่องค้นหาและตัวกรองตามประเภท
- แสดงโครงสร้าง 3 มิติของสารจาก PubChem/NCI Cactus [4]

หน้าที่ 4: จำลองการทดลอง (Simulation)
- ให้ผู้ใช้เลือกโปรตีนและสารยาที่ต้องการทดสอบ (เลือกทั้งหมดได้)
- ปรับพารามิเตอร์ Exhaustiveness, Num Modes, Random Seed
- แสดง Progress Bar ระหว่างจำลอง
- แสดงผลลัพธ์ Top 5 ทันทีหลังจำลองเสร็จ [6]

หน้าที่ 5: ผลลัพธ์ (Results)
- แสดงตารางผลลัพธ์ทั้งหมดพร้อมระดับคุณภาพ
- แสดงกราฟ Bar Chart, Scatter Plot ด้วย Recharts
- แสดง Heatmap เปรียบเทียบผลลัพธ์
- กรองข้อมูลตามโปรตีนและระดับคุณภาพ

หน้าที่ 6: ส่งออกข้อมูล (Export)
- ปุ่มดาวน์โหลดไฟล์ CSV
- สถิติสรุปผลลัพธ์ก่อนส่งออก

หน้าที่ 7: จำลองการจับกัน (Docking Visualization)
- เลือกคู่โปรตีน-สารยาแบบ Card-based

- แสดงโครงสร้าง 3 มิติแบบ Surface Rendering (PyMOL-style)
- แสดง Binding Pocket (สีแดง), Drug Molecule (สีเขียว), Protein Surface (สีเทา)
- ลูกศรอธิบาย (Annotations) ชี้ตำแหน่งสำคัญ
- แสดงค่า Binding Affinity, H-bonds, Hydrophobic Contacts [6]

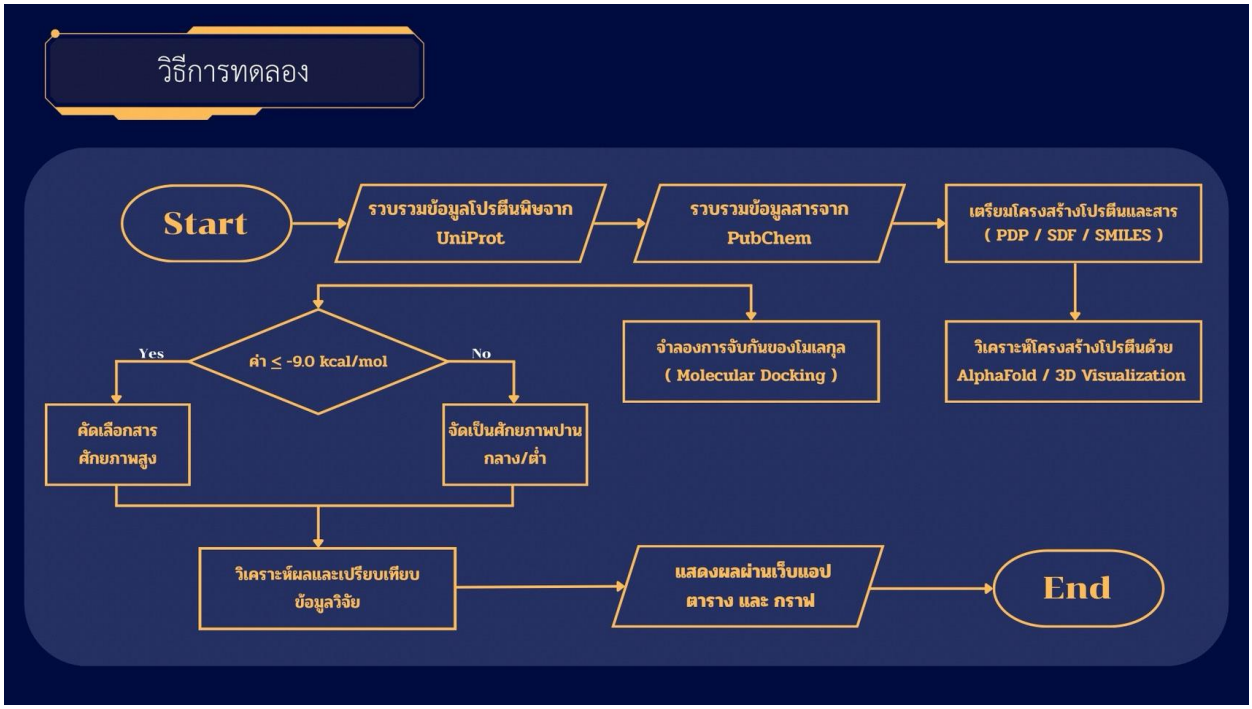
4.7 ทดสอบและปรับปรุง

1. ทดสอบการทำงานของทุกหน้าด้วย Playwright End-to-End Tests
2. ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล
3. ทดสอบการส่งออกไฟล์
4. ตรวจสอบ Accessibility (WCAG 2.1) ด้วย RAMS Design Review
5. แก้ไขข้อผิดพลาดที่พบ (TypeScript type-checking)
6. ปรับปรุงหน้าตาให้สวยงามและใช้งานง่าย
7. เพิ่ม Micro-interactions, Kawaii Jellyfish Mascot, และ Ocean Bubbles Effect

4.8 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์

เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการศึกษา ผู้จัดทำได้เปรียบเทียบผลการจำลองกับข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งพบว่าสารหลายชนิดที่ให้ค่า Binding Affinity ดีในโครงงานนี้ เคยมีรายงานฤทธิ์ทางชีวภาพด้านการต้านพิษ ต้านการอักเสบ หรือป้องกันความเสียหายของเซลล์มาก่อน จึงช่วยสนับสนุนแนวโน้มของผลลัพธ์ที่ได้ นอกจากนี้ยังใช้การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของค่าพลังงานการจับและรูปแบบการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลร่วมด้วย [7] [8]

แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงาน



5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การประเมินประสิทธิภาพการจับของสารยากับโปรตีนเป้าหมายใช้ค่า Binding Affinity เป็นเกณฑ์ โดยค่าที่มีความเป็นลบมากแสดงถึงการจับที่มีความเสถียรและมีศักยภาพสูง ทั้งนี้สารที่มีค่า Binding Affinity ≤ -9.0 kcal/mol จัดอยู่ในระดับดีเยี่ยมและควรนำไปศึกษาต่อ ส่วนค่าระหว่าง -9.0 ถึง -7.0 kcal/mol จัดอยู่ในระดับดี มีศักยภาพและควรพิจารณาเพิ่มเติม ขณะที่ค่าระหว่าง -7.0 ถึง -5.0 kcal/mol จัดอยู่ในระดับปานกลาง และค่าที่มากกว่า -5.0 kcal/mol จัดอยู่ในระดับต่ำซึ่งไม่แนะนำให้พัฒนาต่อ

5.1 ตารางที่ 1 การทดสอบการจับของโมเลกุลกับโปรตีนพิษ CfTX-1 (Box Jellyfish Toxin 1)

จากผลการทดสอบการจับของโมเลกุลสารกับโปรตีนพิษ CfTX-1 พบว่าสารทั้งหมดให้ค่า Binding Affinity เป็นค่าลบและมีค่าต่ำกว่า −10 kcal/mol แสดงถึงความสามารถในการจับกับโปรตีนพิษได้ดีตามหลักทฤษฎีของ Molecular docking โดย Silymarin ให้ค่าการจับดีที่สุด รองลงมาคือ Glycyrrhizin, Marimastat, EDTA และ Batimastat ตามลำดับ ผลดังกล่าวชี้ว่าสารทั้งหมดมีศักยภาพในการยับยั้งการทำงานของโปรตีนพิษ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลที่เผยแพร่และสมมติฐานเกี่ยวกับคุณสมบัติต้านพิษของสารจากธรรมชาติ รวมถึงสารยับยั้งเอนไซม์และสารคีเลตโลหะ อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองเป็นการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ จึงอาจได้รับผลกระทบจากข้อจำกัดของแบบจำลอง การตั้งค่าพารามิเตอร์ และความแปรปรวนจากการจำลองซ้ำ ดังนั้นผลที่ได้ควรใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการศึกษาต่อยอดในอนาคต

ตารางที่ 1 การทดสอบการจับของโมเลกุลกับโปรตีนพิษ CfTX-1 (Box Jellyfish Toxin 1)

อันดับ	สารยา	โปรตีนพิษ	Binding Affinity(kcal/mol)	ระดับ
1	Silymarin	CfTX-1	- 10.97	ดีเยี่ยม
2	Glycyrrhizin	CfTX-1	- 10.81	ดีเยี่ยม
3	Marimastat	CfTX-1	- 10.62	ดีเยี่ยม
4	EDTA	CfTX-1	- 10.14	ดีเยี่ยม
5	Batimastat	CfTX-1	- 10.08	ดีเยี่ยม

5.2 ตารางที่ 2 การทดสอบการจับของโมเลกุลกับโปรตีนพิษ CfTX-2 (Box Jellyfish Toxin 2)

จากผลการทดสอบการจับของโมเลกุลสารกับโปรตีนพิษ CfTX-2 พบว่าสารทั้งหมดให้ค่า Binding Affinity เป็นค่าลบแสดงถึงความสามารถในการจับกับโปรตีนพิษได้ดีตามหลักทฤษฎีของ Molecular docking โดย Silymarin ให้ค่าการจับดีที่สุด รองลงมาคือ Batimastat, Quercetin, Myricetin และ Curcumin ตามลำดับ แม้ว่าสารบางชนิดจะมีค่า Binding Affinity สูงกว่า −10 kcal/mol เล็กน้อย แต่ยังอยู่ในช่วงที่จัดว่ามีการจับในระดับดีถึงดีเยี่ยมผลดังกล่าวสอดคล้องกับข้อมูลที่เผยแพร่เกี่ยวกับฤทธิ์ต้านพิษ ต้านการอักเสบ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์และสารจากธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองนี้เป็นการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งอาจได้รับผลกระทบจากข้อจำกัดของแบบจำลอง การตั้งค่าพารามิเตอร์ และความแปรปรวนจากการจำลองซ้ำ ดังนั้นผลที่ได้จึงควรใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกสารที่มีศักยภาพสำหรับการศึกษาต่อยอดในอนาคต

ตารางที่ 2 การทดสอบการจับของโมเลกุลกับโปรตีนพิษ CfTX-2 (Box Jellyfish Toxin 2)

อันดับ	สารยา	โปรตีนพิษ	Binding Affinity (kcal/mol)	ระดับ
1	Silymarin	CfTX-2	- 10.5	ดีเยี่ยม
2	Batimastat	CfTX-2	- 10.11	ดีเยี่ยม
3	Quercetin	CfTX-2	- 9.93	ดีเยี่ยม
4	Myricetin	CfTX-2	- 9.72	ดีเยี่ยม
5	Curcumin	CfTX-2	- 9.16	ดีเยี่ยม

5.3 ตารางที่ 3 การทดสอบการจับของโมเลกุลกับโปรตีนพิษ CfTX-A (Box Jellyfish Toxin A)

จากผลการทดสอบการจับของโมเลกุลสารกับโปรตีนพิษ CfTX-A พบว่าสารทั้งหมดให้ค่า Binding Affinity เป็นค่าลบ แสดงถึงความสามารถในการจับกับโปรตีนพิษได้ตามหลักทฤษฎีของ Molecular docking โดย Silymarin ให้ค่าการจับดีที่สุด รองลงมาคือ Batimastat ซึ่งอยู่ในระดับดีเยี่ยม ขณะที่ Curcumin, Doxycycline และ Glycyrrhizin ให้ค่าการจับในระดับดีแต่ต่ำกว่าสองสารแรก ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าสารแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการจับกับโปรตีนพิษแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากความแตกต่างของโครงสร้างโมเลกุลและตำแหน่งการเกิดปฏิสัมพันธ์กับโปรตีน ทั้งนี้ ผลการทดลองเป็นการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งอาจได้รับผลกระทบจากข้อจำกัดของแบบจำลอง การตั้งค่าพารามิเตอร์ และความแปรปรวนจากการจำลองซ้ำ ดังนั้นผลที่ได้จึงควรใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกสารที่มีศักยภาพสำหรับการศึกษาต่อยอดในอนาคต

ตารางที่ 3 การทดสอบการจับของโมเลกุลกับโปรตีนพิษ CfTX-A (Box Jellyfish Toxin A)

อันดับ	สารยา	โปรตีนพิษ	Binding Affinity (kcal/mol)	ระดับ
1	Silymarin	CfTX-A	- 10.86	ดีเยี่ยม
2	Batimastat	CfTX-A	- 9.44	ดีเยี่ยม
3	Curcumin	CfTX-A	- 8.97	ดี
4	Doxycycline	CfTX-A	- 8.3	ดี
5	Glycyrrhizin	CfTX-A	- 8.27	ดี

5.4 ตารางที่ 4 การทดสอบการจับของโมเลกุลกับโปรตีนพิษ CfTX-B (Box Jellyfish Toxin B)

จากผลการทดสอบการจับของโมเลกุลสารกับโปรตีนพิษ CfTX-B พบว่าสารทั้งหมดให้ค่า Binding Affinity เป็นค่าลบ แสดงถึงความสามารถในการจับกับโปรตีนพิษได้ตามหลักทฤษฎีของ Molecular docking โดย Silymarin ให้ค่าการจับดีที่สุดและอยู่ในระดับดีเยี่ยม ขณะที่ Batimastat, Curcumin, Tricetin และ Myricetin ให้ค่าการจับในระดับดี ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสารแต่ละชนิดมีศักยภาพในการจับกับโปรตีนพิษแตกต่างกัน ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของโครงสร้างโมเลกุลและตำแหน่งการเกิดปฏิสัมพันธ์กับโปรตีน ทั้งนี้ ผลการทดลองเป็นการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ จึงอาจได้รับผลกระทบจากข้อจำกัดของแบบจำลอง การตั้งค่าพารามิเตอร์ และความแปรปรวนจากการจำลองซ้ำ ดังนั้นผลที่ได้ควรใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกสารที่มีศักยภาพสำหรับการศึกษาต่อยอดในอนาคต

ตารางที่ 4 การทดสอบการจับของโมเลกุลกับโปรตีนพิษ CfTX-B (Box Jellyfish Toxin B)

อันดับ	สารยา	โปรตีนพิษ	Binding Affinity (kcal/mol)	ระดับ
1	Silymarin	CfTX-B	- 9.63	ดีเยี่ยม
2	Batimastat	CfTX-B	- 8.81	ดี
3	Curcumin	CfTX-B	- 8.23	ดี
4	Tricetin	CfTX-B	- 8.17	ดี
5	Myricetin	CfTX-B	- 8.16	ดี

จากผลการศึกษาพบว่าสารหลายชนิดสามารถจับกับโปรตีนพิษของแมงกะพรุนกล่องได้ดี โดยเฉพาะ Silymarin ซึ่งให้ค่า Binding Affinity ต่ำที่สุดอย่างสม่ำเสมอในโปรตีนหลายชนิด แสดงถึงศักยภาพในการเป็นสารต้นแบบสำหรับการพัฒนายาต้านพิษในอนาคต รองลงมาคือ Batimastat, Glycyrrhizin, Quercetin และ Curcumin ซึ่งล้วนให้ผลอยู่ในระดับดีถึงดีเยี่ยม [6][7][8] เมื่อพิจารณาเชิงกลไกระดับโมเลกุล สามารถอธิบายได้ว่าสารที่ให้ค่าการจับดีมักมีโครงสร้างทางเคมีที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันสำคัญ เช่น หมู่ไฮดรอกซิล หมู่คาร์บอนิล หรือหมู่ที่สามารถให้และรับอิเล็กตรอนได้ ซึ่งช่วยให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับกรดอะมิโนในบริเวณตำแหน่งออกฤทธิ์ของโปรตีนพิษ นอกจากนี้ยังอาจเกิดแรงยึดเหนี่ยวแบบ Hydrophobic Interaction และ Van der Waals Force ซึ่งมีส่วนช่วยเพิ่มความเสถียรของการจับระหว่างโมเลกุลสารกับโปรตีนเป้าหมาย ส่งผลให้ค่า Binding Affinity มีค่าติดลบมากขึ้น [6] โปรตีนพิษในกลุ่ม CfTX เช่น CfTX-1 และ CfTX-2 มีรายงานว่าสามารถทำลายเยื่อหุ้มเซลล์และรบกวนสมดุลของไอออนภายในเซลล์ โดยเฉพาะแคลเซียมและโพแทสเซียม ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของอาการปวดรุนแรง กล้ามเนื้อหัวใจผิดปกติ และภาวะช็อกจากพิษ หากสารใดสามารถเข้าจับกับบริเวณสำคัญของโปรตีนดังกล่าวได้ อาจช่วยลดการเกิดรูพรุนบนเยื่อหุ้มเซลล์หรือยับยั้งการทำงานของพิษได้ในอนาคต [1][2] เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยที่มีอยู่ พบว่าสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ เช่น Quercetin, Myricetin และ Silymarin เคยมีรายงานว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ลดการอักเสบ และช่วยป้องกันความเสียหายของเซลล์จากสารพิษ ข้อมูลดังกล่าวสอดคล้องกับผลการจำลองในโครงงานนี้ที่พบว่าสารเหล่านี้มีแนวโน้มจับกับโปรตีนพิษได้ดี จึงช่วยสนับสนุนความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ที่ได้ [7][8] อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีข้อจำกัดด้านแบบจำลอง พารามิเตอร์ของโปรแกรม และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างจากร่างกายจริง ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จึงควรใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการคัดเลือกสารที่มีศักยภาพ และควรมีการศึกษาต่อยอดในห้องปฏิบัติการ เช่น การทดสอบกับเซลล์เพาะเลี้ยง การทดสอบยับยั้งพิษในระดับชีวเคมี หรือการทดลองในสัตว์ทดลอง เพื่อยืนยันประสิทธิภาพและความปลอดภัยต่อไป [6]

6. สรุปผลการศึกษา

จากผลการจำลองการจับตัวกันของโมเลกุล พบว่าสารประกอบหลายชนิดแสดงความสามารถในการจับกับโปรตีนพิษจากแมงกะพรุนกล่อง ได้แก่ CFTX-1, CFTX-2, CFTX-A และ CFTX-B ได้ในระดับดีถึงดีเยี่ยม โดยเฉพาะสาร Silymarin ซึ่งให้ค่า Binding Affinity ต่ำที่สุดอย่างต่อเนื่องในหลายโปรตีน แสดงให้เห็นถึงศักยภาพสูงในการเป็นสารต้นแบบสำหรับการพัฒนายาต้านพิษในอนาคต รองลงมาคือ Batimastat, Glycyrrhizin, Quercetin และ Curcumin ซึ่งมีแนวโน้มจับกับโปรตีนเป้าหมายได้ดีเช่นกัน [6][7][8] ผลการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นว่าสารธรรมชาติหลายชนิด โดยเฉพาะสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ อาจเป็นแหล่งสำคัญของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบสารยับยั้งโปรตีนพิษได้ [7][8] [9]นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคโนโลยีชีวสารสนเทศร่วมกับ Molecular Docking เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการคัดกรองสารเบื้องต้น ช่วยลดระยะเวลา ค่าใช้จ่าย และความเสี่ยงจากการทดลองจริงในห้องปฏิบัติการ [3][4][5][6] แม้ว่าผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่สามารถยืนยันประสิทธิภาพทางคลินิกได้โดยตรง แต่ข้อมูลที่ได้จากโครงงานนี้สามารถใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการวิจัยต่อยอด เช่น การทดลองใน

ระดับเซลล์ การศึกษาความเป็นพิษของสาร การวิเคราะห์เภสัชจลนศาสตร์ และการพัฒนาสารอนุพันธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในอนาคต ซึ่งอาจนำไปสู่การพัฒนายาต้านพิษแมงกะพรุนกล่องที่มีประสิทธิภาพและปลอดภัยต่อมนุษย์ได้ต่อไป [6]

เอกสารอ้างอิง

[1] โรงพยาบาลศิริราช ปิยมหาราชการุณย์. (2565, 25 กรกฎาคม). *แมงกะพรุนกล่อง พิษร้ายอันตรายถึงชีวิต*. https://www.siphhospital.com/th/news/article/share/box-jellyfish

[2] Wikipedia contributors. (2024). *คูโบซัว*. Wikipedia. https://th.wikipedia.org/wiki/คูโบซัว

[3] The UniProt Consortium. (2024). UniProt: The universal protein knowledgebase in 2024. *Nucleic Acids Research, 52*(D1), D525–D534. https://doi.org/10.1093/nar/gkad997

[4] Kim, S., Chen, J., Cheng, T., Gindulyte, A., He, J., He, S., Li, Q., Shoemaker, B. A., Thiessen, P. A., Yu, B., Zaslavsky, L., Zhang, J., & Bolton, E. E. (2023). PubChem 2023 update. *Nucleic Acids Research, 51*(D1), D1373–D1380. https://doi.org/10.1093/nar/gkac956

[5] Jumper, J., Evans, R., Pritzel, A., Green, T., Figurnov, M., Ronneberger, O., Tunyasuvunakool, K., Bates, R., Žídek, A., Potapenko, A., Bridgland, A., Meyer, C., Kohl, S. A. A., Ballard, A., Cowie, A., Romera-Paredes, B., Nikolov, S., Jain, R., Adler, J., Hassabis, D. (2021). Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. *Nature, 596*, 583–589. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03819-2

[6] Trott, O., & Olson, A. J. (2010). AutoDock Vina: Improving the speed and accuracy of docking through a new scoringfunction, efficient optimization, and multithreading. *Journal of Computational Chemistry, 31*(2), 455–461. https://doi.org/10.1002/jcc.21334

[7] Vo, K.-H., Nguyen, N.-B.-M., Le, D.-A.-Q., Nguyen, K.-T.-T., Nguyen, L.-H., Nguyen, N.-L., Phan, T.-T.-N., Zulfiqar, N., Hoang, T.-V., & Ha, H.-A. (2024). Screening of jellyfish venom inhibitors from beach morning glory (*Ipomoea pes-caprae*) against *Nemopilema nomurai*. *Matrix Science Pharma, 8*(2), 24–30. https://doi.org/10.4103/mtsp.mtsp_8_24

[8] Alshammari, A. M. (2022). Screening of phytochemicals against snake venom metalloproteinase: Molecular docking and simulation-based computational approaches. *Archives of Pharmacy Practice, 13*(3), 76–84. https://doi.org/10.51847/HlrDcdPCGL

[9] Aravindhan, T. (2025, July 24). Unraveling the venom proteome of *Rhopilema hispidum* for therapeutic innovation. *ISCSITR-International Journal of Biological Sciences, 6*(2), 1–11. https://iscsitr.com/articles/volume_6/issue_2/ISCSITR-IJBS_2025_06_02_001

การพัฒนาเว็บไซต์หลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์เพื่อการเข้าถึงข้อมูลอย่างยั่งยืน

ธวัชชัย ก้านศรีรัตน์*, ฤทธิรงค์ พันธ์ดี, และ พรชนก นุชนารถ

กลุ่มวิชาการและหลักสูตร โครงการจัดตั้งวิทยาเขตนครสวรรค์ มหาวิทยาลัยมหิดล อำเภอพยุหะคีรี จังหวัดนครสวรรค์ ประเทศไทย

** Corresponding author: thawatchai.kan@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบัน หลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์มีการสื่อสารข้อมูลผ่านสื่อสังคมออนไลน์ เช่น Facebook และ TikTok มาอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม เมื่อเวลาผ่านไป ข้อมูลสำคัญที่มีลักษณะคงที่ (static information) เช่น รายละเอียดหลักสูตร และข้อมูลบุคลากร มักถูกข้อมูลใหม่กลบลงตามลำดับเวลา ทำให้ค้นหาข้อมูลได้ยาก และไม่สะดวกต่อการเข้าถึงข้อมูลด้านวิชาการในระยะยาว บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเว็บไซต์หลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์ ให้เป็นแหล่งข้อมูลและแหล่งเรียนรู้ดิจิทัลสำหรับข้อมูลที่มีลักษณะคงที่ โดยมุ่งช่วยให้ผู้เรียนและผู้สนใจทั่วไปสามารถเข้าถึงข้อมูลด้านการศึกษาสาธารณสุขได้อย่างต่อเนื่อง

ผลการดำเนินงานพบว่า เว็บไซต์ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายขึ้น และเข้าถึงได้หลายช่องทาง ทั้งการเข้าชมโดยตรงและผ่านการค้นหาในระบบค้นหา ซึ่งสะท้อนว่าเว็บไซต์สามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งข้อมูลหลักได้ในระดับหนึ่ง โดยสรุปการใช้เว็บไซต์ควบคู่กับสื่อสังคมออนไลน์ ซึ่งมีจุดเด่นด้านความรวดเร็วในการเผยแพร่ข้อมูล สามารถช่วยเสริมการจัดการข้อมูลด้านการศึกษามีความเป็นระบบมากขึ้น และช่วยสนับสนุนการเข้าถึงข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องในระยะยาว ซึ่งสามารถมองได้ว่าเป็นแนวทางหนึ่งที่สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDG 4) ด้านการเข้าถึงความรู้ด้านสาธารณสุขอย่างเท่าเทียม และการส่งเสริมสุขภาวะของสังคมผ่านการใช้เทคโนโลยีดิจิทัล

คำสำคัญ: สาธารณสุขศาสตร์ / เว็บไซต์การศึกษา / สื่อสังคมออนไลน์ / การเข้าถึงสารสนเทศ / การพัฒนาที่ยั่งยืน

Developing a public health program website for sustainable information accessibility

Thawatchai Kansrirat*, Ritthirong Pundee, and Pornchanok Nutchanart

Academic and Curriculum Division, Nakhonsawan Campus, Mahidol University, Thailand

** Corresponding author: thawatchai.kan@mahidol.ac.th*

Abstract

At present, public health programs communicate information continuously through social media platforms such as Facebook and TikTok. However, over time, important static information such as curriculum details and staff profiles is gradually pushed down by newer content. As a result, it becomes difficult to search for and access essential academic information in the long term. This article aims to develop a public health program website as a digital information and learning resource for static content. The goal is to support continuous access to educational information for students and the general public.

The results show that the website helps users access information more easily and through multiple channels, including direct visits and search engines. This reflects the role of the website as a primary source of structured information at a system level. In conclusion, using a website alongside social media where social media provides fast communication while the website offers organized and stable information can improve information management in education. This approach supports continuous access to educational information over time and can be considered one practical way to contribute to Sustainable Development Goal 4 (SDG 4), which focuses on equitable access to public health knowledge and the promotion of societal well-being through digital technology.

Keywords: Public Health / Educational Websites / Social Media / Access to Information / SDG 4

1. บทนำ

ในยุคดิจิทัลที่เทคโนโลยีสารสนเทศมีบทบาทสำคัญต่อการจัดการศึกษา การเข้าถึงข้อมูลที่ถูกต้อง เป็นระบบ และต่อเนื่องถือเป็นปัจจัยสำคัญในการสนับสนุนการเรียนรู้ของนักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป สถาบันอุดมศึกษาจึงจำเป็นต้องมีช่องทางการสื่อสารข้อมูลที่มีความเป็นทางการ สามารถสืบค้นได้สะดวก และรองรับการจัดเก็บข้อมูลในระยะยาว เว็บไซต์จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการเผยแพร่ข้อมูลหลักสูตร ข้อมูลบุคลากร โครงสร้างการเรียนการสอน และข้อมูลเชิงวิชาการที่มีลักษณะเป็นข้อมูลคงที่ ซึ่งต้องการความถูกต้องและความน่าเชื่อถือ สอดคล้องกับงานของ Elsayed [1] ชี้ให้เห็นว่า เว็บไซต์ของวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่ง ในการส่งเสริมเอกลักษณ์และความสำเร็จของสถาบัน อำนวยความสะดวกในการรับสมัครนักศึกษาใหม่และให้ข้อมูลแก่นักศึกษาปัจจุบันผ่านเนื้อหาต่าง ๆ เว็บไซต์เป็นแหล่งข้อมูลหลักและเป็นเครื่องมือสื่อสารที่ใหญ่ที่สุดระหว่างมหาวิทยาลัยกับกลุ่มเป้าหมายทั้งภายในและภายนอก ดังนั้น หนึ่งในภารกิจหลักของมหาวิทยาลัยคือการวางแผนเชิงกลยุทธ์เกี่ยวกับเนื้อหาเว็บไซต์ที่มีคุณค่าและเป็นประโยชน์ และให้ความสำคัญกับเนื้อหาเหล่านั้นอย่างยิ่ง

ปัจจุบัน หลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์ โครงการจัดตั้งวิทยาเขตนครสวรรค์ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ใช้สื่อสังคมออนไลน์ เช่น Facebook, TikTok และ Instagram เป็นช่องทางหลักในการสื่อสารข้อมูล แม้ว่าสื่อดังกล่าวจะมีข้อดีในด้านความรวดเร็วและการเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายในวงกว้าง สอดคล้องกับ Appel et al. [2] ได้อธิบายเสริมว่า “สื่อสังคมออนไลน์ (Social media) ช่วยให้ผู้คนสามารถโต้ตอบกันได้อย่างอิสระ และเปิดโอกาสให้กับเข้าถึงและสร้างการมีส่วนร่วมกับกลุ่มเป้าหมายหลายรูปแบบ” แต่สื่อสังคมออนไลน์ก็มีข้อจำกัดในการจัดระเบียบ และนำเสนอข้อมูลเชิงโครงสร้างที่ต้องการความเป็นระบบ ข้อมูลสำคัญของหลักสูตร เช่น รายละเอียดหลักสูตร แผนการเรียน รายชื่อบุคลากร และข้อมูลด้านวิชาการ จึงกระจัดกระจาย ขาดความต่อเนื่อง และไม่เหมาะสมต่อการอ้างอิงใน ระยะยาว ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยด้านสื่อสังคมออนไลน์ของ Kietzmann et al. [3] ได้อธิบายว่า “แม้ว่าสื่อสังคมออนไลน์ดังกล่าวจะมีข้อดีด้านความรวดเร็วและการเข้าถึงกลุ่มเป้าหมาย แต่มีข้อจำกัดในการจัดระเบียบข้อมูลเชิงโครงสร้างและการจัดเก็บข้อมูลเพื่อการอ้างอิงในระยะยาว” นอกจากนี้ เกษมศักดิ์ ทองตัน [4] ยังให้ข้อสังเกตเรื่องเว็บไซต์อย่างน่าสนใจว่า “การพัฒนาเว็บไซต์สาขาวิชาสามารถเป็นศูนย์กลางข้อมูล นอกจากนี้ยังสามารถเป็นเว็บไซต์ประชาสัมพันธ์ที่ให้บริการข้อมูลข่าวสาร วิชาการ ที่เต็มไปด้วยข้อมูลหลักสูตร บุคลากร และข่าวสาร/กิจกรรมต่าง ๆ ได้”

ด้วยเหตุนี้ การพัฒนาเว็บไซต์หลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์ โครงการจัดตั้งวิทยาเขตนครสวรรค์ มหาวิทยาลัยมหิดล จึงเป็นแนวทางสำคัญในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยมุ่งเน้นการจัดระบบข้อมูลให้เป็นหมวดหมู่ที่ชัดเจน มีความคงที่ และสามารถเข้าถึงได้อย่างสะดวก เว็บไซต์จะทำหน้าที่เป็นแหล่งข้อมูลและแหล่งเรียนรู้ดิจิทัลที่สนับสนุนการบริหารจัดการสารสนเทศของหลักสูตรอย่างมีประสิทธิภาพ อันจะนำไปสู่การยกระดับคุณภาพการสื่อสารทางการศึกษา และส่งเสริมการเข้าถึงข้อมูลด้านการศึกษาอย่างยั่งยืนสำหรับนักศึกษา ผู้ปกครอง และผู้สนใจทั่วไป

2. วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาเว็บไซต์หลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์ ให้เป็นแหล่งข้อมูลและแหล่งเรียนรู้ดิจิทัลสำหรับข้อมูลที่มีความคงที่ และสนับสนุนการเข้าถึงข้อมูลด้านการศึกษาอย่างต่อเนื่องของนักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นการพัฒนาเว็บไซต์หลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์ ของโครงการจัดตั้งวิทยาเขตนครสวรรค์ มหาวิทยาลัยมหิดล เพื่อเป็นแหล่งข้อมูลและแหล่งเรียนรู้ดิจิทัลสำหรับข้อมูลด้านการศึกษาที่มีความคงที่ โดยประเมินผลจากโครงสร้างเว็บไซต์และรูปแบบการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้งานจากข้อมูลการเข้าชมเว็บไซต์ด้วย Google Analytics ทั้งนี้จะไม่ครอบคลุมการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หรือความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

3.1 การศึกษานี้ไม่ได้ดำเนินการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างสื่อสังคมออนไลน์และเว็บไซต์ เนื่องจากข้อจำกัดในการเข้าถึงข้อมูลย้อนหลังของแพลตฟอร์มสื่อสังคมออนไลน์ รวมถึงข้อจำกัดด้านสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลจากหน่วยงานหรือผู้ดูแลระบบที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตของการศึกษานี้ ส่งผลให้ไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์บทบาทของเว็บไซต์ในฐานะแหล่งข้อมูลเชิงโครงสร้างเป็นหลัก

3.2 การศึกษานี้ไม่ได้ครอบคลุมการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพจากผู้ใช้งาน เช่น แบบสอบถามหรือการสัมภาษณ์ ซึ่งอาจช่วยสะท้อนมุมมองและประสบการณ์ของผู้ใช้งานได้อย่างลึกซึ้งมากขึ้น ทั้งนี้ แนวทางดังกล่าวสามารถพิจารณาเพิ่มเติมในการศึกษาครั้งต่อไป

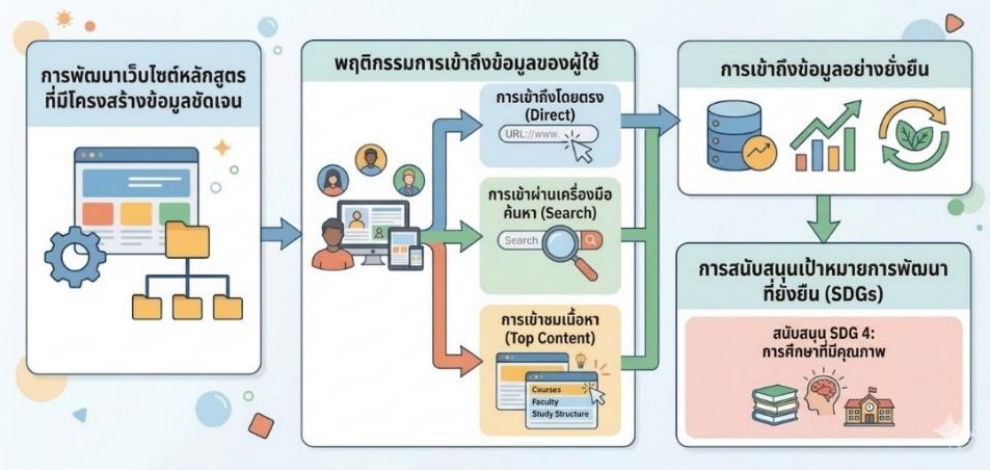
3.3 การใช้เครื่องมือ Google Analytics (เวอร์ชันฟรี) มีข้อจำกัดด้านระยะเวลาการเข้าถึงข้อมูลย้อนหลัง ส่งผลให้การวิเคราะห์ข้อมูลจำกัดอยู่ในช่วงเวลาที่กำหนดในแต่ละช่วงเวลา

4. วิธีการศึกษา

4.1 รูปแบบการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ (Applied Research) โดยใช้รูปแบบการวิจัยเชิงพรรณนา (Descriptive Research) ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณจากเครื่องมือวิเคราะห์เว็บไซต์ (Web Analytics) ได้แก่ Google Analytics และ Google Search Console เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้งานภายหลังการพัฒนาเว็บไซต์หลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์ กระบวนการดำเนินงานมุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์หลักสูตรให้ทำหน้าที่เป็นแหล่งข้อมูลและแหล่งเรียนรู้ดิจิทัลสำหรับข้อมูลด้านการศึกษาที่มีความคงที่ โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ประเภทของข้อมูลและความต้องการของผู้ใช้งาน เพื่อนำไปสู่การออกแบบโครงสร้างเว็บไซต์ ที่สอดคล้องกับแนวคิดการจัดการสารสนเทศและการเรียนรู้ในรูปแบบดิจิทัล จากนั้นนำเว็บไซต์ไปใช้งานจริงควบคู่กับสื่อสังคมออนไลน์ซึ่งทำหน้าที่ด้านการประชาสัมพันธ์ การประเมินผลการพัฒนาเว็บไซต์มุ่งเน้นการวิเคราะห์รูปแบบการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้งาน เช่น การเข้าถึงโดยตรง (Direct Traffic) การเข้าผ่านเครื่องมือค้นหา (Search Traffic) และสื่อสังคมออนไลน์ (Social Media Traffic) เพื่อสะท้อนประสิทธิภาพของโครงสร้างข้อมูล และบทบาทของเว็บไซต์ในฐานะแหล่งข้อมูลหลักของหลักสูตร และนำผลการวิเคราะห์มาอธิบายในเชิงสังคมสารสนเทศ (Social Informatics) เพื่อสะท้อนบทบาทของเว็บไซต์ในระบบนิเวศดิจิทัลด้านการศึกษาและสาธารณสุข

4.2 กรอบแนวคิดการวิจัย



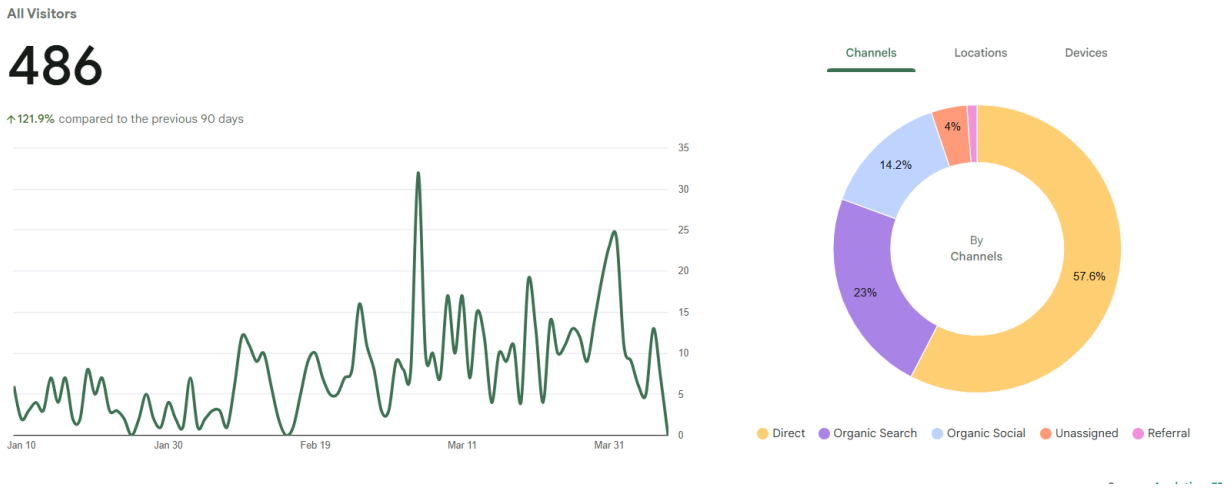
รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัยการพัฒนาเว็บไซต์หลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์

4.3 รวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลในการศึกษานี้ประกอบด้วย ข้อมูลการใช้งานเว็บไซต์ที่ได้จากระบบวิเคราะห์การเข้าชมเว็บไซต์ โดยใช้ Google Analytics เพื่อสะท้อนรูปแบบการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้งาน ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลเชิงโครงสร้างของเว็บไซต์และข้อมูลเชิงพฤติกรรมการใช้งาน พิจารณาจากข้อมูลการใช้งานที่ได้จาก Google Analytics เช่น รูปแบบการเข้าชมหน้าเนื้อหา การเข้าชมซ้ำ และแหล่งที่มาของผู้ใช้งาน การนำเสนอผลการวิเคราะห์มุ่งเน้นการอธิบายเชิงพรรณนาเพื่อสะท้อนพฤติกรรมการใช้งานเว็บไซต์ โดยไม่ใช้สถิติอ้างอิงหรือการทดสอบสมมติฐาน

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้งานเว็บไซต์หลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์โดยใช้ Google Analytics ในช่วงวันที่ 9 มกราคม 2569 ถึง 8 เมษายน 2569 (รูปที่ 2) รวมระยะเวลา 90 วันล่าสุด โดยใช้ข้อมูลจาก Google Analytics และ Google Search Console พบประเด็นสำคัญดังต่อไปนี้

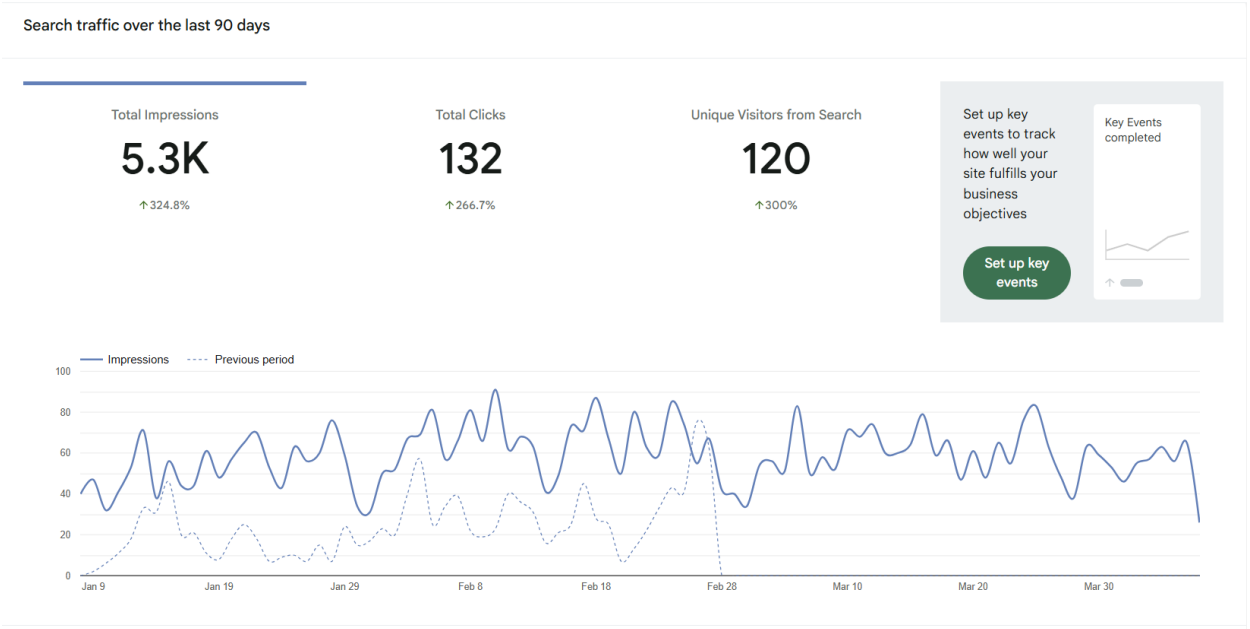


รูปที่ 2 ภาพรวมข้อมูลการใช้งานเว็บไซต์หลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์ วันที่ 9 มกราคม2569 ถึง 8 เมษายน 2569

5.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเข้าชมเว็บไซต์ พบว่า มีผู้เข้าชมรวมจำนวน 486 คนในช่วงเวลาที่ศึกษา โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 121.9 เมื่อเทียบกับช่วงก่อนหน้า แนวโน้มการเข้าชมแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงปลายของ

ระยะเวลาศึกษา ซึ่งมีจำนวนผู้เข้าชมสูงขึ้นและมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ในด้านช่องทางการเข้าถึง พบว่าผู้ใช้งานส่วนใหญ่เข้าถึงเว็บไซต์โดยตรง (Direct) คิดเป็นร้อยละ 57.6 รองลงมาคือการเข้าถึงผ่านเครื่องมือค้นหา (Organic Search) ร้อยละ 23 และสื่อสังคมออนไลน์ (Organic Social) ร้อยละ 14.2 สะท้อนให้เห็นว่าเว็บไซต์เริ่มทำหน้าที่เป็นแหล่งข้อมูลหลัก ขณะเดียวกันสื่อสังคมออนไลน์ยังคงมีบทบาทในการนำผู้ใช้งานเข้าสู่เว็บไซต์

5.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจาก Google Search Console ดังรูปที่ 3 พบว่า เว็บไซต์มีจำนวนการแสดงผลในการค้นหา (Impressions) รวม 5,300 ครั้ง เพิ่มขึ้นร้อยละ 324.8 เมื่อเทียบกับช่วงก่อนหน้า ขณะที่จำนวนการคลิกเข้าสู่เว็บไซต์ (Clicks) เท่ากับ 132 ครั้ง เพิ่มขึ้นร้อยละ 266.7 และมีผู้ใช้งานจากการค้นหา (Unique Visitors from Search) จำนวน 120 คน เพิ่มขึ้นร้อยละ 30



รูปที่ 3 การเข้าถึงผ่านระบบค้นหา จากข้อมูล Search Traffic วันที่ 9 มกราคม2569 ถึง 8 เมษายน 2569

แนวโน้มการแสดงผลในช่วงเวลาศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเข้าถึงผ่านเครื่องมือค้นหามีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม ซึ่งมีจำนวนการแสดงผลที่สูงขึ้นและมีความสม่ำเสมอมากขึ้น สะท้อนให้เห็นว่าเว็บไซต์เริ่มมีบทบาทในการเป็นแหล่งข้อมูลที่สามารถค้นพบได้ผ่านระบบค้นหา

5.3 พฤติกรรมการเข้าชมเนื้อหา (Top Content)

ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมผู้ใช้งานในระดับหน้า (page-level) พบว่า หน้าที่มีการเข้าชมสูงสุด ได้แก่ หน้าหลักสูตร หน้าประชุมวิชาการ และหน้าบุคลากร (รูปที่ 4) โดยมีอัตราการมีส่วนร่วม (engagement rate) อยู่ในระดับสูง มากกว่าร้อยละ 70 และมีระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยประมาณ 2–5 นาที โดยเฉพาะหน้าประชุมวิชาการมีระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยสูงถึง 5 นาที 11 วินาที สะท้อนให้เห็นถึงความสนใจของผู้ใช้งานต่อเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมทางวิชาการ ขณะที่หน้าข้อมูลคงที่ เช่น รายละเอียดหลักสูตรและข้อมูลบุคลากร มีอัตราการมีส่วนร่วมในระดับสูงอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ หน้าติดต่อหลักสูตรมีอัตราการมีส่วนร่วมสูงถึงร้อยละ 94.12 แม้มีจำนวนผู้เข้าชมไม่มาก แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการใช้งานที่มีเป้าหมายชัดเจนของผู้ใช้งานบางกลุ่ม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เว็บไซต์หลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์ไม่ได้เป็นเพียงเครื่องมือทางเทคโนโลยี แต่สามารถทำหน้าที่เป็น “โครงสร้างพื้นฐานดิจิทัล” (digital infrastructure) เพื่อสนับสนุนระบบการศึกษาด้านสาธารณสุข โดยมีบทบาทสำคัญในการจัดการและเผยแพร่ข้อมูลเพื่อสนับสนุนการผลิตกำลังคนด้านสุขภาพที่มีคุณภาพ การเข้าถึงข้อมูลหลักสูตรอย่างชัดเจนและต่อเนื่องจึงเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการจัดการสารสนเทศทางการศึกษา (educational information management) ที่ช่วยให้ข้อมูลสามารถเข้าถึงได้อย่างเป็นระบบ ในมิติทางสังคมศาสตร์ การเข้าถึงข้อมูลถือเป็นปัจจัยหนึ่งของ “ความเป็นธรรมทางสังคม” เนื่องจากความแตกต่างในการเข้าถึงข้อมูลดิจิทัลอาจนำไปสู่ความเหลื่อมล้ำด้านโอกาสทางการศึกษาและอาชีพ สอดคล้องกับแนวคิดของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ(สสส.) [5] ที่ชี้ให้เห็นว่าเทคโนโลยีดิจิทัลสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบสุขภาพและส่งเสริมความเป็นธรรมทางสังคม เว็บไซต์หลักสูตรจึงมีบทบาทในการลดข้อจำกัดดังกล่าว โดยทำให้ข้อมูลสำคัญ เช่น โครงสร้างหลักสูตร รายวิชา และคุณสมบัติผู้สมัคร สามารถค้นหาและเข้าถึงได้อย่ างต่อเนื่อง ไม่จำกัด

เฉพาะช่วงเวลาการเผยแพร่ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการเข้าชมเว็บไซต์พบว่า ผู้ใช้งานส่วนใหญ่เข้าถึงเว็บไซต์โดยตรง สะท้อนให้เห็นถึงบทบาทของเว็บไซต์ในฐานะแหล่งข้อมูลหลัก (primary information source) ของหลักสูตร ขณะเดียวกัน การเข้าถึงผ่านเครื่องมือค้นหาและสื่อสังคมออนไลน์ แสดงให้เห็นถึงลักษณะของระบบนิเวศดิจิทัล (digital ecosystem) ที่แพลตฟอร์มต่าง ๆ ทำงานเชื่อมโยงกันในเชิงหน้าที่ โดยเว็บไซต์ทำหน้าที่เป็นแหล่งข้อมูลที่มีโครงสร้างและความคงที่ ขณะที่สื่อสังคมออนไลน์ทำหน้าที่เป็นช่องทางในการเผยแพร่และนำผู้ใช้งานเข้าสู่แหล่งข้อมูลดังกล่าว นอกจากนี้ การที่ข้อมูลหลักสูตรสามารถถูกค้นพบผ่านเครื่องมือค้นหาอย่างต่อเนื่อง มีความสำคัญต่อความน่าเชื่อถือของสถาบันการศึกษา การเปิดเผยข้อมูลอย่างเป็นระบบเปิดโอกาสให้ผู้สนใจ สามารถเข้าถึงและพิจารณาข้อมูลได้ด้วยตนเอง เมื่อข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตกำลังคนด้านสุขภาพสามารถเข้าถึงได้อย่างสะดวกและต่อเนื่อง สังคมย่อมสามารถรับรู้และประเมินคุณภาพของหลักสูตรได้มากขึ้น ส่งผลต่อความเชื่อมั่นและความโปร่งใสในระบบการศึกษาในภาพรวม [6] [7] [8] [9] จากที่กล่าวมา เว็บไซต์หลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์จึงสามารถมองได้ว่า เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างพื้นฐานด้านสุขภาพดิจิทัลในระดับสถาบันการศึกษา โดยมีบทบาทสนับสนุนทั้งเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน ด้านการศึกษาที่มีคุณภาพ (SDG 4) ผ่านการทำให้ข้อมูลการศึกษาเข้าถึงได้อย่างต่อเนื่อง เท่าเทียม และตรวจสอบได้ เว็บไซต์ไม่ได้เป็นเพียงเครื่องมือทางเทคนิค แต่เป็นกลไกเชิงระบบในการจัดการข้อมูลของหลักสูตร ทำให้ข้อมูลสำคัญไม่สูญหายไปตามลำดับเวลาของสื่อสังคมออนไลน์ ผู้ใช้งานสามารถกลับมาค้นหาและเข้าถึงข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง ขณะที่สื่อสังคมออนไลน์ทำหน้าที่สนับสนุนการรับรู้และเชื่อมโยงผู้ใช้งานเข้าสู่แหล่งข้อมูลหลักอย่างมีประสิทธิภาพ

	Title	Pageviews	Sessions	Engagement Rate	Session Duration
1.	หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต – มหาวิทยาลัยมหิดลนครสวรรค์ /academic/cph/	541	417	73.38%	2m 21s
2.	ประชุมวิชาการสาธารณสุขระหว่างสถาบัน – หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต /academic/cph/phc/	433	379	60.42%	5m 11s
3.	บุคลากร – หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต /academic/cph/staff/	136	99	76.77%	2m 38s
4.	6th-inter-institutional-public-health-nursing-conference-2026 – หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต /academic/cph/iiphnc2026/	124	107	81.31%	3m 50s
5.	หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสาธารณสุขชุมชน – หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต /academic/cph/bph-cph/	108	89	78.65%	2m 5s
6.	TCAS CHP-MUNU ปีการศึกษา 2569 – หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต /academic/cph/tcas2569/	105	85	81.18%	1m 45s
7.	ติดต่อหลักสูตร – หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต /academic/cph/contact-location/	18	17	94.12%	2m 59s
8.	หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต – มหาวิทยาลัยมหิดลนครสวรรค์ /academic/ac2023/cph/	12	12	0%	
9.	รายชื่อผู้ผ่านการคัดเลือก รอบที่ 1/2 – หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต /academic/cph/list-passed-1-2/	9	7	100%	1m 1s

รูปที่ 4 พฤติกรรมการเข้าชมเนื้อหา (Top Content)

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้งานเว็บไซต์จากเครื่องมือ Google Analytics ในช่วงระยะเวลา 90 วัน พบว่า เว็บไซต์มีผู้เข้าชมรวมจำนวน 486 คน เพิ่มขึ้นร้อยละ 121.90 เมื่อเทียบกับช่วงก่อนหน้า โดยแนวโน้มการเข้าชมมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในช่วงปลายระยะเวลาศึกษา ซึ่งมีจำนวนผู้เข้าชมต่อวันที่สูงขึ้นและมีความสม่ำเสมอมากขึ้น สะท้อนให้เห็นถึงการรับรู้และการเข้าถึงเว็บไซต์ที่เพิ่มขึ้นในระยะเริ่มต้นของการใช้งานระบบ ในด้านช่องทางการเข้าถึง พบว่าผู้ใช้งานส่วนใหญ่เข้าถึงเว็บไซต์โดยตรง (Direct) คิดเป็นร้อยละ 57.60 รองลงมาคือการเข้าถึงผ่านเครื่องมือค้นหา (Organic Search) ร้อยละ 23 และสื่อ

สังคมออนไลน์ (Organic Social) ร้อยละ 14.20 แสดงให้เห็นว่าเว็บไซต์เริ่มทำหน้าที่เป็นแหล่งข้อมูลหลัก ขณะที่สื่อสังคมออนไลน์ยังคงมีบทบาทในการนำผู้ใช้งานเข้าสู่เว็บไซต์ เมื่อพิจารณาข้อมูลจากการค้นหาผ่าน Google พบว่า เว็บไซต์มีจำนวนการแสดงผล (Impressions) รวม 5,300 ครั้ง มีจำนวนการคลิกเข้าสู่เว็บไซต์ 132 ครั้ง และมีผู้ใช้งานจากการค้นหา 120 คน โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาศึกษา สะท้อนให้เห็นว่าเว็บไซต์เริ่มสามารถเข้าถึงได้ผ่านระบบค้นหา และมีศักยภาพในการเป็นแหล่งข้อมูลที่สามารถค้นพบได้ (discoverable) ในระดับพฤติกรรมการใช้งาน พบว่าหน้าหลักสูตร หน้าประชุมวิชาการ และหน้าบุคลากร เป็นหน้าที่มีการเข้าชมสูง โดยมีอัตราการมีส่วนร่วม (engagement rate) อยู่ในระดับสูง (มากกว่าร้อยละ 70) และมีระยะเวลาในการใช้งานเฉลี่ยประมาณ 2–5 นาที โดยเฉพาะหน้าประชุมวิชาการมีระยะเวลาเฉลี่ยสูงถึง 5 นาที 11 วินาที ขณะที่หน้าติดต่อหลักสูตรมีอัตราการมีส่วนร่วมสูงถึงร้อยละ 94.12 แม้มีจำนวนผู้เข้าชมไม่มาก ซึ่งสะท้อนถึงพฤติกรรมของผู้ใช้งานที่มีเป้าหมายเฉพาะ โดยสรุป ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า เว็บไซต์หลักสูตรสาธารณสุขศาสตร์สามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งข้อมูลคงที่ (static information) ที่ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงได้อย่างต่อเนื่อง ทั้งในรูปแบบการเข้าถึงโดยตรงและผ่านระบบค้นหา และมีการใช้งานจริงในเชิงพฤติกรรม สะท้อนบทบาทของเว็บไซต์ในฐานะโครงสร้างพื้นฐานด้านสารสนเทศทางการศึกษา ที่ช่วยสนับสนุนการเข้าถึงข้อมูลอย่างเป็นระบบในบริบทของสังคมดิจิทัล และสามารถมองได้ว่าเป็นแนวทางหนึ่ง ในการสนับสนุนการเข้าถึงข้อมูลด้านการศึกษาอย่างยั่งยืนในระยะยาว ผลงานนี้ได้รับการสนับสนุนจากผู้บริหารโครงการจัดตั้งวิทยาเขตนครสวรรค์ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้แก่ อาจารย์ ดร.ณัฐฐิญา อัครวิวัฒน์ดำรง และอาจารย์แพทย์หญิง มนทกานติ์ โอประเสริฐสวัสดิ์ ซึ่งมีส่วนสำคัญในการสนับสนุนการดำเนินงานในระดับนโยบาย โดยเอื้อให้การดำเนินงานมีความยืดหยุ่น และสนับสนุนด้านการบริหารจัดการเมื่อจำเป็น ส่งผลให้การพัฒนาเว็บไซต์หลักสูตรฯสามารถดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

[1] Elsayed, A. M. (2016). Web content strategy in higher education institutions: The case of King Abdulaziz University. Information *Development*, 33(5), 1–16. https://doi.org/10.1177/0266666916671387

[2] Appel, G., Grewal, L., Hadi, R., & Stephen, A. T. (2020). The future of social media in marketing. Journal of the Academy of Marketing Science, 48(1), 79–95.https://link.springer.com/article/10.1007/s11747-019-00695-1

[3] Kietzmann, J. H., Hermkens, K., McCarthy, I. P., & Silvestre, B. S. (2011). Social media? Get serious! Understanding the functional building blocks of social media. Business Horizons, 54(3), 241–251 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681311000061

[4] เกษมศักดิ์ ทองตัน. (2559). การพัฒนาเว็บไซต์สาขาวิชาการจัดเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม [วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม].

[5] สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. (2568, 20 ตุลาคม). เทคโนโลยีสุขภาพยุคดิจิทัล เปิดโอกาสใหม่ แต่ยังปิดกั้นคนบางกลุ่ม. สืบค้น 24 กุมภาพันธ์ 2569, จาก https://resourcecenter.thaihealth.or.th/content/5847-content-เทคโนโลยีสุขภาพยุคดิจิทัล%20เปิดโอกาสใหม่%20แต่ยังปิดกั้นคนบางกลุ่ม

[6] Plantin, J.-C., Lagoze, C., Edwards, P. N., & Sandvig, C. (2018). Infrastructure studies meet platform studies in the age of Google and Facebook. New Media & Society, 20(1), 293–310.https://doi.org/10.1177/1461444816661553

[7] Organisation for Economic Co-operation and Development. (2017). Trust and public policy: How better governance can help rebuild public trust. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264268920-en

[8] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2021). Reimagining our futures together: A new social contract for education. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379707

[9] World Health Organization. (2016). Global strategy on human resources for health: Workforce 2030. WHO. https://www.who.int/publications/i/item/9789241511131

นวัตกรรมเสื้อคลุมสำหรับฉีดยาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริการ และเคารพศักดิ์ศรีของผู้ป่วย

พลอยแก้ว จารุวร , สุมิษา ไพศาลวรรณ , ทวีพร พาณิชย์พงษ์ , และ นพมาศ พันธุโสภณ*

หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกนรีเวช งานการพยาบาลผู้ป่วยนอก 1 ฝ่ายการพยาบาล คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10400

** Corresponding author: (noppamat.pun@mahidol.ac.th)*

บทคัดย่อ

การฉีดวัคซีนประจำปีให้บุคลากรโรงพยาบาลรามาธิบดีกว่า 3,000 รายต่อปี มักประสบปัญหาความไม่สะดวกในการเปิดกล้ามเนื้อต้นแขน (deltoid) โดยเฉพาะผู้ที่สวมเสื้อแขนยาว เสื้อแขนแคบ หรือผู้ที่ต้องแต่งกายตามหลักศาสนาอิสลาม ประกอบกับสถานที่ให้บริการไม่มีห้องเปลี่ยนเสื้อผ้าแยกเป็นสัดส่วน ส่งผลให้ผู้รับบริการเกิดความกังวลและทำให้ขั้นตอนการบริการล่าช้า การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของ “เสื้อคลุมสำหรับฉีดยา” ในการให้บริการจริง โดยมุ่งเน้นความสะดวกรวดเร็ว และความพึงพอใจของผู้รับบริการและเจ้าหน้าที่

ผลการศึกษาพบว่า ด้านประสิทธิภาพสามารถลดระยะเวลาการเตรียมตัวก่อนฉีดยาจากเฉลี่ย 5 นาที เหลือเพียง 1 นาที ลดระยะเวลาลงร้อยละ 80 ช่วยให้การบริการมีความต่อเนื่องและรวดเร็วขึ้น ด้านความพึงพอใจสูงกว่าร้อยละ 90 ช่วยทำให้ผู้รับบริการรู้สึกมั่นใจ สบายใจ และได้รับการเคารพในศักดิ์ศรีและสิทธิส่วนบุคคล ขณะที่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานมีความพึงพอใจในระดับสูงเช่นกัน เนื่องจากช่วยลดอุปสรรคในการทำงาน

นวัตกรรมนี้ไม่เพียงแค่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการบริการสุขภาพ แต่ยังสะท้อนถึงการดูแลที่ครอบคลุมมิติจิตวิญญาณ และสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) เป้าหมายที่ 3 ด้านสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหน่วยงานบริการสุขภาพอื่นที่มีบริบทใกล้เคียงกันได้

คำสำคัญ: เสื้อคลุมสำหรับฉีดยา / การฉีดยา / สิทธิและศักดิ์ศรีผู้ป่วย

Injection gown innovation: enhancing service efficiency and respecting patient dignity

Ploykaew Jaruworn, Sumisa Pisanwan, Taweeporn Panichpong, and Noppamat Puntusopon*

Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Thailand

**Corresponding author*: : (*noppamat.pun@mahidol.ac.th*)

Abstract

Annual vaccinations for over 3,000 personnel at Ramathibodi Hospital often face logistical challenges regarding access to the deltoid muscle. Difficulties arise from restrictive clothing, such as long-sleeved or narrow-sleeved shirts, and the specific attire requirements of Muslim staff. These issues, compounded by a lack of private changing areas, lead to patient anxiety and service delays.

This study aimed to develop and evaluate the efficiency of an "Injection Gown" in a clinical setting, focusing on service speed and the satisfaction of both recipients and healthcare providers. The implementation of the injection gown significantly improved service efficiency, reducing average preparation time from 5 minutes to just 1 minute an 80% reduction. This ensured a more seamless and rapid workflow. Regarding satisfaction, over 90% of recipients reported high levels of satisfaction, noting increased confidence, comfort, and a sense of dignity and privacy. Furthermore, healthcare providers expressed high satisfaction as the innovation effectively minimized operational barriers.

This innovation not only enhances healthcare service management but also reflects a commitment to spiritual care and human dignity. It aligns with Sustainable Development Goal 3 (Good Health and Well-being) and serves as a scalable model for other healthcare units with similar service contexts.

Keywords: Injection gown / injection / Patient rights / dignity

1. บทนำ

การฉีดยาเข้าสู่ร่างกายสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การฉีดเข้ากล้ามเนื้อ การฉีดเข้าเส้นเลือด และการฉีดเข้าใต้ผิวหนัง[1] โดยการฉีดวัคซีนส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีการฉีดเข้ากล้ามเนื้อเดลทอยด์ (deltoid muscle) ซึ่งอยู่บริเวณต้นแขนใกล้หัวไหล่ [1, 2] ในสถานการณ์ที่ต้องให้บริการฉีดวัคซีนจำนวนมาก เช่น การฉีดวัคซีนไข้หวัดใหญ่ประจำปีหรือการฉีดวัคซีนในช่วงการระบาดของโรค ศูนย์ฉีดวัคซีนของคณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มีบทบาทสำคัญในการให้บริการแก่บุคลากรและประชาชนจำนวนมาก [2, 3] อย่างไรก็ตามลักษณะพื้นที่ให้บริการของศูนย์ฉีดวัคซีนเป็นพื้นที่เปิดโล่ง และมีฉากกั้นเพียงบางส่วน ส่งผลให้เกิดข้อจำกัดด้านความเป็นส่วนตัว โดยเฉพาะในกรณีที่ผู้รับบริการไม่สามารถเปิดแขนเสื้อเพื่อให้เห็นบริเวณหัวไหล่ได้ เช่น ผู้ที่สวมเสื้อแขนยาว เสื้อแขนแคบ หรือผู้ที่แต่งกายตามหลักศาสนา [6, 7] นอกจากนี้ยังไม่มีพื้นที่สำหรับเปลี่ยนเสื้อผ้าอย่างเป็นสัดส่วน ทำให้เกิดความไม่สะดวกและอาจส่งผลให้กระบวนการให้บริการล่าช้า [4, 5] จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้พัฒนา “เสื้อคลุมสำหรับฉีดยา” เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์สนับสนุนการให้บริการ โดยมุ่งเน้นการคำนึงถึงสิทธิ ความเป็นส่วนตัว และศักดิ์ศรีของผู้รับบริการ [6, 7] ควบคู่กับการเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของบุคลากรทางการแพทย์ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาคุณภาพบริการทางสุขภาพและมาตรฐานการให้บริการในสถานบริการ [2, 5] เสื้อคลุมดังกล่าวถูกออกแบบให้ใช้งานง่าย สวมใส่สะดวก และเปิดเฉพาะบริเวณที่จำเป็นต่อการฉีดวัคซีน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหน่วยบริการฉีดวัคซีนหรือการให้บริการทางการแพทย์แบบอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้ [2, 6, 7]

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัญหาและอุปสรรคในการให้บริการฉีดวัคซีนแก่ผู้รับบริการจำนวนมาก
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาเสื้อคลุมสำหรับฉีดยาที่เหมาะสมกับการให้บริการ
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจจากการใช้เสื้อคลุมดังกล่าวในการให้บริการจริง

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ผลงานนวัตกรรม “เสื้อคลุมสำหรับฉีดยา” ดำเนินการในหน่วยบริการฉีดวัคซีนของโรงพยาบาลรามาธิบดี โดยเก็บข้อมูลจากผู้รับบริการที่เข้ารับการฉีดวัคซีนในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 18-20 มิถุนายน 2568 จำนวน 30 คน รวมทั้งประเมินความคิดเห็นของผู้รับบริการและบุคลากรทางการแพทย์ที่ได้ใช้งานเสื่อคลุมสำหรับฉีดยา

4. วิธีการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการพัฒนานวัตกรรมร่วมกับการทดลองใช้จริงในหน่วยบริการ โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.1 รวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการให้บริการฉีดวัคซีนจากประสบการณ์การปฏิบัติงานของบุคลากรและข้อเสนอแนะของผู้รับบริการ โดยมีรายละเอียด

4.1.1 วัดระยะเวลาเตรียมผู้ป่วยก่อนใช้ “เสื้อคลุมสำหรับฉีดยา”

4.1.2 ประเมินความพึงพอใจ

4.2 การออกแบบและพัฒนาเสื้อคลุม

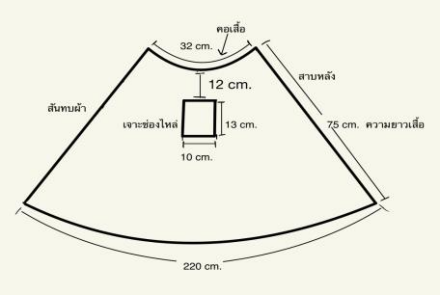
นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และออกแบบเสื้อคลุมสำหรับฉีดยา โดยคำนึงถึงความสะดวกในการใช้งาน ความเหมาะสม และการเปิดเฉพาะบริเวณที่จำเป็นต่อการฉีดยา

4.2.1 ขั้นตอนที่การออกแบบ (Design process) และตับเย็บ

1. ก่อนปรับปรุงมีการใช้ผ้าคลุมให้กับผู้รับบริการที่ไม่สามารถเปิดแขนเสื้อเพื่อให้เห็นบริเวณหัวไหล่ได้ ดังรูปที่ 1 ซึ่งเสี่ยงต่อการเลื่อนหลุด และอาจทำให้ผู้รับบริการอับอายได้

รูปที่ 1 การใช้ผ้าคลุมให้กับผู้รับบริการที่ไม่สามารถเปิดแขนเสื้อเพื่อให้เห็นบริเวณหัวไหล่ได้

2. ร่างแบบบนกระดาษ กำหนดสัดส่วน ความกว้าง ความยาว และตำแหน่งช่องเปิดบริเวณหัวไหล่ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ร่างแบบบนกระดาษ กำหนดสัดส่วน ความกว้าง ความยาว และตำแหน่งช่องเปิดบริเวณหัวไหล่

3. การตัดเย็บประกอบชิ้นงาน ดังรูปที่ 3 โดยใช้ผ้าโทเรขนาดความยาว 180 เซนติเมตร หน้ากว้าง 152.4 เซนติเมตร (60 นิ้ว)

รูปที่ 3 การตัดเย็บประกอบชิ้นงาน

4. คุณลักษณะเสื้อคลุมสำหรับฉีดยา ดังรูปที่ 4 มีเชือกรูดที่คอเพื่อปรับขนาด ช่องเจาะเปิดหัวไหล่มีขนาดกว้าง สามารถฉีดยาได้ 2 เข็ม ด้านหลังติดเทปตีนตุ๊กแก (Velcro tape) 2 ตำแหน่ง

รูปที่ 4 คุณลักษณะเสื้อคลุมสำหรับฉีดยา

5. แสดงผ้าคลุมที่ตัดเย็บแล้วเสร็จแต่ละด้าน ดังรูปที่ 5

ด้านหน้า ด้านหลัง ข้างขวา ข้างซ้าย

รูปที่ 5 แสดงผ้าคลุมที่ตัดเย็บแล้วเสร็จแต่ละด้าน

4.3 การทดลองใช้

4.3.1 นำเสื้อคลุมที่พัฒนาขึ้นมาไปทดลองใช้กับผู้รับบริการจริงในหน่วยบริการฉีดวัคซีน ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 แสดงการทดลองใช้งานผ้าคลุม

4.4 การประเมินผล

ประเมินผลด้านระยะเวลาในการเตรียมตัวก่อนฉีดยา และความพึงพอใจของผู้รับบริการ และบุคลากรทางการแพทย์ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล ได้แก่ แบบสอบถามความพึงพอใจต่อการใช้นวัตกรรม “เสื้อคลุมสำหรับฉีดยา” ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scale) แบ่งเป็น 2 ชุด ได้แก่ แบบสอบถามสำหรับผู้รับบริการ และแบบสอบถามสำหรับบุคลากรพยาบาล รวมถึงข้อมูลแบบสอบถามขนาดเสื้อที่สามารถรองรับสำหรับผู้รับบริการ โดยแต่ละชุดประกอบด้วยข้อคำถามด้านความสะดวกในการใช้งาน ความเป็นส่วนตัว ประสิทธิภาพการให้บริการ และความพึงพอใจโดยรวม ในการศึกษาครั้งนี้มีผู้รับบริการฉีดวัคซีนทั้งหมดจำนวน 3,500 คน โดยมีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) ที่ทดลองใช้นวัตกรรมเสื้อคลุมสำหรับฉีดยา จำนวน 30 คน และบุคลากรทางการแพทย์ 10 คน ในช่วงระหว่างวันที่ 18 – 20 มิถุนายน พ.ศ. 2568 จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ระดับความพึงพอใจ และเปรียบเทียบระยะเวลาในการให้บริการก่อน และหลังการใช้นวัตกรรม

ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ร้อยละ (Percentage)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบระยะเวลาในการเตรียมตัวก่อนฉีดยา

รายการ	ก่อนใช้นวัตกรรม	หลังใช้นวัตกรรม
1.ระยะเวลาเฉลี่ยในการเตรียมตัวก่อนฉีดยา	5 นาที	1 นาที
2.ระยะเวลาที่ลดลง	-	ร้อยละ 80

ตารางที่ 2 ระดับความพึงพอใจของผู้รับบริการต่อการใช้นวัตกรรม จำนวน 30 คน

รายการ	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ย	หมายเหตุ
1. ความสะดวกในการใช้งาน	4.63	92.6	
2. ความมั่นใจ ความเป็นส่วนตัวในการใช้	4.70	94.0	
3. ความเหมาะสมของรูปแบบ	4.50	90.0	
4. ความพึงพอใจโดยรวมต่อ “เสื้อคลุมสำหรับฉีดยา”	4.65	93.0	

ตารางที่ 3 ระดับความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ต่อการใช้นวัตกรรม จำนวน 30 คน

รายการ	ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ	หมายเหตุ
1. ความสะดวกในการใช้งาน	4.60	92.0	
2. ช่วยลดระยะเวลาในการทำงาน	4.80	96.0	
3. ความเหมาะสมของรูปแบบ	4.50	90.0	
4. ความพึงพอใจโดยรวมต่อ “เสื้อคลุมสำหรับฉีดยา”	4.70	94.0	

ตารางที่ 4 ข้อมูลแสดงขนาดเสื้อของกลุ่มผู้มารับบริการเพศชายและเพศหญิง จำนวน 30 คน

ขนาดเสื้อ	เพศชาย (คน)	ร้อยละ (%)	เพศหญิง (คน)	ร้อยละ (%)	รวม (คน)	ร้อยละรวม (%)
S	0	0.0	5	33.33	5	16.7
M	0	0.0	4	26.7	4	13.3
L	3	20.0	0	0.0	3	10.0
XL	5	33.33	5	33.3	10	33.3
2XL	5	33.33	3	20.0	8	26.7
3XL	2	13.4	2	13.3	4	13.3
รวม	15	100	15	100	30	100

5.ผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า ก่อนการนำ “เสื้อคลุมสำหรับฉีดยา” มาใช้ ผู้รับบริการบางรายประสบปัญหาในการเปิดบริเวณต้นแขนเพื่อรับการฉีดวัคซีน ส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการเตรียมตัวนาน และก่อให้เกิดความไม่สะดวกในกระบวนการให้บริการภายหลังการนำนวัตกรรมมาใช้ พบว่าสามารถลดระยะเวลาเฉลี่ยในการเตรียมตัวก่อนฉีดยาจาก 5 นาที เหลือเพียง 1 นาที คิดเป็นการลดลงร้อยละ 80 ส่งผลให้การให้บริการมีความรวดเร็วมากขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการบริการโดยรวม ในด้านความพึงพอใจ พบว่าผู้รับบริการมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด (ร้อยละ 90) ส่งผลให้ผู้มารับบริการช่วยเพิ่มความมั่นใจและความเป็นส่วนตัวในการรับบริการ ขณะเดียวกัน บุคลากรทางการแพทย์มีความพึงพอใจในระดับสูง เนื่องจากช่วยลดอุปสรรคในการปฏิบัติงาน และเพิ่มความคล่องตัวในการให้บริการ สำหรับการวิเคราะห์ขนาดเสื้อคลุมจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ราย (เพศชาย 15 ราย และเพศหญิง 15 ราย) พบว่ากลุ่มเพศชายส่วนใหญ่มีขนาดเสื้ออยู่ในช่วง L ถึง XL โดยขนาด XL และ 2XL พบมากที่สุดเท่ากัน (อย่างละ 5 ราย) รองลงมาคือขนาด L (3 ราย) และ 3XL (2 ราย) ขณะที่กลุ่มเพศหญิงมีการกระจายของขนาดเสื้อที่หลากหลาย โดยขนาด S และ XL พบมากที่สุดเท่ากัน (อย่างละ 5 ราย) รองลงมาคือขนาด M (4 ราย) ขนาด 2XL (3 ราย) และ 3XL (2 ราย) โดยภาพรวมพบว่า ขนาดเสื้อคลุมที่เหมาะสมและครอบคลุมผู้รับบริการส่วนใหญ่ในการศึกษานี้อยู่ในช่วง S ถึง XL ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและผลิตนวัตกรรมให้เหมาะสมกับผู้รับบริการในอนาคต

6. สรุปผลการศึกษาและอภิปรายผล

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า นวัตกรรม “เสื้อคลุมสำหรับฉีดยา” สามารถตอบโจทย์ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในหน่วยบริการที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่และความเป็นส่วนตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยช่วยลดระยะเวลาในการเตรียมตัวก่อนฉีดยาได้อย่างชัดเจนถึงร้อยละ 80 ส่งผลให้กระบวนการให้บริการมีความรวดเร็ว ลดความแออัด และเพิ่มความคล่องตัวในการปฏิบัติงานของบุคลากร ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการให้บริการวัคซีนในสถานบริการสาธารณสุข [1] ในด้านความพึงพอใจ พบว่าทั้งผู้รับบริการและบุคลากรทางการแพทย์มีความพึงพอใจในระดับสูง โดยผู้รับบริการให้ความสำคัญกับความสะดวก ความมั่นใจ และความเป็นส่วนตัว [4,7] ขณะที่บุคลากรเห็นว่านวัตกรรมช่วยลดขั้นตอนและอุปสรรคในการทำงานได้อย่างเป็นรูปธรรม [5] สะท้อนให้เห็นว่านวัตกรรมดังกล่าวสามารถพัฒนาคุณภาพบริการได้ทั้งในมิติของผู้รับและผู้ให้บริการ [6] นอกจากนี้ การวิเคราะห์ขนาดเสื้อจากกลุ่มตัวอย่างพบว่า ขนาดที่เหมาะสมและครอบคลุมผู้รับบริการส่วนใหญ่อยู่ในช่วง S ถึง XL ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและผลิตในอนาคต อย่างไรก็ตาม จากการใช้งานจริงพบข้อจำกัดในกลุ่มผู้รับบริการที่มีรูปร่างใหญ่ โดยเฉพาะผู้ที่สวมใส่เสื้อผ้าขนาด 3XL ซึ่งเมื่อสวมเสื้อคลุมสำหรับฉีดยา จะสามารถติดเทปตีนตุ๊กแก (Velcro tape) ได้เพียงจุดเดียวบริเวณคอ ดังนั้น จึงมีข้อเสนอแนะ

ให้จัดทำเสื้อคลุมขนาดพิเศษ 3XL เพิ่มเติม เพื่อให้สามารถรองรับและอำนวยความสะดวกแก่ผู้รับบริการกลุ่มนี้ได้อย่างครอบคลุม ทั้งนี้ ควรมีการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของผู้รับบริการเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการออกแบบในระยะต่อไป เมื่อพิจารณาร่วมกับเอกสารอ้างอิงที่เกี่ยวข้อง พบว่าผลการศึกษาสอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาคุณภาพบริการและงานวิจัยด้านความพึงพอใจในระบบสุขภาพ ที่เน้นความสะดวก รวดเร็ว และให้ความสำคัญกับประสบการณ์ของผู้รับบริการ [4, 6, 7] อีกทั้งนวัตกรรมนี้ยังมีจุดเด่นที่แตกต่างจากแนวทางเดิม เนื่องจากเป็นการออกแบบเฉพาะสำหรับบริบทการฉีดยาในพื้นที่เปิดโล่ง

โดยสรุป นวัตกรรม “เสื้อคลุมสำหรับฉีดยา” เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพ คุ้มค่า และสามารถนำไปประยุกต์ใช้หรือขยายผลในหน่วยบริการอื่นได้อย่างเหมาะสม ทั้งยังมีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดเพื่อยกระดับมาตรฐานการให้บริการพยาบาลในระบบสุขภาพต่อไปในอนาคต [2]

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมโรค. (2566). แนวทางการให้บริการวัคซีนในสถานบริการสาธารณสุข. กระทรวงสาธารณสุข.

[2] กระทรวงสาธารณสุข. (2565). มาตรฐานการให้บริการพยาบาลในสถานบริการสุขภาพ. สำนักการพยาบาล.

[3] บุญชม ศรีสะอาด. (2560). การวิจัยเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่ 10). สุวีริยาสาส์น.

[4] Saelim, R., Pengruksa, C., & Wadmanee, N. (2565). Satisfaction of recipients of COVID-19 vaccination at the COVID-19 Vaccination Center at the Hospital for Tropical Diseases, Thailand. Journal of Health Science of Thailand.

[5] Phankavong, P., & Prueksaanantakal, N. (2566). The study of knowledge, ability and satisfaction of registered nurses regarding vaccine preparation and vaccination guidelines (COVID-19 ChAdox1-n CoV). Journal of The Royal Thai Army Nurses.

[6] สุพัตรา บุญเจียม (2567). ผลการศึกษาคุณภาพและความพึงพอใจต่อการจัดระบบบริการคลินิกเด็กสุขภาพดี ตามมาตรฐานงานอนามัยแม่และเด็ก เขตสุขภาพที่ 7.

[7] อินทศรี ช., & ตันวัฒนกุล ว. (2565). ความคาดหวังและความพึงพอใจของผู้รับบริการต่อระบบบริการผู้ป่วยนอกโรงพยาบาลของรัฐแห่งหนึ่งในจังหวัดฉะเชิงเทรา. วารสารวิจัยและพัฒนาระบบสุขภาพ, 15(3), 128–141.

สังคมศาสตร์และสาธารณสุข
Social Science and Public Health

Poster Presentation

การหาลักษณะโปรไฟล์ของสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในสารสกัดจากพืชวงศ์มะม่วง

สมฤทัย สุขีเกตุ[1], เพ็ญพิลาส ประกอบปราณ[1], ฐิติรัตน์ ธนสารสมบัติ[2], ณัฏฐธิดา มีดี[3], พิชรฎา โชติพิทยสุนนท์[4], มาท์เทียส ณวพรรษก์ โหงว[4], รมิดา อายะวรรณา[5], ภัคพล วรเดชจำเริญ[6], อชิตะ สุวรรณศรี[7], และ สมาน แก้วไวยุทธ[8]*

[1]ปั้นหมอ อะคาเดมี จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[2]โรงเรียนนานาชาติ ไบรท์ตัน คอลเลจ กรุงเทพ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[3]โรงเรียนบัณฑิตศึกษาลัย จังหวัดพิจิตร ประเทศไทย
[4]โรงเรียนนานาชาติเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย
[5]โรงเรียนชลราษฎรอำรุง จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย
[6]โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[7]โรงเรียนอำนวยศิลป์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[8]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
**Corresponding author: fscismk@gmail.com*

บทคัดย่อ

พืชในวงศ์มะม่วง (Anacardiaceae) จัดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยเฉพาะมะม่วง มะม่วงหิมพานต์ และมะยงชิด ซึ่งทุกส่วนของพืชมักสะสมสารเมทาบอไลต์ทุติยภูมิกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านจุลชีพ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (TFC) จากสารสกัดใบพืชทั้ง 3 ชนิด โดยใช้การสกัดด้วยน้ำและเมทานอล ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ผลด้วยวิธี Folin-Ciocalteu และ Colorimetric ผลการศึกษาพบว่า สารสกัดด้วยน้ำมีค่า TPC สูงสุดในใบมะม่วง (48.55±0.60 mg GAE/g DW) รองลงมาคือใบมะม่วงหิมพานต์ และใบมะยงชิด ตามลำดับ สำหรับสารสกัดด้วยเมทานอลพบ TPC สูงสุดในใบมะม่วงหิมพานต์ (27.35±1.39 mg GAE/g DW) ในส่วนของปริมาณ TFC พบว่าใบมะม่วงให้ค่าสูงสุดในทั้งสองตัวทำละลาย โดยสารสกัดด้วยเมทานอลมีค่า TFC สูงถึง 148.47±7.96 mg QE/g DW ซึ่งสูงกว่าสารสกัดด้วยน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ข้อมูลจากการศึกษานี้ชี้ให้เห็นศักยภาพของใบพืชในวงศ์มะม่วงในการพัฒนาเป็นสารสกัดเชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการหาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมและวิเคราะห์สารสำคัญชนิดอื่น เพื่อประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการแพทย์และเครื่องสำอางต่อไป

คำสำคัญ: ใบมะยงชิด / ใบมะม่วง / ใบมะม่วงหิมพานต์ / วิธีการสกัดด้วยการต้มในน้ำ / ปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวม

Determination of phenolic and flavonoid profiles in Anacardiaceae plant extracts

Somruethai Sukeeket[1], Penpilas Prakobpran[1],Thitirat Dhanasarnsombat[2], Natthathida Meedee[3], Pitcharada Chotpittayasunont[4], Mattias Nawapatt Ngo[4], Ramida Ayawanna[5], Pakkapol Worradechjumroen[6], Ashita Suwansri[7], and Smarn Kaewviyudth[8*]

[1]Punmor Academy, Thailand
[2]Brighton College Bangkok, Thailand
[3]Bundhitsuksalai School, Thailand
[4]Chiang Mai International School, Thailand
[5]Chonradsadornumrung School, Thailand
[6]Bangkok Christian College, Thailand
[7]Amnuay Silpa School, Thailand
[8]Faculty of Science, Kasetsart University, Thailand
**Corresponding author: fscismk@gmail.com*

Abstract

Plants in the Anacardiaceae family, particularly Mango (*Mangifera indica* L.), Cashew (*Anacardium Occidentale* L.) and Marian Plum (*Bouea oppositifolia* (Roxb.) Meisn.), are economically significant in Thailand. These plants are rich in secondary metabolites, specifically phenolics and flavonoids, which exhibit potent antioxidant and antimicrobial properties. This study aimed to determine the Total Phenolic Content (TPC) and Total Flavonoid Content (TFC) of leaf extracts from these three species using two extraction solvents: water and methanol at 60°C. The results indicated that the aqueous extract of Mango leaves yielded the highest TPC (48.55±0.60 mg GAE/g DW), followed by Cashew and Marian Plum leaves, respectively. In contrast, the methanolic extract showed the highest TPC in Cashew leaves (27.35± 1.39 mg GAE/g DW). Regarding flavonoid content, Mango leaves extracts exhibited the highest TFC in both solvents, with the methanolic extract reaching 148.47± 7.96 mg QE/g DW. Overall, the solvent type significantly influenced the extraction efficiency of bioactive compounds. These findings suggest that leaves from the Anacardiaceae family are promising sources of natural antioxidants. Further research into extraction optimization and identification of specific bioactive compounds is recommended to facilitate their application in the pharmaceutical and cosmeceutical industries.

Keywords: *Bouea oppositifolia* (Roxb.) Meisn. / *Mangifera indica* L. / *Anacardium occidentale* L. / Decoction / Total phenolic and flavonoid content

1. บทนำ

ปัจจุบันคนไทยมักนิยมปลูกพืชผักผลไม้มากมายเนื่องด้วยลักษณะภูมิศาสตร์ที่อุดมสมบูรณ์ของประเทศไทย โดยพืชผลไม้ที่นิยมปลูกกันทั่วไปมักจะเป็นมะยงชิด มะม่วง และมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งเป็นพืชที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยและหลายประเทศทั่วโลกโดยเฉพาะในแถบเอเชีย อีกทั้งยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีมูลค่าทางการตลาดสูง อย่างไรก็ตาม รูปแบบการใช้ประโยชน์จากพืชเหล่านี้ในปัจจุบันยังคงเน้นเฉพาะส่วนที่บริโภคได้หรือส่วนที่สร้างรายได้โดยตรงเป็นหลัก ขณะที่ชีวมวล ส่วนอื่น เช่น ใบ กลับถูกมองข้ามและมักกลายเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตรจำนวนมาก ทั้งที่ในทางชีวเคมีใบพืชจัดเป็นแหล่งสะสมที่สำคัญของสารเมทาบอไลต์ทุติยภูมิหลายชนิด ซึ่งพืชสร้างขึ้นเพื่อใช้ในกลไกการป้องกันตนเองจากความเครียดและเชื้อโรค [8] โดยสารเมทาบอไลต์ทุติยภูมิในพืชนั้นมีประโยชน์ทางด้านสุขภาพที่สามารถนำมาใช้เป็นยารักษาพื้นบ้านได้ เนื่องจากมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพแต่ ณ ปัจจุบันได้มีการนำไปทดสอบในหลอดทดลองและในสัตว์ทดลองเพื่อทดสอบฤทธิ์เพื่อปริมาณของสารสกัดที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ต่อในอนาคตอย่างกว้างขวาง [4]

มะยงชิด มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Bouea oppositifolia* (Roxb.) Meisn. หรือ *Bouea macrophylla* เป็นพืชในวงศ์เดียวกันกับ Anacardiaceae โดยพบมากในแถบเอเชีย เช่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย และไทย เป็นต้น [4, 10] ใบมะยงชิดมีสรรพคุณในการบำบัดรักษาโรคได้ เช่น การนำรากและใบมารักษาไข้และลดการอักเสบของแผล อีกทั้งยังพบว่ามีสารทุติยภูมิจำพวกกลุ่ม ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ ไดเทอร์พีน แอนทราควิโน ไกลโคไซด์ และแทนนิน ซึ่งมีคุณสมบัติในเรื่องของการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ต้านจุลชีพ (Anti-microbial) และต้านมะเร็ง (Anticancer) เป็นต้น [7] จากการรายงานการศึกษาก่อนหน้าพบว่าใบมะยงชิดมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงโดยมีค่า IC_{50} อยู่ที่ 3.94±0.21 µg/mL และมีประสิทธิภาพในการต้านจุลชีพที่สามารถยับยั้งได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวก เช่น *S. aureus* แบคทีเรียแกรมลบ เช่น *E. coli* และยับยั้งเชื้อราได้ด้วยเช่นกัน รวมถึงการต้านมะเร็งที่สารสกัดใบมะยงชิดสามารถยับยั้งอัตราการมีชีวิตรอดของเซลล์มะเร็งได้โดยออกฤทธิ์กับเซลล์ HeLa (IC_{50} = 24±0.8 µg/mL) และเซลล์ HCT116 (IC_{50} = 28±0.9 µg/mL) ซึ่งส่งผลทำให้เซลล์เกิดการหดตัวและฝ่อลง [10]

มะม่วง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Mangifera indica* L. เป็นพืชในวงศ์ Anacardiaceae มะม่วงมีการปลูกกันอย่างแพร่หลายและส่งมีการออกสู่หลายประเทศทั่วโลก โดยประเทศที่มีการปลูกกันอย่างแพร่หลายมักพบในแถบเอเชียเป็นส่วนใหญ่ เช่น จีน ไทย ฟิลิปปินส์ บังกลาเทศ ปากีสถาน เป็นต้น ซึ่งสารสกัดจากใบมะม่วงมีสารออกฤทธิ์อย่างแมงจิเฟอริน เป็นสารสำคัญหลัก ตามด้วยสารจำพวกกรดฟีนอล เบนโซฟีโนน ฟลาโวนอยด์ และเควอซิติน ส่งผลให้สารสกัดใบมะม่วงมีสรรพคุณทางเภสัชวิทยาที่หลากหลาย เช่น การต้านจุลชีพ (Anti-microbial), ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant), ต้านเบาหวาน (Anti-diabetic), ต้านเนื้องอก (Anti-tumour) และการปรับภูมิคุ้มกัน (Immunomodulatory) [8] เนื่องจากฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านี้จึงได้มีรายการศึกษาอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับมะม่วงในการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านจุลชีพ โดยพบว่าสารสกัดจากใบมะม่วงที่สกัดด้วยเอทานอลสามารถแสดงประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลอิสระที่สูงผ่านการทดสอบด้วยวิธี DPPH และการชะล้างไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide scavenging) อีกทั้งยังสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกได้หลายชนิด เช่น *S. aureus*, *B. subtilis* และแบคทีเรียแกรมลบบางชนิด รวมถึงการยับยั้งเชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus* spp. ได้แก่ *A. ustus*, *A. niger* และ *A. ochraceus* [5]

มะม่วงหิมพานต์ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Anacardium occidentale* L. เป็นพืชอีกชนิดที่อยู่ในวงศ์ Anacardiaceae เช่นเดียวกัน พบได้ทั่วไปในหลายประเทศของเขตร้อน เช่น ไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย ไนจีเรีย และบราซิล พืชชนิดนี้มีสารประกอบทุติยภูมิที่อุดมไปด้วยสารสำคัญต่าง ๆ เช่น แทนนิน ซาโปนิน อัลคาลอยด์ และฟลาโวนอยด์ ซึ่งมีฤทธิ์ต้านการอักเสบ (Anti-inflammatory) ต้านเชื้อแบคทีเรีย (Antibacterial) และต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) นอกจากนี้ยังมีบันทึกการใช้ใบมะม่วงหิมพานต์ผสมกับลูกหมัดและน้ำมะพร้าวเพื่อใช้รักษาโรคนิ่วในตำราพื้นบ้านของชาวมาเลเซีย [1]

รวมถึงมีการรายงานเกี่ยวกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบโดยพบว่าสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์สามารถลด ROS ภายในเซลล์แมคโครฟาจ ชนิด RAW 264.7 ที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการอักเสบได้และสามารถลดการหลั่งไซโตไคน์การอักเสบได้อย่าง TNF-α และ IL-1β [11]

ดังนั้นแม้จะมีรายงานการศึกษาสารออกฤทธิ์ในพืชตระกูลนี้อยู่บ้าง แต่ข้อมูลการเปรียบเทียบศักยภาพของใบพืชเศรษฐกิจทั้ง 3 ชนิดภายใต้เงื่อนไขเดียวกันยังมีอยู่อย่างจำกัด อีกทั้งประสิทธิภาพการสกัดยังขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ เช่น ชนิดของตัวทำละลาย อุณหภูมิ และสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ งานวิจัยนี้จึงมุ่งวิเคราะห์และเปรียบเทียบปริมาณสารฟีนอลิกรวม (TPC) และ ฟลาโวนอยด์รวม (TFC) จากสารสกัดใบมะยงชิด มะม่วง และมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งช่วยให้เห็นความแตกต่างของศักยภาพในแต่ละชนิดพืช รวมถึงบทบาทของตัวทำละลายที่มีผลต่อการสกัดสารออกฤทธิ์เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาสู่ผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงและสนับสนุนการใช้ทรัพยากรชีวภาพอย่างยั่งยืนต่อไป

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 1 ภาพลักษณะของใบพืชวงศ์ Anacardiaceae (ก) ใบมะยงชิด (ข) ใบมะม่วง (ค) ใบมะม่วงหิมพานต์
ที่มา (ก) https://www.nanagarden.com/product/193100, (ข) https://www.mardubai.in.th/mango-gall-midge และ (ค) https://www.blockdit.com/posts/5ed0bf6c4a05500c7632ee3a

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาปริมาณสารฟีนอลิกรวมและปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวมจากวิธีการสกัดด้วยการต้มในน้ำเดือด
2. เพื่อศึกษาความแตกต่างของปริมาณสารฟีนอลิกรวมและปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวมของพืชทั้ง 3 ชนิดในวงศ์เดียวกัน

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาหาพฤกษเคมีของสารสกัดพืช 3 ชนิด คือสารสกัดใบมะยงชิด ใบมะม่วง และใบมะม่วงหิมพานต์ ซึ่งถูกสกัดด้วยวิธี Decoction หรือการต้มที่อุณหภูมิ 60 °C ในตัวทำละลายเมทานอลและน้ำ DI โดยทดสอบหาปริมาณสารฟีนอลิกรวม (Total phenolic content ; TPC) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu และปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวม (Total flavonoid content ; TFC) ด้วยวิธี Colorimetric $AlCl_3$ เพื่อทำการศึกษาปริมาณสารสำคัญที่ได้จากการสกัด

4. วิธีการศึกษา

4.1 การเตรียมใบมะยงชิด มะม่วง และม่วงหิมพานต์

นำใบพืชทั้ง 3 ชนิด คือ ใบมะยงชิด (*Bouea oppositifolia* (Roxb.) Meisn. leaves extract ; BOLE) ใบมะม่วง (*Mangifera Indica* leaves extract ; MILE) และใบมะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale* L. leaves extract ; AOLE) ที่ได้มาจากจังหวัดนครนายก ประเทศไทย มาล้างทำความสะอาด 1 ครั้ง แล้วนำไปตากให้แห้งสนิทเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำมาปั่นละเอียดและเก็บไว้ในถุงซิปล็อคที่อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งจะนำไปสกัดเพื่อทำการทดลองต่อไป

4.2 การสกัดใบมะยงชิด มะม่วง และม่วงหิมพานต์ ด้วยวิธีการต้มในน้ำเดือด

วิธีการสกัดด้วยการต้มในน้ำเดือดอ้างอิงวิธีการสกัดมาจาก [3] และได้มีการปรับแก้วิธีการสกัดในบางส่วน โดยนำใบพืชทั้ง 3 ชนิด มาชั่งน้ำหนัก 2 กรัม ถูกสกัดด้วย Distilled water (DI water) และเมทานอลปริมาตร 40 มิลลิลิตร จากนั้นนำพืชที่ถูกสกัดในทั้งสองตัวทำละลายไปต้มใน Water bath ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 60 นาที เมื่อทำการสกัดตัวอย่างแต่ละตัวอย่างเสร็จแล้วจะนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 ขนาดรูพรุน 11 ไมโครเมตร โดยตัวอย่างที่ถูกสกัดจะถูกนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกรวม (Total phenolic content ; TPC)

การวิเคราะห์ TPC ของตัวอย่าง BOLE, MILE, และ AOLE โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu ที่เขียนอธิบายโดย [7] นำสารมาตรฐานกรดแกลลิกละลายในเมทานอลที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 25 - 300 µg/mL จากนั้นเติมตัวอย่างสารสกัดและสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกปริมาตร 25 µL นำมาเติมสารละลายของ Folin-Ciocalteu ปริมาตร 125 µL ลงใน 96-well plate จึงนำไปเขย่าและบ่มในที่มืดเป็นเวลา 5 นาทีที่อุณหภูมิห้อง ต่อมาเติม 7.5% Sodium carbonate ปริมาตร 100 µL นำไปเขย่าและบ่มต่อเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 750 nm. โดยใช้เครื่อง Microplate reader (Tecan Spark™, Switzerland) โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ของตัวอย่าง BOLE, MILE, และ AOLE กับกรดแกลลิกที่เป็นสารมาตรฐาน ซึ่งความเข้มข้นของสารมาตรฐานกรดแกลลิกถูก plot บนแกน x ในขณะที่ค่าการดูดกลืนแสงถูก plot บนแกน y ($y = 0.0066x + 0.0656$, $R^2 = 0.9984$) ผลลัพธ์ของ TPC ที่ได้จะถูกแสดงเป็นมิลลิกรัมของกรดแกลลิกที่เทียบเท่าต่อกรัมของใบมะยงชิด มะม่วง และมะม่วงหิมพานต์แห้ง (mg GAE/g DW)

4.4 การวิเคราะห์ปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวม (Total flavonoid content ; TFC)

การวิเคราะห์ TFC ของตัวอย่าง BOLE, MILE, และ AOLE โดยใช้วิธี Colorimetric $AlCl_3$ ที่เขียนอธิบายโดย [2] และได้มีการแก้ไขวิธีการทดลองในบางส่วน โดยนำสารมาตรฐานเควอซิทินมาละลายในเมทานอลที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 7.81 – 1,000 µg/mL จากนั้นเติมตัวอย่างสารสกัดและสารละลายมาตรฐานเควอซิทินปริมาตร 35 µL ต่อมาเติม 10% Aluminium chloride ปริมาตร 10 µL และ 1 M Potassium acetate ปริมาตร 10 µL เขย่าให้เข้ากันแล้วจึงนำมาเติมน้ำ DI ปริมาตร 100 µL ลงใน 96-well plate จากนั้นนำไปบ่มในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบเวลาให้นำไปเขย่าแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 415 nm โดยใช้เครื่อง Microplate reader (Tecan Spark™, Switzerland) โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ของตัวอย่าง BOLE, MILE, และ AOLE กับเควอซิทินที่เป็นสารมาตรฐาน ซึ่งความเข้มข้นของสารมาตรฐานเควอซิทินถูก plot บนแกน x ในขณะที่ค่าการดูดกลืนแสงถูก plot บนแกน y ($y = 0.0007x + 0.0259$, $R^2 = 0.9991$) ผลลัพธ์ของ TFC ที่ได้จะถูกแสดงเป็นมิลลิกรัมของเควอซิทินที่เทียบเท่าต่อกรัมของใบมะยงชิด มะม่วง และมะม่วงหิมพานต์แห้ง (mg QE/g DW)

4.5 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การวิเคราะห์ดำเนินการโดยการทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง โดยระบุข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean) และหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) จากการวิเคราะห์โดยใช้ student's t-test

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวมจากสารสกัด BOLE, MILE, และ AOLE ผลการศึกษาพบว่าสารสกัดใบมะม่วงที่สกัดด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาณฟีนอลิกรวมสูงสุดถึง 48.55±0.60 mg GAE/g DW รองลงมาคือสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์ และสุดท้ายสารสกัดจากใบมะยงชิด ขณะเดียวกันสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์ที่สกัดด้วยเมทานอลให้ปริมาณฟีนอลิกรวมสูงสุดถึง 27.35±1.39 mg GAE/g DW แต่ยังคงมีปริมาณฟีนอลิกรวมที่น้อยกว่าวิธีการสกัดด้วยน้ำกลั่น และในทางตรงกันข้ามสารสกัดใบมะม่วงกลับให้ปริมาณสารฟลาโวนอยด์รวมในการสกัดด้วยทั้งสองตัวทำละลายมากที่สุด รองลงมาคือสารสกัดใบมะยงชิด และสารสกัดใบมะม่วงหิมพานต์ ตามลำดับ โดยสารสกัดใบมะม่วงที่สกัดด้วยเมทานอลมีปริมาณฟลาโวนอยด์รวมสูงสุดคือ 148.47±7.96 mg GAE/g DW ซึ่งมากกว่าวิธีการสกัดด้วยน้ำกลั่นอย่างมีนัยสำคัญ ดังที่แสดงให้เห็นในตารางที่ 1 ดังนั้นพืชทั้ง 3 ชนิดแม้จะอยู่ในวงศ์เดียวแต่กลับให้ปริมาณสารสำคัญไม่เท่ากันได้ เนื่องจากวิธีการสกัด ตัวทำละลาย อุณหภูมิที่ใช้ อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว ระยะเวลาในการสกัด ส่วนของตัวอย่างพืชที่ใช้ และคุณภาพของตัวอย่างก่อนการสกัดแสดงให้เห็นว่าปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อปริมาณสารสำคัญและปริมาณสารจำพวกกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่ได้ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าของ [6, 12] ที่มีการรายงานเกี่ยวกับปัจจัยดังกล่าว โดยสะท้อนให้เห็นว่าปริมาณสารทุติย-ภูมิจำพวกกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่เป็นสารประกอบโพลีฟีนอลนั้นมักได้ปริมาณสารที่สูงกว่าสารทุติยภูมิจำพวกกลุ่มฟีนอลิกเมื่อใช้ตัวทำละลายที่เป็นแอลกอฮอล์แม้จะมีวิธีการสกัดที่ต่างกัน แต่สารสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์อาจจะมีสารจำพวกฟีนอลิกละลายออกมาได้มากกว่าสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ดังรายงานการศึกษาของ [3] ที่พบว่าสารกลุ่มในฟีนอลิกนั้นมีปริมาณค่อนข้างสูงและครอบคลุม เนื่องจากสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์นั้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่พืชสร้างขึ้นส่งผลทำให้สารจำพวกกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมดมากกว่าสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของทั้งสองตัวทำละลาย

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างสารสกัดของพืชทั้ง 3 ชนิด และผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ TPC และ TFC โดยใช้วิธีการสกัดด้วยน้ำกลั่นและเมทานอล

ตัวอย่างพืช	การสกัดด้วยน้ำกลั่น (DI water)		การสกัดด้วยเมทานอล (MeOH)	
	TPC (mg GAE/g DW)	TFC (mg QE/g DW)	TPC (mg GAE/g DW)	TFC (mg QE/g DW)
Bouea oppositifolia (Roxb.) Meisn. leaves extract ; BOLE	10.04±0.26	9.26±0.51	18.96±0.31	33.4±0.26
Mangifera Indica L. leaves extract ; MILE	48.55±0.60	73.37±1.55	22.88±1.47	148.47±7.96
Anacardium occidentale L. leaves extract ; AOLE	34.27±2.32	5.54±1.23	27.35±1.39	14.89±1.00

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาปริมาณสารสำคัญจากสารสกัดใบพืชในวงศ์ Anacardiaceae ทั้ง 3 ชนิด เพื่อให้ได้ปริมาณสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวม พบว่าสารสกัดจากใบมะม่วง (*Mangifera indica* L.) มีปริมาณสารประกอบทุติยภูมิจำพวกฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์สูงสุด โดยระบบตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัดสารจำพวกฟลาโวนอยด์คือ เมทานอล เนื่องจากมี

ปริมาณมากกว่าถึงประมาณ 2 เท่าเมื่อเทียบกับตัวทำละลายที่เป็นน้ำกลั่น ในขณะที่น้ำกลั่นเหมาะสมในการสกัดสารฟีนอลิกบางชนิดมากกว่าตัวทำละลายเมทานอลมากกว่าประมาณ 2 เท่าเช่นกัน ซึ่งจากผลการศึกษาดังกล่าวสามารถนำข้อมูลไปศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดและการหาปริมาณสารสำคัญของสารอื่น ๆ หรือการเลือกพืชในการนำไปใช้ เพื่อศึกษาแนวโน้มของสารสกัดจากพืชให้ได้ปริมาณสารสำคัญที่สูงและเหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาต่อยอดในทางด้านอุตสาหกรรมทางการแพทย์และด้านเครื่องสำอางต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

[1] Abdul Rahim, N. F., Muhammad, N., & Abdullah, N. (2022). Optimum extraction condition of *Anacardium occidentale* on antiurolithiatic activities (in-vitro). *Sains Malaysiana*, 51(4), 1099-1109. https://doi.org/10.17576/jsm-2022-5104-12

[2] Aryal, S., Baniya, M. K., Danekhu, K., Kunwar, P., Gurung, R., & Koirala, N. (2019). Total Phenolic Content, Flavonoid Content and Antioxidant Potential of Wild Vegetables from Western Nepal. *Plants (Basel, Switzerland)*, *8*(4), 96. https://doi.org/10.3390/plants8040096

[3] Houngbeme, A. G., Barry, M. S., Olaye, T., Soumah, F. S., Dioukhane, K., Bah, F., Sylla, M. S., Dogocher, A., Sow, T. D., Tounkara, S., & Gbaguidi, F. A. (2025). Phytochemical and pharmacognostic characterization of two plants used in West Africa for the alternative management of stomatological infections. *International Journal of Pharmacognosy*, 12(6), 522-533. https://doi.org/10.21276/ijp.2025.12.6.10

[4] Islam, M. A., Kuddus, A., Hossain, M. K., & Rashid, M. A. (2025). Pharmacological Potential of *Bouea oppositifolia* (Roxb.) Adelb. Leaves: Antioxidant, Antimicrobial and Membrane-Stabilizing Properties. *Bangladesh Pharmaceutical Journal*, 28(2), 203–213. https://doi.org/10.3329/bpj.v28i2.83233

[5] Islam, M., Mannan, M., Kabir, M., Islam, A., & Olival, K. (2011). Analgesic, anti-inflammatory and antimicrobial effects of ethanol extracts of mango leaves. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 8(2), 239–244. https://doi.org/10.3329/jbau.v8i2.7932

[6] Khajehei, F., Niakousari, M., Seidi Damyeh, M., Merkt, N., Claupein, W., & Graeff-Hoenninger, S. (2017). Impact of Ohmic-Assisted Decoction on Bioactive Components Extracted from Yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp.) Leaves: Comparison with Conventional Decoction. *Molecules*, 22(12), 2043. https://doi.org/10.3390/molecules22122043

[7] Khongkarat, P., Phuwapraisirisan, P., & Chanchao, C. (2022). Phytochemical content, especially spermidine derivatives, presenting antioxidant and antilipoxygenase activities in Thai bee pollens. *PeerJ*, *10*, e13506. https://doi.org/10.7717/peerj.13506

[8] Kumar, M., Saurabh, V., Tomar, M., Hasan, M., Changan, S., Sasi, M., Maheshwari, C., Prajapati, U., Singh, S., Prajapat, R. K., Dhumal, S., Punia, S., Amarowicz, R., & Mekhemar, M. (2021). Mango (*Mangifera indica* L.) Leaves: Nutritional Composition, Phytochemical Profile, and Health-Promoting Bioactivities. *Antioxidants*, 10(2), 299. https://doi.org/10.3390/antiox10020299

[9] Lamkhwan, N., Sriraksa, A., Sinakkharanan, N., Jutiviboonsuk, A., Yanasob, S., Sawasdee, K., & Seekhaw, P. (2026). Phytochemical screening, total phenolic and flavonoid contents, antioxidant, tyrosinase inhibitory, and HaCaT cell cytotoxic activities of leaf extracts from Bouea oppositifolia (Roxb.) Meisn. *Journal of Food Health and Bioenvironmental Science*, 19(1), 1–14. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/sdust/article/view/268270

[10] Nguyen, N. H., Nguyen, T. T., Ma, P. C., Ta, Q. T. H., Duong, T.-H., & Vo, V. G. (2020). Potential Antimicrobial and Anticancer Activities of an Ethanol Extract from *Bouea macrophylla*. *Molecules*, 25(8), 1996. https://doi.org/10.3390/molecules25081996

[11] Souza, N. C., de Oliveira, J. M., Morrone, M. D. S., Albanus, R. D., Amarante, M. D. S. M., Camillo, C. D. S., Langassner, S. M. Z., Gelain, D. P., Moreira, J. C. F., Dalmolin, R. J. S., & Pasquali, M. A. B. (2017). Antioxidant and Anti-Inflammatory

Properties of *Anacardium occidentale* Leaf Extract. *Evidence-based complementary and alternative medicine : eCAM*, 2017, 2787308. https://doi.org/10.1155/2017/2787308

[12] Tu, T. K., & Pham Thi, H. H. (2024). Optimizing the extraction parameters of phenolics and flavonoids from *Bouea macrophylla* Griff leaves using ultrasound-assisted extraction and evaluating their antioxidant abilities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1340(1), Article 012018. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1340/1/012018

การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพืชวงศ์มะม่วง

เพ็ญพิลาส ประกอบปราณ[1], สมฤทัย สุขีเกตุ[1], พิมพ์วลัญช์ กิตติไกวัล[2], กมลลักษณ์ ธิติกุลประเสริฐ[3], วรรณิษา เอี่ยมสอาด[4], โสภณวิชญ์ จงเจริญยานนท์[5], พิมพ์ญาฎา จินดาโชตสิริ[6], เมธัส รุจิธานนท์[7], รพิรัตน์ พิพิธพัฒนากร[8], และ สมาน แก้วไวยุทธ[9*]

[1]ปั้นหมอ อะคาเดมี จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[2]โรงเรียนมาแตร์เดอีวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[3]โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี ประเทศไทย
[4]โรงเรียนบัณฑิตศึกษาลัย จังหวัดพิจิตร ประเทศไทย
[5]โรงเรียนเลิร์นสาธิตพัฒนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[6]โรงเรียนสาธิตนานาชาติมหาวิทยาลัยมหิดล จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย
[7]โรงเรียนอัสสัมชัญ บางรัก จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[8]โรงเรียนสาธิตนานาชาติมหาวิทยาลัยมหิดล จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย
[9]คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
**Corresponding author: fscismk@gmail.com*

บทคัดย่อ

โดยปกติแล้วใบพืชแห้งภายในพื้นที่เกษตรกรรมมักถูกทิ้งให้เป็นขยะชีวมวลหรือนำไปใช้เพื่อการผลิตปุ๋ยหมักเท่านั้น ซึ่งถือเป็นการใช้ประโยชน์ที่ยังไม่เต็มประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่เศษวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวเพื่อประเมินศักยภาพในการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้นในอนาคต การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบพืช 3 ชนิด ได้แก่ มะยงชิด (*Bouea oppositifolia* (Roxb.) Meisn.), มะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale* L.) และมะม่วง (*Mangifera indica*) โดยใช้ตัวทำละลายน้ำและเมทานอล สกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทดสอบฤทธิ์ด้วยวิธี DPPH และ ABTS radical scavenging assays

ผลการทดลองพบว่า ตัวทำละลายเมทานอลมีประสิทธิภาพในการสกัดสารออกฤทธิ์สูงกว่าน้ำอย่างมีนัยสำคัญในพืชทุกชนิด ในการทดสอบวิธี DPPH สารสกัดเมทานอลของใบมะยงชิดมีฤทธิ์สูงสุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.0160 µg/ml ขณะที่สารสกัดน้ำของใบมะม่วงหิมพานต์โดดเด่นที่สุดในกลุ่มสกัดน้ำมีค่าการยับยั้ง 81.88% สำหรับการทดสอบวิธี ABTS พบว่าสารสกัดเมทานอลและน้ำจากใบมะม่วงหิมพานต์ มีค่า IC_{50} ต่ำที่สุด (0.0145 และ 0.0269 µg/ml ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่าใบมะม่วงหิมพานต์มีสารสำคัญที่ละลายน้ำได้ดี และมีประสิทธิภาพสูงใกล้เคียงกับเมทานอล สรุปได้ว่าใบพืชทั้ง 3 ชนิด โดยเฉพาะใบมะม่วงหิมพานต์ มีศักยภาพสูงในการพัฒนาเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติสำหรับอุตสาหกรรมสุขภาพต่อไป

คำสำคัญ: พืชวงศ์มะม่วง / ดีพีพีเอช / เอบีทีเอส / อนุมูลอิสระ / ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Evaluation of antioxidant activity of Anacardiaceae plant extracts

Penpilas Prakobpran[1], Somruethai Sukeekate[1], Pimwalan Kittikaiwan[2], Kamonlak Thitikulprasroeth[3], Wannisa Aimsaard[4], Soponwit Jongjaroenyanon[5], Pimyada Jindachotsiri[6], Metas Rujithanon[7], Rapirat Pipitpattanakorn[8], and Smarn Kaewviyudth[9]*

[1]Punmor Academy, Bangkok, Thailand
[2]Mater Dei School, Bangkok, Thailand
[3]Triamudomsuksapattanakarn Nonthaburi School, Nonthaburi, Thailand
[4]Bundhitsuksalai School, Phichit, Thailand
[5]Learn Satit Pattana School, Bangkok, Thailand
[6]Mahidol University International Demonstration School, Nakhon Pathom, Thailand
[7]Assumption College, Bangkok, Thailand
[8]Mahidol University International Demonstration School, Nakhon Pathom, Thailand
[9]Faculty of Science, Kasetsart University, Thailand
**Corresponding author: fscismk@gmail.com*

Abstract

Dry agricultural leaves are typically discarded as biomass or underutilized as compost. This study aims to enhance the value of such waste by evaluating the antioxidant potential of plants in the Anacardiaceae family for future high-value product development. This study aimed to compare the antioxidant activities of leaf extracts from three plant species: *Bouea oppositifolia* (Roxb.) Meisn., *Anacardium occidentale* L., and *Mangifera indica*. Extractions were performed using water and methanol at 60°C for 1 hour. The antioxidant potential was evaluated using DPPH and ABTS radical scavenging assays.

The results demonstrated that methanol was significantly more effective than water in extracting bioactive compounds across all species. In the DPPH assay, the methanolic extract of *B. oppositifolia* exhibited the highest potency with an IC_{50} of 0.0160 µg/ml. Conversely, the aqueous extract of *A. occidentale* showed superior performance among water-based extracts, achieving 81.88% inhibition. For the ABTS assay, *A. occidentale* extracts (both methanol and water) yielded the lowest IC_{50} values at 0.0145 and 0.0269 µg/ml, respectively. This indicates that *A. occidentale* leaves contain highly potent water-soluble antioxidants comparable to those extracted by methanol. In conclusion, all three species, particularly *A. occidentale*, demonstrate significant potential as natural antioxidant sources for health-related industrial applications.

Keywords: Anacardiaceae family / DPPH / ABTS / Radical / Antioxidant activity

1. บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคหันมาให้ความสำคัญกับการดูแลสุขภาพและการป้องกันโรคเชิงรุกมากขึ้น โดยเฉพาะกลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-communicable diseases; NCDs) เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคมะเร็ง และโรคเบาหวาน ซึ่งมีสาเหตุสำคัญมาจากภาวะเครียดออกซิเดชัน (Oxidative Stress) ภาวะดังกล่าวเกิดจากความไม่สมดุลระหว่างการสร้างอนุมูลอิสระ (Free Radicals) และความสามารถของระบบต้านอนุมูลอิสระภายในร่างกาย โดยอนุมูลอิสระเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรเนื่องจากมีอิเล็กตรอนเดี่ยว จึงมีความไวสูงในการเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลสำคัญในเซลล์ เช่น โปรตีน ลิพิด และสารพันธุกรรม (DNA) ส่งผลให้เซลล์เกิดความเสียหายและนำไปสู่ความเสื่อมสภาพของอวัยวะต่างๆ

แม้ว่าร่างกายจะสามารถสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระได้เอง แต่ปัจจัยภายนอกในวิถีชีวิตปัจจุบัน ทั้งมลพิษทางอากาศ รังสีอัลตราไวโอเลต และความเครียดสะสม เป็นตัวเร่งให้เกิดอนุมูลอิสระเกินขีดความสามารถที่ร่างกายจะกำจัดได้ การได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากแหล่งธรรมชาติ โดยเฉพาะพฤกษเคมีกลุ่มสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compounds) และฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) จึงเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยลดความเสี่ยงดังกล่าว [1, 2] ซึ่งพืชในวงศ์มะม่วง (Anacardiaceae) เป็นพืชเศรษฐกิจที่พบได้แพร่หลายในประเทศไทย เช่น มะม่วง (*Mangifera indica*) มะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale* L.) และมะยงชิด (*Bouea oppositifolia* (Roxb.) Meisn.) ซึ่งมีรายงานว่าพืชในวงศ์มะม่วงอุดมไปด้วยสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารฟีนอล ฟลาโวนอยด์ สเตียรอยด์ แอนทราควิโนน ไดเทอร์พีน ไตรเทอร์พีน และแทนนิน แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง [3]

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบพืชแห้งในวงศ์มะม่วง 3 ชนิด ด้วยวิธี DPPH และ ABTS เพื่อสร้างฐานข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์และเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสู่การพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหรือผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

1.เพื่อศึกษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดใบพืชวงศ์มะม่วงด้วยตัวทำละลายน้ำ และเมทานอลด้วยวิธี DPPH และ ABTS

2. เพื่อศึกษาวิธีการสกัดพืชด้วยด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม
3. เพื่อเป็นแนวทางใช้ประโยชน์ และเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. สกัดสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากใบพืชวงศ์มะม่วงด้วยตัวทำละลายต่างชนิด
2. ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดใบพืชวงศ์มะม่วงด้วยวิธี DPPH และ ABTS

4. วิธีการศึกษา

4.1 การเตรียมตัวอย่างพืช

เก็บรวบรวมใบพืชวงศ์มะม่วง ได้แก่ มะยงชิด (*Bouea oppositifolia* (Roxb.) Meisn.), มะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale*. L.) และมะม่วง (*Mangifera Indica*) ที่เป็นใบแห้งร่วงหล่นใต้ต้นมาล้างทำความสะอาดเอาสิ่งสกปรกออก ผึ่งให้แห้งสนิทในที่อากาศถ่ายเทสะดวก หลังจากนั้นนำไปบดเป็นผงด้วยเครื่องปั่นแล้วใส่ถุงซิปเพื่อนำไปใช้ในการสกัด

4.2 การสกัดตัวอย่างพืช

การสกัดตัวอย่างจากพืชดัดแปลงวิธีสกัดจาก Houngbeme และคณะ [4] นำผงใบพืชแต่ละชนิดมาสกัดด้วยน้ำ และเมทานอลที่ความเข้มข้น 99.7 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วน 1:20 (บันทึกน้ำหนักพืชแต่ละชนิดที่ใช้ในการสกัด และปริมาณตัวทำละลายที่ใช้) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองสารสกัดที่ได้ด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 บันทึกน้ำหนักสารสกัดที่ได้ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

4.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 1, 1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging [5]

ทำการเจือจางสารสกัดพืชแต่ละชนิดด้วยวิธี serial dilution ที่ความเข้มข้น 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, 1:128, 1:256, 1:512 และ 1:1024 (sample : solvent) ด้วยตัวทำละลายชนิดเดียวกันกับสารสกัด จากนั้นนำสารสกัดใบพืชแต่ละชนิดที่เจือจางแล้ว ปริมาตร 20 µL ผสมกับ 0.15 mM DPPH ปริมาตร 80 µL เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (control) ซึ่งใส่เป็นตัวทำละลายชนิดเดียวกันกับสารสกัดปริมาตร 20 µL แทนสารสกัดลงในไมโครเพลท ทิ้งไว้ที่มืดในอุณหภูมิห้องนาน 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตรด้วยเครื่อง Microplate Reader (Tecan Spark™ 10M) เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Ascorbic acid นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูล DPPH (%Inhibition) จากสูตร

$$\% \text{ Inhibition} = [(A_{control} - A_{sample})/A_{control}] \times 100$$

$A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวทำละลายและ DPPH

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดและ DPPH

จากนั้นหาค่า IC_{50} (ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งอนุมูล DPPH ได้ 50%) จากกราฟระหว่าง % Inhibition กับความเข้มข้นของสารสกัด

4.4 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2, 2-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) cation radical scavenging assay: (ABTS assay) [5]

เตรียม ABTS stock solution โดยนำ 7 mM ABTS ผสมกับ 2.45 mM potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) ในอัตราส่วน 1:1 ตั้งทิ้งไว้อุณหภูมิห้องในที่มืด 12-16 ชั่วโมง นำ ABTS stock solution มาเจือจางด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ให้อยู่ในช่วง 0.7±0.2

ทำการเจือจางสารสกัดพืชแต่ละชนิดด้วยวิธี serial dilution ที่ความเข้มข้น 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, 1:128, 1:256, 1:512 และ 1:1024 (sample : solvent) ด้วยตัวทำละลายชนิดเดียวกันกับสารสกัด จากนั้นนำสารสกัดพืชแต่ละชนิดที่เจือจางแล้ว ปริมาตร 20 µL ผสมกับสารละลาย ABTS ที่เจือจางแล้ว ปริมาตร 180 µL เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (control) ซึ่งใส่เป็นตัวทำละลายชนิดเดียวกันกับสารสกัด 20 µL แทนสารสกัดลงในไมโครเพลท แล้วทิ้งไว้ที่มืดในอุณหภูมิห้องนาน 6 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตรด้วยเครื่อง Microplate Reader (Tecan Spark™ 10M) เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Trolox นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS (% Inhibition) จากสูตร

$$\% \text{ Inhibition} = [(A_{control} - A_{sample})/A_{control}] \times 100$$

$A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวทำละลายและ ABTS

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดและ ABTS

จากนั้นหาค่า IC_{50} (ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถต้านอนุมูลอิสระ ABTS ได้ 50%) จากกราฟระหว่าง % Inhibition กับความเข้มข้นของสารสกัด

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Assay ของสารสกัดใบพืช 3 ชนิด ได้แก่ มะยงชิด (*Bouea oppositifolia* (Roxb.)Meisn.), มะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale.* L.) และมะม่วง (*Mangifera Indica*) ที่สกัดด้วยน้ำและเมทานอล ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าตัวทำละลายเมทานอล (MeOH) มีประสิทธิภาพในการสกัดสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้สูงกว่าการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายอย่างมีนัยสำคัญในพืชทุกชนิด โดยเฉพาะในกลุ่มที่ระดับความเจือจางสูง สารสกัดด้วยเมทานอลยังคงรักษาค่าการยับยั้ง (% Inhibition) ได้ดีกว่า (ดังตารางที่ 1) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Do และคณะ (2014) ที่ระบุว่าตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้ว เช่น เมทานอลและเอทานอล สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ได้ดีกว่าน้ำ [6] เนื่องจากมีค่าความต่างศักย์ในการละลายสารพฤกษเคมีที่กว้างกว่า เมื่อพิจารณาจากค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) พบว่าสารสกัดจากเมทานอลของพืชทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน โดยมีลำดับความแรงของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุดไปยังน้อยสุด ได้แก่ ใบมะยงชิด (BO), ใบมะม่วง (MI) และใบมะม่วงหิมพานต์ (AO) ซึ่งมีค่า IC_{50} 0.0160, 0.0166 และ 0.0185 µg/ml ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ในส่วนของสารสกัดด้วยน้ำ (Water Extract) พบว่าสารสกัดน้ำจากใบมะม่วงหิมพานต์ (AO) มีฤทธิ์โดดเด่นที่สุด โดยมีค่า % Inhibition สูงถึง 81.88±0.001% ที่ความเจือจาง 1:2 ซึ่งสูงกว่าสารสกัดน้ำของใบมะม่วงและมะยงชิดในช่วงความเข้มข้นเดียวกันอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Andarwulan และคณะ (2012) รายงานว่าสารสกัดจากใบมะม่วงหิมพานต์มีปริมาณสารในกลุ่ม flavonoids ได้แก่ quercetin, kaempferol และ myricetin โดยเฉพาะ quercetin คิดเป็นร้อยละ 87 ของ flavonoids ทั้งหมด [7] และงานวิจัยของ Kongkachuichai และคณะ (2015) ได้ศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระจากผักพื้นบ้านภาคใต้พบว่า ยอดมะม่วงหิมพานต์มีปริมาณสารฟีนอลิกสูงกว่าผักพื้นบ้านชนิดอื่นๆ [8] ซึ่งค่าปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์โดยรวมที่สูงขึ้นมักมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งโดยทั่วไปจะบริจาคอะตอมไฮโดรเจนให้กับอนุมูลอิสระเพื่อทำให้เสถียร [9]

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบพืช 3 ชนิดจากตัวทำละลายน้ำและเมทานอล ด้วยวิธี DPPH Assay

ชนิดพืช (Plant Species)	ตัวทำละลาย (Solvent)	% Inhibition (at 1:2 dilution)	AEAC[1] (µg/ml Ascorbic acid)	IC_{50}[2] (µg/ml)
มะยงชิด (BO)	water	73.48±0.007	9.96±0.002	0.1334
	Methanol	83.95±0.001	8.44±0.001	0.0160
มะม่วงหิมพานต์ (AO)	water	81.88±0.001	10.21±0.003	0.0227
	Methanol	84.24±0.001	9.31±0.003	0.0185
มะม่วง (MI)	water	79.56±0.002	10.86±0.005	0.0282
	Methanol	84.24±0.001	9.31±0.002	0.0166

[1] AEAC : Ascorbic acid Equivalent Antioxidant Capacity (คำนวณจากค่าเฉลี่ยที่ความเข้มข้นสารสกัดสูงสุด)

[2] IC_{50} : ความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (คำนวณโดย Linear Regression Analysis)

ในส่วนการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS assay ของสารสกัดใบพืช 3 ชนิดด้วยตัวทำละลายน้ำและเมทานอล พบว่าทุกตัวทำละลายในพืชทั้ง 3 ชนิดมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง เมื่อพิจารณาจากค่า IC_{50} พบว่าสารสกัดจากเมทานอลและน้ำของใบมะม่วงหิมพานต์มีค่า IC_{50} ต่ำสุดคือ 0.0145 และ 0.0269 µg/ml รองลงมาคือใบมะยงชิด 0.0147 และ 0.0564 µg/ml และใบมะม่วง 0.0170 และ 0.0792 µg/ml ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ซึ่งค่า IC_{50} ยิ่งต่ำแสดงว่าสารสกัดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง แสดงให้เห็นว่าสารสำคัญในใบมะม่วงหิมพานต์มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีและยังมีฤทธิ์สูงใกล้เคียงกับการใช้ตัวทำละลายเมทานอล นอกจากนี้ สารประกอบโพลีฟีนอลส่วนใหญ่ที่พบในธรรมชาติมีหมู่ฟังก์ชันซึ่งเป็นสารประกอบที่ชอบน้ำและสามารถสกัดได้ง่ายในตัวทำละลายที่มีขั้วสูงอีกด้วย [10]

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบพืช 3 ชนิดจากตัวทำละลายน้ำและเมทานอล ด้วยวิธี ABTS Assay

ชนิดพืช (Plant Species)	ตัวทำละลาย (Solvent)	% Inhibition (at 1:2 dilution)	TEAC[1] (µg/ml Trolox)	IC_{50}[2] (µg/ml)
มะยงชิด (BO)	water	94.31±0.001	9.81±0.001	0.0564
	Methanol	95.29±0.001	8.41±0.001	0.0147
มะม่วงหิมพานต์ (AO)	water	96.10±0.001	9.34±0.001	0.0269
	Methanol	95.65±0.000	9.29±0.000	0.0145
มะม่วง (MI)	water	94.36±0.001	9.98±0.003	0.0792
	Methanol	95.45±0.003	9.27±0.001	0.0170

[1] TEAC : Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (คำนวณจากค่าเฉลี่ยที่ความเข้มข้นสารสกัดสูงสุด)

[2] IC_{50} : ความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (คำนวณโดย Linear Regression Analysis)

6. สรุปผลการศึกษา

ตัวทำละลายเมทานอล (MeOH) มีประสิทธิภาพในการสกัดสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้สูงกว่าตัวทำละลายน้ำในการสกัดพืชทุกชนิดอย่างมีนัยสำคัญ โดยสารสกัดด้วยเมทานอลสามารถรักษาค่าการยับยั้ง (% Inhibition) ได้ดีแม้ในระดับความเจือจางสูง สอดคล้องกับคุณสมบัติของเมทานอลที่เป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้ว ซึ่งสามารถสกัดสารกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ได้กว้างและมีประสิทธิภาพมากกว่าน้ำ เมื่อนำสารสกัดพืชมาทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH Assay สารสกัดเมทานอลของพืชทั้ง 3 ชนิดมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน โดยมีลำดับความแรงของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (พิจารณาจากค่า IC_{50}) จากมากไปน้อยคือ ใบมะยงชิด (0.0160 µg/ml), ใบมะม่วง (0.0166 µg/ml) และใบมะม่วงหิมพานต์ (0.0185 µg/ml) อย่างไรก็ตาม สำหรับการสกัดด้วยน้ำ ใบมะม่วงหิมพานต์แสดงฤทธิ์โดดเด่นที่สุดด้วยค่าการยับยั้งสูงถึง 81.88±0.001% ที่ระดับการเจือจาง 1:2 ซึ่งสูงกว่าพืชชนิดอื่นอย่างชัดเจน เมื่อทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS Assay ผลการทดสอบสอดคล้องกับวิธี DPPH คือ สารสกัดเมทานอลและน้ำจากใบมะม่วงหิมพานต์ มีค่า IC_{50} ต่ำที่สุด (0.0145 และ 0.0269 µg/ml ตามลำดับ) แสดงให้เห็นว่าสารสำคัญในใบมะม่วงหิมพานต์มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีและมีประสิทธิภาพสูงใกล้เคียงกับเมทานอล รองลงมาคือใบมะยงชิดและใบมะม่วง ตามลำดับ จากผลการศึกษานี้จึงเป็นข้อมูลพื้นฐานสำคัญในการนำใบพืชแห้งที่เป็นขยะเหลือทิ้งจากการเกษตรดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสุขภาพและเครื่องสำอางให้เกิดมูลค่าต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., & Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*, *20*(7), 933-956.

[2] Topcu, G., & Ertas, A. (2007). Antioxidant activity tests on novel triterpenoids from *Salvia macrochlamys*. *ARKIVOC*, *2007*(7), 195-208.

[3] Lamkhwan, N., Sriraksa, A., Sinakkharanan, N., Jutiviboonsuk, A., Yanaso, S., Sawasdee, K., & Seekhaw, P. (2025). Phytochemical screening, total phenolic and flavonoid contents, antioxidant, tyrosinase inhibitory, and HaCaT cell cytotoxic activities of leaf extracts from *Bouea oppositifolia* (Roxb.) Meisn. *Thai Science and Technology Journal*, *33*(2).

[4] Houngbeme, A. G., Barry, M. S., Olaye, T., Soumah, F. S., Dioukhane, K., Bah, F., Sylla, M. S., Dogocher, A., Sow, T. D., Tounkara, S., & Gbaguidi, F. A. (2025). Phytochemical and pharmacognostic characterization of two plants used in West Africa for the alternative management of stomatological infections. *International Journal of Pharmacognosy*, 12(6), 522-533. https://doi.org/10.21276/ijp.2025.12.6.10

[5] Khongkarat, P., Phuwapraisirisan, P., & Chanchao, C. (2022). Phytochemical content, especially spermidine derivatives, presenting antioxidant and antilipoxygenase activities in Thai bee pollens. *PeerJ*, *10*, e13506.

[6] Do, Q. D., Angkawijaya, A. E., Tran-Nguyen, P. L., Huynh, L. H., Soetaredjo, F. E., Ismadji, S., & Ju, Y. H. (2014). Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatica*. *Journal of Food and Drug Analysis*, *22*(3), 296-302.

[7] Andarwulan, N., Kurniasih, D., Apriady, R. A., Rahmat, H., Roto, A. V., & Bolling, B. W. (2012). Polyphenols, carotenoids, and ascorbic acid in underutilized medicinal vegetables. *Journal of Functional Foods*, *4*(1), 339-347.

[8] Kongkachuichai, R., Chareonsiri, R., Yakoh, K., Kringkasemsee, A., & Insung, P. (2015). Nutrients value and antioxidant content of indigenous vegetables from southern Thailand. *Food Chemistry*, *173*, 838-846.

[9] Fathi Hafshejani, S., Lotfi, S., Rezvannejad, E., Mortazavi, M., & Riahi-Madvar, A. (2023). Correlation between total phenolic and flavonoid contents and biological activities of 12 ethanolic extracts of Iranian propolis. *Food Science & Nutrition*, *11*(7), 4308-4325.

[10] Jaengklang, C., Muangman, T., Pathtubtim, I., & Jaroennon, P. (2024). Development of dosage form of Ya Kae Fok Buam Mueai Khop, a Thai traditional formula, and its phytochemical contents and anti-inflammatory activity. *Journal of Food Health and Bioenvironmental Science*, *17*(2), 33-43.

การวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลจากพืชในวงศ์มะม่วง

เพ็ญพิลาส ประกอบปราณ[1], สมฤทัย สุขีเกตุ[1], ณัฏฐกฤษฎิ์ ยศรุ่งเรือง[2], ธรรศ เลิศเกษมฤทัย[3], ตรีวุฒิ วงค์นิ่ม[4], พัฐชญาณ์ วงศ์วรการ[5], ภคิน เอารัตน์[6], นินูรอัลฟีร่า รัศมิมานโชติวงศ์[7], ปภาวิน ทฤษณาวดี[8], บุรพล ยามวินิจ[9], และ สมาน แก้วไวยุทธ[10*]

[1]ปั้นหมอ อะคาเดมี จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[2] โรงเรียนปัณณวิชญ์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ประเทศไทย
[3] The Newton Sixth Form School จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[4] โรงเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยทักษิณ ฝ่ายมัธยม จังหวัดพัทลุง ประเทศไทย
[5] International School Bangkok จังหวัดนนทบุรี ประเทศไทย
[6] Bangkok International Preparatory and Secondary School จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[7] โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (ฝ่ายมัธยมศึกษา) จังหวัดสงขลา ประเทศไทย
[8] โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[9] โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รังสิต จังหวัดปทุมธานี ประเทศไทย
[10] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[*] Corresponding author: fscismk@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยนำใบพืชแห้งจากวงศ์มะม่วง (Anacardiaceae) ไปศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระของพืชวงศ์มะม่วง ได้แก่ ใบมะยงชิด ใบมะม่วง และใบมะม่วงหิมพานต์ นำไปสกัดด้วยการหมักในตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 50 และ 70% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH radical scavenging และ ABTS cation radical scavenging

จากการศึกษาพบว่าสารสกัดจากใบพืชทุกชนิดมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น (Dose-dependent manner) ในส่วนสารสกัดที่ระดับการเจือจางสูงสุด (1:2) สารสกัดทุกชนิดแสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งได้สูงกว่า 80% สำหรับวิธี DPPH และสูงกว่า 95% สำหรับวิธี ABTS เมื่อพิจารณาค่า IC_{50} (Half maximal inhibitory concentration) พบว่า สารสกัดใบมะยงชิด (BO) ด้วยตัวทำละลาย 70% เอทานอล มีประสิทธิภาพสูงสุดในทั้งสองการทดสอบ โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.0069 µg/ml (DPPH) และ 0.0124 µg/ml (ABTS) ซึ่งบ่งชี้ถึงศักยภาพของสารพฤกษเคมีในใบมะยงชิดที่ออกฤทธิ์ได้ดีแม้ในสภาวะที่มีความเข้มข้นต่ำ

คำสำคัญ: พืชวงศ์มะม่วง / ดีพีพีเอช / เอบีทีเอส / ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ / วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

Comparative analysis of ethanolic extracts from anacardiaceae plants for their antioxidant potential

Penpilas Prakobpran[1], Somruethai Sukeekate[1], Natthakrit Yotrungreuang[2], Truss Leardkasemruthai[3], Treewut Wongnim[4], Phatchaya Wongworakan[5], Pakinn Aurat[6], Ninuralfira Rasmimanshotiwon[7], Paphavin Trisanawadee[8], Burapol Yamvinij[9], and Smarn Kaewviyudth[10*]

[1] Punmor Academy, Bangkok, Thailand
[2] Pannawit School, Phra Nakhon Si Ayutthaya, Thailand
[3] The Newton Sixth Form School, Bangkok, Thailand
[4] Thaksin University Demonstration Secondary School, Phatthalung, Thailand
[5] International School Bangkok, Nonthaburi Thailand
[6] Bangkok International Preparatory and Secondary School, Bangkok, Thailand
[7] Demonstration School Prince of Songkla University, Secondary Section, Songkhla, Thailand
[8] Triam Udom Suksa School, Bangkok, Thailand
[9] Suankularbwittayalai Rangsit School, Pathum Thani, Thailand
[10] Faculty of Science, Kasetsart University, Thailand
** Corresponding author: fscismk@gmail.com*

Abstract

This research aimed to add value to agricultural waste by evaluating and comparing the antioxidant potential of dried leaf extracts from three species in the Anacardiaceae family: *Bouea oppositifolia* (Roxb.) Meisn. (Marian Plum), *Mangifera indica* (Mango), and *Anacardium occidentale* L. (Cashew). The leaf samples were extracted by maceration using 50% and 70% ethanol and analyzed using DPPH and ABTS radical scavenging assays.

The results demonstrated that all extracts exhibited antioxidant activity in a dose-dependent manner. At the highest concentration (1:2 dilution), all samples achieved inhibition rates exceeding 80% for the DPPH assay and over 95% for the ABTS assay. When considering the IC_{50} values, the 70% ethanolic extract of *B. oppositifolia (Roxb.) Meisn* displayed the most potent efficiency in both tests, with IC_{50} values of 0.0069 µg/ml for DPPH and 0.0124 µg/ml for ABTS. These high dilution factors signify the significant potential of phytochemicals in Marian plum leaves to remain highly active even at low concentrations.

Keywords: Anacardiaceae family / DPPH / ABTS / Antioxidant activity / Agricultural waste

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ประเทศไทยเผชิญกับความท้าทายในการจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (Agricultural waste) ซึ่งมักถูกทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ การยกระดับมูลค่าของวัสดุเหล่านี้ตามแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนจึงเป็นประเด็นสำคัญ โดยเฉพาะพืชในวงศ์ Anacardiaceae เช่น มะม่วง (*Mangifera indica*), มะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale* L.) และ มะยงชิด (*Bouea oppositifolia* (Roxb.) Meisn.) ซึ่งมีการศึกษายืนยันว่าส่วนใบของพืชกลุ่มนี้อุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพสูง [1, 2]

ในมิติทางสังคมศาสตร์และสาธารณสุข ภาวะเครียดออกซิเดชัน (Oxidative stress) มีความเชื่อมโยงอย่างมีนัยสำคัญกับความเหลื่อมล้ำทางสุขภาพ (Health inequality) ประชากรกลุ่มที่มีสถานะทางเศรษฐกิจและสังคมต่ำมักเผชิญกับข้อจำกัดในการเข้าถึงอาหารที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง (Antioxidant-rich foods) เช่น ผลไม้สดราคาแพง ส่งผลให้เกิดความไม่เท่าเทียมในการป้องกันโรคเรื้อรัง (NCDs) และโรคมะเร็ง [3] การสะสมของอนุมูลอิสระในร่างกายที่ขาดความสมดุลจะเข้าไปทำลายโมเลกุลของเซลล์ นำไปสู่ความเสื่อมสภาพของอวัยวะในระยะยาว

กลไกหลักในการยับยั้งความเสียหายดังกล่าวคือการใช้สารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพในการทำหน้าที่เป็นตัวให้กระบวนการรีดักชัน โดยการจ่ายอิเล็กตรอน (Electron donation) เพื่อทำให้ภาวะของอนุมูลอิสระมีความเสถียร [4] การสกัดสารสำคัญจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีต้นทุนต่ำจึงเป็นแนวทางที่ยั่งยืนในการสร้างโอกาสให้ประชาชนทุกกลุ่มเข้าถึงสารส่งเสริมสุขภาพได้อย่างเท่าเทียม

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระของใบพืชทั้ง 3 ชนิด โดยใช้วิธีการสกัดด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้น 50% และ 70% และนำไปทดสอบฤทธิ์ด้วยวิธี DPPH และ ABTS เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำขยะทางการเกษตรมาสร้างเป็นนวัตกรรมด้านสุขภาพสำหรับทุกคน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดใบพืชวงศ์มะม่วงด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยวิธี DPPH และ ABTS
2. เพื่อเป็นแนวทางใช้ประโยชน์ และเพิ่มมูลค่าจากขยะทางการเกษตรของพืชเศรษฐกิจในประเทศไทย

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. สกัดสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากใบพืชวงศ์มะม่วงด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ
2. ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดใบพืชวงศ์มะม่วงด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยวิธี DPPH และ ABTS

4. วิธีการศึกษา

4.1 การเตรียมตัวอย่างพืช

เก็บรวบรวมใบพืชวงศ์มะม่วง ได้แก่ ใบมะยงชิด (*Bouea oppositifolia* (Roxb.) Meisn.), ใบมะม่วงหิมพานต์*Anacardium occidentale.* L.) และใบมะม่วง (*Mangifera Indica*) ที่เป็นใบแห้งร่วงหล่นใต้ต้นมาล้างทำความสะอาดเอาสิ่งสกปรกออก ผึ่งให้แห้งสนิทในที่อากาศถ่ายเทสะดวก หลังจากนั้นนำไปบดเป็นผงด้วยเครื่องปั่นแล้วใส่ถุงซิปเพื่อนำไปใช้ในการสกัด

4.2 การสกัดตัวอย่างพืช

การสกัดตัวอย่างจากพืชดัดแปลงวิธีสกัดจาก Maneechai และคณะ [5] นำผงใบพืชแห้งแต่ละชนิดมาสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 50 และ 70% ในอัตราส่วน 1:20 (บันทึกน้ำหนักพืชแต่ละชนิดที่ใช้ในการสกัด และปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในแต่ละความเข้มข้น) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นกรองสารสกัดที่ได้ด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 บันทึกน้ำหนักสารสกัดที่ได้ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

4.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 1, 1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical scavenging (DPPH) [6]

ทำการเจือจางสารสกัดใบพืชแต่ละชนิดด้วยวิธี Serial dilution ที่ความเข้มข้น 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, 1:128, 1:256, 1:512 และ 1:1024 (sample : solvent) ด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นเดียวกันกับสารสกัด จากนั้นนำสารสกัดใบพืชแต่ละชนิดที่เจือจางแล้ว ปริมาตร 20 µL ผสมกับ 0.15 mM DPPH ปริมาตร 80 µL เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (control) ซึ่งใส่เอทานอล 20 µL แทนสารสกัดลงในไมโครเพลท แล้วทิ้งไว้ที่มืดในอุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตรด้วยเครื่อง Microplate Reader (Tecan Spark™ 10M) เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Ascorbic acid นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูล DPPH (%Inhibition) จากสูตร

$$\%\text{Inhibition} = [(A_{control} - A_{sample})/A_{control}] \times 100$$

$A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของเอทานอลและ DPPH

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดและ DPPH

จากนั้นหาค่า IC_{50} (ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งอนุมูล DPPH ได้ 50%) จากกราฟระหว่าง %Inhibition กับความเข้มข้นของสารสกัด

4.4 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2, 2-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) cation radical scavenging assay: (ABTS assay) [6]

เตรียม ABTS stock solution โดยนำ 7 mM ABTS ผสมกับ 2.45 mM potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) ในอัตราส่วน 1:1 ตั้งทิ้งไว้อุณหภูมิห้องในที่มืด 12-16 ชั่วโมง นำ ABTS stock solution มาเจือจางด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ให้อยู่ในช่วง 0.7±0.2

ทำการเจือจางสารสกัดใบพืชแต่ละชนิดด้วยวิธี Serial dilution ที่ความเข้มข้น 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, 1:128, 1:256, 1:512 และ 1:1024 (sample : solvent) ด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นเดียวกันกับสารสกัด จากนั้นนำสารสกัดใบพืชแต่ละชนิดที่เจือจางแล้ว ปริมาตร 20 µL ผสมกับสารละลาย ABTS ที่เจือจางแล้ว ปริมาตร 180 µL เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (control) ซึ่งใส่เอทานอล 20 µL แทนสารสกัดลงในไมโครเพลท แล้วทิ้งไว้ที่มืดในอุณหภูมิห้อง นาน 6 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตรด้วยเครื่อง Microplate Reader (Tecan Spark™ 10M) เปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน Trolox นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระ ABTS (%Inhibition) จากสูตร

$$\%\text{Inhibition} = [(A_{control} - A_{sample})/A_{control}] \times 100$$

$A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของเอทานอลและ ABTS

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดและ ABTS

จากนั้นหาค่า IC_{50} (ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถต้านอนุมูลอิสระ ABTS ได้ 50%) จากกราฟระหว่าง %Inhibition กับความเข้มข้นของสารสกัด

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ตารางที่ 1 จากการศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระจากสารสกัดหยาบจากใบพืชแห้งทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ มะยงชิด (*Bouea oppositifolia* (Roxb.) Meisn.), มะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale.* L.) และมะม่วง (*Mangifera Indica*) ด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 50 และ 70% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH radical scavenging และ ABTS cation radical scavenging พบว่าสารสกัดหยาบจากพืชทั้งสามชนิดมีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัด (Dose-dependent manner) โดยที่ระดับความเข้มข้นสูงสุด (ระดับการเจือจางที่ 1:2) สารสกัดทุกชนิดให้ค่าการยับยั้งสูงกว่า 80% ในวิธี DPPH และสูงกว่า 95% ในวิธี ABTS เมื่อพิจารณาค่า IC_{50} (ความเข้มข้นที่ยับยั้งได้ร้อยละ 50) พบว่าสารสกัดหยาบจากใบมะยงชิด (BO) ในตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้น 70% แสดงประสิทธิภาพโดดเด่นที่สุดในทั้งสองการทดสอบ โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.0069 µg/ml ในวิธี DPPH และ 0.0124 µg/ml ในวิธี ABTS ซึ่งค่า IC_{50} ที่ต่ำนี้สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของสารพฤกษเคมีในใบมะยงชิดที่สามารถออกฤทธิ์ได้ดีแม้ในปริมาณน้อย ดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบพืช 3 ชนิด ด้วยวิธี DPPH Assay

ชนิดพืช (Plant Species)	ตัวทำละลาย (Solvent)	%Inhibition (at 1:2 dilution)	AEAC[1] (µg/ml Ascorbic acid)	IC_{50}[2] (µg/ml)
มะยงชิด (BO)	50% เอทานอล	83.54±0.001	9.45±0.12	0.0081
	70% เอทานอล	87.49±0.002	10.24±0.08	0.0069
มะม่วงหิมพานต์ (AO)	50% เอทานอล	80.42±0.002	8.95±0.06	0.0094
	70% เอทานอล	85.11±0.001	8.84±0.11	0.0080
มะม่วง (MI)	50% เอทานอล	81.65±0.001	10.00±0.09	0.0118
	70% เอทานอล	84.85±0.001	10.54±0.07	0.0080

[1] AEAC : Ascorbic acid Equivalent Antioxidant Capacity (คำนวณจากค่าเฉลี่ยที่ความเข้มข้นสารสกัดสูงสุด)

[2] IC_{50} : ความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (คำนวณโดย Linear Regression Analysis)

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระระหว่างวิธี DPPH และ ABTS แสดงให้เห็นว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากวิธี ABTS มีแนวโน้มสูงกว่าวิธี DPPH ในแทบทุกระดับการเจือจาง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Floegel และคณะ (2011) ระบุว่าอนุมูลอิสระ $ABTS^{+}$ สามารถทำปฏิกิริยาได้กับทั้งสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายในน้ำ (Hydrophilic) และละลายในไขมัน (Lipophilic) [7] ในขณะที่ DPPH จะตอบสนองได้ดีกับสารกลุ่มที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์มากกว่า นอกจากนี้สารสกัดจากพืชวงศ์มะม่วง (Anacardiaceae) มักประกอบด้วยสารกลุ่มโพลีฟีนอลและฟลาโวนอยด์ในปริมาณสูง [8] ซึ่งมีกลไกการให้อะตอมไฮโดรเจน (Hydrogen atom transfer) ที่ว่องไวต่อทั้งสองวิธี ดังนั้นความเข้มข้นของเอทานอลที่ 70% จึงให้ผลการสกัดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าความเข้มข้น 50% อย่างมีนัยสำคัญในพืชทุกชนิด โดยเฉพาะในใบมะม่วงหิมพานต์ (AO) ซึ่งให้ค่า IC_{50} ของ ABTS ดีขึ้นจาก 0.0105 (ในตัวทำละลาย 50% เอทานอล) เป็น 0.0085 (ในตัวทำละลาย 70% เอทานอล) จากการศึกษาพิสูจน์ว่าเอทานอลมีประสิทธิภาพสูงในการสกัดสารประกอบฟีนอล เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่

นิยมใช้ในการสกัดสารประกอบต้านอนุมูลอิสระเป็นหลัก เนื่องจากมีความเป็นพิษต่ำกว่า [9] นอกจากนี้ มีรายงานระบุว่าการใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำและเอทานอล มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด เนื่องจากเนื้อเยื่อพืชเกิดการบวมตัวได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับตัวทำละลายประเภทโปรติก (Protic solvent) ส่งผลให้โครงสร้างโปรตีนของพืช เช่น ผนังเซลล์ เกิดการสูญเสียสภาพ (Denatured) และคลายตัวออกโดยฤทธิ์ของเอทานอล ซึ่งกระบวนการดังกล่าวช่วยส่งเสริมให้โมเลกุลของตัวทำละลายสามารถแทรกซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชได้ดียิ่งขึ้น [10]

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบพืช 3 ชนิด ด้วยวิธี ABTS Assay

ชนิดพืช (Plant Species)	ตัวทำละลาย (Solvent)	%Inhibition (at 1:2 dilution)	TEAC[1] (μg/ml Trolox)	IC_{50}[2] (μg/ml)
มะยงชิด (BO)	50% เอทานอล	95.29±0.01	8.41±0.05	0.0095
	70% เอทานอล	96.14±0.01	8.84±0.05	0.0124
มะม่วงหิมพานต์ (AO)	50% เอทานอล	95.34±0.01	8.25±0.05	0.0105
	70% เอทานอล	95.93±0.01	7.80±0.05	0.0085
มะม่วง (MI)	50% เอทานอล	95.29±0.01	9.08±0.05	0.0098
	70% เอทานอล	95.48±0.01	9.27±0.05	0.0093

[1] TEAC : Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (คำนวณจากค่าเฉลี่ยที่ความเข้มข้นสารสกัดสูงสุด)

[2] IC_{50} : ความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (คำนวณโดย Linear Regression Analysis)

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากใบพืชแห้ง 3 ชนิด ได้แก่ มะยงชิด (*Bouea oppositifolia* (Roxb.) Meisn.), มะม่วงหิมพานต์ (*Anacardium occidentale* L.) และ มะม่วง (*Mangifera indica*) โดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้น 50% และ 70% พบว่าสารสกัดจากใบพืชทุกชนิดมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น (Dose-dependent manner) ในส่วนสารสกัดที่ระดับการเจือจางสูงสุด (1:2) สารสกัดทุกชนิดแสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งได้สูงกว่า 80% สำหรับวิธี DPPH และสูงกว่า 95% สำหรับวิธี ABTS เมื่อพิจารณาค่า IC_{50} (Half maximal inhibitory concentration) พบว่า สารสกัดใบมะยงชิด (BO) ด้วยตัวทำละลาย 70% เอทานอล มีประสิทธิภาพสูงสุดในทั้งสองการทดสอบ โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.0069 μg/ml (DPPH) และ 0.0124 μg/ml (ABTS) สารสกัดจากใบมะยงชิดโดยใช้เอทานอล 70% เป็นตัวเลือกที่มีความโดดเด่นที่สุดในการพัฒนาเป็นสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากสามารถออกฤทธิ์ได้ดีแม้ในความเข้มข้นต่ำซึ่งมีแนวโน้มที่ดีในการนำไปศึกษาต่อยอดเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและผลิตภัณฑ์สุขภาพต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Ediriweera, M. K., Tennekoon, K. H., & Samarakoon, S. R. (2017). A review on ethnomedicinal applications, pharmacological activities, and biology of *Mangifera indica* L. (Mango). *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, *2017*, Article 6940283.

[2] Salehi, B., Machin, L., Monzote, L., Sharifi-Rad, J., Ezzat, S. M., Salem, M. A., Merghany, R. M., El Mahdy, N. M., Kılıç, C. S., Sytar, O., Sharifi-Rad, M., Sharopov, F., Martins, N., Martorell, M., & Cho, W. C. (2020). Therapeutic potential of quercetin: New insights and perspectives for human health. *ACS Omega*, *5*(20), 11849–11872.

[3] Chandimali, N., Bak, S. G., Park, E. H., Lim, H. J., Won, Y. S., Kim, E. K., Park, S. I., & Lee, S. J. (2025). Free radicals and their impact on health and antioxidant defenses: A review. *Cell Death Discovery*, *11*, Article 19.

[4] Amic, D., Davidovic-Amic, D., Bešlo, D., & Trinajstic, N. (2003). Structure-radical scavenging activity relationships of flavonoids. *Croatica Chemica Acta*, *76*(1), 55-61.

[5] Maneechai, P., Leelapornpisid, P., & Poomanee, W. (2023). Multifunctional biological activities and cytotoxic evaluation of *Bouea macrophylla* for cosmetic applications. *Natural and Life Sciences Communications, 22*(2), e2023030. https://doi.org/10.12982/NLSC.2023.030

[6] Khongkarat, P., Phuwapraisirisan, P., & Chanchao, C. (2022). Phytochemical content, especially spermidine derivatives, presenting antioxidant and antilipoxygenase activities in Thai bee pollens. *PeerJ*, *10*, e13506.

[7] Floegel, A., Kim, D. O., Chung, S. J., Koo, S. I., & Chun, O. K. (2011). Comparison of ABTS and DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, *24*(7), 1043-1048.

[8] Lamkhwan, N., & Seekhaw, P. (2025). Phytochemical screening, total phenolic and flavonoid contents, antioxidant and cytotoxic activities from twig crude extracts of *Bouea burmanica* Griff. *Thai Science and Technology Journal*, *33*(2), 1–14.

[9] Karadeniz, F., Burdurulu, H. S., Koca, N., & Soyer, Y. (2005). Antioxidant activity of selected fruits and vegetables grown in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *29*(4), 297-303.

[10] Zuorro, A., Iannone, A., & Lavecchia, R. (2019). Water-organic solvent extraction of phenolic antioxidants from brewer's spent grain. *Processes*, *7*(3), 126.

วิทยาศาสตร์ธรรมชาติและนิเวศวิทยา
Natural Science and Ecology

Oral Presentation

ประเมินประสิทธิภาพนวัตกรรมซั้งบ้านปลาจากยางพาราเพื่อความยั่งยืนทางทะเล

จอมกิตติ ศิริกุล, ชยานี บุญสน, นนท์ นาคะเสถียร, และ ปฐพร เกื้อนุ้ย*

บริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด เลขที่ 18 อาคารทรู ทาวเวอร์ เขตห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร

** Corresponding author: pataporn.kua@cp.co.th*

บทคัดย่อ

ทรัพยากรประมงชายฝั่งของประเทศไทยกำลังเผชิญกับความเสื่อมโทรมจากการใช้ประโยชน์เกินศักยภาพการผลิต ส่งผลให้ความหลากหลายทางชีวภาพและความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรลดลงอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันชาวประมงเริ่มให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์ฟื้นฟูทรัพยากรทางทะเลด้วยการจัดวางประการังและการทำซั้งบ้านปลา ซึ่งการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพซั้งบ้านปลาที่ทำมาจากยางพาราและเชือกพลาสติก ในด้านการดึงดูดสิ่งมีชีวิตมาเกาะติดและความหลากหลายของปลาบริเวณซั้ง ที่ระดับความลึกน้ำ 4 เมตร บริเวณชายฝั่งทะเล อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา และมีการดำน้ำติดตามผลเป็นเวลา 3 เดือน ทั้งก่อนและหลังการติดตั้งซั้ง

จากการศึกษาพบว่า ซั้งยางพารามีการเกาะติดของสิ่งมีชีวิตจำพวกสาหร่ายขนาดเล็ก เพรียง และหอยแมลงภู่ ตั้งแต่ระยะ 2 สัปดาห์ แรกหลังการติดตั้งและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ซั้งยางพาราสามารถดึงดูดปลาเข้ามาหลากหลายทั้งชนิดและปริมาณ ในขณะที่ซั้งเชือกมีการเกาะติดของสิ่งมีชีวิตล่าช้าและมีปริมาณน้อย ส่งผลให้ดึงดูดปลาเข้ามาน้อยทั้งชนิดและปริมาณ โดยบริเวณซั้งยางพาราพบปลา 7 ชนิด ส่วนใหญ่เป็นปลาวัยอ่อน ซึ่งมีกลุ่มปลากินพืชเป็นกลุ่มเด่น เช่น ปลาสลิดทะเล และปลาตะกรับ จากการศึกษาบ่งชี้ว่าการทำซั้งบ้านปลาจากยางพารามีประสิทธิภาพที่ดีกว่าซั้งเชือก และไม่ส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อมในภายหลัง เนื่องจากไม่มีส่วนผสมของพลาสติก สอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) รวมถึงโมเดลเศรษฐกิจ BCG และสามารถใช้เป็นต้นแบบในการฟื้นฟูทรัพยากรประมงชายฝั่งอย่างยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: ซั้งบ้านปลา / ยางพารา / ทรัพยากรสัตว์น้ำ / ความหลากหลายทางชีวภาพ / ปลาวัยอ่อน

Evaluating the Effectiveness of Natural Rubber–Based Fish Aggregating Device Innovation for Sustainable Marine Resource Management

Jhomkitti Sirikul, Chayanee Boonson, Non Nakasathian, and Pataporn Kuanui*

Charoen Pokphand Group CO., LTD. Ratchadaphisek Road, Huai Khwang, Bangkok, Thailand

**Corresponding author: pataporn.kua@cp.co.th*

Abstract

Thailand's coastal fisheries resources have undergone progressive degradation as a result of exploitation exceeding their productive capacity, leading to sustained declines in biodiversity and stock abundance. In response, fishers have increasingly adopted conservation and resource rehabilitation measures, including the deployment of artificial reefs and Fish Aggregating Devices (FADs). This study evaluated the comparative effectiveness of FADs constructed from natural rubber- and plastic rope-based in facilitating sessile organism colonization and enhancing fish assemblage diversity. The study was conducted in shallow coastal waters (4 m depth) off Sathing Phra District, Songkhla Province, Thailand, with underwater surveys carried out over a three-month monitoring period encompassing pre- and post-deployment observations.

The results indicated that natural rubber-based FADs supported the early settlement of sessile organisms, including microalgae, barnacles, and mussels, within two weeks of deployment, with a continuous increase over time. This rapid colonization enhanced structural complexity and contributed to significantly higher fish abundance and species richness compared to plastic rope-based FADs, which exhibited delayed and limited colonization. A total of seven fish species were recorded around the natural rubber-based FADs, predominantly comprising juvenile fish, with herbivorous fish species such as Rabbitfish and Spotted scat comprising the dominant groups. These findings indicate that natural rubber-based FADs are more effective than plastic rope-based FADs in enhancing local fish assemblages and are unlikely to pose long-term environmental risks due to the absence of micro-plastic. The application of natural rubber-based FADs is consistent with sustainable development principles, aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs), and supports the Bio–Circular–Green (BCG) economic model. Accordingly, this approach represents a viable and environmentally sustainable option for coastal fisheries restoration and management.

Keywords: Fish aggregating device / Natural rubber / Marine resource / Biodiversity / Juvenile fish

ฟิล์มเพคตินชีวภาพเสริมสมุนไพรไทยสำหรับยับยั้งเชื้อรา *Cladosporium* spp. ก่อโรคจากการแช่อาหารในตู้เย็น

ปภาวิน ภักดีรักษ์พงศ์[1], กฤติเดช ชาญศรีภิญโญ[1], ชเนตตี ศรีวิไล[1]
สุธี จุ้กลก[1*], และ อับดุลอาซิส ประสิทธิหิมะ [1]

[1]โรงเรียนเบตง "วีระราษฎร์ประสาน, 19 ถ.รวมวิทย์ อ.เบตง, อำเภอเบตง ยะลา ประเทศไทย 95110
** Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th , papawinpeem115@gmail.com*

บทคัดย่อ

การปนเปื้อนของเชื้อราในอาหารที่ถูกเก็บในตู้เย็นเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพและความปลอดภัยของอาหาร โดยเฉพาะเชื้อราในสกุล *Cladosporium* spp. ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการทำให้อาหารเกิดการเน่าเสีย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของวัสดุบรรจุภัณฑ์เชิงรุก โดยใช้ฟิล์มเพคตินจากเปลือกทุเรียนมาเป็นวัสดุพลาสติกต้นแบบ ร่วมกับสารสกัดกระเทียม *(Allium sativum)* ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อรา เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราในสภาวะการถูกเก็บรักษาในตู้เย็น ในการดำเนินการวิจัยเริ่มจากการสกัดสารจากกระเทียม และทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *Cladosporium* spp. ในหลอดทดลอง (in vitro) จากนั้นนำสารสกัดที่มีประสิทธิภาพมาผสมกับฟิล์มเพคตินจากเปลือกทุเรียนเพื่อขึ้นรูปเป็นวัสดุต้นแบบ และประเมินประสิทธิภาพโดยใช้ขนมปังเป็นอาหารจำลอง ภายใต้สภาวะการเก็บรักษาในตู้เย็นเป็นระยะเวลา 7 วัน จากผลการทดลองนี้พบว่า ขนมปังที่เก็บในภาชนะที่มีฟิล์มเพคตินเสริมสารสกัดกระเทียมมีการเจริญเติบโตของเชื้อราน้อยกว่าชุดควบคุมอย่างชัดเจน โดยในวันที่ 7 พบปริมาณโคโลนีเพียง 25 cfu/g ขณะที่ชุดควบคุมมีปริมาณโคโลนีสูงถึง 110 cfu/g นอกจากนี้ การแผ่กระจายของโคโลนีในชุดทดลองเกิดขึ้นช้ากว่า

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ฟิล์มเพคตินจากเปลือกทุเรียนที่เสริมสารสกัดกระเทียมมีศักยภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Cladosporium* spp. และสามารถนำไปพัฒนาเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์อาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มความปลอดภัยของอาหารต่อผู้บริโภคได้

คำสำคัญ: เทอร์โมพลาสติก / สมุนไพรไทย / สารสกัดกระเทียม / การยับยั้งเชื้อรา / บรรจุภัณฑ์เชิงรุก

Pectin based film reinforced with thai herbs for inhibiting *Cladosporium* spp. Causing food spoilage in refrigerators

Papawin Pakdeerakpong[1], Krittidej Charnsripinyo[1], Chanetti Sriwilai[1]
Suthee Junglok[1]*, and Abdulaziz Prasithima[1]

[1]Betong Wiraratprasan School, 19 Ruamwit Road, Betong Subdistrict, Betong District, Yala Province, Thailand
**Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th , and papawinpeem115@gmail.com*

Abstract

Fungal contamination in foods stored under refrigeration is a significant problem that adversely affects both food quality and safety. This issue is particularly associated with fungi belonging to the genus *Cladosporium* spp., which are recognized as major contributors to food spoilage. The objective of this study was to develop and evaluate the effectiveness of active packaging materials based on a plastic prototype derived from durian peel pectin film, reinforced with garlic *(Allium sativum)* extract possessing antifungal properties, in order to inhibit fungal growth under refrigerated storage conditions.

The research process began with the extraction of garlic and the evaluation of its antifungal activity against *Cladosporium* spp. through in vitro testing. The extract demonstrating effective antifungal activity was subsequently incorporated into durian peel pectin film to fabricate a prototype material. The performance of the developed material was assessed using bread as a model food system under refrigerated storage conditions for a period of seven days.

The experimental results revealed that bread stored in containers with pectin film reinforced with garlic extract exhibited significantly lower fungal growth compared to the control. On day 7, the fungal colony count in the treated samples was 25 cfu/g, whereas the control samples showed a substantially higher count of 110 cfu/g. Furthermore, the spread of fungal colonies in the treated samples occurred at a slower rate than in the control.

These findings indicate that durian peel pectin film reinforced with garlic extract has strong potential to inhibit the growth of *Cladosporium* spp. and can be further developed as an active food packaging material to extend shelf life and enhance food safety for consumers.

Keywords: Thermoplastic / Thai herbs / Garlic extract / Antifungal inhibition / Active packaging

1. บทนำ

การเก็บรักษาอาหารในตู้เย็นเป็นวิธีที่นิยมใช้เพื่อยืดอายุและคงคุณภาพของอาหาร อย่างไรก็ตาม ก็ยังพบปัญหาการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อราในสภาวะดังกล่าว โดยมีรายงานว่าตู้เย็นในครัวเรือนจำนวนมากสามารถตรวจพบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์และเชื้อราได้สูงและเชื้อราสกุล *Cladosporium* spp. เป็นหนึ่งในชนิดที่พบได้บ่อยในสภาพแวดล้อมดังกล่าว [1] โดยเฉพาะ *Cladosporium* spp. ซึ่งก็สามารถเจริญได้ในอุณหภูมิต่ำและเป็นสาเหตุสำคัญของการเสียของอาหาร ก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ ลดคุณภาพ และส่งผลต่อความปลอดภัยในอาหารของผู้บริโภค [2] อีกทั้งยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียอาหารในระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรม การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารส่งผลกระทบต่อสุขภาพผู้บริโภค เช่น การเกิดโรคทางเดินอาหารและปัญหาสุขภาพอื่น ๆ [3] ควบคู่ไปกับในปัจจุบัน วัสดุบรรจุภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่ในปัจจุบันเป็นพลาสติก ซึ่งแม้จะมีความแข็งแรงและขึ้นรูปได้ดี แต่ยังขาดคุณสมบัติในการยับยั้งจุลินทรีย์ จึงมีการพัฒนาบรรจุภัณฑ์เชิงรุก (active packaging) ที่สามารถปลดปล่อยสารออกฤทธิ์เพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อรา [4] โดยสารสกัดจากสมุนไพรไทย เช่น กระเทียม *(Allium sativum)* ได้รับความสนใจเนื่องจากมีฤทธิ์ต้านเชื้อรา [5]

เพคตินจากเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุชีวภาพที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนาเป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากเพคตินเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีคุณสมบัติในการเกิดเจลและสร้างโครงข่ายพอลิเมอร์ (polymer network) ซึ่งสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ [6] นอกจากนี้ เปลือกทุเรียนยังเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชีวภาพได้หลากหลาย เช่น การผลิตสารชีวพอลิเมอร์และเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งแสดงถึงศักยภาพในการนำมาใช้ประโยชน์เชิงอุตสาหกรรม [7] อีกทั้งยังมีรายงานว่าเปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบเป็นคาร์โบไฮเดรตและพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งในการสกัดเพคตินเพื่อพัฒนาเป็นฟิล์มชีวภาพได้ [8] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าวัสดุจากเปลือกทุเรียนสามารถนำมาใช้พัฒนาเป็นวัสดุชีวภาพได้จริง [9] อีกทั้งโครงสร้างของเพคตินยังเอื้อต่อการกักเก็บและปลดปล่อยสารออกฤทธิ์อย่างค่อยเป็นค่อยไป (controlled release) ทำให้เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ในบรรจุภัณฑ์เชิงรุก [10] ควบคู่ไปกับปัญหาเปลือกทุเรียนที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีปริมาณมากในประเทศไทย การนำมาใช้จึงช่วยเพิ่มมูลค่า ลดของเสีย และส่งเสริมแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาฟิล์มเพคตินจากเปลือกทุเรียนเสริมสารสกัดกระเทียม เพื่อยับยั้งเชื้อรา *Cladosporium* spp. โดยประเมินทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารและเพิ่มความปลอดภัยของผู้บริโภค

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราในห้องปฏิบัติการ
2. เพื่อศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพในตู้เย็นจริง

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาการพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเพคตินที่สกัดจากเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุพลาสติกต้นแบบ
2. ศึกษาผลของการเติมสารสกัดกระเทียม *(Allium sativum)* ในระดับความเข้มข้นที่กำหนดต่อการยับยั้งเชื้อรา *Cladosporium* spp.
3. ศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์มเพคตินเสริมสารสกัดกระเทียมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา โดยใช้ขนมปังเป็นอาหารจำลอง
4. ศึกษาผลของการเก็บรักษาในสภาวะตู้เย็น (อุณหภูมิประมาณ 4 °C) เป็นระยะเวลา 7 วัน ต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1: การเตรียมเพคตินจากเปลือกทุเรียน

ล้างและตัดเปลือกทุเรียน จากนั้นนำไปต้มเพื่อสกัดสาร และกรองของเหลวด้วยกระดาษกรองเพื่อคัดแยกเปลือกทุเรียนออกจากสารละลายเพคติน [8]

ขั้นตอนที่ 2: การสกัดเพคตินและสารจากผงเปลือกกระเทียม

ต้มของเหลวที่กรองแล้วร่วมกับ กรดซิตริกเพื่อสกัดสารสกัดเพคติน [14] จากนั้นผสมกับไอโซโพรพานอลในอัตราส่วน 1:2 เพื่อทำให้เพคตินตกตะกอน และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50–60 °C จนแห้งสนิท ก่อนนำมาบดให้เป็นผง [11] และในส่วนของเปลือกกระเทียม ล้างให้สะอาด อบแห้ง และบดจนเป็นผงละเอียด จากนั้นนำไปสกัดด้วยเอทานอล 95% เพื่อให้ได้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ[12]

ขั้นตอนที่ 3: การเตรียมและขึ้นรูปฟิล์ม

ผสมผงเพคติน สารสกัดผงเปลือกกระเทียม และน้ำกลั่น นำไปกรองอีกครั้ง เสร็จแล้วเตรียมสารเคมี ผสมสารละลายกับผงเพคตินที่อุณหภูมิ 50–60 °C เพื่อช่วยให้เกิดการละลายและการกระจายตัวของสารอย่างทั่วถึง [13] แล้วเทลงบนถาดเรียบเพื่อขึ้นรูปเป็นฟิล์มและปล่อยให้แห้งจนแข็งตัว [14]

ขั้นตอนที่ 4: สังเกตและบันทึกผลการทดสอบ

ทำการสังเกตการเจริญเติบโตของเชื้อราและบันทึกผลจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้น โดยใช้หลักการตรวจนับจุลินทรีย์ตามวิธีมาตรฐานทางจุลชีววิทยา [9]

รูปที่ 1,2,3 ขั้นตอนการเตรียมเปลือกทุเรียน

หั่นทุเรียนเป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นทำให้แห้งอย่างทั่วถึง หลังจากนั้นต้มทุเรียนที่แห้งแล้วกับกรดซิตริกเพื่อช่วยให้กระบวนการสกัดเกิดขึ้นได้ง่ายขึ้น

รูปที่ 8,9 ขั้นตอนการเตรียมเปลือกกระเทียม

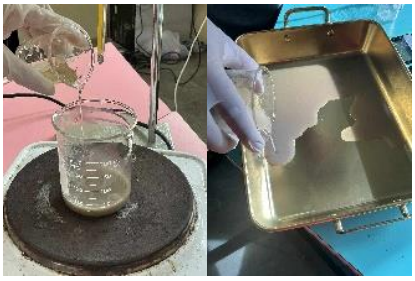
ทำให้เปลือกกระเทียมแห้ง จากนั้นบดให้เป็นผงละเอียด และสกัดโดยใช้เอทานอล 95% ทำการสกัดต่อไปจนกว่าแอลกอฮอล์จะระเหยหมด จากนั้นกรองสารสกัด และสารละลายที่ได้จะถูกนำไปใช้สำหรับการใช้งานขั้นต่อไป

รูปที่ 4,5 ขั้นตอนการเตรียมน้ำเพคติน

กรองส่วนผสม จากนั้นเติมไอโซโพรพานอลลงในสารกรองในอัตราส่วน 1:2 ต่อมา ล้างตะกอนที่เกิดขึ้นด้วยไอโซโพรพานอลอีกครั้งหนึ่ง

รูปที่ 6,7 ขั้นตอนการเตรียมเพคติน

ทำให้วัสดุแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 55 ℃ เป็นเวลา 6–12 ชั่วโมงจนแห้งสนิท จากนั้นบดให้เป็นผงละเอียด



รูปที่ 10,11 ขั้นตอนการขึ้นรูป

ละลายผงเพคตินในน้ำกลั่น จากนั้นรวมส่วนประกอบทั้งหมดเข้าด้วยกันและกวนอย่างต่อเนื่องจนได้ส่วนผสมที่เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเทส่วนผสมลงในถาดและปล่อยทิ้งไว้โดยไม่รบกวนจนกว่าฟิล์มจะแข็งตัวสมบูรณ์

รูปที่ 12,13,14 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพ

ทดสอบตัวอย่างขนมปังที่มีฟิล์มชีวภาพเพคตินและไม่มีฟิล์มชีวภาพเพคติน เพื่อประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพและลักษณะการเก็บรักษา

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษารูปแบบผลงานวิชาการ

ผลการศึกษาที่พบว่าฟิล์มเพคตินเสริมสารสกัดกระเทียมสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ อาจอธิบายได้จากสารออกฤทธิ์สำคัญในกระเทียม ได้แก่ อัลลิซิน (allicin) ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านจุลินทรีย์และเชื้อรา [12] โดยสามารถรบกวนการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์ของเชื้อรา ส่งผลให้กระบวนการเมแทบอลิซึมของเชื้อราถูกยับยั้ง และลดความสามารถในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวน นอกจากนี้ อัลลิซินยังสามารถทำลายโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์จุลินทรีย์ ทำให้เกิดการรั่วไหลของสารภายในเซลล์ ซึ่งนำไปสู่การตายของเซลล์ในที่สุด [2] กลไกดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าจำนวนโคโลนีในตัวอย่างที่มีฟิล์มเสริมสารสกัดกระเทียมเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้ากว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการศึกษานี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่รายงานว่า สารสกัดจากกระเทียมมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราและจุลินทรีย์หลายชนิด โดยเฉพาะเชื้อราที่พบในอาหาร ซึ่งสนับสนุนศักยภาพของการนำสารสกัดจากกระเทียมมาใช้ในบรรจุภัณฑ์เชิงรุกเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร [12], [2], [5] นอกจากนี้ ยังมีรายงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารสกัดจากพืชและวัสดุชีวภาพในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติต้านเชื้อรา ซึ่งให้ผลในทิศทางเดียวกันกับการศึกษานี้ [3], [4]

5.2 ผลการศึกษาข้อมูลผลงานวิชาการในฐานข้อมูล Scopus

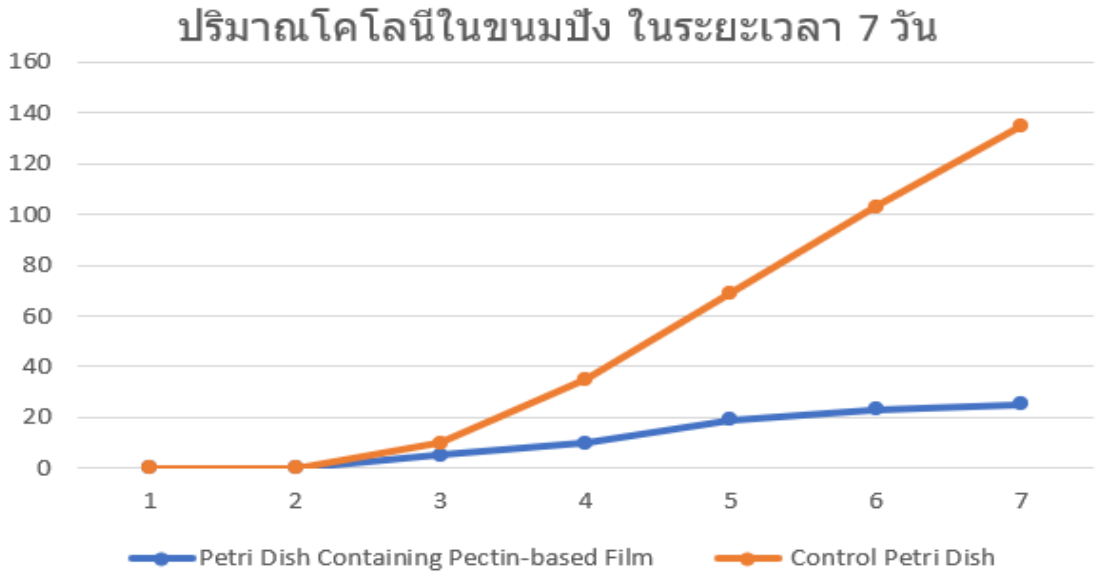
ตารางที่ 1 ปริมาณโคโลนีในขนมปัง (exponential growth) ในระยะเวลา 7 วัน

Time(days)	ปริมาณโคโลนี (cfu/g)	
	Petri Dish Containing Pectin-based Film	Control Petri Dish
1	0	0
2	0	0
3	5	5
4	10	25
5	19	50
6	23	80
7	25	110

รูปแบบการศึกษาโคโลนีของเชื้อราในขนมปัง 2 รูปแบบ เป็นเวลา 7 วัน

อ้างอิงจากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าในถาดที่มีฟิล์มเพคตินชีวภาพ การแผ่กระจายของโคโลนีเริ่มเพิ่มชัดเจนในวันที่ 5–7 ส่วนถาดที่ไม่มีฟิล์มเพคตินชีวภาพ การแผ่กระจายเกิดขึ้นมากตั้งแต่วันที่ 2 เป็นต้นไป

กราฟที่ 1 แสดงผล ปริมาณโคโลนีในขนมปัง (exponential growth) ในระยะเวลา 7 วัน



จากกราฟที่ 1 พบว่าฟิล์มเพคตินที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บนขนมปังอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถลดปริมาณโคโลนีได้ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมประมาณ 80% ตลอดระยะเวลา 7 วัน

6. สรุปผลการศึกษา

จากการดำเนินโครงงานเรื่องการพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเพคตินเปลือกทุเรียนเสริมสารสกัดกระเทียม พบว่าสามารถนำเปลือกทุเรียนมาสกัดเป็นสารชีวพอลิเมอร์และขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มชีวภาพได้สำเร็จ โดยฟิล์มที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง มีความต่อเนื่องของเนื้อฟิล์ม และเมื่อเติมสารช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นจะช่วยลดการแตกร้าวและเพิ่มความเหมาะสมต่อการใช้งาน

ผลการทดลองด้านประสิทธิภาพพบว่า ฟิล์มเพคตินที่เสริมสารสกัดกระเทียมสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Cladosporium* spp. ได้อย่างชัดเจน โดยตัวอย่างที่ใช้ฟิล์มดังกล่าวมีจำนวนโคโลนีของเชื้อราน้อยกว่าชุดควบคุม และมีอัตราการเพิ่มจำนวนของเชื้อราที่ช้ากว่า แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของสารออกฤทธิ์จากกระเทียมในการยับยั้งเชื้อราในสภาวะการเก็บรักษาในตู้เย็น

โดยสรุป ฟิล์มเพคตินจากเปลือกทุเรียนเสริมสารสกัดกระเทียมมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์เชิงรุกที่สามารถยับยั้งเชื้อรา ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร และเพิ่มความปลอดภัยของผู้บริโภค อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และส่งเสริมการใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] Bono, A., Ying, P. H., Yan, F. Y., & Muhammad, N. (2009). Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose from durian rind. *Carbohydrate Polymers, 76(2), 375–380.*

[2] Chaudhary, B. U., Lingayat, S., Banarjee, A. N., & Kale, R. D. (2021). Development of multifunctional food packaging films based on waste garlic peel extract and chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules, 192*, 479–490.

[3] Ghaffar, M., Kusumaningrum, H., & Suyatma, N. (2019). Extraction of pectin from durian rind and its minimum inhibitory concentration towards Staphylococcus aureus and Escherichia coli. In Proceedings of the 2nd SEAFAST International Seminar (pp. 72–76). SCITEPRESS. https://doi.org/10.5220/0009978600002833

[4] Jebalsy, J., Jebastin, J., Senthil Kumar, N., & Vasantha, S. (2018). Antifungal activity of selected medicinal plants against *Cladosporium sphaerospermum*. *Journal of Mycopathological Research, 56*(2), 265–270.

[5] Liu, J., Wang, R., & Li, R. (2020). Antifungal and antioxidant properties of essential oil from Thai herbs and its application in active packaging. *Food Packaging and Shelf Life, 26*, 100595.

[6] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. (2564). การขึ้นรูปฟิล์มชีวภาพที่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ในระดับอุตสาหกรรมเพื่อใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์อาหาร. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์และงานวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา.

[7] จิรศักดิ์ คงเกียรติขจร, & ณัตติยา จันทวงษา. (2554). การศึกษาการผลิตไบโอเอทานอลจากเปลือกทุเรียนโดยเชื้อยีสต์เดี่ยวและเชื้อยีสต์ผสม. In การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49 (หน้า 242–249).

[8] นิสวรรณ์ และคณะ. (2551). การศึกษาการสกัดเพคตินและแอลกอฮอล์จากเปลือกทุเรียน. รายงานวิจัย, มหาวิทยาลัยราชภั

[9] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2549*).* การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อและการตรวจนับจุลินทรีย์ [เอกสารประกอบการวิจัย]. คลังข้อมูลดิจิทัล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[10] โรงพยาบาลกรุงเทพ. (n.d.*).* มะเร็งลำไส้ห่างไกลได้แค่ใส่ใจความเสี่ยง. สืบค้นจาก https://www.bangkokhospital.com

[11] สมชาย, ช. (n.d.*).* การผลิตฟิล์มชีวภาพจาก CMC และพลาสติกไซเซอร์ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[12] สุดารัตน์ พรหมพิทักษ์, และคณะ. (2561). ประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชสมุนไพรไทยในการควบคุมเชื้อรา *Colletotrichum* sp. สาเหตุโรคแอนแทรกโนสของมะม่วง. วารสารเกษตรศาสตร์, *52(2),* 245–256.

[13] สุนันท์ พงษ์สามารถ. (2532*).* การศึกษาสารสกัดคาร์โบไฮเดรตจากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้เป็นสารแขวนตะกอน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[14] สุนันท์ วิทิตสิริ. (2557). การสกัดและการประยุกต์ใช้เพคตินจากเปลือกทุเรียน. วารสารวิจัยรำไพพรรณี, 13*(2),* 25–37.

วิทยาศาสตร์ธรรมชาติและนิเวศวิทยา
Natural Science and Ecology

Poster Presentation

การสำรวจไมโครพลาสติกในน้ำทะเล บริเวณพื้นที่หมู่เกาะแสมสาร จังหวัดชลบุรี เพื่อส่งเสริมความตระหนักรู้ด้านนิเวศวิทยา และสิ่งแวดล้อมทางทะเล

สิรีพัชร จีนสิน*, รุ่งทิพย์ วงศ์เลอศักดิ์*, อารมณ์ มุจรินทร์, และ รัชนีวรรณ สุมิตรากิจ

สำนักวิชาการพิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยา องค์การพิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ คลองห้า ปทุมธานี 12120 ประเทศไทย

**Corresponding author: sireepus@nsm.or.th; rungtip.W@nsm.or.th*

บทคัดย่อ

ไมโครพลาสติกเป็นขยะที่ย่อยสลายได้ยาก จึงทำให้มีการปนเปื้อนตกค้างในสิ่งแวดล้อม และระบบนิเวศ พื้นที่หมู่เกาะแสมสาร จังหวัดชลบุรี เป็นแหล่งทรัพยากรทางทะเลที่มีความสำคัญทั้งเชิงเศรษฐกิจ การท่องเที่ยว และความหลากหลายทางชีวภาพของแนวปะการังและหญ้าทะเล งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา สี และประเภทของไมโครพลาสติกในน้ำทะเล โดยใช้ถุงลากแพลงก์ตอนขนาด 300 ไมโครเมตร ทำการเก็บตัวอย่างที่ระดับผิวหน้าน้ำด้วยความเร็วลาก 1 นอต เป็นเวลา 15 นาที ใน 3 บริเวณที่มีบริบทการใช้ประโยชน์พื้นที่แตกต่างกัน ได้แก่ ท่าเรือแสมสาร เกาะโรงหนัง และเกาะสันฉลาม

ผลการศึกษาพบการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในทุกจุดเก็บตัวอย่าง โดยลักษณะสัณฐานวิทยาที่พบมากที่สุดคือ รูปร่างเส้นใย ซึ่งสะท้อนถึงใช้เส้นใยสังเคราะห์จากกิจกรรมในครัวเรือนและการประมง ในด้านการกระจายตัวของสี พบไมโครพลาสติกสีน้ำเงินสูงสุดในบริเวณท่าเรือแสมสาร ซึ่งสันนิษฐานว่ามีความเชื่อมโยงกับเศษซากเครื่องมือประมง ในขณะที่บริเวณเกาะโรงหนังและเกาะสันฉลามพบสีดำมาที่สุด ซึ่งอาจมาจากอนุภาคการสึกหรอของยางรถยนต์ นอกจากนี้ จากการวิเคราะห์ประเภทพอลิเมอร์เบื้องต้นพบว่า บริเวณท่าเรือแสมสาร และเกาะโรงหนังมีการสะสมของวัสดุประเภทฝ้าย ซึ่งอาจสัมพันธ์กับกิจกรรมการท่องเที่ยวและเครื่องนุ่งห่ม ในขณะที่เกาะสันฉลามพบวัสดุประเภทอื่นมากที่สุด ข้อมูลเชิงพื้นที่นี้จะนำไปสู่การศึกษาการส่งผ่านมลพิษสู่ห่วงโซ่อาหารในสิ่งมีชีวิตในทะเล ท้ายที่สุดทีมวิจัยมุ่งหวังที่จะนำข้อมูลมาส่งเสริมความตระหนักรู้ด้านนิเวศวิทยา และสิ่งแวดล้อมทางทะเลแก่เยาวชนในพื้นที่ เพื่อให้เกิดการอนุรักษ์ และหวงแหนทรัพยากรทางทะเลต่อไป

คำสำคัญ: ไมโครพลาสติก / หมู่เกาะแสมสาร

A survey of microplastics in seawater in Mu Ko Samaesan, Chonburi, to promote ecological and marine environmental awareness

Sireepus Jeensin*, Rungtip Wonglersak*, Arom Mucharin, and Ratchaneewarn Sumitrakit

Office of Natural History Research Science Museum (NSM) 39 Moo3, Khlong5, Khlong Luang. Pathum Thani 12120, Thailand
**Corresponding author: sireepus@nsm.or.th; rungtip.W@nsm.or.th*

Abstract

Microplastics, defined as plastic particles smaller than 5 mm, represent persistent environmental pollutants due to their resistance to degradation, leading to widespread accumulation in marine ecosystems. Mu Ko Samaesan, Chonburi, serve as a critical marine resource, holding significant value for economy, tourism, and biodiversity, particularly within coral reefs and seagrass beds. This study aims to investigate the color, morphology, and polymer types of microplastics in seawater. Samples were collected at the water surface using a 300-µm plankton net, towed at a speed of 1 knot for 15 minutes across three sites with varying land-use contexts: Samaesan Pier, Ko Rong Nang, and Ko San Chalam.

The results revealed microplastic contamination at all sampling sites. Morphologically, fibers are the most predominant shape, reflecting the widespread use of synthetic textiles from household and fishing activities. Regarding color distribution, blue microplastics are the most prevalent at Samaesan Pier, suggesting a strong correlation with discarded fishing gear. Whereas black particles predominate, black particles were most prevalent at Ko Rong Nang and Ko San Chalam, potentially originating from tire wear particle. Preliminary polymer analysis indicated an accumulation of cotton-based materials at Samaesan Pier and Ko Rong Nang, potentially linked to tourism activities and apparel, while other material types were most frequent at Ko San Chalam. This spatial data provides a foundation for future studies on pollutant transfer within the marine food web. Ultimately, this research aims to foster ecological awareness among local youth to promote the sustainable conservation of marine resources.

Keywords: Microplastics / Mo Ko Samaesan

การศึกษาการเตรียมตัวเร่งจากใบอ้อยเพื่อสังเคราะห์ 2,5-furandicarboxylic acid methyl ester (FDME) จาก galactaric acid และ dimethyl carbonate โดยใช้พลังงานความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

อันนา ตันวาณิชกุล[1], ปทิตตา อาภรณ์แก้ว[1], สุพัตตรา อินทรบุญญา[2], และ แอนดรูว์ ฮันท์[2*]

[1]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น ฝ่ายมัธยมศึกษา (ศึกษาศาสตร์) จังหวัดขอนแก่น 40002
[2]ศูนย์วิจัยเคมีวัสดุ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002
**Corresponding author: andrew@kku.ac.th*

บทคัดย่อ

2,5-Furandicarboxylic acid methyl ester (FDME) เป็นหนึ่งในมอนอเมอร์ชีวภาพเกิดใหม่ที่มีความสำคัญ ซึ่งได้รับความสนใจอย่างมากสำหรับการสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ โดยเฉพาะในการผลิตโพลีเอทิลีนฟูราโนเอต (PEF) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสังเคราะห์ FDME แบบวันพอต (2 ขั้นตอน) จากกรดกาแลคทาริกที่ได้จากเพกทิน และไดเมทิลคาร์บอเนต (DMC) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนที่ผ่านการซัลโฟเนชันซึ่งเตรียมจากวัสดุเหลือใช้อ้อยภายใต้สภาวะไมโครเวฟ ตัวเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนที่ผ่านการซัลโฟเนชันถูกวิเคราะห์ลักษณะสมบัติด้วยเทคนิค SEM, EDX, TEM, Raman, XPS, FT-IR, CHN-S, TGA, XRD, BET การวัดความเป็นกรดบนผิว และ solid-state NMRผลการศึกษาพบว่าคาร์บอนซัลโฟเนตจากวัสดุเหลือใช้อ้อยมีประสิทธิภาพสำหรับทั้งขั้นตอนการคายน้ำและเอสเทอริฟิเคชันในการสังเคราะห์ FDME โดยให้ผลผลิตร้อยละ 75.85 นอกจากนี้ ตัวเร่งปฏิกิริยายังสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้มากกว่าห้ารอบเมื่อเปรียบเทียบกับกรดโฮโมจีนีอัสแบบดั้งเดิมและตัวเร่งเฮเทอโรจีนีอัสที่มีรายงานก่อนหน้านี้ คาร์บอนซัลโฟเนตจากอ้อยให้ความสามารถในการนำกลับมาใช้ซ้ำที่ดีขึ้น และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในปฏิกิริยาการคายน้ำและเอสเทอริฟิเคชันที่เกี่ยวข้องกับ FDME

คำสำคัญ: มอนอเมอร์ชีวภาพ / ไดเมทิลคาร์บอเนต (DMC) / กระบวนการสังเคราะห์ที่ยั่งยืน / ตัวเร่งกรดของแข็ง / ตัวเร่งคาร์บอนซัลโฟเนต

Production of 2,5-furandicarboxylic acid methyl esters from galactaric acid via dimethyl carbonate under microwave condition based on sulfonated carbon catalysts from sugarcane waste

Anna Tanwanichkul[1], Patitta Arpornkaew[1], Suphatta Aintharabunya[2], and Andrew John Hunt[2*]

[1]Demonstrationschool of Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

[2]Materials Chemistry Research Center, Department of Chemistry and Center of Excellence for Innovation in Chemistry, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

** Corresponding author: andrew@kku.ac.th*

Abstract

2,5-Furandicarboxylic acid methyl ester (FDME) is one of the most important emerging renewables monomers, which has gained significant interest polyester synthesis for the production of polyethylene furanoate (PEF). This study aims to investigate the one-pot (2 steps) synthesis of FDME from pectin-based galactaric acid and dimethyl carbonate (DMC) using a sulfonated carbon catalyst from sugarcane waste under microwave conditions. The sulfonated carbon catalysts were characterized by SEM, EDX, TEM, Raman, XPS, FT-IR, CHN-S, TGA, XRD, BET, surface acidity, and solid-state NMR. A sugarcane waste sulfonated carbon was effective for both dehydration and esterification steps of the FDME (75.85% yield). Moreover, the catalysts were successfully reused for more than five cycles. Compared with conventional homogeneous acids and previously reported heterogeneous catalysts, the sulfonated sugarcane waste carbons have provided improved recyclability, and reduced environmental impact in FDME-related dehydration and esterification reactions.

Keywords: Sustainable catalysis / Sulfonated carbon catalyst / Solid acid catalysts / Dimethyl carbonate (DMC) / 2,5-Furandicarboxylic acid methyl ester (FDME)

การศึกษาลักษณะและปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในพืช C3 และ C4 ที่เป็นอาหารสัตว์

ปิยะพร ขะบูรณ์*, สิงหา ดวงเกตุ, สรรเสริญ วีระพจนานันท์, และ วรรณวิภา ห้อยกอน

โรงเรียนนวมินทราชูทิศ มัชฌิม ตำบลนครสวรรค์ตก อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ ประเทศไทย

**Corresponding author: sansern@nmm.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะและปริมาณผลึกแคลเซียมออกซาเลตในพืชอาหารสัตว์ชนิด C3 และ C4 จำนวน 11 ชนิด โดยพืช C3 ได้แก่ กระถิน ผักปลาบ ผักเป็ดไทย ถั่วเขียว ตำลึง ผักตบชวา และชะพลู ส่วนพืช C4 ได้แก่ บานไม่รู้โรยป่า ผักโขม หญ้าขน และหงอนไก่ป่า การศึกษาประกอบด้วย 2 ตอน ได้แก่ การศึกษาลักษณะผลึกแคลเซียมออกซาเลตด้วยเทคนิค Free Hand Cross Section ภายใต้กล้องจุลทรรศน์จากลำต้น ก้านใบ และใบ และการศึกษาปริมาณแคลเซียมออกซาเลตด้วยเทคนิค Permanganate Titration โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KmnO_4$) ทำปฏิกิริยากับออกซาเลตที่สกัดจากตัวอย่างพืชและคำนวณปริมาณแคลเซียมออกซาเลต จากสมการ Calcium Oxalate (g) = $MKMnO_4 \times VKMnO4 \times 5/2 \times 128.1$

ผลการศึกษาพบผลึกแคลเซียมออกซาเลต 3 ลักษณะ ได้แก่ รูปเข็ม (raphides) พบมากในก้านใบและใบของผักปลาบและผักตบชวา รูปดาว (druses) พบมากในก้านใบและลำต้นของผักเป็ดไทยและผักปลาบ และรูปปริซึม (prismatic) พบในลำต้นและก้านใบของผักโขม สำหรับปริมาณแคลเซียมออกซาเลตโดยรวม พบมากที่สุดในกระถิน (0.199 g) รองลงมาคือ ชะพลู (0.100 g) หงอนไก่ป่า (0.087 g) และผักโขม (0.084 g) ขณะที่ถั่วเขียวพบปริมาณต่ำที่สุด (0.041 g) เมื่อพิจารณาตามส่วนของพืช พบว่าใบเป็นส่วนที่มีปริมาณแคลเซียมออกซาเลตสูงที่สุด โดยกระถินมีปริมาณสูงสุดในใบ (0.320 g) และก้านใบ (0.186 g) ส่วนลำต้นพบมากที่สุดในบานไม่รู้โรยป่า (0.068 g) สรุปได้ว่าพืชอาหารสัตว์ทั้งพืช C3 และ C4 มีลักษณะผลึกแคลเซียมออกซาเลต 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปเข็ม รูปดาว และรูปปริซึม และมีปริมาณแคลเซียมออกซาเลตไม่แตกต่างกัน ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนานวัตกรรมการใช้พืชเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศต่อไป

คำสำคัญ: ลักษณะและปริมาณแคลเซียมออกซาเลต / Permanganate titration

Comparative analysis of calcium oxalate characteristics and quantity in C3 and C4 forage species

Piyaporn Khabun*, Singha Duangket, Sansern Veerapotjananan, and Wanwipa Hoikon

Nawaminthrachuthit Matchim School, Nakhon Sawan Tok, Mueang Nakhon Sawan District, Nakhon Sawan, Thailand
**Corresponding author: sanaern@gmail.com*

Abstract

This study aimed to investigate the characteristics and quantity of calcium oxalate crystals in 11 species of C3 and C4 forage plants. The C3 plants included *Leucaena leucocephala*, *Commelina diffusa*, *Alternanthera sessilis*, mung bean, ivy gourd, water hyacinth, and wild betel leaf, while the C4 plants included wild globe amaranth, amaranth, *Pennisetum pedicellatum*, and wild cockscomb. The study consisted of two parts: (1) the investigation of calcium oxalate crystal characteristics using the Free Hand Cross Section technique under a microscope from stems, petioles, and leaves, and (2) the determination of calcium oxalate content using the Permanganate Titration technique, in which potassium permanganate ($KmnO_4$) solution reacted with oxalate extracted from plant samples and the calcium oxalate content was calculated according to the equation Calcium Oxalate (g) = $MKMnO_4$ × VKMnO4 × 5/2 × 128.1

The results revealed three types of calcium oxalate crystals: raphides, druses, and prismatic crystals. Raphide crystals were abundantly found in the petioles and leaves of *Commelina diffusa* and water hyacinth. Druse crystals were commonly observed in the petioles and stems of *Alternanthera sessilis* and *Commelina diffusa*. Prismatic crystals were found in the stems and petioles of amaranth. Regarding the overall calcium oxalate content, the highest amount was found in *Leucaena leucocephala* (0.199 g), followed by wild betel leaf (0.100 g), wild cockscomb (0.087 g), and amaranth (0.084 g), whereas mung bean contained the lowest amount (0.041 g).

When considering different plant parts, leaves contained the highest calcium oxalate content. *Leucaena leucocephala* showed the highest content in leaves (0.320 g) and petioles (0.186 g), while the highest amount in stems was found in wild globe amaranth (0.068 g). In conclusion, both C3 and C4 forage plants contained three forms of calcium oxalate crystals: raphides, druses, and prismatic crystals, with no significant difference in calcium oxalate content between the two groups. The obtained data can serve as a foundation for developing innovative applications of plants to reduce carbon dioxide levels in the atmosphere in the future.

Keywords: Characteristics and content of calcium oxalate / Permanganate titration

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและการตัดไม้ทำลายป่า ส่งผลให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ อย่างไรก็ตาม CO_2 ไม่ได้มีเพียงผลกระทบด้านลบเท่านั้น แต่ยังเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้พืชสามารถสร้างอาหารและเป็นแหล่งพลังงานเริ่มต้นของห่วงโซ่อาหาร พืชมีวิธีการตรึงคาร์บอนจาก CO_2 แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งออกเป็นพืชกลุ่ม C3 และ C4 ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งในด้าน กระบวนการทางชีวเคมีและโครงสร้างของใบ พืชกลุ่ม C3 เป็นพืชที่พบได้ทั่วไป ส่วนพืชกลุ่ม C4 มักพบในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงและ แสงแดดจัด ความแตกต่างของระบบการตรึงคาร์บอนนี้อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการใช้ CO_2 และการสร้างสารประกอบอินทรีย์ภายในเซลล์พืช

คาร์บอนที่พืชได้รับจาก CO_2 ไม่ได้ถูกนำไปสร้างเพียงน้ำตาลหรือแป้งเท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องกับการสร้างสารอินทรีย์ชนิดอื่น เช่น กรดออกซาลิก ซึ่งสามารถรวมตัวกับแคลเซียมภายในเซลล์เกิดเป็นผลึกแคลเซียมออกซาเลต ผลึกชนิดนี้พบได้ในพืชหลายชนิด และมีหลายรูปแบบ [1] โดยมักสะสมอยู่ในใบ ลำต้น หรือก้านใบ การสะสมของผลึกแคลเซียมออก ซาเลตจึงอาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์บอน ซึ่งมีจุดเริ่มต้นจากการตรึง CO_2 พืชอาหารสัตว์ที่พบทั่วไปในธรรมชาติมีทั้งกลุ่ม C3 และ C4 [2] อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีข้อมูลเปรียบเทียบอย่างชัดเจนเกี่ยวกับความ แตกต่างของลักษณะและปริมาณผลึกแคลเซียมออกซาเลตระหว่างพืชทั้งสองกลุ่ม คณะผู้จัดทำจึงสนใจศึกษาลักษณะของผลึก แคลเซียมออกซาเลตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมออกซาเลตด้วยวิธีการไทเทรต เพื่อเปรียบเทียบความ แตกต่างระหว่างพืชอาหารสัตว์กลุ่ม C3 และ C4 ซึ่งผลการศึกษานี้อาจช่วยเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างระบบการ ตรึงคาร์บอนกับการสะสมสารภายในเซลล์พืช

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาลักษณะของผลึกแคลเซียมออกซาเลตที่พบในพืชอาหารสัตว์
2. ศึกษาปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในพืชอาหารสัตว์

3. ขอบเขตของการศึกษา

สถานที่ทำการทดลอง: โรงเรียนนวมินทราชูทิศ มัชฌิมและบ้านเลขที่ 37/4 หมู่ 11 ตำบลวัดไทรย์ อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์

พืชที่ใช้ในการทดลอง

1. กระถิน (*Leucaena leucocepphala*) (C3 Plants)
2. ชะพลู (*Piper sarmentosum Roxb.*) (C3 Plants)
3. ผักปลาบใบแคบ (*Commelin diffusa Burm.f*) (C3 Plants)
4. ผักเป็ด (*Alternanthera sessilis* (L.) R.Br. ex DC.) (C3 Plants)
5. ผักตบชวา (*Eichhornia crassipe* (C.Mart) Solms) (C3 Plants)
6. ถั่วเขียว (*Clitoria ternatea L.*) (C3 Plants)
7. บานไม่รู้โรย (*Gomphrena globosa L.*) (C4 Plants)
8. หญ้าขน (*Brachiaria mutica*) (C4 Plants)
9. ตำลึง (*Coccinia grandis* (L.) Voigt.) (C4 Plants)
10. หงอนไก่ (*Celosia argentea L.*) (C4 Plants)
11. ผักโขมบ้าน (*Amaranthus viridis*) (C4 Plants)

ระยะเวลาที่ศึกษา ตั้งแต่วันที่ 10 ธันวาคม 2568 - วันที่ 15 มกราคม 2569

4. วิธีการศึกษา

ตอนที่ 1. การศึกษาลักษณะของผลึกแคลเซียมออกซาเลตที่พบในพืชอาหารสัตว์ ด้วยการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เทคนิค Free Hand Cross Section [3]

การศึกษาลักษณะของผลึกแคลเซียมออกซาเลตที่พบในพืชอาหารสัตว์ ด้วยการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เทคนิค Free Hand Cross Section โดยใช้ลำต้น ก้านใบ และใบ ของพืช 11 ชนิด คือ ผักโขม กระถิน หงอนไก่ป่า ผักปลาบ ผักเป็ดไทย ถั่วเขียว ผักตบชวา ตำลึง ชะพลู หญ้าขน และบานไม่รู้โรยป่า นำพืชตัวอย่างไปล้างทำความสะอาดจากนั้นนำไปตัดตัวอย่างตามขวางด้วยมือ เตรียมสไลด์ถาวรแล้วนำไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ด้วยกำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุ 10X และ 40X บันทึกข้อมูลรูปร่างผลึกที่พบและบันทึกภาพ

ตอนที่ 2 การศึกษาปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในพืชอาหารสัตว์ [5],[6]

2.1 การเตรียม standardize กับ Sodium Oxalate

ชั่งสาร Sodium Oxalate ผสมกับสารละลาร HCl ความเข้ม 1 M ปริมาตร 100 mL เพื่อหาความเข้มข้นของ $KMnO_4$ ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ เพื่อหาหาค่าเฉลี่ย

2.2 การเตรียมตัวอย่างแบบผง

นำพืชตัวอย่างทั้ง 11 ชนิด ที่ทำความสะอาดแล้วจากนั้นตัดแยกส่วนแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C จนแห้งสนิท นำมาบดให้ละเอียดเป็นผงด้วยโกร่งบดสาร

2.3 การสกัดตัวอย่าง

ชั่งผงพืชในปริมาณ 1 กรัม ผสมกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 100 mL ให้ความร้อนที่ อุณหภูมิ 70-80°C ระยะ 15-30 นาที เพื่อสกัดสารแคลเซียมออกซาเลต ทำตัวอย่างละ 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณด้วยการไทเทรต

บรรจุสารละลายด่างทับทิม $KMnO_4$ ความเข้มข้น 0.02 M ลงในบิวเรตต์นำสารสกัดจากพืชที่เตรียมไว้มาทำการไทเทรตจน สารละลายเปลี่ยนเป็น สีชมพูอ่อนคงตัว (End point)

2.5 การคำนวณและบันทึกผล

บันทึกปริมาตรของ KMnO4 ที่ใช้ และนำไปคำนวณหาปริมาณแคลเซียมออกซาเลตจาก

$$\text{สมการ Calcium Oxalate(g)} = M_{KMnO_4} \times V_{KMnO_4} \times \frac{5}{2} \times 128.1$$

โดย M_{KMnO^4} = ความเข้มข้นของ KMnO4 (mol/L)

V_{KMnO^4} = ปริมาตรของ KMnO4 ที่ใช้ไทเทรต

128.1 = มวลโมเลกุลของ CaC_2O_4

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ตอนที่ 1 การหารูปร่างลักษณะของผลึกแคลเซียมออกซาเลตในพืชอาหารสัตว์ ด้วยเทคนิค Crossection

การศึกษาครั้งนี้ใช้เทคนิคการตัดเนื้อเยื่อพืชตามขวาง ในส่วนของ ใบ ก้านใบ และลำต้น โดยศึกษาลักษณะผลึกแคลเซียมออกซาเลตภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุที่ 10X และ 40X ผลการศึกษารูปร่างของผลึกในพืชอาหารสัตว์แต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 1 [7]

ตารางที่ 1 ลักษณะผลึกแคลเซียมออกซาเลตที่พบในพืชอาหารสัตว์

ลำดับ	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	ชื่อพื้นเมือง	ชนิดของผลึก		
				ใบ	ก้านใบ	ลำต้น
1	*Leucaena leucocephala*	Leguminosae	กระถิน	ปริซึม	รูปดาว	รูปดาว,ปริซึม
2	*Piper sarmentosum*	Piperaceae	ชะพลู	รูปดาว,ปริซึม	รูปดาว,ปริซึม	ปริซึม
3	*Commelina diffusa*	Commelinaceae	ผักปลาบใบแคบ	รูปเข็ม	รูปเข็ม	รูปเข็ม
4	*Alternanthera sessilis*	Amaranthaceae	ผักเป็ด	รูปดาว,ปริซึม	รูปดาว	รูปดาว
5	*Eichhornia crassipes*	Pontederiaceae	ผักตบชวา	รูปดาว	รูปดาว	รูปดาว
6	*Vigna radiata*	Fabaceae	ถั่วเขียว	ปริซึม	รูปดาว	รูปดาว
7	*Gomphrena globosa*	Amaranthaceae	บานไม่รู้โรย	รูปดาว	รูปดาว	รูปดาว
8	*Brachiaria mutica*	Poaceae	หญ้าขน	ปริซึม	ปริซึม	ปริซึม
9	*Coccinia grandis*	Cucurbitaceae	ตำลึง	รูปดาว	รูปดาว	รูปดาว
10	*Celosia argentea*	Amaranthaceae	หงอนไก่	รูปดาว	รูปดาว	รูปดาว
11	*Amaranthus viridis*	Amaranthaceae	ผักโขมบ้าน	รูปดาว,ปริซึม	รูปดาว	รูปดาว

ตอนที่ 2 การศึกษาปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในพืชอาหารสัตว์ ด้วยเทคนิค Permanganate Titration

การหาปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในตัวอย่างพืชอาหารสัตว์ ดำเนินการโดยใช้เทคนิคการไทเทรตแบบรีดอกซ์ (Redox Titration) ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) ซึ่งอาศัยหลักการออกซิไดซ์ สารสกัดออกซาเลตภายใต้สภาวะที่เป็นกรดและอุณหภูมิที่เหมาะสม (60-80°C) โดยปริมาณแคลเซียมออกซาเลตที่วิเคราะห์ จากสมการ

$$\text{Calcium Oxalate (g)} = M_{KMnO_4} \times V_{KMnO_4} \times \frac{5}{2} \times 128.1$$ มีค่าที่ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในพืชอาหารสัตว์ในส่วนต่างๆของลำต้น

ชนิดพืช	ลำต้นพืช	ก้านในพืช	ใบพืช	ค่าเฉลี่ยทั้งต้นของพืช
กระถิน	0.048	0.186	0.320	0.199
ชะพลู	0.038	0.123	0.137	0.100
ผักปลาบใบแคบ	0.006	0.080	0.065	0.068
ผักเป็ด	0.052	0.071	0.071	0.061
ผักตบชวา	0.043	0.060	0.024	0.043
ถั่วเขียว	0.028	0.031	0.065	0.041
บานไม่รู้โรย	0.068	0.068	0.068	0.068
หญ้าขน	0.0473	0.045	0.116	0.069
ตำลึง	0.026	0.089	0.089	0.057
หงอนไก่	0.036	0.138	0.138	0.087
ผักโขมบ้าน	0.048	0.048	0.134	0.084

ตอนที่ 3 การศึกษาหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์

จากการศึกษาปริมาณแคลเซียมออกซาเลต (CaC_2O_4) ที่ได้จากการวิเคราะห์ในตอนที่ 2 เพื่อประเมินศักยภาพในการตรึงคาร์บอน (Carbon Sequestration) ของพืชอาหารสัตว์ในรูปของผลึกชีวภาพ (Biogenic Crystals) โดยกระบวนการคำนวณ จะอ้างอิงจากสัดส่วนมวลอะตอมของคาร์บอนภายในโมเลกุลออกซาเลต จากนั้นจึงทำการประเมินค่าในระดับพื้นที่การศึกษานี้ได้นำข้อมูลในตอนที่ 2 มาหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์และประเมินปริมาณพืชในระดับพื้นที่เพาะปลูก (ต้นต่อไร่) โดยคำนึงถึงความหนาแน่นของจำนวนต้นพืชต่อไร่ของแต่ละชนิดเพื่อนำมาหาจำนวนคาร์บอนไดออกไซด์ [8] จากสมการ Carbon Storage (tC/rai) = Carbon Storage (g) × Total tree count มีค่าดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพืชอาหารสัตว์แต่ละชนิด

ลำดับ	ชื่อวิทยาศาสตร์	วงศ์	ชื่อพื้นเมือง	จำนวนต้น/ไร่	การเก็บคาร์บอน/ต้นคาร์บอน
1	*Leucaena leucocephala*	Leguminosae	กระถิน	1,600	1.3388
2	*Piper sarmentosum*	Piperaceae	ชะพลู	6,400	0.0898
3	*Commelina diffusa*	Commelinaceae	ผักปลาบใบแคบ	18,000	0.0587
4	*Alternanthera sessilis*	Amaranthaceae	ผักเป็ด	25,000	0.0592
5	*Eichhornia crassipes*	Pontederiaceae	ผักตบชวา	6,400	0.0081
6	*Vigna radiata*	Fabaceae	ถั่วเขียว	64,000	0.0155
7	*Gomphrena globosa*	Amaranthaceae	บานไม่รู้โรย	17,000	0.0494
8	*Brachiaria mutica*	Poaceae	หญ้าขน	6,400	0.0435
9	*Coccinia grandis*	Cucurbitaceae	ตำลึง	700	0.0014
10	*Celosia argentea*	Amaranthaceae	หงอนไก่	17,000	0.0809
11	*Amaranthus viridis*	Amaranthaceae	ผักโขมบ้าน	25,000	0.2471

6. สรุปผลการศึกษา

ตอนที่ 1 [4] ผลึกแคลเซียมออกซาเลต (calcium oxalate) เป็นองค์ประกอบที่พบได้ทั่วไปในเซลล์พืช โดยมีความหลากหลายของรูปร่างซึ่งสะท้อนถึงความแตกต่างทางชนิดพืชและหน้าที่ทางสรีรวิทยา ผลึกเหล่านี้เกิดและสะสมอยู่ภายในเซลล์เฉพาะที่เรียกว่า idioblast และสามารถจำแนกตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาได้หลายรูปแบบรูปแบบที่พบได้บ่อย ได้แก่ ผลึกรูปเข็ม (raphides) ซึ่งมีลักษณะเรียวยาว ปลายแหลม และมักรวมกันเป็นมัดภายในเซลล์ ลักษณะดังกล่าวเอื้อต่อการทำหน้าที่ป้องกันศัตรูพืช เมื่อเนื้อเยื่อถูกทำลาย ผลึกสามารถแทงทะลุเนื้อเยื่อของผู้บริโภคได้ นอกจากนี้ยังพบ ผลึกรูปดาว (druses) ซึ่งเป็นกลุ่มผลึกหลายแฉกรวมตัวกันเป็นก้อน ลักษณะคล้ายทรงกลมที่มีผิวขรุขระ พบได้อย่างแพร่หลายในใบและลำต้นของพืชหลายชนิดอีกลักษณะหนึ่งคือ ผลึกแบบปริซึม (prismatic crystals) ซึ่งมีรูปทรงเป็นเหลี่ยมชัดเจน อาจปรากฏเป็นแท่งหรือรูปทรงเรขาคณิตที่มีระเบียบมากกว่าแบบอื่น ๆ รวมถึง ผลึกแบบเม็ดทราย (crystal sand) ซึ่งประกอบด้วยผลึกขนาดเล็กจำนวนมากกระจายอยู่ภายในเซลล์ ทำให้มองเห็นเป็นลักษณะคล้ายเม็ดทรายเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ นอกจากนี้ยังมีผลึกบางชนิดที่มีลักษณะยาวหรือแบน เช่น styloids ซึ่งพบในพืชบางกลุ่มรูปร่างของผลึกแคลเซียมออกซาเลตมีความหลากหลายตั้งแต่แบบเรียวยาวจนถึงแบบรวมตัวเป็นก้อน ทั้งนี้ความแตกต่างของลักษณะดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับบทบาทของผลึกในด้านการสะสมแคลเซียมออกซาเลต

ตอนที่ 2 พืชสามารถจำแนกตามกระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้เป็นพืช C3 และ C4 ซึ่งมีความแตกต่างกันในขั้นตอนการจับ CO_2 และประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง โดยพืช C3 ซึ่งเป็นพืชส่วนใหญ่ของโลก มีผลิตภัณฑ์แรกของการตรึงคาร์บอนเป็นสารที่มีคาร์บอน 3 อะตอม ผ่านวัฏจักรคาลวินโดยเอนไซม์ RuBisCO [9] อย่างไรก็ตาม เอนไซม์นี้สามารถจับออกซิเจนได้ ทำให้เกิดกระบวนการหายใจแสง (photorespiration) ส่งผลให้สูญเสียพลังงาน โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงในขณะที่พืช C4 มีกลไกเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 ภายในใบ โดยเริ่มตรึง CO_2 เป็นสารที่มีคาร์บอน 4 อะตอม และมีการแยกตำแหน่งของกระบวนการสังเคราะห์แสงระหว่างเซลล์ mesophyll และ bundle sheath ส่งผลให้ลดการเกิด photorespiration และเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ดีกว่า [9] นอกจากนี้ ยังมีการค้นพบกลไก 'Alarm Photosynthesis' ซึ่งระบุว่าผลึกแคลเซียมออกซาเลตในเนื้อเยื่อพืชสามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งสำรอง CO_2 ภายใน เพื่อสนับสนุนการสังเคราะห์แสงในสภาวะที่พืชขาดแคลนก๊าซจากภายนอก [10], [11]ด้วยเหตุนี้ พืช C4 จึงมีประสิทธิภาพในการใช้ CO_2 และการสังเคราะห์แสงสูงกว่าพืช C3 ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้มีศักยภาพในการเจริญเติบโตและการกักเก็บคาร์บอนที่ดีกว่า ซึ่งกลไกการสะสมแคลเซียมออกซาเลตนี้ถือเป็นส่วนสำคัญในการควบคุมสมดุลทางสรีรวิทยาและการจัดการคาร์บอนของพืชอย่างมีประสิทธิภาพ [12]

ตอนที่ 3 จากการหาค่าคาร์บอนไดออกไซด์ในของพืชแต่ละชนิด ในพื้นที่1ไร่พบว่ากระถินเป็นพืชที่มีการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์มากที่สุดในพืช11ชนิด กระถิน (*Leucaena leucocephala*) (C3 Plants) จากข้อมูลพบว่า กระถิน (พืช C3) มีการสะสมแคลเซียมออกซาเลตสูงและคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดและเป็นพืชยืนต้น มีการสะสมแคลเซียมออกซาเลตในไอดิโอบลาสต์ (idioblast) ที่มาก จึงมีความเหมาะสมในการปลูกเพื่อช่วยดูดซับและกักเก็บคาร์บอนมากที่สุดในกลุ่มตัวอย่างนี้ โดยมีศักยภาพสูงในการกักเก็บคาร์บอน โดยเฉลี่ยดูดซับ CO_2 1,600 ตัน/ไร่ (ในส่วนเหนือพื้นดินทั้งหมด) หรือดูดซับได้ประมาณ 1.3 ตันคาร์บอนต่อปี แต่อย่างไรก็ตามพืช C3 เป็นพืชที่มีการตรึงคาร์บอนเพียง 1 ครั้งซึ่งน้อยกว่าพืช C4 ที่ตึงคาร์บอน 2 ครั้ง ละพืช C3 เป็น พืชไม้ยืนต้นใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตมากกว่าพืช C4 ที่ส่วนใหญ่เป็นพืชล้มลุก ดังนั้น การสร้างนวัตกรรมเพื่อกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์จึงควรใช้พืช ร่วนกันทั้ง C3 และ C4 เพื่อให้ประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์มีมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] ญามิณฑ์ เก่งกาจ, เพชรรัตน์ จองทองหลาง และผุสดี พรหมประสิทธิ์. (2565). การตรวจหาผลึกแคลเซียมออกซาเลตในผักพื้นบ้าน ตำบลบ้านใหม่ อำเภอครบุรี จังหวัดนครราชสีมา. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

[2] สำนักพัฒนาอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์. (2560). คุณค่าทางโภชนาการของพืชอาหารสัตว์และผลพลอยได้ทางการเกษตรไทย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://nutrition.dld.go.th/. สืบค้นเมื่อ 2 มีนาคม พ.ศ. 2569.

[3] ประศาสตร์ เกื้อมณี. (2551). เทคนิคเนื้อเยื่อพืช (Techniques in plant tissue). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[4] ประศาสตร์ เกื้อมณี. (2560). เซลล์และเนื้อเยื่อพืช (Plant Cell and Tissue). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[5] AOAC. (2016). Official Methods of Analysis of AOAC International (20th ed). Gaithersburg, MD: AOAC International.

[6] Mendham, J., Denney, R. C., Barnes, J. D., & Thomas, M. J. K. (2000). Vogel's textbook of quantitative chemical analysis (6th ed). Prentice Hall.

[7] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. [ออนไลน์]. ฐานข้อมูลพรรณไม้ (Plant Database). เข้าถึงได้จาก https://sci.pcru.ac.th/plant-database/. สืบค้น เมื่อ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2569.

[8] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2568). การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (Calculation for Carbon Sequestration in tree). [ออนไลน์].เข้าถึงได้ จาก: https://ghgreduction.tgo.or.th/th/tver-method/tver-tool/for-agr/item/3451-calculation-for-carbon-sequestration.html สืบค้น เมื่อ 10 มีนาคม 2569

[9] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (ม.ป.ป.). การสังเคราะห์ด้วยแสงและการตรึงคาร์บอนในพืช C3 และ C4. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://il.mahidol.ac.th/e-media/ap-biology1/Chapter8/Part7.html. สืบค้น เมื่อ 2 มีนาคม พ.ศ. 2569.

[10] Nakata, P. A. (2003). Advances in our understanding of calcium oxalate crystal formation and function in plants. Plant Physiology, 132(3), pp. 1162-1167.

[11] Tooulakou, G., et al. (2016). Alarm photosynthesis: Calcium oxalate crystals as an internal CO2 source in plants. Plant Physiology, 171(4), 2577-2585

[12] Franceschi, V. R., & Nakata, P. A. (2005). "Calcium oxalate in plants: formation and function." Annual Review of Plant Biology.Verrecchia, E. P., et al. (2006). "The oxalate-carbonate pathway in soil carbon storage." Trends in Plant Science.

พลังงานทางเลือก
Alternative Energy

Oral Presentation

การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ที่นำไปใช้กับโหลดดีซีเทียบกับโหลดเอซี

บรรณวัฒน์ ประเสริฐวงษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ตำบลองครักษ์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ประเทศไทย

**Corresponding author: komkrit@g.swu.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอโปรแกรมการคำนวณหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากระบบโซลาร์เซลล์ใน 4 รูปแบบได้แก่ 1) การใช้ไฟดีซีจากแผงโซลาร์โดยตรงกับโหลดแบบดีซี 2) การใช้ไฟดีซีจากแผงโซลาร์เซลล์ที่มีแบตเตอรี่และใช้กับโหลดแบบดีซี 3) การใช้ไฟเอซีที่ได้จากการแปลงด้วยเครื่องอินเวอร์เตอร์ที่บ้าน 4) การใช้ไฟเอซีที่ได้จากระบบโซลาร์เซลล์ของการไฟฟ้า

การผลิตในรูปแบบที่ 1 จะมีแค่แผงโซลาร์เซลล์ที่เน้นใช้งานจากโซลาร์เซลล์โดยตรง การผลิตไฟฟ้าในแบบที่ 2 สิ่งที่เพิ่มจากรูปแบบที่ 1 คือแบตเตอรี่ การผลิตในรูปแบบที่ 3 สิ่งที่เพิ่มจากรูปแบบที่ 2 คือการเพิ่มตัวแปลงไฟจากดีซีเป็นเอซี การผลิตในรูปแบบที่ 4 สิ่งเพิ่มขึ้นจากรูปแบบที่ 3 คือการสูญเสียในระบบสายส่ง และการเพิ่มกำไรของการไฟฟ้า

การออกแบบระบบดีซีจะมุ่งเน้นใช้กับโหลดดีซีที่ใช้ไฟดีซี 12 โวลต์และ 24 โวลต์ ได้แก่ หลอดไฟ หม้อหุงข้าว กระทะไฟฟ้า ตู้เย็น เครื่องต้มน้ำ พัดลม ทีวี และแอร์ดีซีบริสุทธิ์ บ้านมีการใช้ไฟดีซีวันละ 2-3 หน่วย/วัน

จากผลการคำนวณพบว่าการผลิตไฟฟ้าดีซีที่มีต้นทุนต่ำสุดคือระบบการใช้ไฟฟ้าดีซีโดยตรงขนาด 1.04 kW มีต้นทุน 0.4663 บาท/หน่วย ใช้เงินลงทุน 10,280 บาท รองลงมาเป็นระบบไฟดีซี 1.04 kW ที่มีแบตเตอรี่ 6.656 kWh มีต้นทุน 2.2961 บาท/หน่วย ใช้เงินลงทุน 46,818 บาท ส่วนระบบไฟเอซีขนาด 5 kW ที่ไม่มีแบตเตอรี่ มีต้นทุน 0.5832 บาท/หน่วย ใช้เงินลงทุน 90,193 บาท และ ระบบไฟเอซีขนาด 5 kW ที่มีแบตเตอรี่ 10.24 kWh มีต้นทุน 2.8618 บาท/หน่วย ใช้เงินลงทุน 160,193บาท

คำสำคัญ: กริดขนาดเล็กจ่ายไฟดีซีโดยตรง / โซลาร์เซลล์ / ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้า / ผลิตไฟดีซีด้วยแบตเตอรี่ / ดีซีนาโนกริด

Calculating the cost of electricity production from solar cells used with DC loads compared to AC loads

Bannawat Prasertwong*

Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, Thailand
**Corresponding author: komkrit@g.swu.ac.th*

Abstract

This research article presents a program for calculating the cost of electricity production from solar cell systems in 4 formats: 1) Using DC power from solar panels directly with DC loads; 2) Using DC power from solar panels with batteries and using with DC loads; 3) Using AC power from the inverter at home. 4) Using AC power from the electricity generation solar cell system.

The first type of production will have only solar panels that focus on using solar cells directly. The second type of electricity production has an additional thing from the first type, which is batteries. Generation type 3, the addition from generation type 2 is the addition of a DC to AC converter. Generation type 4, the addition from generation type 3, the loss in the transmission system and the increase in the profit of the electricity authority.

DC system design is focused on DC loads that use 12 volt and 24 volt DC power, such as light bulbs, rice cookers, electric frying pans, refrigerators, water boilers, fans, TVs, and pure DC air conditioners. The household uses 2-3 units of DC electricity per day.

Calculations show that the lowest-cost DC electricity production system is a 1.04 kW direct DC power system with a cost of 0.4663 baht/unit and an investment of 10,280 baht. This is followed by a 1.04 kW DC system with a 6.656 kWh battery, with a cost of 2.2961 baht/unit and an investment of 46,818 baht. A 5 kW AC system without a battery has a cost of 0.5832 baht/unit and an investment of 90,193 baht, while a 5 kW AC system with a 10.24 kWh battery has a cost of 2.8618 baht/unit and an investment of 160,193 baht.

Keywords: Direct Drive DC Microgrid / Solar PV / Levelized Cost of Energy / Battery-based DC / DC nanogrid

1. บทนำ

โครงข่ายไฟฟ้าในยุคแรกของโลกสร้างโดยโทมัส เอดิสันเป็นระบบไฟฟ้าดีซีไมโครกริดขนาดแรงดันดีซี 110 V สร้างขึ้นที่กรุงลอนดอน ประเทศอังกฤษ ในเดือนมกราคมปี 1882 มีรัศมีการให้บริการประมาณ 1 กิโลเมตร ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีซีขนาด 93 kW ที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องจักรไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ต่อมาในเดือนกันยายนปีเดียวกันโทมัส เอดิสันได้สร้างที่ย่านเพิร์ลสตรีทของแมนฮัตตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นระบบไฟฟ้าดีซีแรงดัน 110 V มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 เครื่อง ขับเคลื่อนด้วยไอน้ำของโรงไฟฟ้าถ่านหิน และจ่ายไฟดีซี ให้กับลูกค้า 85 รายภายในรัศมีประมาณ 1 กิโลเมตร [1]

ต่อมาเนื่องจากมีการสร้างโรงไฟฟ้าที่ไกลออกไปจากชุมชนจึงทำให้มีการใช้ระบบการส่งไฟฟ้าเอซีเข้ามาแทนที่เพราะสามารถเพิ่มลดแรงดันได้ง่ายกว่าระบบไฟฟ้าดีซี และช่วยลดการสูญเสียในสายส่งเมื่อเพิ่มแรงดันในสายส่งให้สูงขึ้น จึงทำให้ทั่วโลกหันมาใช้ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเอซีเป็นจำนวนมาก แต่ในปัจจุบันด้วยปัญหาโลกร้อนขึ้นจึงได้มีการจัดทำความตกลงปารีส (Paris Agreement) ซึ่งประเทศไทยได้เข้าร่วมลงนามเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2559 โดย พล.อ.ประยุทธ์ จันทร์โอชา นายกรัฐมนตรี

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่มีราคาถูกลงจึงทำให้มีการพัฒนาระบบไฟฟ้าดีซีเข้ามาแทนที่ระบบไฟฟ้าเอซี [2] – [9]. ปัจจุบันระบบไฟฟ้าดีซีใช้กันส่วนใหญ่ในรถบรรทุก หรือรถบ้านที่ใช้ในการท่องเที่ยว การออกแบบระบบไฟฟ้าดีซีที่เข้ามาแทนที่ระบบไฟฟ้าเอซีแบบ 100% ยังไม่ปรากฏว่ามีอยู่ที่ไหน แต่ที่บ้านของผู้เขียนได้ออกแบบระบบไฟฟ้าดีซีที่ใช้กับโหลดดีซีแบบ 100% และเป็นพลังงานสะอาดจากโซลาร์เซลล์ 100%

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าระบบดีซีเทียบกับระบบเอซี
2. เพื่อส่งเสริมการใช้งานไฟฟ้าระบบดีซีให้มากขึ้น
3. เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สะอาดแบบร้อยเปอร์เซ็นต์ตลอดทั้งวัน

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไฟฟ้านาโนกริด คือมีกำลังไฟฟ้าต่ำกว่า 20 kW ใน 4 รูปแบบได้แก่

1. ระบบไฟดีซีขนาด 1.04 kW ที่ผลิตจากแผงโซลาร์และป้อนกับโหลดดีซีโดยตรงใช้ได้เฉพาะช่วงมีแดดเท่านั้น
2. ระบบไฟดีซีขนาด 1.04 kW ที่มีแบตเตอรี่ขนาด 6.656 kWh เก็บพลังงานไว้ใช้ตอนไม่มีแสงแดด ใช้กับโหลดดีซี
3. ระบบไฟเอซีขนาด 5 kW ที่มีแบตเตอรี่ขนาด 10.24 kWh มีเครื่องอินเวอร์เตอร์ในการแปลงไฟดีซีให้เป็นไฟเอซีใช้กับโหลดเอซีที่บ้าน
4. ระบบไฟเอซีที่ได้จากระบบโซลาร์เซลล์ของการไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายให้กับประชาชน

4. วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MATLAB คำนวณหาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าใน 4 รูปแบบ โดยได้มีการติดตั้งจริงที่บ้านเป็นระบบดีซีนาโนกริด (DC nanogrid) และใช้ในชีวิตประจำวัน การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย ได้มีการแยกคิดเป็น 5 ส่วน ได้แก่ 1.ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของแผงโซลาร์เซลล์ 2.ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของค่าจ้างติดตั้งระบบ 3. ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของแบตเตอรรี่ 4.ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของเครื่องชาร์จ 5. ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของเครื่องอินเวอร์เตอร์. การคำนวณต้นทุนในแต่ละส่วนจะนำเงินลงทุนของแต่ละส่วนหารด้วยปริมาณการจ่ายพลังงานของอุปกรณ์นั้นตลอดช่วงอายุใช้งาน

4.1 วีธีการการคำนวณต้นทุนในการผลิตระบบไฟดีซีโดยตรง (Direct Drive DC System)

ระบบไฟฟ้าดีซีที่ใช้วิเคราะห์นี้ได้มีการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์แบบโค้งงอจำนวน 2 แผง ขนาด 520 วัตต์ รวมเป็น 1,040 วัตต์ แรงดันพีค 42.04 V การคำนวณต้นทุนในระบบนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ 1.ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของแผงโซลาร์เซลล์ 2.ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยของค่าจ้างติดตั้งระบบ 3. คำนวณต้นทุนรวม ดังมีรายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กรณีที่ 1 การคำนวณต้นทุนในการผลิตระบบไฟดีซีโดยตรงจากแผงโซลาร์เซลล์

ตัวแปร	ปริมาณ	หน่วย
ส่วนที่ 1 คำนวณต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของ PV		
กำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์รวม (PV_Power) =1040;	1,040	วัตต์
ราคาแผงโซลาร์เซลล์ PV_Panel_Price (บาท) =6120;	6,120	บาท
อายุการใช้งานของแผง PV (PV_Lifespan_Year) =20;	20	ปี
วันที่ไม่มีแดด วันที่ฝนตก (Rainy_day_per_Year) =100;	100	วัน
วันที่มีแสงแดด (PV_Work_Day) = 365-วันที่ฝนตก	268	วัน
วันที่มีแสงแดดตลอดอายุการใช้งาน (PV_Lifesapn_Day) =วันที่มีแสดงแดด *อายุการใช้งานของแผง	5,300	วัน
พลังงานที่ PV ผลิตได้ต่อวัน (PV_Energy_per_Day) =(4/1000)*กำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์รวม;	4.1600	kWh
พลังงานที่ PV ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน (PV_Lifespan_Energy) =วันที่มีแสงแดดตลอดอายุการใช้งาน* พลังงานที่ PV ผลิตได้ต่อวัน;	22,048	kWh (หน่วย)
ต้นทุนผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยของ PV (PV_Energy_per_Unit) = ราคาแผง PV/พลังงานที่ PV ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน	0.2776	บาท/หน่วย
ส่วนที่ 2 คำนวณต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง		
ค่าจ้างติดตั้งต่อวัตต์รวมสายไฟ (Install_Cost_per_Watt) (คิดรวมสายไฟและอุปกรณ์เบรกเกอร์)	4	บาท/วัตต์
ค่าจ้างติดตั้งทั้งหมด (Total_Install_Cost)	4,160	บาท
ต้นทุนผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยของการติดตั้ง (Install_Energy_per_Unit) = ค่าจ้างติดตั้ง/พลังงานที่ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน	0.1887	บาท/หน่วย
ส่วนที่ 3 คำนวณต้นทุนรวมทั้งหมด		
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวม (Total_Energy_per_Unit) = ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของ PV;	0.4663	บาท/หน่วย
ต้นทุนรวม (Total_Cost) = ราคาแผง PV + ค่าจ้างติดตั้ง	10,280	บาท

4.2 วีธีการการคำนวณต้นทุนในการผลิตระบบไฟดีซีที่มีแบตเตอรี่

ระบบไฟฟ้าดีซีที่ใช้วิเคราะห์นี้ได้มีการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เหมือนกับกรณีที่ 1 แต่มีการเพิ่มแบตเตอรี่ขนาด 6.656 kWh เพื่อใช้ในช่วงกลางคืน รายละเอียดการคำนวณแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กรณีที่ 2 การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าระบบดีซีที่มีแบตเตอรี่

ตัวแปร	ปริมาณ	หน่วย
ส่วนที่ 1 คำนวณต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของ PV		
กำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์รวม (PV_Power)	1,040	วัตต์
ราคาแผงโซลาร์เซลล์ PV_Panel_Price	6,120	บาท
อายุการใช้งานของแผง PV (PV_Lifespan_Year)	20	ปี
วันที่ไม่มีแดด วันที่ฝนตก (Rainy_day_per_Year)	100	วัน
วันที่มีแสดงแดด (PV_Work_Day) = 365-วันที่ฝนตก	268	วัน
วันที่มีแสงแดดตลอดอายุการใช้งาน (PV_Lifesapn_Day)	5,300	วัน
พลังงานที่ PV ผลิตได้ต่อวัน (PV_Energy_per_Day) =(4/1000)*กำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์รวม;	4.1600	kWh
พลังงานที่ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน (PV_Lifespan_Energy)	21,200	kWh
ต้นทุนผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยของ PV (PV_Energy_per_Unit) = ราคาแผง PV/พลังงานที่ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน	0.2887	บาท/หน่วย
ส่วนที่ 2 คำนวณต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง		
ค่าจ้างติดตั้งต่อวัตต์ (Install_Cost_per_Watt) =4 ; (คิดรวมสายไฟและอุปกรณ์เบรกเกอร์)	4	บาท/วัตต์
ค่าจ้างติดตั้งทั้งหมด (Total_Install_Cost)	4,160	บาท
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง (Install_Energy_per_Unit) = ค่าจ้างติดตั้ง/พลังงานที่ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน	0.1187	บาท/หน่วย
ส่วนที่ 3 คำนวณต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแบตเตอรี่		
อายุใช้งานของแบตเตอรี่ (Battery_Lifespan) =3000; (คิดที่ DOD 50% ตรงกับ 3000 รอบ)	3000	รอบ
ความจุของแบตเตอรี่รวม (Total_Battery_Energy_Storage_Capacity)=6.656;	6.656	kWh
พลังงานที่แบตเตอรี่เก็บได้ตลอดอายุใช้งาน (Battery_Lifespan_Storage_Energy) =อายุใช้งานของแบตเตอรี่ * ความจุของแบตเตอรี่รวม;	19,968	kWh
ราคาแบตเตอรี่ (Battery_Cost) =31,501;	31,501	บาท
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแบตเตอรี่ (Battery_Energy_per_Unit) = ราคาแบตเตอรี่ /พลังงานที่แบตเตอรี่เก็บได้ตลอดอายุใช้งาน		
ส่วนที่ 4 คำนวณต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของเครื่องชาร์จ		
อายุการใช้งานของเครื่องชาร์จ (Charger_Lifespan) = อายุใช้งานของแบตเตอรี่	3,000	รอบ
การจ่ายพลังงานของเครื่องชาร์จตลอดอายุการใช้งาน (Charger_Lifespan_Energy) = พลังงานที่แบตเตอรี่เก็บได้ตลอดอายุใช้งาน	19,968	kWh
ราคาเครื่องชาร์จ (Charger_Cost) = 5037; % in Baht	5,037	บาท
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของเครื่องชาร์จ (Charger_Energy_per_Unit) = ราคาเครื่องชาร์จ / การจ่ายพลังงานของเครื่องชาร์จตลอดอายุการใช้งาน	0.2523	บาท
ส่วนที่ 5 คำนวณต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวมและเงินลงทุนทั้งหมด		
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวม (Total_Energy_per_Unit) = ต้นทุนผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยของ PV + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแบตเตอรี่ + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของเครื่องชาร์จ;	2.2961	บาท/หน่วย
ต้นทุนรวม (Total_Cost) = ราคาแผง PV + ค่าจ้างติดตั้ง + ราคาแบตเตอรี่ + ราคาเครื่องชาร์จ	46,818	บาท

4.3 การคำนวณต้นทุนการผลิตระบบไฟฟ้าเอซี

การคำนวณในวิธีการนี้มีการพิจารณาทั้งผลิตไฟเอซีใช้เองที่บ้านและการผลิตจากระยะไกลแล้วส่งผ่านสายส่งมายังบ้านซึ่งการคำนวณได้พิจารณาการสูญเสียต่างๆ ได้แก่การสูญเสียในสายส่ง [2] การสูญเสียในแบตเตอรี่ การสูญเสียในแผงโซลาร์เซลล์ การสูญเสียในอินเวอร์เตอร์ อย่างละ 10% และบวกกำไรที่การไฟฟ้าขายให้กับผู้ซื้อ 20% รายละเอียดการคำนวณแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กรณีที่ 3 การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าระบบเอซี

ตัวแปร	ปริมาณ	หน่วย
ส่วนที่ 1 คำนวณต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของ PV		
กำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ (PV_Power)	5,310	วัตต์
ราคาแผงโซลาร์เซลล์ (PV_Panel_Price)	34,029	บาท
อายุการใช้งานของแผง PV (PV_Lifespan_Year)	20	ปี
วันที่ไม่มีแดด วันที่ฝนตก (Rainy_day_per_Year)	100	วัน
วันที่มีแสงแดด (PV_Work_Day) = 365-วันที่ฝนตก	268	วัน
วันที่มีแสงแดดตลอดอายุการใช้งาน (PV_Lifesapn_Day)	5,300	วัน
PV ผลิตพลังงานได้ต่อวัน (PV_Energy_per_Day)	21.2400	kWh
พลังงานที่ PV ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน (PV_Lifespan_Energy)	112,572	kWh
ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยของ PV (PV_Energy_per_Unit) = ราคาแผง PV/พลังงานที่ PV ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน	0.3023	บาท/หน่วย
พิจารณาการสูญเสียในสายส่งของ PV		
การสูญเสียในสายส่งของ PV (PV_Loss) =0.9; (ค่า 0.9 คือการสูญเสียที่สายส่ง 10%)	10	%
พลังงานที่ PV ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งานเมื่อหักการสูญเสีย (PV_Lifespan_Loss_Energy) = พลังงานที่ PV ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน *การสูญเสียในสายส่งของ PV	101,314.8	kWh
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของ PV เมื่อหักการสูญเสีย (PV_Loss_Energy_per_Unit) = ราคาแผงโซลาร์เซลล์ / พลังงานที่ PV ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งานเมื่อหักการสูญเสีย	0.3359	บาท/หน่วย
ส่วนที่ 2 คำนวณต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแบตเตอรี่		
อายุใช้งานของแบตเตอรี่ (Battery_Lifespan) =3000; (คิดที่ DOD 50% ตรงกับ 3000 รอบ)	3000	รอบ
ความจุของแบตเตอรี่รวม (Total_Battery_Energy_Storage_Capacity)=6.656;	10.24	kWh
พลังงานที่แบตเตอรี่เก็บได้ตลอดอายุใช้งาน (Battery_Lifespan_Storage_Energy) =อายุใช้งานของแบตเตอรี่ * ความจุของแบตเตอรี่รวม;	30,720	kWh
ราคาแบตเตอรี่ (Battery_Cost) =31,501;	31,501	บาท
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแบตเตอรี่ (Battery_Energy_per_Unit) = ราคาแบตเตอรี่ /พลังงานที่แบตเตอรี่เก็บได้ตลอดอายุใช้งาน	2.2786	บาท/หน่วย
พิจารณาการสูญเสียในสายส่งของแบตเตอรี่		
การสูญเสียในสายส่งของแบตเตอรี่ (Battery_Loss) =0.9; (ค่า 0.9 คือการสูญเสียที่สายส่ง 10%)	10	%
พลังงานที่แบตเตอรี่เก็บได้ตลอดอายุการใช้งานเมื่อหักการสูญเสีย (Battery_Lifespan_Storage_Loss_Energy) = พลังงานที่แบตเตอรี่เก็บได้ตลอดอายุการใช้งาน *การสูญเสียในสายส่งของแบตเตอรี่	27,648	kWh
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแบตเตอรี่เมื่อหักการสูญเสีย (Battery_Loss_Energy_per_Unit) = ราคาแบตเตอรี่ /พลังงานที่แบตเตอรี่เก็บได้ตลอดอายุการใช้งานเมื่อหักการสูญเสีย	2.5318	บาท/หน่วย

ตารางที่ 3 กรณีที่ 3 การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าระบบเอซี (ต่อ)

ตัวแปร	ปริมาณ	หน่วย
ส่วนที่ 3 คำนวณต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของอินเวอร์เตอร์		
กำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ (Inverter_Power) =5000;	5,000	วัตต์
ปีอายุการใช้งานของอินเวอร์เตอร์ (Invereter_Lifespan_Year) = 10;	10	ปี
วันอายุการใช้งานของอินเวอร์เตอร์ (Inverter_Lifespan_Day) = ปีอายุการใช้งานของอินเวอร์เตอร์ *365;	3,650	วัน
ชั่วโมงการทำงานของอินเวอร์เตอร์ต่อวัน (Inverter_On_per_Day=24;	24	ชั่วโมง
ชั่วโมงการทำงานของอินเวอร์เตอร์ตลอดอายุใช้งาน (Inverter_Lifespan_Hour) = ชั่วโมงการทำงานของอินเวอร์เตอร์ต่อวัน * วันอายุการใช้งานของอินเวอร์เตอร์	87,600	ชั่วโมง
การจ่ายพลังงานของอินเวอร์เตอร์ตลอดอายุการใช้งาน (Invereter_Lifespan_Energy) = (ชั่วโมงการทำงานของอินเวอร์เตอร์ตลอดอายุใช้งาน * กำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ * 0.8)/1000; (สมมุติอินเวอร์เตอร์จ่ายโหลดสูงสุด 80% และ 1000 คือการแปลงจาก Wh เป็น kWh)	350,400	kWh
ราคาอินเวอร์เตอร์ (Invereter_Cost) = 36164;	36,164	บาท
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของอินเวอร์เตอร์ (Invereter_Energy_per_Unit) = ราคาเครื่องชาร์จ / การจ่ายพลังงานของอินเวอร์เตอร์ตลอดอายุการใช้งาน	0.1032	บาท
พิจารณาการสูญเสียในสายส่งของอินเวอร์เตอร์		
การสูญเสียในสายส่งของอินเวอร์เตอร์ (Inverter_Loss) =0.9; (ค่า 0.9 คือการสูญเสียที่สายส่ง 10%)	10	%
พลังงานที่อินเวอร์เตอร์จ่ายตลอดอายุการใช้งานเมื่อหักการสูญเสีย (Inverter_Lifespan_Storage_Loss_Energy) = พลังงานที่อินเวอร์เตอร์จ่ายตลอดอายุการใช้งาน *การสูญเสียในสายส่งของอินเวอร์เตอร์	315,360	kWh
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของอินเวอร์เตอร์เมื่อหักการสูญเสีย (Battery_Loss_Energy_per_Unit) = ราคาแบตเตอรี่ /พลังงานที่อินเวอร์เตอร์จ่ายตลอดอายุการใช้งานเมื่อหักการสูญเสีย	0.1147	บาท/หน่วย
ส่วนที่ 4 คำนวณต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง		
ค่าจ้างติดตั้งต่อวัตต์ (Install_Cost_per_Watt) =4; (คิดรวมสายไฟและอุปกรณ์เบรกเกอร์)	4	บาท/วัตต์
ค่าจ้างติดตั้ง (Install_Cost) = ค่าจ้างติดตั้งต่อวัตต์ *Inverter_Power;	20,000	บาท
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง (Install_Energy_per_Unit) = ค่าจ้างติดตั้ง/พลังงานที่ PV ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน	0.1777	บาท/หน่วย
ส่วนที่ 5 คำนวณต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวมและเงินลงทุนทั้งหมด		
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวมแบบมีแบตเตอรี่ (With_Battery_Grid_Energy_per_Unit) = ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของ PV + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแบตเตอรี่ + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของอินเวอร์เตอร์ต้นทุน + พลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง	2.8618	บาท/หน่วย
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวมแบบมีแบตเตอรี่เมื่อหักการสูญเสีย (With_Battery_Grid_Loss_Energy_per_Unit) = ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของ PV เมื่อหักการสูญเสีย + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของแบตเตอรี่เมื่อหักการสูญเสีย + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของอินเวอร์เตอร์เมื่อหักการสูญเสีย;	3.1600	บาท/หน่วย
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวมแบบไม่มีแบตเตอรี่ (Total_Energy_per_Unit_without_Battery) = ราคาแผงโซลาร์เซลล์ + ราคาอินเวอร์เตอร์ + ค่าจ้างติดตั้ง ; (คือระบบพลังงานสะอาดเฉพาะมีแสงแดด)	0.5832	บาท/หน่วย
ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวมแบบไม่มีแบตเตอรี่เมื่อหักการสูญเสีย (With_Battery_Grid_Loss_Energy_per_Unit) = ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของ PV เมื่อหักการสูญเสีย + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของการติดตั้ง + ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยของอินเวอร์เตอร์เมื่อหักการสูญเสีย;	0.6282	บาท/หน่วย

ตารางที่ 3 กรณีที่ 3 การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าระบบเอซี (ต่อ)

ตัวแปร	ปริมาณ	หน่วย
เงินลงทุนระบบไฟฟ้า AC ที่มีแบตเตอรี่ (With_Battery_Grid_Cost) = ราคาแผงโซลาร์เซลล์ + ราคาแบตเตอรี่ + ราคาอินเวอร์เตอร์ + ค่าจ้างติดตั้ง ; (คือระบบพลังงานสะอาด 100%)	160,193	บาท
เงินลงทุนระบบไฟฟ้า AC ที่ไม่มีแบตเตอรี่ (Without_Battery_Grid_Cost) = ราคาแผงโซลาร์เซลล์ + ราคาอินเวอร์เตอร์ + ค่าจ้างติดตั้ง;	90,193	บาท
ส่วนที่ 6 คำนวณราคาขายไฟของการไฟฟ้า		
กำไรของการขาย (Profite) = 1.2; (สมมุติขายจากการขาย 20%)	20	%
ราคาขายช่วงไม่มีแดด (Sell_Price_Sunless_Grid) = กำไรของการขาย * ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวมแบบมีแบตเตอรี่เมื่อหักการสูญเสีย	3.7921	บาท/ต่อหน่วย
ราคาขายช่วงมีแดด (Sell_Price_Sunny_Grid) = กำไรของการขาย * ต้นทุนพลังงานต่อหน่วยรวมแบบไม่มีแบตเตอรี่เมื่อหักการสูญเสีย	0.7539	บาท/ต่อหน่วย

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการคำนวณพบว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่ต่ำสุดคือระบบผลิตไฟดีซีโดยตรงมีต้นทุน 0.4663 บาทต่อหน่วย เพราะระบบนี้ไม่มีเครื่องชาร์จและแบตเตอรี่ แสดงดังตารางที่ 4 รองลงมาคือระบบผลิตไฟฟ้าเอซีที่ไม่มีแบตเตอรี่มีต้นทุน 0.5832 บาทต่อหน่วย ซึ่งจะใช้ได้เฉพาะช่วงมีแดด รองลงมาอีกคือระบบผลิตไฟฟ้าดีซีที่มีแบตเตอรี่มีต้นทุน 2.2961 บาทต่อหน่วย ข้อดีของระบบนี้คือสามารถใช้พลังงานบริสุทธิ์ได้ 100% และมีความปลอดภัยสูงเพราะใช้แรงดัน 12 V และ 24 V แต่ข้อเสียของระบบนี้ก็คือต้องซื้อโหลดที่ใช้กับไฟดีซี รองลงมาอีกคือระบบผลิตไฟฟ้าเอซีที่มีแบตเตอรี่ มีต้นทุน 2.8618 บาทต่อหน่วย ข้อดีของระบบนี้ก็คือไม่ต้องซื้อโหลดใหม่ แต่ข้อเสียก็คือมีการลงทุนที่สูง และโหลดเอซีจะกินไฟมากกว่าโหลดดีซี ส่วนระบบการผลิตไฟฟ้าเอซีที่ใช้โซลาร์เซลล์ของการไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่จะมีราคาแพงที่สุดเนื่องจากมีการบวกกำไรเข้าไปอีก 20% และบวกค่าการสูญเสียในสายส่งอีก 10% จึงทำให้มีราคาขายอยู่ที่ 3.7921 บาทต่อหน่วย แต่ถ้าไม่มีแบตเตอรี่จะมีราคาขายอยู่ที่ 0.7539 บาทต่อหน่วย

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าระบบดีซีเทียบกับระบบเอซี

	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/หน่วย)	เงินลงทุน (บาท)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ความจุแบตเตอรี่ (kWh)
1. ระบบไฟดีซีโดยตรง	0.4663	10,280	1,040	-
2. ระบบไฟดีซีที่มีแบตเตอรี่	2.2961	46,818	1,040	6.656
3. ระบบไฟเอซีผลิตที่บ้าน -แบบมีแบตเตอรี่ -แบบไม่มีแบตเตอรี่	 2.8618 0.5832	 160,193 90,193	 5,310 5,310	 10.24 -
4. ระบบไฟเอซีของการไฟฟ้าที่สะอาด 100% (กำไร 20% + การสูญเสียในสายส่ง 10%) -แบบมีแบตเตอรี่ -แบบไม่มีแบตเตอรี่ 5. ระบบไฟเอซีของการไฟฟ้าที่ขายในปัจจุบัน (ใช้ไฟไม่เกิน 150 หน่วย) ไม่สะอาด 100%	 3.7921 0.7539 3.2484	 160,193 90,193	 5,310 5,310	 10.24 -
เงินลงทุนซื้อโหลดดีซี		23,000	-	-

6. สรุปผลการศึกษา

จากการคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าพบว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้ากระแสตรง (DC) มีค่าต่ำกว่าการผลิตไฟฟ้ากระแสสลับประมาณ 25% โดยระบบดีซีมีต้นทุนการผลิตที่ 2.2961 บาทต่อหน่วย ส่วนระบบเอซีมีต้นทุนการผลิต 2.8618 บาทต่อหน่วย เมื่อเปรียบเทียบด้านเงินลงทุนพบว่าการติดตั้งระบบไฟฟ้าดีซีถูกกว่าระบบเอซี 242% โดยระบบดีซีใช้เงินลงทุน 46,818 บาท ระบบเอซีใช้เงินลงทุน 160,193 บาท อย่างไรก็ตามการใช้ไฟดีซีจะต้องจัดซื้อโหลดใหม่ได้แก่ ตู้เย็น หม้อหุงข้าว ทีวี หลอดไฟ กระทะไฟฟ้า กาต้มน้ำ พัดลม เตารีด ขดลวดต้มน้ำอาบ ซึ่งใช้เงินลงทุนไปประมาณ 23,000 บาท เมื่อรวมกับระบบผลิตไฟฟ้าดีซีคิดเป็นเงินลงทุนประมาณ 70,000 บาท

จากการที่ได้ติดตั้งจริงกับบ้านของผู้เขียนพบว่าการติดตั้งไฟฟ้าระบบดีซีมีความปลอดภัยมากกว่าระบบเอซีเพราะมีแรงดันเพียง 12 V และ 24 V และไม่ต้องติดตั้งเครื่องอินเวอร์เตอร์ในการแปลงไฟดีซีให้เป็นไปเอซี 220 V และยังพบอีกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดดีซีจะต่ำกว่าโหลดเอซีเพราะโหลดมีกำลังวัตต์ต่ำกว่า เช่นจากเดิมใช้ตู้เย็น 2 เครื่อง รวมกำลังไฟฟ้า 200 W แต่ตู้เย็นดีซีที่ซื้อใหม่ 2 เครื่อง รวมกำลังไฟฟ้า 140 W

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่เกี่ยวข้อง

1. สำหรับประชาชนทั่วไปอาจเริ่มต้นจากการติดตั้งระบบไฟฟ้าดีซีก่อนและหาโหลดดีซี มาใช้ เช่นหม้อหุงข้าว ตู้เย็น พัดลม เป็นต้น
2. สำหรับภาครัฐควรออกกฎหมายที่อนุญาตให้ภาคเอกชนสามารถขายไฟให้กับประชาชนทั่วไปได้ โดยบ้านที่ต้องการใช้พลังงานสะอาดไม่ต้องลงทุนเอง แต่ยอมจ่ายค่าไฟให้กับผู้ที่มาลงทุน การทำเช่นนี้จะให้ให้ประเทศได้ลรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนได้เร็วขึ้น ถ้าหากภาครัฐจัดหาพลังงานสะอาดผ่านสายส่งแบบปกติดจะมีค่าไฟที่แพงกว่าการติดตั้งที่บ้านเพราะมีการสูญเสียจากสายส่งและการแปลงไฟดีซีเป็นเอซี

เอกสารอ้างอิง

[1] SPACEBAR Editorial Team. (2023). Thomas Edison was not an inventor, but a businessman who thought about selling electricity. https://www.spacebar.th/world/tomas-edison-the-rich-creator-from-the-power-electricity-system

[2] Zeigler, A., DC Microgrids Home Power with a Dramatically Reduced Financial and Environmental Price tag. https://livingenergyfarm.org/wp-content/uploads/2019/03/tech1.pdf

[3] Vossos, V., Gerber, D. L., Gaillet-Tournier, M., Nordman, B., Brown, R., Bernal Heredia, W., Ghatpande, O., Saha, A., Arnold, G., & Frank, S. M. (2022). Adoption Pathways for DC Power Distribution in Buildings. *Energies*, *15*(3), 786. https://doi.org/10.3390/en15030786

[4] Dastgeer, F., Gelani, H. E., (2017). A Comparative analysis of system efficiency for AC and DC residential power distribution paradigms, Energy and Buildings, 138, 648-654. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.077

[5] Nasir, M., Khan, H. A., Hussain, A., Mateen, L. & Zaffar, N. A. (2018). Solar PV-Based Scalable DC Microgrid for Rural Electrification in Developing Regions, in IEEE Transactions on Sustainable Energy, 9(1), 390-399. doi: 10.1109/TSTE.2017.2736160.

[6] Nasir, M., Jin, Z., Khan, Zaffar, N. A., Vasquez, J. C., & Guerrero, J. M. (2019). A Decentralized Control Architecture Applied to DC Nanogrid Clusters for Rural Electrification in Developing Regions, in *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(2), 1773-1785, doi: 10.1109/TPEL.2018.2828538.

[7] Paniyil, P. Singh, R., Powar, V., Deb, N., Zhang, J., Bai, K. (2021). Batteries and Free Fuel based Photovoltaics and Complimentary Wind Energy based DC Power Networks as 100% Source of Electric Power around the Globe, *IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, Fort Lauderdale, FL, USA, 1821-1828, doi: 10.1109/PVSC43889.2021.9518729.

[8] Wan, H., Zhang, J. (2024). Navigating the use of direct current in residential settings: Merits and obstacles, Journal of Building Engineering, 97, 110828. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110828.

[9] Jayasinghe, H., Gunawardane, K. Hossain, M.A., Zamora, R. (2026) Standalone DC microgrids: Planning, operation and uncertainty management, Next Energy, 11, 100511, ISSN 2949-821X, https://doi.org/10.1016/j.nxener.2026.100511.

การวิเคราะห์ช่องว่างเชิงสถาบันในการประยุกต์ใช้กลไกการเงินแบบผสมผสาน เพื่อส่งเสริมการลงทุนของภาคเอกชนในโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลในประเทศไทย

ณฐมน ฐิติฐานิดา[1*] และ ขนิษฐา แต้มบุญเลิศชัย[2]

[1]หลักสูตรสาขาวิชาสิ่งแวดล้อม การพัฒนา และความยั่งยืน วิทยาลัยสหศาสตร์บูรณาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประเทศไทย
[2]คณะเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประเทศไทย
** Corresponding author: 6688074520@student.chula.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มุ่งวิเคราะห์ปัจจัยเชิงสถาบันที่เกี่ยวข้องกับการใช้กลไกการเงินแบบผสมผสาน เพื่อส่งเสริมการลงทุนของภาคเอกชนในโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชนในประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุปัจจัยเชิงสถาบันที่เป็นตัวสนับสนุนและช่องว่างเชิงสถาบันที่ส่งผลต่อความพร้อมของประเทศไทยในการนำกลไกการเงินแบบผสมผสานมาใช้ โดยใช้กรอบการวิเคราะห์และการพัฒนาสถาบันเป็นแนวทางในการศึกษา งานวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิธีเชิงคุณภาพ โดยอาศัยข้อมูลทุติยภูมิและการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้ให้ข้อมูลหลักจำนวน 13 ราย จากหน่วยงานภาครัฐ ผู้ประกอบการภาคเอกชน และองค์กรระหว่างประเทศ

ผลการวิจัยพบว่า ประเทศไทยมีระบบสถาบันพื้นฐานที่สนับสนุนการลงทุนในภาคพลังงานชีวมวลในระดับหนึ่งผ่านเครื่องมือสำคัญ เช่น อัตราการรับซื้อไฟฟ้าแบบ Feed-in Tariff (FiT) การร่วมลงทุนระหว่างภาครัฐและเอกชน และ สิทธิประโยชน์จากคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน ซึ่งช่วยสร้างเสถียรภาพด้านนโยบายและความเชื่อมั่นของนักลงทุน รวมถึงการมีหน่วยงาน แนวนโยบายและกฎหมาย อย่างไรก็ตาม การศึกษายังพบว่ามีช่องว่างเชิงสถาบันหลายประการที่เป็นอุปสรรคต่อการนำกลไกการเงินผสมผสานมาใช้ในเชิงระบบ ได้แก่ ช่องว่างด้านองค์ความรู้ นโยบายที่สนับสนุน ข้อจำกัดของเครื่องมือทางการเงินเพื่อลดความเสี่ยง และการขาดผู้มีบทบาทหลักหรือศูนย์กลางในการประสานงานระหว่างหน่วยงานด้านการเงิน กฎหมาย และนโยบาย การวิจัยชี้ให้เห็นว่า หากประเทศไทยต้องการขยายศักยภาพของกลไกการเงินผสมผสานและดึงดูดการลงทุนจากภาคเอกชนในโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชน ประเทศไทยควรเน้นการเสริมสร้าง กลไกการประสานงานระหว่างสถาบัน การพัฒนาเครื่องมือทางการเงินเชิงนวัตกรรม การปรับให้เกิดความสอดคล้องทางนโยบายและ การเสริมสร้างศักยภาพของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง เพื่อสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านของประเทศไทยไปสู่ระบบพลังงานที่มีคาร์บอนต่ำและครอบคลุมอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: กลไกการเงินแบบผสมผสาน / การเงินเพื่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ / โครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลชุมชนในประเทศไทย / การลงทุนของภาคเอกชน / กรอบการวิเคราะห์และการพัฒนาสถาบัน

Unlocking blended finance to mobilize private sector investment in biomass power plant projects: An analysis of institutional gaps in Thailand

Natamol Thitithanida[1*] and Kanittha Tambunlertchai [2]

[1]Interdisciplinary Program of Environment, Development and Sustainability,
College of Interdisciplinary and Integrative Studies, Chulalongkorn University, Thailand
[2]Faculty of Economics, Chulalongkorn University, Thailand
**Corresponding author: 6688074520@student.chula.ac.th*

Abstract

This study investigates institutional factors in the adoption of blended finance as a mechanism to promote private sector investment in community biomass power plant projects in Thailand. The research aims to identify institutional enablers and gaps that affect Thailand's readiness to implement blended finance mechanisms, guided by the Institutional Analysis and Development (IAD) framework. The research employed a qualitative approach, drawing on secondary data and semi-structured in-depth interviews with 13 key stakeholders from government agencies, private developers, and international organizations.

The findings reveal that Thailand has established a foundational institutional system supporting biomass power sector investment through the presence of responsible agencies, policy orientations, and legal frameworks, as well as instruments such as the Feed-in Tariff (FiT), Public-Private Partnership (PPP) framework, and Board of Investment (BOI) incentives, which contribute to policy stability and investor confidence. However, the study also identifies several institutional gaps that hinder the systematic adoption of blended finance. These include knowledge gaps, support policy, limited de-risking financial instruments, and the absence of actors and a central coordination platform to integrate financial, regulatory, and policy efforts across agencies. The research highlights that to scale up blended finance and attract greater private investment in community biomass power, Thailand must strengthen institutional coordination, enhance financial innovation, policy alignment, and capacity building. The findings are expected to inform policy-related recommendations that bridge institutional, regulatory, and financial gaps and contribute to Thailand's transition toward a low-carbon and inclusive energy system.

Keywords: Blended Finance Mechanism/ Climate Finance/ Community Biomass Power Projects in Thailand/ Private Sector Investment/ Institutional Analysis and Development (IAD) Framework

1. Introduction

To achieve Thailand's renewable energy goals, an estimated THB 779 billion (USD 22 billion) is needed [1]. However, raising sufficient investment to meet the demand is particularly challenging. Therefore, promoting investment in renewable energy must be done effectively to enhance private-sector participation in financing and reduce investment risks, especially for small-scale community-based projects [2]. Various studies have proposed that the blended finance mechanism represents a high-potential tool for bridging financing gaps in green investment. The goal of blended finance is to mobilize or leverage development finance from other actors to green activities or projects that are risky and less attractive to the private sector [3]. Despite the potential of blended finance, the application of blended finance in Asia, including Thailand, remains limited. A blended finance mechanism has not been widely adopted in Thailand. To fully reach the potential that blended finance offers, it requires institutional components that vary depending on the specific context [4]. Among various renewable energy options in Thailand, community biomass power plant projects represent a particularly relevant case for examining the institutional conditions for blended finance adoption. As such, this research aims to address these gaps by applying the Institutional Analysis and Development (IAD) framework developed by Elinor Ostrom, using community biomass power plant projects as an initial case to examine the institutional dynamics and stakeholder interactions influencing the adoption of blended finance in Thailand.

2. Objectives

The purpose of this research is to study the blended finance mechanism supporting community biomass power plant projects in Thailand. Three specific objectives are as follows:

1. To examine the current institutional factors, such as policy, regulatory, and financial instruments that support the community biomass power plant projects' investment and blended finance mechanism in Thailand.
2. To analyze and identify the institutional gaps in Thailand for implementing a blended finance mechanism that promotes private sector investment in community biomass power plant projects.
3. To provide policy-relevant recommendations to support the implementation of blended finance in community biomass power plant projects.

3. Conceptual Framework

The Institutional Analysis and Development (IAD) framework is a conceptual framework with strengths in helping to understand complex problems involving institutional rules, multiple stakeholders, and governance processes [5]. To apply such a framework, there are four core components in IAD: exogenous variables, action arena, patterns of interaction, and outcomes (see Figure 1). For Elinor Ostrom (1999), an institution is defined as a form of law, rule, policy, or strategy that creates the incentive of behavior and the interaction between actors. Institutions can be both formal, such as law and policy, or they may emerge informally as norms, standard operating practices, or habits. Evidence across the energy, waste, and natural resource sectors

demonstrates that IAD helps identify both enabling conditions and institutional barriers affecting policy performance and private sector participation.

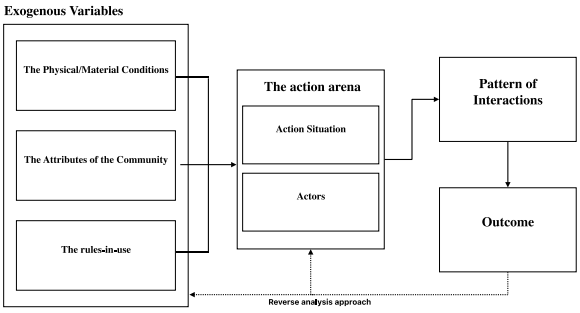


Figure 1. The institutional analysis and development framework [6]

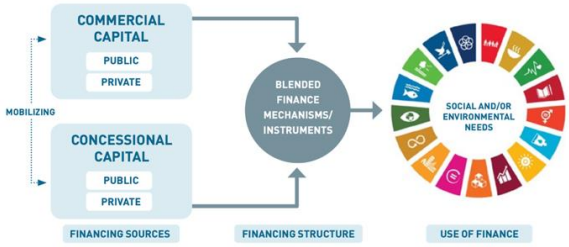


Figure 2. Blended finance mechanism [7]

In this research, blended finance refers to the practice of strategic development finance of mobilizing additional private finance for investment by combining public, development, or philanthropic capital with private funds for supporting social and environmental projects that are considered high risks and unviable for investment (see Figure 2). In simple terms, blended finance refers to the use of both concessional and commercial capital in a single investment structure [8]. The institutional analysis framework helps the researcher identify the misalignments and gaps between formal structures (regulations) and informal practices (norms and beliefs) that may hinder effective outcomes. Therefore, the application of the IAD framework in this research is highly appropriate.

4. Methodology

The study employs a qualitative approach to identify the institutional gaps, using data collected from in-depth interviews and desk research. One key component of the IAD framework is the action arena, which comprises actors and the actions needed to achieve the outcome. Stakeholder analysis is an important step to take in order to understand the action arena component. Based on the literature review, three sectors are mentioned as key actors: 1. Public Sector and Government Agencies: Government actors provide the regulatory and policy foundation essential for enabling blended finance. 2. Private Sector: The private sector is central to the success of blended finance. Interviews focus on renewable energy firms, investors, and industry associations to reflect market needs and investment readiness. 3. International Development Institutions: International organizations contribute global experience, technical support, and best practices. To identify suitable interviewees, this research conducted a stakeholder influence-interest matrix analysis and consulted with experts in the area of renewable energy policy, finance, or related fields, to develop a potential interviewees list. Only high and medium levels of organizations will be interviewed in this study.

Interview questions were developed to address the research objectives. Participants were asked both general and sector-specific questions tailored to their roles. Guided by the IAD Framework (see Figure 3). For

data analysis, primary interview data were analyzed using Framework Analysis. The analysis applied a deductive coding scheme based on the four IAD components (see Figure 4)—exogenous variables, action arena, patterns of interaction, and outcomes—combined with descriptive coding to summarize key ideas and capture emerging concepts [9]. All transcripts were transcribed verbatim, anonymized, and systematically coded in an Excel-based matrix. Secondary data from academic literature, policy documents, and case studies were analyzed using deductive content analysis following [10]. The analysis involved selecting key statements related to institutional factors, policies, enablers, barriers, and financial mechanisms relevant to blended finance, then categorizing them under the same IAD components used for primary data. The synthesized findings were subsequently integrated with interview results to provide contextual background and complementary insights.

Participants Sector	Example of Interview Questions
Public Sector	1. In your opinion, are there any policies and national plans that specific include the use of blended finance for community-based biomass power plant projects? 2. In your view, are there any laws or mechanisms in Thailand that allow funding from public sources, private investors, and international development organizations to be combined within a single project? 3. In your view, are there any existing laws, policies, or mechanisms in Thailand that allow the government or international development organizations to use public funds or development finance to help reduce investment risks for the private sector in community biomass power plant projects?
Private Sector	1. Based on your experience, what factors are the greatest obstacles to private sector to investment in community biomass energy projects? 2. Based on your experience, have you been involved in any projects where funding was mobilized from multiple sectors within a single project? 3. In your opinion, how ready is Thailand currently in the following aspects to implement blended finance mechanisms to attract private sector investment in high-risk projects such as community biomass power plants?
International Development Institution	1. Based on your experience, are international development organizations currently able to participate in co-investment or support for energy projects such as community biomass power plants in Thailand? 2. In your opinion, how effective and appropriate of Thailand's existing financial support mechanisms such as concessional loans, capital subsidies, or tax incentives in attract private investment and reduce risks for community-scale projects like biomass power plants? 3. From your perspective, if Thailand aims to effectively use blended finance mechanisms to promote private sector investment in community biomass power plant projects, which institutional issues do you think require the most development?

Figure 3. Example of in-depth interview questions

Participant's ID	Transcript	IAD	Research Question	Descriptive code
G1	"The electricity business in Thailand has become a liberalized market that can continue without additional support, and blended finance might not be necessary for community biomass projects."	Attributes of community	RQ2	Commercialization of the energy sector Blended finance not suitable for community biomass
G2	Currently, there are end-point incentive mechanisms that do not rely on direct subsidies or financial grants, such as the Feed-in Tariff (FiT) scheme, which guarantees a fixed electricity price to encourage renewable energy investment.	Rule-in-use	RQ1	Revenue Support FiT
G8	Thailand currently lacks a central coordinating body or core agency responsible for designing and facilitating blended financial mechanisms. There is still uncertainty regarding which organization should take this role.	Actor	RQ2	Absence of a central coordinating and design agency

Figure 4. Example of the coding table

5. Results and Discussion

Participants Profile

In this study, 13 participants were interviewed. In total, 9 participants are from the public sector, representing policymakers and planners, regulators, state enterprises, and investment promotion—two participants from the private sector, representing to both renewable energy developers and private sector associations. Two participants are financing and energy experts from an international development institution. To ensure confidentiality, the participant's name and organization will be coded into ID: G1-G9, P1-P2, and I1 and I2, following stakeholder groups (see Table 1). These codes are consistently used throughout the findings and analysis.

Table 1. The table of participant's profile

ID	Roles/ Position	Organization Function
G1	Director of Division	Renewable energy policy, implementation, promotion, and technology research.
G2	Head of Division	Power plant planning and feasibility under PDP.
G3	Director of Division	Licensing and regulation of renewable energy projects.
G4	Senior Officer	Overseeing public–private joint investment projects and state enterprise investment.
G5	Senior Officer	Oversees electricity procurement and electricity system based on energy related policies.
G6	Director of Division	Regulates and supervises capital market fundraising to ensure compliance, transparency, and investor protection.
G7	Director of Division	Formulates energy policies and plans to ensure secure and sustainable energy supply, providing strategic guidelines for private sector implementation.
G8	Director of Division	Promotes and develops renewable energy policies by supporting projects and encouraging private sector participation in clean energy initiatives.
G9	Director of Division	Promotes private sector investment through tax and non-tax incentives to encourage investment and facilitate business operations.
P1	Chairperson	Renewable energy private sector group and policy advocacy
P2	Committee	An industry association representing private power producers that supports policies and promotes sustainable development of the power sector.
I1	Expert	Climate Finance and Renewable energy Expert
I2	Financial Expert	Climate Finance and Blended finance experts

Data Analysis for Research Question 1: This section addresses RQ1 by analyzing stakeholder perspectives and literature through the Institutional Analysis and Development (IAD) framework, focusing on three dimensions: Attributes of the Community, Rules-in-Use, and the Action Arena (see Figure 5).

- **Attributes of the Community (Exogenous Variables):** Thailand's private sector demonstrates motivation to invest in community biomass power plant projects due to established market structures, feedstock availability, and commercial feasibility. Stakeholders expressed confidence in renewable energy investment, driven by global ESG trends, sustainability goals, and the opportunity to enhance corporate reputation and competitiveness. Interviewees (G3, G4) emphasized that the private sector is "adequately prepared," particularly for biomass projects that utilize existing agricultural resources. Private stakeholders also viewed blended finance as a promising mechanism for addressing financial constraints and de-risking investments, especially for SMEs. From the government's perspective, Thailand acknowledges the need to support private sector investment in renewable energy. The readiness to support community biomass power plants appears in three areas: policy, with targets for biomass energy in the AEDP and PDP, financial

instruments, and institutional arrangements, involving agencies such as EPPO, DEDE, EGAT, and ERC, responsible for policy formulation, licensing, supervision, and monitoring.

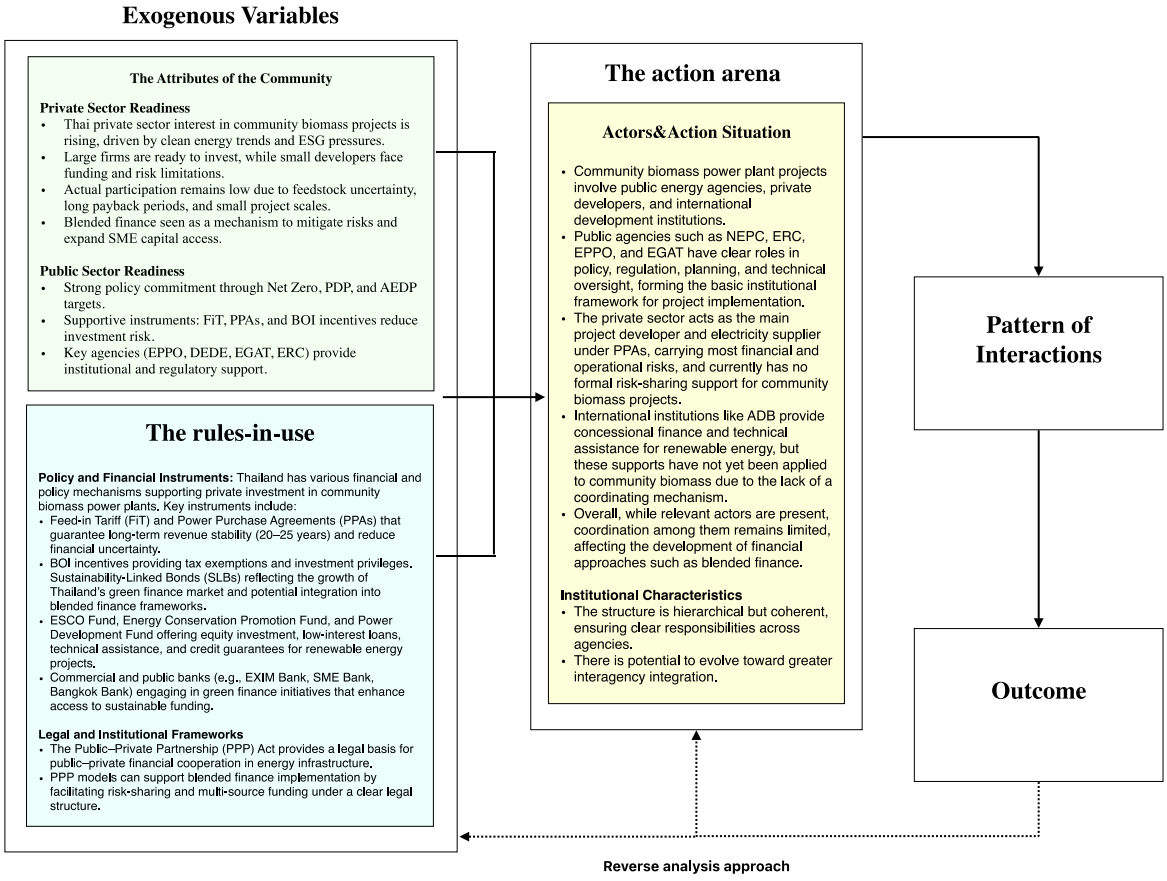


Figure 5. Integrated analysis of the Institutional enabler to adopt the blended finance mechanism

- **Rules-in-Use (Exogenous Variables):** Thailand's renewable energy policy framework provides essential financial and regulatory support through instruments such as the Feed-in Tariff (FiT) and Power Purchase Agreements (PPAs), both of which enhance investor confidence by guaranteeing stable revenue streams. As interviewee G5 noted, "The FiT has made Thailand's renewable energy market more commercial and encouraged greater private sector participation." Additional support mechanisms include BOI tax incentives, exemptions on machinery imports, and low-interest loans from state energy funds (G1, G9). While these tools are implemented on a project-by-project basis rather than through an integrated system, they form a foundational structure for future blended finance applications. The Public–Private Partnership Act (2019) also provides a legal foundation for cooperation between public and private sectors, potentially adaptable to small-scale community energy projects.
- **Action Arena:** The Thai energy governance structure involves multiple agencies—NEPC, ERC, EPPO, and EGAT—responsible for policymaking, regulation, and system operations. Interviewees described the sector as "systematic and well-regulated" (G4), yet coordination remains vertical and fragmented. The private

sector continues to serve as the principal investor and risk-bearer under the PPA framework, while international financial institutions such as the Asian Development Bank (ADB) contribute concessional loans and technical support but lack integration at the community level.

Integrated Analysis: Thailand exhibits emerging institutional readiness for blended finance, supported by motivated private actors, established financial mechanisms, and clear regulatory structures. However, limited cross-sectoral coordination and fragmented implementation constrain the full operationalization of blended finance for community biomass power plant projects.

Data Analysis for Research Question 2: This section addresses RQ2 by analyzing stakeholder perspectives through the Institutional Analysis and Development (IAD) framework. The findings reveal how institutional gaps within Thailand's energy and financial systems hinder the adoption of blended finance for community biomass power plant projects (see Figure 6).

- **Physical Conditions (Exogenous Variables):** Community biomass power projects in Thailand face structural challenges rooted in small project sizes, unstable feedstock supply, and high investment costs. Interviewees (G1–G3) noted that plants under 3 MW are exempt from heavy regulation but "cannot achieve real economies of scale." Feedstock availability was consistently cited as the greatest risk, as "no guarantee the fuel will last through the loan period," while transportation costs account for 40–60 percent of total expenses (G1, G4, G5, P1). Several respondents (G5, G7) also emphasized high capital requirements—averaging 40–70 million THB per MW—which result in long payback periods and low investor confidence. These conditions limit project bankability and the capacity to attract financing, particularly from commercial banks.
- **Attributes of the Community (Exogenous Variables):** Significant gaps in knowledge and perception of blended finance exist across both public and private stakeholders. Many interviewees admitted limited understanding, with some stating that it was "the first-time hearing about blended finance" (G3, P2) or misinterpreting it as a government subsidy (G6, G8). This lack of understanding contributes to the perception that such a mechanism is unnecessary. Officials often believe existing schemes—especially the FiT—are sufficient, arguing that "electricity projects are commercial and do not need special financial support" (G1, G5). While international experts (I1) recognized the potential of blended finance for small developers, domestic stakeholders viewed it as incompatible with Thailand's current market context.
- **Rules-in-Use (Exogenous Variables):** The findings reveal three interconnected institutional gaps that hinder the adoption of blended finance in Thailand's community biomass sector. First, there is no national policy or legal framework to guide blended finance, reflected in a clarity rating of 1/5, with agencies noting that "Thailand has no policy supporting blended finance" (G1–G9). Second, institutional fragmentation persists, as energy and financial agencies operate in isolation, with "each agency working on different missions" (G4), resulting in the absence of a central coordinating body or integrated platform for financial

and policy alignment. Third, project selection and monitoring mechanisms are underdeveloped: the lowest-price bidding system is "not suitable for biomass" (P1), criteria remain unclear, and oversight is weak, leading respondents to rate system readiness at 2/5. Collectively, these gaps indicate that Thailand's institutional environment is not yet equipped to operationalize blended finance effectively. Building on these institutional gaps, the analysis also identifies critical weaknesses in Thailand's de-risking and financial support mechanisms. The FiT and bidding system fails to address core biomass risks—developers noted it "does not cover feedstock cost or supply uncertainty" and often forces bids below actual cost. At the same time, Thailand lacks risk-sharing tools such as credit guarantees or first-loss mechanisms, leaving investors to shoulder all risks while existing funds provide only limited, non-systematic support.

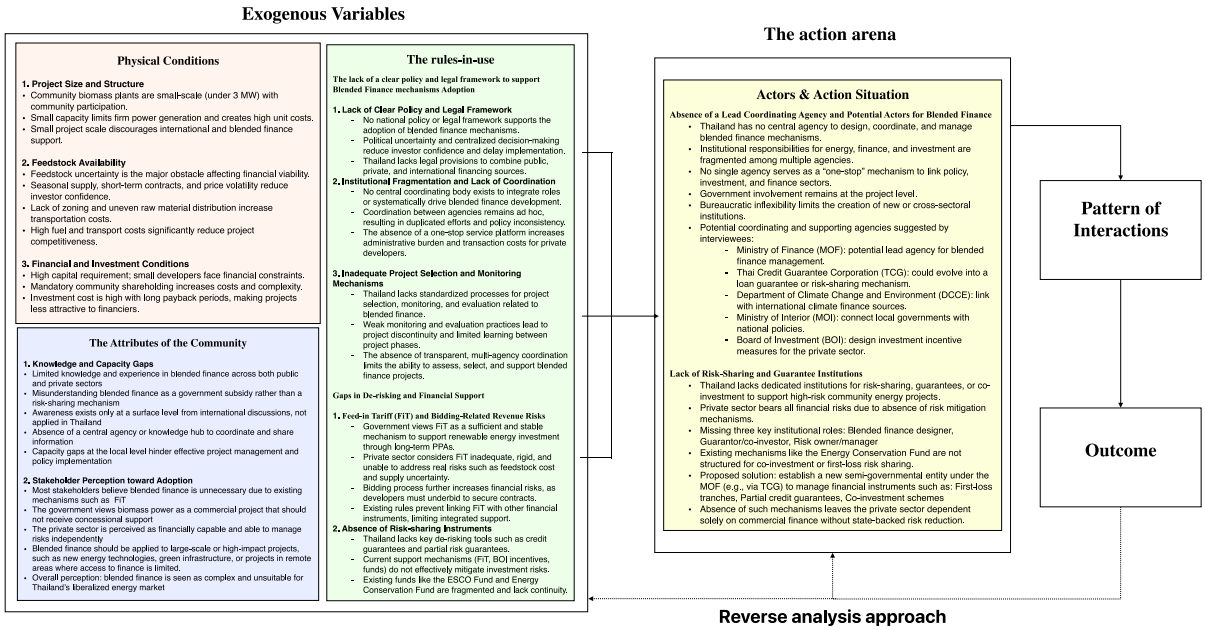


Figure 6. Integrated analysis of Institutional gaps in adopting blended finance

- **Action Arena: Action Arena:** The analysis highlights two major actor-related gaps that hinder the adoption of blended finance in Thailand's community biomass sector. First, there is no lead coordinating agency with a mandate to design or manage blended finance; stakeholders repeatedly noted that "no single agency can coordinate the mechanism" (G1–G9), forcing project developers to coordinate across multiple bodies without a one-stop platform (P1). Although several entities—such as the Ministry of Finance, TCG, DCCE, and BOI—were mentioned as possible future coordinators, none currently hold the authority or tools required. Second, Thailand lacks risk-sharing and guarantee institutions, with respondents confirming that "there is no risk guarantee or co-investment agency" (G5, G7, G8). Existing funds cannot provide first-loss capital or partial guarantees, leaving developers fully exposed to investment risk. These structural gaps demonstrate that Thailand's action arena does not yet include the actors necessary to operationalize blended finance.

Integrated Analysis: The IAD analysis identifies four interlinked institutional dimensions—physical conditions, community attributes, rules-in-use, and actors—that collectively constrain Thailand's ability to operationalize blended finance. Structural limitations, knowledge gaps, policy fragmentation, and the absence of risk-sharing institutions leave the system conceptually aware but institutionally unprepared. Consequently, Thailand's blended finance ecosystem remains fragmented and lacks the operational mechanisms required for effective and sustainable implementation in the community biomass power sector.

6. Conclusion

This study examined how institutional factors influence the adoption of blended finance mechanisms for private investment in Thailand's community biomass power projects, using the Institutional Analysis and Development (IAD) framework. Findings show emerging institutional readiness—through FiT, BOI incentives, and motivated private developers—but also critical gaps: limited knowledge, fragmented coordination, lack of policy clarity, and absence of risk-sharing tools. To advance blended finance implementation, Thailand must strengthen institutional capacity, establish policy and institutional integration, and develop financial risk-sharing mechanisms. Creating a National Blended Finance Coordination Center under government authority with support from international partners would provide a foundation for systematic, cross-sector collaboration. In summary, Thailand's progress toward adopting blended finance remains conceptual rather than operational. Bridging institutional gaps through coherent policy alignment, actor collaboration, and risk-sharing instruments is essential to mobilize private capital and accelerate Thailand's transition toward a low-carbon, Net Zero future.

7. Recommendation

The study identifies four institutional gaps hindering the adoption of blended finance in community biomass power projects in Thailand: limited knowledge, fragmented policy coordination, inadequate financial risk-sharing tools, and unclear stakeholder roles. Strengthening institutional capacity requires targeted training, inter-agency learning platforms, and a national knowledge hub. Policy fragmentation should be addressed through a national coordination working group, clear blended-finance guidelines, and transparent project-selection and monitoring systems. Financial support should combine existing incentives with de-risking instruments such as guarantees, concessional loans, and technical-assistance funds. Finally, Thailand should designate a lead coordinating body to integrate policy, funding, and project information, while positioning the private sector as a co-designer and risk-sharing partner in financing structures.

References

[1] OECD. (2024). *Clean energy finance and investment roadmap of Thailand*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/d0cd6ffc-en

[2] Kokchang, P. (2022). *Prioritized challenges of energy transition in Thailand's power sector*. CASE for SEA. https://caseforsea.org/wp-content/uploads/2022/07/Prioritized-challenges-of-energy-transition-in-Thailands-power-sector-2.pdf

[3] Jung, H. (2020). Development finance, blended finance and insurance. *International Trade Politics and Development*, *4*(1), 47–60. https://doi.org/10.1108/itpd-12-2019-0011

[4] Global Alliance of Impact Lawyers. (2024). *Unlocking Legal Pathways for Blended Finance: Case Studies and Global Insights*. Global Alliance of Impact Lawyers. https://gailnet.org/unlocking-legal-pathways-for-blended-finance/

[5] Chua, M. H., & Yau, Y. (2022). *Institutional analysis and development (IAD) approach for determining the effects of the waste charging scheme on household food waste recycling*. Sustainability, 14(23), 16120. https://doi.org/10.3390/su142316120

[6] Tambunlertchai, K., Vassanadumrongdee, S., & Srethasirote, B. (2023). *An Institutional analysis of climate finance in Thailand*. Chula Digital Collections. https://digital.car.chula.ac.th/aer/vol37/iss2/5

[7] Centre for Asian Philanthropy and Society. (2022). *DECODED: Blended Finance in Action in Asia*. Centre for Asian Philanthropy and Society. https://caps.org/work/our-research_decoded-blended-finance

[8] Zheng, J., Battiston, S., & Nuttall, C. (2020). *Blended Finance Solutions for Scaling Up Sustainability Investments: Opportunities and Challenges*. SSRN Electronic Journal. https://doi.org/10.2139/ssrn.3973012

[9] Saldaña, J. (2013). *The coding manual for qualitative researchers* (3rd ed.). SAGE Publications Ltd.

[10] Elo S, Kyngäs H. *The qualitative content analysis process*. J Adv Nurs. 2008 Apr;62(1):107-15. doi: 10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x. PMID: 18352969.

การประเมินความยั่งยืนตลอดวัฏจักรชีวิตและแนวทางการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ในครัวเรือนบนมิติสิ่งแวดล้อม การเงิน และสังคม

ชินพัฒน์ ชูเมือง[1*], และ นิธิดา นาคะปรีชา[2]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน วิทยาลัยสหศาสตร์บรูณาการฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

[2]สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

** Corresponding author: 6680022420@student.chula.ac.th*

บทคัดย่อ

เซลล์แสงอาทิตย์มีบทบาทเพิ่มขึ้นในฐานะทางเลือกการผลิตไฟฟ้าที่สนับสนุนความยั่งยืน แต่หลักฐานเชิงประจักษ์ที่ยืนยันครบทั้ง 3 มิติยังมีจำกัด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความยั่งยืนของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผลิตไฟฟ้าในครัวเรือนครอบคลุมมิติสิ่งแวดล้อม การเงิน และสังคม เพื่อระบุประเด็นที่อาจส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ และนำไปสู่แนวทางการจัดการที่เหมาะสม งานวิจัยนี้ทำการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติคริสตัลไลน์ซิลิคอนขนาด 1 kWp ระยะเวลาการใช้งาน 25 ปี และการจัดการเมื่อสิ้นสุดการใช้งานตามแนวทาง Full recovery end of life photovoltaic โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืด (2) ต้นทุนด้านการเงินโดยไม่รวมต้นทุนแฝงและต้นทุนทางอ้อม และ (3) ผลกระทบทางสังคมโดยพิจารณาผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลักคือพนักงานและผู้บริโภค ซึ่งพบว่าผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีค่าเท่ากับ 0.016 kg CO_2 eq/kWh ต่ำกว่าค่าคาดการณ์จากโครงสร้างพลังงานแบบผสมของโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อบรรลุเป้าหมาย CN50 ถึงร้อยละ 77 ผลกระทบความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืดมีค่า 22.95 kg 1,4-DCB ใกล้เคียงกับค่าการปล่อยสารพิษต่อแหล่งน้ำจืดทั่วโลกเฉลี่ยต่อคนต่อปี ในด้านการเงินต้นทุนอยู่ที่ 2.49 THB/kWh ต่ำกว่าค่าไฟฟ้าปัจจุบันและค่าไฟฟ้าที่คาดการณ์ในปี ค.ศ.2050 และผลการประเมินด้านสังคมอยู่ในเกณฑ์ระดับดี ซึ่งจากผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและต้นทุนที่ต่ำกว่าทางเลือกการผลิตไฟฟ้าอื่น กอปรกับผลกระทบทางสังคมที่อยู่ในเกณฑ์ดีนี้ สะท้อนศักยภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ในการส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนครบทั้ง 3 มิติ

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ / การประเมินวัฏจักรชีวิต / ความยั่งยืน / การผลิตไฟฟ้าในครัวเรือน / ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม การเงิน และสังคม

Life cycle sustainability assessment and management approaches for residential Solar photovoltaic across environmental financial and social dimensions

Chinnapat Choomueang [1 *], and Nitida Nakapreecha [2]

[1] Department of Energy Technology and Management, Collage of Interdisciplinary and Integrative studies, Chulalongkorn University, Wang Mai Subdistrict, Pathumwan district, Bangkok, Thailand

[2] Energy Research Institute, Chulalongkorn University, Wang Mai Subdistrict, Pathumwan district, Bangkok, Thailand

**Corresponding author: 6680022420@student.chula.ac.th*

Abstract

Solar photovoltaics are increasingly recognized as an alternative electricity generation option that supports sustainability however, empirical evidence covering all three dimensions of sustainability remains limited. This study aims to assess the sustainability of residential photovoltaic electricity generation across environmental financial and social dimensions and to identify significant impacts and inform appropriate management approaches. A life cycle assessment was conducted for a 1 kWp multi-Si PV with a 25-year operational lifetime, including end of life management based on full recovery end of life photovoltaic approach. The assessment comprised three components (1) environmental impacts in terms of climate change and freshwater ecotoxicity, (2) financial costs excluding hidden and indirect costs, and (3) social impacts focusing on workers and consumers as the main stakeholders. The result indicate that the climate change impact was 0.016 kg CO_2 eq/kWh, which is approximately 77% lower than the projected valued based on the grid electricity energy mix required to achieve the CN50 target. Freshwater ecotoxicity was 22.95 kg 1,4-DCB, comparable to the global annual average freshwater toxic emissions per capita. The financial cost was 2.49 THB/kWh, lower than current electricity price and the projected electricity price in 2050. Social performance assessment showed as “Good”. These findings demonstrate the strong potential of solar photovoltaics to support sustainable energy development across all three dimensions.

Keywords: Photovoltaics / Life cycle assessment / Sustainability / Residential electricity generation / Environmental, financial, and social impacts

1. บทนำ

เพื่อแก้ไขปัญหาโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอันมีสาเหตุหลักจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมนุษย์ ประชาคมโลกจึงร่วมกันกำหนดข้อตกลงระหว่างประเทศ เช่น ความตกลงปารีส รวมถึงการตั้งเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจก อาทิ carbon neutrality และ net zero emissions

ในประเทศไทย ภาคพลังงานและการผลิตไฟฟ้าเป็นหนึ่งในแหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลัก อีกทั้งมีแนวโน้มการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจกระทบเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และความยั่งยืนทางพลังงาน ภาครัฐจึงส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาด โดยเฉพาะไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ (Power Development Plan: PDP) และมาตรการรับซื้อไฟฟ้าภาคประชาชน อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อกังวลด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการจัดการเมื่อสิ้นสุดการใช้ รวมถึงความคุ้มค่าและระยะเวลาในการคืนทุน

การศึกษานี้จึงทำการประเมินความยั่งยืนของเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิตใน 3 มิติ ได้แก่ สิ่งแวดล้อม การเงิน และสังคม ผ่านการใช้เครื่องมือ Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) ครอบคลุมตั้งแต่การผลิต การใช้งาน จนถึงการจัดการหลังสิ้นสุดการใช้งาน ผลการประเมินจะช่วยระบุผลกระทบสำคัญและเสนอแนวทางจัดการเซลล์แสงอาทิตย์อย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินความยั่งยืนตลอดวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับผลิตไฟฟ้าในครัวเรือนอย่างครอบคลุมทั้ง 3 มิติ สิ่งแวดล้อม การเงิน และสังคม
2. เพื่อวิเคราะห์และระบุจุดที่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ (significant impact hotspots) ของวัฏจักรชีวิต
3. เพื่อเสนอแนวทางการจัดการเซลล์แสงอาทิตย์ในครัวเรือนอย่างยั่งยืนในอนาคต บนพื้นฐานของผลกระทบการประเมินวัฏจักรชีวิต

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการประเมินความยั่งยืนตลอดวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ในครัวเรือนโดยครอบคลุมทั้ง 3 มิติ สิ่งแวดล้อม การเงิน และสังคม โดยมีขอบเขตดังนี้

1. ขอบเขตผลิตภัณฑ์ พิจารณาบนพื้นฐานเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติคริสตัลไลน์ซิลิคอน (multi-Si PV) ขนาดติดตั้ง 1 กิโลวัตต์ (kWp) โดยมีลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อ้างอิงในการศึกษา

ลักษณะเฉพาะ	รายละเอียด
ขนาดของแผง	1.6 ตารางเมตร
น้ำหนักแผงไม่รวมกรอบ	11.1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
กรอบอลูมิเนียม	อลูมิเนียม 2.1 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
จำนวนเซลล์ต่อแผง	60 เซลล์ (156 x 156 มิลลิเมตร)
ประสิทธิภาพของแผง	ร้อยละ 18

2. ขอบเขตของวัฏจักรชีวิต ครอบคลุมกระบวนการผลิต ขนส่ง การติดตั้ง การใช้งานการบำรุงรักษา ตลอดอายุการใช้งานเฉลี่ย 25 ปี และรวมถึงการจัดการเมื่อสิ้นสุดการใช้งาน

3. ขอบเขตการประเมินและการวิเคราะห์ ประเมินครอบคลุม 3 มิติหลักความยั่งยืนตาม Toward life cycle sustainability assessment (UNEP and SETAC Life Cycle Initiative) ค.ศ. 2011 [1] ร่วมกับการประเมินทางสังคมตาม A guide to social return on investment (The SROI Network) ค.ศ. 2012 [2] แบ่งเป็น
   3.1 มิติสิ่งแวดล้อม: ประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอ้างอิงมาตรฐาน ISO 14040 และ ISO 14044 โดยใช้วิธีการ ReCiPe (H) ในระดับ midpoint ประเมินเฉพาะผลกระทบกลุ่มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) และผลกระทบกลุ่มความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (ecotoxicity)
   3.2 มิติการเงิน: ประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต โดยพิจารณาเฉพาะต้นทุนทางตรง (direct cost) ครอบคลุมต้นทุนในกระบวนการผลิต การติดตั้ง การใช้งาน การบำรุงรักษา และการจัดการเมื่อสิ้นสุดการใช้งาน ไม่รวมต้นทุนแฝงหรือต้นทุนทางอ้อมอื่น ๆ เช่น ต้นทุนทางสิ่งแวดล้อม ต้นทุนค่าเสียโอกาส เป็นต้น
   3.3 มิติสังคม: ประเมินผลตอบแทนทางสังคมเพื่อสะท้อนผลกระทบเชิงบวกในมิติสังคม โดยพิจารณาผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 2 กลุ่ม ได้แก่ พนักงาน และผู้บริโภค

4. วิธีการศึกษา

การประเมินนี้มุ่งเน้นความยั่งยืนในภาพรวม โดยอาศัยพื้นฐานแนวคิดเชิงวัฏจักรชีวิตควบคู่กับกรอบการประเมินผลกระทบตาม 3 เสาหลักของความยั่งยืน ได้แก่ (1) การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม (2) การประเมินต้นทุนด้านการเงิน และ(3) การประเมินผลตอบแทนทางสังคม จากนั้นผลของการประเมินในแต่ละมิติจะถูกสังเคราะห์และแปลผลร่วมกันเพื่อสะท้อนถึงความยั่งยืนตลอดวัฏจักรชีวิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และจัดหาแนวทางในการจัดการอย่างยั่งยืนในอนาคต

4.1 ประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอาศัยการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิต LCA ตามมาตรฐาน ISO 14040 และ ISO 14044 โดยอ้างอิงจากกระบวนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศจีนเป็นหลัก เนื่องจากเป็นแหล่งผลิตสำคัญที่สะท้อนบริบทจริงของการใช้งานในประเทศไทย กำหนดระยะเวลาการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 25 ปี และการจัดการเมื่อสิ้นสุดการใช้งานตามแนวทาง Full recovery end of life photovoltaic (FRELP) อิงตามเอกสารงานวิจัย [3]

4.1.1 รวบรวมข้อมูล

ข้อมูลในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสามารถแบ่งตามช่วงวัฏจักรชีวิตได้ 3 ระยะ คือ (1) ระยะการผลิต (2) ระยะการใช้งานและบำรุงรักษา โดยอ้างอิงข้อมูลจากรายงานวิจัยขององค์การพลังงานระหว่างประเทศ (International energy agency: IEA) [4] และ (3) ระยะการจัดการเมื่อสิ้นสุดการใช้งาน ตามแนวทาง FRELP อ้างอิงจากงานวิจัย [3]

ข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วยปัจจัยขาเข้า (วัตถุดิบ พลังงานและสาธารณูปโภค) ผลิตภัณฑ์หลักและผลิตภัณฑ์พลอยได้ มลพิษที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอน ซึ่งเมื่อรวบรวมมาแล้วนำมาจัดทำเป็นตารางบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต (life cycle inventory: LCI) โดยมีการปรับข้อมูลให้สอดคล้องกับหน่วยการทำงาน (functional unit) เพื่อใช้ในการประเมินผลในขั้นตอนถัดไป

4.1.2 การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตดำเนินการโดยนำข้อมูล LCI มาคำนวณด้วยโปรแกรม SimaPro version 10.2.0.2 และเลือกใช้วิธีการประเมินแบบ ReCiPe 2016 Midpoint (H) ในการคัดเลือกหมวดหมู่ผลกระทบ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ประเมิน 2 หมวดหมู่หลัก ได้แก่ (1) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) และ

(2) ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด (freshwater ecotoxicity) โดยรายงานผลการประเมินในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO_2 eq) และ กิโลกรัมเทียบเท่า 1,4-ไดคลอโรเบนซีน (kg 1,4-DCB) ตามลำดับ

4.2 ประเมินต้นทุนด้านการเงินตลอดวัฏจักรชีวิต

การประเมินต้นทุนการเงินตลอดวัฏจักรชีวิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดำเนินการโดยรวบรวมข้อมูลต้นทุนการผลิต การติดตั้ง การใช้งานและการบำรุงรักษา รวมถึงต้นทุนการจัดการเมื่อสิ้นสุดการใช้งาน จากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ และการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง จากนั้นนำมาวิเคราะห์ผ่านการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (life cycle cost analysis: LCCA)

4.2.1 รวบรวมข้อมูล

ข้อมูลต้นทุนในวัฏจักรชีวิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจำแนกตามวัฏจักรชีวิตเป็น 3 กลุ่ม คือ

(1) ต้นทุนในกระบวนการผลิต อ้างอิงจาก [5] ซึ่งประเมินด้วยแบบจำลองวิธี bottom-up manufacturing cost model โดยใช้สมมติฐานของโรงงานผลิตที่ตั้งอยู่ในเอเชียเป็นฐานในการคำนวณต้นทุนในแต่ละขั้นตอนการผลิต

(2) ต้นทุนการติดตั้ง การใช้งาน และการบำรุงรักษา โดยอ้างอิงข้อมูลจาก [6] [7] ซึ่งมีการทำแบบจำลองในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งระบบสำหรับที่อยู่อาศัย เชิงพาณิชย์ขนาดเล็ก และขนาดใหญ่

(3) ต้นทุนการจัดการเมื่อสิ้นสุดการใช้งาน จาก [3] โดยใช้แนวทาง FRELP ซึ่งเป็นกระบวนการที่ออกแบบให้สามารถรีไซเคิลวัสดุกลับมาใช้ใหม่ได้

4.2.2 การประเมินต้นทุนการเงิน

การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตกำหนดมุมมองการวิเคราะห์ในฐานะผู้บริโภค เพื่อให้สามารถพิจารณาโครงสร้างต้นทุนตามกรอบระยะเวลาตลอดวัฏจักรชีวิตได้อย่างชัดเจน โดยต้นทุนในกระบวนการผลิตและต้นทุนการติดตั้งทั้งหมดจัดเป็นต้นทุนเริ่มต้น (capital expenditure: CAPEX) และคำนวณในปีที่ 0 ขณะที่ต้นทุนการใช้งาน การบำรุงรักษา และการเปลี่ยนอุปกรณ์จัดเป็นต้นทุนในการดำเนินงาน (operational expenditure: OPEX) ซึ่งคำนวณเป็นรายปี

ส่วนต้นทุนในการจัดการเมื่อสิ้นสุดการใช้งานจะถูกคำนวณในปีถัดจากช่วงอายุการใช้งานที่กำหนดไว้ ทั้งนี้ การประเมินต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิตได้คำนวณร่วมกับอัตราคิดลดรวมทั้งสมมติฐานอื่น ๆ เพื่อแปลงผลลัพธ์ให้อยู่ในรูปมูลค่าปัจจุบัน โดยอ้างอิงกรอบการคำนวณตาม [8] และปรับให้สอดคล้องกับบริบทการศึกษานี้ ดังแสดงในสมการที่ 1

$$LCC = C_{PI} + C_{OMR} + C_{EOL}$$ สมการที่ 1

LCC	:	ต้นทุนรวมทั้งหมดที่ปรับเป็นมูลค่าปัจจุบันแล้ว (บาท)
C_{PI}	:	ต้นทุนการผลิตรวมกับต้นทุนการติดตั้งที่ปรับเป็นมูลค่าปัจจุบันแล้ว (บาท)
C_{OMR}	:	ต้นทุนการดำเนินงาน การบำรุงรักษา และการเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ปรับเป็นมูลค่าปัจจุบันแล้ว (บาท)
C_{EOL}	:	ต้นทุนการจัดการเมื่อสิ้นสุดการใช้งานที่ปรับเป็นมูลค่าปัจจุบันแล้ว (บาท)

เพื่อให้ผลการประเมินสะท้อนมุมมองของผู้บริโภคอย่างชัดเจน จึงประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ ซึ่งปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ทั้งปัจจัยภายนอก เช่น ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ เงา ฝุ่น สภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม ปัจจัยด้านเทคนิค เช่น องศาการติดตั้ง อัตราการลดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในการประเมินได้อ้างอิงค่าศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยของประเทศไทยที่ 1,506 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลวัตต์ติดตั้ง [4] และกำหนดอัตราการเสื่อมประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ร้อยละ 0.5 ต่อปี แล้วคำนวณร่วมกับต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตที่ประเมินได้ เพื่อให้ผลลัพธ์แสดงถึงราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

4.3 ประเมินผลตอบแทนทางสังคมตลอดวัฏจักรชีวิต

งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต ร่วมกับวิธีการประเมินผลตอบแทนทางสังคม (social return on investment: SROI) เพื่อประเมินผลตอบแทนทางสังคมเปรียบเทียบกับต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต เป็นเครื่องมือบ่งบอกถึงผลกระทบเชิงบวกของโครงการเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมุ่งเน้นไปที่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลักซึ่งได้รับผลกระทบทางสังคมโดยตรง คือ กลุ่มของพนักงาน และกลุ่มของผู้บริโภคหรือผู้ติดตั้งใช้งาน การวิจัยนี้สะท้อนให้เห็นถึงผลประโยชน์ด้านสังคมและเพิ่มความสมบูรณ์ให้แก่กรอบแนวคิดความยั่งยืน

4.3.1 รวบรวมข้อมูล

การจัดเก็บข้อมูลสำหรับการประเมิน ดำเนินการสำรวจความคิดเห็นจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียโดยตรงผ่านแบบสอบถาม ในกลุ่มเป้าหมาย 2 กลุ่มคือ กลุ่มพนักงาน และกลุ่มของผู้บริโภคหรือผู้ใช้งาน ในรูปแบบของแบบสอบถามออนไลน์ โดยมีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างจากกลุ่มเป้าหมายและกำหนดเกณฑ์ในการคัดเข้าและคัดออกของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งการเข้าร่วมตอบแบบสอบถามจะอยู่ภายใต้ความสมัครใจของผู้ตอบแบบสอบถาม ข้อมูลดิบทั้งหมดถูกเก็บรักษาเป็นความลับและทำลายเมื่อสิ้นสุดการทำวิจัย แบบสอบถามที่ใช้ในการเก็บข้อมูลแตกต่างกันไปออกแบบให้สอดคล้องกับบทบาทของกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่ม (1) กลุ่มของพนักงานจะประกอบด้วยคำถาม 6 ข้อและแบบประเมินความพึงพอใจตามรายการตัวชี้วัดทั้งหมด 11 ตัวชี้วัด (2) กลุ่มผู้บริโภคประกอบด้วยคำถาม 5 ข้อและแบบประเมินความพึงพอใจตามรายการตัวชี้วัดทั้งหมด 7 ตัวชี้วัด โดยการวัดระดับความพึงพอใจใช้เกณฑ์มาตรวัดแบบลิเคิร์ท (Likert Scale) กำหนดช่วงคะแนน 1-5 คะแนนเรียงจากน้อยที่สุดไปมากที่สุดเช่นเดียวกันทั้ง 2 กลุ่ม ในงานวิจัยนี้มีกลุ่มตัวอย่างตอบแบบสอบถามโดยสมัครใจและผ่านเกณฑ์ในการคัดเข้าและคัดออกรวมทั้งสิ้น 21 คน

4.3.2 การประเมินผลตอบแทนทางสังคม

การประเมินผลตอบแทนทางสังคม ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นวิเคราะห์มูลค่าที่เกิดขึ้นจากการลงทุนโดยพิจารณาผลลัพธ์ที่เกิดจากโครงการเซลล์แสงอาทิตย์ ขั้นตอนหลักที่สำคัญของการประเมินคือการจัดทำแผนผังแสดงผลลัพธ์ (mapping-outcomes) เพื่อวิเคราะห์ถึงความเชื่อมโยงเหตุและผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลและให้มูลค่าแก่ผลลัพธ์ (evidencing and valuation of outcomes) คือการกำหนดมูลค่าของผลตอบแทนทางสังคมที่เป็นนามธรรม [2] โดยประยุกต์ใช้แนวคิดการวัดมูลค่าทางเลือก เช่น มูลค่าของผลประโยชน์ที่สูญเสียหากไม่มีโครงการ หรือมูลค่าความประหยัดที่เกิดขึ้น โดยอ้างอิงฐานข้อมูลพระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน พระราชบัญญัติประกันสังคม และเอกสารรายงานทางสถิติที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยนี้ดำเนินการเก็บข้อมูลผ่านเกณฑ์การประเมินค่า (Likert Scale) ช่วงคะแนน 1-5 โดยกำหนดให้ระดับคะแนน 4 และ 5 เป็นเกณฑ์บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นจึงคำนวณสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงจริงเทียบกับจำนวนกลุ่มตัวอย่างในแต่ละกลุ่มเพื่อหาค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงในกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียนั้น ๆ และเพื่อให้ได้มูลค่าผลตอบแทนทางสังคมที่

สะท้อนถึงผลลัพธ์จากโครงการอย่างแท้จริง จึงดำเนินการการปรับลดผลกระทบ เพื่อคัดกรองปัจจัยภายนอกที่ไม่เกี่ยวข้องออกโดยพิจารณาจากปัจจัยลดทอนสำคัญดังนี้:

(1) Deadweight: สัดส่วนของผลลัพธ์หรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอยู่แล้วเป็นปกติแม้จะไม่ได้มีการดำเนินโครงการ

(2) Attribution: สัดส่วนของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากโครงการหรือบุคคลอื่นมีส่วนสนับสนุนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้น

ขั้นตอนสุดท้ายเพื่อสะท้อนถึงผลลัพธ์ทางสังคมอย่างชัดเจน ทำการเปรียบเทียบมูลค่าผลตอบแทนทางสังคมกับมูลค่าการลงทุนทั้งหมด เพื่อคำนวณหาสัดส่วนผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุน (SROI Ratio) ซึ่งสะท้อนถึงคุณค่าทางสังคมที่สร้างขึ้นต่อหน่วยเงินลงทุน แสดงวิธีการคำนวณตามสมการที่ 2 อ้างอิงจากคู่มือของ The SROI network [2]

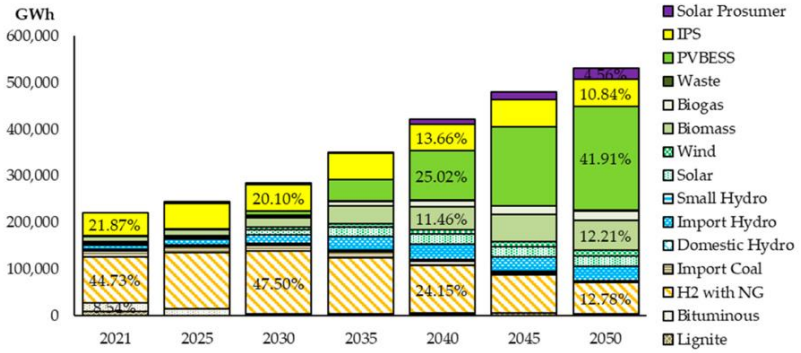
$$SROI\ ratio = \frac{Total\ net\ impact}{Total\ invesment}$$ สมการที่ 2

SROI ratio	:	สัดส่วนผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุน
Total net impact	:	ผลตอบแทนทางสังคมที่หักลบปัจจัยลดทอนอื่น ๆ แล้ว
Total investment	:	มูลค่าการลงทุนทั้งหมดในโครงการ

4.4 ประเมินและแปลผลความยั่งยืนตลอดวัฏจักรชีวิต

ดำเนินการวิเคราะห์และประเมินผลความยั่งยืนของเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านการบูรณาการข้อมูลจาก 3 มิติ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงและสะท้อนความยั่งยืนของเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างชัดเจน โดยมีรายละเอียดในแต่ละมิติดังนี้

มิติสิ่งแวดล้อม: เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อสนับสนุนเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน การศึกษานี้ได้เลือกใช้ค่าอ้างอิงจากสถานการณ์จำลองแผนขยายการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยเพื่อบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนในปี ค.ศ. 2050 (carbon neutrality by 2050: CN50) [9] ซึ่งโครงสร้างพลังงานของประเทศมีการขยายตัวของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 41.91 ควบคู่กับการปรับลดสัดส่วนเชื้อเพลิงฟอสซิล และการยุติการใช้ถ่านหินลิกไนต์และบิทูมินัส lignite และ bituminous ในปี ค.ศ. 2050 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโครงสร้างพลังงานในรูปที่ 1 โดยมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 0.07 kg CO_2 eq/kWh ใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และค่าการปล่อยสารพิษต่อแหล่งน้ำจืดทั่วโลกเฉลี่ยต่อคนต่อปี ที่ 25.17 กิโลกรัมเทียบเท่า 1,4-ไดคลอโรเบนซีนต่อคนต่อปี (kg 1,4-DCB eq./person/year) [10] ใช้เปรียบเทียบกับผลกระทบค่าความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน้ำจืด



รูปที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนโครงสร้างพลังงานปี ค.ศ. 2021 - 2050 [9]

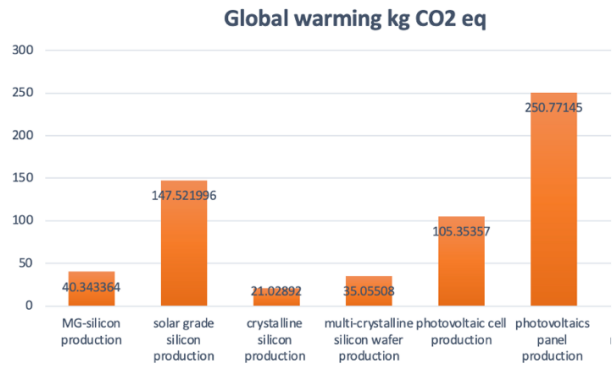
มิติด้านการเงิน: มุ่งเน้นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าและความยั่งยืนในมุมมองผู้บริโภคทั้งในปัจจุบันและระยะยาวผ่านการเปรียบเทียบกับอัตราค่าไฟฟ้า 2 ระยะคือ ระยะปัจจุบัน อ้างอิงอัตราค่าไฟฟ้าที่ภาครัฐประกาศใช้จริง 3.98 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง [11] และระยะยาวในปี ค.ศ. 2050 อ้างอิงค่าไฟฟ้าจากการคาดการณ์สถานการณ์จำลองเพื่อบรรลุเป้าหมาย CN50 ที่ 4.21 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง [9]

มิติด้านสังคม: การประเมินในมิตินี้มีความแตกต่างจากมิติอื่นเนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ผลลัพธ์เชิงคุณค่า ผู้วิจัยจึงเลือกใช้การพิจารณาสัดส่วนผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุน (SROI ratio) เพื่อระบุมูลค่าที่ส่งคืนผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อหน่วยเงินลงทุน ซึ่งเป็นมาตรวัดความยั่งยืนในเชิงคุณค่าทางสังคมโดยตรง

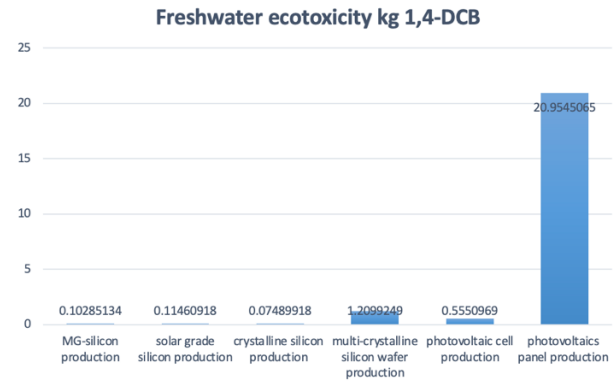
5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการประเมินในมิติด้านสิ่งแวดล้อม

จากการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม พบว่าผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีค่าเท่ากับ 0.016 kg CO_2 eq/kWh โดยเกิดผลกระทบมากที่สุดในการกระบวนการผลิต โดยเฉพาะขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีการผลิตกรอบอลูมิเนียมและการผลิตกระจกรวมอยู่ด้วย รองลงมาคือการผลิตซิลิคอนเกรดสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการใช้พลังงานในการทำให้ซิลิคอนบริสุทธิ์สูง และผลกระทบความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืดมีค่า 22.95 kg 1,4-DCB โดยเกิดผลกระทบมากที่สุดในขั้นตอนเดียวกัน แสดงผลกระทบของกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนในรูปที่ 2 ในขณะที่การจัดการเมื่อสิ้นสุดการใช้งานมีค่าผลกระทบต่ำที่สุดทั้ง 2 กลุ่มผลกระทบในมิติสิ่งแวดล้อม



(ก) แสดงผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

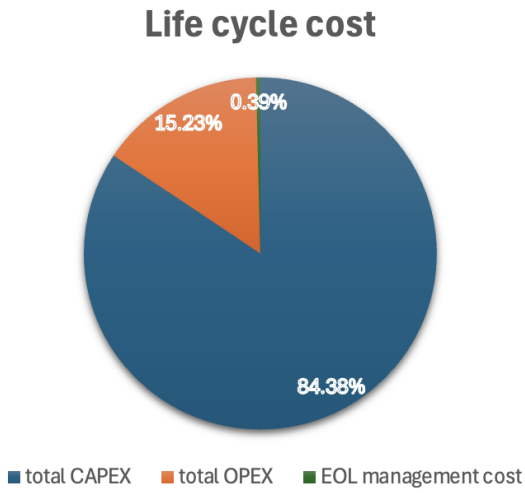


(ข) แสดงผลกระทบความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืด

รูปที่ 2 แสดง (ก) ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและ (ข) ผลกระทบความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืดของกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอน

5.2 ผลการประเมินต้นทุนด้านการเงิน

การประเมินต้นทุนด้านการเงินพบว่าต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับครัวเรือนอยู่ที่ 88,401 บาท และคิดเป็นต้นทุนต่อหน่วยไฟฟ้าที่ 2.49 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง โดยต้นทุนหลักอยู่ที่กระบวนการผลิตและการติดตั้งทั้งหมด (total CAPEX) ในปีที่ 0 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 84.38 และต้นทุนการใช้งานและบำรุงรักษา (total OPEX) ตลอดระยะเวลา 25 ปี คิดเป็นร้อยละ 15.23 ส่วนที่เหลือคือต้นทุนในการจัดการเมื่อสิ้นสุดการใช้งานซึ่งมีสัดส่วนน้อยมากเมื่อเทียบกับสองส่วนก่อนหน้าเพียงร้อยละ 0.39 สัดส่วนต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตตามโครงสร้างในการคำนวณ

5.3 ผลการประเมินผลตอบแทนทางสังคม

จากการประเมินผลตอบแทนทางสังคม พบว่ามูลค่าผลตอบแทนทางสังคมของวัฏจักรชีวิตอยู่ที่ 125,978 บาท ในขณะที่ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตอยู่ที่ 88,401 บาท หรือคิดเป็นสัดส่วนผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุนได้ 1:1.425 หมายความว่าทุก ๆ 1 บาทที่ลงทุนจะสร้างมูลค่าผลตอบแทนทางสังคมกลับคืนสู่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 1.425 บาท โดยกลุ่มพนักงานได้รับผลประโยชน์สูงสุดในด้านความมั่นคงและสิทธิแรงงาน ขณะที่กลุ่มผู้บริโภคได้รับประโยชน์ด้านความปลอดภัยและการลดภาระทางการเงินแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงมูลค่าตอบแทนทางสังคมในแต่ละผลลัพธ์ของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย

ผลลัพธ์ (outcomes)	กลุ่มพนักงาน	กลุ่มผู้บริโภค
พนักงานมีความมั่นคงและคุณภาพชีวิตในการทำงานดีขึ้น	5,742.00	
พนักงานได้รับการจ้างงานที่เป็นธรรมและเคารพสิทธิ	57,096.00	
ความปลอดภัยและศักยภาพแรงงานเพิ่มขึ้น	47,196.00	
ผู้บริโภคมีความปลอดภัยและความมั่นใจในการใช้ผลิตภัณฑ์		13,075.87
ภาระทางการเงินและความไม่แน่นอนของผู้บริโภคลดลง		1,002.96
ความเป็นส่วนตัวและความเชื่อมั่นเพิ่มขึ้น		1865.66
มูลค่าผลตอบแทนทางสังคมทั้งหมด	**110,034.00**	**15,944.50**

5.4 ผลการประเมินและแปลผลความยั่งยืนตลอดวัฏจักรชีวิต

จากการประเมินผลทั้ง 3 มิติเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงที่กำหนด แสดงให้เห็นถึงผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตในแต่ละมิติ และเมื่อพิจารณาถึงความยั่งยืนโดยเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงจากเอกสารงานวิจัยต่าง ๆ

มิติสิ่งแวดล้อม ผลการประเมินชี้ให้เห็นว่า การผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในครัวเรือนมีค่าผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่ำกว่าค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่อ้างอิงจากการคาดการณ์สถานการณ์จำลองแผนขยายการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย CN50 อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ผลกระทบความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืดมีค่าใกล้เคียงค่าอ้างอิงเฉลี่ยต่อคนต่อปี สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพในการช่วยลดผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างชัดเจน

มิติด้านการเงิน เมื่อพิจารณาในมุมมองของผู้บริโภคราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยจากเซลล์แสงอาทิตย์ถูกกว่าราคาต่อหน่วยไฟฟ้าปัจจุบันและในอนาคตปี ค.ศ. 2050 แสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าและสะท้อนความยั่งยืนในมิติการเงิน ของการลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในครัวเรือน

มิติด้านสังคม ผลการประเมินชี้ให้เห็นว่าการลงทุนในโครงการนอกจากผลตอบแทนทางการเงินแล้วยังสร้างมูลค่าผลตอบแทนทางสังคมในอัตราส่วนที่คุ้มค่าในการลงทุน ก่อให้เกิดผลตอบแทนทางสังคมในเชิงบวกต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลักคือพนักงานและผู้บริโภค

เมื่อเปรียบเทียบผลการประเมินวัฏจักรชีวิตกับการศึกษาอื่น ๆ ที่มีเงื่อนไขลักษณะการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ และสภาพอากาศคล้ายกับไทยพบว่า ผลการประเมินในมิติสิ่งแวดล้อมมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ค่าผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศอยู่ในช่วง <0.1 kg CO_2 eq/kWh [12] แม้ค่าจะใกล้เคียงกันแต่สาเหตุที่ยังคงมีความแตกต่างอยู่บ้าง เนื่องมาจากปัจจัยด้านแหล่งพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ความแปรผันของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งานตามศักยภาพรังสีอาทิตย์ รวมถึงผลกระทบจากอุณหภูมิที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพและการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในมิติการเงินผลการประเมินต้นทุนพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของการศึกษานี้อยู่ที่ 0.0755 USD/kWh สูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกรณีศึกษา Malaysia (RPV1) LCOE อยู่ที่ 0.0605 USD/kWh ในขณะที่อีกกรณีศึกษาในไทย Thailand (RPV2) LCOE อยู่ที่ 0.0491 USD/kWh [13] ซึ่งแตกต่างกันไม่มากนัก ส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างนอกจากสภาพอากาศ การใช้งาน และปัจจัยเชิงเทคนิคแล้ว ปัจจัยเชิงเศรษฐศาสตร์และบริบทของระบบ เช่น ต้นทุนในการติดตั้ง ต้นทุนการบำรุงรักษา ขนาดของระบบ (economics of scale) ข้อจำกัดด้านพื้นที่ติดตั้ง รวมไปถึงโครงสร้างเศรษฐกิจและนโยบายพลังงานของแต่ละประเทศ ยังส่งผลต่อต้นทุนต่อหน่วยไฟฟ้าด้วยเช่นกัน ในขณะที่มิติสังคมพบว่าแต่ละงานวิจัยในเชิง SROI มีเงื่อนไขและสมมติฐานในการประเมินที่ค่อนข้างแตกต่างกันและมีจำกัด การเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการศึกษามีความยากในเชิงความสอดคล้องของข้อมูล อย่างไรก็ตามแนวโน้มส่วนใหญ่เป็นไปในทิศทางบวก โดยมีค่า SROI >1 ซึ่งสะท้อนว่าการลงทุนในระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถสร้างมูลค่าทางสังคมได้มากกว่ามูลค่าที่ลงทุน จึงมีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการส่งเสริมการใช้งานพลังงานแสงอาทิตย์ในภาคครัวเรือน

อนึ่ง การศึกษาในครั้งนี้มุ่งเน้นเฉพาะเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดมัลติคริสตัลไลน์ (multi-Si) เป็นหลัก ดังนั้นผลการศึกษาจึงอาจไม่ครอบคลุมเทคโนโลยีใหม่ที่มีแนวโน้มประสิทธิภาพและโครงสร้างวัสดุที่ต่างออกไปในอนาคต ข้อจำกัดสำคัญอีกข้อคือความหลากหลายของแหล่งที่มาของข้อมูล โดยข้อมูลด้านบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมและต้นทุนการเงินอ้างอิงจากรายงานวิจัยของประเทศจีนและห้องปฏิบัติการพลังงานทดแทนแห่งชาติ (National Renewable Energy Laboratory: NREL) ตามลำดับ เพื่อสะท้อนบริบทของแหล่งผลิตสำคัญและการใช้งานในประเทศไทย ขณะที่ข้อมูลด้านสังคมรวบรวมจากกลุ่มตัวอย่างในประเทศไทย ความแตกต่างเชิงบริบทของข้อมูลข้ามประเทศ เช่น นโยบายสิ่งแวดล้อมและโครงสร้างทางเศรษฐกิจ อาจส่งผลต่อความแม่นยำเชิงลึก ดังนั้น ผลการศึกษาจึงมุ่งเน้นการสะท้อนแนวโน้มและภาพรวมความยั่งยืนตลอดวัฏจักรชีวิต เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาความยั่งยืนทางพลังงานจากการใช้เซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าการระบุรายละเอียดจำเพาะเจาะจงพื้นที่หรือประเทศใดประเทศหนึ่ง

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการประเมินความยั่งยืนตลอดวัฏจักรชีวิตของเซลล์แสงอาทิตย์ในระดับภาคครัวเรือนของประเทศไทยที่ครอบคลุมและรอบด้าน โดยบูรณาการมิติด้านสิ่งแวดล้อม การเงิน และสังคมเข้าด้วยกัน ซึ่งพบว่า ในมิติสิ่งแวดล้อมการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ช่วยลดผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้อย่างชัดเจน โดยผลกระทบอยู่ที่ 0.016 kg CO_2 eq/kWh ต่ำกว่าค่าคาดการณ์จากโครงสร้างพลังงานแบบผสมของโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อบรรลุเป้าหมาย CN50 ร้อยละ 77 ผลกระทบความเป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืดมีค่า 22.95 kg 1,4-DCB ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยการปล่อยสารพิษต่อแหล่งน้ำจืดทั่วโลกต่อคนต่อปี

ในมิติการเงินการลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์สร้างความคุ้มค่าทางการเงินแก่ผู้บริโภคโดยที่ต้นทุนค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.49 THB/kWh ต่ำกว่าค่าไฟฟ้าปัจจุบันและค่าไฟฟ้าในอนาคตปี ค.ศ. 2050 และในมิติสังคมโครงการเซลล์แสงอาทิตย์ในครัวเรือนช่วยยืนยันถึงการสร้างมูลค่าผลตอบแทนในเชิงบวก ซึ่งสัดส่วนผลตอบแทนทางสังคมจากการลงทุนอยู่ที่ 1.425 เท่าต่อการลงทุนก่อให้เกิดผลตอบแทนทั้งในกลุ่มพนักงานและกลุ่มผู้บริโภค ซึ่งจากการบูรณาการทั้ง 3 มิติชี้ให้เห็นศักยภาพความยั่งยืนของเซลล์แสงอาทิตย์ในครัวเรือน ดังนั้นการส่งเสริมการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพเมื่อสิ้นสุดการใช้งานเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยขับเคลื่อนไปสู่เป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และช่วยเพิ่มความยั่งยืนทางพลังงานอย่างครอบคลุมในทุกมิติ

เอกสารอ้างอิง

[1] UNEP/SETAC. (2011). *Towards Life Cycle Sustainability Assessment*. https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2012/12/2011%20-%20Towards%20LCSA.pdf.

[2] network, t. S. (2012). *A guide to Social Return on Investment*. https://static1.squarespace.com/static/60dc51e3c58aef413ae5c975/t/60f7fa286b9c6a47815bc3b2/1626864196998/The-SROI-Guide-2012.pdf

[3] Markert, E., Celik, I., & Apul, D. (2020). Private and Externality Costs and Benefits of Recycling Crystalline Silicon (c-Si) Photovoltaic Panels. *Energies*, *13*(14), 3650. https://www.mdpi.com/1996-1073/13/14/3650

[4] R. Frischknecht, P. S., L. Krebs, M. de Wild-Scholten, P. Sinha. (2020). *Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems* (IEA-PVPS T12-19:2020, Issue. https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/12/IEA-PVPS-LCI-report-2020.pdf

[5] NREL. (2025). *Solar Manufacturing Cost Analysis*. https://www.nrel.gov/solar/market-research-analysis/solar-manufacturing-cost

[6] NREL. (2025). *Solar Installed System Cost Analysis*. https://www.nrel.gov/solar/market-research-analysis/solar-installed-system-cost

[7] Michael Woodhouse, D. F., Vignesh Ramasamy, Brittany Smith,Timothy Silverman, Teresa Barnes, Jarett Zuboy and Robert Margolis. (2021). *Research and Development Priorities to Advance Solar Photovoltaic Lifecycle Costs and Performance*. https://docs.nrel.gov/docs/fy22osti/80505.pdf

[8] Sieglinde K. Fuller, S. R. P. (1995). CALCULATING LIFE-CYCLE COSTS. In *LIFE-CYCLE COSTING MANUAL for the Federal Energy Management Program NIST Handbook 135 2020 Edition*. National Institute of Standards and Technology NIST. https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/hb/nisthandbook135-1995.pdf

[9] Diewvilai, R. A., Kulyos. (2022). Possible Pathways toward Carbon Neutrality in Thailand's Electricity Sector by 2050 through the Introduction of H2 Blending in Natural Gas and Solar PV with BESS. *Energies*, *15*(11), 3979.https://www.mdpi.com/1996-1073/15/11/3979

[10] Huijbregts MAJ, S. Z., Elshout PMF, Stam G, Verones F, Vieira M, Van Zelm R. (2016). *Normalization scores ReCiPe2016v1.1_20190514* https://www.rivm.nl/en/documents/normalization-scores-recipe-2016?utm_source=chatgpt.com

[11] คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. (2568). ข่าวดีเกินคาด !! "กกพ." หั่นค่าไฟเหลือ 3.98 บาท/หน่วย ให้มีผล พ.ค. 68 เป็นต้นไป. https://www.erc.or.th/th/news-release/3227

[12] APEC. (2019). *Life* Cycle Assessment of Photovoltaic Systems in the APEC Region. https://www.apec.org/docs/default-source/Publications/2019/4/Life-Cycle-Assessment-of-Photovoltaic-Systems-in-the-APEC-Region/219_EWG_Life-Cycle-Assessment-of-Photovoltaic-Systems-in-the-APEC-Region.pdf

[13] APEC. (2019). Life Cycle Cost Assessment of Photovoltaic Systems in the APEC Region. https://www.apec.org/docs/default-source/publications/2019/4/life-cycle-cost-assessment-of-photovoltaic-systems-in-the-apec-region/219_ewg_life-cycle-cost-analysis-of-photovotaic-systems-in-the-apec-region.pdf

การจำลองการเผาไหม้ของแอมโมเนียร่วมกับถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันสูง โดยใช้โปรแกรม Aspen Plus

โปรดปราน สิริธีรศาสน์*, ณัฐนรี ชำนาญ, และ บุณยชา ปายัน

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี ประเทศไทย
**Corresponding author: sprod@tu.ac.th*

บทคัดย่อ

เพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดภาวะโลกร้อน (global warming effect) จึงนำแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ปราศจากคาร์บอน มาเผาไหม้ร่วมกับเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อการปล่อย CO_2 ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และออกไซด์ของกำมะถัน (SO_x) จากการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันสูงด้วยการจำลองกระบวนการเผาไหม้โดยใช้โปรแกรม Aspen Plus V.12.1 จำนวน 360 การทดลอง ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิของการเผาไหม้ (500 ถึง 2,000 °C) สัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมระหว่างแอมโมเนียกับถ่านหิน (ร้อยละ 0 ถึง 100) ปริมาณอากาศเกินพอ (ร้อยละ -15 ถึง +15) และปริมาณกำมะถันในถ่านหิน (ร้อยละ 0.5 ถึง 5) ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมส่งผลให้การปล่อย CO_2 ลดลง และเมื่อใช้ปริมาณอากาศเกินพอร้อยละ 15 ทำให้มีการปล่อย CO_2 ต่ำที่สุด เมื่อเพิ่มอุณภูมิของการเผาไหม้และปริมาณอากาศเกินพอ ส่งผลให้การปล่อย NO_x เพิ่มขึ้น การเพิ่มสัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมไม่ส่งผลต่อการปล่อย NO_x เมื่อปริมาณกำมะถันในถ่านหินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการปล่อย SO_x เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มสัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมส่งผลให้การปล่อย SO_x ลดลง นอกจากนี้ ยังพบว่า การเพิ่มขึ้นของการปล่อย SO_x ส่งผลให้การปล่อย NO_x ลดลงเล็กน้อย

คำสำคัญ: การเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหิน / การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ / การปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน / การปล่อยออกไซด์ของกำมะถัน

Simulation of the co-firing of ammonia and high-sulphur-content coal using Aspen Plus

Prodpran Siritheerasas*, Natnaree Chamnan, and Boonyacha Payan

Department of Chemical Engineering, Thammasat School of Engineering, Thammasat University, Pathumthani, Thailand
**Corresponding author: sprod@tu.ac.th*

Abstract

In an attempt to lower the emission of carbon dioxide (CO_2), one of the most potential greenhouse gases that causes the global warming effect, ammonia (NH_3), a carbon-free fuel, is co-fired with another fossil fuel. In the present study, the effects of various variables on the emissions of CO_2, oxides of nitrogen (NO_x), and oxides of sulphur (SO_x) from the co-firing of ammonia and high-sulphur-content coal were investigated using Aspen Plus V.12.1 for 360 test runs. The variables examined in this study included the combustion temperature (500 to 2,000 °C), the NH_3 mass percentage in the NH_3-coal fuel mixture (0 to 100 wt.%), the percentage of excess air (-15 to +15%), and the percentage of sulphur in coal (0.5 to 5 wt.%). The results revealed that an increase in NH_3 percentage in the fuel mixture led to a decrease in CO_2 emission. The co-firing with the excess air percentage of +15% resulted in the lowest CO_2 emission. Increases in combustion temperature and excess air percentage resulted in an increase in the emission of NO_x, but an increase in NH_3 percentage in the fuel mixture had an insignificant effect on NO_x emission. When the percentage of sulphur in coal increased, the emission of SO_x also increased. However, the emission of SO_x decreased with an increase in NH_3 percentage in the fuel mixture. It was also found that an increase in the emission of SO_x led to a slight decrease in the emission of NO_x.

Keywords: Ammonia-coal co-firing / CO_2 emission / NO_x emission / SO_x emission

1. บทนำ

ในปัจจุบันโลกกำลังเผชิญกับปัญหาภาวะโลกร้อน (global warming effect) ที่ทวีความรุนแรงเพิ่มขึ้นทุกปี [1-3] โดยภาวะโลกร้อนเป็นปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิของโลกมีค่าสูงขึ้น อันเกิดจากการสะสมของก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) กลุ่มไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (hydrofluorocarbons: HFCs) กลุ่มเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (perfluorocarbons: PFCs) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) และไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3) [4] ในชั้นบรรยากาศ ซึ่งก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้มีสมบัติในการกักเก็บรังสีอินฟราเรด (infrared) ไว้ในชั้นบรรยากาศ ทำให้ความร้อนจากรังสีอินฟราเรดไม่สามารถปล่อยออกจากบรรยากาศของโลกได้ตามปกติ นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศของโลก [4] ทั้งนี้ จากก๊าซเรือนกระจกที่กล่าวถึงข้างต้น ก๊าซ CO_2 ถือเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศของโลกมากที่สุด และเป็นตัวการที่ทำให้เกิดการสะสมของความร้อนในชั้นบรรยากาศของโลกมากที่สุดเช่นกัน [1-3] โดย CO_2 ที่ปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ (fossil fuel) เช่น ถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น [1-3]

เพื่อป้องกันความเสียหายหรือบรรเทาความรุนแรงที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของอุณหภูมิของโลก ทุกประเทศจึงมีแนวคิดที่ต้องการลดการปล่อย CO_2 ลง โดยกิจกรรมแรก ๆ ที่เป็นความพยายามในการลดการปล่อย CO_2 ของประชาคมโลก คือ พิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) ในปี ค.ศ. 1997 ซึ่งเป็นสนธิสัญญาระหว่างประเทศฉบับแรกที่กำหนดเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศต่าง ๆ โดยเฉพาะกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้ว [5] อย่างไรก็ตาม หลังจากที่มีพิธีสารเกียวโตแล้ว ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะ CO_2 ก็ยังไม่ได้ลดลงตามเจตนารมณ์ของพิธีสารดังกล่าว จึงนำไปสู่การประชุม Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) ครั้งที่ 21 (COP-21) หรือข้อตกลงปารีส (Paris Agreement) ในปี ค.ศ. 2015 ซึ่งได้มีการกำหนดแนวทางใหม่ในการบรรเทาภาวะโลกร้อน โดยมีเป้าหมายหลักในการรักษาอุณหภูมิของโลกให้ไม่เกิน 2 °C จากระดับก่อนยุคอุตสาหกรรม พร้อมทั้งพยายามจำกัดการเพิ่มของอุณหภูมิของโลกให้ไม่เกิน 1.5 °C จากระดับก่อนยุคอุตสาหกรรม [6]

สำหรับประเทศไทย หลังจากที่ได้เข้าร่วมการประชุม COP-21 แล้ว ได้กำหนดเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ร้อยละ 20-25 จากระดับที่คาดว่าจะปล่อยในปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) ทั้งนี้ จากการประมาณการ พบว่าในปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) ประเทศไทยจะปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณ 555 ล้านตันของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังนั้น ประเทศไทยต้องพยายามลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ในช่วง 111-139 ล้านตันของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าภายในปี พ.ศ. 2573 (ค.ศ. 2030) [7]

ในปี ค.ศ. 2021 ได้มีการประชุม COP-26 ซึ่งในการประชุมดังกล่าว หลายประเทศ รวมถึงองค์กรด้านพลังงานได้แสดงจุดยืนเพื่อขับเคลื่อนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะ CO_2 ให้บรรลุเป้าหมายที่ได้ตั้งไว้จากการประชุม COP-21 ภายในปี ค.ศ. 2050 พร้อมกันนี้ ที่ประชุมดังกล่าว ได้เพิ่มความชัดเจนในการพัฒนาและนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาใช้เพื่อช่วยลดการปล่อย CO_2 ภายในปี ค.ศ. 2030 โดยในส่วนของประเทศไทย กระทรวงพลังงานได้เข้าร่วมประชุม Asia Zero Emission Community (AZEC) ครั้งที่ 1 ในปี พ.ศ. 2566 (ค.ศ. 2023) ซึ่งที่ประชุมดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยเหลือประเทศต่าง ๆ ในทวีปเอเชียในการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อลดการปล่อย CO_2 ตามสภาพแวดล้อมของแต่ละประเทศ โดยหนึ่งในเทคโนโลยีที่มีความเป็นไปได้สูง คือ การนำแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ปราศจากคาร์บอน (carbon-free fuel) มาเผาไหม้ร่วมกับถ่านหิน [8]

แอมโมเนีย (NH_3) เป็นสารที่มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน และมีความระคายเคืองสูง สามารถละลายน้ำได้ดี และสามารถถูกบีบอัดได้ง่าย ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นของเหลวใสไม่มีสี มีมวลโมเลกุล 17.03 g/mol มีจุดเดือด -33.35 °C และมีจุดเยือกแข็ง -77.7 °C [9] สามารถติดไฟได้ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 16-25 เมื่อผสมกับอากาศ [10] แอมโมเนียเป็นสารประกอบที่ปราศจากคาร์บอน (C) เช่นเดียวกับไฮโดรเจน (H_2) อนึ่ง เมื่อเทียบกับ H_2 แอมโมเนียมีต้นทุนในการจัดเก็บและขนส่งต่อหน่วยพลังงานที่ต่ำกว่า เนื่องจากมีความหนาแน่นสูงกว่า [11] อย่างไรก็ตาม แม้ว่าแอมโมเนียจะเป็นเชื้อเพลิงที่ปราศจากคาร์บอน ซึ่งจะทำให้ไม่ปล่อย CO_2 ออกสู่บรรยากาศเมื่อถูกเผาไหม้ แต่แอมโมเนียมีไนโตรเจน (N) เป็นองค์ประกอบ เมื่อถูกเผาไหม้จะทำให้เกิดออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ขึ้น [12]

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำแอมโมเนียมาเผาไหม้ร่วมกับถ่านหินที่ผ่านมา อันได้แก่ งานวิจัยของ Wang และคณะ [13] ซึ่งได้เปรียบเทียบการปล่อย CO_2 และ NO_x จากการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินที่สัดส่วนโดย

มวลระหว่างแอมโมเนียต่อถ่านหิน (NH_3/coal mass ratio) ต่าง ๆ ในเตาเผาแบบท่อ (tube furnace) ซึ่งวางในแนวตั้งที่อุณหภูมิ 1,100 °C ทั้งแบบที่มีการป้อนของอากาศเป็นช่วง ๆ ตามความสูงของเตาเผา (air-staged condition) และแบบที่ป้อนอากาศร่วมกับเชื้อเพลิงผสมที่ด้านบนของเตาเผาโดยไม่มีการป้อนเป็นช่วง ๆ ตามความสูง (non-staged combustion) ผลการศึกษาพบว่า การเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมระหว่างแอมโมเนียกับถ่านหินนำไปสู่การลดการปล่อย CO_2 ลงได้อย่างมีนัยสำคัญ และพบว่า การเผาไหม้ในเตาเผาที่มีการป้อนอากาศเป็นช่วง ๆ (air-staged condition) นำไปสู่การปล่อย NO_x ที่น้อยกว่าการเผาไหม้ในเตาเผาที่ไม่มีการป้อนอากาศเป็นช่วง ๆ (non-staged combustion) เนื่องจากการป้อนอากาศเป็นช่วง ๆ ทำให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมในภาวะที่มีเชื้อเพลิงมากกว่าอากาศ (fuel-rich condition) ซึ่งนำไปสู่การลดการเกิดของ NO_x งานวิจัยของ Wang และคณะ [14] ซึ่งได้ศึกษาการปล่อย NO_x จากการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินในเตาเผาแบบท่อซึ่งวางในแนวตั้ง ที่อุณหภูมิ 1,100-1,400 °C โดยมีการป้อนเชื้อเพลิงผสม 2 แบบ แบบที่ 1 เป็นแบบที่ป้อนแอมโมเนียในท่อที่แยกจากถ่านหินและอากาศ (lagging co-firing mode) และแบบที่ 2 เป็นแบบที่ป้อนแอมโมเนียร่วมกับถ่านหินและอากาศในท่อเดียวกัน (premixed co-firing mode) ผลการศึกษาพบว่า การเผาไหม้ในรูปแบบที่ป้อนแอมโมเนียแยกกับถ่านหินและอากาศ (lagging co-firing mode) มีการปล่อย NO_x น้อยกว่าการเผาไหม้ในรูปแบบที่ป้อนแอมโมเนียร่วมกับถ่านหินและอากาศในท่อเดียวกัน เนื่องจากการป้อนแบบแยกกันทำให้เกิดภาวะการเผาไหม้ที่มีเชื้อเพลิงมากกว่าอากาศ (fuel-rich condition) ซึ่งนำไปสู่การปล่อย NO_x ในปริมาณต่ำ ขณะที่การป้อนแอมโมเนียร่วมกับถ่านหินและอากาศทำให้เกิดภาวะการเผาไหม้ที่มีเชื้อเพลิงน้อยกว่าอากาศ (fuel-lean condition) ซึ่งเป็นภาวะที่ทำให้เกิดการปล่อย NO_x ในปริมาณสูง งานวิจัยของ Xie และคณะ [15] ซึ่งได้ศึกษาการปล่อย NO_x จากการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหิน โดยใช้สัดส่วนของแอมโมเนียต่อถ่านหินในช่วงร้อยละ 10-30 ในเตาเผาแบบท่อซึ่งวางในแนวตั้ง ด้วยการป้อนแอมโมเนียที่ตำแหน่งต่าง ๆ ได้แก่ ที่ด้านบนของเตาเผาร่วมกับการป้อนถ่านหินและอากาศ และที่ด้านข้างของเตาเผา ขณะที่ถ่านหินและอากาศถูกป้อนจากด้านบน ผลการศึกษาพบว่า ระบบการเผาไหม้ที่ป้อนแอมโมเนียแยกจากถ่านหินและอากาศก่อให้เกิดภาวะการเผาไหม้ที่มีเชื้อเพลิงมากกว่าอากาศ (fuel-rich condition) ซึ่งทำให้มีการปล่อย NO_x ต่ำกว่าระบบการเผาไหม้ที่ป้อนแอมโมเนียร่วมกับอากาศจากด้านบนของเตาเผา นอกจากนี้ ยังพบว่า การเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินนำไปสู่การลดลงของการปล่อย CO_2 อย่างมีนัยสำคัญ และงานวิจัยของ Li และคณะ [16] ที่ศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างแอมโมเนียกับถ่านหิน รูปแบบของการป้อนอากาศ อุณหภูมิของการเผาไหม้ และปริมาณของอากาศเกินพอ (ในรูปของความเข้มข้นของออกซิเจนที่ขาออก) ที่มีต่อการปล่อย CO_2 และ NO_x จากการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินในเตาเผาแบบ fluidized bed ในช่วงอุณหภูมิ 850-900 °C ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มสัดส่วนของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมระหว่างแอมโมเนียกับถ่านหินนำไปสู่การลดลงของการปล่อย CO_2 ขณะที่การปล่อย NO_x เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ความเข้มข้นของ NO_x ที่ปล่อยออกมาอยู่ในช่วง 150-200 ppm ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับต่ำ การป้อนอากาศเป็นช่วง ๆ ตามความสูงของเตาเผาทำให้ลดการปล่อย NO_x ลงได้ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการเผาไหม้ทำให้การปล่อย NO_x สูงขึ้น ส่วนการลดลงของปริมาณอากาศเกินพอ (นั่นคือมีความเข้มข้นของออกซิเจนที่ขาออกลดลง) ส่งผลให้มีการปล่อย NO_x ลดลง แสดงให้เห็นว่าการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินนำไปสู่การปล่อย CO_2 ในปริมาณที่ลดลง และสามารถลดปริมาณการปล่อยของ NO_x ได้เช่นกัน หากมีการควบคุมการเผาไหม้ให้อยู่ในภาวะที่เหมาะสม (นั่นคือภาวะการเผาไหม้ที่มีเชื้อเพลิงมากกว่าอากาศ หรือ fuel-rich condition)

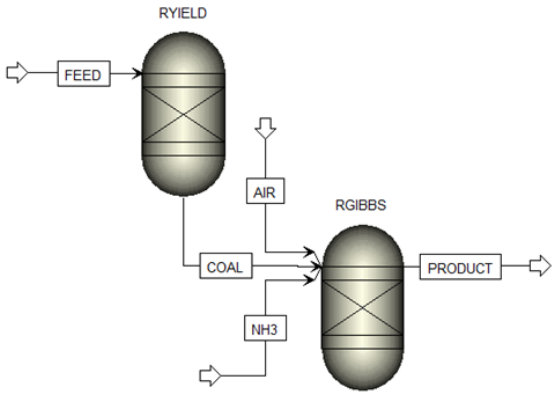
อย่างไรก็ตาม หากจะนำแอมโมเนียมาเผาไหม้ร่วมกับถ่านหินในประเทศไทย ซึ่งเป็นถ่านหินที่มีปริมาณของกำมะถัน (S) สูง อาจทำให้ออกไซด์ของกำมะถัน (SO_x) ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ ไปส่งผลต่อการปล่อย NO_x ได้ ซึ่งงานวิจัยที่ได้กล่าวถึงข้างต้นยังไม่ได้มีการศึกษาผลของการนำแอมโมเนียมาเผาไหม้ร่วมกับถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันสูงแต่อย่างใด ดังนั้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันสูงที่มีต่อการปล่อยมลพิษต่าง ๆ ซึ่งรวมถึง NO_x และ SO_x พร้อมทั้งศึกษาผลของการปล่อย SO_x ที่มีต่อการปล่อย NO_x

2. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการจำลองการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันสูงโดยใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการ Aspen Plus V. 12.1 ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ อุณหภูมิของการเผาไหม้ (ในช่วง 500 ถึง 2,000 °C) สัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมระหว่างแอมโมเนียกับถ่านหิน (ในช่วงร้อยละ 0-100) ปริมาณอากาศ

เกินพอ (ในช่วงร้อยละ -15 ถึง +15) และปริมาณกำมะถันในถ่านหิน (ในช่วงร้อยละ 0.5 ถึง 5) ทั้งนี้ สมบัติของถ่านหินที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สมบัติของถ่านหินจากงานวิจัยของ Pintana และ Tippayawong [17]

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่องปฏิกรณ์ (reactor) 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์ประเภท RYield และเครื่องปฏิกรณ์ประเภท RGibbs โดยเครื่องปฏิกรณ์ประเภท RYield ใช้สำหรับปฏิกิริยาที่ทราบผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น จึงใช้เครื่องปฏิกรณ์นี้ในขั้นตอนของการกำหนดองค์ประกอบของถ่านหิน ซึ่งเป็นสารที่ไม่อยู่ในฐานข้อมูลของโปรแกรม ให้เป็นสารที่โปรแกรมสามารถนำไปใช้สำหรับการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ในขั้นถัดไปได้ โดยการกำหนดให้องค์ประกอบของถ่านหินที่ได้จาก RYield เป็นไปดังแสดงในตารางที่ 1 ในส่วนของขั้นตอนการจำลองกระบวนการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหิน เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการเผาไหม้ที่ภาวะสมดุล (equilibrium state) จึงเลือกใช้เครื่องปฏิกรณ์ประเภท RGibbs เพื่อให้โปรแกรมคำนวณความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ (products) ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ภาวะสมดุล (equilibrium) หรือในภาวะของการดำเนินไปของปฏิกิริยาที่ทำให้ได้ค่า Gibbs free energy (ΔG) ต่ำที่สุด ทั้งนี้ ได้แสดงแผนผังกระบวนการ (process flow diagram: PFD) ของการจำลองกระบวนการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังกระบวนการ (process flow diagram: PFD) ของการจำลองกระบวนการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหิน

อุณหภูมิและความดันเริ่มต้นของถ่านหินที่ป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ประเภท RYield และ RGibbs และของอากาศ (air) และแอมโมเนีย (NH_3) ที่ป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ประเภท RGibbs ได้กำหนดไว้ที่ 25 °C และ 1 atm ตามลำดับ ทั้งนี้ กำหนดให้อากาศประกอบด้วย N_2 ร้อยละ 79 และ O_2 ร้อยละ 21 โดยโมล

ตารางที่ 1 ค่าการวิเคราะห์ต่าง ๆ ของถ่านหินที่ใช้ในงานวิจัย

การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) [wt.%]	ปริมาณกำมะถันในถ่านหิน [wt.%]					
	0.5	1	2	3	4	5
Ash	22.11	21.61	20.61	19.61	18.61	17.61
Volatile matter (VM)	37.10	37.35	37.85	38.35	38.85	39.35
Fixed carbon (FC)	40.79	41.04	41.54	42.04	42.54	43.04
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (ultimate analysis) [wt.%]						
Ash	22.11	21.61	20.61	19.61	18.61	17.61
Carbon (C)	53.34	53.34	53.34	53.34	53.34	53.34
Hydrogen (H)	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04
Nitrogen (N)	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93	1.93
Oxygen (O)	13.08	13.08	13.08	13.08	13.08	13.08

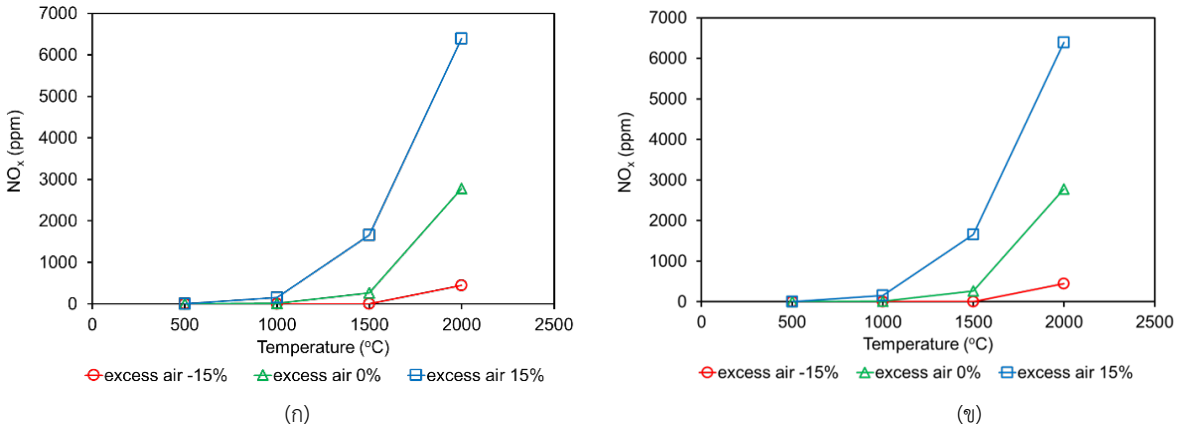
ตารางที่ 1 ค่าการวิเคราะห์ต่าง ๆ ของถ่านหินที่ใช้ในงานวิจัย (ต่อ)

การวิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) [wt.%]	ปริมาณกำมะถันในถ่านหิน [wt.%]					
	0.5	1	2	3	4	5
Sulphur (S)	0.5	1	2	3	4	5
การวิเคราะห์กำมะถัน (sulphur analysis)						
Pyritic sulphur	0.075	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75
Sulphate sulphur	0.175	0.35	0.70	1.05	1.40	1.75
Organic sulphur	0.25	0.50	0.10	1.50	2.00	2.50

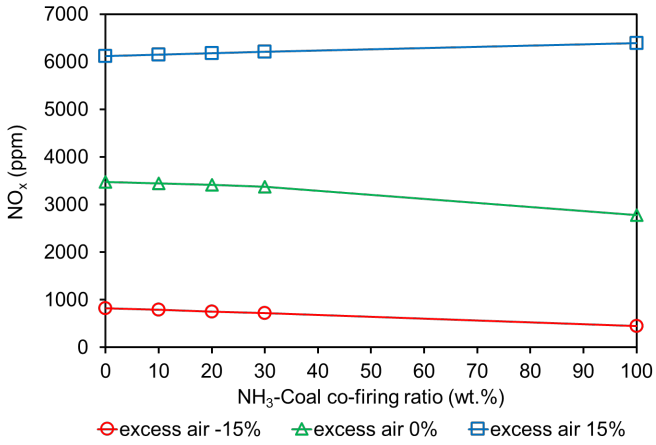
3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการพิจารณาผลของอุณหภูมิของการเผาไหม้และอากาศเกินพอที่มีต่อการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จากการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินที่มีสัดส่วนมวลระหว่างแอมโมเนียกับถ่านหินร้อยละ 30 โดยมวล ในรูปที่ 2 พบว่า สำหรับอากาศเกินพอร้อยละ -15 และ 0 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการเผาไหม้จาก 500 เป็น 1,500 °C ส่งผลให้ความเข้มข้นของ NO_x ที่ปล่อยออกมาเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่ออุณหภูมิของการเผาไหม้เพิ่มจาก 1,500 เป็น 2,000 °C ความเข้มข้นของ NO_x ที่ปล่อยออกมามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่า สำหรับอากาศเกินพอร้อยละ +15 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการเผาไหม้ส่งผลให้ความเข้มข้นของ NO_x ที่ปล่อยออกมาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ปริมาณของกำมะถันในถ่านหินไม่มีผลต่อความเข้มข้นของ NO_x ที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 2 เช่นเดียวกัน ทั้งนี้ พบว่า การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมระหว่างแอมโมเนียกับถ่านหินมีผลน้อยมากต่อความเข้มข้นของ NO_x ที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 3

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการเผาไหม้และอากาศเกินพอที่ส่งผลให้การปล่อย NO_x เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นไปตามกลไก (mechanism) ของการเกิด NO_x ที่อุณหภูมิสูง (thermal-NO_x) ของ Zeldovich [18] ซึ่งเป็นกลไกของการเกิด NO_x จาก N_2 ที่อยู่ในอากาศ โดยที่ N_2 เป็นโมเลกุลที่ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะสาม (triple bond) [18] ดังนั้น จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงในการสลายพันธะ และการเพิ่มขึ้นของอากาศเกินพอส่งผลให้อากาศที่เผาไหม้กับเชื้อเพลิงมี N_2 เพิ่มขึ้น จึงทำให้การปล่อย NO_x เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้ การที่การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมระหว่างแอมโมเนียกับถ่านหินมีผลทำให้การปล่อย NO_x เปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าการปล่อย NO_x จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมระหว่างแอมโมเนียกับถ่านหินมาจาก N_2 ในอากาศเป็นหลัก



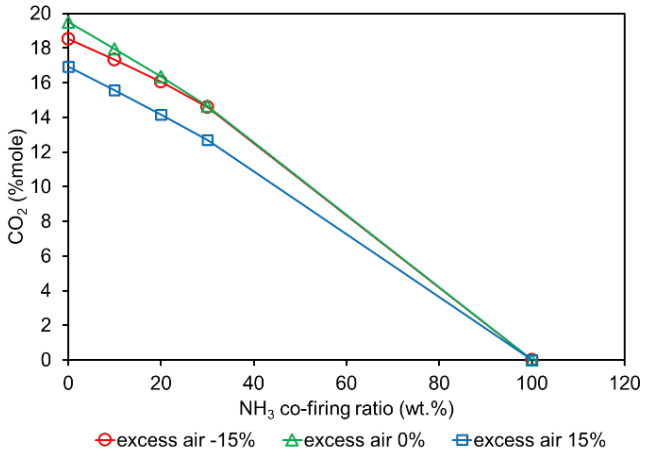
รูปที่ 2 ความเข้นข้นของ NO_x จากการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินที่มีสัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมร้อยละ 30 ที่อุณหภูมิของการเผาไหม้และอากาศเกินพอต่าง ๆ สำหรับถ่านหินที่มี (ก) กำมะถัน (S) ร้อยละ 0.5 และ (ข) กำมะถัน (S) ร้อยละ 5



รูปที่ 3 ความเข้มข้นของ NO_x ที่ได้จากการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินที่มีสัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมในช่วงร้อยละ 0-100 และปริมาณอากาศเกินพอต่าง ๆ ที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 2,000 °C สำหรับถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถัน (S) ร้อยละ 5

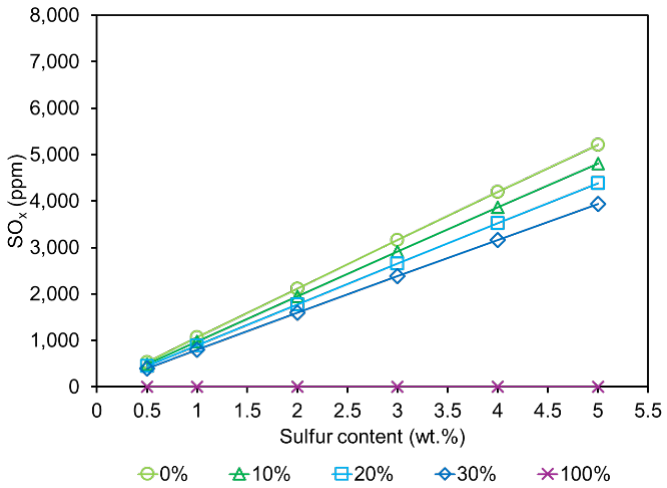
ผลของอากาศเกินพอที่มีต่อการปล่อย NO_x จากการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินที่ได้จากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิจัยของ Wang และคณะ [13] งานวิจัยของ Wang และคณะ [14] งานวิจัยของ Xie และคณะ [15] และงานวิจัยของ Li และคณะ [16] ที่พบว่า การเผาไหม้ในภาวะที่มีเชื้อเพลิงมากกว่าอากาศ (fuel-rich condition) ส่งผลให้การปล่อย NO_x ลดลง ส่วนผลของอุณหภูมิที่มีการปล่อย NO_x ที่ได้จากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิจัยของ Li และคณะ [16] ที่พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทำให้เกิดการปล่อยของ NO_x มากขึ้น

จากการพิจารณาการปล่อย CO_2 จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมระหว่างแอมโมเนียกับถ่านหินที่สัดส่วนมวลของแอมโมเนียต่าง ๆ ในรูปที่ 4 พบว่า การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมส่งผลให้การปล่อย CO_2 ลดลง จนไม่มีการปล่อย CO_2 เมื่อเผาไหม้แอมโมเนียร้อยละ 100 ทั้งนี้ เนื่องจากแอมโมเนียเป็นเชื้อเพลิงที่ปราศจากคาร์บอน ซึ่งผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับผลที่ได้จากงานวิจัยของ Wang และคณะ [13] Xie และคณะ [15] และ Li และคณะ [16] ที่พบว่า การเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินนำไปสู่การปล่อย CO_2 ที่ลดลง นอกจากนี้ ยังพบว่า การปล่อย CO_2 มีค่าน้อยที่สุดเมื่อใช้อากาศเกินพอร้อยละ +15 ซึ่งน่าจะมาจากการที่ก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ (flue gas) ถูกเจือจางจากปริมาณอากาศเกินพอที่มี N_2 ในสัดส่วนถึงร้อยละ 79



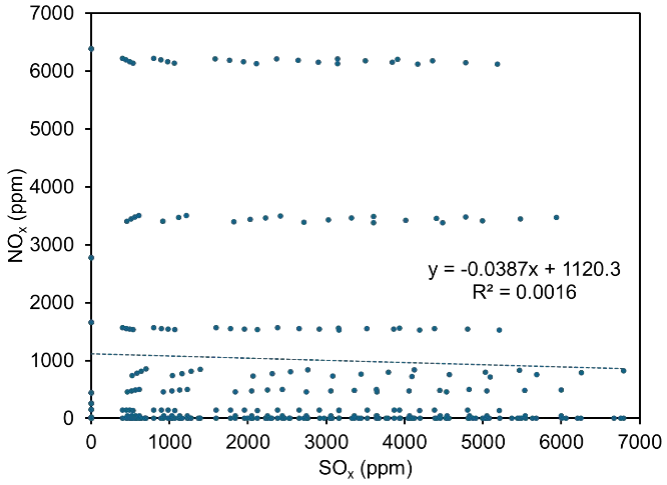
รูปที่ 4 ความเข้มข้นของ CO_2 ที่ได้จากการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินที่มีสัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมในช่วงร้อยละ 0-100 และปริมาณอากาศเกินพอต่าง ๆ ที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 500 °C สำหรับถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถัน (S) ร้อยละ 0.5

เมื่อปริมาณของกำมะถัน (S) ในถ่านหินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การปล่อยออกไซด์ของกำมะถัน (SO_x) จากการเผาไหม้เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมระหว่างแอมโมเนียกับถ่านหินส่งผลให้การปล่อย SO_x ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5 ทั้งนี้ เนื่องจากการเพิ่มสัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสม ทำให้เชื้อเพลิงผสมมีถ่านหินในสัดส่วนที่ลดลง จึงส่งผลให้กำมะถันในเชื้อเพลิงผสมลดลงตามไปด้วย การปล่อย SO_x จึงลดลง



รูปที่ 5 ความเข้มข้นของ SO_x ที่ได้จากการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินที่มีสัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมในช่วงร้อยละ 0-100 และปริมาณกำมะถันในถ่านหินต่าง ๆ ที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 2,000 °C และปริมาณอากาศเกินพอร้อยละ +15

จากการพิจารณาผลของการปล่อย SO_x ที่มีการปล่อย NO_x ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่า การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ SO_x ส่งผลให้การปล่อย NO_x ลดลงเล็กน้อย แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณกำมะถันในถ่านหิน (S) ส่งผลให้การปล่อย NO_x ลดลงเล็กน้อย ซึ่งน่าจะมีเหตุผลมาจากการเกิด SO_x และ NO_x ต่างต้องใช้อนุมูล (radical) เดียวกัน นั่นคือ H, O, และ OH radicals ดังนั้น เมื่ออนุมูลเหล่านี้ถูกใช้ไปสำหรับการเกิด SO_x (จาก S) ซึ่งมีพลังงานกระตุ้น (activation energy) ต่ำกว่าการเกิด NO_x (จาก N_2 ในอากาศ) ไปแล้ว จึงเหลืออนุมูลที่ต้องใช้สำหรับการเกิด NO_x ลดลง ส่งผลให้การปล่อย NO_x ลดลง [19]



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ SO_x กับความเข้มข้นของ NO_x จากการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันสูง

4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการเผาไหม้แอมโมเนียร่วมกับถ่านหินด้วยการจำลองกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus พบว่า การเพิ่มสัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมระหว่างแอมโมเนียกับถ่านหินส่งผลให้การปล่อย CO_2 ลดลง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของการเผาไหม้และอากาศเกินพอส่งผลให้มีการปล่อย NO_x เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มสัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมไม่ส่งผลต่อการปล่อย NO_x การเพิ่มขึ้นของปริมาณกำมะถันในถ่านหินส่งให้การปล่อย SO_x เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มสัดส่วนมวลของแอมโมเนียในเชื้อเพลิงผสมทำให้การปล่อย SO_x ลดลง นอกจากนี้ ยังพบว่า การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ SO_x ส่งผลให้การปล่อย NO_x ลดลงเล็กน้อย

เอกสารอ้างอิง

[1] Kobaysahi, H., Hayakawa, A., Somarathne, K.D.K.A., & Okafor, E. (2019). Science and technology of ammonia combustion. *Progress of the Combustion Institute 37*, 109-133.

[2] Elbaz, A.M., Wang, S., Guiberti, T.F., & Roberts, W.L. (2022). Review on the recent advances on ammonia combustion from the fundamentals to the applications. *Fuel Communications 10*, 100053.

[3] Alnasif, A., Marshruk, S., Shi, H., Alnajideen, M., Wang, P., Pugh, D., & Valera-Medina, A. (2023). Evolution of ammonia-reaction mechanisms and modeling parameters: A review. *Application in Energy and Combustion Science 15*, 100175.

[4] vanLoon, G.W. & Duffy, S.J. (2017). *Environmental Chemistry: A Global Perspective*. 4th ed. UK: Oxford University Press.

[5] European Commission (n.d.). The Kyoto Protocol: The world's first international treaty to reduce greenhouse gas emissions. Retrieved from https://climate.ec.europa.eu/eu-action/international-action-climate-change/kyoto-protocol_en.

[6] UNFCCC secretariat (n.d.). Key aspects of the Paris Agreement. Retrieved from https://unfccc.int/most-requested/key-aspects-of-the-paris-agreement.

[7] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2566). แผนปฏิบัติราชการระยะ 5 ปี (พ.ศ. 2566-2570). สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.

[8] กุลิศ สมบัติศิริ (2023). Thailand's Energy Policy. กรุงเทพฯ: สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน. กระทรวงพลังงาน. Retrieved from https://www.thailand-energy-academy.org/assets/upload/coursedocument/file/Thailand's%20Energy%20Policy.pdf.

[9] โศรดา ขุนโหร (2544). แอมโมเนียกับอุตสาหกรรม. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ 49(157)*, 11-13.

[10] ยุทธศรี หล้ามณี (ม.ป.ป.): คุณสมบัติของแอมโมเนียและการรั่วซึม. บริษัท มายคอม (ประเทศไทย) จำกัด. สืบค้นจาก: https://www.netenergy-tech.com/doc/knowledge/Properties_and_leakage_of_ammonia_gas.pdf.

[11] Alnajideen, M., Shi, H., Northrop, W., Emberson, D., Kane, S., Czyzewski, P., Alnaeli, M., Mashruk, S., Rouwenhorst, K., Yu, C., Eckart, S., & Valera-Medina, A. (2024). Ammonia combustion and emissions in practical applications: a review. *Carbon Neutrality 3*, 13.

[12] Butterworth, P. (2022). Green ammonia fuel faces three big challenges. London: CRU. Retrieved from: https://www.crugroup.com/en/communities/thought-leadership/sustainability/green-ammonia-fuel-faces-threebig-challenges/.

[13] Wang, X., Fan, W., Chen, J., Feng, G., & Zhang, X. (2022). Experimental study and kinetic analysis of the impact of ammonia co-firing ratio on products formation characteristics in ammonia/coal co-firing process. *Fuel 329*, 125496.

[14] Wang, X., Fan, W., Chen, J., & Zhang, H. (2024). Experimental study of effect of a novel ammonia/coal co-firing mode on NO_x emission under high temperature conditions. *Renewable Energy 235*, 121379.

[15] Xie, Y., Yan, J., Li, J., Zhang, C., Liu, X., Zhang, W., & Wang, H. (2024). Experimental study on the effects of ammonia cofiring ratio and injection mode on the NO_x emission characteristics of ammonia-coal cofiring. *Fuel 363*, 130996.

[16] Li, T., Li, L., Liu, C., Liu, H., Sun, G., Ding, N., Lu, D., & Duan, L. (2024). Investigating combustion efficiency and NO_x emission reduction in fluidized bed ammonia co-firing. *Combustion and Flame 270*, 113735.

[17] Pintana, P. & Tippayawong, N. (2013). Nonisothermal Thermogravimetric Analysis of Thai Lignite with High CaO Content. *The Scientific World Journal*. 216975.

[18] Turns, S.R. (2012). *An Introduction to Combustion: Concepts and Applications*. 3rd ed. Singapore: McGraw-Hill.

[19] Glassman, I., Yetter, R.A., & Glumac, N.G. (2015). *Combustion*. 5th ed.: Elsevier.

พลังงานทางเลือก
Alternative Energy

Poster Presentation

การประเมินสมบัติเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพทางความร้อนของน้ำมันไพโรไลซิสจากพลาสติกรวมด้วยระบบเตาปฏิกรณ์แบบ Compact Skid เพื่อการจัดการขยะชุมชนอย่างยั่งยืน

พชรพร ธนเลิศพิพัฒน์[1*], และ พลวัฒน์ ดำรงกิจภากร[2]

[1]โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยศิลปากร (มัธยมศึกษา) ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย
[2]กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยศิลปากร (มัธยมศึกษา) ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย
[*]Corresponding author: thanalertpipat@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัญหาขยะพลาสติกตกค้างและการจัดการที่ไม่ถูกวิธีเป็นวาระเร่งด่วนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพประชาชน งานศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพและประเมินสมบัติเชื้อเพลิงของการเปลี่ยนขยะพลาสติกเป็นพลังงาน (Waste-to-Energy) ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำมันไพโรไลซิส (Pyrolysis Oil) จากกระบวนการผลิตจริงของ บริษัท เคอร์เรนท์ เอ็นเนอร์จี จำกัด ซึ่งใช้ระบบเตาปฏิกรณ์แบบกะทัดรัด (Compact Skid) และนำมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ตามมาตรฐาน ASTM

ผลการทดสอบเชิงลึกพบว่า น้ำมันไพโรไลซิสที่ได้มีค่าดัชนีซีเทน (Cetane Index) สูงถึง 59.6 และมีค่าความร้อนรวม (Gross Heating Value) 10,184 cal/g ซึ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการจุดระเบิดและการให้พลังงานความร้อนที่เทียบเท่ากับน้ำมันดีเซลเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ ยังมีปริมาณกำมะถันต่ำเพียง 26.92 ppm ซึ่งจัดเป็นเชื้อเพลิงสะอาดที่เหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับภาคอุตสาหกรรม จุดเด่นที่สำคัญคือกระบวนการแตกตัวทางความร้อนที่สมบูรณ์ ปราศจากแว็กซ์หนัก (Heavy waxes) ที่ก่อให้เกิดการอุดตัน อย่างไรก็ตาม สมบัติด้านความหนืดจลน์ (1.359 cSt) และจุดวาบไฟ (< 40 °C) ยังต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว เนื่องจากลักษณะการปนเปื้อนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเบากลุ่มแนฟทา (Naphtha) ที่มีช่วงจุดเดือดกว้าง (83.7 - 280.5 °C)

งานศึกษานี้สรุปได้ว่า ระบบ Compact Skid มีศักยภาพสูงในการผลิตเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับการเผาไหม้ภายนอก เช่น หม้อไอน้ำอุตสาหกรรม หรือเตาเผาทางการเกษตร และเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันด้วยกระบวนการกลั่นลำดับส่วน (Fractional Distillation) เพื่อแยกสารประกอบส่วนเบาที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 150 °C ออก ซึ่งจะช่วยยกระดับความปลอดภัยและสมบัติให้เทียบเท่ามาตรฐานยานยนต์ สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ด้านการจัดการขยะชุมชนและพลังงานสะอาดอย่างเป็นรูปธรรม

คำสำคัญ: น้ำมันไพโรไลซิส / ขยะพลาสติก / พลังงานทางเลือก / เศรษฐกิจหมุนเวียน / การเปลี่ยนขยะเป็นพลังงาน

Fuel property assessment and thermal efficiency of Mixed plastic pyrolysis oil from a compact skid reactor for austainable municipal waste management

Pacharaporn Thanalertpipat[1*], and Pollawat Dumrongkitpakorn[2]

[1]The Demonstration School of Silpakorn University (Secondary), Nakhon Pathom, Thailand
[2]Department of Science and Technology, The Demonstration School of Silpakorn University (Secondary), Nakhon Pathom, Thailand
**Corresponding author: thanalertpipat@gmail.com*

Abstract

Plastic waste management and its residues are critical environmental challenges requiring urgent sustainable solutions. This research aims to evaluate the potential and assess the fuel properties of converting mixed plastic waste into energy (Waste-to-Energy) via pyrolysis. The study analyzed pyrolysis oil samples obtained from the commercial production process of Current Energy Co., Ltd., utilizing a compact skid reactor system. The physicochemical properties of the resultant oil were assessed based on ASTM standards.

The in-depth testing results demonstrate superior fuel characteristics, with a Cetane Index of 59.6 and a Gross Heating Value of 10,184 cal/g, indicating high ignition performance and thermal energy comparable to commercial diesel. Notably, the sulfur content is exceptionally low at 26.92 ppm, making it a highly suitable clean alternative fuel for industrial applications. A significant advantage is the complete thermal cracking process, resulting in the absence of heavy waxes that cause nozzle coking. However, the kinematic viscosity (1.359 cSt) and flash point (< 40 °C) fall below the standard requirements for high-speed diesel engines. This is primarily due to the presence of light hydrocarbon fractions (naphtha group), as evidenced by the wide distillation range (83.7 - 280.5 °C).

The study concludes that the compact skid reactor holds high potential for producing alternative fuels suitable for external combustion, such as industrial boilers and agricultural burners. Furthermore, a fractional distillation process is recommended to separate the light fractions boiling below 150 °C, thereby significantly enhancing safety and engine compatibility. This innovation concretely supports the Circular Economy model and the Sustainable Development Goals (SDGs) by turning municipal waste into high-value clean energy.

Keywords: Pyrolysis oil / Plastic waste / Alternative energy / Circular economy / Waste-to-Energy

1. บทนำ

ปัญหาขยะพลาสติกนับเป็นหนึ่งในความท้าทายทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดในยุคปัจจุบัน เนื่องจากพอลิเมอร์สังเคราะห์มีความทนทานต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ สำหรับประเทศไทย ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษระบุว่าในปี พ.ศ. 2567 มีปริมาณขยะมูลฝอยชุมชน (Municipal Solid Waste - MSW) สูงถึง 27.20 ล้านตัน โดยมีเพียงร้อยละ 39 ที่ถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะมูลฝอย ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย พบว่าขยะพลาสติกมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 29 [1] เพื่อรับมือกับวิกฤตนี้ รัฐบาลได้บังคับใช้แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก ระยะที่ 2 โดยตั้งเป้าหมายที่จะลดปริมาณขยะพลาสติกเป้าหมายที่เข้าสู่หลุมฝังกลบให้เป็นศูนย์ภายในปี พ.ศ. 2570 [2] ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยนวัตกรรมทางเทคโนโลยีขั้นสูงในการจัดการ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชนในประเทศไทย ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย ปี 2566 [1]

องค์ประกอบของขยะมูลฝอยชุมชนในประเทศไทย ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย (ปี 2023)	**สัดส่วน (ร้อยละ)**
ขยะอินทรีย์และเศษอาหาร (Food and Organic Waste)	47.84
ขยะพลาสติก (Plastic Waste)	28.13 - 29.00
เศษกิ่งไม้และใบไม้ (Yard Waste)	10.00
กระดาษ (Paper Waste)	6.27 - 7.00
โลหะและอื่นๆ (Metal and Others)	4.00 - 7.76
เศษไม้ (Wood)	1.00

ขยะพลาสติกในชุมชนส่วนใหญ่เป็นพลาสติกรวม (Mixed plastics) ที่มีการปนเปื้อนสูง ทำให้กระบวนการรีไซเคิลเชิงกลขาดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในมุมมองของวิศวกรรมพลังงาน การเปลี่ยนขยะเป็นพลังงาน (Waste-to-Energy) จึงเป็นยุทธศาสตร์ที่เหมาะสม เทคโนโลยี "ไพโรไลซิส (Pyrolysis)" ซึ่งเป็นกระบวนการแปรสภาพทางความร้อนเคมีภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพสูงในการตัดสายโซ่พอลิเมอร์ให้แตกตัวกลับไปเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหลวไม่ก่อให้เกิดก๊าซไดออกซิน และสอดคล้องกับหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) อย่างเป็นรูปธรรม [3]

ข้อจำกัดหลักของโรงงานไพโรไลซิสในปัจจุบันคือ การออกแบบระบบแบบรวมศูนย์ (Centralized System) ซึ่งก่อให้เกิดต้นทุนด้านโลจิสติกส์มหาศาล นวัตกรรมที่น่าสนใจสำหรับโครงงานวิจัยนี้ คือ นวัตกรรมเตาปฏิกรณ์แบบ "Compact Skid Reactor" ซึ่งเป็นระบบเชิงโมดูลาร์สำหรับการจัดการแบบกระจายศูนย์ (Decentralized) สามารถติดตั้ง ณ แหล่งกำเนิดขยะในชุมชน ลดภาระการขนส่ง และเปลี่ยนของเสียให้กลายเป็นความมั่นคงทางพลังงานในระดับท้องถิ่น

ในการย่อยสลายทางความร้อน ขยะพลาสติกในชุมชนประกอบด้วยพอลิโอเลฟินส์เป็นหลัก ได้แก่ พอลิเอทิลีน (PE) พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิสไตรีน (PS) กระบวนการไพโรไลซิสที่ช่วงอุณหภูมิ 400-500 องศาเซลเซียส จะกระตุ้นให้เกิดกลไกการแตกตัวแบบอนุมูลอิสระ โครงสร้างโมเลกุลของ PE และ PP จะแตกตัวผ่านกลไก Beta-scission ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลเคนและแอลคีนสายยาว ซึ่งมีคุณสมบัติต้านทานการจุดระเบิดด้วยตนเองต่ำ ส่งผลให้น้ำมันที่ได้มี "ค่าดัชนีซีเทน (Cetane Index)" สูงมาก ในทางตรงข้าม โครงสร้างของ PS จะแตกตัวให้สารประกอบกลุ่มอะโรมาติก ซึ่งช่วยเพิ่มความหนาแน่น แต่จะกดค่าดัชนีซีเทนรวมให้ต่ำลง การออกแบบอัตราส่วนผสมทางวิศวกรรมจึงมีความสำคัญยิ่งในการปรับสมดุลสมบัติของน้ำมัน [4]

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า น้ำมันไพโรไลซิสดิบมีค่าความร้อนรวมสูงเทียบเคียงได้กับน้ำมันดีเซลฟอสซิล ทว่าในทางวิศวกรรมยานยนต์ น้ำมันดิบชนิดนี้ยังมีข้อจำกัดด้านคุณสมบัติทางกายภาพที่ไม่ผ่านมาตรฐาน เช่น ปัญหาความหนืดจลน์ที่ผันผวนและจุดวาบไฟ (Flash point) ที่มักต่ำกว่าเกณฑ์ความปลอดภัย สาเหตุหลักมาจากการมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายสั้นที่

ระเหยง่าย (เช่น กลุ่มแนฟทา) ปะปนอยู่ ซึ่งก่อให้เกิดความเสี่ยงในระบบฉีดจ่ายเชื้อเพลิง จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการกลั่น (Distillation) [5] ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงศักยภาพและข้อจำกัดก่อนนำไปใช้งานจริง งานวิจัยนี้จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาและประเมินสมบัติเชิงลึกทางเคมีและฟิสิกส์ของน้ำมันไพโรไลซิสดิบที่ผลิตได้จากเตาปฏิกรณ์แบบ Compact Skid เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันดีเซล ซึ่งจะนำไปสู่การประเมินความจำเป็นในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมัน (เช่น การกลั่นลำดับส่วน) ให้มีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เหมาะสมต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ (Physicochemical properties) ของน้ำมันเชื้อเพลิงไพโรไลซิสที่ผลิตจากขยะพลาสติกรวมจำลอง ผ่านระบบเตาปฏิกรณ์แบบ Compact Skid
2. เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบพารามิเตอร์วิกฤตทางสมบัติเชื้อเพลิงกับมาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็วระดับสากล (ASTM D975) ตลอดจนประเมินศักยภาพและข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้งาน

3. ขอบเขตของการศึกษา

1. วัตถุดิบที่ใช้ศึกษาคือ ขยะพลาสติกรวมจากชุมชน ซึ่งมีพลาสติกกลุ่มพอลิโอเลฟินส์เป็นหลัก (PE ร้อยละ 60-70 และ PP ร้อยละ 20-30)
2. ทำการแปรสภาพทางความร้อนโดยใช้เตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบกะทัดรัด (Compact Skid Reactor) ของบริษัท เคอร์เรนท์ เอ็นเนอร์จี จำกัด อุณหภูมิในการทดลองอยู่ระหว่าง 250 - 350 องศาเซลเซียส จำนวน 300 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต
3. การวิเคราะห์สมบัติเชื้อเพลิงอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM จำนวน 7 พารามิเตอร์ ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และทดสอบภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

4. วิธีการศึกษา

4.1 การเตรียมวัตถุดิบและเครื่องมือ

วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาคือ ขยะพลาสติกรวม (Mixed Plastics) จากชุมชน โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินชนิดและสัดส่วนของพลาสติกด้วยการคัดแยกและสังเกตลักษณะทางกายภาพเบื้องต้น (Visual Inspection and Physical Sorting) ซึ่งเป็นวิธีที่สอดคล้องกับบริบทการทำงานจริงในการจัดการขยะระดับชุมชน โดยไม่ได้ทำการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีเชิงลึกของขยะ จากการประเมินพบว่าประกอบด้วยพลาสติกกลุ่มพอลิโอเลฟินส์ (Polyolefins) เป็นหลัก ได้แก่ พอลิเอทิลีน (PE) ประมาณร้อยละ 60-70 และพอลิโพรพิลีน (PP) ร้อยละ 20-30 วัตถุดิบดังกล่าวได้ผ่านการคัดแยกเบื้องต้นและบดย่อยให้มีขนาดอนุภาคประมาณ 1-3 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน เครื่องมือหลักที่ใช้ในการวิจัยคือ เตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบกะทัดรัด (Compact Skid Reactor) ของบริษัท เคอร์เรนท์ เอ็นเนอร์จี จำกัด จังหวัดกาญจนบุรี ตัวเครื่องมีลักษณะเป็นเตาปฏิกรณ์แบบกะแนวตั้ง ทำงานร่วมกับชุดควบแน่นไอแบบท่อตั้งเรียงลำดับ โดยระบบทั้งหมดถูกติดตั้งแบบบูรณาการบนโครงสร้างฐานเลื่อน (Skid-mounted)

รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของขยะพลาสติกรวมหลังกระบวนการบดย่อย (ขนาด 1-3 เซนติเมตร)

รูปที่ 2 (ซ้าย) แบบจำลอง 3 มิติแสดงโครงสร้างระบบเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิส (ขวา) สถานที่ติดตั้งจริงของระบบแบบ Compact Skid

4.2 กระบวนการผลิตน้ำมันไพโรไลซิส

นำขยะพลาสติกป้อนเข้าสู่เตาปฏิกรณ์ จำนวน 300 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต (Batch) ทำการปิดผนึกระบบเพื่อสร้างสภาวะไร้ออกซิเจน และเริ่มเดินเครื่องโดยแบ่งระยะเวลาการทำงานออกเป็น 4 ช่วงหลัก ได้แก่ ช่วงไล่ความชื้น (1-4 ชั่วโมง) ช่วงทำความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 250 - 350 °C (3-6 ชั่วโมง) ช่วงเกิดปฏิกิริยา (6-10 ชั่วโมง) และช่วงระบบเย็นตัว (6-8 ชั่วโมง) ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ น้ำมันไพโรไลซิสดิบ กำหนดรหัสตัวอย่างเป็น "Pyro-1" มีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ มีความโปร่งแสงเล็กน้อย และมีสถานะเป็นของเหลวที่มีความหนืดต่ำ ไหลเทได้ง่าย

รูปที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันไพโรไลซิสดิบ (Pyro-1) ที่ผลิตได้จากระบบเตาปฏิกรณ์

4.3 การวิเคราะห์สมบัติเชื้อเพลิง

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมัน Pyro-1 ปริมาตร 1 ลิตร บรรจุในภาชนะทึบแสง ส่งวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และทดสอบ ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เพื่อทดสอบสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์เปรียบเทียบกับข้อกำหนดมาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็วระดับสากล (ASTM D975)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 สมดุลมวลและร้อยละผลผลิต

จากการเดินระบบโดยป้อนวัตถุดิบพลาสติก 300 กิโลกรัม พบว่าสามารถผลิตน้ำมันไพโรไลซิสดิบได้ 200 - 220 ลิตร (เทียบเท่ามวลประมาณ 157 - 172.7 กิโลกรัม) คิดเป็นร้อยละผลผลิต (Oil Yield) เฉลี่ยร้อยละ 52 - 57 โดยน้ำหนัก ซึ่งสอดคล้องกับสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อพิจารณาสมดุลมวล พบว่ามีสัดส่วนของกากคาร์บอนและเถ้าหลงเหลือร้อยละ 10 - 15 ความชื้นหลงเหลือระเหยออกร้อยละ 5 - 10 และมวลส่วนที่เหลือร้อยละ 20 - 25 เปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซสังเคราะห์ที่ไม่ควบแน่น (Syngas) ซึ่งระบบถูกออกแบบให้นำก๊าซส่วนนี้กลับไปหมุนเวียนเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนแก่เตาปฏิกรณ์ได้

5.2 สมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของน้ำมันไพโรไลซิสและการอภิปรายผล

ผลการทดสอบทางห้องปฏิบัติการของตัวอย่างน้ำมัน Pyro-1 (อ้างอิงใบรายงานผลการทดสอบเลขที่ 003/2568 จากห้องปฏิบัติการวิเคราะห์และทดสอบ ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี) เพื่อหาคุณลักษณะเชิงวิศวกรรมเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว แสดงผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบสมบัติเชื้อเพลิงของน้ำมันไพโรไลซิสดิบ (Pyro-1) เปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM D975 และประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2567

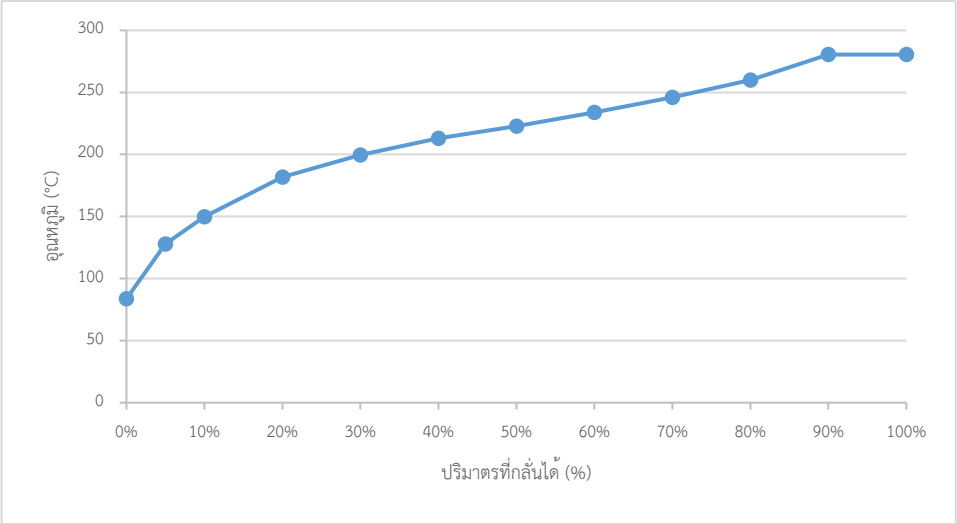
ลำดับที่	รายการทดสอบ (Fuel Properties)	วิธีทดสอบ (Method)	หน่วย	เกณฑ์มาตรฐานไทย [6]*	เกณฑ์มาตรฐานสากล [7]**	ผลการทดสอบ (Pyro-1)
1	ดัชนีซีเทน (Cetane Index)	ASTM D976	-	≥ 50	≥ 40	59.6
2	ค่าความร้อนรวม (Gross Heating Value)	ASTM D240	cal/g MJ/kg	-	~10,700*** (~44.77)	10,184 (~42.61)
3	ความถ่วงจำเพาะที่ 60°F (Specific Gravity)	ASTM D4052	-	0.810 - 0.870	-	0.7851
4	ความหนืดจลน์ที่ 40°C (Kinematic Viscosity)	ASTM D445	cSt	1.8 - 4.1	1.9 - 4.1	1.359
5	ปริมาณกำมะถัน (Sulfur Content)	ASTM D4294	ppm	≤ 10	≤ 15	26.92
6	จุดวาบไฟ (Flash Point)	ASTM D93	°C	≥ 52	≥ 52	< 40
7	การกลั่นลำดับส่วน (Distillation) - จุดเดือดเริ่มต้น (IBP) - อุณหภูมิที่ระเหยร้อยละ 10 (T10) - อุณหภูมิที่ระเหยร้อยละ 50 (T50) - อุณหภูมิที่ระเหยร้อยละ 90 (T90) - จุดเดือดสิ้นสุด (End Point)	ASTM D86	°C	 - - - ≤ 357 -	 - - - 282 - 338 -	 83.7 149.8 222.7 280.5 280.5

หมายเหตุ: * อ้างอิงประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซลหมุนเร็วธรรมดา พ.ศ. 2567, ** อ้างอิงมาตรฐาน ASTM D975 เกรด Grade No. 2-D S15, *** ค่าความร้อนรวมเป็นค่าคุณสมบัติทั่วไปเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบเชิงอุณหพลศาสตร์ ไม่ได้ระบุเป็นข้อบังคับในเกณฑ์มาตรฐาน)

จากตารางที่ 2 พบว่าน้ำมันตัวอย่าง Pyro-1 มีค่าดัชนีซีเทนสูงถึง 59.6 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งของประเทศไทย (ขั้นต่ำ 50) และสากล (ขั้นต่ำ 40) อย่างเด่นชัด และมีค่าความร้อนรวม 10,184 cal/g ซึ่งบ่งบอกถึงศักยภาพการจุดระเบิดและการให้พลังงานทางอุณหพลศาสตร์ที่ยอดเยี่ยม ปรากฏการณ์นี้เป็นผลสะท้อนทางเคมีโดยตรงจากวัตถุดิบตั้งต้นที่มีพลาสติกกลุ่มพอลิโอเลฟินส์ (PE และ PP) ในสัดส่วนสูง นอกจากนี้ ปริมาณกำมะถันที่วัดได้มีค่า 26.92 ppm ซึ่งแม้ว่าจะสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็วในปัจจุบัน (ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2567 เทียบเท่าระดับ Euro 5 กำหนดไม่เกิน 10 ppm และ ASTM D975 เกรด S15 กำหนดไม่เกิน 15 ppm) แต่ยังคงจัดอยู่ในระดับที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิลอุตสาหกรรมชนิดอื่น สามารถลดปัญหาการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SOx) ได้อย่างมีนัยสำคัญ

อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบชี้ให้เห็นข้อจำกัดด้านความปลอดภัยทางวิศวกรรม ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ (0.7851) ค่าความหนืดจลน์ (1.359 cSt) และจุดวาบไฟ (< 40 °C) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายเชิงลึกได้อย่างชัดเจนผ่านพฤติกรรมการระเหยจากผลการทดสอบการกลั่น (ASTM D86) โดยพบว่าจุดเดือดเริ่มต้น (IBP) อยู่ในระดับต่ำเพียง 83.7 °C ข้อมูลทางอุณหพลศาสตร์นี้เป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ว่า ภายในน้ำมันดิบมีการปนเปื้อนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเบากลุ่มแนฟทา (Naphtha fraction) สารกลุ่มนี้ระเหยง่ายและติดไฟไว จึงทำหน้าที่เสมือนตัวทำละลายดึงให้จุดวาบไฟและความหนืดของสารละลายรวมลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว

ในขณะเดียวกัน จุดค้นพบที่สำคัญในการวิเคราะห์ช่วงการระเหยหลักคือ อุณหภูมิที่ระเหยร้อยละ 90 (T90) และจุดเดือดสิ้นสุด (End Point) มีค่าทำยอดสูงสุดเท่ากันที่ 280.5 °C ซึ่งผ่านมาตรฐานของประเทศไทย (กำหนดไม่เกิน 357 °C) แต่มีค่าต่ำกว่าขอบเขตล่างของมาตรฐาน ASTM D975 เล็กน้อย (กำหนดช่วง 282 - 338 °C) ข้อมูลนี้ยืนยันในเชิงวิศวกรรมว่า กระบวนการไพโรไลซิสด้วยระบบ Compact Skid สามารถเกิดการแตกตัวทางความร้อน (Complete Cracking) ได้อย่างสมบูรณ์แบบ ปราศจากการหลงเหลือของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายยาวกลุ่มแว็กซ์หนัก (Heavy waxes) การขาดหายไปของโมเลกุลน้ำหนักมากนี้ แม้จะเป็นปัจจัยร่วมที่ทำให้ความถ่วงจำเพาะและความหนืดรวมของน้ำมันลดต่ำลง แต่ในทางกลับกัน ถือเป็นข้อได้เปรียบอย่างยิ่งในการลดปัญหาคราบเขม่าแข็งอุดตันที่ปลายหัวฉีด (Nozzle Coking) และการปล่อยควันดำเมื่อนำไปเผาไหม้



รูปที่ 4 กราฟแสดงเส้นโค้งการกลั่น (Distillation Curve) ของน้ำมันไพโรไลซิสดิบ (Pyro-1) ตามมาตรฐาน ASTM D86

6. สรุปผลการศึกษา

นวัตกรรมเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบกะทัดรัด (Compact Skid Reactor) ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีศักยภาพสูงในการแปรรูปขยะพลาสติกชุมชนให้เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกได้อย่างเป็นรูปธรรม น้ำมันไพโรไลซิสดิบที่ได้ปราศจากส่วนผสมของแว็กซ์หนัก ให้พลังงานความร้อนสูง ดัชนีซีเทนดีเยี่ยม (59.6) และมีปริมาณกำมะถันค่อนข้างต่ำ (26.92 ppm) ซึ่งแม้จะยังไม่ถึงเกณฑ์น้ำมันดีเซลสำหรับรถยนต์บนท้องถนน (Euro 5) แต่ก็มีความเหมาะสมอย่างยิ่งและพร้อมใช้งานทันทีสำหรับการเผาไหม้ภายนอก (External Combustion) หรือเครื่องยนต์รอบต่ำ เช่น หม้อไอน้ำอุตสาหกรรม (Boilers) หรือเตาเผาที่ใช้ในภาคการเกษตร

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาระยะต่อไป เพื่อยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยและปลดล็อกขีดความสามารถให้นำไปใช้งานเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว (High-speed Diesel Engines) ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ควรดำเนินการนำน้ำมันไพโรไลซิสดิบไปผ่านกระบวนการกลั่นลำดับส่วน (Fractional Distillation) เพื่อแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเบาที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 150 °C ออก (ตัดทิ้งส่วน IBP จนถึง T10) กระบวนการอัปเกรดนี้จะช่วยขจัดปัญหาการระเหยง่าย ดึงอุณหภูมิจุดวาบไฟให้สูงข้ามเกณฑ์มาตรฐาน 52 °C และเพิ่มค่าความหนืดให้อยู่ในระดับเกณฑ์มาตรฐานยานยนต์ได้อย่างสมบูรณ์ [8]

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2568). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2567. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[2] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2566). แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะพลาสติก ระยะที่ 2 (พ.ศ. 2566 - 2570).

[3] Pacheco-López, A., Lechtenberg, F., Somoza-Tornos, A., Graells, M., & Espuña, A. (2021). Economic and environmental assessment of plastic waste pyrolysis products and biofuels as substitutes for fossil-based fuels. Frontiers in Energy Research, 9, 676233.

[4] Al-Salem, S. M., Antelava, A., Constantinou, A., Manos, G., & Dutta, A. (2017). A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW). Journal of Environmental Management, 197, 177-198.

[5] Faisal, F., Rasul, M. G., Jahirul, M. I., & Ahmed, A. (2023). Waste plastics pyrolytic oil is a source of diesel fuel: A recent review on diesel engine performance, emissions, and combustion characteristics. Science of the Total Environment, 886, 163756.

[6] กรมธุรกิจพลังงาน. (2567). ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล พ.ศ. 2567. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 141 ตอนพิเศษ 108 ง, หน้า 69-72.

[7] ASTM International. (2026). ASTM D975-26a: Standard Specification for Diesel Fuel. West Conshohocken, PA: ASTM International.

[8] Arjharn, W., Liplap, P., Maithomklang, S., Thammakul, K., Chuepeng, S., & Sukjit, E. (2022). Distilled waste plastic oil as fuel for a diesel engine: Fuel production, combustion characteristics, and exhaust gas emissions. ACS Omega, 7(11), 9720–9729

การพัฒนาอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* สำหรับอุปกรณ์ IoT (Internet of Things) เพื่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน

ภาณุวัชร ยาดี, วริทธิ์ภัทร พิมพ์เลิศ, กันตพัฒน์ เสงี่ยมศักดิ์, และ สมฤทัย หอมชื่น*

โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม
**Corresponding author: somruthai.kae@mwit.ac.th*

บทคัดย่อ

ในอนาคต แหล่งพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมีความจำเป็นอย่างเร่งด่วนต่อความยั่งยืนของโลก งานวิจัยนี้จึงศึกษาแหล่งพลังงานทางเลือกสำหรับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมและจัดการพลังงาน สาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* มีความสามารถในการปลดปล่อยอิเล็กตรอนและถ่ายโอนผ่านอิเล็กโทรดในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง อีกทั้งยังพบได้ง่ายและมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย คณะผู้วิจัยจึงพัฒนาเซลล์ไฟฟ้าชีวภาพโดยใช้สาหร่ายดังกล่าว ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยเหล็กกล้าเคลือบสาหร่ายในสารละลาย Alginate และแท่งแกรไฟต์ทำหน้าที่เป็นขั้วอิเล็กโทรดภายในแชมเบอร์เดียวกัน จากการทดลอง ได้ดำเนินการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าระหว่างการเลี้ยงใน TAP medium และการตรึงเซลล์ด้วย Sodium Alginate ภายใต้สภาวะแสงที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า ระบบสามารถให้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 42.37 ไมโครแอมแปร์ ภายใต้ความต้านทาน 10 กิโลโอห์ม โดยการตรึงเซลล์ด้วย Sodium Alginate ส่งผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงกว่าการเลี้ยงใน TAP medium อย่างมีนัยสำคัญตลอดช่วงการทดลอง ทั้งในด้านค่ากระแสเฉลี่ยที่สูงกว่าประมาณ 2–2.5 เท่า เสถียรภาพของกระแสไฟฟ้าที่ดีกว่า และความสามารถในการฟื้นตัวของกระแสไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็วภายหลังช่วงงดแสง ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการตรึงเซลล์เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเสริมประสิทธิภาพการถ่ายโอนอิเล็กตรอนและยกระดับสมรรถนะการผลิตกระแสไฟฟ้าในเซลล์ไฟฟ้าชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังสะท้อนถึงศักยภาพของ *Chlorella vulgaris* ในการพัฒนาเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกสำหรับอุปกรณ์ IoT และระบบพลังงานที่มุ่งสู่ความยั่งยืนในอนาคต

คำสำคัญ: สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก / พลังงานไฟฟ้าชีวภาพ / การถ่ายโอนอิเล็กตรอน / อุปกรณ์ IoT / เซลล์ชีวภาพผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสง

Development of an electricity-generating device using photosynthesis of green algae *Chlorella vulgaris* for IoT applications toward environmental sustainability

Panuwatch Yadee, Warithphat Pimlert, Kantapat Sangiamsak, and Somruthai Homcheun*

Mahidol Wittayanusorn School, Phutthamonthon, Nakhon Pathom, Thailand

**Corresponding author: somruthai.kae@mwit.ac.th*

Abstract

This article presents the urgent need for environmentally friendly energy sources to ensure global sustainability in the future. Therefore, this research investigates an alternative energy source for Internet of Things (IoT) technology, which enhances the efficiency of energy control and management and plays a significant role in promoting sustainability in both energy and environmental aspects. The green microalgae *Chlorella vulgaris* has the ability to release excess electrons outside the cell and transfer them through electrodes during the photosystem process. Moreover, it is easily obtainable and highly tolerant to diverse environmental conditions. Consequently, a bioelectricity generation system based on *Chlorella vulgaris* was developed, and various factors affecting electrical energy production were investigated. The developed bio-photovoltaic cell consisted of steel fibers coated with green algae embedded in an alginate solution, with graphite rods serving as electrodes within a single chamber. The experimental work focused on comparing electrical current generation between algae cultivated in TAP medium and those immobilized with sodium alginate under varying light conditions. The results showed that the system achieved a maximum current output of 42.37 μA under a resistance of 10 kΩ. The immobilized cell system exhibited significantly higher current production than the TAP medium system throughout the experiment, with an average increase of approximately 2–2.5 times. Furthermore, the immobilized system demonstrated superior current stability and a rapid recovery of current following dark conditions. These findings indicate that cell immobilization is a key factor in enhancing electron transfer efficiency and improving electrical performance in bio-photovoltaic systems. Moreover, the results highlight the potential of *Chlorella vulgaris* as a sustainable alternative energy source for IoT devices and future energy systems.

Keywords: Microalgae / Bioelectricity / Electron Transfer / IoT Devices / Bio-photovoltaic Cell

1. บทนำ

ปัจจุบันสาหร่ายสีเขียวได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในฐานะจุลชีพสังเคราะห์ด้วยแสงที่มีศักยภาพด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถผลิตออกซิเจน ดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ และสร้างสารชีวโมเลกุลหลากหลายชนิดจึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น ไบโอดีเซลและไบโอเอทานอล [1] การผลิตพลาสติกชีวภาพประเภท PHA ตลอดจนการบำบัดน้ำเสียและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม สะท้อนบทบาทสำคัญทั้งในระบบนิเวศและการพัฒนาเทคโนโลยีสะอาดเพื่อความยั่งยืน [2], [3] หนึ่งในสายพันธุ์ที่ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางคือ *Chlorella vulgaris* ซึ่งเป็นสาหร่ายเซลล์เดียวที่เจริญเติบโตเร็วและปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย จึงถูกใช้เป็นแบบจำลองในการศึกษาการสังเคราะห์ด้วยแสงและการตรึงคาร์บอน อีกทั้งยังมีศักยภาพด้านชีววิศวกรรมสังเคราะห์ในการผลิตสารชีวโมเลกุลมูลค่าสูง และสามารถดูดซับสารอาหารรวมถึงโลหะหนักจากน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ [4], [5] นอกจากนี้ *Chlorella vulgaris* ยังสามารถถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงผ่านระบบ Photosystem II และ Photosystem I ออกสู่ภายนอกเซลล์ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเมื่อเชื่อมต่อกับอิเล็กโทรด [6], [7] หลักการดังกล่าวเป็นพื้นฐานของเทคโนโลยี Bio-Photovoltaic (BPV) ซึ่งเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงผ่านสิ่งมีชีวิตสังเคราะห์ด้วยแสง [8], [9] แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของสาหร่ายชนิดนี้ในการพัฒนาแหล่งพลังงานชีวภาพและอุปกรณ์พลังงานต่ำในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Chlorella vulgaris*
2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณการเกิดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าของ *Chlorella vulgaris* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด TAP (Tria-Acetate-Phosphate) medium และที่ถูกตรึงด้วยสารละลาย Sodium Alginate
3. เพื่อสร้างต้นแบบ Prototype ของระบบชีวโฟโตโวลตาอิก (Bio-Photovoltaic; BPV) สำหรับอุปกรณ์ IoT (Internet of Things) เพื่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้จะศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยวิธีทางชีวภาพ โดยอาศัยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายสีเขียวสายพันธุ์ *Chlorella vulgaris* โดยเพาะเลี้ยงในอาหารสาหร่ายสูตร TAP medium

4. วิธีการศึกษา

4.1 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella vulgaris*

4.1.1 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับปฏิบัติการในตู้ปลอดเชื้อ Laminar Air Flow

นำอุปกรณ์ที่ใช้ในตู้ปลอดเชื้อไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งแรงดัน (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที และฉีดแอลกอฮอล์เพื่อฆ่าเชื้อก่อนนำอุปกรณ์เข้าตู้ปลอดเชื้อ

4.1.2 การเตรียมหัวเชื้อสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella vulgaris*

เตรียมอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายสูตร TAP (Tris-Acetate-Phosphate) medium คัดแยกสาหร่ายขนาดเล็กให้แยกเป็นโคโลนีเดี่ยว ด้วยวิธีการ Streak plate และนำโคโลนีเดี่ยวของสาหร่ายขนาดเล็กใส่ลงในอาหารเหลว เพื่อทำเป็นหัวเชื้อสาหร่าย

4.1.3 การเตรียมขวดเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella vulgaris*

1) ปิเปตหัวเชื้อสาหร่ายขนาดเล็ก ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ลงในขวดเพาะเลี้ยงที่มีอาหารสาหร่ายแบบเหลวปริมาตร 150 มิลลิลิตร

2) นำขวดเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กวางบนเครื่องเขย่าแบบสริง (Shaker sling) โดยเพาะเลี้ยงในระบบปิด โดยควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมือนกัน ดังนี้

- แสง : ให้แสงสว่างตลอดเวลา ด้วยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์
- อุณหภูมิ : รักษาอุณหภูมิให้คงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส ตลอดเวลา
- การเขย่า : รักษาอัตราการเขย่าให้คงที่ โดยเขย่าตลอดเวลาบนเครื่อง

4.1.4 การติดตามและวัดผลอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก

เก็บผลอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก ทุกวัน ในช่วง 15 วัน ดังนี้

1) จำนวนเซลล์ : นับจำนวนเซลล์ของสาหร่ายขนาดเล็กภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยใช้อุปกรณ์ Hemacytometer

2) ความหนาแน่นเชิงแสง : วัดค่าการดูดกลืนแสงของสาหร่ายขนาดเล็กที่ค่าความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)

4.1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

พล็อตค่าจำนวนเซลล์และค่าความหนาแน่นเชิงแสง (Optical density) เทียบกับเวลา (หน่วย : วัน) สำหรับทั้ง *Chlorella vulgaris* เปรียบเทียบความชันที่ได้จากกราฟ เพื่อวิเคราะห์อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก และเปรียบเทียบเวลาที่สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กแต่ละสายพันธุ์เข้าสู่ Mid-Log phase โดยวิเคราะห์จากกราฟการเจริญเติบโต

4.2 การศึกษาปริมาณการเกิดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าของ *Chlorella vulgaris* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด TAP (Tris-Acetate-Phosphate) medium

4.2.1 การคัดเลือกและเตรียมสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Chlorella vulgaris*

1) คัดเลือกสาหร่ายขนาดเล็กที่อยู่ในช่วงการเจริญเติบโตแบบ Mid-log phase จากการทดลอง ซึ่งเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด TAP medium ปริมาตร 125 มิลลิลิตร จำนวน 4 ขวด

2) นำสาหร่ายที่ได้เข้าสู่กระบวนการโซนิเคชัน (Sonication) เป็นเวลา 2 นาที โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก เพื่อช่วยให้เซลล์สาหร่ายเกิดการกระจายตัว จากนั้นนำสาหร่ายที่ผ่านการโซนิเคตบรรจุลงในขวดเพาะเลี้ยง ซึ่งใช้เป็นระบบปฏิบัติการ (Chamber) ของระบบ Bio-photovoltaic cell

4.2.2 การเตรียม Bio-photovoltaic cell

การเตรียมขั้วอิเล็กโทรด

1) แอโนด : ตัดเส้นใยเหล็ก (Steel wool) ขนาด 3.5 × 5.0 เซนติเมตร และชั่ง ให้มีมวลรวมประมาณ 0.5 กรัม

2) แคโทด : ใช้แท่งคาร์บอนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และความยาว 7 เซนติเมตร

4.3 การศึกษาปริมาณการเกิดกระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของ *Chlorella vulgaris* ที่ถูกตรึงด้วยสารละลาย Sodium Alginate

4.3.1 การเตรียมสารละลายสาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* ในสารละลาย Sodium Alginate

1) ใช้สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella vulgaris* ที่อยู่ในระยะการเจริญเติบโตแบบ Mid-log phase ซึ่งได้จากการทดลองในข้อ 4.1 โดยเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด TAP medium ปริมาตร 125 มิลลิลิตร จำนวน 1 ขวด

2) แบ่งสารแขวนลอยของสาหร่ายปริมาตร 125 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองจำนวน 5 หลอด จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 นาที เทสารละลายส่วนใสด้านบนออก และล้างตะกอนด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่อง Vortex mixer เป็นเวลาประมาณ 20 วินาที ก่อนนำไปปั่นเหวี่ยงซ้ำ โดยทำขั้นตอน

ดังกล่าวจนครบ 3 รอบ จากนั้นเติมน้ำปราศจากไอออนลงในแต่ละหลอดจนมีปริมาตรสุดท้าย 12.5 มิลลิลิตร และเขย่าด้วยเครื่อง Vortex mixer จนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

3) เตรียมสารละลาย Sodium Alginate ความเข้มข้น 2% w/v ปริมาตร 125 มิลลิลิตร โดยใช้เครื่อง Magnetic stirrer และปล่อยให้สารละลายเย็นลง

4) นำสารละลายสาหร่ายที่เตรียมไว้ผสมกับสารละลาย Sodium Alginate โดยการคนด้วยแท่งแก้วจนได้สารละลายที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และเตรียมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride) ความเข้มข้น 2% w/v ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในขั้นตอนการทำให้ Alginate เกิดการจับตัว

4.3.2 การเตรียมขั้วอิเล็กโทรดที่เคลือบด้วยสาหร่ายสีเขียวใน Alginate

1) แอโนด : ตัดเส้นใยเหล็ก (Steel wool) ให้มีขนาด 3.5 × 5.0 เซนติเมตร และชั่งให้มีมวลรวมประมาณ 0.5 กรัม จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) แล้วเทสารละลายสาหร่ายใน Alginate ที่ได้จากปริมาตร 20 มิลลิลิตรลงบนเส้นใยเหล็ก เพื่อให้สารละลายหุ้มเส้นใยเหล็กทั้งหมด จากนั้นค่อย ๆ เติมสารละลาย แคลเซียมคลอไรด์ที่เตรียมไว้ลงในพิมพ์ เพื่อให้ Alginate เกิดการจับตัว เป็นระยะเวลา 20 นาที หลังจากนั้นนำแอโนดที่ได้ไปล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน

2) แคโทด : ใช้แท่งคาร์บอนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และมีความยาว 7 เซนติเมตร

4.3.3 การติดตั้ง Bio-photovoltaic cell

1) เชื่อมต่ออิเล็กโทรดโดยใช้คลิปหนีบสายไฟปากจระเข้ จากนั้นจุ่มอิเล็กโทรดฝั่งแอโนดลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด TAP medium จนมิดบริเวณใกล้ก้นภาชนะ ส่วนอิเล็กโทรดฝั่งแคโทดจุ่มปลายแท่งคาร์บอนลงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด TAP medium ประมาณ 3 เซนติเมตร

2) นำสายไฟจากขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้วต่อผ่านตัวต้านทานค่าความต้านทาน 10 กิโลโอห์มในลักษณะการต่อแบบอนุกรม โดยติดตั้งและเชื่อมต่อบนบอร์ดวงจร

4.3.4 การติดตามและวัดผลกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า

1) ทำการวัดค่าทางไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง ภายใต้การควบคุมสภาวะแสงแบบเป็นคาบ (light–dark cycle) โดยให้แสงความเข้ม 1,000 ลักซ์ เป็นเวลา 30 นาที ปิดแสงเป็นเวลา 30 นาที และเปิดแสงอีก 30 นาที เมื่อครบหนึ่งรอบการให้แสง ทำการพักระบบ (rest period) เป็นเวลา 10 นาที ก่อนทำการวัดซ้ำในลักษณะเดียวกันตลอดระยะเวลาการทดลอง

2) ค่ากระแสไฟฟ้า (μA) : วัดกระแสไฟฟ้าโดยใช้มัลติมิเตอร์ต่อแบบอนุกรมร่วมกับตัวต้านทานค่าความต้านทาน 10 กิโลโอห์มซึ่งติดตั้งบนบอร์ดวงจร และบันทึกค่าที่ได้ตามช่วงเวลาที่กำหนด

3) ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) : วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าโดยใช้หัววัดศักย์ไฟฟ้า (potential probe) และบันทึกข้อมูลภายใต้สภาวะการให้แสงและการปิดแสงเดียวกันเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบต่อไป

4.3.5 การสร้างต้นแบบ Prototype ของระบบชีวโฟโตโวลตาอิก (Bio-photovoltaic; BPV) สำหรับอุปกรณ์ IoT (Internet of Things) เพื่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน

ใช้ขวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร เป็นภาชนะในการบรรจุ Bio-photovoltaic cell โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อชนิด TAP (Tris-Acetate-Phosphate) medium เป็นตัวกลาง ติดตั้งขั้วแอโนดและแคโทดที่ได้จากตอนที่ 4.3 และติดตั้งสายยางที่มีวาล์วกั้นสำหรับปล่อยออกซิเจนที่ได้รับจากการสังเคราะห์ด้วยแสง

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

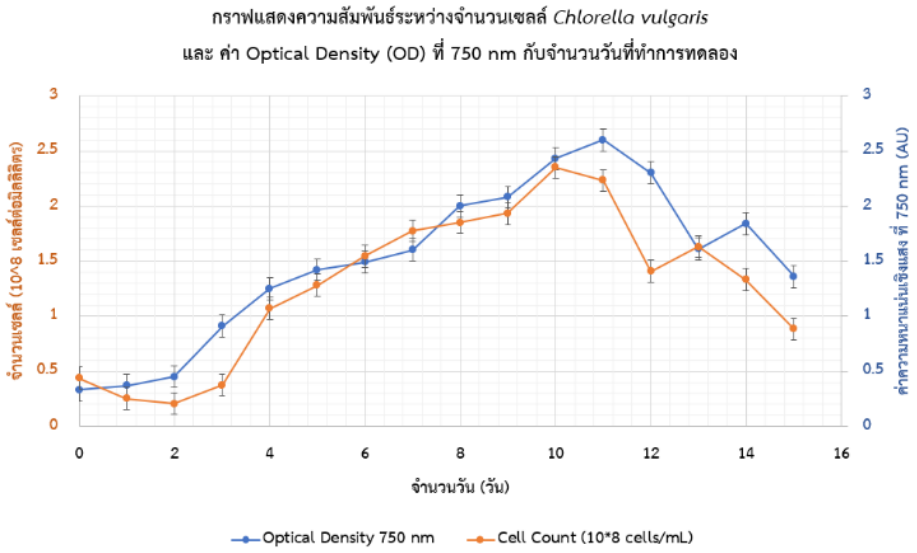
5.1 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella vulgaris*

5.1.1 จำนวนเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella vulgaris*

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์ของสาหร่าย *Chlorella vulgaris* (รูปที่ 1) ตลอดระยะเวลา 15 วัน โดยเริ่มจากระยะปรับตัว (Lag phase) ในวันที่ 0 ซึ่งมีค่าเฉลี่ย 0.44 × 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ก่อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเข้าสู่ระยะการเจริญแบบทวีคูณ (Exponential phase) ในช่วงวันที่ 4 และมีช่วง Mid-log phase ประมาณวันที่ 6–7 จากนั้นจำนวนเซลล์เพิ่มสูงสุดในวันที่ 10 ที่ 2.35 × 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และเริ่มลดลง เหลือ 2.23 × 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันถัดไป บ่งชี้การเข้าสู่ระยะสมดุล (Stationary phase) อันเนื่องมาจากข้อจำกัดของสารอาหารและปัจจัยแวดล้อมภายในระบบเพาะเลี้ยงส่งผลให้อัตราการเพิ่มจำนวนเซลล์ลดลงเมื่อเทียบกับช่วงก่อนหน้า

5.1.2 ความหนาแน่นเชิงแสง (Optical Density) ของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella vulgaris*

การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นเชิงแสง (Optical Density; OD) ของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella vulgaris* ซึ่งใช้เป็นตัวชี้วัดความหนาแน่นของชีวมวลในระบบเพาะเลี้ยง (รูปที่ 1) แสดงให้เห็นรูปแบบการเจริญเติบโตที่สอดคล้องกับเส้นโค้งการเจริญของจุลินทรีย์ โดยในวันที่ 0 มีค่าเฉลี่ย 0.33 สะท้อนระยะปรับตัว (Lag phase) และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 0.45 ในวันที่ 2 ก่อนจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเป็น 0.91 ในวันที่ 3 แสดงถึงการเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตแบบทวีคูณ (Exponential phase) ซึ่งมีการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า OD ดำเนินต่อเนื่องจนถึงค่าสูงสุดในวันที่ 11 ที่ 2.60 หลังจากนั้นในวันที่ 12 ค่าเฉลี่ยลดลงเหลือ 2.30 บ่งชี้ถึงการชะลอตัวของการสะสมชีวมวลและการเข้าสู่ระยะสมดุล (Stationary phase) อันเนื่องมาจากข้อจำกัดของสารอาหารและปัจจัยแวดล้อมภายในระบบเพาะเลี้ยง



รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซลล์ *Chlorella vulgaris* และค่า Optical Density (OD) ที่ 750 nm กับจำนวนวันที่ทดลอง

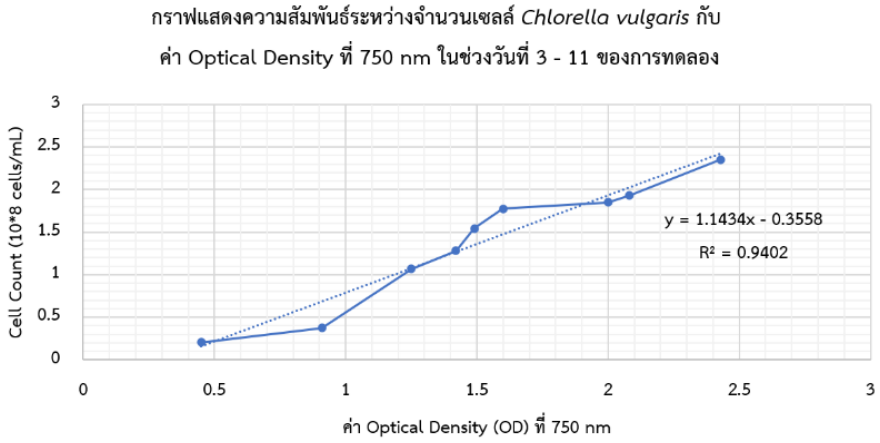
5.1.3 การเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตระหว่างการนับจำนวนเซลล์สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กกับการหาความหนาแน่นเชิงแสง (Optical Density; OD) ของ สาหร่ายสีเขียวสายพันธุ์ *Chlorella vulgaris*

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวันกับการเจริญเติบโตของสาหร่าย รูปที่ 1 โดยเปรียบเทียบการนับจำนวนเซลล์โดยตรง (Cell count) และการวัดความหนาแน่นเชิงแสงที่ความยาวคลื่น 750 nm (Optical Density; OD) พบว่า ในช่วงต้นการทดลอง (วันที่ 0–3) ทั้งค่า OD และจำนวนเซลล์อยู่ในระดับต่ำและเพิ่มขึ้นช้า สอดคล้องกับระยะปรับตัว (Lag phase) อย่างไรก็ตาม ค่า OD มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการนับเซลล์เล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากการเพิ่มขนาดเซลล์หรือการสะสมสารภายในที่

ส่งผลต่อการดูดกลืนแสง แม้จำนวนเซลล์ยังไม่เพิ่มขึ้นมากในช่วงกลางการทดลอง (วันที่ 4-10) ทั้งสองวิธีแสดงแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและไปในทิศทางเดียวกัน สะท้อนการเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตแบบทวีคูณ (Exponential phase) และแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกที่ดีระหว่างค่า OD กับจำนวนเซลล์ จึงสามารถใช้ OD ที่ 750 nm เป็นตัวแทนประเมินการเพิ่มของชีวมวลได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงนี้ หลังจากวันที่ 11 เป็นต้นไป ค่า OD และจำนวนเซลล์เริ่มลดลงหรือผันผวน บ่งชี้การเข้าสู่ระยะคงตัวและระยะเสื่อม (Stationary และ Decline phase) โดยบางช่วงค่า OD ยังคงสูงกว่าการนับเซลล์ ซึ่งอาจเกิดจากเศษเซลล์ เซลล์ที่ตายแล้ว หรือสารแขวนลอยที่ยังคงดูดกลืนแสง ทำให้ค่า OD สะท้อนจำนวนเซลล์ มีชีวิตอย่างแม่นยำ ดังนั้น แม้การวัด OD จะสะดวกและรวดเร็ว แต่การใช้ร่วมกับ การนับเซลล์โดยตรงจะให้ผลการประเมินการเจริญเติบโตที่ครบถ้วนและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

5.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Optical Density (OD) ที่ 750 nm และจำนวนเซลล์สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Chlorella vulgaris*

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซลล์ของ Chlorella vulgaris กับค่า Optical Density (OD)ที่ความยาวคลื่น 750 nm ในช่วงวันที่ 3–11 (รูปที่ 2) พบความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยสมการถดถอยเชิงเส้นคือ $y = 1.1434x - 0.3558$ และมีค่า $R^2 = 0.9402$ แสดงว่าค่า OD สามารถอธิบายความแปรผันของจำนวนเซลล์ได้ประมาณ 94.02% บ่งชี้ถึงความแม่นยำในการใช้ OD เพื่อประมาณจำนวนเซลล์ ในช่วงค่า OD 0.4–1.0 จำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นค่อนข้างช้า สอดคล้องกับระยะปรับตัว (Lag phase) เมื่อค่า OD มากกว่า 1.0 จำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงถึงระยะการเจริญเติบโตแบบทวีคูณ (Exponential phase) เนื่องจากการพัฒนาระบบ bio-photovoltaic cell ในระดับต้นแบบจำเป็นต้องใช้ชุดเซลล์จำนวนมาก การนับจำนวนเซลล์โดยตรงจึงไม่สะดวกและใช้เวลานาน อีกทั้งผลการอัตราการเจริญเติบโตจากทั้งสองวิธีให้แนวโน้มใกล้เคียงกัน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้การวัดค่า Optical Density เป็นวิธีหลักในการติดตามการเจริญเติบโตของสาหร่ายในระบบดังกล่าว



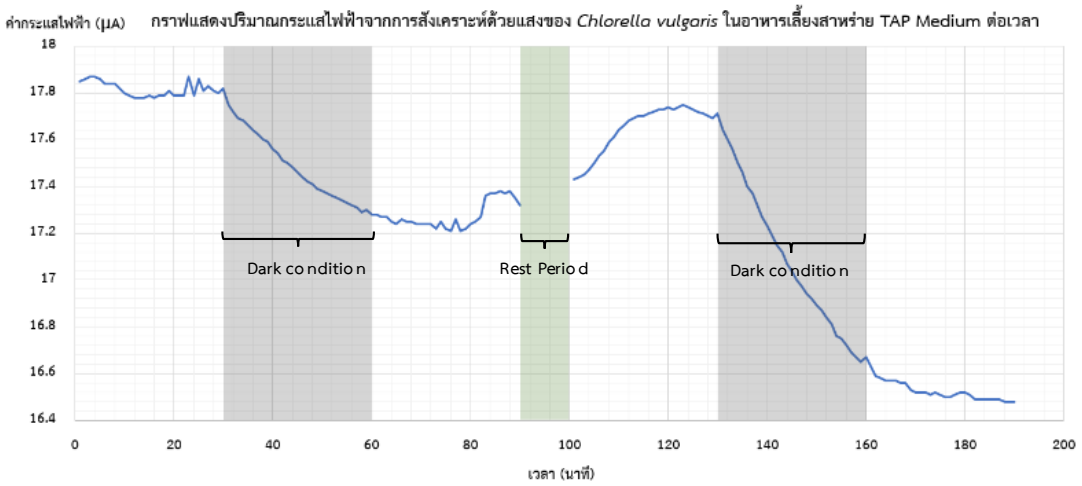
รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซลล์ *Chlorella vulgaris* กับ ค่า Optical Density (OD) ที่ 750 nm ในช่วงวันที่ 3-11 ของการทดลอง

5.2 การศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณการเกิดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด TAP (Tris-Acetate-Phosphate) medium และที่ถูกตรึงด้วยสารละลาย Sodium Alginate

5.2.1 ปริมาณค่ากระแสไฟฟ้าจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของ *Chlorella vulgaris* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด TAP medium

จากกราฟปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของ *Chlorella vulgaris* ต่อเวลา (รูปที่ 3)ซึ่งทดสอบในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด TAP medium ภายใต้การควบคุมสภาวะแสงแบบสลับสว่าง–มืด พบว่าค่ากระแสไฟฟ้ามีความไวต่อสภาวะ

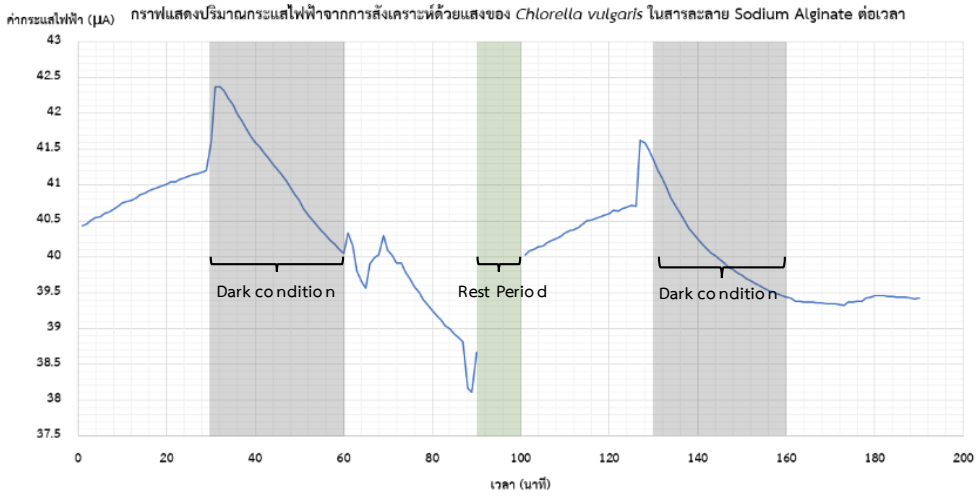
แสงอย่างชัดเจน โดยในช่วงให้แสง (นาทีที่ 0–30 และ 60–90) กระแสไฟฟ้าอยู่ในระดับสูงประมาณ 17.78–17.87 µA สะท้อนการเกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงอย่างต่อเนื่อง เมื่อเข้าสู่ช่วงงดแสง ค่ากระแสไฟฟ้าลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปจนถึงประมาณ 17.28 µA แสดงถึงการลดลงของกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงและการถ่ายโอนอิเล็กตรอน แม้ไม่ลดลงฉับพลันเนื่องจากยังมีพลังงานหรือสารตั้งต้นสะสมภายในเซลล์ หลังจากกลับมาให้แสงอีกครั้ง กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นสู่ระดับประมาณ 17.38 µA แสดงถึงความสามารถในการฟื้นตัวของระบบสังเคราะห์ด้วยแสง ทั้งนี้ในรอบการทดลองที่สองหลังช่วงพัก 10 นาที แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงยังคงสอดคล้องกับรอบแรก โดยมีค่ากระแสสูงสุดและต่ำสุดใกล้เคียงกัน (16.48-17.75 µA)บ่งชี้ว่าช่วงพักช่วยให้เซลล์ปรับสมดุลและคงประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างมีเสถียรภาพ



รูปที่ 3 กราฟแสดงปริมาณการเกิดกระแสไฟฟ้าจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของ *Chlorella vulgaris* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด TAP medium ต่อเวลา

5.2.2 ปริมาณการเกิดกระแสไฟฟ้าของสาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* ที่ถูกตรึงด้วยสารละลาย Sodium Alginate

จากกราฟปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของ *Chlorella vulgaris* ที่ถูกตรึงด้วยสารละลาย Sodium alginate ต่อเวลา (รูปที่ 4) พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับสภาวะแสงอย่างชัดเจน โดยในช่วงให้แสงกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงค่าสูงสุดราว 41.60 µA สะท้อนการถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง เมื่อเข้าสู่ช่วงงดแสง ค่ากระแสไฟฟ้าลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปจนถึงประมาณ 40.05 µA แสดงถึงการลดลงของกิจกรรมการสังเคราะห์ด้วยแสงและการปลดปล่อยอิเล็กตรอน ทั้งนี้การลดลงไม่เกิดขึ้นฉับพลัน อาจเนื่องจากการใช้พลังงานสะสมภายในเซลล์และข้อจำกัดด้านการแพร่ของสารผ่านโครงข่าย Alginate หลังจากกลับมาให้แสงอีกครั้ง กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นใหม่ แสดงถึงความสามารถในการฟื้นตัวของเซลล์ที่ถูกตรึง แม้ว่าค่าสูงสุดหลังจาก การงดแสงอาจต่ำกว่าก่อนหน้าเล็กน้อยซึ่งอาจสะท้อนข้อจำกัดด้านการแลกเปลี่ยนสารอาหาร ก๊าซ และอิเล็กตรอนภายใต้สภาวะการตรึงเซลล์



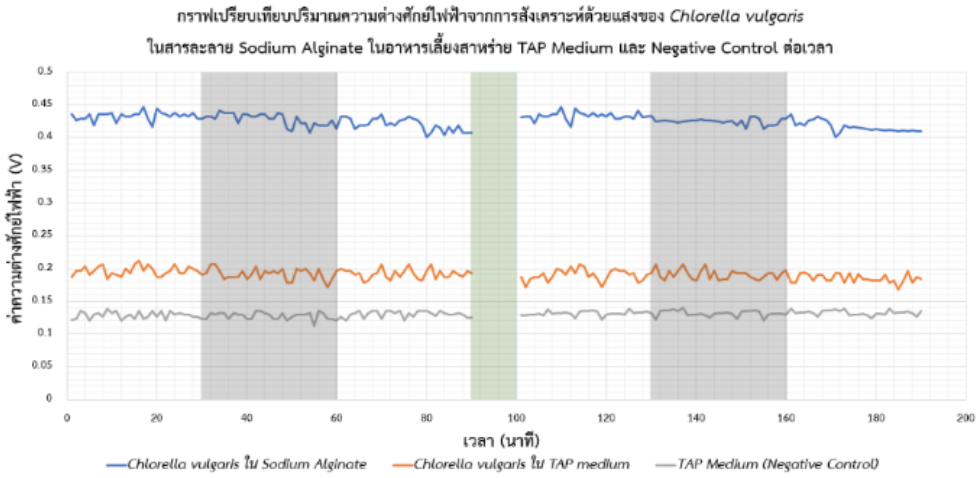
รูปที่ 4 กราฟแสดงปริมาณการเกิดกระแสไฟฟ้าจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของ *Chlorella vulgaris* ที่ถูกตรึงด้วยสารละลาย Sodium Alginate ต่อเวลา

5.2.3 การเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของ *Chlorella vulgaris* ที่ถูกตรึงด้วยสารละลาย Sodium Alginate และ เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิด TAP medium

จากกราฟเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของ *Chlorella vulgaris* ระหว่างกลุ่มที่เลี้ยงใน TAP medium กับกลุ่มที่ถูกตรึงด้วย Sodium alginate (รูปที่ 3 และ 4) พบว่ากลุ่มที่ถูกตรึงเซลล์ให้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงกว่าอย่างชัดเจนตลอดการทดลอง โดยกลุ่ม TAP medium มีกระแสเริ่มต้นประมาณ 17.8 µA ลดลงเหลือราว 17.2 µA ในช่วงงดแสง และเพิ่มกลับได้เพียงประมาณ 17.7-17.8 µA สะท้อนความเสถียรที่ค่อนข้างจำกัดในระบบของเหลว ขณะที่กลุ่มตรึงด้วย sodium alginate มีกระแสเริ่มต้นราว 40.5 µA เพิ่มสูงสุดประมาณ 42.3 µA และแม้จะลดลงในช่วงงดแสง ก็สามารถฟื้นกลับสู่ระดับ 40-41 µA ได้รวดเร็ว แสดงถึงความเสถียรและประสิทธิภาพการถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่สูงกว่าโดยรวมประมาณ 2–2.5 เท่า ผลดังกล่าวชี้ว่าการตรึงเซลล์ช่วยเพิ่มความหนาแน่นของสาหร่ายบริเวณขั้วไฟฟ้า ลดการสูญเสียเซลล์ในระบบ และส่งเสริมการถ่ายโอนอิเล็กตรอน

5.2.4 ปริมาณค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของ *Chlorella vulgaris* ในสารละลาย Sodium Alginate อาหารเลี้ยงเชื้อชนิด TAP medium และ Negative Control

จากกราฟเปรียบเทียบความต่างศักย์ไฟฟ้าจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของ *Chlorella vulgaris* (รูปที่ 5) พบว่ากลุ่มที่ถูกตรึงด้วย Sodium alginate (เส้นสีน้ำเงิน) ให้ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงและเสถียรกว่ากลุ่มอื่นอย่างชัดเจน โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.41-0.45 V และคงระดับได้ต่อเนื่องตลอดการทดลอง สะท้อนประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงและ การถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปยังขั้วไฟฟ้าที่ดีภายใต้สภาวะตรึงเซลล์ ขณะที่ชุดควบคุม (เส้นสีเทา) ให้ค่าเพียง 0.12-0.14 V และแทบไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาวะแสง แสดงลักษณะของสัญญาณพื้นฐานของระบบวัด ยืนยันว่าศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในกลุ่มทดลองเกิดจากกิจกรรมทางชีวภาพจริง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่เลี้ยงใน TAP medium (เส้นสีส้ม) ซึ่งให้ค่าเพียงประมาณ 0.18-0.20 V และมีความผันผวนมากกว่า จะเห็นว่าการตรึงเซลล์ช่วยเพิ่มค่าความต่างศักย์เกือบสองเท่าและเพิ่มเสถียรภาพของสัญญาณ ทั้งนี้อาจเนื่องจากการตรึงทำให้เซลล์คงอยู่ใกล้ขั้วไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง ลดการสูญเสียการสัมผัสเชิงพื้นที่ และเพิ่มประสิทธิภาพ การถ่ายโอนอิเล็กตรอน ส่งผลให้เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ในระบบผลิตพลังงานชีวภาพจากสาหร่าย



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าจากการสังเคราะห์ด้วยแสงของ *Chlorella vulgaris* ในสารละลาย Sodium Alginate ในอาหารเลี้ยงสาหร่าย TAP Medium และ Negative Control ต่อเวลา

5.3 การสร้างต้นแบบ Prototype ของระบบชีวโฟโตโวลตาอิก (Bio-photovoltaic; BPV) สำหรับอุปกรณ์ IoT (Internet of Things) เพื่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน

จากการพัฒนาต้นแบบระบบชีวโฟโตโวลตาอิก (Bio-photovoltaic; BPV) โดยใช้ *Chlorella vulgaris* ที่ถูกตรึงด้วย Sodium alginate เป็นองค์ประกอบหลัก พบว่าสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ต่อเนื่องภายใต้แสงในช่วงประมาณ 38-42 μA และให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าประมาณ 0.41-0.45 V ซึ่งเพียงพอสำหรับอุปกรณ์ IoT พลังงานต่ำ โครงสร้างระบบกำหนดให้แอโนดเป็นชีวมวลสาหร่ายที่ถูกตรึง ทำหน้าที่ปลดปล่อยและถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ส่วนแคโทดใช้แท่งคาร์บอนแกรไฟต์เพื่อรับอิเล็กตรอนและเกิดปฏิกิริยาลด ช่วยเพิ่มเสถียรภาพและลดต้นทุน เมื่อเชื่อมต่อกับบอร์ดต้นแบบ ระบบสามารถจ่ายกระแสเฉลี่ยราว 40 μA ที่แรงดันประมาณ 0.38 V ขณะต่อโหลด และยังคงให้สัญญาณไฟฟ้าบางส่วนในช่วงไร้แสงจากการสะสมประจุและเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ ผลลัพธ์ชี้ว่าระบบ BPV มีศักยภาพเป็นแหล่งพลังงานเสริม ลดการพึ่งพาแบตเตอรี่ลิเทียม และสามารถพัฒนาเพิ่มเติมโดยต่อเซลล์หลายหน่วยแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าในลักษณะโมดูลคล้ายแผงโซลาร์เซลล์ รองรับการใช้งาน IoT อย่างยั่งยืนในอนาคต

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Chlorella vulgaris* รวมถึงปริมาณการเกิดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า ทั้งในสภาวะเพาะเลี้ยงทั่วไปและในสภาวะที่สาหร่ายถูกตรึงด้วยสารละลาย Sodium Alginate ตลอดจนการสร้างต้นแบบระบบชีวโฟโตโวลตาอิก (Bio-photovoltaic; BPV) สำหรับการประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ IoT เพื่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน

6.1 การศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella vulgaris*

จากผลการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella vulgaris* พบว่าสาหร่ายมีการเพิ่มจำนวนเซลล์อย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการเพาะเลี้ยง โดยในระยะเริ่มต้นของการทดลอง สาหร่ายอยู่ในช่วงการปรับตัว (Lag phase) เมื่อเวลาผ่านไป สาหร่ายเข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตแบบทวีคูณ (Exponential phase) ซึ่งเป็นช่วงที่มีอัตราการเพิ่มจำนวนเซลล์สูงที่สุด

สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของอาหารเลี้ยงเชื้อและสภาวะที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ด้วยแสงและการแบ่งเซลล์ของสาหร่าย ต่อมาเมื่อสารอาหารเริ่มลดลง สาหร่ายเข้าสู่ระยะสมดุล (Stationary phase) ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตเริ่มชะลอตัวผลดังกล่าวสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า Optical Density (OD) ที่วัดที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร แสดงให้เห็นว่าค่า OD สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้แนวโน้มการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้อย่างเหมาะสม

6.2 การศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณการเกิดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าของ *Chlorella vulgaris* ในอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดTAP medium และที่ถูกตรึงด้วยสารละลาย Sodium Alginate

การศึกษาปริมาณการเกิดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าของ *Chlorella vulgaris* ในอาหารเลี้ยงเชื้อ TAP medium ทั้งในสภาพแขวนลอยและสภาพที่ตรึงเซลล์ด้วย Sodium alginate แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายสามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง โดยอิเล็กตรอนที่เกิดจากปฏิกิริยาแสงถูกถ่ายโอนไปยังขั้วไฟฟ้าในระบบชีวไฟฟ้าเคมี ก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นเซลล์ และความเข้มแสงที่ใช้ในการทดลอง ทั้งนี้ ระบบที่ตรึงเซลล์ด้วย Sodium Alginate มีเสถียรภาพมากกว่า ลดการสูญเสียชีวมวลจากการไหลเวียนของอาหารเลี้ยงเชื้อ และให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่สม่ำเสมอกว่าระบบแขวนลอย อีกทั้งยังเอื้อต่อการควบคุมตำแหน่งเซลล์และการประยุกต์ใช้งานระยะยาว สะท้อนศักยภาพของสาหร่ายในฐานะแหล่งพลังงานชีวภาพที่สามารถพัฒนาเป็นระบบต้นแบบเชิงปฏิบัติได้

6.3 การสร้างต้นแบบ Prototype ของระบบชีวโฟโตโวลตาอิก (Bio-Photovoltaic; BPV) สำหรับอุปกรณ์ IoT (Internet of Things) เพื่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน

จากการพัฒนาต้นแบบระบบชีวโฟโตโวลตาอิก (BPV) โดยใช้ *Chlorella vulgaris* ที่ถูกตรึงด้วย Sodium Alginate พบว่าสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ต่อเนื่องในช่วงประมาณ 38-42 ไมโครแอมแปร์ และให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าประมาณ 0.41-0.45 โวลต์ ซึ่งเพียงพอสำหรับอุปกรณ์ IoT พลังงานต่ำ โดยโครงสร้างที่ใช้แอโนดเป็นชีวมวลสาหร่ายที่ถูกตรึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ขณะที่แคโทดแกรไฟต์ช่วยเสริมเสถียรภาพของระบบ เมื่อเชื่อมต่อกับบอร์ดต้นแบบ ระบบสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 40 ไมโครแอมแปร์ ที่แรงดันประมาณ 0.38 โวลต์ และยังคงให้สัญญาณไฟฟ้าในช่วงไร้แสงสะท้อนถึงความต่อเนื่องของการทำงาน ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของระบบ BPV ในการเป็นแหล่งพลังงานเสริมที่ยั่งยืนสำหรับอุปกรณ์ IoT และสามารถต่อยอดสู่การพัฒนาเชิงโมดูลโดยการเชื่อมต่อหลายเซลล์เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า รองรับการใช้งานจริงในอนาคตเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances, 25*(3), 294–306. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001

[2] Al-Brahim, A., Al-Garni, S., & Al-Khalifa, A. (2025). Microalga-based electricity production: A comprehensive review. Energies, 18(3), 536. https://doi.org/10.3390/en18030536

[3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). *พลังงานชีวภาพจากสาหร่าย: ศักยภาพและทิศทางการพัฒนาในประเทศไทย*. กระทรวงพลังงาน.

[4] Tay, Z. H. Y., Goh, K. Y., Ng, Y. H., & Ng, H. Y. (2022). The use of marine microalgae in microbial fuel cells, photosynthetic microbial fuel cells and biophotovoltaic platforms for bioelectricity generation. *Frontiers in Microbiology, 13*, 920696. https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.920696

[5] Cereda, A., Hitchcock, A., Symes, M. D., Cronin, L., Bibby, T. S., & Jones, A. K. (2014). A bioelectrochemical approach to characterize extracellular electron transfer by photosynthetic organisms. *PLoS ONE, 9*(3), e91484. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091484

[6] Bombelli, P., Müller, T., Herling, T. W., Howe, C. J., & Knowles, T. P. J. (2015). A high power-density, mediator-free, microfluidic biophotovoltaic device for cyanobacterial cells. *Advanced Energy Materials, 5*(2), 1401299. https://doi.org/10.1002/aenm.201401299

[7] Gajda, I., Greenman, J., & Ieropoulos, I. (2018). Recent advancements in microbial fuel cells. Energy, 164, 119–130. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.127

[8] Bombelli, P., Bradley, R. W., Scott, A. M., Philips, A. J., McCormick, A. J., Cruz, S. M., Anderson, A., Yunus, K., Bendall, D. S., Cameron, P. J., Davies, J. M., Smith, A. G., & Howe, C. J. (2011). Powering a microprocessor by photosynthesis. *Energy & Environmental Science, 4*, 4690–4698

[9] McCormick, A. J., Bombelli, P., Bradley, R. W., Thorne, R., Wenzel, T., & Howe, C. J. (2015). Biophotovoltaics: Oxygenic photosynthetic organisms in the world of bioelectrochemical systems. *Energy & Environmental Science, 8*, 1092–1109. https://doi.org/10.1039/C4EE03875D

การเพิ่มประสิทธิภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวน สำหรับเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกขนาดเล็ก

พลอยไพลิน สอนดา, วุฒิติพงษ์ สุขภูศรี, พีรภาส ยิ่งกัลยา, คมสันต์ ชางซื่อมูล*, และ ณัฐพล หมายมั่น

วิทยาลัยการอาชีพบ้านโป่ง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี ประเทศไทย

**Corresponding author: khomsan.cc@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้า ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาออกของน้ำหล่อเย็นและอุณหภูมิขาออกของไอแก๊สไพโรไลซิส เปรียบเทียบอุณหภูมิขาออกไอแก๊สไพโรไลซิส และปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ควบแน่นได้ ระหว่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่พัฒนาขึ้น โดยใช้แนวทางการออกแบบและวิเคราะห์ด้วยการจำลองทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณก่อนนำไปทดสอบ 2 รูปแบบ คือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไม่มีน้ำไหลวน และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนเพื่อเพิ่มความปั่นป่วนของของไหลและอัตราการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการควบแน่น วิเคราะห์การกระจายตัวของความเร็วของของไหล อุณหภูมิ และลักษณะการไหลของน้ำหล่อเย็นภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ภายใต้เงื่อนไขอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นขาเข้า 0.025, 0.1, 1, 2 และ 4 L/min ใช้โปรไฟล์อุณหภูมิของไอจากกระบวนการผลิตน้ำมันที่ได้จากการทดลอง พบว่าอัตราการไหล 4 L/min มีอุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของ pyro-gas และมีอุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของ pyro-gas ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบกับอัตราการไหลอื่น โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดทางออกของ pyro-gas อยู่ที่ 254.16 °C อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดทางออกของน้ำหล่อเย็นอยู่ที่ 80.56 °C ที่อัตราการไหล 0.025 L/min มีอุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของ pyro-gas และมีอุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของน้ำหล่อเย็นสูงที่สุดเมื่อเปรียบกับอัตราการไหลอื่น โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดทางออกของ pyro-gas และน้ำหล่อเย็นที่มากกว่าอัตราการไหลอื่น อยู่ที่ 324.84 °C และ 316.89 °C ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการควบแน่นของระบบ ผลการทดลองพบว่าการใช้น้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อติดแผ่นกั้นของไหลช่วยเพิ่มความปั่นป่วนของการไหล ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพ ของระบบควบแน่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบไหลตรง ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ควบแน่นได้เพิ่มขึ้น โดยมีปริมาตรน้ำมันที่ได้ 5,800 มิลลิลิตร ต่อน้ำหนักวัตถุดิบ 5,000 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ 90 นาที

คำสำคัญ: อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน / กระบวนการไพโรไลซิส / แบบจำลองทางพลศาสตร์ของไหล / น้ำมันเชื้อเพลิง / ขยะพลาสติก

Optimizing a circulating water-cooled heat exchanger for fuel production machine from small plastic waste

Ploypailin sonda, Wuttiphong Sukphusri, Peeraphas Yingkalaya, Khomsan Changsuemoon*, and Natthaphon Maiman

Ban Pong Industrial and Community Education College, Thailand
**Corresponding author: khomsan.cc@gmail.com*

Abstract

This research aims to study the effect of inlet cooling water flow rate and temperature on the changes in cooling water outlet temperature and pyrolysis gas outlet temperature. A comparison of pyrolysis gas outlet temperature and condensed fuel oil yield was made between a conventional heat exchanger and a developed circulating cooling water heat exchanger. The design and analysis were performed using computational fluid dynamics (CFD) simulation before testing two configurations: a non-circulating water heat exchanger and a circulating cooling water heat exchanger to increase fluid turbulence and heat transfer rate in the condensation process. The fluid velocity distribution, temperature, and cooling water flow characteristics within the heat exchanger were analyzed under inlet cooling water flow rates of 0.025, 0.1, 1, 2, and 4 L/min. Using the experimentally obtained oil processing vapor temperature profiles, it was found that a flow rate of 4 L/min resulted in the lowest average pyrolysis gas outlet temperature compared to other flow rates. The average maximum outlet temperature of the pyro-gas was 254.16 ℃, and the average maximum outlet temperature of the cooling water was 80.56 ℃. At a flow rate of 0.025 L/min, the average maximum outlet temperature of the pyro-gas and cooling water were the highest compared to other flow rates. The average maximum outlet temperatures of the pyro-gas and cooling water were higher than other flow rates, at 324.84 ℃ and 316.89 ℃, respectively, demonstrating that increasing the cooling water flow rate directly affects the condensation efficiency of the system. Experimental results showed that using swirling cooling water through a platter tube heat exchanger increased flow turbulence, resulting in a significant increase in heat transfer rate and condensation efficiency compared to a direct flow system. The amount of condensed fuel oil also increased, with a volume of 5,800 ml per 5,000 g of raw material in 90 minutes.

Keywords: Heat exchanger / Pyrolysis process / Computational fluid dynamics / Fuel / Plastic waste

1. บทนำ

ปัญหาขยะพลาสติกเป็นประเด็นสิ่งแวดล้อมที่ทวีความรุนแรงจากการใช้พลาสติกในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน (PE) และโพลีโพรพิลีน (PP) ซึ่งพบได้ทั่วไปในครัวเรือน เช่น ถุงพลาสติกและบรรจุภัณฑ์อาหาร เนื่องจากพลาสติกส่วนใหญ่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดการสะสมของขยะในปริมาณสูง เทคโนโลยีไพโรไลซิส (pyrolysis) จึงได้รับความสนใจในฐานะแนวทางจัดการขยะพลาสติกอย่างเหมาะสม โดยเป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ [1] การพัฒนาเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกขนาดเล็กสำหรับครัวเรือนถือเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่ช่วยลดปัญหาขยะและเพิ่มการใช้พลังงานทดแทน โดยระบบดังกล่าวอาศัยกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิประมาณ 300–500 °C ภายใต้การควบคุมปริมาณออกซิเจนอย่างเหมาะสม [2] อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมไม่ได้ขึ้นอยู่กับเตาปฏิกรณ์เพียงอย่างเดียว แต่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหรือคอนเดนเซอร์มีบทบาทสำคัญต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ควบแน่นได้จากไอระเหย [3] งานวิจัยก่อนหน้าชี้ให้เห็นว่าการออกแบบคอนเดนเซอร์ให้เหมาะสมกับลักษณะไอไพโรไลซิสสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการควบแน่นได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะการควบคุมรูปแบบการไหลและอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและความสม่ำเสมอของการกระจายอุณหภูมิ [3,4] การทดลองคอนเดนเซอร์แบบท่อเกลียวพบว่าอัตราการไหลและทิศทางการไหลของน้ำหล่อเย็นสามารถเพิ่มปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส [4] ขณะเดียวกัน งานวิจัยของ Akinola et al. [5] พบว่า ผลการจำลอง CFD ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อมีความสอดคล้องกับผลการคำนวณเชิงทฤษฎี โดยมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 5% สะท้อนถึงศักยภาพของ CFD ในการใช้เป็นเครื่องมือพัฒนาและปรับปรุงการออกแบบ แม้จะมีการศึกษาเกี่ยวกับคอนเดนเซอร์ในระบบไพโรไลซิสอย่างต่อเนื่อง แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านการเพิ่มความปั่นป่วนของน้ำหล่อเย็นเพื่อยกระดับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในระบบขนาดเล็ก งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนสำหรับเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกขนาดเล็ก โดยศึกษาผลของอัตราการไหลและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้าต่อการกระจายอุณหภูมิ อัตราการถ่ายเทความร้อน และปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ควบแน่นได้ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาและประยุกต์ใช้งานระบบไพโรไลซิสในระดับต้นแบบและระดับชุมชนอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้า ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาออกของน้ำหล่อเย็นและอุณหภูมิขาออกของไอแก๊สไพโรไลซิส ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวน
2. เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิขาออกไอแก๊สไพโรไลซิสของของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่พัฒนาขึ้น
3. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ควบแน่นได้ ระหว่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่พัฒนาขึ้น

3. ขอบเขตของการศึกษา

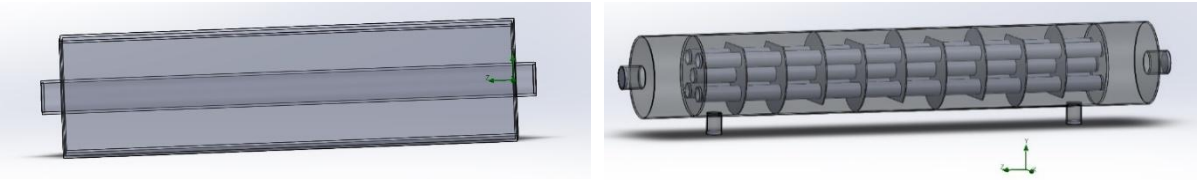
งานวิจัยนี้เป็นการจำลองการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลผ่านโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ในการออกแบบและสร้าง Model จำลองแบบ 3 มิติ เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของอุณหภูมิและอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนร่วมกับการทดลอง โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. การวิจัยเป็นการคำนวณทางพลศาสตร์ของไหลโดยการ Simulation ผ่านโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ในการออกแบบและสร้าง Model จำลองแบบ 3 มิติ และการทดลอง
2. ศึกษาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวน ที่สามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกขนาดเล็กในสภาวะอากาศของประเทศไทย โดยแสดงการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละแบบ
3. ศึกษาและเปรียบเทียบอุณหภูมิขาเข้าของน้ำหล่อเย็นที่ 20, 25, 30, และ 40 °C ที่มีผลต่ออุณหภูมิขาออกของไอแก๊สไพโรไลซิส อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวน และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาออกของน้ำหล่อเย็น
4. วิเคราะห์ผลของอัตราการไหลน้ำหล่อเย็นขาเข้า 0.025, 0.1, 1, 2 และ 4 L/min ที่มีผลต่ออุณหภูมิขาออกของไอแก๊สไพโรไลซิส อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวน และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาออกของน้ำหล่อเย็น
5. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ควบแน่นได้ระหว่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิมและแบบน้ำหล่อเย็นหมุนวน

4. วิธีการศึกษา

4.1 การออกแบบและจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD)

ในงานวิจัยนี้ ขยะพลาสติกที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักเป็นพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีน (PE) และโพลีโพรพิลีน (PP) มีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวประมาณ 300–500 °C ทำให้เกิดไอไพโรไลซิสที่ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนหลากหลายชนิด ซึ่งมีผลโดยตรงต่อสมบัติการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพของการควบแน่น ดังนั้นการออกแบบและวิเคราะห์สมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนสำหรับเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกขนาดเล็ก จึงมีความสำคัญ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้การจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหล การถ่ายเทความร้อน และการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในอุปกรณ์ควบแน่น ดังแสดงในรูปที่ 1

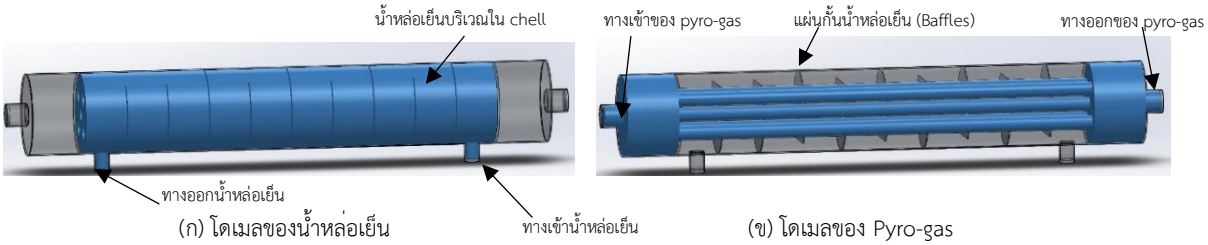


(ก) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิม (ข) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่พัฒนาขึ้น

รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิมและแบบใหม่ (ก) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิม (ข) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่พัฒนาขึ้น

ในการจำลอง CFD เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของเมช ได้กำหนดอุณหภูมิไอไพโรไลซิสขาเข้าเท่ากับ 500°C ซึ่งสอดคล้องกับช่วงอุณหภูมิการทำงานของพลาสติกประเภท PE และ PP และยังใช้โปรไฟล์อุณหภูมิทางเข้าของ pyro-gas ที่ได้จากการทดลอง จำลอง CFD ผ่านการตรวจสอบความแม่นยำของเมชโดยใช้เมชจำนวน 7 ระดับ ผลการวิเคราะห์พบว่าแนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิในระดับเมช Level 5 -7 มีค่าใกล้เคียงกัน มีอุณหภูมิขาออกของแก๊สไพโรไลซิสและน้ำหล่อเย็นแตกต่างกันไม่เกิน 2 °C โดยเมชระดับที่ Level 5 ซึ่งมีความละเอียดและให้ความแม่นยำเพียงพอ ขณะเดียวกันยังใช้

ทรัพยากรคอมพิวเตอร์ในระดับเหมาะสม จึงเลือกใช้เมชระดับดังกล่าวในการวิเคราะห์ผลการจำลองต่อไป ทั้งนี้ผลการเลือกเมชมีความสอดคล้องกับงานของ Akinola et al. [6] และ Saputro et al. [7] ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) สำหรับการจำลอง CFD งานวิจัยนี้ออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกขนาดเล็ก โดยใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (shell and tube heat exchanger) ชนิด straight single-pass ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการทำความเย็น และเลือกใช้ท่อเป็นทองแดงเนื่องจากมีค่าการนำความร้อนสูงเหมาะสมต่อการถ่ายเทความร้อนระหว่าง ไพโรไลแก๊สร้อนและน้ำหล่อเย็น [4,5] ซึ่งค่าการนำความร้อนของวัสดุมีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์ ในการจำลองด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) กำหนดรูปแบบการไหลของไพโรไลแก๊สและน้ำหล่อเย็นเป็นแบบไหลสวนทาง (counter flow) เนื่องจากสามารถรักษาความแตกต่างของอุณหภูมิของของไหลทั้งสองให้มีค่าสูงตลอดความยาวของคอนเดนเซอร์ ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ รวมถึงช่วยลดอุณหภูมิของของไหลหล่อเย็นขาออก [5,7]



รูปที่ 2 แสดงการการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตสำหรับการจำลอง CFD (ก) โดเมลของน้ำหล่อเย็น (ข) โดเมลของ Pyro-gas

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุท่อและของเหลว [5]

Materials	Density, ρ (kg/m^3)	Specific heat,c_p (J/kg.K)	Cp (kJ/kg·K)	Molecular mass kg/kmol	Thermal Conductivity, k (W/m.K)	Dynamics viscosity, μ (N. s/m^2)
Stainless steel	8055	480			15.1	
Copper	8960	385			401	-
Water	997.13	4182			0.61	0.891×10^{-3}
Pyro-gas	106.7	2015.8	1.25 [7], [9]	29 [7], [9]	0.182 [3], [7]	2.1856×10^{-5} [7], [9]

4.2 สมการที่เกี่ยวข้องในการคำนวณเชิงทฤษฎี

ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถประเมินได้จากอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการคำนวณจำเป็นต้องทราบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงลอการิทึม (Log Mean Temperature Difference: LMTD) ซึ่งคำนวณจากอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของของไหลทั้งสองด้าน เพื่อสะท้อนความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นตลอดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน [7] สมการเชิงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องถูกนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบและประเมินสมรรถนะของคอนเดนเซอร์ [4,5,11] ดังนี้

$$\mathrm{LMTD} = \frac{(T_{h,in} - T_{c,out}) - (T_{h,out} - T_{c,in})}{\ln\left(\frac{T_{h,in} - T_{c,out}}{T_{h,out} - T_{c,in}}\right)} \qquad (1)$$

โดยที่

$T_{h,in}$ = อุณหภูมิของ pyro-gas ขาเข้า (°C)

$T_{h,out}$ = อุณหภูมิของ pyro-gas ขาออก (°C)

$T_{c,in}$ = อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้า (°C)

$T_{c,out}$ = อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาออก (°C)

การคำนวณความร้อนที่ถ่ายเทได้จริง (Q_{act}) ตามกฎการอนุรักษ์พลังงานจะได้ว่าอัตราการถ่ายโอนความร้อนจากของไหลร้อนเท่ากับอัตราการถ่ายโอนความร้อนของไหลเย็น สามารถคำนวณได้จาก

$$Q_h = \dot{m}_h c_{p,h}(T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (2)$$

$$Q_c = \dot{m}_c c_{p,c}(T_{c,in} - T_{c,out}) \quad (3)$$

ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน Heat Exchanger Effectiveness (ε) สามารถคำนวณได้จาก

$$\varepsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} = \frac{\dot{m} c_{p,c}(T_{c,out} - T_{c,in})}{C_{min}(T_{h,in} - T_{c,in})} \quad (4)$$

เมื่อ C_{min} = อัตราความจุความร้อนตัวที่มีค่าน้อย (ระหว่าง $\dot{m}_c c_{p,c}$ กับ $\dot{m}_h c_{p,h}$)

$\dot{m}_c$ = อัตราการไหลโดยมวลของหล่อเย็น (kg/s)

$\dot{m}_h$ = อัตราการไหลโดยมวล pyro-gas (kg/s)

$c_{p,c}$ = ความร้อนจำเพาะของหล่อเย็น (J/kg.K)

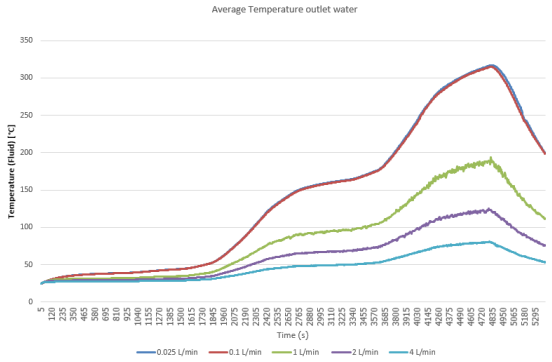
$c_{p,h}$ = ความร้อนจำเพาะ pyro-gas (J/kg.K)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

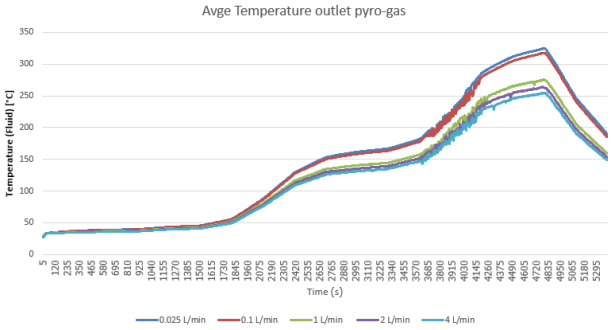
5.1 ผลของอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขาออกของน้ำหล่อเย็นและอุณหภูมิขาออกของไอแก๊สไพโรไลซิสของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวน

จากรูปที่ 3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของ Pyro-gas และน้ำหล่อเย็นที่อัตราการไหล 0.025, 0.1, 1, 2 และ 4 L/min [3,7,9] โดยมีอุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็นที่ 25 °C โดยใช้โปรไฟล์อุณหภูมิทางเข้าของ pyro-gas ที่ได้จากการทดลอง พบว่า ที่อัตราการไหล 4 L/min มีอุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของ pyro-gas และมีอุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของน้ำหล่อเย็นต่ำที่สุดเมื่อเปรียบกับอัตราการไหลอื่น โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดทางออกของ pyro-gas อยู่ที่ 254.16 °C อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดทางออกของน้ำหล่อเย็นอยู่ที่ 80.56 °C ที่อัตราการไหล 0.025 L/min มีอุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของ pyro-gas และมีอุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของน้ำหล่อเย็นต่ำที่สุดเมื่อเปรียบกับอัตราการไหลอื่น โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดทางออกของ pyro-gas และน้ำหล่อเย็นที่มากกว่าอัตราการไหลอื่น อยู่ที่ 324.84 °C และ 316.89 °C ตามลำดับ เนื่องจากการใช้อัตราการไหลที่มีค่าต่ำส่งผลให้ต่อระยะเวลาในการถ่ายเทความร้อนมาก จากการถ่ายเทความร้อนที่ควรจะเป็นจึงเปลี่ยนเป็นสะสมความร้อนแทน การใช้อัตราการไหลที่มีค่าสูงส่งผลให้ต่อระยะเวลาในการถ่ายเทความร้อนน้อย อาจทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่ดีเท่าที่ควร การใช้อัตราการไหลที่ต่ำอาจส่งผลให้เป็นการสะสมความร้อนได้แทนที่จะเป็นการถ่ายเทความร้อนซึ่งสอดคล้องกับ Simanjuntak, J. et al. พบว่าการระบายความร้อนสูงสุดเกิดขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นอยู่ที่ 1.95 ลิตรต่อนาที

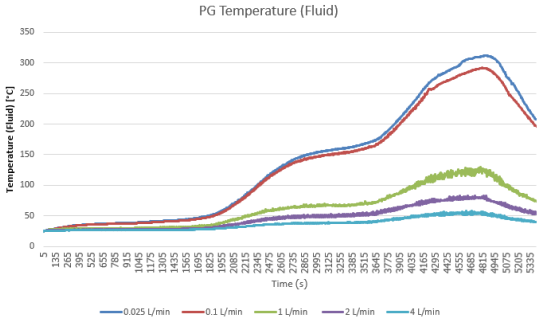
เมื่ออัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นเพิ่มขึ้นอีกประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจะลดลงส่งผลให้การระบายความร้อนลดลง เนื่องจากอัตราการไหลมากขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาในการถ่ายเทความร้อนน้อยลง การถ่ายเทความร้อนจากของเหลวร้อนไปยังของเหลวหล่อเย็นไม่ดีพอ จึงเป็นหนึ่งเหตุผลในการออกแบบเพื่อหาอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นที่เหมาะสม ในการออกแบบความยาวของท่อระบายความร้อนบางครั้งจะถูกจำกัดด้วยข้อจำกัดหลายอย่าง หากท่อระบายความร้อนมีความยาวเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย [3] และสอดคล้องกับ B. L. Salvi et al. [12] การเพิ่มอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นต่อไปอีกนั้นมีผลกระทบต่อการผลิตไบโอออยล์เพียงเล็กน้อย ดังนั้นการใช้อัตราการไหลของน้ำมากเกินไปจึงไม่เป็นประโยชน์ เนื่องจากการเพิ่มอัตราการไหลเกินความจำเป็นไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ



(ก) อุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของน้ำหล่อเย็น

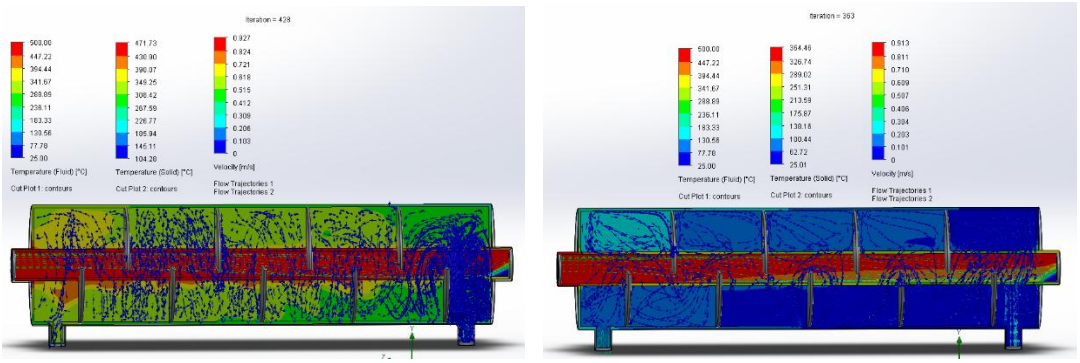


(ข) อุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของ Pyro-gas



(ค) อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นบริเวณใน chell

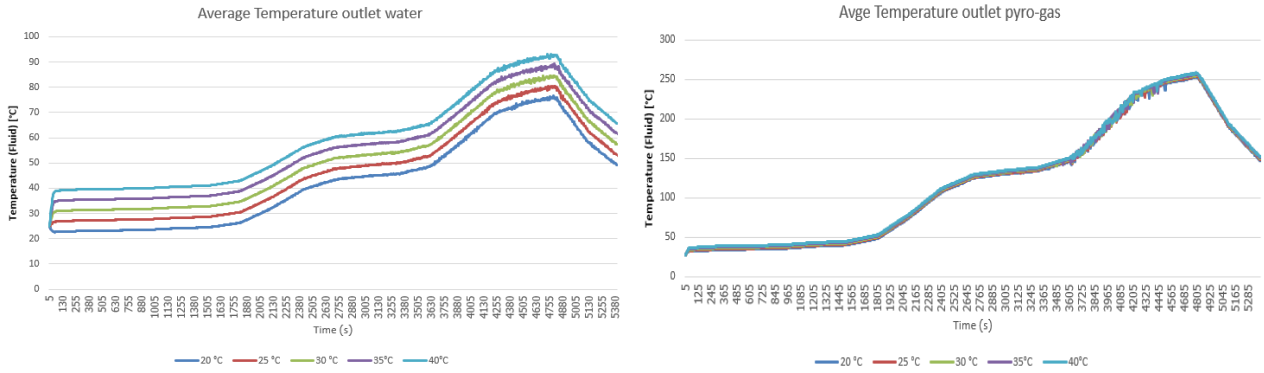
รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของ Pyro-gas และน้ำหล่อเย็นที่อัตราการไหล 0.025, 0.1, 1, 2 และ 4 L/min (ก) อุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของน้ำหล่อเย็น (ข) อุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของ Pyro-gas และ (ค) อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นบริเวณใน chell



(ก) 0.025 L/min (ข) 2 L/min

รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิของ Pyro-gas และน้ำหล่อเย็นที่อัตราการไหล 0.025 และ 2 L/min (ก) 0.025 L/min (ข) 2 L/min

จากรูปที่ 4 การกระจายตัวอุณหภูมิของ Pyro-gas และน้ำหล่อเย็นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่อัตราการไหล 0.025 และ 2 L/min โดยมีอุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็นที่ 25 °C ที่มีอุณหภูมิทางเข้าของ pyro-gas ที่ 500 °C พบว่า การกระจายตัวอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่อัตราการไหล 0.025 L/min มีการกระจายตัวของอุณหภูมิสม่ำเสมอ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของของ pyro-gas อยู่ที่ 307.66°C อุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของน้ำหล่อเย็นทางออก 312.97 °C ที่อัตราการไหล 2 L/min มีอุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของของ pyro-gas อยู่ที่ 285.33°C อุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของน้ำหล่อเย็นทางออก 105.83°C



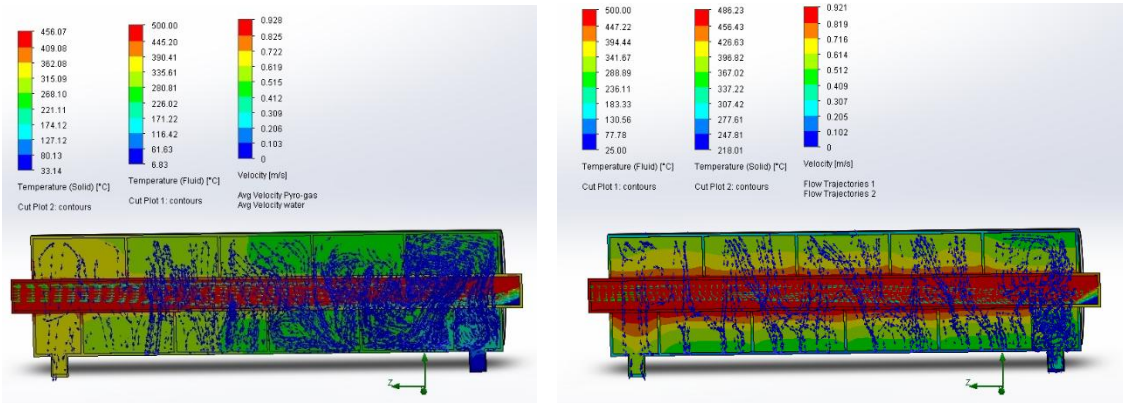
(ก) อุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของน้ำหล่อเย็น (ข) อุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของ Pyro-gas

รูปที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของ Pyro-gas และน้ำหล่อเย็น ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็น 20, 25, 30 และ 40 °C (ก) อุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของน้ำหล่อเย็น และ (ข) อุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของ Pyro-gas

การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของ Pyro-gas และน้ำหล่อเย็นที่อัตราการไหล 4 L/min โดยมีอุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็น 20, 25, 30, และ 40 °C โดยใช้โปรไฟล์อุณหภูมิทางเข้าของ pyro-gas ที่ได้จากการทดลอง จะพบว่าอุณหภูมิทางเข้าส่งผลต่ออุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของน้ำหล่อเย็น ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็น 20 °C มีอุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของน้ำหล่อเย็นต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็นค่าอื่น เมื่อเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิขาออกที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็น 20 °C กับ 40 °C พบว่ามีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 76.67 °C และ 93.07 °C ตามลำดับ มีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดที่ 16.40 °C อุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็นส่งผลต่ออุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของ Pyro-gas

เพียงเล็กน้อย ความแตกต่างของอุณหภูมิขาออกของของ Pyro-gas ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็น 20 °C กับ 40 °C พบว่ามีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 253.36 °C และ 258.43 °C ตามลำดับ มีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดที่ 5.06 °C แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิขาเข้าของน้ำหล่อเย็นมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนโดยตรง (รูปที่ 5) ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วการใช้อุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็นที่ต่ำกว่าจะช่วยในการระบายความร้อนได้ดีกว่าแต่จำเป็นต้องใช้พลังงานและทรัพยากรที่มากกว่า [3] ผลการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนส่งผลให้การกระจายตัวของอุณหภูมิภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีความสม่ำเสมอมากขึ้น โดยแผนภาพการกระจายอุณหภูมิ (temperature contour) บ่งชี้ว่าอุณหภูมิของไอไพโรไลซิสลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดความยาวของท่อ และไม่พบการสะสมของบริเวณอุณหภูมิสูงเฉพาะจุด ซึ่งแตกต่างจากลักษณะการถ่ายเทความร้อนแบบดั้งเดิมที่มักเกิดการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วเฉพาะช่วงต้นของคอนเดนเซอร์ ตามงานวิจัยของ Simanjuntak et al. [3] นอกจากนี้ การไหลของความเร็ว (velocity vector) แสดงให้เห็นว่าการไหลของน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนก่อให้เกิดการไหลปั่นป่วนบริเวณใกล้ผิวท่ออย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ชั้นขอบเขตความร้อน (thermal boundary layer) มีความบางลง และช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบของ Saputro et al. [7] ที่รายงานว่าความสม่ำเสมอของอุณหภูมิและความเร็วมีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพการควบแน่นของไอไพโรไลซิส เมื่อเปรียบเทียบกับแนวทางการออกแบบในงานวิจัย [3]

การกระจายตัวอุณหภูมิของ Pyro-gas และน้ำหล่อเย็นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่อัตราการไหล 0.1 L/min โดยมีอุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็น 20 °C และ 40 °C มีอุณหภูมิทางเข้าของ pyro-gas ที่ 500 °C จะพบว่า ที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็น 20 °C มีการกระจายตัวของอุณหภูมิสม่ำเสมอ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของ pyro-gas และน้ำหล่อเย็นที่น้อยกว่าอุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็นอื่น อยู่ที่ 299.73°C และ 331.86°C ตามลำดับ เมื่อเทียบกับอุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็น 40 °C มีการกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณผิวด้านนอกท่อทองแดงที่สูง เนื่องจากน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิที่สูงแลกเปลี่ยนความร้อนได้ต่ำบริเวณนี้จึงเป็นบริเวณสะสมความร้อนแทน ดังรูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนโดยตรง โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของของ pyro-gas และน้ำหล่อเย็นที่มากกว่าอุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็นอื่น อยู่ที่ 312.30 °C และ 373.44°C ตามลำดับ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วการใช้อุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็นที่ต่ำกว่าจะช่วยในการระบายความร้อนได้ดีกว่าแต่จำเป็นต้องใช้พลังงานและทรัพยากรที่มากกว่า

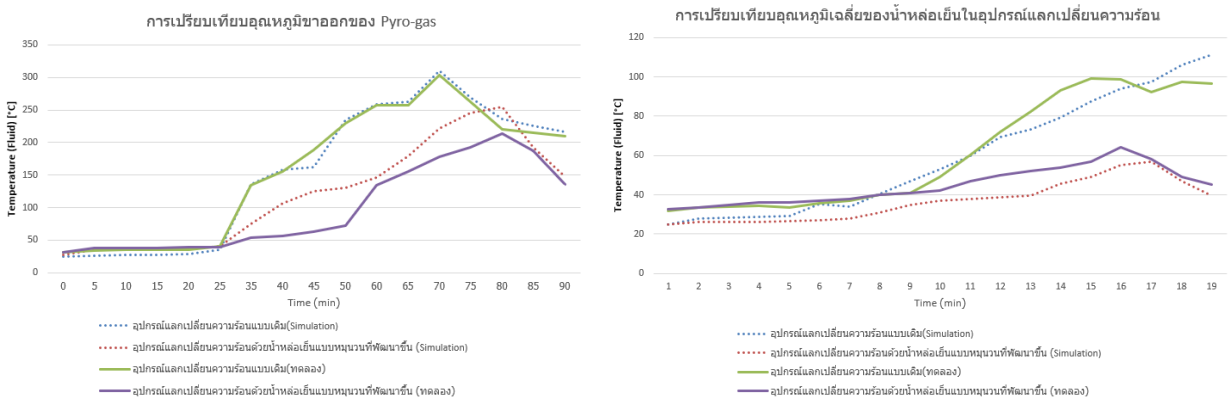


(ก) 20 °C (ข) 40 °C

รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายตัวของอุณหภูมิของ Pyro-gas และน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็น (ก) 20 °C และ (ข) 40°C

5.2 ผลเปรียบเทียบอุณหภูมิขาออกไอแก๊สไพโรไลซิสของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่พัฒนาขึ้น

การเปรียบเทียบเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของ Pyro-gas และอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็น ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่อัตราการไหล 4 L/min พบว่า การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของ Pyro-gas ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่พัฒนาขึ้น มีอุณหภูมิเฉลี่ยทางออกของ pyro-gas สูงสุด อยู่ที่ 304.2℃ และ 214℃ ตามลำดับ (รูปที่ 7) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่พัฒนาขึ้นมีความแตกต่างจากระบบควบแน่นแบบสัมผัสโดยตรงระหว่างน้ำหล่อเย็นกับไอแก๊สไพโรไลซิส ซึ่งแม้ระบบสัมผัสโดยตรงจะมีโครงสร้างเรียบง่าย ต้นทุนต่ำ และให้ประสิทธิภาพการควบแน่นที่ดี แต่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดด้านสัมผัสน้ำของไอระเหยและความจำเป็นในการแยกน้ำมันออกจากน้ำในภายหลัง [13] การเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนท่อ ลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ และเลือกใช้แผ่นกั้นที่มีค่าการนำความร้อนสูง เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว การปั่นป่วนของการไหล และอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยรวม รวมถึงการเสริมครีบในการเพิ่มพื้นที่ถ่ายเทความร้อนมากขึ้น [3,5] นอกจากนี้ การเลือกใช้วัสดุเปลือกเป็นสแตนเลสยังช่วยลดการกัดกร่อนจากน้ำหล่อเย็นและเพิ่มอายุการใช้งานของอุปกรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยคอนเดนเซอร์ในระบบไพโรไลซิสขนาดเล็ก [4,8,12,14] ทั้งนี้แนวคิดการออกแบบในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อของ Simanjuntak et al. [3] ที่ชี้ให้เห็นถึงบทบาทของพื้นที่ผิวและรูปแบบการไหลต่อการถ่ายเทความร้อน อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเพิ่มเติมโดยประยุกต์ใช้การไหลของน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวน ซึ่งช่วยเพิ่มความปั่นป่วน ลดชั้นขอบเขตความร้อน และรักษาความแตกต่างของอุณหภูมิให้สม่ำเสมอตลอดความยาวอุปกรณ์ [7] ความสม่ำเสมอของการกระจายอุณหภูมิส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการควบแน่น ดังนั้น การไหลแบบหมุนวนจึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการยกระดับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะการควบแน่นของเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกขนาดเล็ก



(ก) อุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของ Pyro-gas

(ข) อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของ Pyro-gas และอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็น ระหว่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่พัฒนาขึ้น (ก) อุณหภูมิเฉลี่ยขาออกของ Pyro-gas และ (ข) อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำหล่อเย็นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

5.3 เปรียบเทียบปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ควบแน่นได้ ระหว่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิมกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่พัฒนาขึ้น

การเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ควบแน่นได้ ระหว่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิม กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่พัฒนาขึ้นที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ 8 โดยมีอัตราการไหลน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่พัฒนาขึ้นที่ 4 L/min มีอุณหภูมิทางเข้าของน้ำหล่อเย็นที่ 25°C ใช้ประเภทพลาสติก PE, PP, PS, HDPE น้ำหนักวัตถุดิบ 5,000 กรัม ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 90 นาที พบว่า อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิมและอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่พัฒนาขึ้นได้ปริมาตรน้ำมัน 3.6 ลิตร และ 5.8 ลิตร ตามลำดับ

(ก) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิม

(ข) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่พัฒนาขึ้น

รูปที่ 8 แสดงต่ออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิมและแบบใหม่เข้ากับเตาเผาและหอกลั่น (ก) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิม (ข) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนที่พัฒนาขึ้น

6. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนสำหรับระบบผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกขนาดเล็ก โดยใช้การจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ร่วมกับการทดลองจริง เพื่อวิเคราะห์การกระจายอุณหภูมิ พฤติกรรมการไหล และอัตราการถ่ายเทความร้อนของไอไพโรไลซิส ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลและอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้ามีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน โดยการเพิ่มอัตราการไหลช่วยเพิ่มความแตกต่างของอุณหภูมิและลดอุณหภูมิไอไพโรไลซิสได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มอัตราการไหลเกินระดับเหมาะสมให้ผลเพิ่มประสิทธิภาพเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพลังงานที่ต้องใช้และทรัพยากรที่มากกว่า อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนช่วยเพิ่มความปั่นป่วนของของไหลและลดความหนาของชั้นขอบเขตความร้อน (thermal boundary layer) ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นและทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นระหว่างผิวของวัสดุกับของไหลอย่างต่อเนื่องตลอดอุปกรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดิม พบว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็นแบบหมุนวนสามารถลดอุณหภูมิไอไพโรไลซิสขาออกได้มากกว่า และเพิ่มปริมาณน้ำมันที่ควบแน่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบน้ำหล่อเย็นหมุนวนจึงมีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไพโรไลซิสขนาดเล็ก และเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้ในระดับชุมชน

เอกสารอ้างอิง

[1] Wondwosen Bekele, Wassihun Amedie, Zelalem Salehudres. (2020). Design of Pyrolysis Reactor for Waste Plastic Recycling. Engineering and Applied Sciences, 5(5), 92-97. doi: 10.11648/j.eas.20200505.12

[2] อัคฆพงศ์ สถาวรินทุ และ ไกรสร รวยป้อม. (2564). เครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากขยะพลาสติกขนาดเล็กสำหรับครัวเรือน. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, 35(1), 884-889.

[3] Simanjuntak, J. P., Tambunan, B. H., Sihombing, J. L., & Riduwan, R. (2023). Thermal Design Approach of a Shell and Tube Heat Exchanger for Pyrolysis-Vapor Condensations. Advances in Science and Technology, 126(1), 51-66. https://doi.org/10.4028/p-8r6j84

[4] Putrawan, I. M. A., Rajendra, M., Adi, I. K., Rahtika, I. P. G. S., & Suarta, I. M. (2024). Performance of Water-Cooled Spiral Type Condenser in A Plastic Waste Pyrolysis. Proceedings of the International Conference on Sustainable Green Tourism Applied Science, 249(1), 259-265. 10.2991/978-94-6463-587-4_30

[5] Akinola, A. O., Yaru, S. S., Raheem, R. O., Fetuata, O., Eiche, J. F. & Akinsade, A.b. 2024). Design and Simulation of a Shell and Tube Heat Exchanger for a Pyrolysis Reactor. Journal of Energy Research and Reviews, 16(3), 11-22. DOI: 10.9734/JENRR/2024/v16i3339

[6] Akinola A. O., Yaru, S. S., Raheem, R. O., Fetuata, O.,Eiche, J. F. & Akinsade, A. b. (2024). Design and Simulation of a Shell and Tube Heat Exchanger for a Pyrolysis Reactor. Journal of Energy Research and Reviews, 16(3), 11-22. DOI: 10.9734/JENRR/2024/v16i3339

[7] Saputro, H., Fitriana, L., Purwanto, A., Firdaus, A., Muslim, R., Munir, F. A., & Wang, W.-C. (2023). Modeling and experimental study condenser performance of fixed bed pyrolysis reactor: A case study of solid waste palm starch processing. Cleaner Engineering and Technology, 16(7), 1-11. https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100677

[8] Adzimaa, A. F., Pratama, D. Y., & Apriajumita, B. E. (2019). Design of Condensers on Miniplant Pyrolysis Machine for Converting Plastic Waste Into Oil Fuel. 2019 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation (ICAMIMIA), 306-309. DOI: 10.1109/ICAMIMIA47173.2019.9223379

[9] Novarini, Kurniawan, S., Rusdianasari, Bow, Y., & Rifa'i, A. I. (2020). Condenser Design on Plastic Oil Distillation Equipment. International Summit on Science Technology and Humanity (ISETH) 2020, 169 - 175. https://www.researchgate.net/publication/362644045_Condenser_Design_on_Plastic_Oil_Distillation_Equipment

[10] P. Chanthevee, Y. Laoonual, S. Hirai, P. Sriam, N. Chanurai, V. Lailuck, S. Rompho and M. Masomtob. (2018). A Simplified Approach for Heat Generation due to Entropy Change in Cylindrical LCO Battery. IEEE Transportation Electrification Conference and Expo Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), 1-7. DOI:10.1109/ITEC-AP.2018.8433303

[11] สุนันท์ ศรัณยนิตย์. (2554). การถ่ายเทความร้อน (1). สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทยญี่ปุ่น).

[12] B. L. Salvi, T. Soni, S. Jindal & N. L. Panwar. (2021). Design improvement and experimental study on shell and tube condenser for bio-oil recovery from fast pyrolysis of wheat straw biomass. springer nature journal, 173(3), 1-8. DOI:10.1007/s42452-021-04165-8

[13] ธันยบูรณ์ ถาวรวรรณ์. (2563). การศึกษาการผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติกด้วยกระบวนการไพโรไลซิส. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์, 4(8), 15-32.

[14] Kurniawan, A., Sugiarto, B., & Perdana, A. (2020). Design of A Simple Pyrolysis Reactor for Plastic Waste Conversion into Liquid Fuel Using Biomass as Heating Source. Eksergi Chemical Engineering Journal, 17(1), DOI:10.31315/e.v17i1.3080

สารสนเทศสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ
Environmental Information and Geo-Informatics Technology

Oral Presentation

การใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการประเมินความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพรรณพืชรอบโบราณสถานในเขตพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท จังหวัดอุดรธานี

ทาวิชญ์ สิงสุพรรณ, กอบการ เปรี้ยวปี, และ มิ่งกมล ป้องภักดี*

โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ อุดรธานี ตำบลบ้านผือ อำเภอบ้านผือ จังหวัดอุดรธานี ประเทศไทย
**Corresponding author: mingkamon.pk@gmail.com*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษารูปแบบผสม มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์เชิงบูรณาการการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพรรณพืชจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ร่วมกับการประเมินความเสี่ยงต่อโบราณสถาน และการวิเคราะห์ปัจจัยเชิงพหุมิติด้านกฎหมาย กายภาพ และสังคม ในเขตพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท จังหวัดอุดรธานี มีระยะเวลาในการวิจัยตั้งแต่เดือนมิถุนายน-เดือนธันวาคม พุทธศักราช 2568 โดยมีเครื่องในการวิจัย คือ 1) โปรแกรม SNAP 2) แบบประเมินความเสี่ยง 3) แบบสำรวจภาคสนาม และ 4) แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง ซึ่งวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสำรวจในรูปแบบ Factor Analysis และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพในรูปแบบ Content Analysis ผลการวิจัย 1. การเปลี่ยนแปลงของดัชนีพรรณพืชจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 พบว่า โบราณสถานที่เป็นพื้นที่ให้นักท่องเที่ยวเข้าชมมีทั้งหมด 28 แห่ง โดยมีค่าดัชนีพรรณพืชโดยรอบลดลงจากการประเมินหลังการขึ้นทะเบียนเป็นมรดกโลก ดังนี้ ระดับมากที่สุดมีจำนวน 16 แห่ง ระดับมาก 5 แห่ง ระดับปานกลาง 4 แห่ง ระดับน้อย 2 แห่ง และระดับน้อยที่สุด 1 แห่ง 2. การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีพรรณพืช พบว่า 1) มิติกฎหมาย พระราชบัญญัติโบราณสถาน (ฉบับที่ 2) พุทธศักราช 2535 ยังไม่ครอบคลุมประเด็นเชิงสิ่งแวดล้อม จึงควรเพิ่มในหมวดที่ 1 มาตราที่ 14 คือ ห้ามไม่ให้ผู้ใดกระทำกิจกรรม หรือประพฤติตน อันก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมรอบโบราณสถาน 2) มิติกายภาพ พื้นที่มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทรายและหินตะกอนจึงส่งผลต่อความสามารถในการเจริญเติบโตของพืชพรรณทำให้ค่าดัชนีพรรณพืชลดลง และ 3) มิติสังคม การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมการท่องเที่ยวหลังการขึ้นทะเบียนเป็นแหล่งมรดกโลก รวมถึงการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรโดยชุมชนทำให้มีแนวโน้มลดลงของค่าดัชนีพรรณพืช

คำสำคัญ: ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinal-2 / ดัชนีพรรณพืช / โปรแกรม SNAP / ภูพระบาท / กระบวนการมีส่วนร่วม

Application of geospatial technology for assessing vegetation index change risks around archaeological sites in Phu Phra Bat Historical Park, Udon Thani Province, Thailand

Thawich SingSuphan, Kobkarn Priawpee, and Mingkamol Pongphakdee*

Triam Udom Suksa Phatthanakan Udon Thani School, Ban Phue Subdistrict, Ban Phue District, Udon Thani Province, Thailand

**Corresponding author: mingkamon.pk@gmail.com*

Abstract

This research employed a mixed-methods design with the objective of conducting an integrated analysis of vegetation index changes derived from Sentinel-2 imagery, in conjunction with a risk assessment of archaeological sites and multidimensional factor analysis encompassing legal, physical, and social dimensions within the Phu Phrabat Historical Park area, Udon Thani. The study was conducted from June to December 2025 (B.E. 2568). Research instruments included: (1) SNAP software, (2) a risk assessment form, (3) a field survey form, and (4) a semi-structured interview protocol. Quantitative survey data were analysed using Factor Analysis, while qualitative data were examined through Content Analysis. The findings revealed that, based on Sentinel-2 imagery analysis, 28 archaeological sites open to tourists experienced a decline in surrounding vegetation index values following their inscription as a World Heritage site. The levels of decline were classified as follows: very high (16 sites), high (5 sites), moderate (4 sites), low (2 sites), and very low (1 site). Regarding factors influencing vegetation index changes, three key dimensions were identified. First, in the legal dimension, the Ancient Monuments Act (No. 2), B.E. 2535 (1992), does not adequately address environmental issues; therefore, an amendment to Chapter 1, Section 14 is recommended to prohibit activities or behaviours causing environmental damage around archaeological sites. Second, in the physical dimension, the predominance of sandy loam soils and sedimentary rock affects vegetation growth capacity, contributing to reduced vegetation index values. Third, in the social dimension, increased tourism activities following World Heritage designation, along with community resource utilisation, have led to a downward trend in vegetation index values.

Keywords: Sentinel-2 Satellite Imagery / Vegetation Index / SNAP Software / Phu Phra Bat / Participatory Process

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมระดับพื้นที่ เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (Geographic Information Systems: GIS) ได้กลายเป็นเครื่องมือหลักในการอธิบาย วิเคราะห์ และคาดการณ์พลวัตของทรัพยากรธรรมชาติอย่างเป็นระบบ ความสามารถของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (GIS) ในการบูรณาการข้อมูลเชิงพื้นที่จากหลายแหล่ง ทั้งภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลภาคสนาม และฐานข้อมูลเชิงสังคม ทำให้สามารถสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ที่สะท้อนความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความเปราะบางทางนิเวศและมีคุณค่าทางวัฒนธรรมสูง เช่น อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท จังหวัดอุดรธานี ซึ่งเป็นภูมิทัศน์วัฒนธรรมที่ต้องอาศัยการจัดการอย่างรอบด้าน

การประเมินการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณรอบโบราณสถานจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงเวลา ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ซึ่งพัฒนาโดยองค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency: ESA) มีศักยภาพในการตรวจวัดค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) ด้วยความละเอียดสูงและครอบคลุมหลายช่วงคลื่น ส่งผลให้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียวในระดับจุลภาคได้อย่างแม่นยำ [1] งานวิจัยจำนวนมากในวารสารด้านการสำรวจระยะไกลยืนยันว่า การประมวลผลข้อมูลหลายช่วงเวลา (multi-temporal analysis) จาก Sentinel-2 ช่วยเพิ่มความถูกต้องในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและความเสื่อมโทรมของระบบพืชพรรณ [2] ซึ่งสะท้อนบทบาทของดัชนีพรรณพืชในฐานะตัวชี้วัดสภาวะระบบนิเวศที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล นอกจากนี้ ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (GIS) ทำให้การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ไม่ได้จำกัดอยู่เพียงการทำแผนที่ หากแต่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลสิ่งแวดล้อมเข้ากับข้อมูลทางสังคม เศรษฐกิจ และกฎหมาย เพื่อประเมินความเสี่ยงในมิติพหุองค์ประกอบได้อย่างเป็นระบบ [3] ชี้ให้เห็นว่าเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (GIS) ได้พัฒนาไปสู่การเป็นโครงสร้างพื้นฐานเชิงความรู้ (spatial knowledge infrastructure) ที่สนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบาย ขณะที่แนวคิดภูมิทัศน์วัฒนธรรมเสนอว่าการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เป็นผลลัพธ์ของปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกายภาพกับกระบวนการทางสังคมและเศรษฐกิจ [4] การบูรณาการข้อมูลเชิงพื้นที่กับการวิเคราะห์ทางสังคมจึงเป็นแนวทางที่ช่วยอธิบาย “เหตุ” และ “ผล” ของการเปลี่ยนแปลงได้อย่างลุ่มลึก ภายใต้กรอบการวิจัยแบบผสม (Mixed Methods Research) การผสานข้อมูลเชิงปริมาณจากเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (GIS) และภาพถ่ายดาวเทียมเข้ากับข้อมูลเชิงคุณภาพจากการศึกษาปรากฏการณ์ในพื้นที่ ช่วยเพิ่มความสมบูรณ์ของการตีความ [5] โดยเฉพาะในบริบทของแหล่งมรดกทางวัฒนธรรมที่ต้องอาศัยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชนและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการกำหนดแนวทางจัดการพื้นที่อย่างยั่งยืน

ดังนั้น การใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (GIS) ในการประเมินความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพรรณพืชรอบโบราณสถานในอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท จึงไม่ใช่เพียงการประยุกต์ใช้เครื่องมือเชิงเทคนิค หากแต่เป็นกระบวนการสร้างองค์ความรู้เชิงบูรณาการที่เชื่อมโยงข้อมูลเชิงพื้นที่กับบริบททางสังคม กายภาพ และกฎหมาย เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายและการพัฒนาที่ยั่งยืนบนฐานข้อมูลเชิงประจักษ์

2. วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์เชิงบูรณาการการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพรรณพืชจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ร่วมกับ การประเมินความเสี่ยงต่อโบราณสถาน และการวิเคราะห์ปัจจัยเชิงพหุมิติด้านกฎหมาย กายภาพ และสังคมในเขตพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท จังหวัดอุดรธานี

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษารูปแบบผสม (Mixed Methods Research) โดยการบูรณาการทางเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (GIS) ร่วมกับวิเคราะห์เชิงสังคมวิทยาจากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่การวิจัย เพื่อสร้างการมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. ตัวแปรต้น คือ การเปลี่ยนแปลงของดัชนีพรรณพืช (NDVI)
2. ตัวแปรตาม คือ ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเชิงพหุมิติด้านกฎหมาย กายภาพ และสังคม
3. กลุ่มเป้าหมาย คือ 1) โบราณสถานที่เป็นพื้นที่ให้นักท่องเที่ยวเข้าชมมีทั้งหมด 28 แห่ง 2) นักท่องเที่ยวที่มาเข้าชม จำนวน 30 คน 3) ผู้นำชุมชน และประชาชนที่ใช้ประโยชน์บริเวณเขตพื้นที่วิจัย จำนวน 27 คน และ 3) บุคลากรของหน่วยงานรัฐบาลที่เกี่ยวข้อง จำนวน 9 คน รวมกลุ่มเป้าหมายเชิงประชากร จำนวนทั้งสิ้น 66 คน
4. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ 1) โปรแกรม SNAP 2) แบบประเมินความเสี่ยง 3) แบบสำรวจภาคสนาม และ 4) แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง (Semi-structured Interview)

4. วิธีการศึกษา

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการตามรูปแบบวิจัยเชิงผสมผสาน (Mixed Methods Research) โดยได้นำกระบวนการของ [6] มาใช้ในการวิจัย ซึ่งทำให้การดำเนินงานเป็นระบบขั้นตอนมีความเหมาะสมต่อการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดในเชิงพื้นที่มากยิ่งขึ้น โดยมี 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดกรอบแนวคิดและเหตุผลในการใช้วิธีแบบผสม คือ กำหนดปัญหาการวิจัยจากการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) รอบโบราณสถานในเขตอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้ด้วยข้อมูลเชิงพื้นที่เพียงอย่างเดียว จึงต้องบูรณาการการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (GIS และภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2) ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงสังคมวิทยา เพื่ออธิบายสาเหตุเชิงพหุมิติ ทั้งด้านกฎหมาย กายภาพ และสังคม

ขั้นตอนที่ 2 เลือกรูปแบบการออกแบบการวิจัย (Research Design Selection) คือ เลือกใช้ Explanatory Sequential Design โดยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณก่อน แล้วจึงเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพเพื่อนำมาอธิบายผลที่ค้นพบ การออกแบบลักษณะนี้เหมาะสมกับงานที่ต้องการอธิบายปรากฏการณ์เชิงพื้นที่ด้วยบริบททางสังคมและนโยบาย

ขั้นตอนที่ 3 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ คือ ดำเนินการประมวลผลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ด้วยโปรแกรม SNAP เพื่อคำนวณค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเชิงเวลา (temporal analysis) และจัดระดับความเสี่ยงของโบราณสถานทั้ง 28 แห่งจากนั้นใช้แบบประเมินความเสี่ยงและแบบสำรวจภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลเชิงโครงสร้าง และวิเคราะห์ด้วยสถิติ Factor Analysis เพื่อจำแนกองค์ประกอบปัจจัยที่ส่งผลกระทบ

ขั้นตอนที่ 4 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ คือ ดำเนินการสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ได้แก่ 1) นักท่องเที่ยวที่มาเข้าชม จำนวน 30 คน 2) ผู้นำชุมชน และประชาชนที่ใช้ประโยชน์บริเวณเขตพื้นที่วิจัย จำนวน 27 คน และ 3) บุคลากรของหน่วยงานรัฐบาลที่เกี่ยวข้อง จำนวน 9 คน รวมกลุ่มเป้าหมายเชิงประชากร จำนวนทั้งสิ้น 66 คน เพื่อศึกษาปรากฏการณ์ทางสังคมที่เกี่ยวข้องกับการใช้ทรัพยากร การท่องเที่ยว และข้อจำกัดด้านกฎหมาย ข้อมูลที่ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยวิธี Content Analysis เพื่อสกัดประเด็นสำคัญและเชื่อมโยงกับผลเชิงปริมาณ

ขั้นตอนที่ 5 การบูรณาการข้อมูล (Integration Phase) คือ นำผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพมาสังเคราะห์ร่วมกันในระดับการตีความ (interpretation level integration) โดยเปรียบเทียบความสอดคล้องของผลค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) กับข้อมูลเชิงสังคม กฎหมาย และกายภาพ เพื่ออธิบายความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท จังหวัดอุดรธานี

ขั้นตอนที่ 6 การตีความเชิงองค์รวมและเสนอแนวทางเชิงนโยบาย คือ สังเคราะห์ข้อค้นพบในมิติพหุมิติ เพื่อเสนอแนวทางการจัดการพื้นที่มรดกโลกอย่างยั่งยืน ทั้งในเชิงกฎหมาย (ข้อเสนอปรับปรุงพระราชบัญญัติ) เชิงกายภาพ (การจัดการสภาพดินและระบบนิเวศ) และเชิงสังคม (การบริหารจัดการการท่องเที่ยวและการมีส่วนร่วมของชุมชน) โดยใช้ฐานข้อมูลเชิงพื้นที่จากเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (GIS) เป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท ตั้งอยู่ในเขตตำบลเมืองพาน อำเภอบ้านผือ จังหวัดอุดรธานี ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 3,740 ไร่ และอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของ กรมศิลปากร ซึ่งมีกลุ่มโบราณสถานที่เปิดให้นักท่องเที่ยวเข้าชมและศึกษาจำนวน 28 แห่ง จากทั้งหมด 74 แห่ง พื้นที่ดังกล่าวตั้งอยู่บนแนวเทือกเขาภูพานตอนปลาย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของภูมิประเทศแบบหินทราย (sandstone plateau) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย อันมีลักษณะเด่นด้านธรณีสัณฐานและ ภูมิทัศน์วัฒนธรรมที่สัมพันธ์กับการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์มาอย่างต่อเนื่อง [7] โดยอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาทเป็นแหล่งโบราณคดีที่สะท้อนพัฒนาการทางความคิด ความเชื่อ และความสามารถเชิงเทคโนโลยีของมนุษย์ตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์จนถึงสมัยประวัติศาสตร์ตอนต้น ลักษณะเด่นของพื้นที่คือกลุ่มเพิงหินและโขดหินรูปทรงคล้ายดอกเห็ด (mushroom-shaped rock formations) อันเกิดจากกระบวนการผุพังและการกัดเซาะของหินทรายตามธรรมชาติในระยะเวลายาวนาน อีกหนึ่งลักษณะสำคัญของพื้นที่คือการปรากฏของหลุมหินรูปทรงกระบอกหรือก้นหม้อที่เรียกว่า “กุมภลักษณ์” (potholes) ซึ่งเกิดจากกระบวนการกัดเซาะเชิงกล (mechanical erosion) โดยกระแสน้ำในฤดูน้ำหลากพัดพาเศษกรวด หิน และทรายหมุนวนอยู่ในแอ่งเล็ก ๆ บนผิวหิน จนกัดเซาะให้เกิดหลุมลึกและกว้างขึ้น [8] กระบวนการดังกล่าวสะท้อนพลวัตทางธรณีวิทยาที่ดำเนินมาอย่างยาวนานก่อนการเข้ามาของมนุษย์ ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นแหล่งมรดกโลกโดย UNESCO ภายใต้อนุสัญญาคุ้มครองมรดกโลก ค.ศ. 1972 (Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage) ซึ่งกำหนดหลักการสำคัญว่าพื้นที่ที่มี “คุณค่าโดดเด่นเป็นสากล” (Outstanding Universal Value: OUV) ต้องได้รับการคุ้มครองและบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ [9] การขึ้นทะเบียนดังกล่าวไม่ได้เป็นเพียงการยอมรับคุณค่าเชิงสัญลักษณ์ หากยังมีนัยต่อพันธกรณีของรัฐภาคีในการจัดทำแผนบริหารจัดการ (management plan) การกำหนดเขตกันชน (buffer zone) และการติดตามสภาพการอนุรักษ์อย่างต่อเนื่อง การขึ้นทะเบียนเป็นมรดกโลกมีผลเชิงโครงสร้างอย่างน้อย 3 ประการ ได้แก่ 1) ด้านการบริหารจัดการ ต้องมีการจัดทำแผนบริหารจัดการที่สอดคล้องกับมาตรฐานสากล รวมถึงการติดตามและรายงานสถานะการอนุรักษ์ต่อคณะกรรมการมรดกโลกอย่างต่อเนื่อง 2) ด้านเศรษฐกิจและสังคม การเพิ่มขึ้นของนักท่องเที่ยวและการลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งอาจสร้างรายได้แก่ชุมชน แต่ในขณะเดียวกันก็เพิ่มแรงกดดันต่อทรัพยากร และ 3) ด้านสิ่งแวดล้อมและภูมิทัศน์ การปรับปรุงสิ่งอำนวยความสะดวก การก่อสร้าง และการใช้พื้นท่องเที่ยวอาจส่งผลต่อระบบนิเวศโดยรอบ หากไม่มีการกำหนดขีดความสามารถรองรับอย่างชัดเจน ดังนั้น พื้นที่มรดกโลกจำเป็นต้องมีระบบบริหารจัดการแบบบูรณาการที่เชื่อมโยงมิติทางวัฒนธรรม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมเข้าด้วยกัน มิฉะนั้น การรักษาคุณค่าโดดเด่นเป็นสากลอาจถูกบั่นทอน [10]

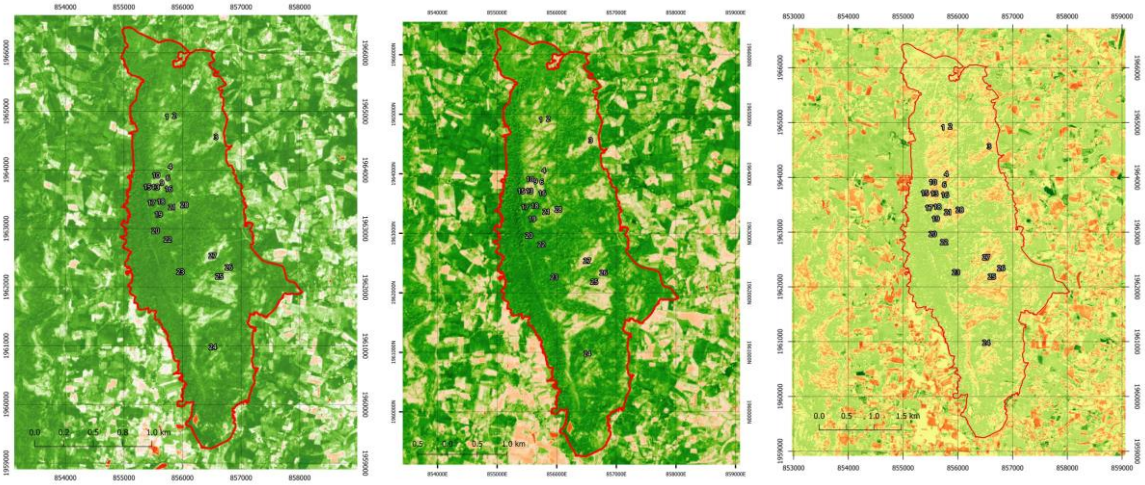
5.1 ผลการศึกษา

1. การวิเคราะห์ค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในโปรแกรม SNAP

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2 ให้ข้อมูลเชิงสเปกตรัมที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 100 เมตร ในช่วงคลื่นแสงสีแดง (Red) และใกล้อินฟราเรด (Near Infrared: NIR) สำหรับการคำนวณค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) โดยดำเนินการประมวลผลผ่านโปรแกรม SNAP (Sentinel Application Platform) ตามขั้นตอนมาตรฐาน ได้แก่ การปรับแก้ค่า

การสะท้อนเชิงบรรยากาศ (Atmospheric Correction) การตัดขอบเขตพื้นที่ศึกษา (Spatial Subset) และการสร้างชั้นข้อมูลดัชนีพรรณพืชด้วยสมการ NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) ผลการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ พบว่า ค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) ในพื้นที่ศึกษามีช่วงค่าระหว่างประมาณ -0.05 ถึง 0.78 โดยมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ระดับปานกลาง อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาเชิงเปรียบเทียบระหว่าง “พื้นที่โบราณสถานและพื้นที่กันชน” กับ “พื้นที่ป่าธรรมชาติที่อยู่ห่างออกไป” พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเชิงพื้นที่ กล่าวคือ พื้นที่โดยรอบโบราณสถานสะท้อนถึงความหนาแน่นของพืชพรรณที่ลดลง

จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ผ่านภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ในรูปแบบการวิเคราะห์ค่าสีดัชนีพรรณพืช (NDVI) การประกาศขึ้นทะเบียนเป็นมรดกโลกของอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาทใน พ.ศ. 2567 คณะผู้วิจัยได้นำภาพถ่ายดาวเทียมในช่วง 2 ปีย้อนหลัง ดังรูปที่ 1 (ก) มาเคราะห์หาค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) พบว่า ป่าไม้มีความอุดมสมบูรณ์เป็นส่วนมาก ซึ่งต่างจากรูปที่ 1 (ข) หลังประกาศเป็นมรดกโลกได้ 2 ปี พบว่า ป่าไม้บางส่วนมีความเบาบางลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเอาค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) ทั้ง 2 ปี มาลบกัน โดยจะเห็นได้จากรูปที่ 1 (ค) พบว่า บริเวณจุดสำคัญของโบราณสถานที่เปิดให้เข้าชมมีสีแดงและเหลือง สะท้อนถึงความหนาแน่นของป่าไม้ลดลงเพียงในระยะเวลา 2 ปี



(ก) ค่าดัชนีพรรณพืชใน พ.ศ. 2565 (ข) ค่าดัชนีพรรณพืชใน พ.ศ. 2569 (ค) ค่าดัชนีพรรณพืชที่เปลี่ยนแปลง

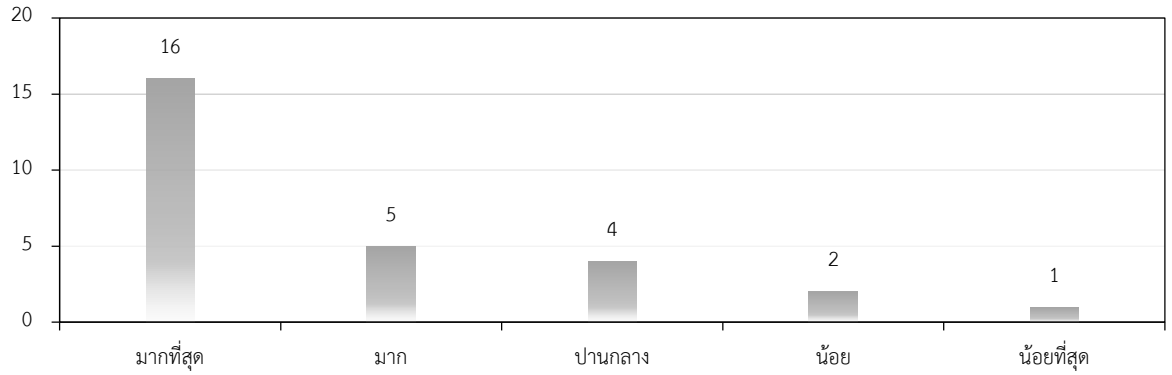
รูปที่ 1 แสดง (ก) ดัชนีพรรณพืชก่อนการเป็นมรดกโลก (ข) ดัชนีพรรณพืชหลังการเป็นมรดกโลก (ค) ค่าสีการเปลี่ยนแปลงของดัชนีพรรณพืช

2. การประเมินความเสี่ยงของการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพรรณพืชรอบโบราณสถาน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 รายชื่อโบราณสถานที่เปิดให้นักท่องเที่ยวเยี่ยมชม [11]

ลำดับ	ชื่อโบราณสถาน	ลำดับ	ชื่อโบราณสถาน	ลำดับ	ชื่อโบราณสถาน
1	ถ้ำพระเสี่ยง	11	ถ้ำช้าง	21	คอกม้าท้าวบารส
2	เจดีย์ร้าง	12	หีบศพนางอุสา	22	ภาพเขียนสีกลุ่มห้วยหินร่อง
3	ถ้ำป.ปลา	13	บ่อน้ำนางอุสา	23	พระบาทหลังเต่า
4	ถ้ำดินเพียง	14	หอนางอุสา	24	ถ้ำเกิ้งหรือถ้ำกวาง
5	วัดพ่อตา	15	ฉางข้าวนายพราน	25	เพิงหินด่านใหญ่
6	วัดลูกเขย	16	เพิงหินนกกระทา	26	โนนสาวเอ้
7	ถ้ำพระ	17	ผาเสด็จ	27	วัดพระพุทธบาทบัวบก
8	หีบศพพ่อตา	18	ถ้ำวัว-คน	28	คอกม้าน้อย
9	หีบศพท้าวบารส	19	ถ้ำฤาษี		
10	กู่นางอุสา	20	ผาสวรรค์		

การศึกษานี้เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลในโปแกรม SNAP มาวิเคราะห์ร่วมกับการลงสำรวจพื้นที่จริงซึ่งผลการดำเนินงาน พบว่า โบราณสถานที่เป็นพื้นที่ให้นักท่องเที่ยวเข้าชมมีทั้งหมด 28 แห่ง โดยมีค่าดัชนีพรรณพืชโดยรอบลดลงจากการประเมินหลังการขึ้นทะเบียนเป็นมรดกโลก ดังนี้ ระดับมากที่สุดมีจำนวน 16 แห่ง ได้แก่ 1,2,3,4,6,8,10,11,12,13,15,21,25,26,27, และ 28 ระดับมาก 5 แห่ง ได้แก่ 5,7,9,14, และ 24 ระดับปานกลาง 4 แห่ง ได้แก่ 16,17,20, และ 23 ระดับน้อย 2 แห่ง ได้แก่ 18, และ 19 สุดท้ายระดับน้อยที่สุด 1 แห่ง ได้แก่ 22 จากผลการศึกษานี้แสดงเป็นแผนภูมิแท่งได้ ดังนี้



รูปที่ 2 แสดงผลการประเมินระดับความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรธรรมชาติรอบโบราณสถาน

3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพรรณพืชรอบโบราณสถาน

มิติกฎหมาย พระราชบัญญัติโบราณสถาน โบราณวัตถุ ศิลปวัตถุ และพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ (ฉบับที่ 2) พุทธศักราช 2535 มีเป้าหมายหลักในการคุ้มครองคุณค่าทางประวัติศาสตร์และโบราณคดี แต่ยังมิได้ระบุข้อห้ามหรือกลไกเชิงป้องกันที่ชัดเจนเกี่ยวกับ “ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมรอบโบราณสถาน” โดยตรง โดยเฉพาะประเด็นความเสื่อมโทรมของพืชพรรณหรือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิทัศน์เชิงนิเวศ ข้อเสนอให้เพิ่มเติมในหมวดที่ 1 มาตรา 14 โดยกำหนดว่า “ห้ามมิให้ผู้ใดกระทำกิจกรรมหรือประพฤติตนอันก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมรอบโบราณสถาน” สะท้อนแนวคิดการขยายขอบเขตการคุ้มครองจาก “ตัวโบราณสถาน” ไปสู่ “ภูมิทัศน์วัฒนธรรม (cultural landscape)” ซึ่งเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับกรอบการอนุรักษ์ของ UNESCO ที่เน้นการจัดการพื้นที่กันชน (buffer zone) และบริบทโดยรอบอย่างเป็นระบบ ในเชิงความสัมพันธ์กับค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) ช่องว่างทางกฎหมายดังกล่าวอาจทำให้กิจกรรมที่กระทบต่อโครงสร้างพืชพรรณ เช่น การปรับพื้นที่ การก่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวก หรือการใช้ประโยชน์ที่ดินเชิงพาณิชย์ เกิดขึ้นโดยไม่มีมาตรการควบคุมเฉพาะด้านสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้ค่าดัชนีพรรณพืชมีแนวโน้มลดลงในระยะยาว การแก้ไขกฎหมายจึงมิใช่เพียงการเพิ่มข้อห้าม แต่คือการสร้าง “กลไกกำกับเชิงระบบนิเวศ” เพื่อเชื่อมโยงการอนุรักษ์มรดกวัฒนธรรมกับความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ การเปิดให้นักท่องเที่ยวเข้าชมส่งผลต่อการปรับสภาพแวดล้อมเชิงพื้นที่ที่อาจส่งผลต่อกฎหมายข้างต้น และแนวทางการอนุรักษ์ของ UNESCO โดยจะเห็นได้จากรูปที่ 3 (ข)

มิติกายภาพ พื้นที่รอบโบราณสถานมีลักษณะเป็นดินร่วนปนทรายร่วมกับหินตะกอน ซึ่งมีคุณสมบัติการระบายน้ำสูงและความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 3 (ค) ส่งผลให้พืชพรรณเผชิญข้อจำกัดด้านความชุ่มชื้น โดยเฉพาะในฤดูแล้ง โครงสร้างดินลักษณะนี้ยังมีความเปราะบางต่อการชะล้างพังทลาย เมื่อมีการเหยียบย่ำหรือการปรับสภาพพื้นที่ ในเชิงการรับรู้ระยะไกล (RS) ดัชนีพรรณพืช (NDVI) เป็นตัวชี้วัดความเขียวชอุ่มและความหนาแน่นของพืชพรรณ การที่ค่าดัชนีลดลง

จึงอาจสะท้อนทั้งความเครียดของพืช (plant stress) และการลดลงของชีวมวล (biomass) ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับข้อจำกัดทางกายภาพของดินและชั้นหิน อย่างไรก็ตาม การอธิบายการลดลงของดัชนีพรรณพืช (NDVI) ควรหลีกเลี่ยงการเหมารวมว่าเป็นผลจากธรรมชาติทั้งหมด เพราะปัจจัยกายภาพอาจทำหน้าที่เป็น “ตัวเร่ง (amplifier)”

(ก) โบราณสถานลำดับที่ 14 (จุดศูนย์กลาง) (ข) ลักษณะการทำเส้นทางท่องเที่ยว (ค) บริเวณพื้นที่ที่เป็นลานหินตะกอน

รูปที่ 3 แสดง (ก) จุดที่นักท่องเที่ยวหนาแน่น (ข) การตัดพืชคลุมดินออกเพื่อทำเส้นทาง (ค) พื้นที่ที่ไม้ยืนต้นไม่สามารถเติบโตได้

มิติสังคม หลังการขึ้นทะเบียนเป็นแหล่งมรดกโลกใน พ.ศ. 2567 (ค.ศ. 2024) ภายใต้การรับรองของ UNESCO พื้นที่มีแนวโน้มได้รับความสนใจจากนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การขยายตัวของกิจกรรมการท่องเที่ยว เช่น การสร้างจุดศูนย์กลางในการท่องเที่ยว จนทำให้เป็นจุดสำคัญที่นักท่องเที่ยวเกือบทุกคนต้องมา ดังจากเห็นจากรูปที่ 3 (ก) รวมถึงมีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน การสร้างเส้นทางเดิน หรือการจัดกิจกรรมส่งเสริมการท่องเที่ยว อาจก่อให้เกิดการบดอัดหน้าดินและการรบกวนพืชพรรณ ในขณะเดียวกัน การใช้ประโยชน์ทรัพยากรโดยชุมชน เช่น การเก็บของป่า การเลี้ยงสัตว์ หรือการใช้พื้นที่โดยรอบเพื่อกิจกรรมทางเศรษฐกิจ ล้วนเป็นแรงกดดันเชิงพื้นที่ที่อาจสะท้อนผ่านค่าดัชนีพรรณพืชที่ลดลง อย่างไรก็ดี ในเชิงวิพากษ์ การเพิ่มขึ้นของการท่องเที่ยวมิได้มีผลเชิงลบโดยอัตโนมัติ หากมีระบบบริหารจัดการพื้นที่ที่ดี และการมีส่วนร่วมของชุมชน การขึ้นทะเบียนอาจนำไปสู่การลงทุนด้านการอนุรักษ์และการฟื้นฟูระบบนิเวศได้เช่นกัน ดังนั้น การลดลงของดัชนีพรรณพืช (NDVI) ควรถูกวิเคราะห์ควบคู่กับนโยบายการจัดการ ไม่ใช่เพียงปริมาณนักท่องเที่ยวเท่านั้น จากข้อมูลดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงกิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลกระทบ ดังตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ต่อไปนี้

ผู้ให้สัมภาษณ์ รหัส T7 (นักท่องเที่ยวหญิงจากกรุงเทพมหานคร อายุ 34 ปี)

“หลังจากที่ภูพระบาทได้รับการขึ้นทะเบียนเป็นมรดกโลก ดิฉันเห็นข้อมูลในสื่อออนไลน์มากขึ้น เลยตั้งใจมาท่องเที่ยวค่ะ แต่บางจุดรู้สึกว่าทางเดินยังไม่ชัดเจน คนเดินเหยียบพื้นดินและหญ้าเยอะ บางบริเวณดูเหมือนพืชไม่ค่อยขึ้น...”

ผู้ให้สัมภาษณ์ รหัส C3 (ชาวบ้านในชุมชนใกล้พื้นที่ อายุ 56 ปี)

“เมื่อก่อนคนมาเที่ยวไม่มาก พื้นที่ป่าก็ยังดูสมบูรณ์ แต่ช่วงหลังคนมาเยอะขึ้น ชาวบ้านบางส่วนก็ขายของ เปิดร้าน ทำที่จอดรถเพิ่ม บางจุดต้องถางหญ้าเพื่อความสะดวก ผมคิดว่ามันก็ดีเรื่องรายได้ แต่ก็เห็นว่าต้นไม้บางส่วนลดลงจริง...”

ผู้ให้สัมภาษณ์ รหัส O1 (เจ้าหน้าที่อุทยาน อายุ 39 ปี)

“หลังจากขึ้นทะเบียนเป็นมรดกโลก จำนวนนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นชัดเจน เราพยายามจัดทำเส้นทางศึกษาธรรมชาติและจำกัดพื้นที่บางส่วน แต่การควบคุมยังมีข้อจำกัดเรื่องงบประมาณและบุคลากรจึงมีผลกระทบต่อพืชพรรณ...”

5.2 อภิปรายผล

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจาก Sentinel-2 ทำให้สามารถประเมินพลวัตของพืชพรรณโดยรอบ อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท ได้อย่างเป็นระบบและมีหลักฐานเชิงประจักษ์

ผลการวิจัยที่พบแนวโน้มการลดลงของดัชนีพรรณพืช (NDVI) ในพื้นที่โบราณสถานส่วนใหญ่หลังการขึ้นทะเบียนเป็นมรดกโลก สะท้อนให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างของภูมิทัศน์ที่สัมพันธ์กับกิจกรรมมนุษย์และแรงกดดันด้านการใช้ประโยชน์พื้นที่ ในเชิงทฤษฎีดัชนีพรรณพืช (NDVI) เป็นดัชนีที่พัฒนาเพื่อสะท้อนความแตกต่างของการสะท้อนคลื่นแสงย่านใกล้อินฟราเรดและแสงสีแดง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเขียวและผลิตภาพชีวภาพของพืช ชี้ให้เห็นว่าดัชนีพรร ณพืช (NDVI) สามารถใช้เป็นตัวแทน (proxy) ของการตอบสนองระบบนิเวศต่อการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การลดลงของค่าดัชนีในพื้นที่ศึกษาจึงอาจสะท้อนภาวะความเครียดของพืชพรรณจากแรงกดดันทั้งทางกายภาพและทางสังคม อย่างไรก็ตาม การตีความผลควรดำเนินไปอย่างระมัดระวังในเชิงวิธีวิทยา เนื่องจากดัชนีพรรณพืช (NDVI) วัด “ความหนาแน่นเชิงสเปกตรัม” ไม่ใช่ “คุณภาพเชิงนิเวศ” โดยตรง กล่าวคือ พื้นที่ที่มีการจัดภูมิทัศน์ใหม่หรือปรับปรุงเพื่อรองรับการท่องเที่ยว อาจมีพืชพรรณบางส่วนถูกตัดแต่งหรือเปลี่ยนชนิด ส่งผลให้ค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) ลดลง แม้ไม่ได้หมายถึงการเสื่อมโทรมเชิงระบบทั้งหมด นอกจากนี้ ปัจจัยด้านฤดูกาล ความชื้นในดิน และโครงสร้างดินล้วนมีอิทธิพลต่อค่าดัชนี [12] จึงควรมีการตรวจสอบข้อมูลภาคสนามประกอบเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์จากภาพถ่ายดาวเทียม อย่างไรก็ตาม การขึ้นทะเบียนเป็นมรดกโลกภายใต้กรอบของ UNESCO ตามอนุสัญญาคุ้มครองมรดกโลก ค.ศ. 1972 มีนัยสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของการรับรู้ในระดับสากลและการขยายตัวของการท่องเที่ยว งานวิจัยด้านการท่องเที่ยวมรดกวัฒนธรรมเสนอว่า การยกระดับสถานะเป็นมรดกโลกมักนำไปสู่การเพิ่มจำนวนนักท่องเที่ยวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งก่อให้เกิดทั้งโอกาสทางเศรษฐกิจและแรงกดดันต่อทรัพยากรพื้นที่ [13] ผลการศึกษาครั้งนี้ที่พบแนวโน้มค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) ลดลงในหลายจุด จึงอาจสะท้อนปรากฏการณ์ดังกล่าวในบริบทเชิงพื้นที่ของภูพระบาท ทั้งนี้ ประเด็นสำคัญไม่ได้อยู่ที่การลดลงของค่าดัชนีเพียงอย่างเดียว หากแต่อยู่ที่กลไกการจัดการรองรับแรงกดดันดังกล่าว กล่าวคือ แม้สถานะมรดกโลกจะกำหนดให้มีการจัดทำแผนบริหารจัดการและการติดตามสภาพการอนุรักษ์ แต่หากการบริหารจัดการมุ่งเน้นการอนุรักษ์เชิงวัตถุ (monument-centered conservation) โดยละเลยบริบทภูมิทัศน์โดยรอบ ก็อาจทำให้ระบบนิเวศที่เป็นฐานรองรับคุณค่าทางวัฒนธรรมค่อย ๆ เสื่อมถอย การอภิปรายผลจึงชี้ให้เห็นความจำเป็นของแนวทางบูรณาการที่เชื่อมโยงข้อมูลภูมิสารสนเทศเข้ากับการกำหนดขีดความสามารถรองรับ (carrying capacity) และมาตรการควบคุมกิจกรรมการท่องเที่ยวอย่างเหมาะสม ดังนั้น ผลการวิจัยสนับสนุนข้อเสนอเชิงนโยบายว่าการอนุรักษ์พื้นที่มรดกโลกควรดำเนินไปบนฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ตรวจสอบได้ พร้อมทั้งตระหนักถึงความสัมพันธ์เชิงซ้อนระหว่างธรรมชาติ วัฒนธรรม และสังคม การใช้ดัชนีพรรณพืช (NDVI) และเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ (GIS) จึงไม่ใช่เพียงเครื่องมือทางเทคนิค หากเป็นกลไกสำคัญในการสร้าง “หลักฐานเชิงประจักษ์” เพื่อสนับสนุนการจัดการพื้นที่อย่างยั่งยืนในระยะยาว

6. สรุปผลการศึกษา

การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพรรณพืช (NDVI) จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 สะท้อนให้เห็นแนวโน้มการลดลงของความสมบูรณ์พืชพรรณรอบโบราณสถานทั้ง 28 แห่ง ภายในอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท จังหวัดอุดรธานี ภายหลังการขึ้นทะเบียนเป็นแหล่งมรดกโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ที่อยู่ในระดับการลดลงมากที่สุดจำนวน 16 แห่ง ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนมากกว่าครึ่งหนึ่งของพื้นที่ศึกษา ข้อค้นพบดังกล่าวมีนัยสำคัญเชิงพื้นที่และเชิงนโยบาย

1. มิติกายภาพ ลักษณะดินร่วนปนทรายและชั้นหินตะกอนของพื้นที่ศึกษาเป็นปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลต่อศักยภาพในการอุ้มน้ำและการยึดเกาะของรากพืช เมื่อประกอบกับการเหยียบย่ำ การเปิดหน้าดิน และการเปลี่ยนแปลงการไหลบ่าของน้ำผิวดินจากกิจกรรมการท่องเที่ยว ย่อมเร่งให้เกิดการเสื่อมโทรมของพืชพรรณอย่างรวดเร็ว ค่าดัชนีพรรณพืชที่ลดลงจึงไม่ได้เป็นเพียงตัวเลขเชิงเทคนิค หากแต่เป็นตัวชี้วัดเชิงนิเวศที่สะท้อนภาวะความเครียดของระบบนิเวศโดยรอบโบราณสถาน

2. มิติกฎหมาย ผลการศึกษาชี้ให้เห็นช่องว่างเชิงนโยบายของพระราชบัญญัติโบราณสถาน (ฉบับที่ 2) พุทธศักราช 2535 ซึ่งมุ่งเน้นการคุ้มครองตัวโบราณสถานเป็นหลัก โดยยังไม่ได้กำหนดมาตรการเฉพาะต่อการป้องกันความเสียหายทางสิ่งแวดล้อมโดยรอบอย่างชัดเจน สถานการณ์ดังกล่าวสะท้อนปัญหาเชิงโครงสร้างในการจัดการพื้นที่มรดกทางวัฒนธรรมที่ยังแยกส่วนระหว่างการอนุรักษ์โบราณสถานกับการอนุรักษ์ภูมิทัศน์ การเสนอให้เพิ่มเติมบทบัญญัติด้านสิ่งแวดล้อมจึงไม่ใช่เพียงข้อเสนอทางกฎหมาย หากแต่เป็นการปรับกรอบคิดการอนุรักษ์ให้ครอบคลุมมิติภูมิทัศน์วัฒนธรรมอย่างองค์รวม

3. มิติสังคม การเพิ่มขึ้นของกิจกรรมการท่องเที่ยวภายหลังการขึ้นทะเบียนเป็นมรดกโลก แม้ส่งผลเชิงบวกต่อเศรษฐกิจท้องถิ่นและการรับรู้คุณค่าทางวัฒนธรรม แต่กลับก่อให้เกิดแรงกดดันต่อทรัพยากรธรรมชาติในพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญ การใช้ประโยชน์ทรัพยากรโดยชุมชนและผู้ประกอบการ หากขาดกลไกกำกับดูแลที่สอดคล้องกับศักยภาพรองรับของพื้นที่ (carrying capacity) อาจนำไปสู่การเสื่อมโทรมสะสมในระยะยาว ผลการวิจัยจึงสะท้อนให้เห็นว่าการบริหารจัดการพื้นที่มรดกโลกจำเป็นต้องคำนึงถึงความสมดุลระหว่างการใช้ประโยชน์และการอนุรักษ์อย่างรอบด้าน

ดังนั้น การลดลงของค่าดัชนีพรรณพืชในพื้นที่ศึกษาเป็นผลจากปฏิสัมพันธ์เชิงพหุมิติระหว่างข้อจำกัดทางกายภาพ ช่องว่างเชิงกฎหมาย และพลวัตทางสังคม ไม่ได้เกิดจากปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งโดยลำพัง ข้อค้นพบนี้ตอกย้ำความสำคัญของการใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเป็นเครื่องมือเฝ้าระวังเชิงพื้นที่ควบคู่กับการวิเคราะห์เชิงสังคมและเชิงนโยบาย เพื่อสนับสนุนการกำหนดมาตรการจัดการที่ตั้งอยู่บนฐานข้อมูลเชิงประจักษ์ และนำไปสู่การพัฒนาพื้นที่มรดกทางวัฒนธรรมอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., ... Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. Remote Sensing of Environment, 120, 25-36.

[2] Immitzer, M., Vuolo, F., & Atzberger, C. (2016). First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classification in central Europe. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 118, 1-12.

[3] Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: The world of volunteered geography. GeoJournal, 69(4), 211-221.

[4] Antrop, M. (2005). Why landscapes of the past are important for the future. Landscape and Urban Planning, 70(1-2), 21-34.

[5] Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). Designing and conducting mixed methods research (3rd ed.). United States of America: SAGE Publications.

[6] Creswell, J. W. (2014). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (4th ed.). United States of America: SAGE Publications.

[7] กรมศิลปากร. (2560). อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท. กรุงเทพมหานคร: กรมศิลปากร.

[8] กรมทรัพยากรธรณี. (2558). ธรณีวิทยาและแหล่งท่องเที่ยวเชิงธรณีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[9] UNESCO. (1972). Convention concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage. Paris: UNESCO.

[10] Bandarin, F., & van Oers, R. (2012). The historic urban landscape: Managing heritage in an urban century. Oxford: Wiley-Blackwell.

[11] อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท. (2567). โบราณคดีและพิพิธภัณฑ์, 25 มิถุนายน 2568. https://shorturl.asia/sfwkK

[12] Turner, M. G. (1989). Landscape ecology: The effect of pattern on process. Annual Review of Ecology and Systematics, 20, 171-197.

[13] Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 8(2), 127-150.

สารสนเทศสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ
Environmental Information and Geo-Informatics Technology

Poster Presentation

การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาค่าฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดนครสวรรค์

จิตราพันธ์ มหันโต* และ วริยา ชาติสุทธิ์

โรงเรียนนวมินทราชูทิศ มัชฌิม ตำบลนครสวรรค์ตก อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ ประเทศไทย
Corresponding author: jitrapan1501@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาแนวโน้มค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในจังหวัดนครสวรรค์ในปีพ.ศ.2569 โดยใช้ค่าฝุ่นในช่วงปี พ.ศ. 2564–2568 (2) พัฒนาแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าฝุ่น PM2.5 ในอนาคต และ (3) เสนอแนวทางการวางแผนรับมือปัญหามลพิษทางอากาศ ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากเว็บไซต์ Air4Thai โดยวิเคราะห์ข้อมูลรายวันของค่าฝุ่น PM2.5 ด้วยอนุกรมเวลา ประกอบด้วยการเตรียมข้อมูล ตรวจสอบค่าที่ขาดหาย สำรวจข้อมูลเบื้องต้น วิเคราะห์ฤดูกาล สร้างแบบจำลอง การใช้เทคนิค Moving Average และปรับแต่งแบบจำลองด้วยค่าความคลาดเคลื่อนแต่ละช่วงเวลา

ผลการศึกษา พบว่า ฝุ่น PM2.5 มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับฤดูกาลอย่างชัดเจน โดยมีค่าสูงในช่วงฤดูหนาวถึงก่อนฤดูฝน (เดือนพฤศจิกายนถึงพฤษภาคม) และมีค่าต่ำในช่วงฤดูฝน มีแนวโน้มลักษณะเดียวกันในทุกปี การใช้แบบจำลอง Moving Average สามารถหาค่าแนวโน้มได้ดีในระดับหนึ่ง แต่พบความคลาดเคลื่อนในบางช่วงและปรับแบบจำลองโดยแบ่งกลุ่มความคลาดเคลื่อนตามช่วงวัน ผลการปรับแบบจำลองทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แสดงถึงความแม่นยำของแบบจำลองที่เพิ่มขึ้น

การพยากรณ์ค่าฝุ่น PM2.5 ในช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2569 แบบจำลองที่ปรับปรุงคาดการณ์แนวโน้มสอดคล้องกับรูปแบบข้อมูลจริงในอดีต โดยเป็นช่วงที่แนวโน้มค่าฝุ่นเพิ่มสูงขึ้นตามฤดูกาล ผลการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการวางแผนรับมือมลพิษทางอากาศ การเตือนประชาชน ตลอดจนเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาแบบจำลองในอนาคต

การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาสามารถนำมาใช้ในการติดตามและพยากรณ์แนวโน้มมลพิษทางอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังเป็นแนวทางสำคัญสำหรับการพัฒนาระบบติดตามคุณภาพอากาศแบบเชิงพื้นที่ในระดับจังหวัดต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: อนุกรมเวลาค่าฝุ่น PM2.5 / การสร้างแบบจำลอง Moving Average / พยากรณ์แนวโน้มมลพิษทางอากาศทางเลือก

Time series analysis of PM2.5 concentrations in Nakhon Sawan Province

Jitrapan Mahanto* and Wariya Chatsut

Nawaminthrachuthit Matchim School, Nakhon Sawan Tok, Mueang Nakhon Sawan District, Nakhon Sawan, Thailand
**Corresponding author: jitrapan1501@gmail.com*

Abstract

Research aims to: (1) examine the trends of particulate matter smaller than 2.5 microns (PM2.5) in Nakhon Sawan Province and forecast concentrations for 2026 using historical data from 2021–2025; (2) develop a predictive model for future PM2.5 concentrations; and (3) propose guidelines for air pollution management. Daily PM2.5 data were retrieved from the Air4Thai website and analyzed using time series analysis techniques. The methodology involved data preprocessing, missing value imputation, exploratory data analysis (EDA), seasonal analysis, and the construction of a Moving Average (MA) model, which was further refined through error adjustment across specific intervals.

The findings reveal that PM2.5 concentrations exhibit a distinct seasonal pattern, consistently peaking during the period from November to May (winter to pre-monsoon season) and decreasing during the rainy season. While the initial Moving Average model effectively identified general trends, periodic inaccuracies were observed. Consequently, the model was optimized by categorizing and adjusting for errors based on specific time intervals. This refinement significantly reduced the error rates, thereby enhancing the model's predictive accuracy.

Predictions for January to December 2026 using the improved model align with historical seasonal trends, indicating a rising trajectory during these months. The results of this study can be utilized for air pollution contingency planning, public health alerts, and as a foundational framework for future model development.

This study demonstrates that time series analysis is an effective tool for monitoring and forecasting air pollution trends, providing a vital pathway for the development of localized spatial air quality monitoring systems in the future.

Keywords: PM2.5 Time Series / Moving Average Modeling / Air Pollution Trend Forecasting

1. บทนำ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ประเทศไทยยังคงเผชิญกับปัญหามลพิษทางอากาศจากฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือ PM2.5 (Particulate Matter with a diameter of less than 2.5 microns) ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เศรษฐกิจ และคุณภาพชีวิตของประชาชนอย่างต่อเนื่อง[2], [3] โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวถึงก่อนฤดูฝนของทุกปีที่มักเกิดการสะสมของมลพิษในบรรยากาศ จากทั้งกิจกรรมการเผาในพื้นที่เกษตร การคมนาคมขนส่ง และภาคอุตสาหกรรม[2] ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ ระบุว่าหลายพื้นที่ของประเทศยังคงมีค่าฝุ่นเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศ (37.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง) เป็นจำนวนหลายวันต่อปี[1], [2] โดยเฉพาะในภาคเหนือ ภาคกลาง และเขตเมืองขนาดใหญ่ ขณะเดียวกัน องค์การอนามัยโลก ได้จัดให้ PM2.5 เป็นหนึ่งในปัจจัยเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อสุขภาพมนุษย์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับโรคระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจ และการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร[3]

จังหวัดนครสวรรค์เป็นพื้นที่กึ่งเมืองกึ่งเกษตรกรรม และเป็นศูนย์กลางการคมนาคมของภาคกลางตอนบน เชื่อมต่อระหว่างภาคเหนือและภาคกลาง มีทั้งกิจกรรมทางการเกษตร การคมนาคมหนาแน่น และการขยายตัวของเขตเมือง ส่งผลให้มีแหล่งกำเนิดมลพิษหลากหลายรูปแบบ[2], [8] นอกจากนี้ในบางช่วงฤดูกาลยังได้รับอิทธิพลจากการเผาในพื้นที่ใกล้เคียง ทำให้คุณภาพอากาศแปรผันตามฤดูกาลอย่างชัดเจน จากข้อมูลย้อนหลังปี พ.ศ. 2564–2568 พบว่าค่าฝุ่น PM2.5 ของจังหวัดมีแนวโน้มสูงในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงพฤษภาคม และลดลงในช่วงฤดูฝน[1], [8] รูปแบบดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในหลายปีที่ผ่านมา สะท้อนถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงเชิงฤดูกาลที่ชัดเจน จากบริบทดังกล่าว การติดตามและพยากรณ์แนวโน้มค่าฝุ่น PM2.5 อย่างเป็นระบบจึงมีความสำคัญต่อการวางแผนรับมือสถานการณ์ล่วงหน้า การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาแนวโน้มค่าฝุ่น PM2.5 ของจังหวัดนครสวรรค์เพื่อประเมินสถานการณ์ในปี พ.ศ. 2569 โดยใช้ข้อมูลรายวันย้อนหลังระหว่างปี พ.ศ. 2564–2568 จากเว็บไซต์ Air4Thai[1], [8] และนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีอนุกรมเวลา ประกอบด้วยการเตรียมข้อมูล การตรวจสอบค่าที่ขาดหาย การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น การวิเคราะห์ฤดูกาล และการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค Moving Average พร้อมทั้งปรับปรุงแบบจำลองโดยพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละช่วงเวลา

จากเหตุผลที่กล่าวข้างต้น คณะผู้จัดทำโครงงาน จึงมีแนวคิดในการศึกษา “การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาค่าฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดนครสวรรค์เพื่อประเมินแนวโน้มและพยากรณ์ค่าในอนาคต” โดยมุ่งหวังที่จะวิเคราะห์รูปแบบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าฝุ่นละอองในช่วงห้าปีที่ผ่านมา และพัฒนาแบบจำลองการทำนายค่าฝุ่นในระยะสั้น ซึ่งจะช่วยให้สามารถคาดการณ์สถานการณ์ล่วงหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาแนวโน้มค่าฝุ่นละออง PM2.5 ในจังหวัดนครสวรรค์ระหว่างปี พ.ศ. 2564–2568
2. เพื่อพัฒนาแบบจำลองทำนายค่าฝุ่นละออง PM2.5 จังหวัดนครสวรรค์ในปี พ.ศ. 2569
3. เพื่อเสนอแนวทางการใช้ประโยชน์จากผลการศึกษาสำหรับหน่วยงานหรือประชาชนในจังหวัดนครสวรรค์

3. ขอบเขตของการศึกษา

3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหาที่ศึกษา

3.1.1 ค่าฝุ่นละออง PM2.5 รายวันในหน่วย μg/m³ รายวัน ในจังหวัดนครสวรรค์ ตั้งแต่ พ.ศ.2564 – 2568

3.1.2 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าฝุ่น PM2.5 รายวัน

3.1.3 การวิเคราะห์ทางสถิติและกราฟแนวโน้ม (Trend Analysis)

3.2 ขอบเขตของด้านตัวแปร

3.2.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ ค่าของฝุ่นละอองPM2.5 ในหน่วย μg/m³ รายวัน ในจังหวัดนครสวรรค์ตั้งแต่ พ.ศ.2564 – 2568

3.2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ แนวโน้มของค่าฝุ่นละออง PM2.5 ในหน่วย μg/m³ ในจังหวัดนครสวรรค์ ปี พ.ศ. 2569

3.2.3 ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ระดับการเผาไหม้ในภูมิภาคใกล้เคียง, นโยบายควบคุมมลพิษ

3.3 ขอบเขตด้านพื้นที่

ศึกษาเฉพาะข้อมูลค่าฝุ่นละออง PM2.5 ที่ตรวจวัดในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ โดยเน้นข้อมูลจากสถานีตรวจวัดหลักของกรมควบคุมมลพิษหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

3.4 ขอบเขตด้านเวลา

ศึกษาข้อมูลในช่วงเวลา ระหว่างวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2564 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2568

4.วิธีการศึกษา

4.1 การออกแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis) เพื่อศึกษารูปแบบของข้อมูล ได้แก่

ความแปรผัน (Variation)

รูปแบบฤดูกาล (Seasonality)

แนวโน้ม (Trend)

การพยากรณ์ค่าฝุ่น PM2.5 ในอนาคต (Forecasting)

การวิเคราะห์อนุกรมเวลาจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลคุณภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา[4], [5], [6], [7], [9]

4.2 แหล่งข้อมูล

ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้มาจากกรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department) เว็บไซต์: http://air4thai.pcd.go.th/ [1], [8] ข้อมูลที่นำมาใช้ประกอบด้วยค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 รายวันของสถานีวัดคุณภาพอากาศในจังหวัดนครสวรรค์ ต.ปากน้ำโพ อ.เมือง จ.นครสวรรค์ โครงการชลประทานนครสวรรค์

4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

เครื่องมือที่ใช้ในการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ Microsoft Excel ใช้สำหรับจัดเก็บข้อมูล ทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning) การคำนวณสถิติพื้นฐาน การสร้างกราฟแสดงแนวโน้ม และการวิเคราะห์อนุกรมเวลาเบื้องต้น เช่น Moving Average

4.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังนี้

4.4.1 การรวบรวมข้อมูล (Data Collection) ดาวน์โหลดข้อมูลค่าฝุ่น PM2.5 ของจังหวัดนครสวรรค์จากเว็บไซต์ Air4Thai เลือกช่วงเวลาที่ใช้ในการศึกษา 5 ปี

4.4.2 การเตรียมข้อมูล (Data Preparation) ตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูล จัดการข้อมูลที่หายไป (Missing Values) เช่น เติมค่าด้วยค่าเฉลี่ยข้อมูลด้านข้าง แปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่พร้อมต่อการวิเคราะห์

4.4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น (Exploratory Data Analysis: EDA) จัดรูปแบบตามเงื่อนไขใส่แถบสีเพื่อดูแนวโน้มข้อมูลเบื้องต้นของข้อมูลทั้งหมด

4.4.4 ตรวจหาฤดูกาลที่มีค่าฝุ่นสูงและต่อเนื่องกัน พร้อมกำหนดช่วงของค่าที่จะศึกษาแนวโน้ม

4.4.5 การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis) ใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ Moving Average เพื่อหาค่าแนวโน้มในรอบแรก

4.4.6 ตรวจสอบรูปแบบข้อมูลโดยการหาค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าฝุ่น pm2.5 พ.ศ. 2568 กับ ค่าแนวโน้มที่ได้มา

4.4.7 ศึกษาพฤติกรรมค่าความคลาดเคลื่อนว่าเป็นอย่างไร พร้อมทั้งแบ่งช่วงค่าความคลาดเคลื่อนที่สอดคล้องกันโดยใช้ช่วงของวันที่

4.4.8 คำนวณหาค่าคงที่ที่จะพัฒนาค่าแนวโน้มค่าฝุ่น pm2.5 จากการแบ่งช่วงค่าความคลาดเคลื่อนที่สอดคล้องกัน โดยใช้การหาค่าเฉลี่ย

4.4.9 นำค่าคงที่ของแต่ละช่วงไปบวกค่าแนวโน้มค่าฝุ่น pm2.5 รอบแรก และคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนใหม่ พร้อมเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของรอบแรกและรอบสองโดยการสร้างกราฟเส้น

4.4.10 นำค่าคงที่ที่ได้ในแต่ละช่วงที่คณะผู้จัดทำศึกษานำไปบวกกับค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของฝุ่นย้อนหลัง 5 ปี โดยให้น้ำหนักปีล่าสุดมากกว่าปีที่ไกลสุด เพื่อนำไปพยากรณ์ค่าฝุ่น ในช่วงเดือน 1 ม.ค. – 9 พ.ค. และ 2 พ.ย. – 31 ธ.ค 2569 (ช่วงที่มีค่าฝุ่นที่เฉลี่ย 4 ปี มากกว่า 20 µg/m³ และมีแนวโน้มอย่างมีนัยสำคัญ)

4.4.11 สร้างแนวโน้มค่าฝุ่นช่วงที่ศึกษาและจัดทำกราฟพยากรณ์ค่าฝุ่นในช่วงเดือน 1 ม.ค. – 9 พ.ค. และ 2 พ.ย. – 31 ธ.ค 2569

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูลอนุกรมเวลาค่าฝุ่น PM2.5 ในจังหวัดนครสวรรค์ และพยากรณ์ค่าในอนาคต โดยอาศัยขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลตามที่กำหนดไว้ในบทที่ 3 ผลการศึกษาแสดงดังต่อไปนี้

5.1 ผลการรวบรวมข้อมูล

ได้ทำการรวบรวมข้อมูลค่าฝุ่น PM2.5 ของจังหวัดนครสวรรค์เป็นระยะเวลา 5 ปี จากเว็บไซต์ Air4Thai ซึ่งข้อมูลมีความต่อเนื่องเพียงพอสำหรับใช้ในการวิเคราะห์อนุกรมเวลา ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าฝุ่น PM2.5 รายวัน (พ.ศ. 2564–2568)

วันเดือน	2021	2022	2023	2024	2025	วันเดือน	2021	2022	2023	2024	2025
1-ม.ค.	20	16	24	26.4	36.2	1-ธ.ค.	33	10	33.9	41.5	39.13628
2-ม.ค.	27	17	29	26.8	31.9	2-ธ.ค.	31	12	27.7	42.3	39.49401
3-ม.ค.	38	25	27	32.9	31.8	3-ธ.ค.	34	13	21.4	43.4	37.4587
4-ม.ค.	35	32	29	27.6	41.4	4-ธ.ค.	31	20	20.5	40.5	31.995
5-ม.ค.	37	34	24	35.5	43.9	5-ธ.ค.	37	17	22	28.3	31.4643
6-ม.ค.	36	34	22	36.9	50.6	6-ธ.ค.	44	12	31.6	25.2	27.3477
7-ม.ค.	30	34	19	38.3	52.6	7-ธ.ค.	47	18	20.3	32.1	28.703
8-ม.ค.	19	33	36	39.5	57.2	8-ธ.ค.	43	18	24.4	31	27.2605
9-ม.ค.	18	35	36	46.6	48.1	9-ธ.ค.	42	26	35.3	17.2	30.9377
10-ม.ค.	27	41	35	61.2	30.5	10-ธ.ค.	30	21	38.7	28.8	32.686
11-ม.ค.	25	49	20	56.7	22.5	11-ธ.ค.	24	20	43.3	38.8	27.653
12-ม.ค.	30	40	21	45.4	29	12-ธ.ค.	22	19	44.9	29.5	23.0818
13-ม.ค.	29	42	35	42.7	37	13-ธ.ค.	27	22	30.7	20.9	22.4759
14-ม.ค.	40	33	41	33.9	48.4	14-ธ.ค.	35	37	27.9	15	18.3788
15-ม.ค.	49	40	33	23.9	42.2	15-ธ.ค.	40	34	32	16	19.7029
16-ม.ค.	66	43	39	24.8	38.2	16-ธ.ค.	33	39	30.6	18.6	24.53312
17-ม.ค.	48	51	37	32	27.8	17-ธ.ค.	35	36	25.7	24.9	28.83611
18-ม.ค.	26	39	28	41.4	40.5	18-ธ.ค.	31	34	17	32.3	20.63386
19-ม.ค.	34	24	29	51.5	44.9	19-ธ.ค.	31	35	29.9	31.2	26.94877

จากข้อมูลเบื้องต้นพบว่าในบางช่วงมีข้อมูลหายไปเล็กน้อย จึงมีการตรวจสอบและจัดการตามขั้นตอน

5.2 ผลการเตรียมข้อมูล

ได้ทำการตรวจความสมบูรณ์ของข้อมูล และจัดการข้อมูลที่หายไป (Missing Values) ด้วยการแทนค่าด้วยค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้านข้าง เพื่อให้ข้อมูลมีความต่อเนื่องเหมาะสำหรับใช้ในแบบจำลอง นอกจากนี้ยังได้จัดรูปแบบข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบรายวันเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มและฤดูกาล

5.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น (Exploratory Data Analysis: EDA)

ได้ทำการจัดรูปแบบข้อมูลจากค่าเฉลี่ยรายวันของทั้ง 4 ปี พร้อมใช้การใส่สีตามเงื่อนไขเพื่อให้เห็นแนวโน้มความรุนแรงของค่าฝุ่นในแต่ละช่วงเวลาอย่างชัดเจน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แนวโน้ม PM2.5 รายวัน (Heat-colored)

วันเดือน	2564	2565	2566	2567	เฉลี่ย4ปี
28-เม.ย.	15	30	29	33.3	26.825
29-เม.ย.	12	12	35	31.5	22.625
30-เม.ย.	15	23	24	36.2	24.55
1-พ.ค.	18	16	26	47.6	26.9
2-พ.ค.	23	11	28	53.5	28.875
3-พ.ค.	22	12	30	47.6	27.9
4-พ.ค.	25	18	26	37.1	26.525
5-พ.ค.	24	16	24	40.8	26.2
6-พ.ค.	21	22	27	44.7	28.675
7-พ.ค.	20	10	32	34.2	24.05
8-พ.ค.	21	9	22	26.6	19.65
9-พ.ค.	15	10	23	27.1	18.775
10-พ.ค.	22	11	13	21.4	16.85
11-พ.ค.	19	12	18	18.8	16.95
12-พ.ค.	23	9	21	12.9	16.475
13-พ.ค.	23	13	13	19.7	17.175
14-พ.ค.	27	13	17	12.9	17.475

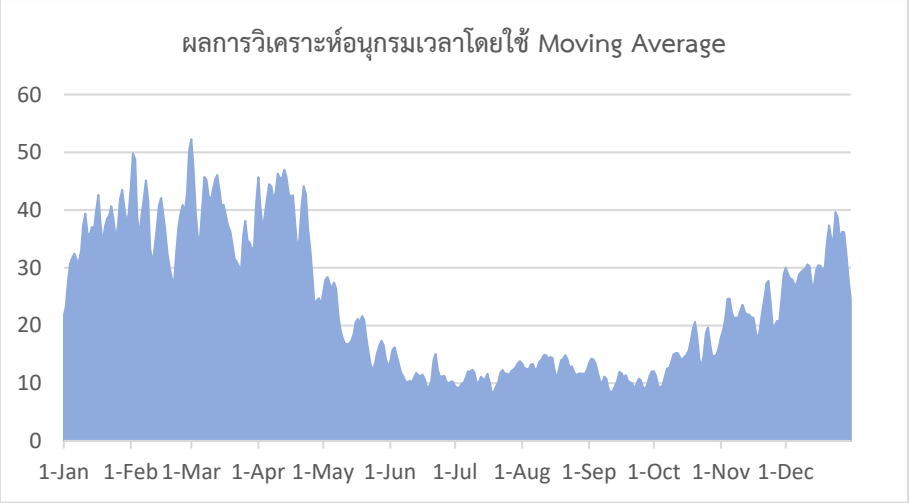
วันเดือน	2564	2565	2566	2567	เฉลี่ย4ปี
25-ต.ค.	16	34	12	19.1	20.275
26-ต.ค.	20	28	11.5	16.6	19.025
27-ต.ค.	20	10	11.3	16.1	14.35
28-ต.ค.	19	11	13.8	16.2	15
29-ต.ค.	14	16	11.2	16.3	14.375
30-ต.ค.	10	26	6.5	19.8	15.575
31-ต.ค.	10	35	5.6	17.3	16.975
1-พ.ย.	13	32	10.9	19.6	18.875
2-พ.ย.	12	29	18.9	18.8	19.675
3-พ.ย.	17	30.5	22.6	20.9	22.75
4-พ.ย.	18	30.5	23.4	33.8	26.425
5-พ.ย.	19	30.5	24.6	17.4	22.875
6-พ.ย.	21	30.5	22.3	12.8	21.65
7-พ.ย.	23	30.5	12.3	17.7	20.875
8-พ.ย.	17	32	15.3	22.9	21.8
9-พ.ย.	15	34	12.5	22.1	20.9
10-พ.ย.	20	30	17.5	30.2	24.425

5.4 การตรวจหาฤดูกาลและช่วงค่าฝุ่นที่สูง

จากการตรวจสอบข้อมูลรายปี พบว่าช่วงที่ค่าฝุ่นสูงและต่อเนื่องมากที่สุด คือช่วง วันที่ 3 เดือน พฤศจิกายน ถึง วันที่ 8 เดือน พฤษภาคม ของทุกปี จึงกำหนดช่วงนี้เป็นช่วงสำคัญในการศึกษาแนวโน้มและสร้างแบบจำลองสำหรับพยากรณ์

5.5 ผลการวิเคราะห์อนุกรมเวลาโดยใช้ Moving Average

ได้ใช้วิธี Moving Average เพื่อหาค่าแนวโน้มในรอบแรก (Initial Trend) ของข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 1

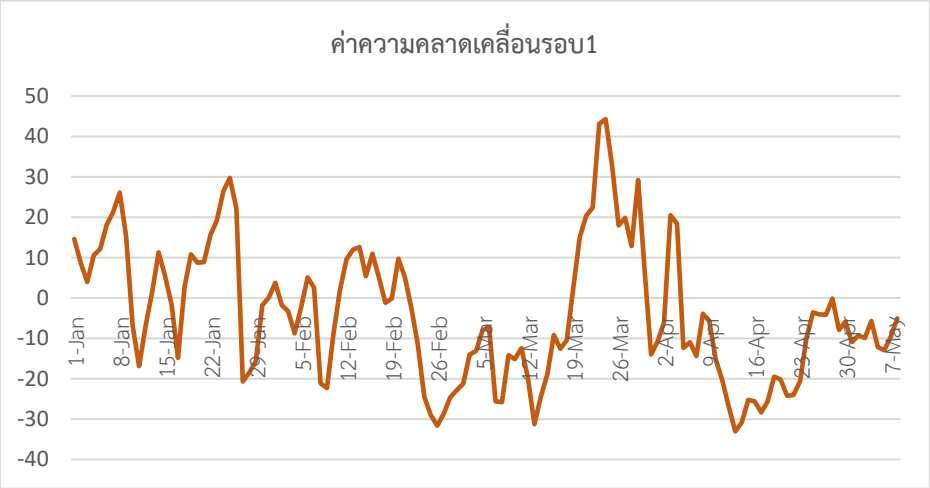


รูปที่ 1 แสดงกราฟค่าแนวโน้มแบบ Moving Average รอบที่ 1

5.6 ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อน (Error Analysis รอบ 1)

หลังจากได้ค่าแนวโน้มรอบแรก ได้ทำการคำนวณ **ค่าความคลาดเคลื่อน (Error1)** โดยนำค่าฝุ่นจริงในปี พ.ศ. 2568 มาเปรียบเทียบกับค่าแนวโน้มที่คำนวณได้

- ค่าความคลาดเคลื่อนมีทั้งบวกและลบ ขึ้นกับช่วงฤดูกาล
- มีบางช่วงที่ค่าความคลาดเคลื่อนสูง แสดงว่าค่าแนวโน้มยังไม่สามารถจับลักษณะจริงของข้อมูลได้ครบถ้วน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงกราฟค่าความคลาดเคลื่อนรอบแรก

5.7 การแบ่งช่วงค่าความคลาดเคลื่อนและการศึกษาพฤติกรรม

ทำการแบ่งช่วงของค่าความคลาดเคลื่อนตามช่วงของวันที่ เพื่อศึกษาพฤติกรรมที่แท้จริงของข้อมูล สรุปผลพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเป็นจำนวนบวกและจำนวนลบสลับกันเป็นช่วงติดต่อกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความคลาดเคลื่อนตามช่วงของวันที่

ช่วงวันที่	1 ม.ค.- 9 ม.ค.	10 ม.ค.- 17 ม.ค.	18 ม.ค.- 26 ม.ค.	27 ม.ค.- 10 ก.พ.	11 ก.พ.- 22 ก.พ.	23 ก.พ.- 18 มี.ค.	19 มี.ค.- 4 เม.ย.	5 เม.ย.- 23 เม.ย.	24 เม.ย.- 8 พ.ค.
จำนวนวัน	9 วัน	8 วัน	9 วัน	15 วัน	12 วัน	24 วัน	17 วัน	19 วัน	15 วัน
ช่วงวันที่	3 พ.ย.- 23 พ.ย.	24 พ.ย.- 11 ธ.ค.	12 ธ-ค.- 29 ธ.ค.	30 ธ.ค.- 31 ธ.ค.					
จำนวนวัน	21 วัน	18 วัน	18 วัน	15 วัน					

5.8 การคำนวณค่าคงที่เพื่อปรับค่าแนวโน้ม

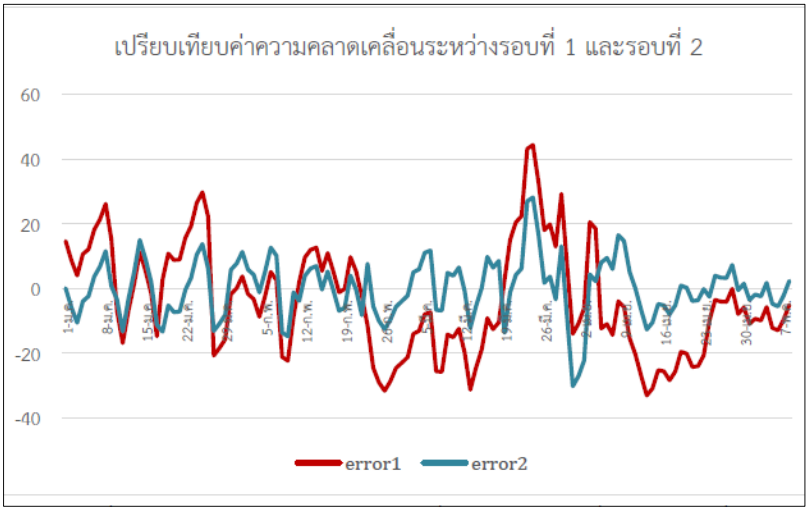
จากการแบ่งช่วงค่าความคลาดเคลื่อน ได้คำนวณหาค่าคงที่ (Adjustment Constant) ของแต่ละช่วง โดยใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อน ค่าคงที่เหล่านี้ถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงค่าแนวโน้มรอบแรกให้มีความแม่นยำมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าคงที่ที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละช่วง

ช่วงวันที่	1 ม.ค.- 9 ม.ค.	10 ม.ค.- 17 ม.ค.	18 ม.ค.- 26 ม.ค.	27 ม.ค.- 10 ก.พ.	11 ก.พ.- 22 ก.พ.	23 ก.พ.- 18 มี.ค.	19 มี.ค.- 4 เม.ย.	5 เม.ย.- 23 เม.ย.	24 เม.ย.- 8 พ.ค.
ค่าคงที่	14.525	-3.625	16.044	-7.555	5.747	-18.999	16.205	-20.389	-7.41
ช่วงวันที่	3 พ.ย.- 23 พ.ย.	24 พ.ย.- 11 ธ.ค.	12 ธ-.ค. 29 ธ.ค.	30 ธ.ค.- 31 ธ.ค.					
ค่าคงที่	-9.336	5.251	-5.752	14.000					

5.9 ผลการปรับค่าแนวโน้มรอบที่สอง และการเปรียบเทียบ

หลังจากนำค่าคงที่ไปปรับปรุงค่าแนวโน้มใหม่ ได้ทำการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนรอบที่สอง และสร้างกราฟเปรียบเทียบกับรอบแรก ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างรอบที่ 1 และรอบที่ 2

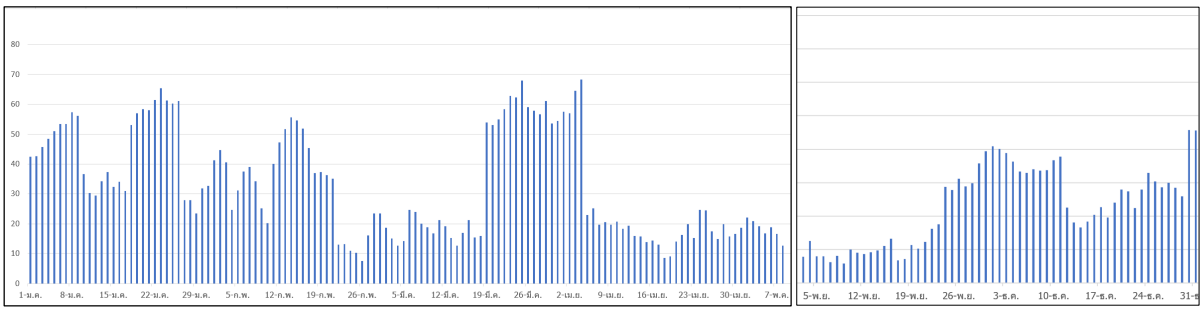
ผลพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนรอบที่สองลดลงอย่างเห็นได้ชัดโดยยิ่งค่าความคลาดเคลื่อนใกล้ 0 ยิ่งมีผลลัพธ์ที่ดีขึ้น การกระจายตัวของ Error สม่ำเสมอและไม่มีค่าแหลมสูงมากเหมือนรอบแรก แสดงว่าแบบจำลองที่ปรับปรุงแล้วมีความแม่นยำสูงขึ้น

5.10 นำค่าค่าฝุ่น 5 ปีย้อนหลังคำนวณค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก

ค่าคงที่ที่ได้ในแต่ละช่วงที่คณะผู้จัดทำศึกษานำไปบวกกับค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของฝุ่นย้อนหลัง 5 ปี โดยให้น้ำหนักปีล่าสุดมากกว่าปีที่ไกลสุด เพื่อนำไปพยากรณ์ค่าฝุ่น ในช่วงเดือน 1 ม.ค. – 9 พ.ค. และ 2 พ.ย. – 31 ธ.ค 2569 (ช่วงที่มีค่าฝุ่นที่เฉลี่ย 4 ปี มากกว่า 20 $\mu g/m^3$ และมีแนวโน้มอย่างมีนัยสำคัญ) และนำค่าที่ได้ไปบวกค่าคงที่ที่ได้จากค่าคลาดเคลื่อนในแต่ละช่วงที่คำนวณไว้

5.11 สร้างแนวโน้มค่าฝุ่นปี พ.ศ. 2569

ช่วงที่ศึกษาและจัดทำกราฟพยากรณ์ค่าฝุ่นในช่วงเดือน 1 ม.ค. – 9 พ.ค. และ 2 พ.ย. – 31 ธ.ค 2569 มีผลดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงแผนภูมิแท่งการพยากรณ์ค่าฝุ่น PM2.5 1 ม.ค. – 9 พ.ค. และ 2 พ.ย. – 31 ธ.ค 2569

5.12 อภิปรายผลการศึกษา

จากผลการศึกษาสามารถอภิปรายได้ดังนี้

5.12.1 แนวโน้มค่าฝุ่นที่สูงในฤดูหนาวสอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศของภาคเหนือและภาคกลางตอนบน

- อากาศปิด ลมอ่อน และสภาพการยกตัวของอากาศต่ำ ทำให้ฝุ่นสะสมง่าย
- พฤติกรรมนี้ตรงกับข้อมูลจากหลายงานวิจัยที่แสดงว่าฝุ่น PM2.5 จะสูงในช่วงปลายปีถึงต้นปี[2]

5.12.2 การใช้ Moving Average ทำให้ได้แนวโน้มที่ค่อนข้างราบเรียบ[4], [5] แต่ยังขาดความละเอียดในบางช่วง

- จึงจำเป็นต้องปรับค่าคงที่ตามความคลาดเคลื่อน
- การแบ่งช่วง Error ตามรูปแบบข้อมูล ช่วยสะท้อนลักษณะจริงของข้อมูลได้ดีกว่าใช้ค่าเฉลี่ยเพียงค่าเดียว

5.12.3 แบบจำลองรอบที่สองมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเพราะมีการแก้ไขความคลาดเคลื่อนเฉพาะจุด[9]

- แสดงว่า ข้อมูลมีลักษณะเฉพาะตามฤดูกาลในแต่ละช่วงของปี
- การปรับแบบจำลองให้เหมาะกับช่วงเวลาเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับข้อมูลอนุกรมเวลาเชิงสิ่งแวดล้อม

5.12.4 ผลพยากรณ์รองรับวัตถุประสงค์ข้อ 1 และ 2 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- แนวโน้มข้อมูลและแบบจำลองสอดคล้องกัน
- สามารถนำไปใช้วางแผนในอนาคตได้ในระดับหนึ่ง แม้จะยังมีข้อจำกัด เช่น ไม่มีปัจจัยภายนอก เช่น ลม อุณหภูมิ ไฟป่า เป็นต้น

6. สรุปผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาค่าฝุ่น PM2.5 ของจังหวัดนครสวรรค์ในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2564–2568) สามารถสรุปผลสำคัญได้ดังนี้

6.1 แนวโน้มและฤดูกาลของค่าฝุ่น PM2.5

- พบว่าค่าฝุ่นมีความผันแปรตามฤดูกาลอย่างชัดเจน
- ช่วงที่ค่าฝุ่นสูงต่อเนื่อง คือ เดือนพฤศจิกายนถึงต้นพฤษภาคมของทุกปี ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวถึงก่อนฤดูฝน
- ช่วงฤดูฝนมีค่าฝุ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ
- รูปแบบดังกล่าวเกิดซ้ำในทุกปี แสดงถึงความสม่ำเสมอของปรากฏการณ์ (Seasonality) ที่สามารถนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองได้ดี

6.2 ผลการพัฒนาแบบจำลองแนวโน้ม (Trend Model)

- การใช้วิธี Moving Average ช่วยให้มองเห็นแนวโน้มข้อมูลได้ชัดเจน
- การนำค่าความคลาดเคลื่อน (Error) จากข้อมูลปี 2568 มาใช้ปรับค่าคงที่ ทำให้แบบจำลองรอบที่สองมีความแม่นยำมากขึ้น
- ค่าความคลาดเคลื่อนลดลงใกล้ศูนย์ แสดงถึงคุณภาพแบบจำลองที่ดีขึ้น

6.3. การพยากรณ์ค่าฝุ่น PM2.5 จังหวัดนครสวรรค์ในปี พ.ศ. 2569

- แบบจำลองให้ค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับพฤติกรรมพื้นฐานของข้อมูลจริงในอดีต
- สามารถใช้เป็นจุดเริ่มต้นในการคาดการณ์คุณภาพอากาศล่วงหน้าในระดับเบื้องต้นแต่ครอบคลุมแนวโน้มทั้งปีได้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2568). ระบบรายงานคุณภาพอากาศ Air4Thai. สืบค้นจาก https://www.air4thai.pcd.go.th

[2] กรมควบคุมมลพิษ. (2566). *รายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศประเทศไทย ปี 2565*. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[3] World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva*: WHO Press.

[4] จันทร์เพ็ญ ศรีสุข. (2564). *การวิเคราะห์อนุกรมเวลาเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] Box, G. E. P., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. (2015). *Time series analysis: Forecasting and control* (5th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.

[6] Chatfield, C. (2004). *The analysis of time series: An introduction* (6th ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.

[7] Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2015). *Introduction to time series analysis and forecasting* (2nd ed.). Hoboken, NJ: Wiley.

[8] Pollution Control Department. (2567). ข้อมูลค่าฝุ่นละออง PM2.5 รายวัน จังหวัดนครสวรรค์. สืบค้นจาก https://www.pcd.go.th

[9] Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and practice* (3rd ed.). Melbourne: OTexts. สืบค้นจาก https://otexts.com/fpp3/

10

การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน
Sustainable Organizational Development

Oral Presentation

งานวิจัยโครงการติดตั้งระบบรีไซเคิลน้ำทิ้งของเครื่องทำน้ำความเย็น ประจำอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา

อนุพงษ์ คงแก้ว และ นพเมศฐ์ รังสีเตชาวัฒน์*

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
**Corresponding author: noppamate.rag@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาวิเคราะห์โครงการติดตั้งระบบรีไซเคิลน้ำทิ้งของเครื่องทำน้ำความเย็น ประจำอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยโครงการนี้มีการติดตั้งระบบเพื่อนำน้ำทิ้งจากการล้างทำความสะอาดด้วยระบบบอลคลีนนิ่งของระบบเครื่องทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งปัจจุบันน้ำที่ถูกระบายทิ้งออกจากระบบบอลคลีนนิ่งจะปล่อยลงสู่รางระบายน้ำทิ้งทุกครั้งหลังจากที่มีการล้าง ผู้วิจัยจึงทำการเก็บข้อมูลการเดรนน้ำทิ้งของระบบบอลคลีนนิ่ง พบว่าภายใน 1 วัน ระบบจะเดรนน้ำทิ้งทั้งหมด 6,500 ลิตร คิดเป็น 2,72,500 ลิตร/ปี คิดเป็นลูกบาศก์เมตร 2,372.50 ลบม./ปี หากคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไปรวมเป็นเงิน 40,569.75 บาท/ปี

การศึกษาในครั้งนี้จะเก็บข้อมูลการใช้น้ำหลังจากติดตั้งระบบแล้ว โดยเก็บข้อมูลทั้งหมด 4 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2565 - พ.ศ. 2568 ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้มีปริมาณการนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์รวมทั้งสิ้น 6,270 ลูกบาศก์เมตร ลดค่าใช้จ่ายได้ 107,217 บาท แสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าในการดำเนินโครงการรีไซเคิลน้ำทิ้ง เมื่อพิจารณาเป็นรายปีพบว่าปริมาณการนำน้ำกลับมาใช้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเพิ่มจาก 1,523 ลบ.ม. ในปี พ.ศ. 2565 เป็น 1,596 ลบ.ม. ในปี พ.ศ. 2568 สามารถลดค่าใช้จ่ายเป็นเงินที่เพิ่มขึ้นจาก 26,043.30 บาท เป็น 27,291.60 บาท ดังนั้นการติดตั้งระบบดังกล่าวสามารถลดปริมาณการใช้น้ำประปา ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการปรับปรุงภาพลักษณ์ขององค์กรในการดำเนินงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องตามนโยบายการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมการพัฒนาอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ระบบรีไซเคิลน้ำทิ้ง / เครื่องทำความเย็น / พลังงานและสิ่งแวดล้อม

Research on the project to install a wastewater recycling system for chiller machines at the 50th Anniversary Chalermprakiat Building

Anupong Kongkeaw and Nabameshtha Rangsitejavadhana*

Faculty of Dentistry, Mahidol University, Thung Phaya Thai Subdistrict, Ratchathewi District, Bangkok, Thailand
**Corresponding author: noppamate.rag@mahidol.ac.th*

Abstract

This research article presents an analytical study of the wastewater recycling system installed in the chiller system of the 50th Anniversary Commemoration Building, Faculty of Dentistry, Mahidol University. The project involves installing a system to reuse wastewater from the ball cleaning system of the chiller units. Currently, water discharged from the ball cleaning system is released into a drainage channel after each cleaning. The researchers therefore collected data on wastewater drainage from the ball cleaning system. It was found that the system drains a total of 6,500 liters of wastewater per day, equivalent to 2,72,500 liters per year or 2,372.50 cubic meters per year. This amounts to a total loss of 40,569.75 baht per year.

This study collected water usage data after the system was installed, covering a total of four years from 2022 to 2025. The results showed that a total of 6,270 cubic meters of water were reused, saving 107,217 baht. This demonstrates the cost-effectiveness of the wastewater recycling project. Annual figures show a continuous increase in water reuse, from 1,523 cubic meters in 2022 to 1,596 cubic meters in 2025, resulting in cost savings of 26,043.30 baht to 27,291.60 baht. Therefore, installing such a system can reduce water consumption and help minimize the environmental impact. It enhances the corporate image as an eco-friendly business. This aligns with the policy on energy and environmental management and sustainable development.

Keywords: Wastewater recycling system / Chiller / Energy and environment

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยยังคงมีปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะปัญหาเกี่ยวกับ มลพิษทางน้ำ แหล่งน้ำเน่าเสีย ซึ่งมาจากน้ำเสียที่เกิดจากการทิ้งจากโรงงาน และแหล่งชุมชน เนื่องจากโรงงานต่างๆ และประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ชุมชนขยายตัวมากขึ้น และมีการนำเทคโนโลยีมาอำนวยความสะดวกในการดำเนินชีวิตประจำวัน วิถีชีวิต ความเป็นอยู่ของคนที่อาศัยอยู่ตามแม่น้ำลำคลองเปลี่ยนไป มีการปล่อยน้ำเสียของครัวเรือนลงไปในแม่น้ำลำคลอง โดยไม่ได้มีการบำบัดน้ำก่อน ตั้งแต่อดีตได้เริ่มมีการคิดค้นวิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยการนำเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาช่วยในการบำบัดน้ำเสีย ทั้งทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี แต่จะเห็นได้ว่าน้ำในแม่น้ำลำคลองยังคงเน่าเสีย คุณภาพของน้ำยังไม่สามารถนำกลับมาใช้ในการอุปโภค และบริโภคได้ [1]

จากปัญหาดังกล่าวและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำประปาของคณะทันตแพทยศาสตร์ มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง คณะทันตแพทยศาสตร์ ได้ตระหนักถึงความสำคัญของการพัฒนาอย่างยั่งยืน และในการลดการใช้พลังงานด้านน้ำประปาอย่างมีประสิทธิผล จึงได้ศึกษาวิเคราะห์เครื่องทำความเย็น ประจำอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งปัจจุบันภายในอาคารนั้นใช้เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่แบบรวมศูนย์ และได้ดำเนินการมาตรการประหยัดพลังงานการติดตั้งระบบบอลคลีนนิ่งให้กับเครื่องทำความเย็นขนาด 800 ตัน 3 ชุด ซึ่งเป็นระบบที่ทำความสะอาดคราบสกปรกเกาะอยู่ที่ผิวภายในท่อ และเมื่อทำความสะอาดเสร็จแล้วจะระบายน้ำดังกล่าวทิ้งออกจากระบบบอลคลีนนิ่ง ปล่อยลงสู่รางระบายน้ำประจำอาคาร โดยมีการทำงานของระบบคือเปิดใช้งานวันละ 2 ชุด จะเดรนน้ำทิ้งทุกๆ 2 ชั่วโมง ครั้งละ 1 นาที (ปริมาณน้ำทิ้ง 500 ลิตรต่อครั้ง) หากสามารถนำน้ำที่ทิ้งกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ เช่น รดน้ำต้นไม้ ล้างทำความสะอาดพื้น ล้างรถ ก็จะเป็นประโยชน์ต่อคณะทันตแพทยศาสตร์ ผู้วิเคราะห์จึงได้ทำการเก็บผลการเดรนน้ำทิ้งของระบบบอลคลีนนิ่ง โดยใช้ท่อน้ำต่อเข้ากับท่อน้ำทิ้งของระบบ และปล่อยไปยังถังพักน้ำขนาด 1,000 ลิตร ที่เตรียมไว้ พบว่าระบบได้เดรนน้ำทิ้ง 1 ครั้ง ลงในถังพักได้ปริมาณน้ำครึ่งถัง ระบบจะทำงานเป็นเวลา 1 นาที มีปริมาณน้ำทิ้ง 500 ลิตร/ครั้ง ซึ่งภายใน 1 วันจะทำการเปิดใช้งานระบบเครื่องทำความเย็นที่มีการการติดตั้งระบบบอลคลีนนิ่งทั้งหมด 2 ชุด ดังนี้ ชุดที่ 1 ทำงาน 6.00-17.00 น. (เดรนน้ำ 6 ครั้ง/วัน x 500 = 3,000 ลิตร) และชุดที่ 2 ทำงาน 7.00-21.00 น. (เดรนน้ำ 7 ครั้ง/วัน x 500 = 3,500 ลิตร) รวมเป็นจำนวน 6,500 ลิตร/วัน เป็นจำนวน 2,72,500 ลิตร/ปี คิดเป็นลูกบาศก์เมตร 2,372.50 ลบม./ปี หากนำมาคิดเป็นจำนวนเงินที่เสียไปเท่ากับ 40,569.75 บาท/ปี (อัตรา 17.10 บาทต่อลูกบาศก์เมตร) จากปริมาณน้ำทิ้งของระบบเครื่องทำความเย็นจะเห็นได้ว่าเป็นปริมาณที่มาก ผู้จัดทำจึงได้ทำการออกแบบและติดตั้งระบบรีไซเคิลน้ำทิ้งของระบบเครื่องทำความเย็นประจำอาคารกลับมาใช้ใหม่ โดยติดตั้งถังพักน้ำขนาด 1,000 ลิตร จำนวน 6 ถัง และปั๊มน้ำที่จะสูบน้ำภายในถังพักไปใช้งานต่อไป

(ก) เครื่องทำความเย็นขนาด 80 (ข) ระบบบอลคลีนนิ่ง

รูปที่ 1 แสดง (ก) เครื่องทำความเย็นขนาด 800 และ (ข) ระบบบอลคลีนนิ่ง

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบและติดตั้งระบบรีไซเคิลน้ำทิ้งจากระบบบอลคลีนนิ่งของเครื่องทำความเย็น ประจำอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา
2. เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำประปา และลดค่าใช้จ่ายด้านสาธารณูปโภคของคณะทันตแพทยศาสตร์ม หาวิทยาลัยมหิดล
3. เพื่อนำน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดท่อเครื่องทำความเย็น กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในกิจกรรมการดูแลพื้นที่อาคาร เช่น การรดน้ำต้นไม้ การล้างพื้น และการล้างรถ
4. เพื่อสนับสนุนนโยบายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development) และการบริหารจัดการพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้มีขอบเขตครอบคลุมการวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงวิศวกรรมของโครงการระบบรีไซเคิลน้ำทิ้ง จากเครื่องน้ำทำความเย็นที่ติดตั้งระบบบอลคลีนนิ่ง ภายในอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยมุ่งเน้นเฉพาะน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการเดรนน้ำในขั้นตอนการล้างทำความสะอาดท่อของเครื่องทำความเย็นเท่านั้น ผู้จัดทำได้กำหนดขอบเขตไว้ดังนี้

ขอบเขตด้านเนื้อหา

- ศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณน้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการระบายน้ำ (Drain) ของระบบบอลคลีนนิ่ง
- (Ball Cleaning System) ที่ติดตั้งกับเครื่องทำความเย็นขนาด 800 ตัน จำนวน 3 ชุด (ใช้งานจริงวันละ 2 ชุด)
- ออกแบบและติดตั้งระบบรีไซเคิลน้ำทิ้งจากระบบบอลคลีนนิ่งของเครื่องทำความเย็นกลับมาใช้ใหม่ (Water Recycle System) โดยเน้นการนำไปใช้ในกิจกรรมที่ไม่ต้องใช้คุณภาพน้ำประปา เช่น การรดน้ำต้นไม้ การล้างพื้น และการล้างรถ
- วิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ งบประมาณการลงทุน ปริมาณน้ำที่ประหยัดได้ และระยะเวลาคืนทุน

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์ โดยดำเนินการศึกษาโครงการติดตั้งระบบรีไซเคิลน้ำทิ้งของเครื่องทำน้ำความเย็นประจำอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วยการสำรวจระบบเครื่องน้ำทำความเย็นที่ติดตั้งระบบบอลคลีนนิ่ง ศึกษารูปแบบการทำงาน ความถี่ และระยะเวลาในการระบายน้ำทิ้งของระบบ

รูปที่ 2 แสดงระบบรีไซเคิลน้ำทิ้ง และถังพักน้ำ

รูปที่ 3 แสดงระบบควบคุมปั๊มน้ำอัตโนมัติ และการนำน้ำไปใช้งาน

การเก็บรวบรวมข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) ข้อมูลปฐมภูมิจากการตรวจวัดปริมาณน้ำทิ้งที่เกิดจากการทำงานของระบบบอลคลีนนิ่ง โดยบันทึกความถี่ในการเดรนน้ำ ปริมาณน้ำต่อครั้ง และระยะเวลาการทำงานของระบบ และ 2) ข้อมูลทุติยภูมิจากเอกสาร รายงาน และบันทึกการใช้น้ำประปาและค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องย้อนหลังเป็นระยะเวลา 4 ปี ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาคำนวณปริมาณน้ำทิ้งรายเดือนและรายปี วิเคราะห์ศักยภาพในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนการลงทุน ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ รวมถึงการประเมินระยะเวลาคืนทุนของโครงการ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการพัฒนาระบบรีไซเคิลน้ำทิ้งให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการใช้งานจริง และได้เก็บตัวอย่างน้ำดังกล่าวส่งตรวจสอบคุณภาพน้ำโดย บริษัท เท็คแมน (ไทยแลนด์) เพื่อยืนยันความปลอดภัยก่อนนำไปใช้ พบว่าน้ำที่หมุนเวียนในระบบเปิด (Cooling & Condenser Chiller) คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปกติทุกรายการสามารถนำไปรดน้ำต้นไม้ได้ ซึ่งค่า pH 8.8 แม้จะยังค่อนข้างเป็นด่าง แต่อยู่ในระดับที่ต้นไม้ใหญ่หรือพืชทั่วไปพอจะรับได้ การนำไฟฟ้า Conductivity = 998 µmhos/cm ค่าความเสี่ยงเรื่องดินเค็มอยู่ในเกณฑ์ที่ดีสำหรับการชลประทาน (ไม่เกิน 1,000) สารละลายทั้งหมด Dissolved Solids = 599 mg/L อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำรดต้นไม้ทั่วไป (ไม่เกิน 500-1,000) และคลอไรด์ Chloride = 108 mg/L อยู่ในระดับที่ปลอดภัย ไม่ทำให้เกิดอาการใบไหม้ในพืชส่วนใหญ่ โดยผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำแสดงดังรูปที่ 4

บริษัท เท็คแมน (ไทยแลนด์) จำกัด
TECHMAN (THAILAND) CO.,LTD.
ISO 9001:2015

ผลวิเคราะห์น้ำหมุนเวียน ประจำเดือน มกราคม 2569

Parameter	Unit	Cooling water	Standard of Cooling Water
pH	-	8.8	7-9
Turbidity	NTU	4.04	<5
Conductivity	µmhos/cm	998	<2000
Dissolved Solids	mg/L as NaCl	599	<1400
M-Alkalinity	mg/L as $CaCO_3$	260	<500
Total Hardness	mg/L as $CaCO_3$	77	<200
Chloride	mg/L as Cl^-	108	<400
Total Iron	mg/L	0.24	<0.3
Sulfate	mg/L as SO_4^{2-}	36.86	<200
Silica	mg/L as SiO_2	40.15	<125

สรุปผลวิเคราะห์

จากผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของน้ำที่หมุนเวียนอยู่ในระบบเปิด(Cooling&Condenser)
พบว่าสภาวะของน้ำที่หมุนเวียนในระบบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปกติ

รูปที่ 4 แสดงผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำ

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษานี้ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เพื่ออธิบายลักษณะการทำงานของระบบเครื่องน้ำทำความเย็น ปริมาณน้ำทิ้งที่เกิดขึ้น และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการรีไซเคิลน้ำทิ้ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่

- ความถี่ (Frequency)
- ค่าเฉลี่ย (Mean)
- การคำนวณผลรวม (Total)

เพื่ออธิบายปริมาณน้ำทิ้งที่เกิดขึ้นต่อครั้ง ต่อเดือน และต่อปี รวมถึงค่าใช้จ่ายด้านการใช้น้ำประปา

2. วิธีการคำนวณปริมาณน้ำทิ้ง [3] ปริมาณน้ำทิ้งจากระบบบอลคลีนนิ่งคำนวณจากข้อมูลการทำงานของระบบ ดังนี้

- ปริมาณน้ำทิ้งต่อครั้ง (ลิตร/ครั้ง)
- จำนวนครั้งในการเดรนน้ำต่อชั่วโมง
- จำนวนชั่วโมงการทำงานของระบบต่อวัน
- จำนวนเครื่องทำความเย็นที่ติดตั้งระบบบอลคลีนนิ่ง

สูตรการคำนวณปริมาณน้ำทิ้งต่อวัน

ปริมาณน้ำทิ้งต่อวัน(ลิตร/วัน)=ปริมาณน้ำทิ้งต่อครั้ง × จำนวนครั้งต่อวัน × จำนวนเครื่อง

สูตรการคำนวณปริมาณน้ำทิ้งต่อปี

ปริมาณน้ำทิ้งต่อปี(ลิตร/ปี)=ปริมาณน้ำทิ้งต่อวัน × จำนวนวันทำการต่อปี

จากนั้นแปลงหน่วยจากลิตรเป็นลูกบาศก์เมตร โดย 1 ลูกบาศก์เมตร = 1,000 ลิตร

3. วิธีการคำนวณค่าใช้จ่ายด้านน้ำประปา [4] ค่าใช้จ่ายด้านน้ำประปาคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้และอัตราค่าน้ำประปาที่หน่วยงานกำหนด

สูตรการคำนวณค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี) = ปริมาณน้ำ (ลบ.ม./ปี) × อัตราค่าน้ำ (บาท/ลบ.ม.)

4. วิธีการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ [2] การประเมินความคุ้มค่าของโครงการใช้วิธีการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

สูตรการคำนวณระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน (ปี) = เงินลงทุนทั้งหมด ÷ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อปี

โดยเงินลงทุนทั้งหมดประกอบด้วยค่าถังพักน้ำ ค่าอุปกรณ์ และค่าติดตั้งระบบรีไซเคิลน้ำทิ้ง ส่วนค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อปีคำนวณจากมูลค่าการลดการใช้น้ำประปา

5. การวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลัง 4 ปี

ข้อมูลปริมาณการใช้น้ำและค่าใช้จ่ายย้อนหลังเป็นระยะเวลา 4 ปี ถูกนำมาวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบหลังการติดตั้งระบบรีไซเคิลน้ำทิ้ง เพื่อประเมินแนวโน้มการใช้น้ำ ค่าใช้จ่ายที่ลดลง และประสิทธิภาพของระบบในระยะยาว

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการสืบค้นข้อมูลจากฐานข้อมูล Scopus และวารสารวิชาการ พบงานวิจัยและผลงานวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในระบบคูลลิ่งและการจัดการน้ำเสีย ดังนี้

1. งานวิจัยด้าน การนำน้ำทิ้งมาผลิตน้ำทำความเย็นโดยใช้เทคโนโลยีเยื่อกรอง พบว่าเทคโนโลยีอัลตราฟิลเตรชันและนาโนฟิลเตรชันสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในระบบคูลลิ่งของอุตสาหกรรมและลดปริมาณการใช้น้ำใหม่ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าการกำจัดของแข็งละลายและความขุ่นสูง ทำให้การนำน้ำกลับไปใช้ในระบบคูลลิ่งเป็นไปได้จริงในสถานการณ์ที่ต้องลดการใช้น้ำใหม่ [5]

2. ในงานที่ตีพิมพ์ใน *Journal of Water Process Engineering* พบแนวทางการนำน้ำทิ้งจากการล้างขวดในอุตสาหกรรมอาหารมารีไซเคิลใช้ใน หอคูลลิ่ง (cooling towers) โดยต้องจัดการลดสารเคมีที่เป็นอันตรายก่อนเพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างปลอดภัย โดยงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการใช้ น้ำรีไซเคิลแทนน้ำใหม่ 100% ในหอคูลลิ่งของโรงงานจริง ซึ่งชี้ถึงศักยภาพสูงของการรีไซเคิลน้ำเพื่อระบบทำความเย็นในภาคอุตสาหกรรม [6]

3. งานวิจัยด้านการ นำน้ำทิ้งกลับมาใช้ในระบบคูลลิ่งของโรงงานพลังงาน พบว่าการบำบัดน้ำให้เหมาะสมก่อนนำกลับเข้าสู่ระบบสามารถลดการดึงน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติและลดการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อมได้ถึงประมาณ 25% ซึ่งยืนยันถึงประสิทธิผลของแนวคิดการรีไซเคิลน้ำทิ้งเพื่อลดผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำธรรมชาติ [7]

4. ในบริบทที่กว้างขึ้น งานวิจัยเชิงสังเคราะห์ (systematic review) ด้าน การบำบัดน้ำและการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่เพื่อความยั่งยืนของทรัพยากรน้ำ ระบุว่าการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้สามารถช่วยลดภาระบนแหล่งน้ำธรรมชาติ ปรับปรุงความมั่นคงของทรัพยากรน้ำ และสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (SDGs) โดยมีผลงานวิจัยหลากหลายยืนยันถึงประโยชน์ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ [8]

จากผลงานวิชาการเหล่านี้ สามารถสรุปแนวโน้มและบทเรียนสำคัญได้ ดังนี้

- การรีไซเคิลน้ำทิ้งสำหรับระบบคูลลิ่งต้องควบคุมคุณภาพน้ำ ก่อนจะนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเกี่ยวกับการกัดกร่อน การเกิดตะกรัน และการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบคูลลิ่ง
- การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการบำบัดน้ำ เช่น เยื่อกรอง (UF/NF), การกำจัดสารเคมี และการบำบัดก่อนเข้าสู่ระบบคูลลิ่ง มีบทบาทสำคัญในการทำให้น้ำรีไซเคิลมีคุณภาพตอบโจทย์การใช้งานจริง
- ผลประโยชน์จากการรีไซเคิลน้ำทิ้งครอบคลุมทั้งการลดการดึงน้ำใหม่ ลดการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อม และการประหยัดต้นทุนการใช้น้ำในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและการพัฒนาอย่างยั่งยืน ผลการศึกษาจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่สืบค้นมาแสดงให้เห็นว่าการจัดการและรีไซเคิลน้ำทิ้งสำหรับระบบคูลลิ่งเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงในการลดการใช้น้ำใหม่และสนับสนุนการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน พร้อมทั้งยังเสริมสร้างความเข้าใจเชิงเทคนิคเกี่ยวกับเงื่อนไขและคุณลักษณะของระบบที่เหมาะสมสำหรับการนำน้ำรีไซเคิลไปใช้งานจริงทั้งในระดับอุตสาหกรรมและอาคาร เช่นเดียวกับแนวคิดที่นำมาใช้ในโครงการศึกษาของบทความนี้เอง

5.1 ผลการศึกษารูปแบบผลงานวิชาการ

จากการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้น้ำของโครงการติดตั้งระบบรีไซเคิลน้ำทิ้งของเครื่องทำน้ำความเย็น ในช่วงปี พ.ศ. 2565–2568 พบว่า ปริมาณการใช้น้ำและค่าใช้จ่ายค่าน้ำประปามีความแตกต่างกันในแต่ละปี โดยมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามลักษณะการใช้งานของระบบปรับอากาศในแต่ละช่วงเวลา

จากผลการตรวจวัดการใช้น้ำ โครงการปรับปรุงระบบน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อการอนุรักษ์น้ำและสิ่งแวดล้อมประจำปี พ.ศ. 2565 (ตารางที่ 1) พบว่า ปริมาณการใช้น้ำรวมทั้งปีอยู่ที่ 1,523 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นค่าใช้น้ำประปารวม

26,043.30 บาท (อัตรา 17.10 บาทต่อลูกบาศก์เมตร) ปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ประมาณ 126.92 ลูกบาศก์เมตร โดยเดือนที่มีการใช้น้ำสูงสุดคือ เดือนกันยายน (134 ลบ.ม.) คิดเป็นเงิน 2,291.40 บาท รองลงมาคือเดือนตุลาคม (133 ลบ.ม.) และเดือนพฤษภาคม/สิงหาคม (131 ลบ.ม.) ส่วนเดือนที่มีการใช้น้ำน้อยที่สุดคือ เดือนกุมภาพันธ์ (115 ลบ.ม.) คิดเป็นเงิน 1,966.50 บาท ข้อมูลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า ปริมาณการใช้น้ำมีความผันผวนตามช่วงเวลา แต่โดยรวมอยู่ในระดับค่อนข้างคงที่ตลอดปี การดำเนินโครงการฯ สามารถช่วยควบคุมและบริหารจัดการการใช้น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่าย และสนับสนุนการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำและสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นรูปธรรมในระดับองค์กร

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดการใช้น้ำ โครงการปรับปรุงระบบน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อการอนุรักษ์น้ำและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2565

ผลการตรวจวัดการใช้น้ำ โครงการปรับปรุงระบบน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อการอนุรักษ์น้ำและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2565		
เดือน	**ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม.)**	**ค่าน้ำประปา (ลบ.ม ละ 17.10 บาท)**
ม.ค.	120.00	2,052.00
ก.พ.	115.00	1,966.50
มี.ค.	130.00	2,223.00
เม.ย.	125.00	2,137.50
พ.ค.	131.00	2,240.10
มิ.ย.	124.00	2,120.40
ก.ค.	126.00	2,154.60
ส.ค.	131.00	2,240.10
ก.ย.	134.00	2,291.40
ต.ค.	133.00	2,274.30
พ.ย.	130.00	2,223.00
ธ.ค.	124.00	2,120.40
รวม	1,523.00	26,043.30

จากผลการตรวจวัดการใช้น้ำ โครงการปรับปรุงระบบน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อการอนุรักษ์น้ำและสิ่งแวดล้อม ประจำปี พ.ศ. 2566 (ตารางที่ 2) พบว่า มีปริมาณการใช้น้ำรวมทั้งปี 1,574 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นค่าใช้น้ำประปารวม 26,915.40 บาท (อัตรา 17.10 บาทต่อลูกบาศก์เมตร) ปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ประมาณ 131.17 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งสูงกว่าปี พ.ศ. 2565 เล็กน้อย สะท้อนแนวโน้มการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้น โดยเดือนที่มีการใช้น้ำสูงสุดคือ เดือนตุลาคม (137 ลบ.ม.) คิดเป็นเงิน 2,342.70 บาท รองลงมาคือเดือนสิงหาคมและธันวาคม (136 ลบ.ม.) ส่วนเดือนที่มีการใช้น้ำน้อยที่สุดคือ เดือนเมษายน (123 ลบ.ม.) คิดเป็นเงิน 2,103.30 บาท

ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดการใช้น้ำ โครงการปรับปรุงระบบน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อการอนุรักษ์น้ำและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2566

ผลการตรวจวัดการใช้น้ำ โครงการปรับปรุงระบบน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อการอนุรักษ์น้ำและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2566		
เดือน	**ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม.)**	**ค่าน้ำประปา (ลบ.ม ละ 17.10 บาท)**
ม.ค.	132.00	2,257.20
ก.พ.	124.00	2,120.40
มี.ค.	135.00	2,308.50
เม.ย.	123.00	2,103.30

ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดการใช้น้ำ โครงการปรับปรุงระบบน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อการอนุรักษ์น้ำและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2566 (ต่อ)

ผลการตรวจวัดการใช้น้ำ โครงการปรับปรุงระบบน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อการอนุรักษ์น้ำและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2566		
เดือน	**ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม.)**	**ค่าน้ำประปา (ลบ.ม ละ 17.10 บาท)**
พ.ค.	134.00	2,291.40
มิ.ย.	134.00	2,291.40
ก.ค.	130.00	2,223.00
ส.ค.	136.00	2,325.60
ก.ย.	125.00	2,137.50
ต.ค.	137.00	2,342.70
พ.ย.	128.00	2,188.80
ธ.ค.	136.00	2,325.60
รวม	1,574.00	26,915.40

จากผลการตรวจวัดการใช้น้ำ โครงการปรับปรุงระบบน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อการอนุรักษ์น้ำและสิ่งแวดล้อม ประจำปี พ.ศ. 2567 (ตารางที่ 3) พบว่า มีปริมาณการใช้น้ำรวมทั้งปี 1,577 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นค่าใช้น้ำประปารวม 26,966.70 บาท (อัตรา 17.10 บาทต่อลูกบาศก์เมตร) ปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ประมาณ 131.42 ลูกบาศก์เมตร ใกล้เคียงกับปีที่ผ่านมา แสดงถึงความสม่ำเสมอในการบริหารจัดการน้ำ โดยเดือนที่มีการใช้น้ำสูงสุดคือ เดือนพฤศจิกายน (139 ลบ.ม.) คิดเป็นเงิน 2,376.90 บาท รองลงมาคือเดือนมีนาคม มิถุนายน และตุลาคม (135 ลบ.ม.) ส่วนเดือนที่มีการใช้น้ำน้อยที่สุดคือ เดือนธันวาคม (125 ลบ.ม.) คิดเป็นเงิน 2,137.50 บาท

ตารางที่ 3 ผลการตรวจวัดการใช้น้ำ โครงการปรับปรุงระบบน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อการอนุรักษ์น้ำและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2567

ผลการตรวจวัดการใช้น้ำ โครงการปรับปรุงระบบน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อการอนุรักษ์น้ำและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2567		
เดือน	**ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม.)**	**ค่าน้ำประปา(ลบ.ม ละ 17.10 บาท)**
ม.ค.	129.00	2,205.90
ก.พ.	126.00	2,154.60
มี.ค.	135.00	2,308.50
เม.ย.	129.00	2,205.90
พ.ค.	133.00	2,274.30
มิ.ย.	135.00	2,308.50
ก.ค.	129.00	2,205.90
ส.ค.	134.00	2,291.40
ก.ย.	128.00	2,188.80
ต.ค.	135.00	2,308.50
พ.ย.	139.00	2,376.90
ธ.ค.	125.00	2,137.50
รวม	1,577.00	26,966.70

จากผลการตรวจวัดการใช้น้ำ โครงการปรับปรุงระบบน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อการอนุรักษ์น้ำและสิ่งแวดล้อม ประจำปี พ.ศ. 2568 (ตารางที่ 4) พบว่า มีปริมาณการใช้น้ำรวมทั้งปี 1,596 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นค่าใช้น้ำประปารวม 27,291.60 บาท (อัตรา 17.10 บาทต่อลูกบาศก์เมตร) ซึ่งเป็นปริมาณสูงสุดเมื่อเทียบกับช่วง 4 ปีที่ผ่านมา ปริมาณการใช้น้ำเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ประมาณ 133 ลูกบาศก์เมตร โดยเดือนที่มีการใช้น้ำสูงสุดคือ เดือนกุมภาพันธ์และพฤษภาคม (139 ลบ.ม.) คิดเป็นเงิน 2,376.90 บาท รองลงมาคือเดือนสิงหาคม (138 ลบ.ม.) และเดือนเมษายน (137 ลบ.ม.) ส่วนเดือนที่มีการใช้น้ำน้อยที่สุดคือ เดือนมิถุนายน (125 ลบ.ม.) คิดเป็นเงิน 2,137.50 บาท

ตารางที่ 4 ผลการตรวจวัดการใช้น้ำ โครงการปรับปรุงระบบน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อการอนุรักษ์น้ำและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2568

ผลการตรวจวัดการใช้น้ำ โครงการปรับปรุงระบบน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อการอนุรักษ์น้ำและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2568		
เดือน	**ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม.)**	**ค่าน้ำประปา(ลบ.ม ละ 17.10 บาท)**
ม.ค.	133.00	2,274.30
ก.พ.	139.00	2,376.90
มี.ค.	128.00	2,188.80
เม.ย.	137.00	2,342.70
พ.ค.	139.00	2,376.90
มิ.ย.	125.00	2,137.50
ก.ค.	127.00	2,171.70
ส.ค.	138.00	2,359.80
ก.ย.	135.00	2,308.50
ต.ค.	135.00	2,308.50
พ.ย.	132.00	2,257.20
ธ.ค.	128.00	2,188.80
รวม	1,596.00	27,291.60

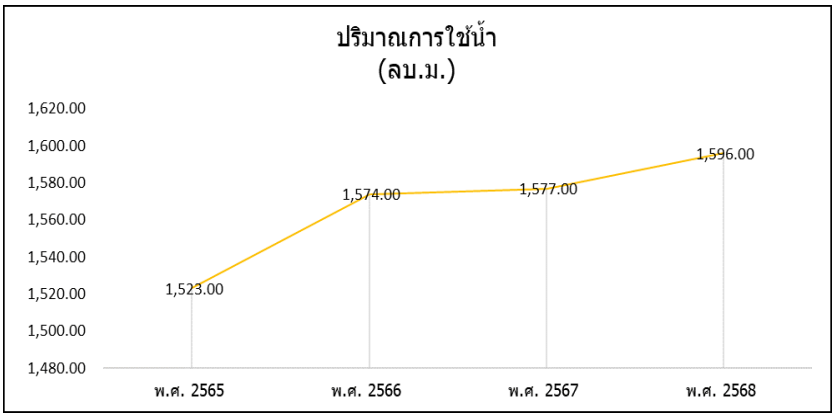
การศึกษานี้ ได้เก็บข้อมูลการใช้น้ำจริงภายหลังติดตั้งระบบ เป็นระยะเวลา 4 ปี (พ.ศ. 2565–2568) สรุปผลได้ดังนี้มีปริมาณการนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์รวมทั้งสิ้น 6,270 ลูกบาศก์เมตร ลดค่าใช้จ่ายได้ 107,217 บาท มีแนวโน้มการใช้น้ำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จาก 1,523 ลูกบาศก์เมตร ในปี พ.ศ. 2565 เป็น 1,596 ลูกบาศก์เมตร ในปี พ.ศ. 2568 ส่งผลให้ประหยัดค่าใช้จ่ายเพิ่มจาก 26,043.30 บาท เป็น 27,291.60 บาท (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ตารางสรุปผลข้อมูลการใช้น้ำจากการรีไซเคิลน้ำทิ้งของเครื่องน้ำทำความเย็น

ตารางสรุปผลข้อมูลการใช้น้ำจากการรีไซเคิลน้ำทิ้งของเครื่องน้ำทำความเย็น		
ปี พ.ศ.	**ปริมาณการใช้น้ำ(ลบ.ม.)**	**คิดเป็นเงิน บาทต่อปี**
พ.ศ. 2565	1,523.00	26,043.30
พ.ศ. 2566	1,574.00	26,915.40
พ.ศ. 2567	1,577.00	26,966.70
พ.ศ. 2568	1,596.00	27,291.60
รวม	6,270.00	107,217.00

จากกราฟแสดงปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม.) ระหว่างปี พ.ศ. 2565–2568 พบว่า ปริมาณการใช้น้ำมีแนวโน้ม เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลา 4 ปี โดยในปี พ.ศ. 2565 มีปริมาณการใช้น้ำ 1,523 ลบ.ม. จากนั้นเพิ่มขึ้นเป็น 1,574 ลบ.ม. ในปี พ.ศ. 2566 และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 1,577 ลบ.ม. ในปี พ.ศ. 2567 ก่อนจะเพิ่มสูงสุดในปี พ.ศ. 2568 ที่ 1,596 ลบ.ม.

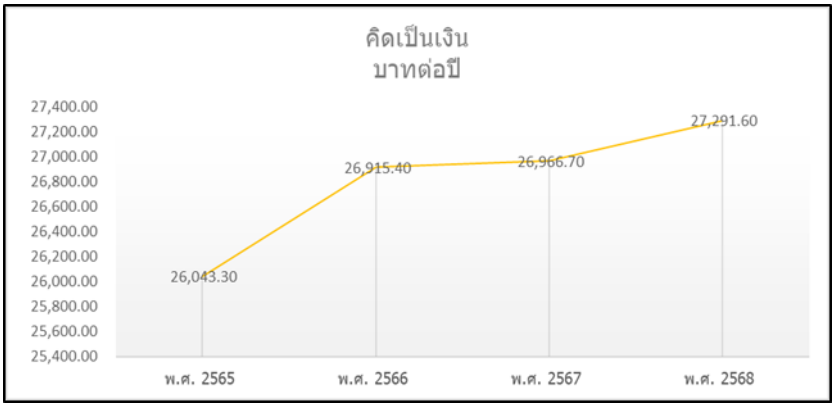
แนวโน้มดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงการดำเนินงานของระบบที่มีความต่อเนื่อง และสามารถบริหารจัดการน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 24 ลบ.ม. ต่อปี แสดงถึงการพัฒนาและการใช้ประโยชน์จากระบบรีไซเคิลน้ำที่มีประสิทธิผลมากยิ่งขึ้นในแต่ละปี กราฟแสดงปริมานการนำน้ำกลับมาใช้ระหว่างปี พ.ศ. 2565–2568 แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟแสดงปริมานการนำน้ำกลับมาใช้ระหว่างปี พ.ศ. 2565–2568

จากกราฟแสดงข้อมูลการลดค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำ (บาทต่อปี) ระหว่างปี พ.ศ. 2565–2568 พบว่า ตลอดระยะเวลา 4 ปี มีแนวโน้มลดค่าใช้จ่ายการใช้น้ำได้อย่างต่อเนื่อง โดยในแต่ละปีสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ 26,043.30 บาท 26,915.40 บาท 26,966.70 บาท และ 27,291.60 บาท ตามลำดับ

แนวโน้มดังกล่าวสอดคล้องกับปริมาณการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี โดยมีอัตราการลดค่าใช้จ่ายการใช้น้ำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นถึงการดำเนินโครงการดังกล่าวอย่างต่อเนื่องสามารถนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์หมุนเวียนและลดค่าใช้จ่ายการใช้น้ำได้ และสามารถสะท้อนมูลค่าการประหยัดน้ำหรือการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำได้อย่างชัดเจนในเชิงเศรษฐศาสตร์ กราฟแสดงมูลการลดค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำ (บาทต่อปี) ระหว่างปี พ.ศ. 2565–2568 แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟแสดงมูลการลดค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำ (บาทต่อปี) ระหว่างปี พ.ศ. 2565–2568

อย่างไรก็ตาม แม้โครงการจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากขึ้น แต่ยังไม่สามารถลดปริมาณการใช้น้ำในภาพรวมได้ เนื่องจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เป็นหน่วยงานที่ให้บริการทางทันตกรรม โดยเป็นกิจกรรมที่ใช้น้ำปริมาณที่เยอะในการรักษา ซึ่งปริมาณการใช้น้ำนั้นจะแปรผันตามจำนวนผู้มารับบริการในแต่ละช่วงเวลา ปริมาณการใช้น้ำประปาเปรียบเทียบกับผู้ป่วยนั้นแสรดดัง ตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตารางปริมาณการใช้น้ำประปาเปรียบเทียบกับผู้ป่วย

ปริมาณการใช้น้ำประปาประจำปี			
ปี พ.ศ.	**ปริมาณการใช้น้ำประปา หน่วย (ลบ.ม.)**	**จำนวนผู้ป่วย (คน)**	**ปริมาณการใช้น้ำประปาเทียบกับผู้ป่วย หน่วย (คน/ลบ.ม.)**
2565	97,070.00	555,846.00	0.175
2566	103,576.00	586,490.00	0.177
2567	116,103.00	621,810.00	0.187
2568	111,593.00	590,770.00	0.189

คำนวณระยะเวลาการคืนทุนจากการสำรวจโดยการลงพื้นที่เก็บข้อมูลการปล่อยน้ำทิ้งในระบบบอลคลีนนิ่งของระบบปรับอากาศ พบว่าระบบมี การเปิดใช้งานวันละ 2 ชุด

- ทั้ง 2 ชุด จะเดรนน้ำทิ้งทุก ๆ 2 ชั่วโมง ครั้งละ 1 นาที (ปริมาณน้ำทิ้ง 500 ลิตรต่อครั้ง)
- ชุดที่ 1 ทำงาน 6.00 น. – 17.00 น. (เดรนน้ำ 6 ครั้ง/วัน X 500 = 3,000 ลิตร)
- ชุดที่ 2 ทำงาน 7.00 น. – 21.00 น. (เดรนน้ำ 7 ครั้ง/วัน X 500 = 3,500 ลิตร)
- เงินลงทุนทั้งหมดโครงการรวมเป็นเงินทั้งสิ้น 139,000 บาท
- ปั๊มน้ำอัตโนมัติขนาด 400 W ((0.4x5ชั่วโมง)x365)x4.69 (ค่าฟ้าเฉลี่ย68) = 3423.70 บาท/ปี
- ระยะเวลาคืนทุนตามทฤษฎี โดยอิงจากการกักเก็บน้ำได้ 100% (2,372.50 ลบ.ม./ปี) ประหยัดได้ 40,569.75 บาท/ปี ทำให้ได้ผลลัพธ์ 3.5 ปี
- ระยะเวลาคืนทุน "จากผลที่เกิดขึ้นจริง" โดยอิงจากมูลค่าการประหยัดเฉลี่ย 4 ปี (26,804.25 บาท/ปี) ทำให้ได้ผลลัพธ์ 5 ปี 31 วัน

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาวิเคราะห์โครงการติดตั้งระบบรีไซเคิลน้ำทิ้งของเครื่องทำน้ำความเย็น พบว่า ตามผลการศึกษาทางทฤษฎีและการคำนวณคาดการณ์ ระบบรีไซเคิลน้ำทิ้งมีศักยภาพในการลดปริมาณการใช้น้ำประปาและค่าใช้จ่ายด้านน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยคาดว่าจะสามารถควบคุมปริมาณการใช้น้ำให้อยู่ในระดับคงที่หรือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระบบได้รับการใช้งานอย่างต่อเนื่องและมีการบริหารจัดการที่เหมาะสม

เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่เกิดขึ้นจริงจากข้อมูลการตรวจวัดการใช้น้ำในช่วงปี พ.ศ. 2565–2568 พบว่า ปริมาณการใช้น้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2565 ถึง 2567 โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2567 ซึ่งมีปริมาณการใช้น้ำในภาพรวมสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของการใช้งานอาคาร ระยะเวลาการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศที่ยาวนานขึ้น และปัจจัยด้านสภาพอากาศที่ส่งผลให้มีความต้องการใช้ระบบทำความเย็นมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ในปี พ.ศ. 2568 พบว่าปริมาณการใช้น้ำรวมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2567 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่คาดการณ์ว่า เมื่อระบบรีไซเคิลน้ำทิ้งได้รับการปรับปรุงและใช้งานอย่างเต็มประสิทธิภาพ จะสามารถช่วยลดการใช้น้ำประปาและค่าใช้จ่ายได้จริง

ดังนั้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างผลการศึกษาเชิงคาดการณ์กับผลการดำเนินงานจริง พบว่า แนวโน้มโดยรวมเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ระบบปรับปรุงน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศสามารถช่วยลดการใช้น้ำประปาและค่าใช้จ่ายในระยะยาวได้ แม้ในช่วงเริ่มต้นอาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยภายนอกที่ทำให้ปริมาณการใช้น้ำไม่ดีเท่าที่ควร แต่เมื่อมีการบริหารจัดการระบบอย่างเหมาะสม ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริงยืนยันถึงความเหมาะสมและประสิทธิภาพของโครงการในการสนับสนุนการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำและการพัฒนาอย่างยั่งยืนขององค์กร

จากผลการศึกษาการปรับปรุงระบบน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศเพื่อการอนุรักษ์น้ำ และสิ่งแวดล้อมสามารถเสนอแนวทางในการพัฒนาและต่อยอดโครงการได้ดังนี้

1. พัฒนาระบบติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้น้ำอย่างต่อเนื่อง ควรติดตั้งระบบตรวจวัดและบันทึกปริมาณการใช้น้ำแบบอัตโนมัติ (Smart Meter) เพื่อให้สามารถติดตามการใช้น้ำแบบเรียลไทม์ วิเคราะห์แนวโน้มการใช้น้ำได้อย่างแม่นยำ และใช้ข้อมูลประกอบการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบรีไซเคิลน้ำทิ้งในระยะยาว
2. ปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งก่อนนำกลับมาใช้ใหม่ ควรเพิ่มขั้นตอนการกรองหรือบำบัดน้ำทิ้ง เช่น ระบบกรองตะกอน ระบบกรองแบบหลายชั้น หรือการบำบัดเบื้องต้น เพื่อเพิ่มความเหมาะสมของน้ำสำหรับการนำกลับมาใช้ และลดความเสี่ยงต่อการเกิดการอุดตันหรือการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ในระบบ
3. ขยายการใช้งานระบบรีไซเคิลน้ำทิ้งไปยังพื้นที่อื่น ควรพิจารณานำรูปแบบระบบรีไซเคิลน้ำทิ้งที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้กับอาคารหรือระบบเครื่องน้ำทำความเย็น อื่น ๆ ภายในองค์กร เพื่อเพิ่มปริมาณการประหยัดน้ำและเสริมสร้างผลลัพธ์ด้านสิ่งแวดล้อมในภาพรวม
4. เพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการและบำรุงรักษาระบบ ควรกำหนดแผนการบำรุงรักษาระบบอย่างสม่ำเสมอ พร้อมจัดทำคู่มือการใช้งานและการดูแลรักษาระบบ เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อเนื่อง ลดการสูญเสียจากความขัดข้องของอุปกรณ์
5. บูรณาการโครงการเข้ากับนโยบายด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมขององค์กร ควรเชื่อมโยงโครงการรีไซเคิลน้ำทิ้งเข้ากับแผนบริหารจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม รวมถึงการรายงานผลการดำเนินงานด้านความยั่งยืน เพื่อเสริมสร้างภาพลักษณ์องค์กรและสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน
6. ส่งเสริมการมีส่วนร่วมและสร้างความตระหนักรู้ ควรเผยแพร่ผลการดำเนินงานของโครงการแก่บุคลากรและผู้ใช้อาคาร เพื่อสร้างความเข้าใจและความร่วมมือในการใช้น้ำอย่างประหยัด และสนับสนุนการดำเนินงานด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ. (2566). *รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2566*. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. https://www.pcd.go.th

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2565). *แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร*. กระทรวงพลังงาน. https://www.dede.go.th

[3] สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ. (2566). *รายงานสถานการณ์ทรัพยากรน้ำประเทศไทย*. https://www.onwr.go.th

[4] คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2564). การประยุกต์ใช้ระบบรีไซเคิลน้ำในอาคารขนาดใหญ่เพื่อลดการใช้น้ำประปา. *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*, 35(2), 45–58.

[5] Mustafa Çağlar Gürbüz & Gökşen Çapar (2024). Water Reuse via Membrane Technology: A Case Study for Producing Cooling Water from Soft Drink Wastewater. Yeşil Dönüşüm / Special Issue: Green Transformation (2024) SI1-SI6 DOI: 10.24323/akademik-gida.1554247

[6] Borja Garrido Arias, Noemi Merayo, Alejandro Millan, & Carlos Negro. (2021). Sustainable recovery of wastewater to be reused in cooling towers: Towards circular economy approach. Journal of Water Process Engineering. Universidad Complutense de Madrid, Dpto. de Ingeniería Química y Materiales, Avda. Complutense s/n, 28040, Madrid, Spain

[7] Olha Biedunkova, Pavlo Kuznietsov, & Vasyl Korbutiak. (2024). Evaluation of return cooling water reuse in the wet cooled power plant to minimise the impact of water intake and drainage. Sustainable Chemistry for the Environment. Sustainable Chemistry for the Environment 7 (2024) 100151

[8] Jorge Alejandro Silva. (2023). Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Management: A Systematic Literature Review. Retrieved from https://www.mdpi.com/2071-1050/

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานเกิน 10 ปี ห้องปฏิบัติการซิมมิวเลชั่น

ฤทธิพร หาพร,กมล ยอดญาติไทย และ อนุพงษ์ คงแก้ว*

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

**Corresponding author: kon.anupong@gmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้ เสนอการศึกษา การวิเคราะห์ความคุ้มค่าการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานเกิน 10 ปี ห้องปฏิบัติการชั้น 3 ศูนย์ปฏิบัติการซิมมิวเลชั่น อาคารปฏิบัติการและวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยการสำรวจห้องปฏิบัติการซึ่งมีพื้นที่ 1,100 ตารางเมตร มีเครื่องปรับอากาศเดิม จำนวน 23 เครื่อง มี BTU รวมทั้งหมดอยู่ที่ 1,062,000 BTU ซึ่งมี BTU ของเครื่องปรับอากาศสูงกว่าพื้นที่การใช้งานอยู่ที่ 164,000 BTU ส่งผลให้มีความชื้นสัมพันธ์สูงเฉลี่ยอยู่ที่ 59 (%RH) อุณหภูมิอยู่ที่ 25 – 26 °C ทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ โดยมีค่า EER เฉลี่ยอยู่ที่ 3.93 ประสิทธิภาพการทำความเย็นคิดร้อยละ 33.36 % และส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้นอยู่ที่ 533,277.67 kWh/ปี (การใช้งาน 8 ชั่วโมง/วัน) คิดเป็นเงิน 533,277.67 x 4.69 (ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยปี 2568) = 2,501,072.26 บาท/ปี

จากปัญหาดังกล่าวผู้จัดทำจึงได้ออกแบบและทำการติดตั้งเครื่องปรับอากาศใหม่ จำนวน 23 เครื่อง ซึ่งได้คำนวณ BTU ให้เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งาน จะมี BTU รวมทั้งหมดอยู่ที่ 898,000 BTU ส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 438,199.35 kWh/ปี (การใช้งาน 8 ชั่วโมง/วัน) คิดเป็นเงิน 438,199.35 x 4.69 = 2,055,154.94 บาท/ปี ซึ่งมีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงอยู่ที่ 95,078.32 kWh/ปี และค่าใช้จ่ายลดลงอยู่ที่ 445,917.32 บาท/ปี เมื่อคิดค่าติดตั้งเครื่องปรับอากาศใหม่เป็นจำนวนเงิน 2,047,000 บาท จะสามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 4.6 ปี ดังนั้น การติดตั้งเครื่องปรับอากาศใหม่สามารถช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้า ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการปรับปรุงภาพลักษณ์ขององค์กรในการดำเนินงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องตามนโยบายการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมการพัฒนาอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: เครื่องปรับอากาศ / พลังงานไฟฟ้า / สิ่งแวดล้อม

Cost-effectiveness analysis of replacing 10+ year-old air conditioners: A case study of the simulation laboratory

Rittiporn Haporn, Kamon Yodyadthai, and Anupong Kongkeaw*

Faculty of Dentistry, Mahidol University Thung Phaya Thai, Ratchathewi, Bangkok, Thailand

**Corresponding author: kon.anupong@gmail.com*

Abstract

This article presents Cost-Effectiveness Analysis of Replacing Air Conditioning Units Older than 10 Years Simulation Center, 3rd Floor, Dental Laboratory and Research Building, Faculty of Dentistry, Mahidol University. Based on a detailed survey of the laboratory, which spans a total area of 1,100 square meters, the facility is currently served by 23 air conditioning units with a combined capacity of 1,062,000 BTU. The current air conditioning system is significantly oversized for the designated area, with an excess capacity of 164,000 BTU. The excessive BTU capacity prevents the system from running long enough cycles to effectively dehumidify the air. This results in High Relative Humidity: An average of 59% RH, which can lead to discomfort and potential moisture-related issues. "With an average Energy Efficiency Ratio (EER) of 3.93 and a cooling efficiency of 33.36%."%, indicating substantial energy waste. This inefficiency manifests in high electricity consumption, totaling 533,277.67 kWh per year based on a standard operating schedule of 8 hours per day. When calculated against the 2025 average electricity tariff of 4.69 baht the financial impact is considerable, resulting in an annual expenditure of 2,501,072.26 baht/year

To address the aforementioned issues, the Creator designed and installed 23 new air conditioning units with a total cooling capacity of 898,000 BTU, specifically calculated to suit the requirements of the usage areas. Under an operational schedule of 8 hours per day, the new system consumes 438,199.35 kWh of electricity per year. At a rate of 4.69 baht per unit, this represents an annual energy cost of 2,055,154.94 baht Compared to the previous system, this upgrade achieves an energy saving of 95,078.32 kWh per year, equivalent to a cost reduction of 445,917.32 baht annually. Given the total installation cost of 2,047,000 baht, the project yields a payback period of 4.6 year. Ultimately, the installation of these new units not only reduces electricity expenses and environmental impact but also enhances the organization's image as an eco-friendly entity, strictly aligning with our energy management and sustainable development policies.

Keywords: Air conditioner / Electrical energy / Environment

1. บทนำ

จากการสำรวจพื้นที่ภายใน ห้องปฏิบัติการ ชั้น 3 ศูนย์ปฏิบัติการชิมมิวเลชั่น พบว่าระบบปรับอากาศมีความเย็นไม่เพียงพอต่อการใช้งานและมีความชื้นสะสมในห้องสูงส่งผลให้ห้องอับชื้น โดยมีสาเหตุหลักเกิดจากการออกแบบเครื่องปรับอากาศที่ไม่สอดคล้องกับพื้นที่และความเสื่อมสภาพของเครื่องปรับอากาศเดิม ซึ่งทางหน่วยวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เล็งเห็นความสำคัญของปัญหาดังกล่าว จึงได้หาข้อมูลของพื้นที่ ห้องปฏิบัติการ ชั้น 3 ศูนย์ปฏิบัติการชิมมิวเลชั่น อาคารปฏิบัติการและวิจัย ซึ่งเป็นพื้นที่ใช้งานหลักขนาด 1,100 ตารางเมตร พบว่าเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานในปัจจุบันมีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี จำนวน 23 เครื่อง โดยแบ่งเป็นเครื่องปรับอากาศแบบสี่ทิศทางจำนวน 21 ชุด และเครื่องปรับอากาศแบบแขวนใต้ฝ้าจำนวน 2 ชุด มีกำลังการทำความเย็น (BTU) รวมสูงกว่าความต้องการจริงของพื้นที่ถึง 164,000 BTU ส่งผลให้ระบบทำงานได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ (EER ต่ำ) เกิดปัญหาความชื้นสัมพัทธ์สูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน และที่สำคัญที่สุดคือทำให้เกิดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่สูงถึงกว่า 2.5 ล้านบาทต่อปี

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศชุดเดิม เป็นเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีการคำนวณขนาด BTU ให้เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งานจริงเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ทั้งในด้านการประหยัดพลังงาน ระยะเวลาคืนทุน และการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งผลการศึกษาจะช่วยสนับสนุนตามนโยบายการจัดการพลังงาน โดยการนำเสนอรูปเครื่องปรับอากาศเดิมก่อนปรับปรุงแสดงดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 เครื่องปรับอากาศก่อนปรับปรุง

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานเกิน 10 ปี ของห้องปฏิบัติการ ชั้น 3 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
2. เพื่อออกแบบและปรับปรุงขนาดทำความเย็น (BTU) ให้เหมาะสมกับพื้นที่การใช้งานจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
3. เพื่อเปรียบเทียบผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าและระยะเวลาคืนทุนหลังจากการติดตั้งเครื่องปรับอากาศใหม่
4. เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนนโยบายการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Sustainability) ขององค์กร

3. ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษาครั้งนี้ครอบคลุมการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศใหม่ จำนวน 23 เครื่อง ของศูนย์ซิมมิวเลชั่นแล็ป อาคาร ปฏิบัติการและวิจัย ชั้น 3 โดยมุ่งเน้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับค่าประสิทธิภาพค่าไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์ถึงแนวทางการลดใช้พลังงานไฟฟ้า ของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยผู้จัดทำได้กำหนดขอบเขตไว้ดังนี้

(1) ขอบเขตด้านเนื้อหา

ศึกษาวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าและเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องปรับอากาศเดิม (อายุการใช้งานเกิน 10 ปี) กับเครื่องปรับอากาศระบบใหม่ที่ติดตั้งทดแทนคำนวณความเหมาะสมของขนาดทำความเย็นให้สอดคล้องกับขนาดพื้นที่ใช้งานจริงวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ผลประหยัดพลังงาน ผลประหยัดค่าใช้จ่าย (บาท) และระยะเวลาคืนทุน ประเมินผลกระทบด้านสภาพแวดล้อมภายในห้องปฏิบัติการ เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

4. วิธีการศึกษา

4.1 การรวบรวมข้อมูล

การสำรวจพื้นที่ : สำรวจห้องปฏิบัติการ ชั้น 3 ศูนย์ปฏิบัติการซิมมิวเลชั่น พื้นที่ 1,100 ตร.ม.รวบรวมข้อมูลเครื่องปรับอากาศเก่าจำนวน 23 เครื่อง (อายุการใช้งาน > 10 ปี) บันทึกค่า BTU รวม (1,062,000 BTU) และวัดประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ใช้พลังงานไฟฟ้า บันทึกค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (25 – 26 ℃) และค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (59 %RH) ก่อนและหลังการปรับปรุง

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ประสิทธิภาพ: ประเมินค่า EER และสัดส่วน BTU ที่สูงเกินความจำเป็นของพื้นที่ (Over Capacity) ซึ่งสูงกว่าความต้องการจริง 164,000 BTU

คำนวณค่าไฟฟ้าฐาน:คำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าเดิมที่ 533,277.67 kWh/ปี โดยอ้างอิงชั่วโมงการใช้งาน 8 ชั่วโมง/วัน และอัตราค่าไฟฟ้า 4.69 บาท/หน่วย

วิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ผลประหยัดพลังงาน (kWh), ผลประหยัดค่าใช้จ่าย (บาท) และระยะเวลาคืนทุน

4.3 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

คำนวณความเหมาะสมของขนาดทำความเย็น

ตัวอย่าง

ภาระการทำความเย็นจากบริเวณห้อง

BTU = พื้นที่ห้อง × ตัวแปร

BTU คือ ภาระการทำความเย็น (Btu/hr)

ตัวอย่างการคำนวณ

ห้องนอนที่ไม่ค่อยโดดแดด กว้าง 5 เมตร, ยาว 6 เมตร

BTU = [5 เมตร x 6 เมตร] x 700

= 30 ตารางเมตร x 700

= 21,000 => 20,000

เพราะฉะนั้น ควรใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 20,000-23,000 บีทียู

ค่าตัวแปร

- ห้องนอน หรือห้องที่มีความร้อนน้อย (ห้องที่ไม่โดนแดดหรือโดนเล็กน้อย) : 700–800
- ห้องรับแขก หรือห้องที่มีความร้อนปานกลาง - มาก (ห้องที่โดนแดดหรือใช้แอร์ช่วงเวลากลางวัน) : 800–900
- ห้องออกกำลังกาย ห้องทำงาน หรือห้องที่มีความร้อนมาก หรือฝ้าสูง (ห้องที่โดนแดด อยู่ชั้นบนสุด หรือใช้เครื่องปรับอากาศช่วงกลางวัน) : 900–1,000
- ร้านค้า ร้านอาหารที่เปิดปิดประตูบ่อย ร้านทำผม หรือสำนักงานที่มีคนอยู่จำนวนมาก : 1,000–1,200

คำนวณหาค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น

- ค่าประสิทธิภาพพลังงาน EER (Energy Efficiency Ratio) คืออัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ คำนวณจาก ความสามารถในการทำความเย็น (BTU/hr) หารด้วย กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (Watt) ยิ่งมีค่า EER สูง จะส่งผลให้มีการประหยัดไฟมากขึ้น [2]

$$\text{EER} = \frac{(\text{BTU/hr})}{(\text{Watt})}$$

โดยที่

- BTU/hr (British Thermal Unit per Hour) คือ หน่วยวัดอัตราความสามารถในการทำความเย็นหรือการกำจัดความร้อนของเครื่องปรับอากาศต่อชั่วโมง ยิ่งมีค่า BTU/hr สูง เครื่องยิ่งมีกำลังทำความเย็นมาก โดย 1 ตันความเย็น เท่ากับ 12,000 BTU/hr
- W คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (W)

คำนวณหาค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานไฟฟ้า

- การตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้า สามารถตรวจวัดได้โดยใช้เครื่องมือวัดค่าพลังไฟฟ้า (Power meter) ซึ่งอ่านค่าพลังงานไฟฟ้าซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW) ได้โดยตรง หรือคำนวณค่าพลังไฟฟ้าจากสมการ
- พลังไฟฟ้า = แรงดัน × กระแส × ค่าตัวประกอบกำลัง (กรณีไฟฟ้า 1 เฟส)
- พลังไฟฟ้า = √3 × แรงดัน × กระแส × ค่าตัวประกอบกำลัง (กรณีไฟฟ้า 3 เฟส)
- สูตรแปลงวัตต์ (W) เป็นกิโลวัตต์ (kW) คือ $\frac{\text{W}}{1{,}000}$ โดย 1,000 วัตต์ เท่ากับ 1 กิโลวัตต์

มาตรการด้านอนุรักษ์พลังงาน

- การใช้เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง สมการที่ใช้ประเมินผลประหยัด คือ
- พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี (KWh/y) = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เดิม (KW) × (% KW/TR ที่ลดลง) × ชั่วโมงการใช้
- งานต่อปี (h/y) × % ค่าตัวประกอบกำลัง

วิธีการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

- การประเมินความคุ้มค่าของโครงการใช้วิธีการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)
- สูตรการคำนวณระยะเวลาคืนทุน

  ระยะเวลาคืนทุน (ปี) = เงินลงทุนทั้งหมด ÷ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อปี

4.4 การสรุปผลและจัดทำข้อเสนอแนะ

ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าใช้จ่าย ถูกนำมาวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ เพื่อประเมินแนวโน้มการใช้ไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายที่ลดลง และประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษาวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ ณ ห้องปฏิบัติการ ชั้น 3 ศูนย์ปฏิบัติการซิมมิวเลชั่นคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล สามารถสรุปผลการดำเนินงานและอภิปรายประเด็นสำคัญได้ดังนี้

(1) ผลการวิเคราะห์สภาพปัญหาของระบบเดิม

จากการสำรวจพื้นที่ 1,100 ตารางเมตร พบว่าระบบปรับอากาศเดิม (อายุการใช้งาน > 10 ปี) มีขนาดรวมถึง 1,062,000 BTU ซึ่งเมื่อคำนวณตามภาระความร้อนจริงพบว่า มีขนาดสูงกว่าความจำเป็น (Oversized) ถึง 164,000 BTU ส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการทำงาน ดังนี้

ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (EER): อยู่ที่เพียง 33.36 % ซึ่งถือว่าต่ำมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานปัจจุบัน

การควบคุมสภาวะแวดล้อม: ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงถึง 59% RH ที่อุณหภูมิ 25–26 °C เนื่องจากเครื่องปรับอากาศมีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้คอมเพรสเซอร์หน่วงการทำงานบ่อยเกินไป จนไม่สามารถดึงความชื้นออกจากอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาระค่าไฟฟ้า: ระบบเดิมใช้พลังงานไฟฟ้าสูงถึง 533,277.67 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่าย 2,501,072.26 บาท/ปี

(2) ผลการเปรียบเทียบหลังการปรับปรุงระบบ

ภายหลังการออกแบบและติดตั้งเครื่องปรับอากาศใหม่จำนวน 23 เครื่อง โดยเลือกขนาด BTU ให้เหมาะสมกับพื้นที่ (Right-sizing) รวม 898,000 BTU คิดเป็น 8,987.832 วัตต์ และได้คำนวณแปลงค่า วัตต์ (Watt) เป็น kW (กิโลวัตต์) 228.23 kW จากนั้นทำไปคูณด้วยชั่วโมงการทำงานต่อวันคิดเป็น 1,825.83 kW/hr คูณด้วยการทำงานต่อเดือนคิดเป็น 36,516.61 kWh/เดือน และต่อปีตามลำดับ จึงได้ค่าสรุปเป็น kWh/ปี โดยพบความเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ ดังนี้:

ด้านพลังงาน: ปริมาณการใช้ไฟฟ้า 438,199.35 kWh/ปี ประหยัดพลังงานได้ถึง 95,078.32 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 445,917.32 บาท/ปี

จุดคุ้มทุน: ด้วยงบประมาณการลงทุน 2,047,000 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนต่างของค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ มีระยะเวลาคืนทุนเพียง 4.6 ปี

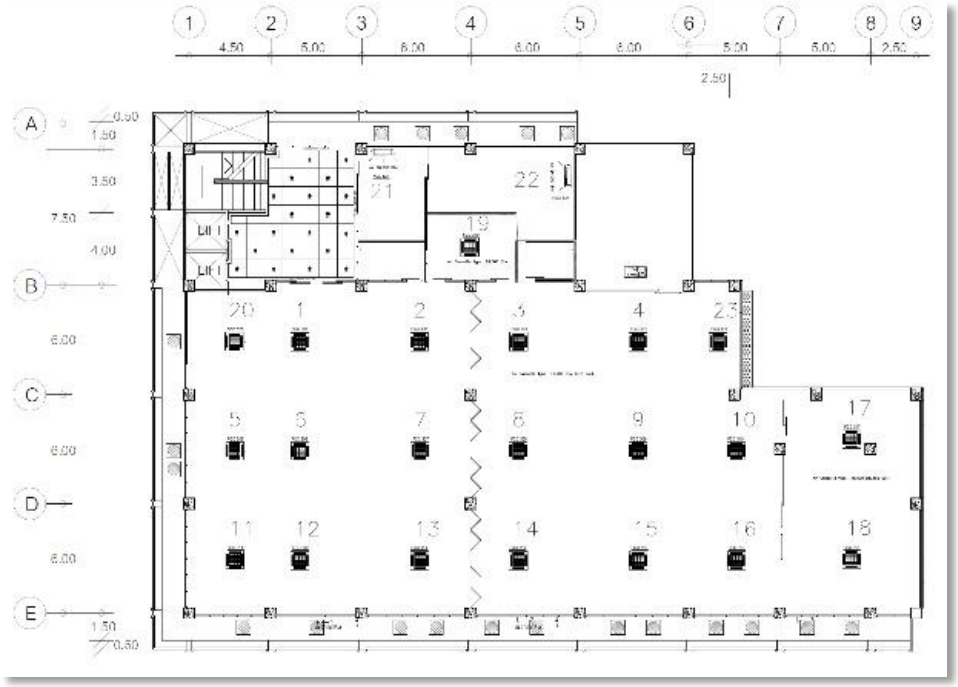
(3) อภิปรายผลการศึกษา

ประเด็นสำคัญที่พบจากการศึกษานี้คือ "ความเชื่อผิดๆ ที่ว่า BTU ยิ่งสูงยิ่งดี" ในความเป็นจริงการติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็นนอกจากจะทำให้ค่าติดตั้งสูงขึ้นแล้ว ยังส่งผลให้ประสิทธิภาพการลดความชื้นได้ไม่ดีและกินกระแสไฟฟ้ามากขึ้น การเลือกขนาด BTU ให้สมดุลกับพื้นที่ จึงเป็นปัจจัยที่ทำให้ระบบใหม่ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ [1]

นอกจากนี้ ระยะเวลาคืนทุน 4.6 ปี ถือเป็นตัวเลขที่คุ้มค่าอย่างยิ่งสำหรับการลงทุนในอาคารภาครัฐ เนื่องจากเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่มักมีอายุการใช้งานเฉลี่ย 10–15 ปี หมายความว่าหลังจากปีที่ 5 เป็นต้นไป องค์กรจะสามารถลดค่าใช้จ่ายคงที่ลงได้อย่างถาวร ซึ่งสอดคล้องกับนโยบาย Green University ของมหาวิทยาลัยมหิดล ที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างรู้คุณค่าและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินความจำเป็น

5.1 ผลการศึกษารูปแบบผลงานวิชาการ

จากการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลในการสำรวจพื้นที่ปรับปรุง มีอยู่ 1,100 ตารางเมตร ได้ทำการออกแบบและคำนวนพื้นที่เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานใหม่ โดยติดตั้งเครื่องปรับอากาศใหม่จำนวน 23 ชุด โดย มี ขนาดทำความเย็นรวมอยู่ที่ 898,000 BTU ซึ่งตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศใหม่อยู่บริเวณห้องปฏิบัติการ ชั้น 3 ศูนย์ปฏิบัติการซิมมิวเลชั่น โดยแบ่งเป็นเครื่องปรับอากาศแบบสี่ทิศทางจำนวน 21 ชุด และเครื่องปรับอากาศแบบแขวนใต้ฝ้าจำนวน 2 ชุด แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบแปลนพื้นที่การติดตั้งเครื่องปรับอากาศ

จากการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพ ก่อนปรับปรุงเครื่องปรับอากาศเดิม จำนวน 23 เครื่อง ขนาดรวมอยู่ที่ 1,062,000 BTU โดยพบว่าค่าประสิทธิภาพที่วัดได้จากการเก็บค่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่คิดเป็นร้อยละ 33.36 และมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 26 ℃ และมีความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ยอยู่ที่ (59 %RH) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศก่อนปรับปรุงจำนวน 23 เครื่อง

เครื่องปรับอากาศเก่า						
ลำดับ	BTU	ค่าประสิทธิภาพ (Name Plate)	ค่าประสิทธิภาพที่วัดได้	คิดเป็นร้อยละ	อุณหภูมิ °C	ความชื้นสัมพัทธ์
1	48,000	11.76	4.30	36.60	25	59
2	48,000	11.76	4.01	34.10	25	61
3	48,000	11.76	3.90	33.18	25	63
4	48,000	11.76	4.17	35.48	25	62
5	48,000	11.76	3.95	33.57	26	57
6	48,000	11.76	3.73	31.73	25	60
7	48,000	11.76	3.73	31.76	25	60
8	48,000	11.76	3.75	31.91	26	59
9	48,000	11.76	3.63	30.87	26	58
10	48,000	11.76	3.91	33.27	26	59
11	48,000	11.76	3.98	33.87	26	60
12	48,000	11.76	4.03	34.26	25	58
13	48,000	11.76	3.89	33.04	26	58
14	48,000	11.76	3.72	31.63	26	60
15	48,000	11.76	4.49	38.19	25	58
16	48,000	11.76	3.84	32.68	26	60
17	48,000	11.76	3.97	33.75	26	58
18	48,000	11.76	3.92	33.31	26	59
19	48,000	11.76	4.17	35.49	25	60
20	18,000	13	5.78	44.50	25	59
21	48,000	11.76	3.62	30.75	26	59
22	48,000	11.76	3.71	31.51	26	59
23	36,000	9.65	2.11	21.83	25	59
รวม	**1,062,000**	**11.72**	**3.93**	**33.36**	**25.52°C**	**59**

จากการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพ หลังปรับปรุงเครื่องปรับอากาศใหม่ จำนวน 23 เครื่อง ขนาดรวม อยู่ที่ 898,000 BTU โดยพบว่าค่าประสิทธิภาพที่วัดได้จากการเก็บค่ามี ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ คิดเป็นร้อยละ 100 และมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 24.53 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์ เฉลี่ยอยู่ที่ (53 %RH) แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศหลังปรับปรุงจำนวน 23 เครื่อง

เครื่องปรับอากาศติดตั้งใหม่						
ลำดับ	BTU	ค่าประสิทธิภาพ (Name Plate)	ค่าประสิทธิภาพที่วัดได้	คิดเป็นร้อยละ	อุณหภูมิ	ความชื้นสัมพัทธ์
1	40,000	3.43	4.82	100	24.8	58
2	40,000	3.43	4.38	100	23.9	57
3	40,000	3.43	4.43	100	23.9	59
4	40,000	3.43	4.79	100	24.9	56

ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศหลังปรับปรุงจำนวน 23 เครื่อง (ต่อ)

เครื่องปรับอากาศติดตั้งใหม่						
ลำดับ	BTU	ค่าประสิทธิภาพ (Name Plate)	ค่าประสิทธิภาพที่วัดได้	คิดเป็นร้อยละ	อุณหภูมิ	ความชื้นสัมพัทธ์
5	40,000	3.43	4.71	100	24.8	58
6	40,000	3.43	4.64	100	24.8	55
7	40,000	3.43	4.68	100	24.6	59
8	40,000	3.43	4.52	100	24.6	57
9	40,000	3.43	4.69	100	24.7	53
10	40,000	3.43	4.44	100	24.7	54
11	40,000	3.43	4.62	100	24	54
12	40,000	3.43	4.60	100	24	54
13	40,000	3.43	4.83	100	24	54
14	40,000	3.43	4.71	100	24.9	55
15	40,000	3.43	4.44	100	25	55
16	40,000	3.43	0.95	100	25	58
17	50,000	2.75	3.45	100	24.8	58
18	50,000	2.75	3.43	100	24.8	58
19	24,000	3.79	6.37	100	24	55
20	18,000	3.79	2.08	100	24	54
21	40,000	3.43	13.57	100	25	58
22	40,000	3.43	15.76	100	25	58
23	36,000	3.43	4.01	100	24	58
ผลรวม	**898,000**	**3.40**	**5.17**	**100**	**25**	**56**

จากการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ก่อนปรับปรุงเครื่องปรับอากาศเดิม จำนวน 23 เครื่อง ขนาดรวม อยู่ที่ 898,000 BTU โดยพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าต่อเดือน ที่วัดได้จากการเก็บค่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ 44439.81 ต่อเดือน ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี ที่วัดได้จากการเก็บค่าและมีค่าเฉลี่ยอยู่ 533277.67 ต่อปี โดยคิดเป็นเงินเฉลี่ยอยู่ที่ 2,501,072.26 บาทต่อปี แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศก่อนปรับปรุงจำนวน 23 เครื่อง

เครื่องปรับอากาศเก่า						
ลำดับ	BTU	kW	kW/hr	kW/เดือน	kW/ปี	จำนวนเงิน/บาท
1	48,000	11.15	89.21	1784.30	21411.58	100,420.30
2	48,000	11.97	95.74	1914.88	22978.52	107,769.28
3	48,000	12.30	98.40	1967.95	23615.41	110,756.29
4	48,000	11.50	92.04	1840.74	22088.90	103,596.95
5	48,000	12.16	97.26	1945.21	23342.46	109,476.14
6	48,000	12.86	102.90	2058.09	24697.11	115,829.45
7	48,000	12.85	102.82	2056.41	24676.89	115,734.63

ตารางที่ 3 ผลการตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศก่อนปรับปรุงจำนวน 23 เครื่อง (ต่อ)

เครื่องปรับอากาศเก่า						
ลำดับ	BTU	kW	kW/hr	kW/เดือน	kW/ปี	จำนวนเงิน/บาท
8	48,000	12.79	102.31	2046.30	24555.58	115,165.68
9	48,000	13.22	105.77	2115.38	25384.55	119,053.52
10	48,000	12.27	98.14	1962.90	23554.76	110,471.81
11	48,000	12.05	96.42	1928.36	23140.27	108,527.88
12	48,000	11.92	95.32	1906.45	22877.43	107,295.15
13	48,000	12.35	98.82	1976.38	23716.51	111,230.41
14	48,000	12.91	103.24	2064.83	24777.99	116,208.76
15	48,000	10.69	85.51	1710.16	20521.96	96,247.97
16	48,000	12.49	99.91	1998.28	23979.35	112,463.15
17	48,000	12.09	96.75	1935.10	23221.15	108,907.19
18	48,000	12.25	98.02	1960.37	23524.43	110,329.57
19	48,000	11.50	91.99	1839.90	22078.79	103,549.54
20	18,000	3.11	24.89	497.88	5974.62	28,020.96
21	48,000	13.27	106.19	2123.80	25485.64	119,527.65
22	48,000	12.95	103.62	2072.41	24868.97	116,635.47
23	36,000	17.09	136.69	2733.73	32804.80	153,854.51
ผมรวม	**1,062,000**	**277.75**	**2221.99**	**44439.81**	**533277.67**	**2,501,072.26**

จากการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า หลังปรับปรุงเครื่องปรับอากาศใหม่ จำนวน 23 เครื่อง ขนาดรวม อยู่ที่ 898,000 BTU โดยพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าต่อเดือน ที่วัดได้จากการเก็บค่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ 36,516.61 ต่อเดือน ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี ที่วัดได้จากการเก็บค่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ 438,199.35 ต่อปี โดยคิดเป็นเงินเฉลี่ยอยู่ที่ 2,055,154.94 บาทต่อปี และสามารถลดค่าใช้จ่ายรายปีลงได้ 445,917.32 บาท เมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุง แสดงดังตารางที่ 4

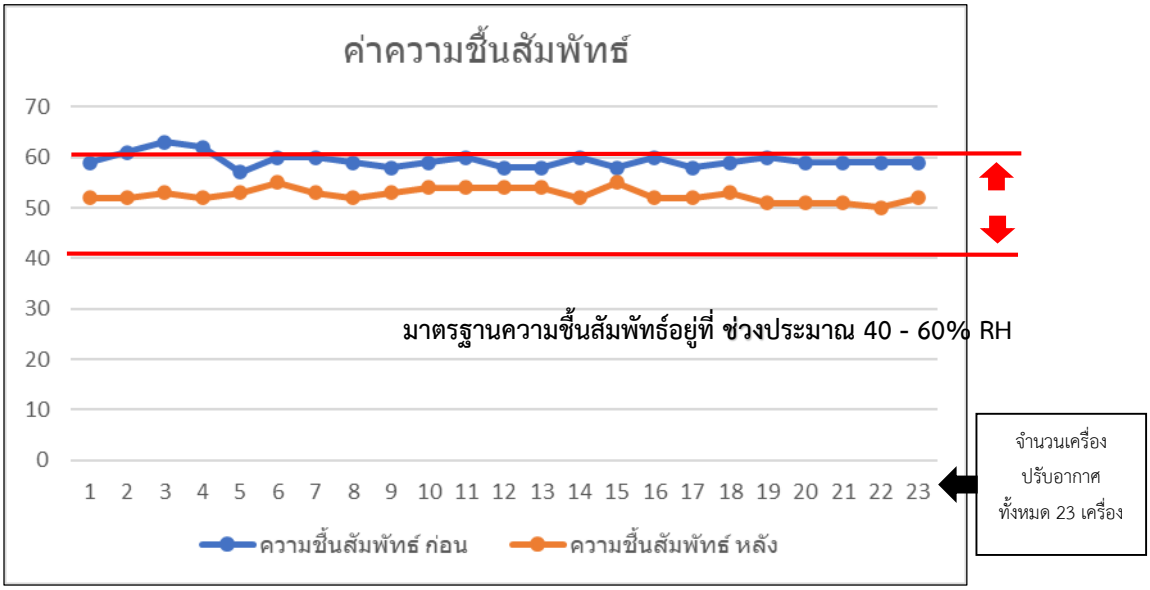
ตารางที่ 4 ผลการตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศหลัง ปรับปรุงจำนวน 23 เครื่อง

เครื่องปรับอากาศติดตั้งใหม่						
ลำดับ	BTU	kW	kW/hr	kW/เดือน	kW/ปี	จำนวนเงิน/บาท
1	40,000	8.30	66.38	1327.69	15932.32	74,722.56
2	40,000	9.12	73.00	1459.96	17519.48	82,166.37
3	40,000	9.02	72.20	1443.95	17327.40	81,265.53
4	40,000	8.36	66.85	1336.96	16043.52	75,244.10
5	40,000	8.49	67.94	1358.86	16306.36	76,476.84
6	40,000	8.62	69.00	1379.92	16559.09	77,662.16
7	40,000	8.55	68.36	1367.29	16407.45	76,950.96
8	40,000	8.85	70.77	1415.31	16983.69	79,653.49
9	40,000	8.52	68.20	1363.92	16367.02	76,761.31
10	40,000	9.01	72.11	1442.27	17307.19	81,170.70

ตารางที่ 4 ผลการตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศหลัง ปรับปรุงจำนวน 23 เครื่อง (ต่อ)

เครื่องปรับอากาศติดตั้งใหม่						
ลำดับ	BTU	kW	kW/hr	kW/เดือน	kW/ปี	จำนวนเงิน/บาท
11	40,000	8.67	69.33	1386.66	16639.97	78,041.46
12	40,000	8.70	69.63	1392.56	16710.74	78,373.35
13	40,000	8.29	66.30	1326.01	15912.10	74,627.74
14	40,000	8.49	67.90	1358.02	16296.25	76,429.42
15	40,000	9.01	72.07	1441.42	17297.08	81,123.29
16	40,000	42.27	338.16	6763.15	81157.76	380,629.90
17	50,000	14.48	115.88	2317.57	27810.79	130,432.59
18	50,000	14.57	116.55	2331.04	27972.54	131,191.20
19	24,000	3.77	30.16	603.19	7238.29	33,947.56
20	18,000	8.66	69.25	1384.98	16619.75	77,946.63
21	40,000	2.95	23.59	471.77	5661.23	26,551.16
22	40,000	2.54	20.30	406.06	4872.70	22,852.97
23	36,000	8.99	71.90	1438.05	17256.64	80,933.64
ผลรวม	**898,000**	**228.23**	**1825.83**	**36516.61**	**438199.35**	**2,055,154.94**

จากกราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ พบว่ามีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ลดลง และมีแนวโน้มสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ ในการควบคุมความชื้นให้เหมาะสมกับการใช้งานของพื้นที่ โดยความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity - RH) ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอยู่อาศัยและสุขอนามัยของมนุษย์ทั่วไป คือช่วง 40% - 60% RH ซึ่งเป็นระดับที่รู้สึกสบายตัว ไม่แห้งเกินไปจนระคายเคืองผิวหนังและทางเดินหายใจ และไม่ชื้นเกินไปจนเกิดเชื้อราหรือไรฝุ่น โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ก่อนและหลังการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศ [3] แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ก่อนและหลังการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศ

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาวิเคราะห์ความคุ้มค่าการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานเกิน 10 ปี ห้องปฏิบัติการ ชั้น 3 ศูนย์ปฏิบัติการชิมมิวเลชั่น อาคารปฏิบัติการและวิจัยพบว่า จากการเก็บผลก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องปรับอากาศนั้น มีความสามารถในการควบคุมความชื้นสัมพันธ์ที่มีดีขึ้น และค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่ดีขึ้น รวมถึงการควบคุมอุณหภูมิที่มีประสิทธิภาพ การลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายที่ลดลง

ดังนั้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างผลการศึกษาเชิงคาดการณ์กับผลการดำเนินงานจริง พบว่า แนวโน้มโดยรวมเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ การปรับปรุงเครื่องปรับอากาศสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในระยะยาวได้ แม้เริ่มต้นอาจมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่สูง แต่เมื่อมีการบริหารจัดการระบบอย่างเหมาะสม ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริงยืนยันถึงความเหมาะสมของเครื่องปรับอากาศ การสนับสนุนการลดใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อสิ่งแวดล้อมและการพัฒนาอย่างยั่งยืนขององค์กร [5]

จากผลการศึกษาการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศสามารถเสนอแนวทางในการพัฒนาและต่อยอดโครงการได้ดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลและจัดทำรายการจำนวนของเครื่องปรับอากาศเพื่อนำว่าวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี
2. ปรับปรุงคุณภาพของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมต่อการใช้งาน
3. ควบคุมคุณภาพของเครื่องปรับอากาศให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ
4. บูรณาการโครงการเข้ากับนโยบายด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมขององค์กรควรเชื่อมโยงโครงการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศเข้ากับแผนบริหารจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม รวมถึงการรายงานผลการดำเนินงานด้านความยั่งยืน เพื่อเสริมสร้างภาพลักษณ์องค์กรและสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน [4]
5. ส่งเสริมการมีส่วนร่วมและสร้างความตระหนักรู้ควรเผยแพร่ผลการดำเนินงานของโครงการแก่บุคลากรและผู้ใช้อาคารเพื่อสร้างความเข้าใจและความร่วมมือในการใช้เครื่องปรับอากาศอย่างประหยัดและสนับสนุนการดำเนินงานด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] ประจวบ อินระวงศ์ , อภิชาตกุล รุ่งเพชร และสุพล บุญเอิบ. (2557). วิเคราะห์ความคุ้มค่าการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานเกิน 10 ปี. วารสารวิชาการสิ่งแวดล้อม, การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 12-14 พฤศจิกายน 2557, 391-396.

[2] นายประยูร ดีถนัด (2563). การวิเคราะห์ความคุ้มค่าการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ ของสำนักพิมพ์ที่ใช้งาน 10 ปีขึ้นไป. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

[3] นางสาวพรรณิภา เจียมศิริโรจน์ (2560). ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเมื่อเปลี่ยนสารทำความเย็น HCFC-22 เป็น HFC-32 (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

[4] บรรพต ประภาศิริ. (2556). ได้ทำการศึกษาเรื่อง การประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศโดยการใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิและการบำรุงรักษาเบื้องต้น

[5] อธิวัฒน์ (2556) การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ กรณีศึกษา : สหกิจศึกษา ณ บริษัท ดี แอนด์จี เคมีภัณฑ์แอนด์เทรดดิ่ง จำกัด

วิเคราะห์ความคุ้มค่าการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ สำหรับมอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อนชิลเลอร์ ประจำอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา

กมล ยอดญาติไทย[1], อนุพงษ์ คงแก้ว[2], และ ฤทธิพร หาพร[2*]

[1]คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[2]งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ประเทศไทย
**Corresponding author: rittiporn2529@gmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้ เสนอการศึกษาวิเคราะห์ความคุ้มค่าการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ สำหรับมอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อนชิลเลอร์ ปัจจุบันระบบปรับอากาศอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เป็นระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ขนาดใหญ่ โดยใช้ระบบคูลลิ่งทาวเวอร์ในการระบายความร้อนของชิลเลอร์ ซึ่งการส่งน้ำด้านระบายความร้อนไปยังคูลลิ่งทาวเวอร์ใช้มอเตอร์ ขนาด 100 แรงม้า มีขนาดกำลังไฟฟ้า 75 กิโลวัตต์ ทำงานต่อเนื่องเฉลี่ย 13 ชั่วโมง/วัน ใช้พลังงานไฟฟ้า 352,872 กิโลวัตต์/ชั่วโมง/ปี คิดเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 1,654,969.68 บาทต่อปี โดยระบบระบายความร้อนด้วยน้ำทำงานเต็มพิกัด (Full-load) ต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ซึ่งเกินความจำเป็นของระบบระบายความร้อน ทำให้มีค่าการสูญเสียพลังงานส่วนเกิน และเป็นสาเหตุให้ระบบทำงานไม่มีประสิทธิภาพ

จากปัญหาดังกล่าวเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานผู้จัดทำได้ศึกษาและออกแบบติดตั้งอินเวอร์เตอร์ สำหรับมอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อนชิลเลอร์ พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังติดตั้งอยู่ที่ 176,904 กิโลวัตต์/ชั่วโมง/ปี คิดเป็นจำนวนเงิน 829,679.76 บาทต่อปี จึงเห็นได้ว่าสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 175,968 กิโลวัตต์/ชั่วโมง/ปี คิดเป็นจำนวนเงิน 825,289.92 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 49.87 โดยโครงการใช้เงินลงทุนติดตั้งอินเวอร์เตอร์ 1 ชุด รวมเป็นเงิน 1,364,250 บาท มีระยะคืนทุนที่ 1.7 ปี การติดตั้งอินเวอร์เตอร์สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการปรับปรุงภาพลักษณ์ขององค์กรในการดำเนินงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องตามนโยบายการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมการพัฒนาอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ชิลเลอร์ / อินเวอร์เตอร์ / พลังงานไฟฟ้า

Cost-effectiveness analysis inverter installation for cooling water pumps of chiller machines at the 50th Anniversary Chalermprakiat Building

Kamon Yodyadthai[1], Anupong Kongkeaw[2], and Rittiporn Haporn[2*]

[1]Faculty of Dentistry, Mahidol University, Thailand
[2]Physical and Environmental Unit, Faculty of Dentistry, Mahidol University, Thailand
**Corresponding author: rittiporn2529@gmail.com*

Abstract

Abstract/Introduction: This article presents a technical study and Cost-Effectiveness Analysis Inverter Installation for cooling water Pumps of Chiller machines at the 50th Anniversary Chalermprakiat Building, Faculty of Dentistry, Mahidol University. Currently, the building utilizes a large-scale centralized air conditioning system use cooling towers for Chiller machines heat rejection. The system employs a 100-horsepower (75 kW) motor, which operates for an average of 13 hours per day. This results in an annual energy consumption of 352,872 kWh, totaling 1,654,969.68 THB in electricity costs per year. Presently, the water-cooled system operates at full-load capacity continuously, exceeding the actual cooling requirements. This continuous full-load operation leads to significant energy waste and overall system inefficiency.

To address the aforementioned issues, a study was conducted to design and implement inverter system for the chiller unit's cooling water pump motors. Following the installation, the annual electrical energy consumption was recorded at 176,904 kWh, equivalent to an operating cost of 829,679.76 THB per year. The implementation resulted in a significant energy reduction of 175,968 kWh per year, saving approximately 825,289.92 THB annually, which represents a 49.87% improvement in energy efficiency. With a total investment of 1,364,250 THB for the inverter system, the project demonstrates strong financial viability with a payback period of only 1.7 years. The installation of Variable Frequency Drive (VFD) inverters significantly reduces the electrical energy consumption of the air conditioning system, leading to a direct decrease in environmental impact. Furthermore, this initiative enhances the organization's corporate image as an environmentally conscious entity. Such improvements are strictly aligned with the corporate energy management policy and environmental goals, fostering sustainable development and long-term operational excellence.

Keywords: Chiller / Inverter / Electrical energy

1. บทนำ

ในสภาวะปัจจุบันที่ต้นทุนด้านพลังงานมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารภาครัฐและสถานศึกษาจึงเป็นภารกิจสำคัญที่ไม่เพียงแต่ช่วยลดภาระค่าใช้จ่าย แต่ยังสะท้อนถึงความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมตามนโยบายการพัฒนาอย่างยั่งยืน ซึ่งอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ขนาดใหญ่ (Centralized Air Conditioning System) เป็นหนึ่งในระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดของอาคารคิดเป็นร้อยละ 60 โดยในการระบายความร้อนของของชิลเลอร์จะใช้น้ำที่มาจากระบบคูลลิ่งทาวเวอร์ในการระบายความร้อนให้กับชิลเลอร์ โดยใช้เครื่องทำความเย็นขนาด 800 ตัน และมอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อน แสดงดังรูปที่ 1

อย่างไรก็ตามจากการตรวจสอบการทำงานของระบบระบายความร้อนชิลเลอร์ ของอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล พบว่ามอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อน (Condenser Water Pump) นั้นมีขนาด 100 แรงม้า ทำงานในลักษณะเต็มพิกัด (Full-load) ค่าความถี่ไฟฟ้าที่ 50 เฮิรตซ์ อัตรากำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 75 กิโลวัตต์ ตลอดเวลาเฉลี่ย 13 ชั่วโมงต่อวัน ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงถึง 352,872 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายกว่า 1.65 ล้านบาทต่อปี การทำงานในลักษณะเต็มพิกัดเช่นนี้ทำให้เกิด "พลังงานส่วนเกิน" (Excess Energy) เนื่องจากมอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อนไม่สามารถปรับเปลี่ยนพละกำลังมอเตอร์ได้ตามสภาวะการใช้งานที่แท้จริงได้ ซึ่งนำไปสู่การใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่าเกณฑ์ที่ควรจะเป็น เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวผู้จัดทำจึงได้ศึกษาและทำการออกแบบการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ หรือ อินเวอร์เตอร์ (Inverter หรือ Variable Frequency Drive - VFD) เข้ากับมอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อน เพื่อปรับเปลี่ยนความเร็วรอบให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานจริงตามหลักการของ Affinity Laws ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าส่วนเกิน จากการศึกษาและออกแบบเบื้องต้น คาดการณ์ว่าการติดตั้งระบบดังกล่าวจะสามารถลดการใช้พลังงานลงเหลือเพียง 176,904 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี หรือประหยัดพลังงานได้ถึงร้อยละ 49.87 คิดเป็นมูลค่าการประหยัดกว่า 8.2 แสนบาทต่อปี โดยมีระยะเวลาคืนทุนที่รวดเร็วเพียง 1.7 ปี การศึกษานี้จึงไม่เพียงแต่มุ่งเน้นผลลัพธ์ทางเศรษฐศาสตร์ แต่ยังเป็นตัวอย่างการยกระดับภาพลักษณ์องค์กรสู่การเป็น Green University ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นรูปธรรม การดำเนินโครงการนี้ไม่เพียงแต่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับวิศวกรรมอาคารเท่านั้น แต่ยังเป็นส่วนสำคัญในการสนับสนุนนโยบายการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainability) และช่วยยกระดับภาพลักษณ์ขององค์กรในการดำเนินงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นรูปธรรม

(ก) เครื่องทำความเย็นขนาด 800 ตัน

(ข) มอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อน

รูปที่ 1 แสดง (ก) เครื่องทำความเย็นขนาด 800 ตันและ (ข) มอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สภาวะการใช้พลังงานปัจจุบัน ของมอเตอร์ส่งน้ำระบายความในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ประจำอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา

2. เพื่อออกแบบและติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter/VFD) ให้สอดคล้องกับการใช้งานที่แท้จริง เพื่อลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินจากการทำงานแบบ Full-load ตลอดเวลา

3. เพื่อประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า สัดส่วนร้อยละของการประหยัด มูลค่าตัวเงินที่ประหยัดได้ และระยะเวลาคืนทุน

4. เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง และส่งเสริมนโยบายการจัดการพลังงานและการพัฒนาอย่างยั่งยืนของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

3. ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter/VFD) ของมอเตอร์ส่งน้ำระบายความในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ประจำอาคารอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล[3] โดยมุ่งเน้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับค่าไฟฟ้า งบประมาณการลงทุน เพื่อวิเคราะห์ถึงแนวทางการลดใช้พลังงานไฟฟ้า ของคณะทันตแพทยศาสตรมหาวิทยาลัยมหิดล ผู้จัดทำได้กำหนดขอบเขตไว้ดังนี้

1. ขอบเขตด้านสถานที่และอุปกรณ์

พื้นที่ศึกษา:	ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ประจำอาคารอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
อุปกรณ์เป้าหมาย:	มอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อน (Condenser Water Pump) ขนาด 100 แรงม้า จำนวน 1 ชุด

2. ขอบเขตด้านเทคนิคและการเก็บข้อมูล

การศึกษาภาวะการทำงานเดิม:	ศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานในสภาวะที่ทำงานเต็มพิกัด (Full-load) ต่อเนื่อง เฉลี่ย 13 ชั่วโมงต่อวัน
เทคโนโลยีที่ใช้:	ศึกษาการนำชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter/VFD) มาประยุกต์ใช้เพื่อปรับลดการใช้พลังงานให้สอดคล้องกับการใช้งานที่แท้จริง
การวัดผล:	เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) ก่อนและหลังการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

3. ขอบเขตด้านการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์

งบประมาณลงทุน:	งบประมาณการลงทุน ปริมาณค่าใช้จ่ายที่ลดลง และระยะเวลาคืนทุน

4. วิธีการศึกษา

4.1 การรวบรวมข้อมูลก่อนการปรับปรุง

สำรวจข้อมูลทางเทคนิคของมอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อน มอเตอร์มีขนาด 100 แรงม้า ทำงานในลักษณะเต็มพิกัดที่ความถี่ไฟฟ้า 50 เฮิรตซ์ อัตรากำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 75 กิโลวัตต์ โดยก่อนการติดตั้งค่าแรงดันน้ำอยู่ที่ 160 psi และอัตราการไหลน้ำอยู่ที่ 2,476.6 GPM แสดงดังรูปที่ 2 เปิดใช้งานตลอดเวลาเฉลี่ย 13 ชั่วโมงต่อวัน ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงถึง 352,872 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายกว่า 1.65 ล้านบาทต่อปี

(ก) ค่าแรงดันน้ำก่อนติดตั้งอินเวอเตอร์

(ข) อัตราการไหลน้ำก่อนติดตั้งอินเวอเตอร์

รูปที่ 2 แสดง (ก) ค่าแรงดันน้ำก่อนติดตั้งอินเวอเตอร์และ (ข) อัตราการไหลน้ำก่อนติดตั้งอินเวอเตอร์

4.2 การวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุม

ออกแบบการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter/VFD) เพื่อปรับความถี่ไฟฟ้า (Hz) ให้เหมาะสมกับสภาวะการทำงานจริง โดยการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ แสดงดังรูปที่ 3

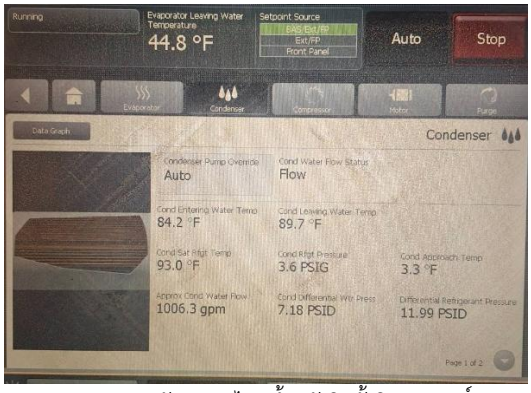
รูปที่ 3 แสดงการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter/VFD)

4.3 การประเมินผลหลังการติดตั้ง

หลังการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ได้ทำการปรับค่าความถี่ไฟฟ้าลงอยู่ที่ 40 เฮิรตซ์[1] ภายใต้เงื่อนไขการทำงานเดิมจากการศึกษาพบว่า ค่าอัตรากำลังไฟฟ้าลดลงมาอยู่ที่ 37.8 กิโลวัตต์ แรงดันน้ำอยู่ที่ 150 psi และอัตราการไหลน้ำอยู่ที่ 1,006.3 GPM แสดงดังรูปที่ 4 ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเหลือ 176,904 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี หรือคิดเป็นค่าใช้จ่าย 0.829 ล้านบาทต่อปี

(ก) หน้าจอแสดงผลอินเวอเตอร์

(ข) ค่าแรงดันน้ำหลังติดตั้งอินเวอเตอร์



(ค) อัตราการไหลน้ำหลังติดตั้งอินเวอเตอร์

รูปที่ 4 แสดง (ก) หน้าจอแสดงผลอินเวอเตอร์ (ข) ค่าแรงดันน้ำหลังติดตั้งอินเวอเตอร์และ (ค) อัตราการไหลน้ำหลังติดตั้งอินเวอเตอร์

4.4 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

สูตรการคำนาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวัน

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวัน (kWh) = กำลังไฟฟ้า (W) x ชั่วโมงการทำงาน

สูตรการคำนาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) = ค่าพลังงานพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวัน x 1ปี (365 วัน)

สูตรการคำนวณค่าใช้จ่าย[4]

ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี) = ค่าพลังงานพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี (kWh) × อัตราค่าไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)

4.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

การประเมินความคุ้มค่าของการการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ใช้วิธีการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

สูตรการคำนวณระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน (ปี) = เงินลงทุนทั้งหมด ÷ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อปี

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter/VFD) สำหรับมอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อนขนาด 100 แรงม้า อัตรากำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 75 กิโลวัตต์ ประจำอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา สามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังนี้

5.1 ผลการปรับความถี่ไฟฟ้าที่เหมาะสม

จากการปรับเปลี่ยนระบบการทำงานของมอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อนจากความเร็วรอบคงที่ลักษณะเต็มพิกัด (Full-load) มาเป็นการควบคุมความเร็วรอบตามสภาวะโหลดจริง พบว่าหลังจากการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter/VFD) ได้ทำการปรับความถี่ไฟฟ้า (Hz) ที่ช่างความถี่ 35-50 เฮิรตซ์ ภายใต้เงื่อนไขการทำงานเดิมและทำการรวบรวมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ช่วงความถี่ที่เหมาะสมอยู่ที่ 40 เฮิรตซ์ แรงดันน้ำภายในท่ออยู่ที่ 150 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)

และการไหลของน้ำในคอนเดนเซอร์โดยประมาณ 1,006.3 แกลลอนต่อนาที (GPM) โดยผลค่าแรงดันและอัตราการไหลภายในท่อส่งน้ำในแต่ละย่านความถี่ไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลค่าแรงดันและอัตราการไหลภายในท่อส่งน้ำในแต่ละย่านความถี่ไฟฟ้า

ความถี่ (Hz)	แรงดันน้ำภายในท่อ (psi)	การไหลของน้ำในคอนเดนเซอร์โดยประมาณ (GPM)
50	160	2,476.6
45	154	1,662.9
40	150	1,006.3
35	142	592.1

*หมายเหตุ สเปคของชิวเลอร์ค่าแรงดันน้ำภายในท่อด้านระบายความร้อนไม่น้อยกว่า 150 psi

5.2 ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้า (Energy Saving)

หลังจากการติดตั้งได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละย่านความถี่ไฟฟ้า พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าเดิมอยู่ที่ 352,872 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่าย 1.654 ล้านบาทต่อปี และปริมาณการใช้ไฟฟ้าหลังติดตั้งอยู่ที่ 176,904 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่าย 0.829 ล้านบาทต่อปี ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าลดลง 175,968 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี คิดเป็นร้อยละ 49.87[2] โดยผลการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์

ความถี่ (Hz)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (kW)	พลังงานไฟฟ้าต่อปี (kWh)	ค่าใช้จ่ายต่อปี (บาท)
50	72.8	24.8	352,872	1,654,969.68
40	105	54.3	176,904	829,679.76

5.3 ผลวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis)

เมื่อพิจารณาจากอัตราค่าไฟฟ้าและงบประมาณการลงทุน พบว่าโครงการมีความคุ้มค่าสูง ดังนี้

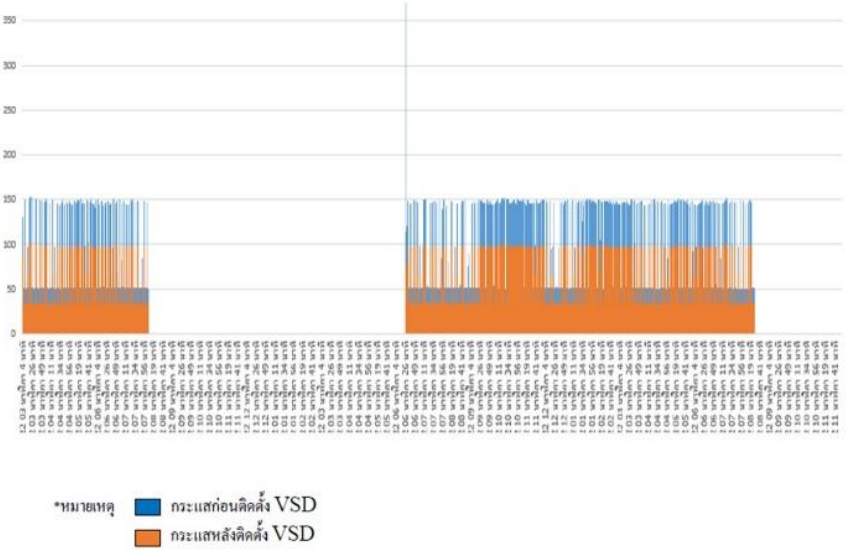
รายการวิเคราะห์	รายละเอียดผลการศึกษา	
ค่าไฟฟ้าเดิมต่อปี	1,654,969.68	บาท
ค่าไฟฟ้าหลังปรับปรุงต่อปี	829,679.76	บาท
มูลค่าประหยัดได้ต่อปี	825,289.92	บาท
งบประมาณเงินลงทุน	1,364,250	บาท
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)	1.7	ปี

5.4 ผลการศึกษารูปแบบผลงานวิชาการ

จากการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลมอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อนขนาด 100 แรงม้า อัตรากำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 75 กิโลวัตต์ ทำงานในลักษณะเต็มพิกัดที่ความถี่ไฟฟ้า 50 เฮิรตซ์ เปิดใช้งานตลอดเวลาเฉลี่ย 13 ชั่วโมงต่อวัน ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้า 352,872 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี

หลังจากการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter/VFD) ได้ทำการปรับความถี่ไฟฟ้า (Hz) ที่ช่างความถี่ 40 เฮิรตซ์ ภายใต้เงื่อนไขการทำงานเดิมซึ่งเป็นความถี่ไฟฟ้าที่เหมาะสมในสภาวะใช้งานจริง ส่งผลให้สามารถลดพลังไฟฟ้าส่วนเกินได้

จากรูปแสดงค่าการวัดพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter/VFD) พบว่ามีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter/VFD) มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง เมื่อเทียบกับก่อนติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter/VFD) แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงค่าการวัดพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ (Inverter/VFD)

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาวิเคราะห์ความคุ้มค่าการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter/VFD) สำหรับมอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อนชิลเลอร์ ประจำอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา พบว่า จากการเก็บผลก่อนและหลังการติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter/VFD) ชี้ให้เห็นว่าการลงทุนติดตั้งชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter/VFD) 1 ชุด มีจุดคุ้มทุนที่รวดเร็ว (น้อยกว่า 2 ปี) และสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานประจำอาคารอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา[5] คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้เกือบครึ่งหนึ่งของค่าใช้จ่ายเดิมในส่วนของมอเตอร์ส่งน้ำระบายความร้อน ซึ่งถือเป็นโครงการที่มีประสิทธิภาพสูงและควรขยายผลไปยังอุปกรณ์อื่นๆ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] บริษัท ไทนามิก จำกัด. (2556). การประหยัดพลังงานโดยการควบคุมความเร็วมอเตอร์. กรณีศึกษาการประหยัดพลังงานโดยการปรับความเร็วรอบมอเตอร์สำหรับพัดลม, หน้า 1-5

[2] อุทัย วงศ์เขื่อนแก้ว และคณะ. (2559). การเปรียบเทียบผลประหยัดพลังงานสำหรับมาตราการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ในเครื่องอัดอากาศ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 24(6), 999-1009.

[3] รัชชัย แสงอุดม, 2542 อ้างใน ธนภัทร พรหมวัฒนภักดี. (2548). *การจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยศรีปทุม กรณีศึกษาอาคาร ดร.สุข พุคยาภรณ์.*

[4] ธนวัฒน์ ฉลาดกุล,และคณะ. (2010). หลักการคิดค่าไฟฟ้า. วารสาร Technology Electrical & Electronics, 70-73.

[5] ชลวิทย์ เผือกผาสุข. (2554). การจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารแบบบูรณาการ : กรณีศึกษาอาคารกรมการกงสุล.วิทยานิพนธ์ปริญญาโทวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต,การจัดการเทคโนโลยีอาคาร,มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

การพัฒนาและประเมินประสิทธิผลระบบบริหารจัดการงานบริการโสตทัศนศึกษา โดยประยุกต์ใช้แพลตฟอร์ม Low-Code และแนวคิด BYOD เพื่อมุ่งสู่สำนักงานดิจิทัลอย่างยั่งยืน

สุคเน ทรรภลักษณ์, และ ปัณเอก เรืองศิริกร*

หน่วยปฏิบัติการคอมพิวเตอร์และโสตทัศนูปกรณ์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
447 ถนนศรีอยุธยา แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10400 ประเทศไทย
**Corresponding author: ponnaak.rua@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการงานบริการโสตทัศนศึกษาทดแทนระบบการให้บริการรูปแบบเดิม และเพื่อศึกษาประสิทธิผลของการประยุกต์ใช้แพลตฟอร์ม Low-Code (AppSheet) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เอื้อให้บุคลากรสามารถพัฒนานวัตกรรมได้ด้วยตนเองโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยทักษะการเขียนโปรแกรมขั้นสูง ในการขับเคลื่อนนโยบายสำนักงานดิจิทัล คณะผู้วิจัยดำเนินการโดยวิเคราะห์และออกแบบกระบวนการทำงานใหม่เพื่อลดความซ้ำซ้อน และพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับรองรับการขอใช้บริการถ่ายภาพ งานวีดิทัศน์ และการประชุมออนไลน์ โดยระบบที่พัฒนาขึ้นมีจุดเด่นในการเชื่อมโยงการแจ้งเตือนอัตโนมัติแก่เจ้าหน้าที่ผ่านแอปพลิเคชัน Telegram และส่งอีเมลยืนยันสถานะไปยังผู้ขอรับบริการ พร้อมทั้งแสดงผลข้อมูลในรูปแบบปฏิทินออนไลน์ (Dashboard) ซึ่งช่วยให้เจ้าหน้าที่วางแผนการดำเนินงานได้ล่วงหน้าและผู้ใช้บริการสามารถติดตามสถานะได้แบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ ยังได้บูรณาการแนวคิดการนำอุปกรณ์ส่วนตัวมาใช้ในการปฏิบัติงาน (Bring Your Own Device: BYOD) เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มความคล่องตัวให้แก่ผู้ปฏิบัติงานผ่านการใช้งานบนสมาร์ทโฟน

ผลการศึกษาพบว่า ระบบดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการงานโสตทัศนศึกษาได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยช่วยลดระยะเวลาในขั้นตอนการรับเรื่องและประสานงาน ลดความผิดพลาดของข้อมูล และลดการใช้ทรัพยากรกระดาษ (Paperless) ได้อย่างเป็นรูปธรรม อีกทั้งข้อมูลสารสนเทศที่ถูกจัดเก็บอย่างเป็นระบบยังช่วยให้ผู้บริหารสามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อวางแผนและจัดสรรทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่า ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ระบบบริหารจัดการงานโสตทัศนศึกษา / AppSheet / Low-Code Platform / BYOD / สำนักงานดิจิทัล

Development and effectiveness evaluation of audio-visual service management system applying low-code platform and BYOD Concept towards sustainable digital office

Sukanea Tappaluk, and Ponnaak Ruangsirikorn*

Computer and Audio Visual Aids Unit, Faculty of Pharmacy, Mahidol University
447 Si Ayutthaya Rd, Khwaeng Thung Phaya Thai, Ratchathewi, Bangkok 10400 Thailand
**Corresponding author: ponnaak.rua@mahidol.ac.th*

Abstract

The objective of this study was to develop an audiovisual service management system to replace the traditional service model and to examine the effectiveness of applying a Low-Code platform (AppSheet). This technology empowers personnel to develop innovations independently without requiring advanced programming skills, thereby driving the digital office policy. The researchers analyzed and redesigned workflows to minimize redundancy and developed an application to support requests for photography, videography, and online meeting services. Key features of the developed system include automatic notifications to staff via Telegram and email status confirmations to service users. Additionally, the system visualizes data through an online calendar (Dashboard), enabling staff to plan operations in advance and allowing users to track request status in real-time. Furthermore, the Bring Your Own Device (BYOD) concept was integrated to reduce operational costs and enhance agility through smartphone usage. The results indicated that the system significantly enhanced the efficiency of audiovisual service management. It concretely reduced processing and coordination time, minimized data errors, and decreased paper usage (Paperless). Moreover, systematically stored information enables executives to analyze data for cost-effective planning and resource allocation, aligning with sustainable organizational development guidelines.

Keywords: Audio-Visual Education Management System / AppSheet / Low-Code Platform / BYOD / Digital Office

1. บทนำ

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีดิจิทัลได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนพันธกิจขององค์กร ส่งผลให้หน่วยงานสนับสนุนการจัดการเรียนการสอนและการปฏิบัติงาน โดยเฉพาะงานบริการโสตทัศนศึกษา จำเป็นต้องปรับตัวให้เท่าทันต่อบริบทการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตาม การดำเนินงานในรูปแบบเดิมที่อาศัยการติดต่อสื่อสารผ่านทางโทรศัพท์และการจดบันทึกข้อมูลด้วยมือ (Manual Process) ประสบปัญหาสำคัญหลายประการ ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนในการสื่อสาร ข้อมูลการให้บริการที่กระจัดกระจายจนไม่สามารถนำมาวิเคราะห์เชิงสถิติได้ และการขาดระบบแจ้งเตือนที่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้การบริหารจัดการทรัพยากรบุคคลและอุปกรณ์เป็นไปในลักษณะตั้งรับ (Reactive) มากกว่าเชิงรุก (Proactive)

เพื่อให้การแก้ไขปัญหาดังกล่าวเกิดประสิทธิภาพและมีความยั่งยืน ผู้วิจัยจึงได้นำแนวคิด สำนักงานดิจิทัล (Digital Office)และหลักการ การจัดการแบบลีน (Lean Management) มาประยุกต์ใช้ โดยมุ่งเน้นกระบวนการลดความสูญเปล่า (Waste) ตัดทอนขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน [6] และลดการใช้ทรัพยากรกระดาษ (Paperless) [1] ควบคู่ไปกับแนวคิด การบริหารจัดการข้อมูลเพื่อการตัดสินใจ (Data-Driven Decision Making) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนผ่านรูปแบบการทำงานจากการใช้สัญชาตญาณ มาสู่การใช้ข้อมูลเชิงประจักษ์ในการวางแผนและบริหารจัดการ [2]

ในการนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้เทคโนโลยี Low-Code Development Platform (LCDP) ผ่านเครื่องมือ AppSheet ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เอื้อให้บุคลากรสามารถสร้างสรรค์นวัตกรรมได้ด้วยตนเอง (Citizen Developer) [3] มาพัฒนา "ระบบบริหารจัดการงานบริการโสตทัศนศึกษา" ที่ครอบคลุมกระบวนการขอใช้บริการถ่ายภาพ งานวีดิทัศน์ และการประชุมออนไลน์ ระบบดังกล่าวบูรณาการร่วมกับ Telegram Notification เพื่อแจ้งเตือนสถานะแบบเรียลไทม์ และส่ง Email ยืนยันการรับบริการโดยอัตโนมัติ รวมถึงมีการแสดงผลข้อมูลผ่านปฏิทินปฏิบัติงาน (Calendar View) ที่ประมวลผลจากฐานข้อมูล Google Sheets เพื่อสนับสนุนการวางแผนติดตามงานอย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ การออกแบบระบบยังคำนึงถึงความคุ้มค่าสูงสุดทางเศรษฐศาสตร์ โดยนำแนวคิด Bring Your Own Device (BYOD) มาประยุกต์ใช้ เนื่องจากเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานล้วนมีสมาร์ทโฟนพร้อมใช้งานอยู่แล้ว การพัฒนาระบบให้รองรับการทำงานผ่านอุปกรณ์ส่วนบุคคลจึงช่วยลดภาระงบประมาณในการจัดหาฮาร์ดแวร์ใหม่ และเสริมสร้างความคล่องตัว (Agility) ให้เจ้าหน้าที่สามารถตอบสนองต่อภารกิจได้ทุกที่ทุกเวลา [4] อันถือเป็นนวัตกรรมกระบวนการที่ช่วยขับเคลื่อนองค์กรไปสู่ความยั่งยืนได้อย่างเป็นรูปธรรม

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการบริหารจัดการงานบริการโสตทัศนศึกษา ที่รองรับการทำงานบนสมาร์ทโฟนตามแนวคิด BYOD
2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารและการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ผ่านระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ (Telegram Notification)
3. เพื่อศึกษาผลการดำเนินงานและการนำข้อมูลสารสนเทศมาใช้ในการวางแผนบริหารจัดการทรัพยากรองค์กร

3. ขอบเขตของการศึกษา

3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา: ครอบคลุมกระบวนการขอรับบริการ 3 ด้านหลัก ได้แก่ งานบริการถ่ายภาพ งานบริการถ่ายวีดิทัศน์ และการให้บริการงานประชุมรูปแบบออนไลน์

3.2 ขอบเขตด้านเทคโนโลยี:

- **Database:** Google Sheets
- **Application Platform:** AppSheet
- **Notification System:** Telegram API
- **Visualization/Planning:** AppSheet Calendar View & Dashboard

3.3 ขอบเขตด้านเวลา: ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ มกราคม 2568 - ธันวาคม 2568

4. วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Low-Code เพื่อความรวดเร็วและยืดหยุ่นในการพัฒนา รวมถึงนำแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้ ดังนี้:

4.1 แนวคิดสำนักงานดิจิทัลและการลดความสูญเปล่า

การปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานจาก Analog สู่ Digital มีเป้าหมายเพื่อลดความสูญเปล่า (Waste) ตามหลักการ Lean Management โดยเฉพาะการลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน และการลดระยะเวลารอคอย การนำระบบดิจิทัลมาใช้แทนกระดาษ [5] นอกจากจะช่วยลดต้นทุนวัสดุสิ้นเปลืองแล้ว ยังช่วยให้การไหลเวียนของข้อมูลเป็นไปอย่างรวดเร็ว โปร่งใส และสามารถตรวจสอบย้อนหลังได้ [1]

4.2 แนวคิดการบริหารจัดการข้อมูลเพื่อการตัดสินใจ

การเก็บข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลเป็นรากฐานสำคัญของการนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อการบริหารจัดการ การมีข้อมูลสถิติการให้บริการที่ถูกต้องและเป็นปัจจุบันจะช่วยให้ผู้บริหารสามารถตัดสินใจจัดสรรทรัพยากรบุคคลและอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับปริมาณงานจริง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานอย่างยั่งยืน [2]

4.3 แนวคิดการพัฒนาแอปพลิเคชันแบบ Low-Code

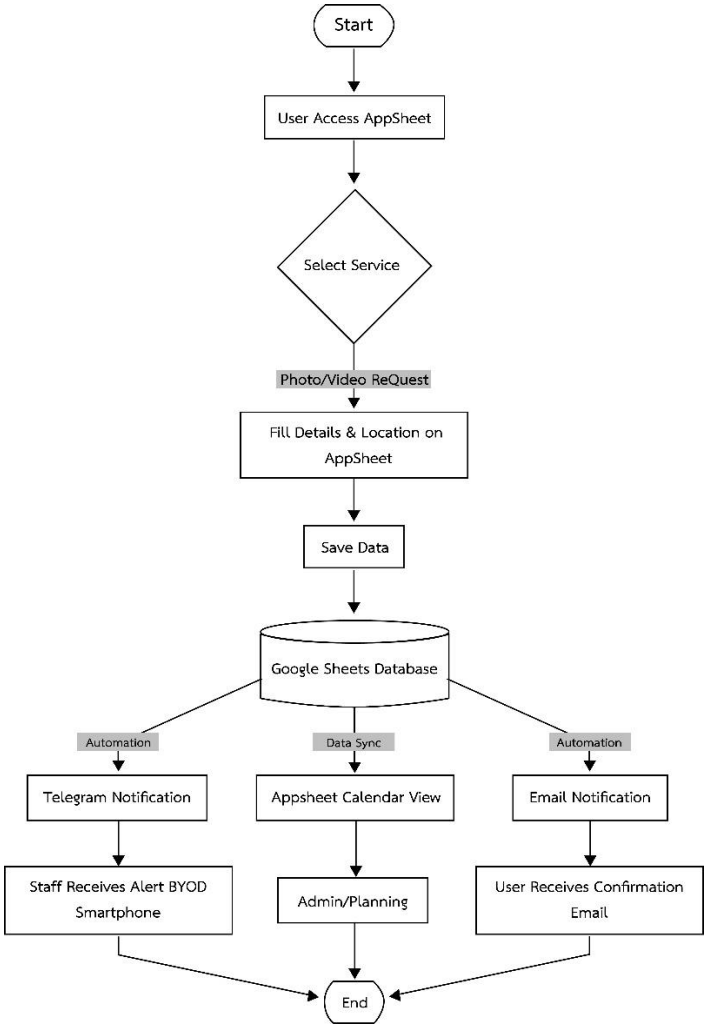
Low-Code Platform เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้ผู้พัฒนาสามารถสร้างแอปพลิเคชันได้โดยใช้การเขียนโปรแกรมเพียงเล็กน้อยหรือใช้เครื่องมือแบบลากวาง (Drag-and-Drop) แนวคิดนี้สนับสนุนให้บุคลากรในสายงานสนับสนุนสามารถพัฒนานวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาหน้างานของตนเองได้รวดเร็วและตรงจุด โดยไม่ต้องพึ่งพาฝ่ายไอทีทั้งหมด [3] ในการวิจัยนี้เลือกใช้ AppSheet เนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูง เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล Google Sheets ได้โดยตรง และรองรับการทำงานบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ [7]

4.4 แนวคิดการนำอุปกรณ์ส่วนตัวมาใช้ปฏิบัติงาน (Bring Your Own Device: BYOD)

BYOD คือแนวทางการบริหารจัดการที่อนุญาตหรือสนับสนุนให้บุคลากรนำอุปกรณ์สื่อสารส่วนตัว เช่น สมาร์ทโฟน หรือแท็บเล็ต มาใช้ในการปฏิบัติงานและการเข้าถึงข้อมูลขององค์กร การวิจัยนี้ประยุกต์ใช้แนวคิด BYOD กับเจ้าหน้าที่โสตทัศนศึกษา เพื่อลดข้อจำกัดด้านงบประมาณในการจัดหาอุปกรณ์และเพิ่มความคล่องตัว เนื่องจากเจ้าหน้าที่คุ้นเคยกับการใช้งานอุปกรณ์ของตนเองอยู่แล้ว ทำให้ลดระยะเวลาในการเรียนรู้ระบบใหม่ (Learning Curve) [4]

4.5 การออกแบบและพัฒนาระบบ

การดำเนินงานเริ่มต้นจากการออกแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) บน Google Sheets เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างตารางผู้ใช้ การจอง และอุปกรณ์เข้าด้วยกัน จากนั้นจึงพัฒนาแอปพลิเคชันบน AppSheet โดยเน้นการออกแบบ UX/UI ให้เหมาะกับการใช้งานผ่านสมาร์ทโฟนเพื่อความสะดวกในการใช้งาน จากนั้นพัฒนาระบบอัตโนมัติโดยการเขียน Script หรือฟังก์ชันใน AppSheet เพื่อส่งการแจ้งเตือนไปยังกลุ่ม Telegram ของเจ้าหน้าที่ทันทีเมื่อมีการบันทึกข้อมูล ควบคู่ไปกับการส่งอีเมลยืนยันการรับบริการให้แก่ผู้ใช้งานโดยอัตโนมัติ เพื่อให้เห็นภาพรวมของการทำงานของระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้ออกแบบแผนผังการทำงาน (System Flowchart) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดง System Flowchart ของระบบที่พัฒนาขึ้น

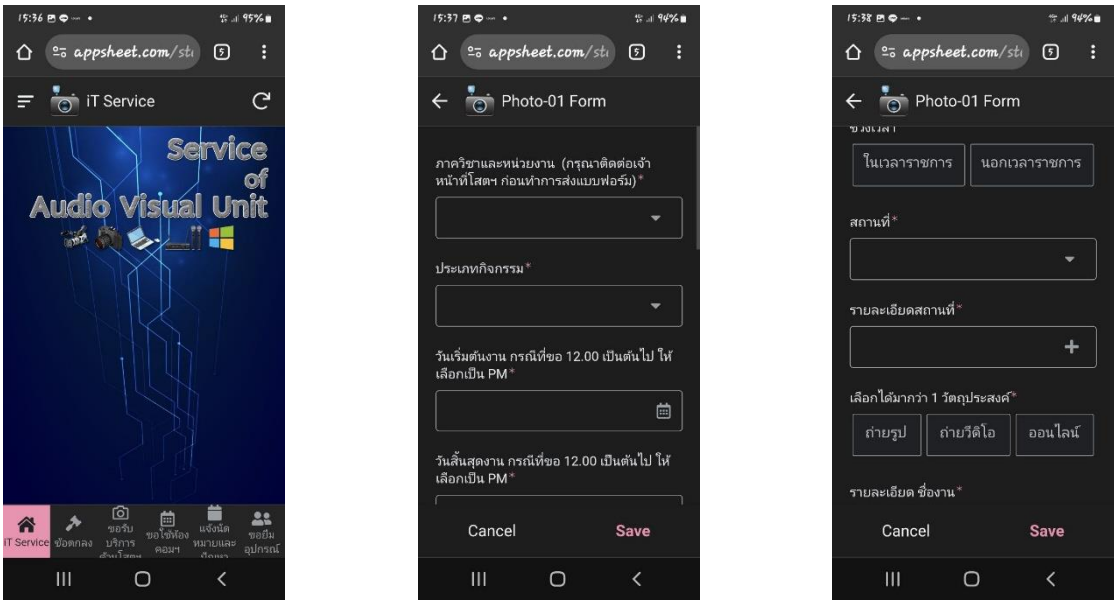
4.6 การทดสอบและการนำไปใช้

นำระบบไปติดตั้งและทดลองใช้จริง อบรมวิธีการใช้งานเบื้องต้นแก่บุคลากร และติดตามผลการใช้งานเพื่อปรับปรุงแก้ไข (Debug)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการพัฒนาระบบ

จากการพัฒนาพบว่า ระบบสามารถใช้งานได้จริงตามวัตถุประสงค์ โดยมีส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface) ที่เข้าใจง่าย ดังแสดงในรูปที่ 2-4

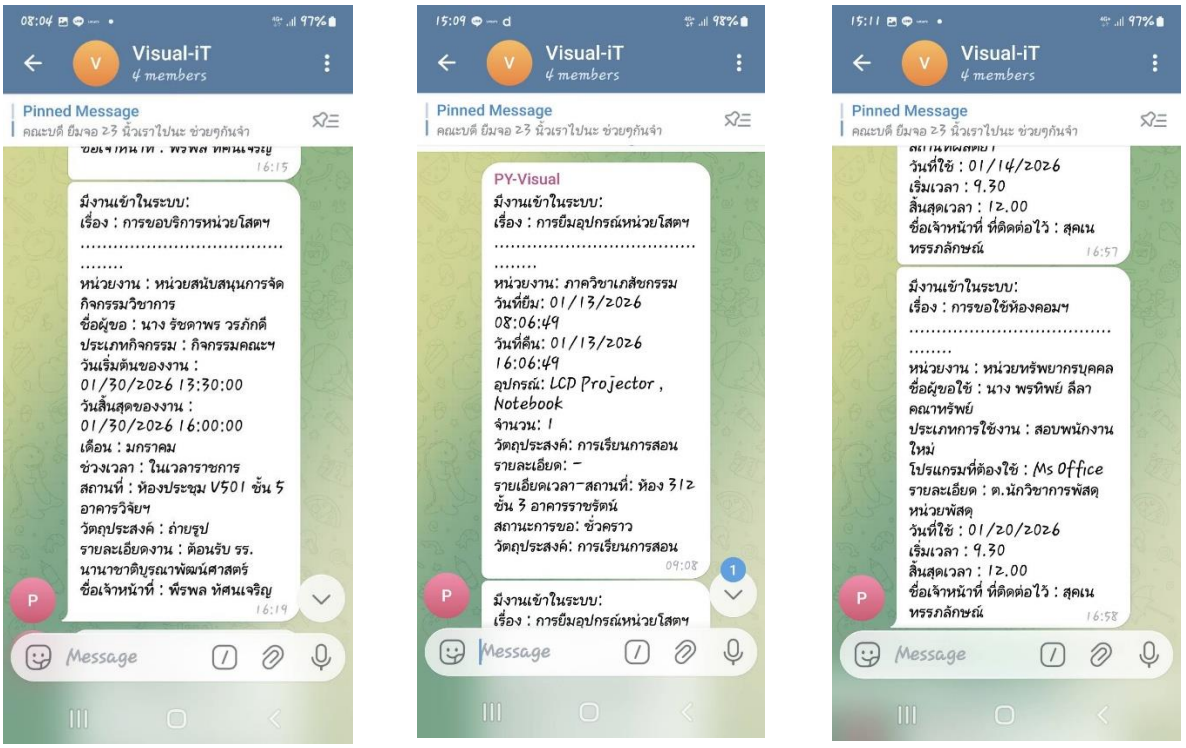


รูปที่ 2 แสดงหน้าจอเมนูหลักของแอปพลิเคชันและหน้าจอแบบฟอร์มการขอใช้บริการบนสมาร์ทโฟน แสดงช่องกรอกข้อมูลที่จำเป็น เช่น วันที่ เวลา สถานที่

ระบบสามารถแสดงสถานะงานในรูปแบบปฏิทินออนไลน์ ทำให้ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่มองเห็นภาพรวมงานทั้งหมดได้ทันที ช่วยในการวางแผนกำลังคน

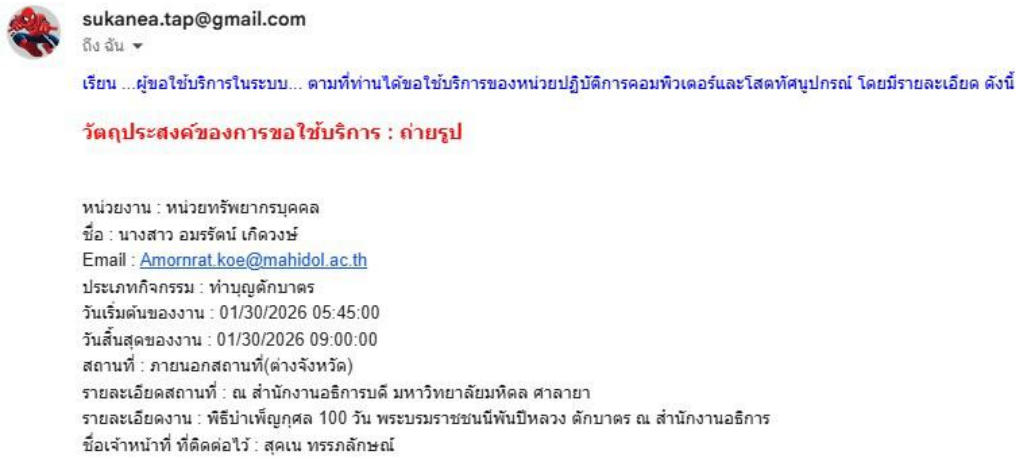
รูปที่ 3 แสดงหน้าจอแสดงผลแบบปฏิทินใน AppSheet แสดงตารางงานรายเดือน แยกสีตามประเภทงาน

ระบบยังเชื่อมต่อกับ Telegram เพื่อแจ้งเตือนเจ้าหน้าที่แบบ Real-time ซึ่งช่วยลดความล่าช้าในการรับงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4 แสดงภาพหน้าจอแอปพลิเคชัน Telegram แสดงข้อความแจ้งเตือนอัตโนมัติ (Bot Alert) เมื่อมีงานใหม่เข้ามา พร้อมรายละเอียดงาน

นอกจากนี้ ระบบสามารถส่ง E-mail ยืนยันการขอใช้บริการให้กับผู้ขอใช้บริการสำหรับใช้อ้างอิงได้อีกด้วย ดังแสดงใน รูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงภาพหน้าจอ Email ยืนยันการขอใช้บริการที่ส่งอัตโนมัติให้กับผู้ขอรับบริการ

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า การนำระบบบริหารจัดการงานโสตทัศนศึกษาด้วย AppSheet มาใช้ สามารถแก้ไขข้อจำกัดของระบบเดิมได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในด้าน **ความรวดเร็ว (Speed)** ที่ลดระยะเวลาการรับเรื่องลงกว่า 80% และด้าน **ความแม่นยำของข้อมูล (Data Integrity)** ที่ทำให้องค์กรมีฐานข้อมูลดิจิทัลที่สมบูรณ์ พร้อมสำหรับการนำไปวิเคราะห์เพื่อบริหารจัดการทรัพยากรบุคคลและวางแผนจัดหาอุปกรณ์ทดแทนในอนาคต ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาสำนักงานดิจิทัลอย่างยั่งยืน

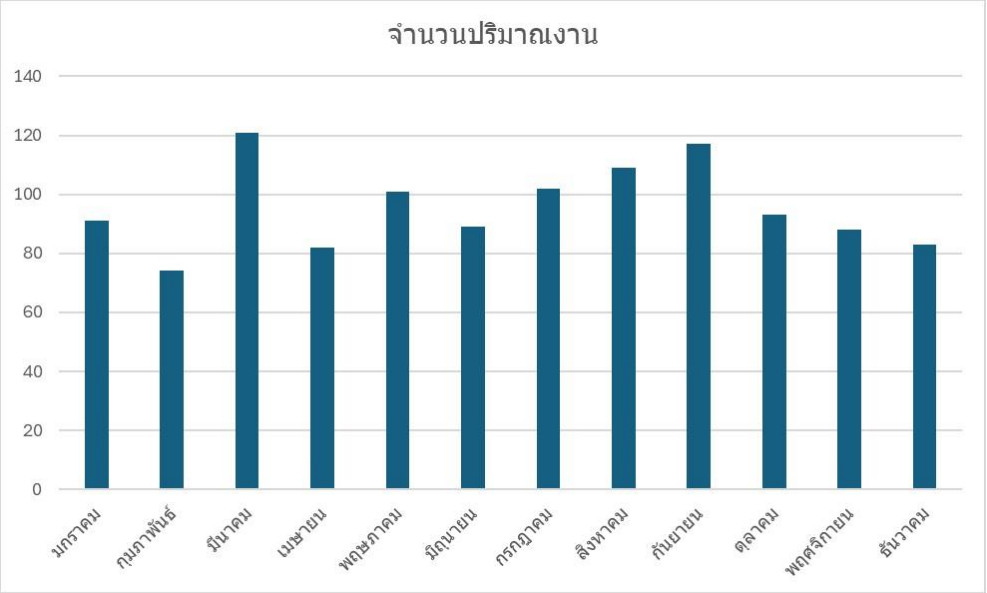
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบรับงานบริการผ่านโทรศัพท์ (เดิม) และระบบบริหารจัดการผ่าน AppSheet (ใหม่)

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ (Key Performance Indicators)	ระบบเดิม (รับเรื่องทางโทรศัพท์/บันทึกมือ)	ระบบที่พัฒนาขึ้น (AppSheet & Telegram)	ผลลัพธ์การปรับปรุง (Improvement)
1. กระบวนการขอรับบริการ (Service Request Process)	ต้องโทรศัพท์หรือเดินทางมาติดต่อเจ้าหน้าที่โดยตรง ทำให้เสียเวลาหากคู่สายไม่ว่าง	ทำรายการผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนได้ด้วยตนเอง ตลอด 24 ชั่วโมง	**ลดขั้นตอนการติดต่อประสานงาน** และเพิ่มช่องทางที่สะดวกเข้าถึงได้ง่าย
2. ระยะเวลาในการรับเรื่อง (Processing Time)	ใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที/รายการ รวมการสนทนา การจดบันทึก และการเดินเอกสาร	ใช้เวลาประมาณ 1-2 นาที/รายการ จากการเลือกเมนูและกรอกข้อมูลในระบบ	**ลดระยะเวลาลงกว่า 80%** เพิ่มความรวดเร็วในการให้บริการ
3. ความถูกต้องของข้อมูล (Data Accuracy)	มักเกิดความคลาดเคลื่อนจากการสื่อสาร หรือลายมือที่อ่านยาก ข้อมูลสูญหายได้ง่าย	ข้อมูลถูกต้องแม่นยำ 100% เนื่องจากผู้ขอเลือกจากรายการที่กำหนด และจัดเก็บลงฐานข้อมูลทันที	**ขจัดปัญหาข้อมูลตกหล่น** (Human Error) และข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ
4. การแจ้งเตือนงาน (Job Notification)	ต้องโทรแจ้งเจ้าหน้าที่รายบุคคล หากไม่รับสายต้องโทรซ้ำ	ระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติเข้ากลุ่ม Telegram ของเจ้าหน้าที่ **ทันที (Real-time)** ที่มีการร้องขอ	**การสื่อสารไร้รอยต่อ** เจ้าหน้าที่รับทราบงานพร้อมกันทั้งทีมทันที
5. การติดตามสถานะ (Status Tracking)	ผู้ขอต้องโทรสอบถามความคืบหน้า ไม่สามารถตรวจสอบเองได้	ตรวจสอบสถานะงานและตารางงานได้ทันทีผ่านหน้าปฏิทินในแอปพลิเคชัน (Calendar View)	**เกิดความโปร่งใส** ผู้ใช้บริการสามารถวางแผนงานของตนเองได้
6. การใช้ประโยชน์จากข้อมูล (Data Utilization)	ข้อมูลอยู่ในสมุดบันทึก ยากต่อการรวบรวมและวิเคราะห์สถิติย้อนหลัง	มี Dashboard สรุปสถิติอัตโนมัติ แยกประเภทงาน ช่วงเวลา และปริมาณงานได้	**นำไปสู่การบริหารจัดการเชิงกลยุทธ์** และการตัดสินใจบนฐานข้อมูล (Data-Driven)
7. การใช้ทรัพยากร (Resource Usage)	สิ้นเปลืองกระดาษแบบฟอร์มและสมุดบันทึก	ไม่ใช้กระดาษ (Paperless) ตลอดกระบวนการ	**สนับสนุนความยั่งยืน (Sustainability)** และลดต้นทุนวัสดุสิ้นเปลือง

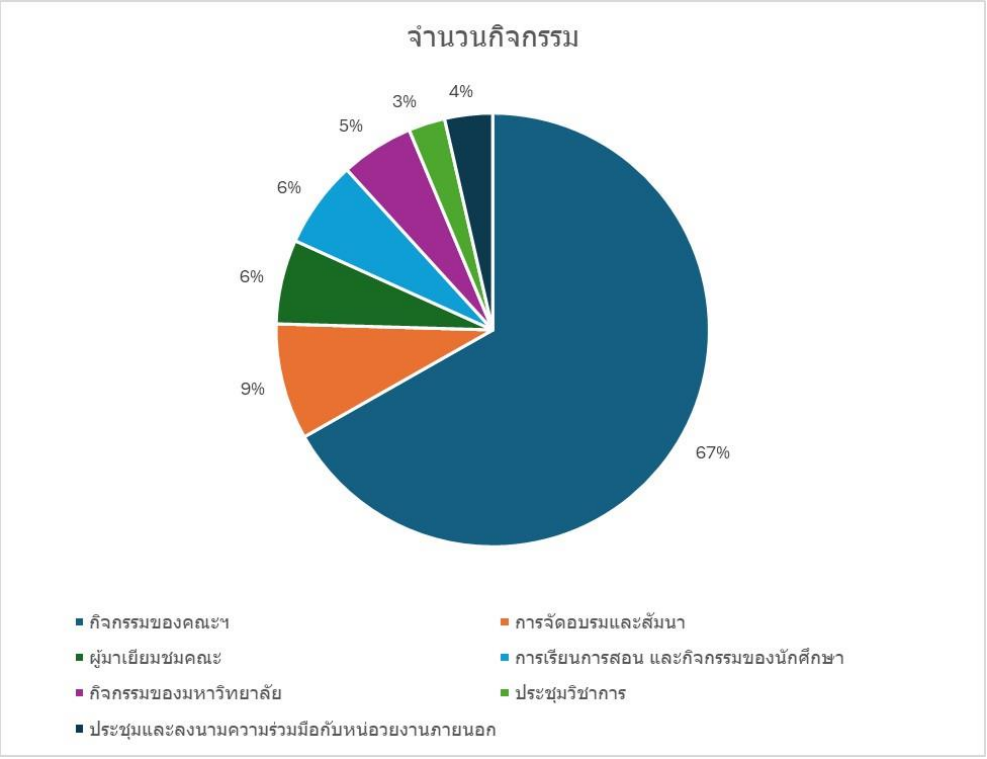
หมายเหตุ: ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาในการรับเรื่องได้มาจากการทดสอบจับเวลาตั้งแต่ผู้ขอรับบริการกรอกแบบฟอร์มจนถึงเวลาที่เจ้าหน้าที่ได้รับเรื่อง

5.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการให้บริการ (Data Analytics Results)

จากการเก็บข้อมูลผ่านระบบ AppSheet พบสถิติที่น่าสนใจ ดังแสดงในรูปที่ 6-7



รูปที่ 6 แสดงกราฟแสดงข้อมูลปริมาณการขอใช้บริการถ่ายภาพจากข้อมูลที่บันทึกใน Google sheet ตั้งแต่ มกราคม – ธันวาคม 2568



รูปที่ 7 กราฟแสดงปริมาณงานแยกตามประเภทกิจกรรมจากข้อมูลที่บันทึกใน Google Sheet

จากการวิเคราะห์สถิติปริมาณงาน พบว่าช่วงที่มีการขอใช้บริการหนาแน่นที่สุดคือเดือนมีนาคมและกันยายน โดยมีปริมาณงานเฉลี่ยประมาณ 80 งานต่อเดือน หรือคิดเป็นเฉลี่ย 4 งานต่อวันทำการ เมื่อจำแนกตามประเภทงาน พบว่าการขอใช้บริการถ่ายภาพกิจกรรมของคณะฯ มีสัดส่วนสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 67 รองลงมาคือการบันทึกภาพโครงการอบรมและสัมมนาข้อมูลเชิงประจักษ์เหล่านี้ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนจัดซื้อครุภัณฑ์ทดแทนตามภาระงานจริง และการบริหารจัดการอัตรากำลังพล เพื่อเตรียมความพร้อมในการให้บริการได้อย่างเหมาะสมกับสถานการณ์

5.3 อภิปรายผล

การนำ AppSheet และ Telegram มาใช้ ทำให้กระบวนการทำงานมีความกระชับและรวดเร็วขึ้น (Agility) สอดคล้องกับแนวคิด Lean Management โดยลดเวลาในการรับ-ส่งข้อมูล และลดความผิดพลาดจากการสื่อสารด้วยวาจา

นอกจากนี้ การนำแนวคิด **BYOD** มาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การนำระบบไปใช้จริง (Implementation) ประสบความสำเร็จ เนื่องจากองค์กรไม่ต้องแบกรับภาระค่าใช้จ่ายในการจัดหาอุปกรณ์ (Zero Hardware Investment) และเจ้าหน้าที่โสตทัศนศึกษามีความพึงพอใจที่ได้ใช้อุปกรณ์ที่ตนเองคุ้นเคย ส่งผลให้การตอบรับงานผ่านการแจ้งเตือน Telegram เป็นไปอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบที่เหนือกว่าการใช้ระบบเดิม หรือการใช้วิทยุสื่อสารที่มีข้อจำกัดเรื่องระยะทาง [4]

การมีฐานข้อมูลดิจิทัลยังสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (SDGs) ในด้านการใช้นวัตกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพองค์กร และลดการใช้ทรัพยากรกระดาษอย่างเป็นรูปธรรม

6. สรุปผลการศึกษา

การพัฒนาระบบบริหารจัดการงานบริการโสตทัศนศึกษาด้วย AppSheet เป็นนวัตกรรมกระบวนการที่ช่วยยกระดับคุณภาพการให้บริการจากระบบ Analog สู่ Digital อย่างเต็มรูปแบบ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าเทคโนโลยี Low-Code สามารถนำมาแก้ปัญหาหน้างานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้นทุนต่ำ และมีความยืดหยุ่นสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การบูรณาการร่วมกับแนวคิด **BYOD** ช่วยขจัดอุปสรรคด้านอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ทำให้เจ้าหน้าที่สามารถเข้าถึงระบบงานได้ทุกที่ทุกเวลา การเชื่อมต่อข้อมูลเข้าสู่ระบบวิเคราะห์ช่วยให้องค์กรมีข้อมูลเชิงประจักษ์ (Evidence-based) ในการวางแผนพัฒนาและจัดหาทรัพยากรโสตทัศนูปกรณ์ในอนาคตได้อย่างแม่นยำและยั่งยืน ทั้งนี้ มีข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาต่อไป คือการเชื่อมโยงระบบเข้ากับฐานข้อมูลพัสดุเพื่อตัดยอดอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละงานโดยอัตโนมัติ ควบคู่ไปกับการเพิ่มระบบประเมินความพึงพอใจหลังจบงานทันที

เอกสารการอ้างอิง

[1] สุพรรณี อินทร์แก้ว. (2564). *การจัดการสำนักงานยุคดิจิทัล (Digital Office Management)*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[2] ณัฐพล ม่วงทำ. (2563). *Data-Driven Decision Making: ตัดสินใจด้วยข้อมูล*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ลีฟ ริช.

[3] เจษฎา ชาตรี. (2565). "การพัฒนาแอปพลิเคชันองค์กรด้วยแพลตฟอร์ม Low-Code สำหรับผู้ที่ไม่ใช่นักพัฒนาโปรแกรม". *วารสารวิชาการเทคโนโลยีสารสนเทศ*, 15(2), 45-58.

[4] สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล (องค์การมหาชน). (2562). *ข้อแนะนำแนวทางการนำอุปกรณ์ส่วนตัวมาใช้ในการปฏิบัติงาน (BYOD Policy) สำหรับหน่วยงานภาครัฐ*. กรุงเทพฯ: สพร.

[5] พนารัตน์ สร้อยศรีเมือง, ศศินพร นาคเกษม (2567). *การพัฒนาแอปพลิเคชั่นแบบ Low code platform ด้วยเครื่องมือ Google AppSheet*

[6] พัชนา เฮ้งบริบูรณ์พงศ์ ใจดี (2560). *ระบบการบริหารแบบลีน : จากแนวคิดสู่การปฏิบัติในงานสาธารณสุข ที่สร้างความผูกพันกับชุมชน*

[7] นางสาวผกาแก้ว บุญวาส, นางสาวมุฑิตา มาทมูล (2566). *คู่มือหลักสูตร การสร้าง Mobile App จาก AppSheet*

หมดปัญหาท่อน้ำตันด้วยชุดถังกรองดักจับเศษปูน

ศิริลักษณ์ ขวานอก, จำเนียร เฟื่องฟุ้ง*, สุรีพร ภูพันนา, และ สายยนต์ เกิดไธสง

คลินิกทันตกรรมทั่วไปชั้นสูง คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนโยธี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
**Corresponding author: jamnian.fue@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

ห้องปฏิบัติการทันตกรรมของคลินิกทันตกรรมทั่วไปชั้นสูง โรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล มีเครื่องตัดแต่งปูนทันตกรรม (dental trimmer) ให้บริการปรับแต่งรูปทรงของแบบจำลองฟัน (dental models) ที่ทำจากปูนปลาสเตอร์แก่นักศึกษาทันตแพทย์ ทันตแพทย์และเจ้าหน้าที่ช่างทันตกรรม จากการใช้งานเครื่องตัดแต่งปูนทันตกรรมอย่างต่อเนื่อง ทำให้ท่อระบายน้ำอุดตันและน้ำล้นจากอ่างล้างมือ เนื่องจากมีเศษปูนและตะกอนสะสม ส่งผลกระทบต่อระบบท่อระบายน้ำของอาคารและการปฏิบัติงานโดยรวม จึงได้ประยุกต์ถังกรองมาพัฒนาเป็นชุดถังกรองดักจับเศษปูนก่อนลงสู่ท่อระบายน้ำของอาคาร โดยใช้แผ่นฟองน้ำกรองในกล่องพลาสติกใสที่มีรูระบายน้ำด้านล่างกล่อง เพิ่มถังพักน้ำที่เจาะรู 2 ข้างให้สามารถระบายน้ำอัตโนมัติเมื่อถึงระดับที่กำหนด และใช้แผ่นฟองน้ำร่วมกับตะแกรงเป็นตัวกรองเศษปูนและตะกอนใต้อ่างอีกชั้น จากการปรับปรุงและทดสอบการใช้งาน พบว่า ลดเวลาในการทำความสะอาดถังพักน้ำลง 75% ลดการล้นของน้ำในอ่างล้างมือ 100% และลดการแจ้งซ่อมบำรุง 100% เนื่องจากช่วยดักจับเศษปูนและตะกอนก่อนเข้าสู่ท่อระบายน้ำของอาคาร และลดผลกระทบต่อการปฏิบัติงานของนักศึกษาทันตแพทย์ ทันตแพทย์และเจ้าหน้าที่ช่างทันตกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลงานดังกล่าวยังสอดคล้องกับแนวคิดการบริการจัดการทรัพยากรน้ำอย่าง ตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) เป้าหมายที่ 6

คำสำคัญ: ท่ออุดตัน / ห้องปฏิบัติงานทันตกรรม / ถังกรองดักจับเศษปูนทันตกรรม / ถังกรอง / เครื่องตัดแต่งปูนทันตกรรม

Eliminating clogged pipes with a plaster debris filtration system

Siriluk Kwanok, Jamnian Fuengfung*, Sureeporn Pupanna, and Saiyon Keadthaisong

Advanced of General Dentistry Clinic, Faculty of Dentistry, Mahidol University,
Yothi Road, Thung Phaya Thai Subdistrict, Ratchathewi District, Bangkok, Thailand
**Corresponding author: jamnian.fue@mahidol.ac.th*

Abstract

The Dental Laboratory within the Advanced General Dentistry Clinic at Mahidol University utilizes dental trimmers for shaping of gypsum-based dental models. Continuous throughput in these facilities often leads to the accumulation of calcium sulfate (gypsum) sediment, resulting in chronic drainage pipe occlusions and subsequently sink overflows. These technical failures do not only compromise the building's hydraulic integrity but also diminish operational productivity. To address these challenges, a conventional filtration apparatus was re-engineered into a specialized Plaster Debris Trapping System. This system was strategically integrated upstream of the primary building effluent line. The design features a high-density sponge filtration media housed within a transparent thermoplastic chamber, facilitating real-time monitoring of sediment levels. Furthermore, a secondary attenuation tank equipped with dual-lateral outlets was implemented to facilitate automated decantation once the threshold volume is reached. An auxiliary filtration layer was also installed directly beneath the sink to optimize total suspended solids (TSS) removal. Key Outcomes and Impact Post-implementation performance evaluations revealed significant improvements across all operational metrics: Maintenance Efficiency: A 75% reduction in manual cleaning labor-hours. System Reliability: A 100% elimination of overflow incidents. Infrastructure Sustainability: A 100% decrease in emergency maintenance service requests. The system effectively sequesters gypsum particulates before they infiltrate the municipal drainage network, thereby mitigating the risk of calcification within the piping system. This innovation fosters a seamless workflow for dental professionals and aligns with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), specifically Goal 6: Clean Water and Sanitation, by promoting responsible effluent management and infrastructure resilience.

Keywords: Clogged drainage pipe / Pipe blockage / Dental laboratory / Plaster sediment trap / Plaster debris filtration tank

1. บทนำ

คลินิกทันตกรรมทั่วไปขั้นสูง เป็นหนึ่งในหน่วยบริการหลักของโรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ให้บริการตรวจ วินิจฉัย และรักษาทางทันตกรรมแบบครบวงจร ทั้งงานบูรณะฟัน รักษาคลองรากฟัน ศัลยกรรมช่องปาก ทันตกรรมประดิษฐ์ และงานสนับสนุนด้านห้องปฏิบัติการทันตกรรม ภายใต้ระบบบริการที่เป็นมาตรฐาน และร่วมกับการเรียนการสอนของนักศึกษาทันตแพทย์และบุคลากรทางทันตกรรม [1] ซึ่งมีเครื่องตัดแต่งปูนทันตกรรม (dental trimmer) เป็นอุปกรณ์มาตรฐานในห้องปฏิบัติการทันตกรรม ใช้สำหรับปรับแต่งรูปทรงของแบบจำลองฟัน (dental models) ให้ได้ขนาดและรูปร่างเหมาะสมก่อนนำไปใช้ทางคลินิกหรือการศึกษา ซึ่งผลิตจากวัสดุกลุ่มยิปซัมทางทันตกรรม (dental gypsum products) [4, 8] วัสดุยิปซัมทางทันตกรรมประกอบด้วยแคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต (calcium sulfate hemihydrate) ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาการแข็งตัวและมีคุณสมบัติการตกตะกอนสูง [4] กระบวนการตัดแต่งดังกล่าวต้องใช้น้ำไหลผ่านใบตัดเพื่อลดความร้อนและพัดพาเศษปูนออก ส่งผลให้เกิดของเสียในรูปสารแขวนลอย (suspended solids) ปริมาณมาก หากไม่มีระบบจัดการของเสียที่เหมาะสม เศษวัสดุดังกล่าวสามารถตกตะกอนและสะสมในท่อระบายน้ำจนเกิดการอุดตันได้ [8] จากการดำเนินงานในห้องปฏิบัติการทันตกรรมของคลินิกทันตกรรมทั่วไปขั้นสูง พบปัญหาการอุดตันของท่อระบายน้ำและการล้นของอ่างล้างมือภายหลังการใช้งานเครื่องตัดแต่งปูนอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เจ้าหน้าที่ต้องใช้เวลาในการทำความสะอาดเพิ่มขึ้น มีการแจ้งซ่อมบำรุงระบบท่อระบายน้ำบ่อยครั้ง และขาดความต่อเนื่องการใช้งานเครื่องดังกล่าว ปัญหาดังกล่าวไม่เพียงส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติงาน แต่ยังเพิ่มความเสี่ยงด้านสุขาภิบาลและความปลอดภัยในพื้นที่ปฏิบัติงาน ดังนั้นจากสภาพปัญหาที่กล่าวมา ผู้ศึกษานำแนวคิด waste reduction และ continuous quality improvement (CQI) มาประยุกต์ใช้ โดยออกแบบชุดถังกรองดักจับเศษปูนหลายชั้นก่อนปล่อยน้ำลงสู่ท่อระบายน้ำภายในอาคาร อาศัยหลักการตกตะกอน (sedimentation) และการกรอง (filtration) เพื่อลดเวลาการทำความสะอาดของเจ้าหน้าที่ ลดจำนวนครั้งการล้นของน้ำในอ่างล้างมือ และลดจำนวนการแจ้งซ่อมบำรุงระบบท่อระบายน้ำ โดยประเมินผลเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงพัฒนา อันจะเป็นประโยชน์ต่อการปฏิบัติงานของทันตแพทย์และเจ้าหน้าที่ช่างทันตกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ และยังสอดคล้องกับแนวคิดการบริการจัดการทรัพยากรน้ำอย่าง ตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) เป้าหมายที่ 6

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อลดระยะเวลาในการทำความสะอาดถังพักน้ำบริเวณใต้อ่างล้างมืออย่างน้อยร้อยละ 50 ภายหลังการติดตั้งชุดถังกรอง
2. เพื่อลดจำนวนเหตุการณ์น้ำล้นจากอ่างล้างมือให้เหลือศูนย์ครั้งต่อสัปดาห์ในช่วงติดตามผล
3. เพื่อลดจำนวนการแจ้งซ่อมบำรุงระบบท่อระบายน้ำอย่างน้อยร้อยละ 80 เมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการพัฒนา

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการพัฒนาคุณภาพงานภายในห้องปฏิบัติการทันตกรรมของคลินิกทันตกรรมทั่วไปขั้นสูง โรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยมุ่งแก้ไขปัญหาการอุดตันของอ่างล้างมือและท่อระบายน้ำ ที่เกิดจากเศษปูนและตะกอนเมื่อใช้งานเครื่องตัดแต่งปูนทันตกรรมของคลินิกทันตกรรมทั่วไปขั้นสูง โรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่ศึกษา

ดำเนินการเฉพาะบริเวณห้องปฏิบัติการทันตกรรมที่มีเครื่องตัดแต่งปูนทันตกรรมของคลินิกทันตกรรมทั่วไปขั้นสูง ไม่ครอบคลุมคลินิกหรือหน่วยงานอื่นภายในคณะ

3.2 ขอบเขตด้านประชากรและผู้เกี่ยวข้อง

บุคลากรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เจ้าหน้าที่ช่างทันตกรรม นักศึกษาทันตแพทย์ ทันตแพทย์ผู้ใช้งานเครื่องตัดแต่งปูนทันตกรรม และเจ้าหน้าที่หน่วยซ่อมบำรุง

3.3 ขอบเขตด้านเนื้อหาและตัวแปร

มุ่งศึกษาการพัฒนาและประสิทธิผลของ “ชุดถังกรองดักจับเศษปูน” ต่อระยะเวลาในการทำความสะอาดถังพักน้ำบริเวณใต้อ่าง (นาที/ครั้ง) จำนวนครั้งการล้นของน้ำในอ่างล้างมือ (ครั้ง/สัปดาห์) และจำนวนการแจ้งซ่อมบำรุง (ครั้ง/เดือน)

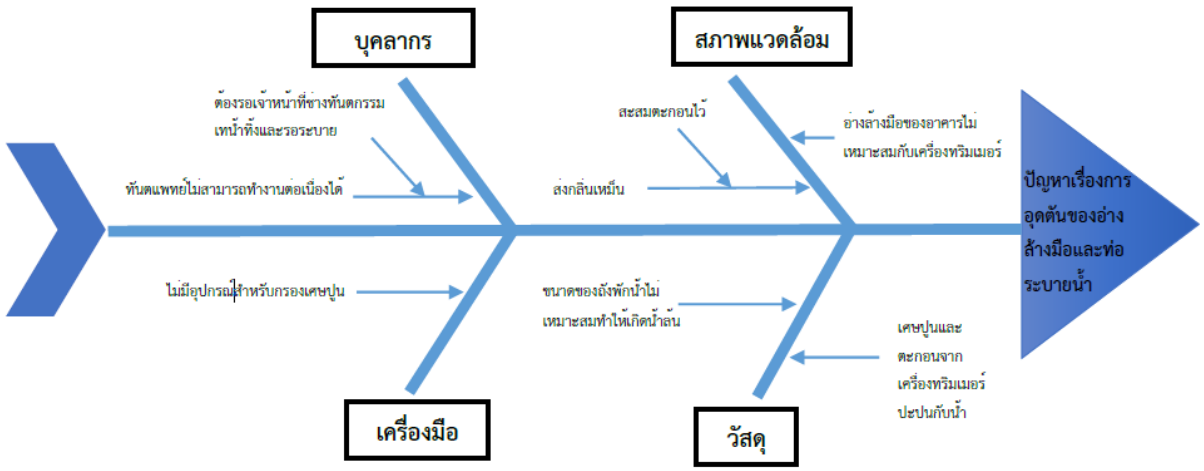
3.4 ขอบเขตด้านรูปแบบการพัฒนา

ศึกษาเฉพาะการออกแบบ ทดลอง ปรับปรุง และใช้งานจริงของชุดถังกรองดักจับเศษปูนไม่ครอบคลุมการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมเชิงโครงสร้างของระบบท่ออาคารทั้งระบบ

4. วิธีการศึกษา/ดำเนินการ

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (action research) โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.1 ศึกษาสภาพปัญหาการอุดตันบริเวณอ่างล้างมือ ทำให้น้ำล้น ท่ออุดตัน และส่งกลิ่นไม่พึงประสงค์ จึงได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุร่วมกับสมาชิกในทีมและเจ้าหน้าที่หน่วยซ่อมบำรุง โดยวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยแผนผังก้างปลา (fishbone diagram) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

4.2 ออกแบบและเตรียมวัสดุอุปกรณ์ เพื่อจัดทำชุดถังกรองดักจับเศษปูน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบหลักของระบบ

องค์ประกอบ	รายละเอียดโดยสังเขป
ถังพักน้ำ	ถังพลาสติก ขนาด 9 ลิตร
ระบบกรอง	แผ่นฟองน้ำหลายขนาด + ตะแกรง
ระบบท่อเชื่อมต่อ	PVC และท่อยาง
ระบบระบาย	ปั๊มน้ำขนาดเล็ก

4.3 การทดลองและปรับปรุง โดยแบ่งการทดลองและปรับปรุงออกเป็น 4 ครั้ง ดังนี้

4.3.1 การทดลอง ครั้งที่ 1 ใช้ตะกร้ารองด้วยตะแกรงลวด รองด้วยแผ่นฟองน้ำเพื่อดักจับเศษปูนและตะกอน โดยรองด้วยถังพลาสติกที่เจาะรู เพื่อระบายน้ำอัตโนมัติ ดังรูปที่ 2 หลังการทดลอง พบว่า ยังพบเศษปูนและตะกอน การทำความสะอาดตะแกรงลวดไม่สะดวก ดังรูปที่ 3

รูปที่ 2 ชุดถังกรองดักจับเศษปูน ครั้งที่ 1

รูปที่ 3 พบเศษปูนและทำความสะอาดไม่สะดวก

4.3.2 การทดลอง ครั้งที่ 2 เปลี่ยนจากตะกร้าเป็นกล่องพลาสติกใส เจาะรูระบายด้านล่างกล่องนำผ้าขาวบางมากรองตรงท่อ PVC ดังรูปที่ 4 หลังการทดลอง พบว่า เศษปูนและตะกอนไม่สามารถไหลออกมาได้ ทำให้น้ำไหลย้อนกลับที่ตัวเครื่องตัดแต่งปูนทันตกรรม เกิดน้ำล้นบริเวณที่กรอปูน ดังรูปที่ 5

รูปที่ 4 ชุดถังกรองดักจับเศษปูน ครั้งที่ 2

รูปที่ 5 พบน้ำไม่สามารถไหลผ่านผ้าขาวบาง

4.3.3 การทดลอง ครั้งที่ 3 เอาผ้าขาวออก ใช้แผ่นฟองน้ำรองด้านล่างของกล่องพลาสติก เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวกรองเศษปูนและตะกอน ดังรูปที่ 6 หลังการทดลอง พบว่า แผ่นฟองน้ำระบายน้ำได้ดีและสามารถดักจับเศษปูนและตะกอน ดังรูปที่ 7

รูปที่ 6 ชุดถังกรองดักจับเศษปูน ครั้งที่ 3

รูปที่ 7 แผ่นฟองน้ำระบายน้ำได้ดีและสามารถดักจับเศษปูนได้ดี

4.3.4 การทดลอง ครั้งที่ 4 นำแผ่นฟองน้ำรองในอ่างล้างมือ ด้านล่างของถังพักน้ำ เพื่อดักเศษปูนและตะกอนอีกชั้น ดังรูปที่ 8 หลังการทดลอง พบว่า ไม่มีเศษปูนและตะกอนในอ่างล้างมือมีแต่คราบของน้ำปูน ดังรูปที่ 9

รูปที่ 8 ชุดถังกรองดักจับเศษปูน ครั้งที่ 4

รูปที่ 9 พบเพียงคราบของน้ำปูน

4.4 การประเมินผลลัพธ์ก่อนและหลังการพัฒนา โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลระยะเวลาในการทำความสะอาด จำนวนครั้งของการเกิดน้ำล้น และจำนวนการแจ้งซ่อมบำรุงระบบท่อระบายน้ำ ซึ่งใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าร้อยละ เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ก่อนและหลังการปรับปรุงชุดถังกรองดักจับเศษปูน

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการพัฒนาชุดถังกรองดักจับเศษปูนช่วยแก้ปัญหาการล้นของน้ำและการอุดตันได้ 100% ลดเวลาทำความสะอาดลง 75% ลดการแจ้งซ่อมบำรุงเหลือศูนย์ครั้งต่อเดือน ดังตารางที่ 2 และกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้ ส่งผลให้ทันตแพทย์สามารถทำงานต่อเนื่องโดยไม่สะดุด ห้องปฏิบัติการทันตกรรมมีสุขอนามัยดีขึ้น พร้อมทั้งช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายโดยการนำวัสดุเหลือใช้อย่างกล่อง Holder X-ray แผ่นฟองน้ำ และท่อน้ำทิ้งมาดัดแปลงใช้ใหม่

ตารางที่ 2 ตัวชี้วัดผลสำเร็จ

ตัวชี้วัด	เป้าหมาย	ก่อนพัฒนา	หลังพัฒนา	การเปลี่ยนแปลง
ลดเวลาการล้างทำความสะอาดถังพักน้ำบริเวณใต้อ่าง (นาที/ครั้ง) ร้อยละเวลาการล้างทำความสะอาดถังพักน้ำบริเวณใต้อ่างที่ลดลง (ร้อยละ)	30 50%	60 -	15 75%	ลดลง 75%
ลดการล้นของน้ำในอ่างล้างมือ (ครั้ง/สัปดาห์) ร้อยละการล้นของน้ำในอ่างล้างมือที่ลดลง	0 50%	2 -	0 100%	ไม่พบในช่วงติดตามผล
ลดจำนวนแจ้งหน่วยซ่อมบำรุง (ครั้ง/เดือน)	0	5	0	ไม่พบในช่วงติดตามผล

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า ชุดถังกรองดักจับเศษปูนที่พัฒนาขึ้นสามารถลดปัญหาการอุดตันของท่อและการล้นของน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยลดระยะเวลาในการทำความสะอาดร้อยละ 75 และลดการเกิดน้ำล้นรวมถึงการแจ้งซ่อมบำรุงลงร้อยละ 100 สะท้อนให้เห็นว่าการจัดการตะกอนที่ต้นทาง (source control) เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการแก้ไขที่ปลายทางของระบบท่อระบายน้ำ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ระบุว่า การแยกและดักจับของแข็งแขวนลอยก่อนเข้าสู่ระบบรวบรวมน้ำเสีย สามารถลดภาระของระบบท่อและลดความเสี่ยงการอุดตันได้อย่างมีนัยสำคัญ [6, 7] นอกจากนี้แนวทางการลดของเสียและการควบคุมมลพิษตั้งแต่แหล่งกำเนิด ยังเป็นหลักการสำคัญของการจัดการน้ำเสียในสถานพยาบาล ที่เน้นให้สถานบริการสุขภาพมีระบบจัดการของเสียและน้ำทิ้งที่เหมาะสม เพื่อลดผลกระทบต่อสุขอนามัยและสิ่งแวดล้อม [5] ในบริบทของประเทศไทยมีงานวิจัยเกี่ยวกับคุณภาพน้ำทิ้งจากหน่วยงานสาธารณสุขและสถาบันการศึกษา เช่น การศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งของคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ชี้ให้เห็นว่าการควบคุมคุณภาพน้ำเสียภายในหน่วยงานมีบทบาทสำคัญต่อการป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อมในระยะยาว [2] ขณะที่งานวิจัยด้านการบำบัดน้ำเสียด้วยการตกตะกอนและการดูดซับ พบว่าการแยกตะกอนก่อนเข้าสู่ระบบหลักช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบบำบัด [3] ชุดถังกรองดักจับเศษปูนที่พัฒนาขึ้นจึงถือเป็นนวัตกรรมเชิงปฏิบัติการ (practical innovation) ที่ประยุกต์ใช้หลักการตกตะกอนและการกรองอย่างง่าย (sedimentation and filtration) ในระดับหน่วยงานย่อย (micro-scale management) ซึ่งมีต้นทุนต่ำ ใช้วัสดุที่หาได้ง่าย และสามารถบำรุงรักษาได้สะดวก สอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนของ United Nations ภายใต้เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) เป้าหมายที่ 6 ด้านการจัดการน้ำและสุขาภิบาลอย่างยั่งยืน นอกจากนี้การลดการอุดตันและกลิ่นไม่พึงประสงค์ยังส่งผลเชิงบวกต่อสภาพแวดล้อมการทำงาน สุขอนามัย และความต่อเนื่องของกระบวนการเรียนการสอนในคลินิกทันตกรรม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของคุณภาพการให้บริการทางการแพทย์

เอกสารอ้างอิง

[1] คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2569). *ข้อมูลการให้บริการโรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.* 16 มกราคม 2569. สืบค้นจาก https://dt.mahidol.ac.th/hospital-mudent/hospital-executives/

[2] จิราพร ขำจันทร์, จาตุรนต์ กัณฑะธง, ภาณุวัฒน์ ทวีกุล, เสกสรรค์ ทองติ๊บ และอรัณย์ภัค พิทักษ์พงษ์. (2024). *การศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งจากคณะ สาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา.* วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อมและสุขภาพชุมชน, 9(4), 448-458.

[3] ปารินดา สุขสบาย. (2012). *การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตข้อต่อท่อประปาเหล็ก ด้วยการตกตะกอนเคมีร่วมกับการดูดซับ.* Journal of Food Health and Bioenvironmental Science, 5(1), 1-12.

[4] Anusavice, K. J., Shen, C., & Rawls, H. R. (Eds.). (2012). *Phillips' science of dental materials*. Elsevier Health Sciences.

[5] Chartier, Y. (Ed.). (2014). *Safe management of wastes from health-care activities*. World Health Organization.

[6] Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's water treatment: principles and design*. John Wiley & Sons.

[7] Metcalf & Eddy, A. E. C. O. M. (2014). *Wastewater engineering treatment and resource recovery*. McGraw-Hill Education.

[8] Powers, J. M., & Wataha, J. C. (2012). *Dental materials-E-book: properties and manipulation*. Elsevier Health Sciences.

รากฐานแห่งความยั่งยืน: การขับเคลื่อนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในบริบทนวัตกรรมทางสังคมท้องถิ่นไทย

นิสา รัตนดิลก ณ ภูเก็ต[1], ปิยะวัฒน์ เจริญศักดิ์[1*], และ เฉลิมพล จงวิทูกิจ[2]

[1] สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร
[2]มหาวิทยาลัยศรีปทุม แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร
** Corresponding author: Work.piyawat@gmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของการสนับสนุนให้เกิดนวัตกรรมทางสังคมเพื่อสร้างคลังปัญญาของเครือข่ายชุมชนท้องถิ่น มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยความสำเร็จและกลไกการขับเคลื่อนงานพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในเครือข่ายร่วมสร้างชุมชนท้องถิ่นน่าอยู่ ศึกษาจากกลุ่มเป้าหมายจำนวน 55 พื้นที่ ครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ โดยใช้กรอบเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) เป็นเกณฑ์ในการประเมินผลลัพธ์ทั้งทางตรง (Direct Impact) และทางอ้อม (Indirect Impact)

ผลการศึกษาค้นพบ "รหัสพันธุกรรมความยั่งยืน" (DNA of Sustainability) ที่เป็นจุดร่วมสำคัญของทุกพื้นที่ คือความสอดคล้องกับ SDG 3 (เป้าหมายที่ 3 สร้างหลักประกันการมีสุขภาวะที่ดี และส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีสำหรับทุกคนในทุกช่วงวัย) และ SDG 17 (เป้าหมายที่ 17 เสริมความเข้มแข็งให้แก่กลไกการดำเนินงานและฟื้นฟูสภาพหุ้นส่วนความร่วมมือระดับโลกสำหรับการพัฒนาที่ยั่งยืน) ข้อมูลเชิงประจักษ์แสดงให้เห็นว่า ไม่ว่าบริบทของโครงการจะเป็นด้านผู้สูงอายุ ความปลอดภัยทางถนน หรือสิ่งแวดล้อม ความสำเร็จล้วนเกิดจากการใช้กระบวนการมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่าย (SDG 17) เป็นกลไกขับเคลื่อนหลัก ซึ่งนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายด้านสุขภาวะ (SDG 3) เป็นผลลัพธ์พื้นฐาน และยังส่งผลทางอ้อมเชื่อมโยงไปยังเป้าหมายอื่น

บทสรุปของการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การสร้างความยั่งยืนในการดำเนินงานขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในเครือข่ายร่วมสร้างชุมชนท้องถิ่นน่าอยู่จำเป็นต้องบูรณาการเรื่องสุขภาวะเข้ากับกระบวนการสร้างพันธมิตรเครือข่ายอย่างเป็นระบบร่วมกัน การให้ความสำคัญกับ SDG 3 และ SDG 17 จึงไม่ใช่เพียงทางเลือก แต่เป็นปัจจัยพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการยกระดับนวัตกรรมทางสังคมสู่ความยั่งยืนในบริบทท้องถิ่นไทย

คำสำคัญ: นวัตกรรมทางสังคม / เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน / เครือข่ายร่วมสร้างชุมชนท้องถิ่นน่าอยู่ / สุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี / ความร่วมมือเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

Foundations of sustainability: Driving SDGs through local social innovation in Thailand Environment

Nisa Rattanadilok Na Phuket[1], Piyawat Charoensak[1*], and Chalermphon Chongwitookit[2]

[1]Thai Health Promotion Foundation (ThaiHealth), Thung Maha Mek Subdistrict, Sathon District, Bangkok.
[2]Sripatum University, Sena Nikhom Subdistrict, Chatuchak District, Bangkok
**Corresponding author: Work.piyawat@gmail.com*

Abstract

This article is part of an initiative to promote social innovation for the establishment of a knowledge repository for local community networks. The primary objective is to analyze success factors and mechanisms for driving sustainable development within local administrative organizations belonging to the Healthy Community Network. The study examined 55 target areas across the Northern, Central, Northeastern, and Southern regions of Thailand, utilizing the Sustainable Development Goals (SDGs) framework as a criterion for evaluating both direct and indirect impacts.

The findings reveal a "DNA of Sustainability," a critical commonality across all study areas, characterized by a significant alignment with SDG 3 (Good Health and Well-being) and SDG 17 (Partnerships for the Goals). Empirical evidence indicates that regardless of project contexts—whether focused on elderly care, road safety, or environmental management—success consistently stems from employing collective participation of network partners (SDG 17) as the core driving mechanism. This approach leads to the achievement of health and well-being outcomes (SDG 3) as a fundamental result, while simultaneously generating indirect impacts that link to other development goals.

In conclusion, this study underscores that achieving sustainability in the operations of local administrative organizations within the Healthy Community Network requires a systematic integration of health promotion with network partnership processes. Prioritizing SDG 3 and SDG 17 is not merely an option but a necessary fundamental factor for elevating social innovation toward true sustainability within the Thai local context.

Keywords: Social innovation / Sustainable development goals (SDGs) / Local community networks / Good health and well-being / Partnerships for the goals

1. บทนำ

ท่ามกลางวิกฤตการณ์โลกที่มีความซับซ้อนของปัญหา เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ได้เปลี่ยนสถานะจากกรอบแนวคิดระดับสากลสู่วาระแห่งการอยู่รอดที่ต้องอาศัยแรงขับเคลื่อนพื้นฐานจากชุมชน ซึ่งถือเป็นรากฐานของการพัฒนาที่ยั่งยืน ดังนั้นการพัฒนาสังคมให้เกิดความสงบสุขและยั่งยืนได้นั้นมีจุดเริ่มต้นที่ความเข้มแข็งของท้องถิ่น ซึ่งมีโครงสร้างทางเศรษฐกิจและวัฒนธรรมที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะพื้นที่ การขับเคลื่อนยุทธศาสตร์การพัฒนาจึงต้องเชื่อมโยงมิติต่าง ๆ อย่างลงตัวผ่านการจัดการทุนทางสังคม โดยมุ่งเน้นการบูรณาการพลังท้องถิ่นทั้งด้านฐานทรัพยากร เครือข่ายสังคม ระบบความรู้ และวิถีวัฒนธรรม เพื่อยกระดับขีดความสามารถของชุมชนสู่การจัดการตนเอง (Self-Management) ในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3] สอดคล้องกับผลการประเมินความเข้มแข็งของชุมชนท้องถิ่นว่า ชุมชนท้องถิ่นจะมีความเข้มแข็งได้นั้นต้องครอบคลุมประเด็นสำคัญดังนี้ (1) ชุมชนท้องถิ่นมีความสนใจเข้าร่วมการขับเคลื่อนการพัฒนาพื้นที่ด้วยตนเอง (2) ความพร้อมของบุคลากร งบประมาณ และองค์ความรู้ ที่สอดคล้องกับความต้องการของพื้นที่ (3) การวางแผนและทำความเข้าใจกับพื้นที่ สร้างความร่วมมือและความเชื่อมั่นซึ่งกันและกัน และ (4) การจัดการเรื่องทุนทางสังคมและศักยภาพของพื้นที่ [14] แม้ว่ารายงาน The Sustainable Development Goals Report 2024 จะมีการระบุว่ามีเพียงร้อยละ 17 ของเป้าหมายย่อยทั่วโลกที่มีแนวโน้มบรรลุผลสำเร็จ แต่บทพิสูจน์ที่แท้จริงกลับปรากฏชัดในระดับพื้นที่ว่า ความล้มเหลวส่วนใหญ่เกิดจากการขาดการปรับตัวให้เข้ากับภูมิสังคม การบรรลุเป้าหมายระดับโลกจึงเป็นไปไม่ได้เลยหากปราศจากการขับเคลื่อนด้านนวัตกรรมและการปฏิบัติการร่วมกันของสมาชิกในชุมชนให้ครอบคลุมมิติต่าง ๆ อย่างครบถ้วน [9]

การสร้างชุมชนท้องถิ่นเข้มแข็งต้องสอดประสานไปกับนวัตกรรมทางสังคมด้วย เพราะนวัตกรรมทางสังคมในยุคใหม่ไม่ใช่เพียงเรื่องเทคโนโลยี แต่คือการออกแบบระบบอภิบาลใหม่ที่ยอมรับแผนชุมชนและข้อมูลจากพลเมืองให้มีสถานะเท่าเทียมกับแผนภาครัฐ ประเทศไทยมีต้นทุนทางสังคมที่เข้มแข็งผ่านเครือข่ายองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและกลุ่มทางสังคมที่กระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาค แต่ปัญหาสำคัญคือนวัตกรรมในชุมชนมักถูกมองเป็นเพียงกิจกรรมย่อยที่ขาดการเชื่อมโยงเชิงระบบ อีกทั้งยังเผชิญกับข้อจำกัดด้านระเบียบงบประมาณและอำนาจการตัดสินใจที่ยังไม่เอื้อต่อการสร้างความยั่งยืนในระยะยาว การจะก้าวข้ามขีดจำกัดดังกล่าวจำเป็นต้องมีการถอดบทเรียนจากปฏิบัติการจริงที่ประสบความสำเร็จ เพื่อเปลี่ยนจากภารกิจตามหน้าที่ให้กลายเป็นนวัตกรรมที่ตอบโจทย์ความยั่งยืนอย่างเป็นรูปธรรม ปัจจุบันอุปสรรคสำคัญของการพัฒนาพื้นที่อย่างยั่งยืนคือ ข้อจำกัดด้านโครงสร้างของรัฐที่มีลักษณะแยกส่วน (Silo Structure) และยึดติดกับขอบเขตทางปกครอง ซึ่งไม่สอดรับกับสภาพปัญหาจริงที่มีความซับซ้อนและเชื่อมโยงกันในมิติเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม การสร้างความยั่งยืนจึงต้องอาศัยการขับเคลื่อนจากฐานรากโดยเปลี่ยนผ่านไปสู่การสร้างชุมชนที่เข้มแข็ง ผ่านกลไกความร่วมมือของภาคประชาสังคมและภาควิชาการ เพื่อทลายข้อจำกัดเชิงโครงสร้างและตอบโจทย์ปัญหาเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6] ดังนั้นการสร้างหลักประกันการมีสุขภาวะที่ดี และส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีสำหรับทุกคนในทุกช่วงวัย (เป้าหมายที่ 3) เข้ากับการเสริมความเข้มแข็งให้แก่กลไกการดำเนินงานและฟื้นฟูสภาพหุ้นส่วนความร่วมมือระดับโลกสำหรับการพัฒนาที่ยั่งยืน (เป้าหมายที่ 17) จึงไม่สามารถแยกออกจากชุมชนได้

สำหรับบริบทของประเทศไทย มีการบรรจุหลักการการพัฒนาที่ยั่งยืน ไว้ในรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พุทธศักราช 2560 โดยกำหนดให้รัฐจัดทำยุทธศาสตร์ชาติ เพื่อใช้เป็นเป้าหมายและแนวทางในการพัฒนาประเทศอย่างยั่งยืนตามหลักธรรมาภิบาล ทั้งนี้ ยุทธศาสตร์ชาติดังกล่าวทำหน้าที่เป็นกรอบในการจัดทำแผนต่าง ๆ ของประเทศให้สอดคล้องและบูรณาการกัน เพื่อขับเคลื่อนไปสู่เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนร่วมกัน ทั้งนี้จากข้อมูลจาก SDG Index ในประเด็นสุขภาวะและการพัฒนาศักยภาพยังคงมีความท้าทายเกี่ยวกับปัญหาโรคติดต่อ เช่น วัณโรค โรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) สุขภาพจิต การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุทางถนน คุณภาพการศึกษาขั้นพื้นฐานที่ยังเหลื่อมล้ำ เป็นต้น [13] อีกทั้งมติจากสมัชชาสุขภาพแห่งชาติ ครั้งที่ 18 มีการเสนอให้มีการปรับกระบวนทัศน์เชิงนโยบายโดยการเสริมพลังให้ท้องถิ่น ได้มีส่วนในการกำหนดนิยามความยั่งยืนด้วยตนเอง ผ่านกลไกพื้นที่

กลาง [6] ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ The London School of Economics ที่ยืนยันว่าการกระจายอำนาจ (Decentralization) เป็นปัจจัยเชิงบวกต่อความสำเร็จของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน [12]

บทความฉบับนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การนำเสนอทางออกสำคัญ ซึ่งถือเป็นรหัสพันธุกรรมความยั่งยืน (DNA of Sustainability) ซึ่งในการศึกษานี้ สอดคล้องกับแนวคิดของ United Nations Global Compact (2021) ที่นิยามถึงการฝังรากลึกของค่านิยมและกลไกการดำเนินงานเชิงระบบเข้าสู่โครงสร้างหลักของพื้นที่ โดยในการศึกษา 55 พื้นที่ต้นแบบพบว่ารหัสพันธุกรรมความยั่งยืน (DNA of Sustainability) ปรากฏชัดในรูปของการบูรณาการระหว่าง SDG 3 (เป้าหมายสุขภาวะ) และ SDG 17 (กลไกภาคีเครือข่าย) ซึ่งทำหน้าที่เป็นกลไกพื้นฐานที่ขับเคลื่อนให้เกิดผลลัพธ์การพัฒนาที่ยั่งยืนในมิติอื่น ๆ ได้อย่างเป็นพลวัต [18] ทั้งนี้กระบวนการขับเคลื่อนภาคีเครือข่ายจะส่งผลกระทบต่อเนื่องกัน การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการพัฒนาความยั่งยืนแสดงให้เห็นว่า การพัฒนาเป้าหมายใดในแต่ละพื้นที่ให้มีความชัดเจนย่อมส่งผลกระทบเชิงบวกต่อเป้าหมายการพัฒนาอื่นให้สามารถประสบความสำเร็จไปด้วย [11] ซึ่งการนำรูปแบบวิธีคิดเชิง SDGs มาปรับใช้ในระดับพื้นที่จะเป็นการสร้างแต้มต่อเชิงยุทธศาสตร์ให้แก่ชุมชนท้องถิ่นในการสื่อสารและผลักดันวาระความยั่งยืนสู่ระดับสากล ทำให้บทเรียนจากการขับเคลื่อนในระดับฐานรากของไทยกลายเป็นกรณีศึกษาต้นแบบที่พร้อมจะแบ่งปันและสร้างผลกระทบเชิงบวกสู่สังคมโลก [11] การพัฒนาชุมชนให้เกิดความยั่งยืนจึงต้องพัฒนาอย่างบูรณาการทั้งเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม สิ่งแวดล้อม สุขภาพ การศึกษา จิตใจ และประชาธิปไตย สร้างสังคมจากจากฐานที่แข็งแรงและมั่นคง การเคารพความรู้ในตัวคน และสร้างระบบการศึกษาที่ส่งเสริมความสร้างสรรค์และความสุข [4] ดังนั้นการขับเคลื่อนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนโดยใช้ชุมชมเป็นฐานรากในบริบทสังคมไทยจึงไม่ใช่เพียงทางเลือก แต่เป็นกลไกบังคับพื้นฐานในการเปลี่ยนบทบาทของชุมชนจากการเป็นเพียงผู้รับการพัฒนา สู่การเป็นผู้สร้างสรรค์อนาคตที่มีศักดิ์ศรี เพื่อร่วมกันสร้างฉากทัศน์ความยั่งยืนที่เข้าถึงได้และไม่ทิ้งใครไว้ข้างหลังอย่างแท้จริง

2. วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยความสำเร็จและกลไกการขับเคลื่อนงานพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในเครือข่ายร่วมสร้างชุมชนท้องถิ่นน่าอยู่

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ผลงานวิชาการของการสนับสนุนให้เกิดนวัตกรรมทางสังคมเพื่อสร้างคลังปัญญาของเครือข่ายชุมชนท้องถิ่น จำนวน 55 พื้นที่ ภายใต้การสนับสนุนของสำนักสนับสนุนสุขภาวะชุมชน (สำนัก 3) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) ครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ โดยใช้กรอบเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) เป็นเกณฑ์ในการประเมินผลลัพธ์ทั้งทางตรง (Direct Impact) และทางอ้อม (Indirect Impact) โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. เป็นพื้นที่ของโครงการภายใต้การสนับสนุนของสำนักสนับสนุนสุขภาวะชุมชน (สำนัก 3) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)
2. เป็นพื้นที่ที่ดำเนินการเสร็จสิ้นแล้วในปี 2568
3. เป็นพื้นที่ที่ได้รับการประเมินนวัตกรรมชุมชนท้องถิ่น ด้วยเครื่องมือทางวิชาการแบบประเมินนวัตกรรมทางสังคม [5]

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เอกสาร (Document Analysis) จากฐานข้อมูลโครงการนวัตกรรมทางสังคมเพื่อสร้างคลังปัญญาของเครือข่ายชุมชนท้องถิ่น ภายใต้การสนับสนุนของสำนักสนับสนุนสุขภาวะชุมชน (สำนัก 3) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) การคัดเลือกกลุ่มเป้าหมาย ใช้วิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากโครงการตำบลสุขภาวะที่เป็นพื้นที่ต้นแบบและมีศักยภาพ จำนวน 55 พื้นที่ ครอบคลุม 4 ภูมิภาคทั่วประเทศ ซึ่งดำเนินการเสร็จสิ้นในปี 2568

(2) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล มีการประเมินข้อมูลจากรายงานผลการดำเนินงานของโครงการ โดยใช้แบบประเมินนวัตกรรมทางสังคม [5] ซึ่งครอบคลุม 4 มิติสำคัญ ได้แก่ (1) ข้อมูลทั่วไปและระบบการจัดการ (2) องค์ประกอบนวัตกรรมทางสังคม (3) ผลกระทบต่อสังคมตามกรอบ SDGs และ (4) ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย โดยมุ่งเน้นไปที่การใช้ข้อมูลที่ได้จากส่วนผลกระทบต่อสังคมตามกรอบ SDGs

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

เนื่องจากเป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ จึงเน้นการวิเคราะห์เชิงเนื้อหาเพื่อให้เห็นความเชื่อมโยงของ "รหัสพันธุกรรมความยั่งยืน" คือการวิเคราะห์แก่นสาระ (Thematic Analysis) [8] รวม 6 ระยะ ตั้งแต่การทำความคุ้นเคยกับข้อมูล การสร้างรหัส (Coding) ไปจนถึงการสรุปหมวดหมู่ โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์ส่วนที่สาม (ผลกระทบตามกรอบ SDGs) ของแบบประเมิน การวิเคราะห์ผลร้อยละโดยใช้กรอบเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) เป็นเกณฑ์จำแนกผลลัพธ์ทั้งทางตรง (Direct Impact) และทางอ้อม (Indirect Impact) เพื่อระบุจุดร่วมของความสำเร็จในบริบทท้องถิ่น

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการประเมินการดำเนินการที่สะท้อนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) เป็นการสังเคราะห์ข้อมูลเชิงประจักษ์ผ่านการประเมินผลลัพธ์ของการสนับสนุนให้เกิดนวัตกรรมทางสังคมจำนวน 55 พื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 1 และรายละเอียดด้านล่างนี้

ตารางที่ 1 ผลการประเมินการดำเนินการที่สะท้อนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs)

เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs)	ผลกระทบทางตรง		ผลกระทบทางอ้อม		ผลรวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
เป้าหมายที่ 1 ยุติความยากจนทุกรูปแบบในทุกที่	7	12.73	31	56.36	38	69.09
เป้าหมายที่ 2 ยุติความหิวโหย บรรลุความมั่นคงทางอาหารและยกระดับโภชนาการ และส่งเสริมเกษตรกรรมที่ยั่งยืน	13	23.64	13	23.64	26	47.27
เป้าหมายที่ 3 สร้างหลักประกันการมีสุขภาวะที่ดี และส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีสำหรับทุกคนในทุกช่วงวัย	55	100.00	0	0.00	55	100.00
เป้าหมายที่ 4 สร้างหลักประกันว่าทุกคนมีการศึกษาที่มีคุณภาพอย่างครอบคลุมและเท่าเทียม และสนับสนุนโอกาสในการเรียนรู้ตลอดชีวิต	9	16.36	33	60.00	42	76.36
เป้าหมายที่ 5 บรรลุความเสมอภาคระหว่างเพศ และเพิ่มบทบาทของสตรีและเด็กหญิงทุกคน	1	1.82	8	14.55	9	16.36

ตารางที่ 1 ผลการประเมินการดำเนินการที่สะท้อนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) (ต่อ)

เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs)	ผลกระทบทางตรง		ผลกระทบทางอ้อม		ผลรวม	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
เป้าหมายที่ 6 สร้างหลักประกันเรื่องน้ำและการสุขาภิบาล ให้มีการจัดการอย่างยั่งยืนและมีสภาพพร้อมใช้สำหรับทุกคน	4	7.27	16	29.09	20	36.36
เป้าหมายที่ 7 สร้างหลักประกันว่าทุกคนเข้าถึงพลังงานสมัยใหม่ในราคาที่สามารถซื้อหาได้ เชื่อถือได้และยั่งยืน	2	3.64	6	10.91	8	14.55
เป้าหมายที่ 8 ส่งเสริมการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่ต่อเนื่อง ครอบคลุม และยั่งยืน การจ้างงานเต็มที่ และมีผลิตภาพและการมีงานที่มีคุณค่าสำหรับทุกคน	8	14.55	32	58.18	40	72.73
เป้าหมายที่ 9 สร้างโครงสร้างพื้นฐานที่มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลง ส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมที่ครอบคลุมและยั่งยืน และส่งเสริมนวัตกรรม	5	9.09	23	41.82	28	50.91
เป้าหมายที่ 10 ลดความไม่เสมอภาคภายในและระหว่างประเทศ	9	16.36	23	41.82	32	58.18
เป้าหมายที่ 11 ทำให้เมืองและการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ มีความครอบคลุม ปลอดภัย ยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงและยั่งยืน	42	76.36	11	20.00	53	96.36
เป้าหมายที่ 12 สร้างหลักประกันให้มีแบบแผนการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน	19	34.55	16	29.09	35	63.64
เป้าหมายที่ 13 ปฏิบัติการอย่างเร่งด่วนเพื่อต่อสู้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบที่เกิดขึ้น	9	16.36	13	23.64	22	40.00
เป้าหมายที่ 14 อนุรักษ์และใช้ประโยชน์จากมหาสมุทร ทะเล และทรัพยากรทางทะเลอย่างยั่งยืน เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน	1	1.82	1	1.82	2	3.64
เป้าหมายที่ 15 ปกป้อง ฟื้นฟู และสนับสนุนการใช้ระบบนิเวศบนบกอย่างยั่งยืน จัดการป่าไม้อย่างยั่งยืน ต่อสู้การกลายสภาพเป็นทะเลทราย หยุดการเสื่อมโทรม	0	0.00	12	21.82	12	21.82
เป้าหมายที่ 16 ส่งเสริมสังคมที่สงบสุขและครอบคลุม เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน ให้ทุกคนเข้าถึงความยุติธรรมและสร้างสถาบันที่มีประสิทธิผล รับผิดชอบ และครอบคลุมในทุกระดับ	7	12.73	15	27.27	22	40.00
เป้าหมายที่ 17 เสริมความเข้มแข็งให้แก่กลไกการดำเนินงานและฟื้นฟูสภาพหุ้นส่วนความร่วมมือระดับโลกสำหรับการพัฒนาที่ยั่งยืน	55	100.00	0	0.00	55	100.00

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินการดำเนินการที่สะท้อนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) เป็นการสังเคราะห์ข้อมูลเชิงประจักษ์ผ่านการประเมินผลลัพธ์ของการสนับสนุนให้เกิดนวัตกรรมทางสังคมจำนวน 55 พื้นที่ภายใต้การสนับสนุนของสำนักสนับสนุนสุขภาวะชุมชน (สำนัก 3) สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ทุกภูมิภาคของประเทศไทย พบข้อค้นพบสำคัญที่ชี้ให้เห็นถึงพลวัตการขับเคลื่อนความยั่งยืนในบริบทท้องถิ่นไทย ดังนี้

ประเด็นที่ 1 ผลกระทบทางตรงต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน พบว่า ปัจจัยแกนกลางแห่งความสำเร็จและการบูรณาการเงื่อนไขพื้นฐานสู่ความยั่งยืน มีข้อค้นพบเชิงประจักษ์ว่าเป้าหมายที่มีค่าความสอดคล้องในภาพรวมสูงสุดถึงร้อยละ 100 ในทุกพื้นที่ คือ

เป้าหมายที่ 3 (การสร้างหลักประกันการมีสุขภาวะที่ดีและส่งเสริมความเป็นอยู่ที่ดีสำหรับทุกคนในทุกช่วงวัย) และ เป้าหมายที่ 17 (การเสริมความเข้มแข็งให้แก่กลไกการดำเนินงานและฟื้นฟูสภาพหุ้นส่วนความร่วมมือระดับโลกสำหรับการพัฒนาที่ยั่งยืน) โดยทั้งสองเป้าหมายทำหน้าที่เป็นเงื่อนไขพื้นฐานและกลไกเชิงยุทธศาสตร์ที่สำคัญในการขับเคลื่อนความยั่งยืนระดับพื้นที่ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า เป้าหมายที่ 3 มุ่งเน้นการสร้างสุขภาวะองค์รวม ซึ่งสอดคล้องกับนิยามสุขภาวะตามสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) ที่ครอบคลุมทั้งมิติทางกาย จิต ปัญญา และสังคม [19] ทั้งนี้สุขภาวะไม่ได้เป็นเพียงเป้าหมายปลายทาง แต่เป็นรากฐานสำคัญในการยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนในท้องถิ่น และ เป้าหมายที่ 17 ในฐานะกลไกการบริหารจัดการความสำเร็จ ต้องเกิดจากการบูรณาการและบริหารจัดการภาคีเครือข่ายข้ามภาคส่วนอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นเครื่องยืนยันเชิงประจักษ์ว่าการขับเคลื่อนโดยใช้กลไกความร่วมมือและหุ้นส่วนการพัฒนาเป็นปัจจัยที่หนุนเสริมให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและเครือข่ายชุมชนสามารถยกระดับสู่การจัดการตนเองได้อย่างยั่งยืน ดังนั้นผลกระทบทางตรงต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนที่ค้นพบในประเทศไทยสอดคล้องกับการศึกษาในทวีปยุโรป กรณีศึกษาความไม่เท่าเทียมกันทางเศรษฐกิจ สังคม และสุขภาพในสถานการณ์ COVID-19 ในประเทศอังกฤษ [10] พบว่าสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดีเป็นความสำเร็จที่แท้จริงของการพัฒนาสังคม โดยการใช้สุขภาพของประชากรเป็นตัวชี้วัดว่าสังคมมีการพัฒนาอย่างเป็นธรรมและยั่งยืนหรือไม่ หากสุขภาพคนในสังคมแย่ลงหรือมีความเหลื่อมล้ำสูง แสดงว่าการพัฒนาสังคมและเศรษฐกิจในภาพรวมกำลังเผชิญกับปัญหา อีกทั้งการศึกษา ยังพบทิศทางที่สอดคล้องกันว่า การมีส่วนร่วมทางสังคมโดยการเข้าร่วมกลุ่มกิจกรรมหรือเป็นสมาชิกของชุมชนด้วยความสมัครใจ จะส่งผลกระทบเชิงบวกในมิติสุขภาพของสมาชิกในชุมชน และมีผลไปถึงมิติความสุขภายในอีกด้วย [1]

ประเด็นที่ 2 ผลกระทบทางอ้อมต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ผลการศึกษาพบว่า แม้การดำเนินโครงการจะมีจุดเริ่มต้นจากการมุ่งเน้นมิติด้านสุขภาวะ แต่ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นได้ขยายขอบเขตและส่งผลกระทบทางอ้อมไปยังเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในมิติอื่นอย่างเป็นพลวัต โดยมีประเด็นเป้าหมายที่น่าสนใจ ดังนี้ เป้าหมายที่ 11 (ทำให้เมืองและการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์ มีความครอบคลุม ปลอดภัย ยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงและยั่งยืน) มีค่าความสอดคล้องในภาพรวมสูงถึงร้อยละ 96.36 ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการยกระดับพื้นที่สู่การเป็นชุมชนสุขภาวะที่น่าอยู่และมีความปลอดภัยอย่างเป็นรูปธรรม เป้าหมายที่ 4 (สร้างหลักประกันว่าทุกคนมีการศึกษาที่มีคุณภาพอย่างครอบคลุมและเท่าเทียม และสนับสนุนโอกาสในการเรียนรู้ตลอดชีวิต) พบระดับความสอดคล้องของผลลัพธ์รวมร้อยละ 76.36 ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความเชื่อมโยงระหว่างการสร้างเสริมสุขภาวะกับการส่งเสริมโอกาสในการเรียนรู้ของคนในชุมชน และเป้าหมายที่ 8 (ส่งเสริมการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่ต่อเนื่อง ครอบคลุม และยั่งยืน การจ้างงานเต็มที่ และมีผลิตภาพและการมีงานที่มีคุณค่าสำหรับทุกคน) มีค่าความสอดคล้องรวมอยู่ที่ร้อยละ 72.73 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างมิติด้านสุขภาวะกับการขับเคลื่อนเศรษฐกิจฐานราก ตลอดจนการเสริมสร้างภูมิคุ้มกันเพื่อลดความเปราะบางของครัวเรือนในระดับพื้นที่ ประเด็นนี้มีความท้าทายอย่างมากในอนาคต การศึกษาในบริบทของสถาบันวิชาการ เช่น มหาวิทยาลัย ส่วนงานภาครัฐ เป็นต้น พบว่าการพัฒนาอย่างยั่งยืนยังคงเป็นคำตอบการในการบริหารจัดการและการพัฒนาสังคมในมิติต่าง ๆ ในปัจจุบัน โดยการพัฒนาอย่างยั่งยืนจะมุ่งเน้นการสร้างความสมดุลระหว่างเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดลอม การที่จะทำให้เกิดความสมดุลของการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมได้นั้น จะต้องพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ให้มีความรู้ ความสามารถและทักษะต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับสังคมไทย [7]

ประเด็นที่ 3 การบูรณาการผลกระทบต่อความยั่งยืน ผลการศึกษานอกเหนือจากเป้าหมายหลักและผลกระทบเชิงพลวัตที่โดดเด่นแล้ว ยังพบว่านวัตกรรมทางสังคมของเครือข่ายชุมชนท้องถิ่นมีความสามารถในการบูรณาการมิติต่าง ๆ ของการพัฒนาที่ยั่งยืนจนปรากฏค่าความสอดคล้องในภาพรวมสูงกว่าร้อยละ 50 ในอีกหลายประเด็นสำคัญ ซึ่งสะท้อนถึงการแก้ปัญหาเชิงซ้อนในระดับพื้นที่ได้อย่างเป็นระบบ ดังนี้ มิติด้านการลดความเหลื่อมล้ำและสร้างความเป็นธรรมทางสังคม ได้แก่ เป้าหมายที่ 1 (ยุติความยากจนทุกรูปแบบในทุกที่) มีความสอดคล้องรวมร้อยละ 69.09 และเป้าหมายที่ 10 (ลดความไม่เสมอภาคภายในและระหว่างประเทศ) มีความสอดคล้องรวมร้อยละ 58.18 ข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นว่านวัตกรรมสุขภาวะมีบทบาทสำคัญในการสร้างระบบคุ้มครองทาง

สังคมที่ช่วยบรรเทาความยากจนและลดช่องว่างทางสังคมให้แก่กลุ่มคนเปราะบางในพื้นที่ มิติด้านการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน ได้แก่ เป้าหมายที่ 12 (สร้างหลักประกันให้มีแบบแผนการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน) มีค่าความสอดคล้องรวมร้อยละ 63.64 แสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงระหว่างสุขภาวะชุมชนกับการจัดการทรัพยากรและการบริโภคที่รับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของเศรษฐกิจหมุนเวียนในระดับท้องถิ่น และ มิติด้านโครงสร้างพื้นฐานและนวัตกรรม ได้แก่ เป้าหมายที่ 9 (สร้างโครงสร้างพื้นฐานที่มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลง ส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมที่ครอบคลุมและยั่งยืน และส่งเสริมนวัตกรรม) พบระดับความสอดคล้องรวมร้อยละ 50.91 ซึ่งยืนยันว่าโครงการนวัตกรรมทางสังคมเหล่านี้ไม่ได้เป็นเพียงกิจกรรมสร้างเสริมสุขภาพ แต่เป็นการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางปัญญาและนวัตกรรมที่ทำให้ชุมชนสามารถรับมือกับการเปลี่ยนแปลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษานี้สอดคล้องกับประเด็นนวัตกรรมชุมชนกับการเชื่อมโยงเศรษฐกิจชุมชนเพื่อสร้างความความยั่งยืน โดยพบว่านวัตกรรมในชุมชนล้วนเกิดขึ้นเพื่อแก้ปัญหาหรือส่งเสริมชุมชนตามบริบทของพื้นที่ อีกทั้งยังสร้างการบริหารแบบมีส่วนร่วมโดยคนในชุมชนและสร้างความสัมพันธ์ที่ดีกับเครือข่ายภายในและภายนอกชุมชนอีกด้วย [2]

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยความสำเร็จและกลไกการขับเคลื่อนงานพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในเครือข่ายร่วมสร้างชุมชนท้องถิ่นน่าอยู่ ผลการศึกษาภาพรวมสะท้อนว่า (1) ปัจจัยแกนกลางแห่งความสำเร็จ พบว่า SDG 3 (สุขภาวะที่ดี) และ SDG 17 (หุ้นส่วนความร่วมมือ) มีความสอดคล้องสูงสุดถึงร้อยละ 100 ในทุกโครงการ โดย SDG 3 ทำหน้าที่เป็นฐานรากในการยกระดับคุณภาพชีวิตตามนิยามสุขภาวะองค์รวม ขณะที่ SDG 17 เป็นกลไกยุทธศาสตร์ในการบริหารจัดการภาคีเครือข่ายข้ามภาคส่วน ซึ่งเป็นปัจจัยชี้ขาดให้ท้องถิ่นยกระดับสู่การจัดการตนเองได้อย่างยั่งยืน (2) การสร้างผลกระทบเชิงพลวัต (Ripple Effect) แม้โครงการจะมุ่งเน้นมิติด้านสุขภาวะ แต่ผลลัพธ์ได้ขยายขอบเขตสู่เป้าหมายอื่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะ SDG 11 (ชุมชนยั่งยืน) มีความสอดคล้องร้อยละ 96.36 สะท้อนประสิทธิภาพการจัดการพื้นที่ปลอดภัย ตามด้วย SDG 4 (การศึกษาเท่าเทียม) ร้อยละ 76.36 และ SDG 8 (เศรษฐกิจและการจ้างงาน) ร้อยละ 72.73 ซึ่งแสดงถึงความเชื่อมโยงระหว่างสุขภาวะกับการพัฒนาศักยภาพมนุษย์และการสร้างภูมิคุ้มกันทางเศรษฐกิจฐานราก และ (3) การบูรณาการมิติความยั่งยืนที่ครอบคลุม พบว่า นวัตกรรมสังคมของชุมชนท้องถิ่นมีความสามารถในการแก้ปัญหาเชิงซ้อน โดยปรากฏผลลัพธ์สูงกว่าร้อยละ 50 ในหลายมิติ เช่น การลดความเหลื่อมล้ำ (SDG 10 ร้อยละ 58.18) และขจัดความยากจน (SDG 1 ร้อยละ 69.09) และ การผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน (SDG 12 ร้อยละ 63.64) รวมถึงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางปัญญา (SDG 9 ร้อยละ 50.91) ผลการศึกษาจึงยืนยันว่าโครงการเหล่านี้เป็นนวัตกรรมแบบองค์รวมที่สามารถตอบโจทย์วิถีชีวิตจริงและสร้างความยืดหยุ่นให้แก่ชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการศึกษาเกี่ยวกับรากฐานแห่งความยั่งยืนในบริบทนวัตกรรมทางสังคมท้องถิ่นไทย จึงสอดรับกับผลการวิเคราะห์ของรายงานการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศไทย [16] ได้เสนอปัจจัยเชิงยุทธศาสตร์ที่หนุนเสริมความยั่งยืนในระดับพื้นที่ภายใต้กรอบ SDGs ประกอบด้วย (1) ความสอดประสานเชิงสถาบันและเอกภาพทางนโยบาย (Institutional and Policy Coherence): การอุบัติขึ้นของความสำเร็จในระดับชุมชนจำเป็นต้องอาศัยกลไกสนับสนุนจากภาครัฐที่มีความชัดเจนและต่อเนื่อง โดยเฉพาะการบูรณาการนโยบายระดับท้องถิ่นให้สอดรับกับยุทธศาสตร์ชาติ ซึ่งจะช่วยสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการดำเนินงานเชิงพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ ผ่านการให้คำปรึกษาและการวางแผนพัฒนาเชิงรุกของหน่วยงานส่วนท้องถิ่น (2) พลังภาคีเครือข่ายและหุ้นส่วนความร่วมมือ (Network and Partnership): ปฏิสัมพันธ์ระหว่างภาคส่วนต่างๆ ถือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำคัญที่ทำให้การพัฒนาเกิดขึ้นจริงในระดับปฏิบัติการ การจัดระบบความร่วมมือข้ามภาคส่วนที่เข้มแข็งช่วยให้ชุมชนสามารถบูรณาการมิติทางเศรษฐกิจ สังคม และการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติเข้าด้วยกันได้อย่างเป็นองค์รวม ซึ่งสะท้อนว่าทุนทางสังคมในรูปแบบเครือข่ายคือแรงขับเคลื่อนพื้นฐานของการพัฒนาท้องถิ่นที่ยั่งยืน และ (3) โครงสร้างพื้นฐานทางปัญญาและกลไกการบริหาร

จัดการ: นอกจากปัจจัยข้างต้น ความยั่งยืนยังต้องอาศัยการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ เทคโนโลยี และนวัตกรรมที่เหมาะสม ควบคู่ไปกับการจัดระเบียบฐานข้อมูลและสถิติเชิงพื้นที่ที่แม่นยำ ตลอดจนการมีระบบบริหารจัดการที่มีเอกภาพ มีผู้นำการเปลี่ยนแปลง (Change Agent) ที่ชัดเจน รวมถึงการมุ่งเน้นการพัฒนาขีดความสามารถของทรัพยากรมนุษย์ และการจัดสรรทรัพยากรทางการเงิน

ดังนั้นการศึกษานี้จึงถือเป็นข้อพิสูจน์เชิงประจักษ์ ที่สะท้อนว่า การสนับสนุนให้เกิดนวัตกรรมทางสังคมภายใต้การสนับสนุนของสำนัก 3 สสส. มีศักยภาพในการปิดช่องว่างเชิงโครงสร้าง ซึ่งกระบวนการพัฒนาเชิงนโยบายแบบบนลงล่าง (Top-down Approach) ในอดีตไม่สามารถตอบสนองได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังถือเป็นตัวแบบ (Model) ที่ชัดเจนของการขับเคลื่อนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในระดับพื้นที่ (SDGs Localization) โดยกระบวนการดังกล่าวคือ การปรับประยุกต์กรอบเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ทั้ง 17 ประการ ให้สอดรับกับบริบทภูมิสังคม ความต้องการ และ ทุนทางสังคมของแต่ละท้องถิ่น กระบวนการสร้างความเข้มแข็งให้แก่ชุมชนท้องถิ่นจำเป็นต้องอาศัยกลไกการยกระดับขีดความสามารถของคนในพื้นที่ควบคู่ไปกับการเสริมพลังทุนทางสังคม (Social Capital Empowerment) เพื่อเปลี่ยนผ่านจากต้นทุนทางวัฒนธรรมและความสัมพันธ์ ให้กลายเป็นพลังอำนาจในการจัดระเบียบและบริหารจัดการโครงสร้างเชิงระบบภายในชุมชน [15] อันจะนำไปสู่การสร้างสภาพแวดล้อมและวิถีการดำเนินชีวิตที่เอื้อต่อสุขภาวะและความยั่งยืนของสมาชิกในสังคมอย่างแท้จริง [17] โดยเปลี่ยนผ่านจากการนิยามเป้าหมายในลักษณะคำสั่งเชิงนโยบายจากส่วนกลาง สู่การสร้างพื้นที่สาธารณะกลางที่เอื้อให้ภาคประชาชนและชุมชนสามารถกำหนดทิศทางอนาคตของตนเอง ผ่านการสร้างสรรค์ "รหัสพันธุกรรมความยั่งยืน' (DNA of Sustainability)" ที่ออกแบบและสร้างกลไกขึ้นจากฐานรากบนปรัชญาของความยั่งยืนอย่างแท้จริง

เอกสารอ้างอิง

[1] เฉลิมพล จงวิทูกิจ และ ยศ อมรกิจวิกัย. (2568). อิทธิพลร่วมของ มิติสุขภาพ มิติการมีส่วนร่วมทางสังคม และมิติด้านประชากรศาสตร์ ต่อความสุขของผู้สูงอายุไทย. *วารสารวิชาการมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี*, 8(2), 1-14.

[2] ญาณิศา เผื่อนเพาะ และ ประสพชัย พสุนนท์. (2564). นวัตกรรมชุมชนเชื่อมโยงเศรษฐกิจชุมชนสู่ความยั่งยืน. *Journal of Management Science Nakhon Pathom Rajabhat University*, 8(2), 32-44.

[3] ณัฐภาณี บัวดี. (2564). นวัตกรรมทางสังคม: การจัดการตนเองของชุมชนสู่การพัฒนาอย่างยั่งยืน. *วารสารการจัดการและการพัฒนาท้องถิ่น*, 4(2), 81-101.

[4] นิสา รัตนดิลก ณ ภูเก็ต และ สมศักดิ์ สามัคคีธรรม. (2567). การพัฒนาตัวแบบการนำโครงการตำบลสุขภาวะของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพไปปฏิบัติ. *วารสารวิชาการวิทยาลัยบริหารศาสตร์*, 6(4), 54-71.

[5] ปิยะวัฒน์ เจริญศักดิ์, นิสา รัตนดิลก ณ ภูเก็ต, ณัฐชนพงศ์ เธียรวรคุณ, ปริยากร พันธุ์สุข และ เฉลิมพล จงวิทูกิจ. (2568). เครื่องมือการประเมินนวัตกรรมทางสังคม กรณีศึกษาโครงการตำบลสุขภาวะ ของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. *วารสารสาธารณสุขศาสตร์*. 1(2), 125-141.

[6] สมัชชาสุขภาพแห่งชาติ. (2568). *มติสมัชชาสุขภาพแห่งชาติ ครั้งที่ 18: กลไกขับเคลื่อนการพัฒนาที่ยั่งยืนระดับพื้นที่*. https://www.samatcha.org/file/2ad2f724-3c9d-45ce-ac92-02e8c705f423/preview

[7] ภาสกร บุญคุ้ม และรัตนา ด้วยดี. (2565). การพัฒนาที่ยั่งยืน: การขับเคลื่อนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนด้วยงานวิจัย*วารสารวิชาการ ปขมท*, 12(1), 165-176

[8] Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101.

[9] Independent Group of Scientists appointed by the Secretary-General. (2023). *Global Sustainable Development Report 2023: Times of Crisis, Times of Change*. New York: United Nations.

[10] Marmot, M., Allen, J., Goldblatt, P., Herd, E. & Morrison, J. (2020). Build Back Fairer: The COVID-19 Marmot Review. The Pandemic, Socioeconomic and Health Inequalities in England. London: Institute of Health Equity.

[11] Pradhan, P., Costa, L., Rybski, D., Lucht, W. & Kropp, P. J. (2017). A Systematic Study of Sustainable Development Goal (SDG) Interactions. *Earth's Future*, 5(11), 1169-1179.

[12] The London School of Economics and Political Science (LSE). (2025). *Division of Powers and Decentralization Index*. London: LSE Press.

[13] United Nations. (2012). *The Future We Want: Outcome Document of the United Nations Conference on Sustainable Development*. New York: United Nations.

[14] นิสา รัตนดิลก ณ ภูเก็ต, ปิยะวัฒน์ เจริญศักดิ์, ณัฐธชนพงศ์ เธียรวรคุณ, ปริยากร พันธุ์สุข, เฉลิมพล จงวิทูกิจ, ณัฐกานต์ สิทธิสมาน, ศุภชัย เสนตา, วรรณิษา ภูมินอก และ สุภัชชา เกิดยินดี. (2568). แนวทางการขับเคลื่อนชุมชนท้องถิ่นให้เข้มแข็งภายใต้ความร่วมมือกับสถาบันวิชาการ. *วารสารการสร้างเสริมสุขภาพไทย.* 4(3), 294–305.

[15] SDG Move. (2023). *Director Notes 27: ว่าด้วย SDG localization*. https://www.sdgmove.com/2023/04/26/director-notes-27-sdg-localization/

[16] มูลนิธิเพื่อการพัฒนานโยบายสุขภาพระหว่างประเทศ (International Health Policy Program Foundation). *รายงานการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศไทย: มุมมองจากเวทีแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างภาคส่วน เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศไทย พ.ศ. 2567*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[17] ขนิษฐา นันทบุตร, พีรพงษ์ บุญสวัสดิ์กุลชัย, จารุณี สรกฤช, รัชตวรรณ ศรีตระกูล, อาริยา สอนบุญ, นิศาชล บุบฝา และคณะ. (2556). *คู่มือการพัฒนาทักษะการวิจัยชุมชน ด้วยการวิจัยเชิงชาติพันธุ์วรรณนา แบบเร่งด่วน (Rapid Ethnographic Community Assessment Process; RECAP).* กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ.

[18] United Nations Global Compact. (2021). Unlocking the Global Pathways to Resilience, Growth, and Sustainability for 2030, The 12th United Nations Global Compact-Accenture CEO Study. https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/accenture-com/document/Accenture-CEO-Study-United-Nations-Global-Compact.pdf

[19] สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.). (2569). *แผนการดำเนินงานประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2569*. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ.

การพัฒนากระบวนการจัดผังยูนิตทันตกรรมในคลินิกกลาง ด้วยระบบออนไลน์ My Clinic

รฐา มัธยเวคิน[1], อนันต์ บุบผาสังข์[2*], และ ชนินธร ศาลยาชีวิน[1]

[1]คลินิกกลาง คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนโยธี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร
[2]หน่วยคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนโยธี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร
** Corresponding author: anan.bup@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

คลินิกกลาง โรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เป็นสถานที่ฝึกปฏิบัติงานทางคลินิกสำหรับนักศึกษาทันตแพทย์ชั้นปีที่ 4–6 โดยมีนักศึกษาเข้ารับการฝึกปฏิบัติงานไม่น้อยกว่า 180 คนต่อวัน ส่งผลให้การบริหารจัดการการจัดผังยูนิตทำฟันมีความซับซ้อน โดยเฉพาะในส่วนของการสลับคาบและการปรับเปลี่ยนตารางปฏิบัติงานระหว่างรายวิชา ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยความถูกต้องและความทันเวลาในการดำเนินงาน

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการจัดผังยูนิตทำฟันในคลินิกกลาง โดยมุ่งลดจำนวนขั้นตอนและระยะเวลาในการดำเนินงาน รวมถึงเพิ่มความพึงพอใจของนักศึกษาทันตแพทย์ต่อการใช้งานระบบ ทั้งนี้ ได้มีการพัฒนาระบบจากรูปแบบเดิมที่ใช้โปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งเป็นระบบตารางคำนวณ ไปสู่ระบบออนไลน์ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันภายใต้ชื่อ “My Clinic” โดยสามารถเข้าถึงได้ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ที่เว็บไซต์ https://dtmyclinic.mahidol.ac.th และรองรับการยืนยันตัวตนผ่านแอปพลิเคชัน LINE ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงระบบได้ทุกที่ทุกเวลา การพัฒนาระบบดังกล่าวยังมุ่งเน้นการสนับสนุนการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืนตามกรอบเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs)

ระบบ My Clinic ได้รับการพัฒนาให้รองรับกระบวนการทำงานหลักของคลินิกอย่างครบถ้วน ได้แก่ ระบบจัดผังยูนิตทำฟัน ระบบเบิกแฟ้มเวชระเบียน ระบบเบิกเครื่องมือทางทันตกรรม ระบบบันทึกการลงปฏิบัติงาน ระบบนัดหมายผู้ป่วย ระบบรายงานผลการปฏิบัติงานและการเปลี่ยนแปลงตารางของนักศึกษา ตลอดจนการจัดทำคู่มือการใช้งานสำหรับเจ้าหน้าที่และนักศึกษา นอกจากนี้ ระบบยังมีการแจ้งเตือนการปฏิบัติงานผ่านแอปพลิเคชัน LINE เพื่อเพิ่มความสะดวกและลดความคลาดเคลื่อนในการสื่อสาร

ผลการศึกษาพบว่า กระบวนการจัดผังยูนิตทำฟันสามารถลดจำนวนขั้นตอนจาก 8 ขั้นตอน เหลือ 6 ขั้นตอน และระยะเวลาในการดำเนินงานลดลงจาก 311 นาที เหลือ 79 นาที แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบอย่างชัดเจน โดยสรุป ระบบ My Clinic สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดผังยูนิตทำฟัน ลดภาระงานของบุคลากร และสนับสนุนการดำเนินงานของคลินิกให้เป็นไปอย่างมีระบบและทันเวลา

คำสำคัญ: คลินิกทันตกรรม / การจัดผังยูนิตทันตกรรม / ระบบสารสนเทศ My Clinic / การปรับปรุงกระบวนการทำงาน

Process development of dental unit management in the main clinic my clinic online platform

Rhatha Matthayawakin[1], Anan Buphasang[2*], and Chaninthorn Salayachivin[1]

[1]*Main Clinic, Faculty of Dentistry, Mahidol University, Yothi Road, Thung Phaya Thai Subdistrict, Ratchathewi District, Bangkok, Thailand*

[2]Computer and Communications Unit, Faculty of Dentistry, Mahidol University, Yothi Road, Thung Phaya Thai Subdistrict, Ratchathewi District, Bangkok, Thailand

* Corresponding author: anan.bup@mahidol.ac.th

Abstract

The Main Clinic at the Dental Hospital, Faculty of Dentistry, Mahidol University provides clinical training for fourth- to sixth-year dental students, with no fewer than 180 students attending clinical practice each day. This high volume of students results in complex management of dental unit scheduling, including session exchanges and rescheduling across clinical courses, which requires a high level of accuracy and timeliness.

This study aimed to improve the efficiency of dental unit scheduling at the Main Clinic by reducing procedural steps and processing time, as well as enhancing dental students' satisfaction with system usage. The scheduling process was transformed from a spreadsheet-based system using Microsoft Excel into a web-based online system, namely "My Clinic." The system is accessible via web browsers at https://dtmyclinic.mahidol.ac.th and supports user authentication through the LINE application, enabling convenient access anytime and anywhere. The system development was conducted with an emphasis on sustainable organizational development in alignment with the Sustainable Development Goals (SDGs), particularly

The My Clinic system was developed to comprehensively support key clinical workflows, including dental unit allocation, medical record requisition, dental instrument requisition, attendance recording, patient appointment scheduling, reporting of clinical practice sessions, and schedule adjustments for dental students. In addition, the system incorporates user manuals for staff and students, as well as automated work notification alerts via the LINE application.

The results demonstrate that the dental unit allocation process was reduced from 8 steps to 6 steps, while the total processing time decreased from 311 minutes to 79 minutes. In conclusion, the My Clinic system significantly improves the efficiency of dental unit scheduling, reduces staff workload, and enhances the effectiveness of clinical service operations in a systematic and timely manner.

Keywords: Dental Clinic / Dental Unit Scheduling / My Clinic Information System / Process Improvement

1. บทนำ

คลินิกกลาง เป็นหนึ่งในหน่วยบริการหลักของโรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ให้บริการตรวจ วินิจฉัย และรักษาทางทันตกรรมแบบครบวงจร ซึ่งจะมีเป็นนักศึกษาทันตแพทย์ก่อนปริญญา (UG) ทั้งหลักสูตรภาคปกติและหลักสูตรนานาชาติลงปฏิบัติงานให้บริการผู้ป่วย ภายใต้การควบคุมและดูแลของอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาวิชา งานที่เปิดให้บริการภายในคลินิกกลางได้แก่ งานรักษาคลองรากฟัน งานขูดหินน้ำลาย งานอุดฟัน งานทันตกรรมประดิษฐ์ งานทันตกรรมทั่วไปขั้นสูง งานวิทยาระบบบดเคี้ยว และนอกจากนี้ยังมีการขอใช้พื้นที่จากภาควิชาต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมและรายวิชาของนักศึกษาทันตแพทย์ก่อนปริญญา [1] ซึ่งภายในคลินิกมียูนิตทันตกรรมทั้งหมดจำนวน 184 ตัวค่อยรองรับนักศึกษาทันตแพทย์ที่ลงปฏิบัติงานให้บริการผู้ป่วยในแต่ละวัน และเจ้าหน้าที่ต้องจัดผังยูนิตทันตกรรม รวมถึงการบริหารจัดการแลกคาบของนักศึกษาทันตแพทย์ในแต่ละรายวิชาให้ทันเวลาที่ผ่านมา การบริหารจัดการข้อมูลดังกล่าวดำเนินการผ่านโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งมีข้อจำกัดด้านการอัปเดตข้อมูลแบบเรียลไทม์ การตรวจสอบย้อนหลัง และความเสี่ยงต่อการบันทึกข้อมูลซ้ำหรือผิดพลาด ปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการให้บริการผู้ป่วย และเพิ่มภาระงานของบุคลากรที่เกี่ยวข้อง

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผู้พัฒนาจึงได้ออกแบบและพัฒนาระบบ DT My Clinic ในรูปแบบ Web Application เพื่อบูรณาการการจัดผังยูนิตทันตกรรม การบริหารตารางปฏิบัติงาน และการจัดเก็บข้อมูลไว้ในระบบเดียว ช่วยลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน เพิ่มความถูกต้องของข้อมูล สามารถตรวจสอบและติดตามสถานะได้อย่างเป็นระบบ ทั้งนี้ ระบบดังกล่าวมุ่งสนับสนุนการบริหารจัดการคลินิกให้มีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับการดำเนินงานในยุคดิจิทัล และรองรับการขยายตัวของภารกิจด้านการบริการและการเรียนการสอน ระบบนี้ไม่เพียงช่วยลดขั้นตอนและระยะเวลาในการจัดตารางเท่านั้น แต่ยังสร้างความต่อเนื่องของข้อมูลทั้งด้านการนัดหมาย การใช้งานยูนิต และการบริหารจัดการทรัพยากรในคลินิกให้มีความเป็นระบบและสามารถตอบสนองต่อการให้บริการทั้งด้านการรักษาและการศึกษาของนักศึกษาทันตแพทย์อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาระบบ DT My Clinic สำหรับบริหารจัดการการจัดผังยูนิตทันตกรรมและตารางปฏิบัติงานของคลินิกกลาง คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ให้มีความเป็นระบบและทันสมัย
2. เพื่อการใช้งานยูนิต การให้บริการ และการประสานงานภายในคลินิกให้อยู่ในแพลตฟอร์มเดียว ลดความซ้ำซ้อนและความคลาดเคลื่อนของข้อมูล
3. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารงานภายในคลินิกฯ สามารถดำเนินงานได้อย่างถูกต้อง และสอดคล้องกับการพัฒนาองค์กรในยุคดิจิทัล

3. ขอบเขตของการศึกษา

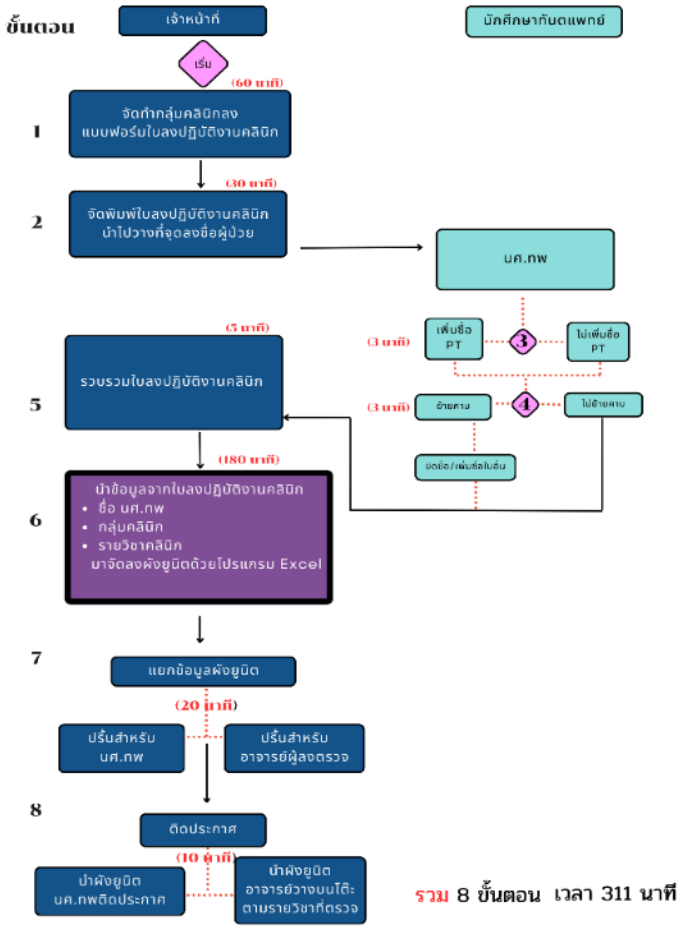
1. ศึกษากระบวนการบริหารจัดการงานภายในคลินิกกลาง คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยมุ่งเน้นการจัดผังยูนิตทันตกรรมและตารางปฏิบัติงาน
2. ครอบคลุมการดำเนินงานของอาจารย์ นักศึกษาทันตแพทย์ระดับก่อนปริญญา (UG) และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง
3. มุ่งเน้นการปรับกระบวนการทำงานสู่รูปแบบ Digital Workflow เพื่อลดขั้นตอนซ้ำซ้อนและลดการใช้เอกสาร

4. วิธีการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา โดยการพัฒนาระบบสารสนเทศใช้แนวคิดวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle : SDLC) ซึ่งมี 6 ขั้นตอน และ มีการใช้กรอบแนวคิดทางทฤษฎี ประกอบไปด้วย

4.1 การกำหนดความต้องการ (Requirement Definition)

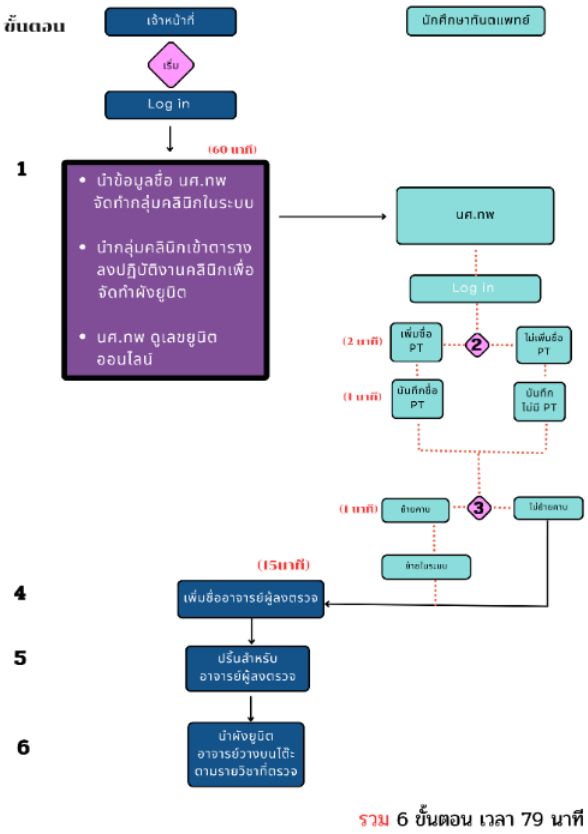
เริ่มต้น จากการรวบรวมความต้องการและศึกษากระบวนการบริหารการทำงานของคลินิกกลางจากระบบเดิมที่ดำเนินการผ่านโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งพบข้อจำกัดด้านการอัปเดตข้อมูลแบบเรียลไทม์ อาจเกิดความเสี่ยงต่อการบันทึกข้อมูลซ้ำหรือผิดพลาดในการทำงาน และเพิ่มภาระงานของบุคลากรซึ่งอาจใช้เวลานาน จึงมีความต้องการพัฒนาระบบที่สามารถรวมศูนย์ข้อมูลด้านการจัดผังยูนิต การบริหารตารางปฏิบัติงาน และลดความซ้ำซ้อนของกระบวนการทำงานแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดง Workflow การทำงานในรูปแบบเดิมโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel สำหรับการจัดการข้อมูลภายในระบบ

4.2 การวิเคราะห์ระบบ (System Analysis)

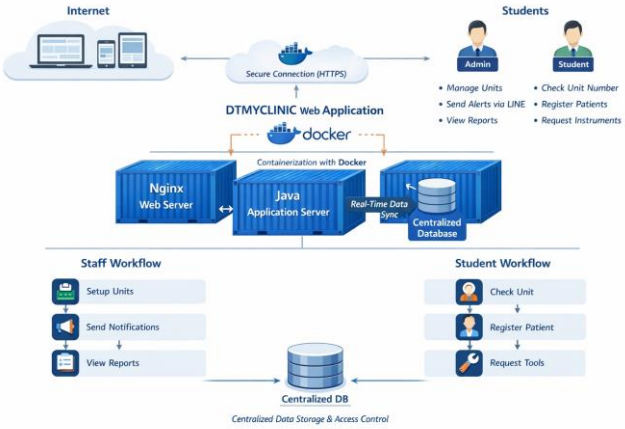
วิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งานภายในคลินิก เพื่อออกแบบกระบวนการทำงานใหม่ (Digital Workflow) โดยระบบใหม่จำเป็นต้องครอบคลุมฟังก์ชันหลัก ได้แก่ ระบบจัดผังยูนิตทำฟันออนไลน์ ระบบเบิกแฟ้มเวชระเบียน ระบบเบิกเครื่องมือทางทันตกรรม ระบบรายงานลงปฏิบัติงานและการย้ายคาบของนักศึกษา และมีระบบแจ้งเตือนการปฏิบัติงานผ่านแอปพลิเคชัน LINE แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ DTMyClinic ในรูปแบบออนไลน์

4.3 การออกแบบระบบ (System Design)

ออกแบบระบบ DTMyClinic ในรูปแบบ Web Application ให้สามารถทำงานแบบ Real-Time ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตอย่างปลอดภัย มีการออกแบบสถาปัตยกรรมระบบในรูปแบบ Containerization โดยใช้ Docker [2] พร้อมทั้งออกแบบ Workflow การใช้งานระบบที่แยกสิทธิ์ชัดเจนระหว่าง บทบาทเจ้าหน้าที่ (จัดผังยูนิต แจ้งเตือนผ่าน LINE) และ บทบาทนักศึกษา (ดูเลขยูนิต ลงชื่อผู้ป่วย เบิกเครื่องมือ) โดยเชื่อมต่อบันทึกข้อมูลสู่ฐานข้อมูลกลาง (Centralized DB) แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างการออกแบบระบบ DTMyClinic

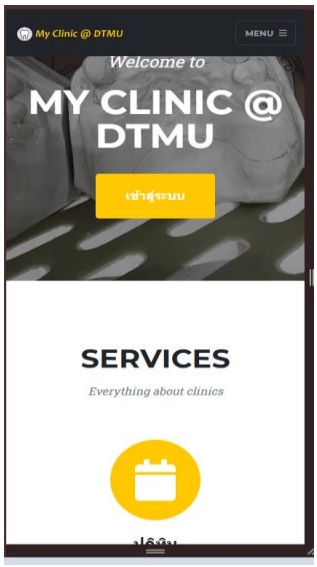
4.4 การพัฒนาระบบ (System Development)

โครงสร้างระบบถูกพัฒนาด้วยภาษา Java สำหรับการประมวลผลฝั่งเซิร์ฟเวอร์เพื่อให้รองรับการทำงานที่มีความเสถียร ในส่วนของ Web Server ใช้ Nginx [3] ทำหน้าที่เป็น Reverse Proxy ช่วยเสริมความปลอดภัยและเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4

ระบบพัฒนาให้รองรับการแสดงผลแบบ Responsive เพื่อสามารถใช้งานได้ทั้งคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และโทรศัพท์มือถือผ่าน Web Browsers หลักแสดงดังรูปที่ 5

```
CONTAINER ID   NAME                CPU %     MEM USAGE / LIMIT     MEM %     NET I/O           BLOCK I/O         PIDS
e233c5d1a014   mc-site-v2          0.29%     253.3MiB / 23.47GiB   1.05%     3.43GB / 3.09GB   166MB / 0B        12
a9fb76270174   nginx_proxy_manager 0.05%     140.2MiB / 23.47GiB   0.58%     2.95GB / 3.35GB   155MB / 2.5MB     22
d19b13cbed51   mc-db-v2            0.20%     783MiB / 23.47GiB     3.26%     945MB / 2GB       1.11GB / 5.15GB   46
```

รูปที่ 4 แสดงการทำงานของเว็บไซต์บน Docker ที่ติดตั้งอยู่ภายในเครื่อง Server



รูปที่ 5 แสดงหน้าต่างการทำงานของเว็บไซต์บน Smartphone

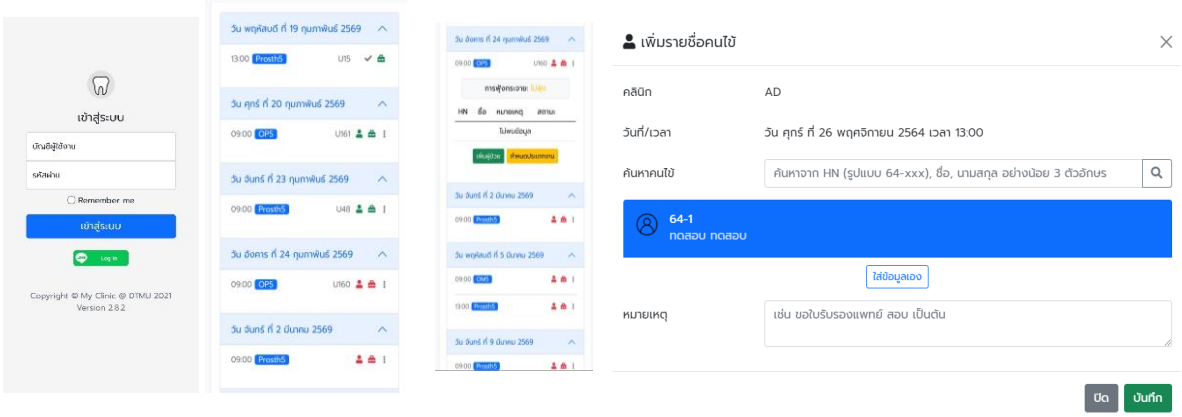
4.5 การทดสอบระบบ (System Testing)

ดำเนินการทดสอบระบบอย่างเป็นขั้นตอนก่อนอัปเดตเวอร์ชันใหม่ เพื่อให้แน่ใจว่าระบบตอบสนองได้ตรงตามความต้องการ โดยเปิดให้ผู้ใช้งานทดสอบฟังก์ชันต่างๆ เช่น การเข้าสู่ระบบ การจัดการแผนผังยูนิตผ่านระบบปฏิทิน การทดสอบระบบการลงชื่อผู้ป่วย (โดยนักศึกษาค้นหาและบันทึกผู้ป่วย) และการเบิกเครื่องมือทันตกรรมผ่านระบบ

ทดสอบระบบการลงชื่อผู้ป่วยผู้ใช้งานนักศึกษาทันตแพทย์

1. เข้าล็อกอินระบบคลิกไปที่เมนู “ปฏิทินคลินิก”
2. คลิกเมนูไอคอนรูปคนสีเขียว
3. คลิกเพิ่ม เพิ่มผู้ป่วย รายชื่อผู้ป่วย
4. ใส่คำค้นหาในช่อง “ค้นหาคนไข้” แล้วคลิกปุ่มค้นหา คลิกที่รายชื่อคนไข้ กดบันทึก

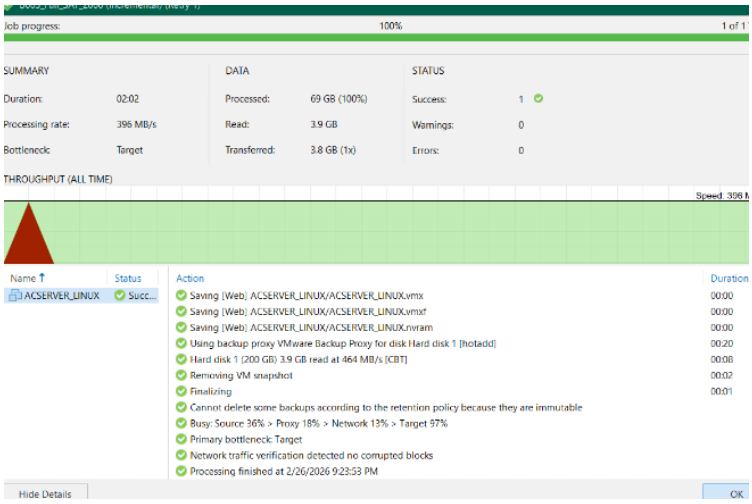
ซึ่งกระบวนการทดสอบระบบการลงชื่อผู้ป่วยสำหรับนักศึกษาทันตแพทย์แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงกระบวนการทดสอบระบบการลงชื่อผู้ป่วยสำหรับนักศึกษาทันตแพทย์

4.6 การบำรุงรักษา (System Maintenance)

มีการดูแลสภาพแวดล้อมด้วย Docker เพื่อบริหารจัดการระบบให้เป็นมาตรฐาน มีการสำรองข้อมูล (Backup) [4] อย่างสม่ำเสมอ แสดงดังรูปที่ 7 และเปิดรับข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งานเพื่อนำมาปรับปรุงฟังก์ชันเพิ่มเติมอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ระบบมีความเสถียร ปลอดภัย และตอบสนองต่อการใช้งานในคลินิกได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 7 แสดงการสำรองข้อมูลเซิร์ฟเวอร์ DTMyClinic

4.7 กรอบแนวคิดทางทฤษฎี (Theoretical Framework)

การพัฒนาระบบ DTMYCLINIC ซึ่งเป็นระบบสารสนเทศสำหรับการบริหารจัดการข้อมูลในคลินิกทันตกรรม จำเป็นต้องอาศัยกรอบแนวคิดทางทฤษฎีเพื่อสนับสนุนการออกแบบ การพัฒนา และการประเมินผลระบบให้มีความน่าเชื่อถือและเป็นไปตามหลักวิชาการ โดยกรอบแนวคิดที่นำมาใช้ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่

4.7.1 แนวคิดด้านสารสนเทศสุขภาพ (Health Informatics)

ระบบ DTMYCLINIC ถูกพัฒนาภายใต้แนวคิดของสารสนเทศสุขภาพ ซึ่งมุ่งเน้นการจัดการข้อมูลผู้ป่วยอย่างเป็นระบบครอบคลุมตั้งแต่การบันทึกข้อมูล การจัดเก็บ การประมวลผล และการเรียกใช้งานข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงความ

ถูกต้อง (Accuracy) ความครบถ้วน (Completeness) และความทันเวลา (Timeliness) ของข้อมูล เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจทางการแพทย์และการให้บริการแก่ผู้ป่วย

4.7.2 แนวคิดการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบ Agile Development

ในการพัฒนาระบบ DTMYCLINIC ได้นำแนวคิด Agile Software Development มาใช้ เพื่อให้สามารถพัฒนาระบบได้อย่างยืดหยุ่นและตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างรวดเร็ว โดยเน้นการพัฒนาแบบเป็นรอบ (Iterative Development) และมีการรับข้อเสนอแนะ (Feedback) จากผู้ใช้งานจริง เพื่อนำมาปรับปรุงระบบอย่างต่อเนื่อง

4.7.3 แบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model: TAM)

การประเมินการยอมรับของผู้ใช้งานต่อระบบ DTMYCLINIC ใช้แบบจำลอง TAM ซึ่งอธิบายว่าการที่ผู้ใช้งานจะยอมรับและใช้งานระบบนั้นขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่

- การรับรู้ถึงประโยชน์ของระบบ (Perceived Usefulness)
- การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน (Perceived Ease of Use)

ปัจจัยทั้งสองมีผลต่อ ทัศนคติ (Attitude) และพฤติกรรมการใช้งาน (Usage Behavior) ของผู้ใช้งานในระบบ

4.7.4 แบบจำลองความสำเร็จของระบบสารสนเทศ (Information System Success Model)

การประเมินประสิทธิภาพและความสำเร็จของระบบ ใช้แบบจำลอง DeLone and McLean ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่

- คุณภาพของระบบ (System Quality)
- คุณภาพของข้อมูล (Information Quality)
- คุณภาพของการให้บริการ (Service Quality)
- ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน (User Satisfaction)
- ประโยชน์สุทธิที่ได้รับ (Net Benefits)

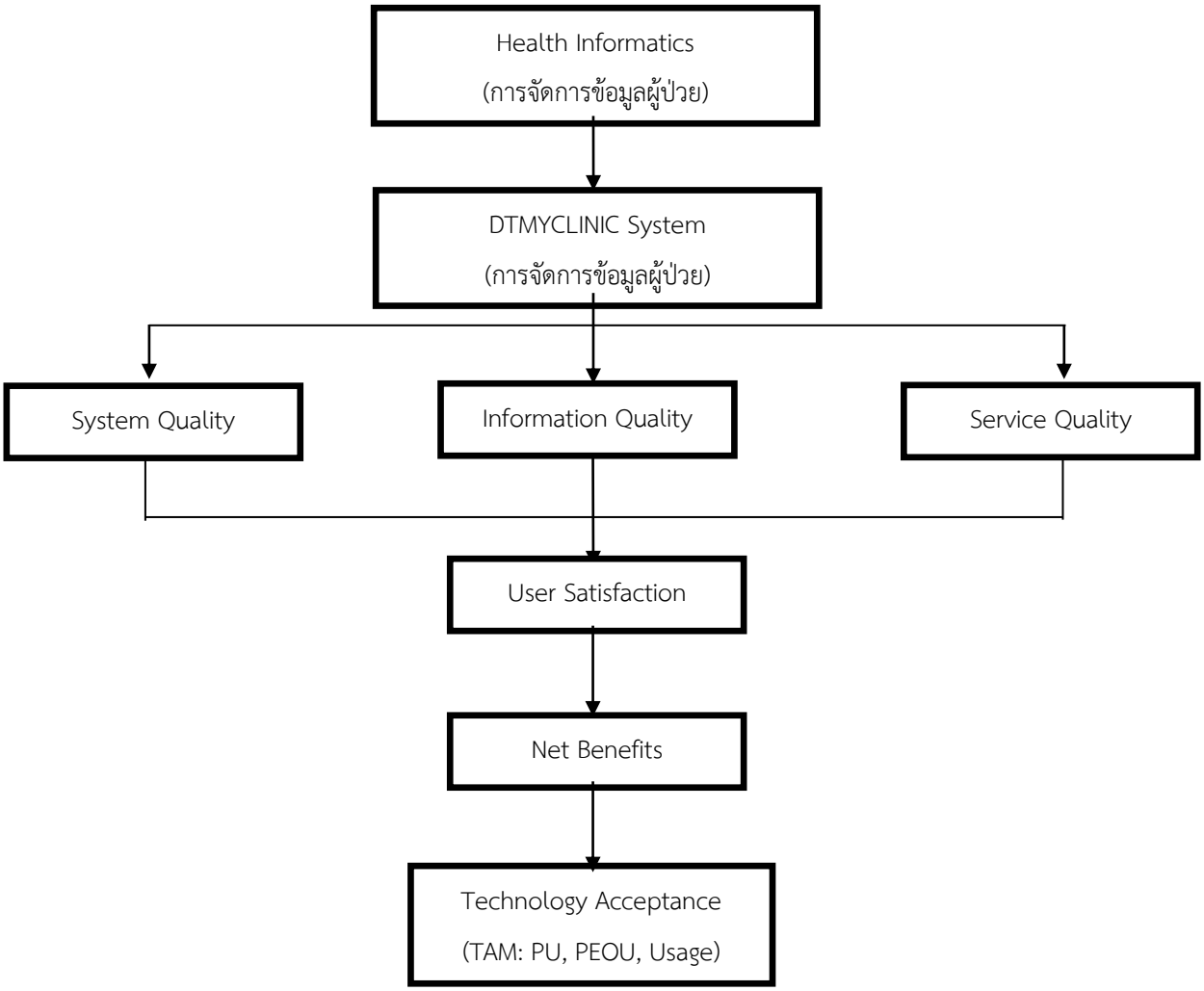
4.7.5 แนวคิดด้านความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูล (Data Security and Privacy)

เนื่องจากระบบ DTMYCLINIC มีการจัดเก็บข้อมูลผู้ป่วย ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความอ่อนไหว จึงมีการออกแบบระบบโดยคำนึงถึงหลักการด้านความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูล ได้แก่

- ความลับ (Confidentiality)
- ความถูกต้องครบถ้วน (Integrity)
- ความพร้อมใช้งาน (Availability)

เพื่อป้องกันการเข้าถึงข้อมูลโดยไม่ได้รับอนุญาต และรักษาความปลอดภัยของข้อมูลผู้ป่วย Privacy)

4.7.6 แผนภาพกรอบแนวคิด (Theoretical Framework Diagram) แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงโครงสร้างกรอบแนวคิดทางทฤษฎีของระบบ DTMyClinic

4.8 การเชื่อมโยงข้อมูลกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs)

การพัฒนาระบบ DTMYCLINIC ซึ่งเป็นระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการคลินิกทันตกรรม ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานภายในองค์กรเท่านั้น แต่ยังมีความสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ของ United Nations [5] โดยสามารถอธิบายความเชื่อมโยงได้อย่างเป็นรูปธรรม ดังนี้

4.8.1 SDG 3: Good Health and Well-being

ระบบ DTMYCLINIC สนับสนุนการพัฒนาคุณภาพการให้บริการภายในคลินิกฯ โดยช่วยให้การจัดการข้อมูลผู้ป่วยเป็นไปอย่างถูกต้อง รวดเร็ว และลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล ส่งผลให้บุคลากรสามารถเข้าถึงข้อมูลเพื่อใช้ในการวินิจฉัยและรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพแสดงดังรูปที่ 9

นอกจากนี้ ระบบยังช่วยลดความผิดพลาดจากการใช้ข้อมูลแบบเอกสาร (Paper-based) และสนับสนุนการติดตามการรักษา (Follow-up) อย่างเป็นระบบ ซึ่งมีส่วนช่วยยกระดับมาตรฐานการให้บริการสุขภาพและความปลอดภัยของผู้ป่วย

เพิ่มคุณภาพบริการ ⟶ ลดความผิดพลาด ⟶ เพิ่มความปลอดภัยผู้ป่วย

รูปที่ 9 แสดงความเชื่อมโยงของข้อมูลกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน SDG 3

4.8.2 SDG 9: Industry, Innovation and Infrastructure

ระบบ DTMYCLINIC เป็นการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านดิจิทัลในองค์กรภายในคลินิกกลาง โดยเปลี่ยนกระบวนการทำงานจากระบบ Excel ไปสู่ Web Application ที่สามารถทำงานแบบ Real-Time และรองรับการใช้งานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแสดงดังรูปที่ 10

การใช้เทคโนโลยี เช่น Docker และ Web Server (Nginx) ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น ความเสถียร และความสามารถในการขยายระบบในอนาคต ซึ่งถือเป็นการนำเทคโนโลยีมาสร้างนวัตกรรมในระบบบริการสุขภาพ

Digital Transformation ⟶ เพิ่มประสิทธิภาพระบบ ⟶ รองรับการขยายในอนาคต

รูปที่ 10 แสดงความเชื่อมโยงของข้อมูลกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน SDG 9

4.8.3 SDG 4: Quality Education

ในบริบทของคณะทันตแพทยศาสตร์ ระบบ DTMYCLINIC ถูกใช้เป็นเครื่องมือในการฝึกปฏิบัติงานของนักศึกษาทันตแพทย์ โดยนักศึกษาสามารถเรียนรู้การใช้งานระบบสารสนเทศทางการแพทย์จริง เช่น การลงชื่อ ผู้ป่วย การจัดตารางปฏิบัติงาน และการบริหารจัดการเครื่องมือ ส่งผลให้นักศึกษาได้พัฒนาทักษะด้านดิจิทัล (Digital Literacy) และเข้าใจ Workflow ของระบบบริการสุขภาพจริงแสดงดังรูปที่ 11

เรียนรู้จากระบบจริง ⟶ เพิ่มทักษะดิจิทัล ⟶ เตรียมพร้อมวิชาชีพ

รูปที่ 11 แสดงความเชื่อมโยงของข้อมูลกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน SDG 4

4.8.4 SDG 16: Peace, Justice and Strong Institutions

ระบบ DTMYCLINIC สนับสนุนการบริหารจัดการองค์กรที่มีความโปร่งใสและตรวจสอบได้ โดยมีการกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูล (Access Control) และสามารถตรวจสอบการใช้งานย้อนหลัง (Audit Trailc) และการออกแบบระบบตามหลักความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูล (Confidentiality, Integrity, Availability) ยังช่วยสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้ใช้งาน และลดความเสี่ยงจากการรั่วไหลของข้อมูลผู้ป่วย3 แสดงดังรูปที่ 12

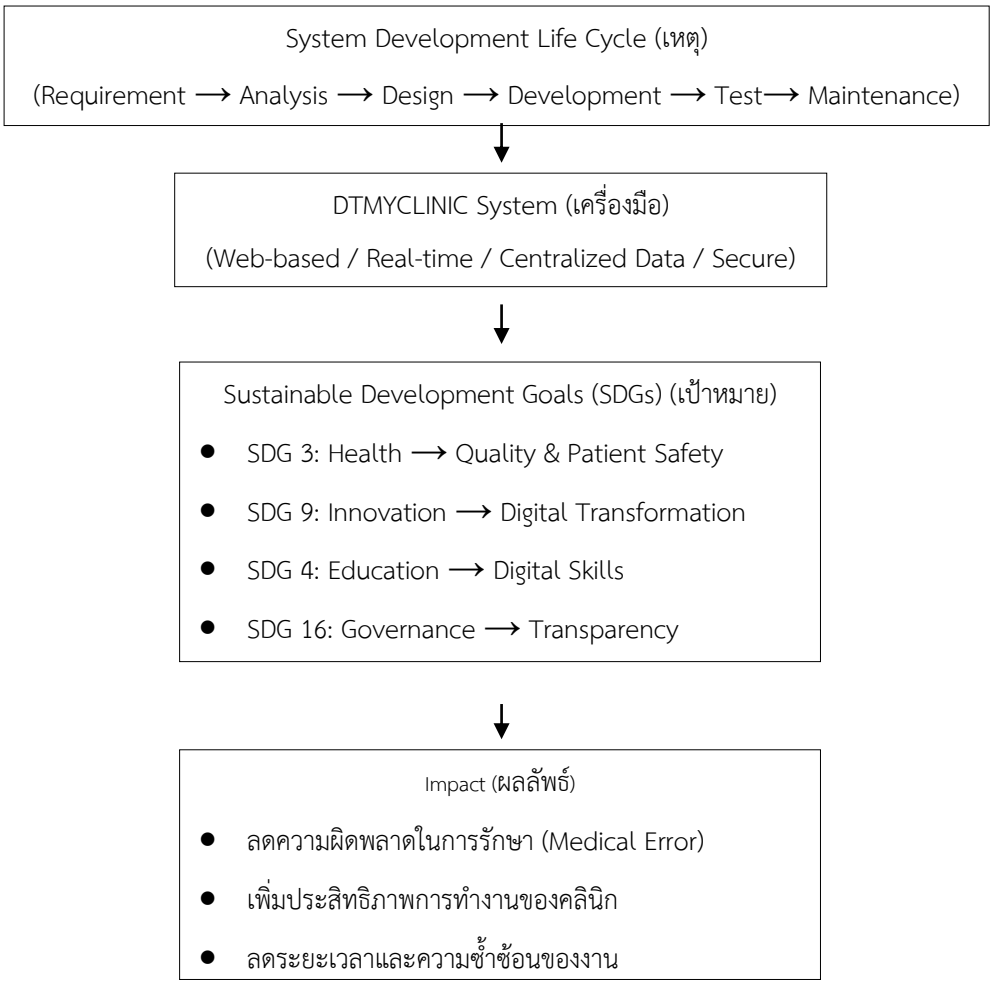
ระบบโปร่งใส ⟶ ตรวจสอบได้ ⟶ สร้างความเชื่อมั่นองค์กร

รูปที่ 12 แสดงความเชื่อมโยงของข้อมูลกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน SDG 16

4.8.5 สรุปภาพรวมความเชื่อมโยง SDGs กับระบบ DTMYCLINIC

จากการวิเคราะห์พบว่า ระบบ DTMYCLINIC มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในหลายมิติ โดยเฉพาะด้านสุขภาพ (SDG 3) นวัตกรรมและโครงสร้างพื้นฐาน (SDG 9) การศึกษา (SDG 4) และธรรมาภิบาล (SDG 16)

ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการพัฒนาระบบสารสนเทศในองค์กรด้านสุขภาพ ไม่เพียงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน แต่ยังมีส่วนสำคัญในการพัฒนาสังคมอย่างยั่งยืนในระยะยาวแสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงความเชื่อมโยงของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) กับระบบ DTMyClinic

4.9 ประเมินผลและวิเคราะห์ข้อมูลความพึงพอใจของนักศึกษาทันตแพทย์ที่มีต่อการใช้ระบบ

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากการประเมินความพึงพอใจต่อระบบออนไลน์ My Clinic ของผู้ใช้งาน โดยนำข้อมูลที่รวบรวมจากแบบสอบถามมาวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ประกอบด้วย ความถี่ (Frequency) ร้อยละ (Percentage) และค่าเฉลี่ย (Mean)การวัดระดับความพึงพอใจใช้มาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) แบบ 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด โดยกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนในรูปแบบมาตราส่วนตัวเลข (Numerical Rating Scale) ดังนี้ 5 = มากที่สุด, 4 = มาก, 3 = ปานกลาง, 2 = น้อย และ 1 = น้อยที่สุด ทั้งนี้ ในกรณีที่ผู้ตอบแบบสอบถามให้คะแนนต่ำกว่า 2 จะต้องระบุเหตุผลหรือคำอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับความไม่พึงพอใจ

ผลการศึกษาความพึงพอใจหลังการใช้งานระบบจากผู้ใช้งานทั้งหมด แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
2. ความพึงพอใจในการใช้ระบบออนไลน์ My Clinic

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างประกอบด้วย เพศ และชั้นปีการศึกษา โดยผลการวิเคราะห์ด้านเพศ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 56 คน คิดเป็นร้อยละ 55.4 รองลงมาคือเพศชาย จำนวน 33 คน คิดเป็นร้อยละ 32.7 และเพศอื่น ๆ จำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 11.9 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามเพศ

ลำดับ	เพศ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1	ชาย	33	32.7
2	หญิง	56	55.4
3	อื่นๆ	12	11.9

ผลการวิเคราะห์ ผู้ตอบแบบสอบถามชั้นปีการศึกษา ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาทันตแพทย์ชั้นปีที่ 6 จำนวน 40 คน คิดเป็นร้อยละ 39.6 รองลงมาคือชั้นปีที่ 4 จำนวน 34 คน คิดเป็นร้อยละ 33.7 และชั้นปีที่ 5 จำนวน 27 คน คิดเป็นร้อยละ 26.7 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามชั้นปีการศึกษา

ลำดับ	ชั้นปีการศึกษา	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1	ชั้นปีที่ 4	34	33.7
2	ชั้นปีที่ 5	27	26.7
3	ชั้นปีที่ 6	40	39.6
รวม		101	100.0

ส่วนที่ 2 ความพึงพอใจในการใช้ระบบออนไลน์ My Clinic

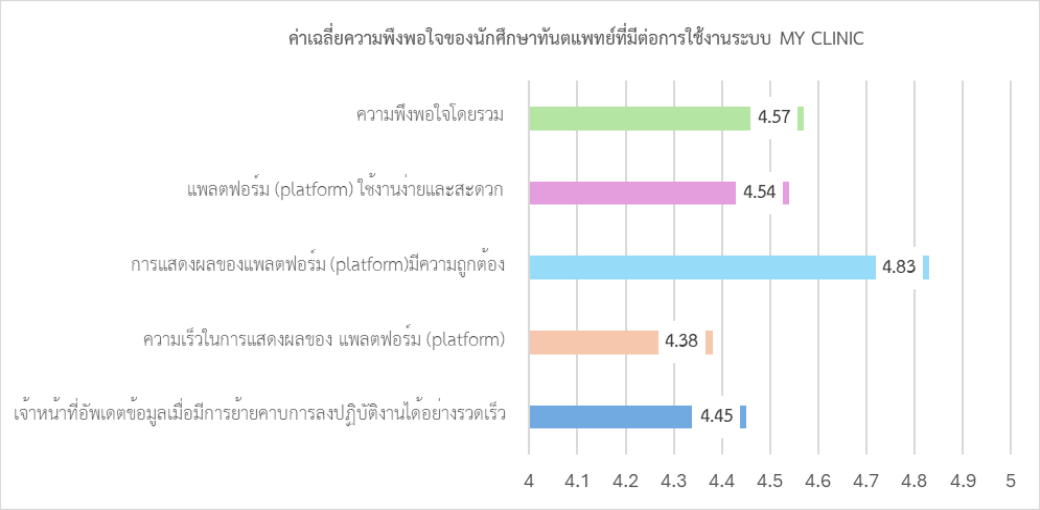
การวิเคราะห์ความพึงพอใจในการใช้ระบบออนไลน์ My Clinic ในการศึกษาครั้งนี้ อ้างอิงจากกลุ่มตัวอย่างผู้ตอบแบบสอบถามจำนวนทั้งสิ้น 101 คน โดยประเมินใน 5 ด้านหลักตามตัวชี้วัดที่กำหนด และนำเสนอผลในรูปแบบค่าเฉลี่ย (Mean) ของระดับความพึงพอใจ ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 14 พบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบออนไลน์ My Clinic อยู่ในระดับสูงทุกด้าน โดยมีรายละเอียดดังนี้ความพึงพอใจโดยรวม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.57 อยู่ในระดับมากที่สุด

- ด้านแพลตฟอร์มการใช้งานที่มีความสะดวก สามารถเข้าถึงและใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.57 อยู่ในระดับมากที่สุด ด้านความถูกต้องและความครบถ้วนของข้อมูลเลขยูนิตที่แสดงผล มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 4.83 อยู่ในระดับมากที่สุด
- ด้านความรวดเร็วในการแสดงผลของระบบ และความน่าเชื่อถือของข้อมูล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.38 อยู่ในระดับมาก
- ด้านการให้บริการของเจ้าหน้าที่ในการอัปเดตข้อมูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงคาบปฏิบัติงาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.45 อยู่ในระดับมาก

เมื่อพิจารณาเชิงเปรียบเทียบ พบว่า ด้านความถูกต้องและความครบถ้วนของข้อมูลมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ขณะที่ด้านความรวดเร็วในการแสดงผลของระบบมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด แม้ว่ายังคงอยู่ในระดับมาก ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึง

ประเด็นที่ควรได้รับการพัฒนาเพิ่มเติม โดยเฉพาะในด้านประสิทธิภาพของระบบ เพื่อยกระดับคุณภาพการให้บริการและเพิ่มประสบการณ์การใช้งานของผู้ใช้ในอนาคต

โดยภาพรวม ความพึงพอใจในการใช้ระบบออนไลน์ My Clinic มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.60 จากคะแนนเต็ม 5 ซึ่งอยู่ในระดับ “มากที่สุด” แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบออนไลน์ My Clinic ในภาพรวม

4.10 การวิเคราะห์เชิงสถิติ (Statistical Analysis)

เพื่อยืนยันผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบออนไลน์ My Clinic ในเชิงสถิติ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติมโดยใช้สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) โดยเลือกใช้การทดสอบแบบ One-Sample t-test เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจกับค่ามาตรฐาน (Test Value) ที่ระดับ 3.00 ซึ่งเป็นค่ากลางของระดับความพึงพอใจ

ในการทดสอบสมมติฐาน กำหนดให้

H_0: ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ≤ 3.00

H_1: ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผู้ใช้งาน > 3.00

ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวมของผู้ใช้งานระบบออนไลน์ My Clinic เท่ากับ 4.60 (SD = 0.68, n = 101) ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p < .001$) ดังนั้น จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และยอมรับสมมติฐานทางเลือก (H_1) ได้ กล่าวคือ ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบออนไลน์ My Clinic ในระดับที่สูงกว่าระดับปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า ระบบออนผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า ระบบออนไลน์ My Clinic มีประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานอย่างแท้จริง และผลลัพธ์ที่ได้ไม่ได้เกิดจากความบังเอิญ แต่มีความน่าเชื่อถือในเชิงสถิติ

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ One-Sample t-test ของความพึงพอใจโดยรวมของผู้ใช้งาน

ตัวแปร	N	Mean	SD	Test Value	t	Df	p-value
ความพึงพอใจโดยรวม	101	4.60	0.68	3.00	23.85	100	<.001

จากตารางที่ 3 ผลการทดสอบ One-Sample t-test พบว่า ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวมของผู้ใช้งานระบบออนไลน์ My Clinic (M = 4.60, SD = 0.68) สูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ (3.00) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t(100) = 23.85, p < .001)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การพัฒนาและนำระบบออนไลน์ My Clinic มาใช้แทนกระบวนการจัดผังยูนิตทำฟันด้วยโปรแกรม Microsoft Excel เดิม นับเป็นการปรับปรุงกระบวนการทำงานเชิงระบบ (Systematic Process Improvement) [6] ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของคลินิกอย่างชัดเจน โดยสามารถลดจำนวนขั้นตอนการทำงานจาก 8 ขั้นตอน เหลือ 6 ขั้นตอน (ลดลงร้อยละ 25) และลดระยะเวลาในการจัดยูนิตทำฟันจาก 311 นาที เหลือ 79 นาที (ลดลงร้อยละ 74.6) สะท้อนถึงการเพิ่มประสิทธิภาพและลดความซ้ำซ้อนของกระบวนการทำงาน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด Business Process Improvement ที่เน้นการลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อเพิ่มประสิทธิผลขององค์กร

ระบบ My Clinic ยังสนับสนุนการทำงานแบบบูรณาการผ่านการรวมศูนย์ข้อมูล (Centralized System) ครอบคลุมกระบวนการหลักของคลินิก ได้แก่ การจัดผังยูนิต การจัดการเวชระเบียน การเบิกอุปกรณ์ การรายงานผล และการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE ซึ่งช่วยลดการทำงานแบบแยกส่วน (Silo Operation) และเพิ่มความถูกต้องสอดคล้องของข้อมูล ทั้งนี้ ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับ Information System Success Model ที่ชี้ให้เห็นว่าคุณภาพของระบบและข้อมูลมีผลต่อประสิทธิผลของการใช้งานระบบสารสนเทศ[7]

นอกจากนี้ ระบบยังสนับสนุนการเข้าถึงข้อมูลแบบ Real-time และลดความผิดพลาดจากการสื่อสารรูปแบบเดิม ส่งผลให้การดำเนินงานมีความรวดเร็วและแม่นยำมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับแนวคิด Digital Transformation ที่มุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อเพิ่มความคล่องตัวขององค์กร[8] ขณะเดียวกัน การจัดทำคู่มือการใช้งานยังช่วยลดความคลาดเคลื่อนและส่งเสริมการถ่ายทอดองค์ความรู้ภายในองค์กร ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสำเร็จของระบบในระยะยาว

โดยสรุป การพัฒนาระบบ My Clinic ไม่เพียงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานของคลินิกทันตกรรม แต่ยังยกระดับกระบวนการทำงานสู่ระบบดิจิทัลอย่างเป็นระบบ ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการพัฒนาระบบสารสนเทศในองค์กรด้านสุขภาพในปัจจุบัน

จากผลการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาระบบ My Clinic ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานของคลินิกทันตกรรมเท่านั้น แต่ยังสามารถยกระดับรูปแบบการทำงานสู่ระบบดิจิทัลอย่างเป็นระบบ ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มการพัฒนาระบบสารสนเทศในองค์กรด้านสุขภาพในปัจจุบัน

6. สรุปผลการศึกษา

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพก่อนและหลังการนำระบบ My Clinic มาใช้

ตัวชี้วัด	ก่อนพัฒนา (Before)	หลังพัฒนา (After)	ผลต่าง (Diff)	การเปลี่ยนแปลง (ร้อยหละ)
จำนวนขั้นตอนการทำงาน	8 ขั้นตอน	6 ขั้นตอน	ลดลง 2 ขั้นตอน	ลดลง 25%
ระยะเวลาการจัดยูนิตทำฟัน	311 นาที	79 นาที	ลดลง 232 นาที	ลดลง 74.6%
รูปแบบการจัดผัง	Spreadsheet แยกไฟล์	ระบบออนไลน์รวมศูนย์	ลดความซ้ำซ้อน	เพิ่มประสิทธิภาพ
การเบิกเวชระเบียน	ดำเนินการแยกส่วนงาน	ดำเนินการผ่านระบบเดียว	รวมศูนย์ข้อมูล	ลดความผิดพลาด
การเบิกเครื่องมือทันตกรรม	ใช้เอกสาร/ไฟล์แยก	บันทึกผ่านระบบออนไลน์	ลดการใช้เอกสาร	ตรวจสอบย้อนหลังได้
การแจ้งเตือนนักศึกษา	แจ้งด้วยวาจา/เอกสาร	แจ้งเตือนผ่าน LINE	เพิ่มความรวดเร็ว	ลดการพลาดการลงปฏิบัติงาน

จากตารางที่ 4 แสดงตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพก่อนและหลังการนำระบบ My Clinic มาใช้ พบว่า การนำระบบ My Clinic มาใช้สามารถลดขั้นตอนการทำงานและระยะเวลาในการดำเนินงานได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะระยะเวลาในการจัดยูนิตทำฟันที่ลดลงถึงร้อยละ 74.6 ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพของระบบในการปรับปรุงกระบวนการทำงาน ลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลภายในคลินิก และเป็นการปรับเปลี่ยนการบริหารจัดการภายในคลินิกกลางจากการใช้เอกสารและโปรแกรมตารางคำนวณ (Excel) สู่ระบบสารสนเทศแบบบูรณาการบนแพลตฟอร์มดิจิทัลระบบรวบรวมภารกิจหลักไว้ในฐานข้อมูลกลาง ได้แก่ การจัดผังยูนิตทำฟัน การเบิกเวชระเบียน การเบิกเครื่องมือ และการรายงานการลงปฏิบัติงานของนักศึกษาพร้อมทั้งมีระบบแจ้งเตือนผ่าน LINE เพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการสื่อสารและลดข้อผิดพลาดผลการดำเนินงานทั้งยังสามารถลดขั้นตอนการทำงานจาก 8 เหลือ 6 ขั้นตอน คิดเป็นร้อยละ 25และลดระยะเวลาการจัดยูนิตทำฟันจาก 311 นาที เหลือ 79 นาที คิดเป็นร้อยละ 74.6ระบบช่วยเพิ่มความถูกต้องของข้อมูล ความโปร่งใส และความสามารถในการตรวจสอบย้อนหลัง สะท้อนถึงการยกระดับกระบวนการทำงานเชิงระบบที่มีประสิทธิภาพ คุ้มค่า และสนับสนุนการบริหารจัดการองค์กรอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] Mahidol University Faculty of Dentistry (2026). https://dt.mahidol.ac.th/hospital-mudent/guidelines-for-receiving-services-main-clinic/

[2] Docker, Inc. (2024). Docker documentation. https://docs.docker.com

[3] Nginx, Inc. (2024). NGINX documentation. https://nginx.org/en/docs/

[4] International Organization for Standardization. (2022). *ISO/IEC 27002:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection — Information security controls.* Geneva: ISO.

[5] United Nations องค์การสหประชาชาติ (United Nations: UN)

[6] W. Edwards Deming. (1986). *Out of the Crisis.* Cambridge, MA: MIT Press.

[7] W. H. DeLone and E. R. McLean, “The DeLone and McLean model of information systems success: A ten-year update,” *Journal of Management Information Systems*, vol. 19, no. 4, pp. 9–30, 2003.

[8] A. I. Stoumpos, F. Kitsios, and M. A. Talias, “Digital transformation in healthcare: Technology acceptance and its applications,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 20, no. 4, p. 3407, 2023.

การสำรวจและประเมินความเสี่ยงด้านอัคคีภัยจากการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักสำนักงาน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

นิตย์ทยา ทีฆาวงค์[1], ณัชลิดา แสนปราโมทย์[2], และ นพเมศฐ์ รังสีเตชาวัฒน์[1*]

[1]หน่วยสิ่งแวดล้อมและอนุรักษ์พลังงาน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
[2]งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
**Corresponding author: noppamate.rag@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจสภาพปัญหา ประเมินระดับความเสี่ยง และกำหนดแนวทางการป้องกันเหตุอัคคีภัย รวมถึงส่งเสริมความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า ของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยดำเนินการสำรวจระหว่างวันที่ 17–21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2568 ครอบคลุมพื้นที่ห้องพักสำนักงานใน 4 อาคาร ได้แก่ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา อาคารปฏิบัติการและวิจัย อาคารพรีคลินิก และอาคารศูนย์การเรียนรู้และนันทนาการ การประเมินเครื่องใช้ไฟฟ้าถูกจัดระดับความเสี่ยงออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ความเสี่ยงต่ำ (สีเขียว) ปานกลาง (สีเหลือง) สูง (สีส้ม) และสูงมาก (สีแดง)

ผลการศึกษาพบว่า เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 1,066 รายการ ส่วนใหญ่อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ จำนวน 1,041 รายการ คิดเป็นร้อยละ 97.65 รองลงมาคือระดับความเสี่ยงสูงมาก จำนวน 17 รายการ คิดเป็นร้อยละ 1.60 และระดับความเสี่ยงปานกลาง จำนวน 8 รายการ คิดเป็นร้อยละ 0.75 โดยไม่พบเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง ซึ่งคณะฯ ได้กำหนดแนวทางการจัดการและติดตามผลดำเนินการแก้ไขตามระดับความเสี่ยง

ผลการติดตามหลังการดำเนินงานพบว่า เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีระดับความเสี่ยงสูงมากได้รับการแก้ไขแล้ว จำนวน 16 รายการ คิดเป็นร้อยละ 94.12 และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความเสี่ยงปานกลางได้รับการแก้ไขแล้ว จำนวน 7 รายการ คิดเป็นร้อยละ 87.50 สะท้อนว่ามาตรการที่กำหนดช่วยลดจำนวนรายการอุปกรณ์ที่มีความเสี่ยง และสนับสนุนการจัดการความปลอดภัยอย่างเป็นระบบ ทั้งนี้ จากผลการดำเนินงานจะเห็นได้ว่าสามารถทำให้หน่วยงานมีแนวทางการจัดการ และเฝ้าระวังเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างเป็นระบบตามระดับความเสี่ยง ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดอัคคีภัยจากการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าได้

คำสำคัญ: อัคคีภัย / การประเมินความเสี่ยง / เครื่องใช้ไฟฟ้า / ความปลอดภัยในการทำงาน

Fire risk survey and assessment of electrical appliances in office areas: A case study of the Faculty of Dentistry, Mahidol University

Nittaya Teekawong[1], Natchalida Sanpramote[2], and Nabameshtha Rangsitejavadhana[1*]

[1]Environmental and Energy Conservation Unit, Faculty of Dentistry, Mahidol University
[2]Physical and Environmental Unit, Faculty of Dentistry, Mahidol University
**Corresponding author: noppamate.rag@mahidol.ac.th*

Abstract

This study aimed to investigate existing conditions, assess fire risk levels, and develop preventive measures to mitigate fire hazards, as well as to promote electrical safety practices within the Faculty of Dentistry, Mahidol University. The survey was conducted between 17-21 November 2025 and covered office areas in four buildings: The 50th Anniversary Commemoration Building, the Laboratory and Research Building, the Pre-Clinical Building, and the Learning and Recreation Center Building. Electrical appliances were classified into four risk levels: low risk (green), moderate risk (yellow), high risk (orange), and very high risk (red).

The assessment results indicated that a total of 1,066 electrical appliances were evaluated. Most appliances were categorized as low risk, accounting for 1,041 items (97.65%). Very high-risk appliances accounted for 17 items (1.60%), while moderate-risk appliances accounted for 8 items (0.75%). No appliances were identified in the high-risk category. Following the assessment, management measures and follow-up procedures were established according to the assigned risk levels.

Post-implementation follow-up results showed that 16 of the 17 very high-risk appliances (94.12%) had been corrected, while 7 of the 8 moderate-risk appliances (87.50%) were successfully resolved. These findings demonstrate that the implemented measures effectively reduced the number of high-risk electrical appliances and supported a systematic safety management approach. Overall, the implementation enabled the Faculty to establish a structured system for managing and monitoring electrical appliances based on risk levels, thereby reducing the likelihood of fire incidents associated with electrical appliance usage.

Keywords: Fire / Risk Assessment / Electrical appliance / Occupational Safety

1. บทนำ

เครื่องใช้ไฟฟ้า หมายถึง อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานในการทำงาน โดยเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานรูปแบบอื่น เช่น พลังงานแสงสว่าง พลังงานความร้อน พลังงานกล หรือพลังงานเสียง เพื่ออำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพในการดำรงชีวิตประจำวันของประชาชน [1] อย่างไรก็ตาม การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐานหรือมีการใช้งานอย่างไม่เหมาะสม ถือเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดอัคคีภัย โดยปัจจัยเสี่ยงหลัก ได้แก่ การเกิดไฟฟ้าลัดวงจร การใช้งานเกินพิกัดกำลังไฟฟ้า ซึ่งส่งผลให้เกิดการสะสมความร้อน สายไฟฟ้าเก่าหรือเสื่อมสภาพ รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน นอกจากนี้ พฤติกรรมการใช้งานที่ไม่ปลอดภัย เช่น การใช้ปลั๊กพ่วงหลายอุปกรณ์พร้อมกัน หรือการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าทิ้งไว้เป็นเวลานาน อาจทำให้เกิดความร้อนสะสมสูง และเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยได้ [5] ข้อมูลสถิติอัคคีภัยในประเทศไทย โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานคร ช่วงปี พ.ศ. 2567–2568 จากรายงานของสำนักป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กรุงเทพมหานคร พบว่า ในรอบ 3 ปีที่ผ่านมา เครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นสาเหตุอันดับ 1 ของการเกิดเพลิงไหม้ [4] โดยมีเหตุเพลิงไหม้รวมทั้งสิ้น 1,745 ครั้ง สาเหตุหลักกว่าร้อยละ 47 (823 ครั้ง) มาจากหมวดเครื่องใช้ไฟฟ้า 311 ครั้ง ปลั๊กติดผนังและสายไฟ 269 ครั้ง และปลั๊กพ่วง 243 ครั้ง นอกจากนี้ การประกอบอาหาร การอุ่นอาหาร และก๊าซหุงต้มชำรุด เป็นสาเหตุ 108 ครั้ง [4] อัคคีภัยถือเป็นหนึ่งในความเสี่ยงสำคัญที่ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมหาศาล ทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน โดยเฉพาะในอาคารสำนักงานที่มีการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก หากขาดการควบคุมและบริหารจัดการที่เหมาะสม อาจนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุร้ายแรง และส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานและผู้รับบริการได้ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เป็นหน่วยงานที่มีภารกิจด้านการเรียนการสอน การวิจัย และการให้บริการทางทันตกรรม ซึ่งต้องอาศัยการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องมือทางการแพทย์ และวัสดุต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง จึงมีความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยจากไฟฟ้าลัดวงจร การใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เสื่อมสภาพ ดังนั้น การประเมินความเสี่ยงและการกำหนดแนวทางป้องกันจึงเป็นมาตรการสำคัญในการยกระดับความปลอดภัยในสถานที่ทำงาน [2]

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งสำรวจสภาพปัญหาและประเมินระดับความเสี่ยงจากการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า ภายในห้องพักสำนักงานของคณะทันตแพทยศาสตร์ พร้อมทั้งกำหนดแนวทางและมาตรการป้องกันเหตุอัคคีภัยให้สอดคล้องกับระดับความเสี่ยงที่ประเมินได้ เพื่อยกระดับมาตรฐานความปลอดภัย ลดโอกาสการเกิดอุบัติภัย และสร้างความมั่นใจด้านความปลอดภัยให้แก่นักศึกษา บุคลากร และผู้มารับบริการภายในคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล อย่างยั่งยืนในระยะยาว

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อสำรวจสภาพการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในห้องพักสำนักงานของ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
2. เพื่อประเมินระดับความเสี่ยงด้านอัคคีภัยจากการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ศึกษา
3. เพื่อจัดลำดับระดับความเสี่ยงของเครื่องใช้ไฟฟ้าออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ความเสี่ยงต่ำ ปานกลาง สูง และสูงมาก
4. เพื่อกำหนดแนวทางการป้องกันเหตุอัคคีภัยและมาตรการด้านความปลอดภัยตามระดับความเสี่ยง
5. เพื่อส่งเสริมความปลอดภัยในการทำงานของนักศึกษา บุคลากร และผู้มารับบริการภายในคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ผลงานการศึกษาเรื่อง การสำรวจและประเมินความเสี่ยงด้านอัคคีภัยจากการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักสำนักงานคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล มีขอบเขตที่ชัดเจนดังนี้

3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่

การศึกษาครอบคลุมพื้นที่ห้องพักสำนักงานภายในคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จำนวน 4 อาคาร ได้แก่

- อาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา
- อาคารปฏิบัติการและวิจัย
- อาคารพรีคลินิก
- อาคารศูนย์การเรียนรู้และนันทนาการ

3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

ศึกษาและประเมินความเสี่ยงด้านอัคคีภัยจากการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า ภายในห้องพักสำนักงาน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล รวมถึงการจัดลำดับระดับความเสี่ยงของเครื่องใช้ไฟฟ้า

3.3 ขอบเขตด้านเวลา

ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างวันที่ 17 - 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2568

3.4 ขอบเขตด้านกลุ่มเป้าหมาย

ครอบคลุมเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่ภายในพื้นที่ห้องพักสำนักงานของทั้ง 4 อาคาร

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

4.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลโดยใช้การสำรวจภาคสนามและการตรวจสอบเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในพื้นที่ห้องพักสำนักงานของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ทั้ง 4 อาคาร ได้แก่ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา อาคารปฏิบัติการและวิจัย อาคารพรีคลินิก และอาคารศูนย์การเรียนรู้และนันทนาการ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- จัดทำแบบฟอร์มการตรวจสอบเครื่องใช้ไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล
- ลงพื้นที่สำรวจและตรวจนับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่ในแต่ละห้องพักสำนักงาน
- ตรวจสอบสภาพการใช้งาน ความสมบูรณ์ และความปลอดภัยของเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น สายไฟ ปลั๊กไฟ เต้ารับ และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อพ่วง
- บันทึกข้อมูลลักษณะเครื่องใช้ไฟฟ้า อายุการใช้งาน สภาพชำรุด และสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับความเสี่ยงด้านอัคคีภัย
- รวบรวมข้อมูลทั้งหมดเพื่อใช้ในการประเมินระดับความเสี่ยงและจัดลำดับความเสี่ยงของเครื่องใช้ไฟฟ้า

4.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์เชิงพรรณนา โดยนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจและตรวจสอบเครื่องใช้ไฟฟ้ามาจัดหมวดหมู่ และประเมินระดับความเสี่ยงด้านอัคคีภัยจากเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละรายการ จากนั้นทำการจัดลำดับความเสี่ยงออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ความเสี่ยงต่ำ (สีเขียว) ความเสี่ยงปานกลาง (สีเหลือง) ความเสี่ยงสูง (สีส้ม) และความเสี่ยงสูงมาก (สีแดง) เกณฑ์การให้คะแนนระดับประเมินความเสี่ยง ว่าด้วยแนวปฏิบัติการบริหารความเสี่ยง และการ

จัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง ได้แบ่งระดับการพิจารณาโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ไว้ 5 ระดับ ตามเกณฑ์ที่กำหนดโดยอ้างอิงจากคู่มือการบริหารความเสี่ยง มหาวิทยาลัยมหิดล [3] แสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมินโอกาสเกิด (Likelihood)

ระดับคะแนน	ระดับการเกิดความเสี่ยง	โอกาสในการเกิด
5	สูงมาก	โอกาสเกิดมากกว่า 99% หรือ เกิดบ่อย หรือ อาจเกิดขึ้นได้ภายในรอบวันถึงสัปดาห์
4	สูง	โอกาสเกิดมากกว่า 50% หรือ อาจเกิดขึ้นได้ง่าย หรือ อาจเกิดขึ้นได้ภายในรอบสัปดาห์ถึงรอบเดือน
3	ปานกลาง	โอกาสเกิดมากกว่า 10% หรือ อาจเกิดขึ้นได้เพราะเคยเกิดขึ้นแล้ว หรือ อาจเกิดขึ้นได้ภายในรอบปี
2	น้อย	โอกาสเกิดมากกว่า 1% หรือ อาจเกิดขึ้นได้แต่ยังไม่เคยเกิดขึ้น หรือ อาจเกิดขึ้นได้ภายในรอบหลายปี
1	น้อยมาก	โอกาสเกิดน้อยกว่า 1% หรือ เป็นไปได้แต่เฉพาะในกรณีฉุกเฉิน หรือ เกิดขึ้นได้ยากแม้ในอนาคตในระยะยาว

ตารางที่ 2 เกณฑ์การวัดผลกระทบ (Impact) ด้านความปลอดภัย

ระดับคะแนน	ระดับความรุนแรง	การได้รับอันตรายจากการปฏิบัติงาน
5	สูงมาก	อันตรายถึงชีวิต
4	สูง	บาดเจ็บสาหัสและรักษาไม่หาย
3	ปานกลาง	บาดเจ็บ ต้องรักษาและรักษาหาย
2	น้อย	บาดเจ็บเล็กน้อย/มีผลต่อสุขภาพ
1	น้อยมาก	เดือดร้อน รำคาญ เสียเวลา/ไม่มีผลกระทบ

ความรุนแรงของเหตุการณ์ ความเสี่ยงที่หากเกิดขึ้นแล้วจะส่งผลกระทบในด้านต่าง ๆ พิจารณาผลกระทบ 4 ด้าน คือ ด้านประสิทธิผล ด้านมูลค่าความเสียหายทางการเงิน ด้านชื่อเสียงภาพลักษณ์องค์กร และด้านความปลอดภัย แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางเกณฑ์การวัดระดับผลกระทบ (Impact) 4 ด้าน

ระดับคะแนน	ระดับความรุนแรง	1. ด้านประสิทธิผล		2. ด้านมูลค่าความเสียหายทาง	3. ด้านชื่อเสียงภาพลักษณ์องค์กร					4. ด้านความปลอดภัย
		ดำเนินงานไม่เป็นไปตามเป้าหมาย	ระยะเวลาการหยุดชะงักของระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ	มูลค่าความเสียหายทางการเงิน	มีผลกระทบต่อ	ถูกฟ้องร้อง/ร้องเรียน	การนำเสนอข่าว	ความพึงพอใจของผู้รับบริการ		การได้รับอันตรายจากการปฏิบัติงาน
5	สูงมาก	ไม่เป็นไปตามเป้าหมาย > 40 %	> 24 ชั่วโมง	> 5 % ของรายได้ที่ได้รับในปีที่ผ่านมา	มหาวิทยาลัย	คดีขึ้นสู่ศาลและถูกตัดสินว่าผิด	พาดหัวข่าวทางสถานีโทรทัศน์/หนังสือพิมพ์/สื่อสังคมออนไลน์	ระดับความพึงพอใจ ≤ 65 %	ระดับความไม่พึงพอใจ > 20 %	อันตรายถึงชีวิต
4	สูงมาก	ไม่เป็นไปตามเป้าหมาย > 30-40 %	> 12-24 ชั่วโมง	> 3-5 % ของรายได้ที่ได้รับในปีที่ผ่านมา	หลายส่วนงาน	คดีอยู่ในชั้นศาล	กรอบข่าวทางสถานีโทรทัศน์/หนังสือพิมพ์/สื่อสังคมออนไลน์	ระดับความพึงพอใจ 66-70 %	ระดับความไม่พึงพอใจ 16-20 %	บาดเจ็บสาหัสและรักษาไม่หาย
3	ปานกลาง	ไม่เป็นไปตามเป้าหมาย > 20-30 %	> 3-12 ชั่วโมง	> 1-3 % ของรายได้ที่ได้รับในปีที่ผ่านมา	เฉพาะภายในส่วนงา	ออกสื่อ	ข่าวระหว่างส่วนงาน/เว็บบอร์ด	ระดับความพึงพอใจ 71-75 %	ระดับความไม่พึงพอใจ 11-15 %	บาดเจ็บต้องรักษาและรักษาหาย
2	น้อย	ไม่เป็นไปตามเป้าหมาย > 10-20 %	> 1-3 ชั่วโมง	> 0.5-1 % ของรายได้ ที่ได้รับในปีที่ผ่านมา	เฉพาะหน่วยงานภายในส่วนงาน	ายในมหาวิทยาลัย	ข่าวภายในส่วนงาน/เว็บบอร์ด	ระดับความพึงพอใจ 76-80 %	ระดับความไม่พึงพอใจ 6-10 %	บาดเจ็บเล็กน้อย/มีผลต่อสุขภาพ
1	น้อยมาก	ไม่เป็นไปตามเป้าหมาย ≤ 10 %	≤ 1 ชั่วโมง	≤ 0.5 % ของรายได้ที่ได้รับในปีที่ผ่านมา	เฉพาะบุคคล	ภายในส่วนงาน	ข่าวภายในหน่วยงาน	พึงพอใจ > 80 %	ระดับความไม่พึงพอใจ ≤ 5 %	เดือดร้อน รำคาญ เสียเวลา/ไม่มีผลกระทบ

การบริหารจัดการความเสี่ยงกำหนดวิธีตอบสนองตามระดับความรุนแรงของความเสี่ยง โดยความเสี่ยงระดับสูงมากต้องดำเนินการลดหรือหลีกเลี่ยงความเสี่ยงทันที ระดับสูงต้องร่วมจัดการความเสี่ยงหรือลดความเสี่ยงอย่างเป็นระบบ ส่วนระดับปานกลางสามารถยอมรับได้ภายใต้การควบคุมที่เหมาะสม และระดับต่ำเป็นความเสี่ยงที่องค์กรยอมรับได้โดยมีการติดตามทบทวนตามรอบที่กำหนด แสดงดังตารางที่ 4 และตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ตารางระดับความเสี่ยง

ระดับผลกระทบ (Impact)	5	1X5	2X5	3X5	4X5	5X5
	4	1X4	2X4	3X4	4X4	5X4
	3	1X3	2X3	3X3	4X3	5X3
	2	1X2	2X2	3X2	4X2	5X2
	1	1X1	2X1	3X1	4X1	5X1
		1	2	3	4	5
		ระดับโอกาสเกิด (Likelihood)				

ตารางที่ 5 ตารางแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยง

ระดับความเสี่ยง	แนวทางการจัดการ
สูงมาก (แดง)	ลดความเสี่ยง หรือหลีกเลี่ยงความเสี่ยง หรือร่วมจัดการความเสี่ยง
สูง (ส้ม)	ร่วมจัดการความเสี่ยง หรือการลดความเสี่ยง
ปานกลาง (เหลือง)	ยอมรับความเสี่ยง หรือลดความเสี่ยง
ต่ำ (เขียว)	ยอมรับความเสี่ยง

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ในการวิเคราะห์ข้อมูล ที่ได้จากการสำรวจและประเมินความเสี่ยงของเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยสถิติที่ใช้ประกอบด้วย ความถี่ (Frequency) และร้อยละ (Percentage) เพื่ออธิบายจำนวนและสัดส่วนของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละระดับความเสี่ยง ได้แก่ ระดับความเสี่ยงต่ำ ระดับความเสี่ยงปานกลาง ระดับความเสี่ยงสูง และระดับความเสี่ยงสูงมาก ทั้งนี้ การจัดจำแนกข้อมูลตามระดับความเสี่ยงช่วยให้สามารถแสดงภาพรวมของสถานการณ์ด้านอัคคีภัยในพื้นที่ศึกษาได้อย่างเป็นระบบและชัดเจน

การศึกษาครั้งนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยประกอบด้วย

1. ความถี่ (Frequency) ใช้เพื่อแสดงจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละระดับความเสี่ยง

2. ร้อยละ (Percentage) ใช้เพื่อแสดงสัดส่วนของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละระดับความเสี่ยงเมื่อเทียบกับจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมด

3. การจัดกลุ่มข้อมูล (Classification) ใช้ในการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าออกเป็น 4 ระดับความเสี่ยง ได้แก่ ความเสี่ยงต่ำ (สีเขียว) ความเสี่ยงปานกลาง (สีเหลือง) ความเสี่ยงสูง (สีส้ม) และความเสี่ยงสูงมาก (สีแดง)

สถิติดังกล่าวช่วยให้สามารถอธิบายภาพรวมของระดับความเสี่ยงด้านอัคคีภัยจากการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ศึกษาได้อย่างชัดเจนและเป็นระบบ

สูตรการคำนวณ

$$\text{ร้อยละ} = \frac{\text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละระดับความเสี่ยง}}{\text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมด}} \times 100$$

5. ผลการศึกษา

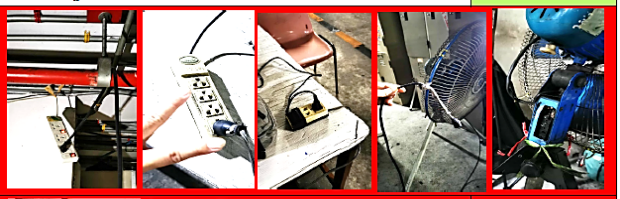
จากการสำรวจและประเมินความเสี่ยงของเครื่องใช้ไฟฟ้า ภายในสำนักงานของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ใน 4 อาคาร ได้แก่ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา อาคารปฏิบัติการและวิจัย อาคารพรีคลินิก และอาคารศูนย์การเรียนรู้และนันทนาการ พบว่ามีเครื่องใช้ไฟฟ้าในพื้นที่สำรวจ รวมทั้งสิ้น 1,066 รายการ ผลการประเมินระดับความเสี่ยงพบว่า เครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ (สีเขียว) จำนวน 1,041 รายการ คิดเป็นร้อยละ 97.65 รองลงมาคือระดับความเสี่ยงสูงมาก (สีแดง) จำนวน 17 รายการ คิดเป็นร้อยละ 1.60 และระดับความเสี่ยงปานกลาง (สีเหลือง) จำนวน 8 รายการ คิดเป็นร้อยละ 0.75 โดยไม่พบเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง (สีส้ม) แสดงดังตารางที่ 6 และรูปที่ 1

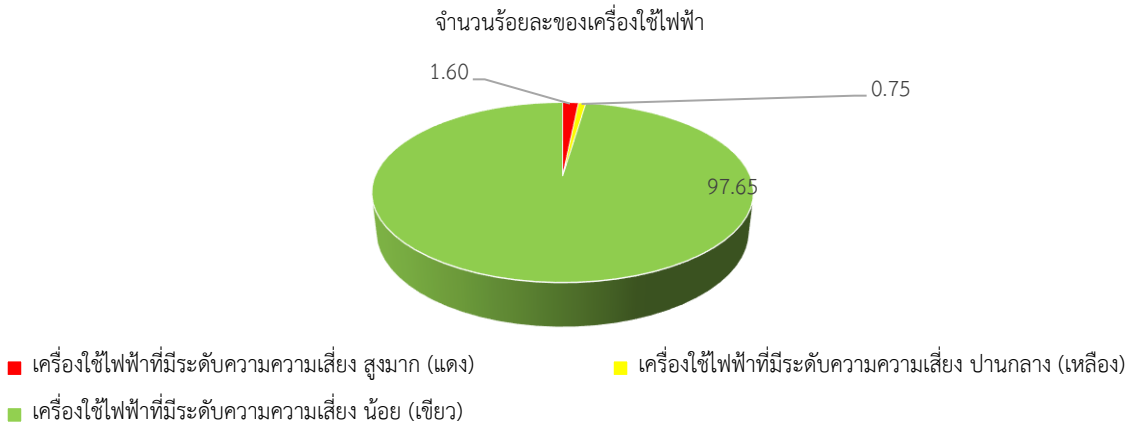
ตารางที่ 6 แบบสำรวจข้อมูลเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในสำนักงานของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

แบบสำรวจมาตรฐานเครื่องใช้ไฟฟ้าในคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

สังกัด : รปภ.ประจำจุด ชั้น B1-B2-B3 / ชั้น 1 บริเวณข้างโรงพักขยะ / ชั้น 1 บริเวณหน้าน้ำพุ / ชั้น 1 บริเวณข้าง 7-eleven บริเวณข้างโรงพักขยะ หน่วยรักษาความปลอดภัยและจราจร							
อาคาร / ชั้น : อาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา / ชั้น B1-1							
วัน/ เดือน / ปี ที่สำรวจ : วันอังคารที่ 18/11/2568							
เบอร์ติดต่อกรณีฉุกเฉิน : 081-3509998 (คุณทำนอง แสบงบาล)							
ตัวอย่างรายการเครื่องใช้ไฟฟ้า : ตู้เย็น ไมโครเวฟ เตาอบไฟฟ้า หม้อหุงข้าว หม้อต้มไฟฟ้า เครื่องปั่นผลไม้ กระติกน้ำร้อน กาต้มน้ำไฟฟ้าชนิดร้อนเร็ว เครื่องกรองน้ำ เครื่องปิ้งขนมปัง กระทะไฟฟ้าหม้อทอดไร้น้ำมัน เตารีด ไดร์เป่าผม ที่หนีบผมและที่ม้วนผม พัดลม ปลั๊กพ่วง พาวเวอร์แบงค์ เครื่องชงกาแฟ เตาไฟฟ้าและเตาแม่เหล็กไฟฟ้า ตู้แช่เย็น โคมไฟตั้งโต๊ะ เป็นต้น							
ลำดับ	รายการเครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (วัตต์ / โวลต์)	มาตรฐานความปลอดภัย		รายละเอียดการตรวจสอบ	หมายเหตุ
				ได้	ไม่ได้		
รปภ.ประจำจุด ชั้น B1							
1	พัดลมตั้งพื้นอุตสาหกรรรม	1	300 W/ 220 V			สภาพปกติ ไม่พบรายละเอียดมาตรฐานความปลอดภัยแสดงที่ตัวเครื่อง ปลั๊กไม่มีกราวด์ เสียบปลั๊กพ่วง	
รปภ.ประจำจุด ชั้น B2							
1	พัดลมตั้งพื้นอุตสาหกรรรม	1	300 W/ 220 V		✓	สายไฟชำรุด ไม่พบรายละเอียดมาตรฐานความปลอดภัยแสดงที่ตัวเครื่อง เสียบปลั๊กพ่วงมีสภาพเก่า	ใช้งานอยู่
รปภ.ประจำจุด ชั้น B3							
1	พัดลมตั้งพื้น	1	130 W/ 220 V		✓	สภาพปกติ ไม่พบรายละเอียดมาตรฐานความปลอดภัยแสดงที่ตัวเครื่อง ปลั๊กไม่มีกราวด์ เสียบปลั๊กพ่วง	
2	พัดลม	1	130 W/ 220 V	✓		สภาพปกติ มีมาตรฐาน มอก ปลั๊กไม่มีกราวด์ เสียบปลั๊กพ่วง	
3	กาน้ำร้อน SHARP	1	-		✓	อายุการใช้งานมาก ไม่พบรายละเอียดมาตรฐานความปลอดภัยแสดงที่ตัวเครื่อง ปลั๊กไม่มีกราวด์	ใช้งานอยู่
4	หม้อหุงข้าว SHARP	1	-		✓	อายุการใช้งานมาก ไม่พบรายละเอียดมาตรฐานความปลอดภัยแสดงที่ตัวเครื่อง ปลั๊กไม่มีกราวด์	ใช้งานอยู่
รปภ.ประจำจุด ชั้น 1 บริเวณข้างโรงพักขยะ							
1	กระติกรน้ำร้อน	1	600 W/ 220 V			ไม่พบรายละเอียดมาตรฐานความปลอดภัยแสดงที่ตัวเครื่อง ปลั๊กไม่มีกราวด์ เสียบปลั๊กพ่วงมีสภาพเก่า	ใช้งานอยู่
2	พัดลมตั้งพื้น 10 นิ้ว	1	50 W/ 220 V	✓		สภาพปกติ มีมาตรฐาน มอก. ปลั๊กไม่มีกราวด์ เสียบปลั๊กพ่วง	
3	พัดลมตั้งพื้น 10 นิ้ว (ขนาดเล็ก)	1	0.25 แอมป์/ 220 V	✓		สภาพปกติ มีมาตรฐาน มอก. ปลั๊กไม่มีกราวด์ เสียบปลั๊กพ่วง	

ตารางที่ 6 แบบสำรวจข้อมูลเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในสำนักงานของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (ต่อ)

รปภ.ประจำจุด ชั้น 1 บริเวณหน้าน้ำพุ							
1	พัดลมตั้งพื้น SHARP	1	67 W/ 220 V	✓		สภาพปกติ มีฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 มีมาตรฐาน มอก. ปลั๊กไม่มีกราวด์ เสียบปลั๊กพ่วง	
2	พัดลมตั้งพื้น (ขนาดเล็ก)	1	35 W/ 220 V	✓		สภาพปกติ มีมาตรฐาน มอก. ปลั๊กไม่มีกราวด์ เสียบปลั๊กพ่วง	
รปภ.ประจำจุด ชั้น 1 บริเวณข้าง 7-eleven							
1	ไมโครเวฟ Beko	1	1050 W/ 220 V	✓		สภาพปกติ มีมาตรฐาน มอก. ปลั๊กไม่มีกราวด์ เสียบปลั๊กพ่วง	
2	พัดลมตั้งพื้น	1	67 W	✓		สภาพปกติ มีมาตรฐาน มอก. ปลั๊กไม่มีกราวด์ เสียบปลั๊กพ่วง	
3	หม้อหุงข้าว SHARP (ขนาดเล็ก)	1	1050 W/ 220 V	✓		สภาพปกติ มีมาตรฐาน มอก. ปลั๊กไม่มีกราวด์ เสียบปลั๊กพ่วง	
บันทึกการตรวจสอบ	1. รปภ.ประจำจุด ชั้น B2 พบ ปลั๊กพ่วงมีสภาพเก่า พัดลมชำรุด ระดับความเสี่ยง สูงมาก (4*4)						
	1. รปภ.ประจำจุด ชั้น B3 พบ ปลั๊กพ่วงมีสภาพเก่า เครื่องใช้ไฟฟ้ามีอายุการใช้งานนาน ระดับความเสี่ยง สูงมาก (4*4)						



รูปที่ 1 แสดงร้อยละระดับความเสี่ยงของเครื่องใช้ไฟฟ้า

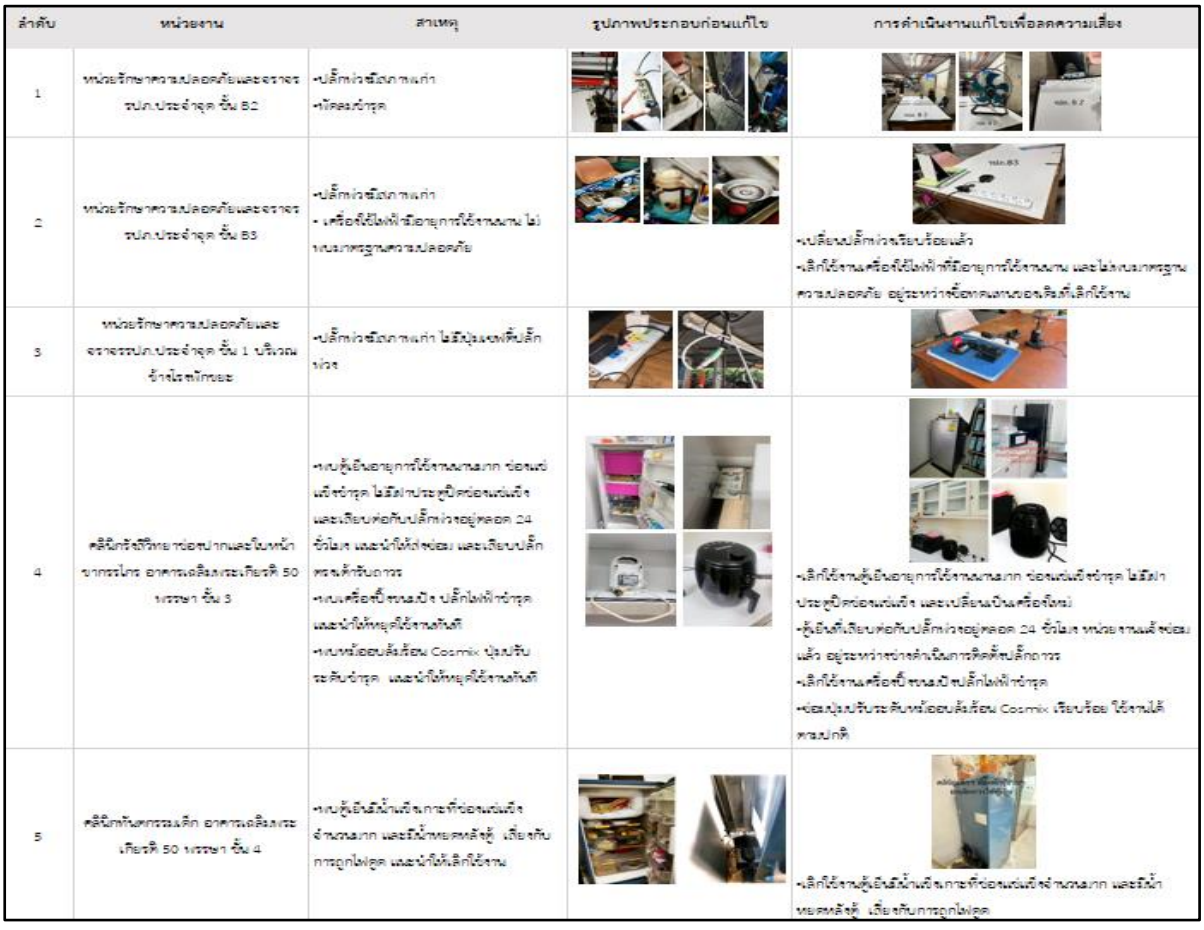
จากการติดตามหลังดำเนินการแก้ไขพบว่า เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีระดับความเสี่ยงสูงมากที่ได้รับการแก้ไขแล้ว จำนวน 16 รายการ จากทั้งหมด 17 รายการ พบว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความเสี่ยงสูงสุดคือ ปลั๊กพ่วง จำนวน 9 รายการ คิดเป็นร้อยละ 56.25 ของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความเสี่ยงสูงมาก รองลงมาคือ พัดลม จำนวน 3 รายการ ร้อยละ 18.75 และเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น คือ หม้อหุงข้าว กาต้มน้ำร้อน ตู้เย็น และพาวเวอร์แบงก์ (Power bank) พบประเภทละ 1 รายการ ร้อยละ 6.25 เท่ากัน ในขณะที่ไฟฉุกเฉิน 1 รายการ รอดำเนินการแก้ไข

ผลการวิเคราะห์สะท้อนให้เห็นว่า “ปลั๊กพ่วง” เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความเสี่ยงสูงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทอื่น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะการใช้งานที่มีการต่อพ่วงหลายเครื่องใช้ไฟฟ้าพร้อมกันและเสื่อมสภาพการใช้เกินพิกัดกำลังไฟฟ้า การเลือกใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) หรือการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น มีการระบายความร้อนไม่เพียงพอ ปัจจัยดังกล่าวเพิ่มโอกาสการเกิดความร้อนสะสม กระแสไฟฟ้าลัดวงจร และนำไปสู่การเกิดอัคคีภัยได้ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความเสี่ยงสูงสุด

เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความเสี่ยงสูงสุด		
ลำดับที่	รายการ	จำนวน (รายการ)
1	ปลั๊กพ่วง	9
2	พัดลม	3
3	หม้อหุงข้าว	1
4	กาต้มน้ำร้อน	1
5	ตู้เย็น	1
6	พาวเวอร์แบงก์ (Power bank)	1
7	ไฟฉุกเฉิน	0
รวม	16 รายการ	

ในส่วนของพัดลม แม้มีจำนวนรองลงมา แต่ความเสี่ยงอาจเกี่ยวข้องกับการใช้งานต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน การสะสมของฝุ่นบริเวณมอเตอร์ หรือสายไฟเสื่อมสภาพ ซึ่งเป็นปัจจัยกระตุ้นให้เกิดความร้อนเกินและการลุกไหม้ได้เช่นกัน สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าให้ความร้อนโดยตรง เช่น หม้อหุงข้าวและกาต้มน้ำร้อน แม้พบจำนวนน้อย แต่จัดเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีระดับความเสี่ยงสูงมาก เนื่องจากทำงานด้วยกำลังไฟฟ้าสูงและสร้างความร้อนโดยตรง และได้ดำเนินการเปรียบเทียบก่อนและหลังการแก้ไข แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องใช้ไฟฟ้าก่อนและหลังการแก้ไข

โดยสรุป ความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานปลั๊กพ่วงภายในสำนักงานเป็นประเด็นที่มีนัยสำคัญด้านความปลอดภัย เนื่องจากอาจก่อให้เกิดความร้อนสะสม กระแสไฟฟ้าเกินพิกัด และเพิ่มโอกาสการเกิดอัคคีภัยได้ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่หน่วยงานจะต้องกำหนดมาตรการควบคุมความเสี่ยงเฉพาะด้านอย่างเป็นระบบและชัดเจน ได้แก่ การกำหนดมาตรฐานและแนวปฏิบัติในการใช้งานปลั๊กพ่วงที่เหมาะสม การจำกัดจำนวนการต่อพ่วงเพื่อป้องกันการใช้ไฟฟ้าเกินกำลังรองรับ การจัดให้มีการตรวจสอบสภาพเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ รวมถึงการส่งเสริมความรู้และสร้างความตระหนักแก่บุคลากรเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้าอย่างถูกต้องและปลอดภัย

การดำเนินมาตรการเชิงป้องกันดังกล่าวอย่างต่อเนื่องและมีระบบกำกับติดตาม จะช่วยลดระดับความเสี่ยงของการเกิดอัคคีภัยในพื้นที่สำนักงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังส่งเสริมให้เกิดวัฒนธรรมความปลอดภัยในองค์กร อันนำไปสู่ความยั่งยืนด้านการบริหารจัดการความปลอดภัยในระยะยาว

6. อภิปรายผล

การที่เครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ แสดงถึงประสิทธิภาพของการบริหารจัดการด้านความปลอดภัย การบำรุงรักษาเครื่องใช้ไฟฟ้า และการใช้งานที่เป็นไปตามมาตรฐานของหน่วยงาน อย่างไรก็ตาม การตรวจพบเครื่องใช้ไฟฟ้าในระดับความเสี่ยงสูงมาก แม้จะมีสัดส่วนเพียงร้อยละ 1.60 แต่ถือเป็นความเสี่ยงเชิงวิกฤต ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสำนักป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กรุงเทพมหานคร พบว่า ในรอบ 3 ปีที่ผ่านมา เครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นสาเหตุอันดับ 1 เนื่องจากเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านี้อาจมีสภาพชำรุด สายไฟเสื่อมสภาพ หรือมีการใช้งานไม่เหมาะสม ซึ่งเพิ่มโอกาสการเกิดไฟฟ้าลัดวงจรและอัคคีภัย

จากผลการสำรวจและประเมินความเสี่ยงด้านอัคคีภัยจากการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในสำนักงานของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล พบว่า ภาพรวมของการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับความปลอดภัย สะท้อนว่ามาตรการที่กำหนดช่วยลดจำนวนรายการอุปกรณ์ที่มีความเสี่ยง และสนับสนุนการจัดการความปลอดภัยอย่างเป็นระบบ อย่างไรก็ตาม การตรวจพบเครื่องใช้ไฟฟ้าบางส่วนที่ยังคงอยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลางและระดับความเสี่ยงสูงมาก แสดงให้เห็นว่าความเสี่ยงด้านอัคคีภัยยังคงมีโอกาสเกิดขึ้นได้ หากขาดการควบคุมและติดตามอย่างต่อเนื่อง

ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การบริหารความปลอดภัยด้านอัคคีภัยไม่ควรพิจารณาเพียงสถานะความปลอดภัย ณ ช่วงเวลาที่ตรวจประเมินเท่านั้น แต่จำเป็นต้องพัฒนาระบบการตรวจสอบเชิงป้องกันอย่างเป็นระบบ โดยการกำหนดแผนการตรวจสอบเครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นประจำ รวมถึงการติดตามผลสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เคยมีระดับความเสี่ยงสูง เพื่อป้องกันการเกิดความเสี่ยงในระยะยาว ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการจัดการความเสี่ยงเชิงรุกที่มุ่งลดโอกาสการเกิดเหตุก่อนเกิดความเสียหาย

ในส่วนของการจัดการเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความเสี่ยง ผลการประเมินสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการกำหนดมาตรการควบคุมที่แตกต่างกันตามระดับความเสี่ยง โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความเสี่ยงปานกลางควรได้รับการปรับปรุงหรือซ่อมแซมตามมาตรฐานความปลอดภัย ขณะที่เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความเสี่ยงสูงมากจำเป็นต้องระงับการใช้งานทันทีจนกว่าจะได้รับการแก้ไข ทั้งนี้ แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการควบคุมความเสี่ยงตามลำดับชั้นที่ให้ความสำคัญกับการกำจัดหรือควบคุมแหล่งกำเนิดอันตรายเป็นลำดับแรก รวมถึงควรมีการส่งเสริมการให้ความรู้เกี่ยวกับการสังเกตความผิดปกติของเครื่องใช้ไฟฟ้าและการปฏิบัติตนเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน ซึ่งช่วยเสริมสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยภายในองค์กร

ในภาพรวม การนำผลการประเมินความเสี่ยงไปบูรณาการเข้ากับระบบบริหารความเสี่ยง ซึ่งสอดคล้องกับมาตรการสำคัญในการยกระดับความปลอดภัยในสถานที่ทำงานของคณะฯ ถือเป็นกลไกสำคัญในการยกระดับการจัดการความปลอดภัยให้เกิดความต่อเนื่องและสามารถติดตามผลได้อย่างเป็นรูปธรรม โดยการกำหนดตัวชี้วัดผลการดำเนินงาน เช่น จำนวนอุปกรณ์

ที่มีความเสี่ยงสูง อัตราการผ่านการตรวจสอบ หรือสถิติการเกิดเหตุฉุกเฉิน จะช่วยสะท้อนประสิทธิผลของมาตรการที่นำมาใช้และสนับสนุนการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องตามหลักการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน

โดยสรุป แม้ว่าผลการประเมินโดยรวมจะอยู่ในระดับที่น่าพอใจ แต่การดำเนินมาตรการเชิงป้องกัน การพัฒนาระบบข้อมูล การเสริมสร้างความรู้ด้านความปลอดภัย และการติดตามประเมินผลอย่างต่อเนื่อง ยังคงเป็นปัจจัยสำคัญในการลดความเสี่ยงด้านอัคคีภัยและยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยขององค์กรในระยะยาว

7. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจสภาพการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า รวมถึงประเมินความเสี่ยงด้านอัคคีภัยภายในห้องพักสำนักงานของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ครอบคลุมพื้นที่สำนักงานใน 4 อาคาร ได้แก่ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา อาคารปฏิบัติการและวิจัย อาคารพรีคลินิก และอาคารศูนย์การเรียนรู้และนันทนาการ จากการลงพื้นที่สำรวจและตรวจสอบพบว่า มีเครื่องใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ทั้งหมด 1,066 รายการ ซึ่งสะท้อนถึงปริมาณการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในสำนักงานที่อยู่ในระดับสูงและจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการด้านความปลอดภัยอย่างเป็นระบบ

ผลการประเมินระดับความเสี่ยงพบว่า เครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ (สีเขียว) จำนวน 1,041 รายการ คิดเป็นร้อยละ 97.65 แสดงให้เห็นว่าการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยรวมเป็นไปตามมาตรฐานด้านความปลอดภัย อย่างไรก็ตาม ยังพบเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในระดับความเสี่ยงสูงมาก (สีแดง) จำนวน 17 รายการ คิดเป็นร้อยละ 1.60 และระดับความเสี่ยงปานกลาง (สีเหลือง) จำนวน 8 รายการ คิดเป็นร้อยละ 0.75 ซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าในกลุ่มดังกล่าวมีโอกาสก่อให้เกิดเหตุอัคคีภัยหากไม่ได้รับการควบคุมหรือแก้ไขอย่างเหมาะสม โดยไม่พบเครื่องใช้ไฟฟ้าในระดับความเสี่ยงสูง (สีส้ม)

จากผลการประเมินได้นำไปสู่การกำหนดแนวทางการจัดการความเสี่ยงตามระดับของเครื่องใช้ไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำสามารถใช้งานต่อไปได้ภายใต้การเฝ้าระวังและการตรวจสอบตามรอบมาตรฐาน เครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลางต้องได้รับการปรับปรุง ซ่อมแซม หรือเปลี่ยนเครื่องใช้ไฟฟ้าบางส่วนโดยหน่วยงานที่รับผิดชอบ ส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความเสี่ยงสูงมากจำเป็นต้องระงับการใช้งานทันทีและดำเนินการแก้ไขอย่างเร่งด่วน

โดยสรุป การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าคณะทันตแพทยศาสตร์ มีระบบการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าในสำนักงานที่มีความปลอดภัยในระดับดี แต่ยังมีความจำเป็นต้องพัฒนาระบบการตรวจสอบเชิงรุก การบำรุงรักษา และการบริหารจัดการความเสี่ยงอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันการเกิดเหตุอัคคีภัย ลดความสูญเสีย และสร้างสภาพแวดล้อมการทำงานที่ปลอดภัยและยั่งยืนสำหรับบุคลากร นักศึกษา และผู้มารับบริการในระยะยาว

ข้อเสนอแนะ

จากผลการสำรวจและประเมินความเสี่ยงด้านอัคคีภัยจากการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า ภายในสำนักงานของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล พบว่าโดยภาพรวมอยู่ในระดับความปลอดภัยที่ดี อย่างไรก็ตาม ยังมีเครื่องใช้ไฟฟ้าบางส่วนที่อยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลางและสูงมาก ซึ่งอาจก่อให้เกิดอัคคีภัยได้หากไม่ได้รับการควบคุมอย่างเหมาะสม ดังนั้น เพื่อยกระดับความปลอดภัยและลดความเสี่ยงในระยะยาว จึงเสนอแนวทางดังต่อไปนี้

- การพัฒนาระบบการตรวจสอบเชิงป้องกัน กำหนดให้มีการตรวจสอบเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง โดยจัดทำแผนการตรวจสอบประจำปีและแผนการตรวจติดตาม

- การจัดทำทะเบียนและฐานข้อมูลเครื่องใช้ไฟฟ้า จัดทำข้อมูลของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดในคณะฯ โดยบันทึกข้อมูลชนิดเครื่องใช้ไฟฟ้า รุ่น อายุการใช้งาน สถานที่ตั้ง และระดับความเสี่ยง เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการติดตามวิเคราะห์แนวโน้ม และวางแผนการซ่อมบำรุง
- การบริหารจัดการเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความเสี่ยง สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลาง ควรดำเนินการซ่อมแซม ปรับปรุง หรือเปลี่ยนชิ้นส่วนให้เป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยโดยเร็ว ส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความเสี่ยงสูงมากต้องระงับการใช้งานทันที และดำเนินการแก้ไขหรือเปลี่ยนเครื่องใช้ไฟฟ้าใหม่ก่อนนำกลับมาใช้งาน
- การส่งเสริมความรู้และพฤติกรรมการใช้งานที่ปลอดภัย จัดกิจกรรมฝึกอบรมให้ความรู้แก่บุคลากรและนักศึกษาเกี่ยวกับการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างถูกต้อง
- การพัฒนามาตรการและคู่มือความปลอดภัยด้านอัคคีภัย ควรจัดทำคู่มือหรือแนวปฏิบัติมาตรฐาน สำหรับการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า
- การบูรณาการกับระบบบริหารความเสี่ยงของคณะฯ นำผลการประเมินความเสี่ยงด้านอัคคีภัยไปเชื่อมโยงกับแผนบริหารความเสี่ยงและแผนพัฒนาด้านความปลอดภัยของคณะทันตแพทยศาสตร์
- การติดตามและประเมินผลอย่างต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

[1] การไฟฟ้านครหลวง. (2568). *ความปลอดภัยในการใช้ไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน*. https://www.mea.or.th/

[2] คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2568). *รายงานการบริหารความเสี่ยงด้านความปลอดภัย*. https://dt.mahidol.ac.th

[3] ศูนย์บริหารจัดการความเสี่ยง, มหาวิทยาลัยมหิดล. (2022). *คู่มือการบริหารความเสี่ยง มหาวิทยาลัยมหิดล*. https://op.mahidol.ac.th/rm/risk_management/risk-management-guide

[4] สำนักป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กรุงเทพมหานคร. (2568). *รายงานสถิติอัคคีภัยในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ประจำปี พ.ศ. 2567–2568*. https://www.bangkok.go.th/disaster

[5] SECOM. (2568). *ไฟฟ้าลัดวงจร เกิดจากอะไร และวิธีป้องกัน*. https://www.secom.co.th/

การปรับปรุงระบบแสงสว่างเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน อาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา

ปรีชา แก้วชูเงิน, นิติรุจน์ กุลวิไชยศักดิ์, และ ธิระยุทธ อักษรกูล*

หน่วยซ่อมบำรุง งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนโยธี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
**Corresponding author: tirayut.aks @mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

หน่วยซ่อมบำรุงมีบทบาทสำคัญในการดูแลและซ่อมแซมระบบสาธารณูปโภคภายในอาคารให้มีความพร้อมใช้งานอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับภารกิจด้านการเรียนการสอนและการให้บริการผู้ป่วย จากการดำเนินงานที่ผ่านมาพบอุบัติการณ์หลอดไฟร่วงลงพื้นบริเวณโถงทางเดินภายในอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา ซึ่งส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้อาคารจากการตรวจสอบสาเหตุพบว่าขั้วหลอดไฟชนิดพลาสติกแบบขั้วเสียบเกิดการเสื่อมสภาพจากการใช้งานเป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้เกิดความร้อนสะสมทำให้ขั้วหลอดเกิดการกรอบ แตก และไม่สามารถยึดหลอดไฟได้อย่างมั่นคง ส่งผลให้หลอดไฟหลุดร่วงลงพื้น หน่วยซ่อมบำรุงจึงดำเนินการแก้ไขเปลี่ยนขั้วหลอดไฟจากชนิดพลาสติกแบบขั้วเสียบเป็นขั้วหลอดเซรามิคแบบเกลียว ซึ่งมีความทนทานต่อความร้อนสูงกว่า และจากการติดตามผลหลังการปรับปรุงไม่พบอุบัติการณ์หลอดไฟร่วงอีกต่อมาได้ดำเนินการปรับปรุงระบบแสงสว่างทั้งอาคาร โดยเปลี่ยนชุดโคมไฟจำนวน 3,600 ชุด จากเดิมที่ใช้หลอด PLC ขนาด 18 วัตต์ เปิดใช้งานเฉลี่ยวันละ 15 ชั่วโมง เป็นหลอดไฟชนิด LED ที่ให้ค่าความสว่างเทียบเท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าพบว่าค่าไฟฟ้าลดลงจากเดิมเฉลี่ยปีละ 1,490,400 บาท เหลือเพียง 788,400 บาท คิดเป็นการลดลงของค่าไฟฟ้าร้อยละ 52.89 ผลการดำเนินงานดังกล่าวไม่เพียงช่วยเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ใช้อาคาร แต่ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า และสนับสนุนนโยบายการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน สอดคล้องกับเป้าประสงค์การพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ข้อที่ 7 ด้านพลังงาน

คำสำคัญ: ระบบแสงสว่าง / ความปลอดภัยอาคาร / การประหยัดพลังงาน / หลอดไฟ LED /พลังงาน

Lighting system improvement to enhance safety and energy efficiency Chalermphrakiat 50th Anniversary

Preecha Kaewchoongoen, Nitirut Kunvichaisak, and Tirayut Aksornkul*

Maintenance Unit, Physical and Environmental Division
Faculty of Dentistry, Mahidol University, Yothi Road, Thung Phayathai Subdistrict, Ratchathewi District, Bangkok, Thailand
**Corresponding author: tirayut.aks @mahidol.ac.th*

Abstract

Maintenance units play an important role in maintaining and repairing building utilities to ensure continuous availability. To support the mission of teaching and learning and serving patients. From the past operation, there was an incident of light bulbs falling to the ground in the hallway of the 50th Anniversary Celebration Building, which affected the safety of building users. As a result, heat accumulates that cause the bulb terminals to become brittle, cracked, and unable to hold the lamp firmly. As a result, the bulb fell to the ground. The maintenance unit then remodeled the lighting system of the entire building by replacing 3,600 sets of lamps from 18-watt PLC lamps that were activated for an average of 15 hours a day to LED lamps with equivalent brightness. Comparing electricity costs, it was found that electricity bills decreased from an average of 1,490,400 baht per year to only 788,400 baht, representing a decrease of 52.89 percent. Reduce electricity costs and support energy and environmental management policies for sustainable development, in line with the 7th Sustainable Development Goals (SDGs) on energy.

Keywords: Lighting / Building security / Energy saving / LED lamp/energy

1. บทนำ

หน่วยซ่อมบำรุงมีบทบาทสำคัญในการดูแล บำรุงรักษา และซ่อมแซมระบบสาธารณูปโภคภายในอาคารให้มีความพร้อมใช้งานอย่างต่อเนื่อง มีความปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ เพื่อรองรับพันธกิจหลักขององค์กร ทั้งด้านการจัดการเรียนการสอน การปฏิบัติงานของบุคลากร และการให้บริการผู้ป่วยในสถานพยาบาล โดยเฉพาะในบริบทของอาคารโรงพยาบาลและสถาบันการศึกษา ซึ่งมีการใช้งานอย่างหนาแน่นและต่อเนื่องตลอดเวลาระบบแสงสว่างนับเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัยในการใช้อาคาร ประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน สุขภาวะของผู้ใช้งาน และการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมขององค์กร[1,2] โดยเฉพาะในอาคารขนาดใหญ่ เช่น โรงพยาบาล พบว่าระบบแสงสว่างเป็นหนึ่งในระบบที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานสูง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณการใช้งานและความต้องการด้านคุณภาพแสง [3,4] งานวิจัยด้านวิศวกรรมพลังงานและอาคารระบุว่าการปรับปรุงระบบแสงสว่างให้มีประสิทธิภาพ เช่น การเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟแบบ LED การเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง การใช้วัสดุที่ทนความร้อน และการออกแบบระบบติดตั้งที่เหมาะสม รวมถึงการดำเนินการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [5] สอดคล้องกับผลการศึกษาที่พบว่าการปรับเปลี่ยนระบบแสงสว่างเป็นเทคโนโลยี LED มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สามารถลดต้นทุนพลังงานและระยะเวลาคืนทุนได้อย่างเหมาะสม [6] ซึ่งแนวทางดังกล่าว สอดคล้องกับนโยบายการจัดการพลังงานและความยั่งยืนของ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่มุ่งเน้นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพควบคู่กับการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [7] ในมิติด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัย อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เสื่อมสภาพหรือไม่ได้มาตรฐานอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้ใช้อาคาร เช่น การหลุดร่วงของอุปกรณ์ การเกิดไฟฟ้าลัดวงจร หรือการสะสมความร้อนจนก่อให้เกิดความเสียหาย ซึ่งอาจนำไปสู่อุบัติเหตุหรือการบาดเจ็บ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีผู้ใช้งานหนาแน่น เช่น ทางเดินหรือพื้นที่ให้บริการผู้ป่วย ทั้งนี้ มาตรฐานด้านความปลอดภัยในการทำงานของ Occupational Safety and Health Administration และ International Labour Organization ได้ให้ความสำคัญกับการควบคุมความเสี่ยงจากระบบไฟฟ้าและสิ่งแวดล้อมในการทำงาน เพื่อป้องกันอุบัติเหตุและส่งเสริมความปลอดภัยของผู้ใช้อาคาร [8,9] นอกจากนี้ ปัจจัยด้านความร้อนสะสมและการเสื่อมสภาพของวัสดุอุปกรณ์ โดยเฉพาะวัสดุประเภทโพลิเมอร์หรือพลาสติก ถูกระบุว่าเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าลดลงและเพิ่มความเสี่ยงต่อการชำรุดเสียหาย การเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติทนความร้อนและไม่ลามไฟ เช่น เซรามิค จึงเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มความปลอดภัยและความเสถียรของระบบในระยะยาว รวมถึงสอดคล้องกับแนวทางด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารของ World Health Organization [10]

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อเพิ่มความปลอดภัยของบุคลากร นักศึกษา ผู้ป่วย และผู้ใช้งานอาคารยลดความเสี่ยงจากอุบัติการณ์หลอดไฟร่วงหล่น
2. เพื่อปรับปรุงและพัฒนาระบบไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารให้มีความมั่นคง แข็งแรง และมีความเหมาะสม
3. เพื่อสนับสนุนการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสูญเสียพลังงานและยืดอายุการใช้งาน

3. ขอบเขตของการศึกษา

อาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (พญาไท) สถานที่ตั้ง เลขที่ 6 ถนนโยธี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400 การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา (Developmental Study) โดยมุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาด้านความปลอดภัยและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

4. วิธีการศึกษา

4.1 การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์สภาพปัญหา

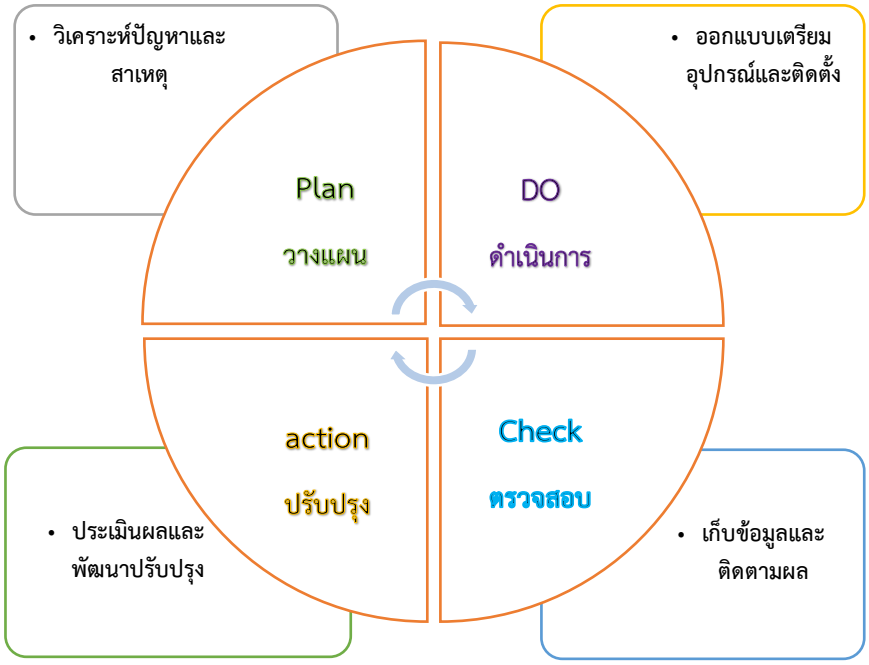
ข้อมูลรายงานอุบัติการณ์ความเสี่ยงหลอดไฟบริเวณโถงภายในอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา หลอดไฟร่วงลงพื้นส่งผลกระทบให้เกิดอันตรายและไม่ปลอดภัยแก่ผู้ใช้อาคารรายละเอียดสถิติดังนี้

ตารางที่1 แสดงจำนวนสถิติอุบัติการณ์ (ครั้ง/ปี พ.ศ.)

หัวข้อ	2563	2564	2565	2566
จำนวนหลอดไฟร่วงลงพื้น (ครั้ง/ปี พ.ศ.)	3	2	2	2

4.2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากปัญหาความเสี่ยงหลอดไฟบริเวณโถงภายในอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา หลอดไฟร่วงลงพื้นส่งผลกระทบให้เกิดอันตรายและไม่ปลอดภัยแก่ผู้ใช้อาคาร การวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้แนวคิด ผังก้างปลา (Fishbone Diagram: Ishikawa Diagram) เพื่อจำแนกปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบ ดังแสดงผังก้างปลา (Fishbone Diagram: Ishikawa Diagram) รูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงกระบวนการวิเคราะห์สาเหตุโดยใช้หลัก PDCA (Plan-Do-Check-Act)

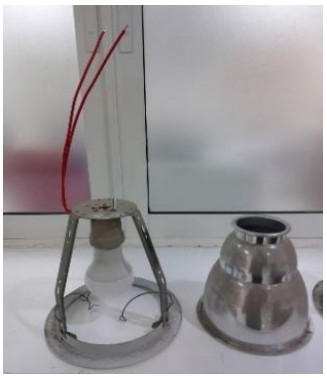
พบว่าปัญหาอุบัติการณ์หลอดไฟร่วงตกลงพื้นโดยการวิเคราะห์สาเหตุโดยใช้หลัก PDCA (Plan-Do-Check-Act) เพื่อให้เกิดการแก้ไขปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ โดยจากการสำรวจหลอดไฟบริเวณพื้นที่โถงส่วนกลางอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา หลอดไฟที่ใช้งานเป็นชนิดหลอด PLC ขนาด 18 วัตต์ ซึ่งมีจำนวนหลอดไฟใช้งาน 3,600 ชุด ลักษณะขั้วหลอดเป็นชนิดพลาสติกแบบขั้วเสียบการใช้งานเป็นเวลานานทำให้เกิดความร้อนสะสมบริเวณขั้วหลอดส่งผลให้ขั้วหลอด กรอบ แตก ไม่สามารถยึดหลอดไฟได้ ทำให้หลอดไฟร่วงตกลงพื้นดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3

รูปที่ 2 แสดงขั้วหลอดเป็นชนิดพลาสติก

รูปที่ 3 แสดงขั้วหลอดชนิดพลาสติก PLC ขนาด 18 วัตต์แบบขาเสียบ

4.3 ขั้นตอนการดำเนินการ

ขั้นตอนที่ 1 ดำเนินการรื้อถอนชุดโคมไฟแบบขั้วเสียบ (Plug-in type) โดยถอดหลอดไฟเดิมและอุปกรณ์ประกอบทั้งหมดออกจากโคมไฟ และทำการเปลี่ยนขั้วหลอดจากเดิม เป็นแบบขั้วเสียบ ชนิดเซรามิค แบบเกลียว ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงการปรับปรุงขั้วหลอดจากเดิมเป็นแบบขั้วเสียบ ชนิดเซรามิค แบบเกลียว

ขั้นตอนที่ 2 ดำเนินการปรับปรุงโดยเปลี่ยนหลอดไฟจากเดิม เป็นชนิด LED แบบขั้วเกลียว ขนาด 10 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 5 แสดงการปรับปรุงหลอดไฟเป็นชนิด LED แบบขั้วเกลียว ขนาด 10 วัตต์

ขั้นตอนที่ 3 ดำเนินการนำชุดโคมไฟที่ปรับปรุงมาชั่งน้ำหนักโคมไฟก่อนติดตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 6

รูปที่ 6 แสดงการทดสอบชั่งน้ำหนักโคมไฟก่อนติดตั้ง

ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการวัดอุณหภูมิชุดโคมไฟหลังติดตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 7

รูปที่ 7 แสดงการทดสอบชั่งน้ำหนักโคมไฟก่อนติดตั้ง

ตารางที่ 2 แสดงการข้อมูลการเปรียบเทียบระหว่างหลอดไฟชนิด PLC (เดิม) กับหลอดไฟชนิด LED (ใหม่)

ลำดับ	รายละเอียด	เดิม หลอดไฟชนิด PLC	ใหม่ หลอดไฟชนิด LED
1	ค่าความสว่าง	1,200 ลูเมน	1,200 ลูเมน
2	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	18 วัตต์	10 วัตต์
3	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)	10,000 ชั่วโมง	25,000 ชั่วโมง
4	อุณภูมิความร้อน	50 องศาเซลเซียส	27 องศาเซลเซียส
5	พลังงานไฟฟ้า	0.284 กิโลวัตต์-ชั่วโมง : kWh	0.15 กิโลวัตต์-ชั่วโมง : kWh
6	น้ำหนักชุดโคมไฟ	819.80 กรัม	387.10 กรัม
7	ราคาหลอดไฟ	140 บาท	165 บาท
8	ค่าใช้จ่ายวัสดุในการซ่อมแซม	280 บาท	200 บาท

ตารางที่ 3 แสดงการคิดคำนวณค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงชุดโคมไฟอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา ก่อน-หลังปรับปรุง

ลำดับ	รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
1.	ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม	280 บาท/โคม	200 บาท/โคม
2	การคำนวณค่าไฟ (หน่วยที่ใช้(kWh) * อัตราค่าไฟฟ้า	414.64 บาท/โคม/ปี	219 บาท/โคม/ปี
3	รวมค่าใช้จ่ายต่อโคม/ปี	694.64 บาท/โคม	419 บาท/โคม
4	รวมค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงจำนวน 3,600 โคม/ปี	2,500,704 บาท	1,508,400 บาท
5	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายหลังปรับปรุง	992,304 บาท	

ตารางที่ 4 แสดงผลการดำเนินการและติดตามผล

หัวข้อ	2567	2568	2569
จำนวนหลอดไฟร่วงลงพื้น (ครั้ง /ปี พ.ศ.)	0	0	0

5.ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการดำเนินโครงการปรับปรุงชุดโคมไฟภายในอาคารเฉลิมพระเกียรติ 50 พรรษา โดยเปลี่ยนจากหลอดไฟชนิด PLC เป็นหลอดไฟชนิด LED พบผลลัพธ์ที่ชัดเจนในหลายมิติ ได้แก่ ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ความปลอดภัย และการบริหารจัดการอาคาร ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 ด้านประสิทธิภาพและพลังงาน

หลอดไฟ LED ให้ค่าความสว่างเท่ากับ 1,200 ลูเมน เทียบเท่าหลอดเดิม แต่ใช้กำลังไฟฟ้าลดลงจาก 18 วัตต์ เหลือ 10 วัตต์ (ลดลง 8 วัตต์ต่อโคม) ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าไฟฟ้าลดลงจาก 414.64 บาทต่อโคมต่อปี เหลือ 219 บาทต่อโคมต่อปี คิดเป็นการลดลงประมาณ ร้อยละ 47 ต่อปี เมื่อคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้า (สมมติใช้งานเฉลี่ย 12 ชั่วโมง/วัน) พบว่า พลังงานที่ประหยัดได้ = 8 วัตต์ × 12 ชม./วัน × 365 วัน × 3,600 โคม = 126,144 kWh/ปี สะท้อนถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างเป็นรูปธรรม สอดคล้องกับแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

5.2 ด้านต้นทุนและความคุ้มค่า

ก่อนการปรับปรุง มีค่าใช้จ่ายรวมต่อโคมเท่ากับ 694.64 บาทต่อปี และหลังปรับปรุงลดลงเหลือ 419 บาทต่อโคมต่อปี เมื่อนำไปคำนวณกับจำนวนโคมทั้งหมด 3,600 โคม พบว่า

1. ค่าใช้จ่ายรวมก่อนปรับปรุง = 2,500,704 บาท/ปี
2. ค่าใช้จ่ายรวมหลังปรับปรุง = 1,508,400 บาท/ปี
3. สามารถประหยัดงบประมาณได้ = 992,304 บาท/ปี

แสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในระยะยาว และสนับสนุนการบริหารงบประมาณอย่างมีประสิทธิภาพ

5.3 ด้านความปลอดภัยและความเสถียรของระบบ

จากการติดตามผลในช่วงปี พ.ศ. 2567–2569 ไม่พบเหตุการณ์หลอดไฟร่วงหล่น (0 ครั้ง/ปี) สะท้อนถึงความมั่นคงแข็งแรงของชุดโคมไฟ และการลดความเสี่ยงด้านความปลอดภัยในพื้นที่ใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานด้านความปลอดภัยในระบบไฟฟ้าและอาคาร

5.4 ด้านการบริหารจัดการอาคาร

การปรับเปลี่ยนมาใช้หลอด LED ส่งผลให้อุณหภูมิบริเวณโคมไฟลดลงจากประมาณ 50°C เหลือ 27°C ช่วยลดการเสื่อมสภาพของขั้วหลอดและอุปกรณ์ไฟฟ้า ลดความถี่ในการซ่อมบำรุง และเพิ่มความต่อเนื่องในการใช้งานพื้นที่ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบริหารจัดการอาคารดีขึ้นอย่างชัดเจน

5.5 ด้านสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน

จากการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 126,144 kWh/ปี เมื่อนำมาคำนวณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้ค่า Emission Factor เฉลี่ยของประเทศไทยประมาณ 0.56 $KgCO_2e/kWh$ พบว่า ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ = 126,144 × 0.56 = 70,640 $KgCO_2e/year$ (ประมาณ 70.6 $tonCO_2e/year$)

ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนถึงการมีส่วนร่วมในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนของ United Nations โดยเฉพาะด้านการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การปรับปรุงระบบแสงสว่างโดยเปลี่ยนจากหลอดไฟชนิด PLC เป็นหลอดไฟชนิด LED สามารถยกระดับประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยแม้จะให้ค่าความสว่างเทียบเท่าเดิม แต่ใช้พลังงานลดลง ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าลดลงประมาณร้อยละ 47 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ International Energy Agency ที่ระบุว่าเทคโนโลยีแสงสว่างแบบ LED เป็นแนวทางสำคัญในการลดการใช้พลังงานในอาคาร และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าโดยรวม ในด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายรวมได้เกือบ 1 ล้านบาทต่อปี สะท้อนถึงความคุ้มค่าในการลงทุนในระยะยาว ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการบริหารทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและการลดต้นทุนการดำเนินงานขององค์กร ทั้งนี้ การลงทุนในเทคโนโลยีประหยัดพลังงานไม่เพียงช่วยลดค่าใช้จ่าย แต่ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการบริหารงบประมาณอย่างยั่งยืน ในมิติด้านความปลอดภัย ผลการดำเนินงานที่ไม่พบเหตุการณ์หลอดไฟร่วงหล่นภายหลังการปรับปรุง แสดงให้เห็นถึงความเสถียรของระบบและความเหมาะสมของวัสดุอุปกรณ์ที่เลือกใช้ โดยเฉพาะการลดความร้อนสะสมที่เป็นปัจจัยสำคัญของการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงานของ International Organization for Standardization ที่เน้นการควบคุมความเสี่ยงจากสภาพแวดล้อมและอุปกรณ์ในสถานที่ทำงานนอกจากนี้ ในมิติด้านสิ่งแวดล้อม การลดการใช้พลังงานไฟฟ้ากว่า 126,144 kWh ต่อปี ส่งผลให้สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 70.6 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ($KgCO_2e/year$) ซึ่งสะท้อนถึงบทบาทขององค์กรในการมีส่วนร่วมต่อการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม และสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนของ United Nations โดยเฉพาะด้านพลังงานสะอาดและการรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยสรุป การปรับปรุงระบบแสงสว่างในครั้งนี้ไม่เพียงเป็นการแก้ไขปัญหาเชิงเทคนิค แต่ยังเป็นการพัฒนาเชิงระบบที่ครอบคลุมทั้งด้านประสิทธิภาพ ความปลอดภัย เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาอาคารอื่นภายในองค์กรได้ต่อไป และการขยายผลในการกำหนดนโยบายการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าภายใต้นโยบายการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ส่งเสริมการพัฒนางานคุณภาพงานประจำ เพื่อแก้ไขปัญหาหรือพัฒนางานให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติพงษ์ สุวรรณศรี, และ ชาญชัย พงษ์ประเสริฐ. (2562). การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างของอาคารโรงพยาบาลและแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพ. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 26(3), 45–58.

[2] จิรภัทร วงศ์ศรี, และ คมสัน ศรีวัฒน์. (2563). การประเมินผลการเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด LED ในอาคารสาธารณะ. วารสารพลังงานและสิ่งแวดล้อม, 7(2), 12–23.

[3] วิทยา ศรีสุข, และ นภัสวรรณ ตั้งจิตร์. (2560). ปัจจัยด้านความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารสาธารณสุข. วารสารความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม, 26(4), 59–70.ขวัญฤทัย คำขาว และเตือนใจ สามห้วย. (2530). สีธรรมชาติ. วารสารคหเศรษฐศาสตร์, 30(2), 29-36.

[4] U.S. Department of Energy. (2020). Energy Savings Forecast of Solid-State Lighting in General Illumination Applications. รายงานประสิทธิภาพของระบบแสงสว่างและการประหยัดพลังงานจากเทคโนโลยีสมัยใหม่

[5] International Energy Agency. (2022). Energy Efficiency 2022. Paris: IEA. กล่าวถึงแนวโน้มการใช้พลังงานและมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร

[6] ธนกฤต อินทร์ทอง, และ ปรีชา ชัยกิจ. (2561). การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการปรับปรุงระบบแสงสว่างด้วยเทคโนโลยี LED. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, 14(1), 77–88.

[7] มหาวิทยาลัยมหิดล. (2565). นโยบายการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมและนโยบายการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและความยั่งยืนขององค์กร

[8] Occupational Safety and Health Administration. (2015). Safety and Health Regulations for General Industry (29 CFR 1910). มาตรฐานด้านความปลอดภัยในสถานที่ทำงาน รวมถึงความปลอดภัยด้านไฟฟ้า

[9] International Labour Organization. (2019). Safety and Health at the Heart of the Future of Work. แนวคิดด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงาน

[10] World Health Organization. (2010). WHO Guidelines for Indoor Air Quality and Lighting. แนวทางด้านสภาพแวดล้อมในอาคารที่ปลอดภัยและเหมาะสมต่อสุขภาพ

กรณีศึกษา: การช่วยเหลือและฟื้นฟูยูนิตทันตกรรมและระบบปั๊มลมในคลินิกทันตกรรม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

นิติรุจน์ กุลวิไชยศักดิ์, อนันต์ โตกุล, สุลักษณ์ คงเลิศ, สิทธิพร หาพร, และ ณัฐวิชช์ วงษ์ฮ้อเจริญ*

หน่วยซ่อมบำรุง งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนโยธี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
**Corresponding author: nattawit.von@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

อุทกภัยที่เกิดขึ้นในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ช่วงปลายเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2568 ส่งผลให้คลินิกทันตกรรมทั้งภาครัฐและเอกชนได้รับความเสียหายอย่างรุนแรง โดยเฉพาะยูนิตทันตกรรมและระบบปั๊มลมซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานสำคัญของการให้บริการทางรักษาทางทันตกรรม บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อถอดบทเรียนกระบวนการช่วยเหลือและฟื้นฟูยูนิตทันตกรรมและระบบปั๊มลมดังกล่าว จากการดำเนินงานจริงในพื้นที่ประสบภัยซึ่งเป็นการดำเนินงานของภาคีเครือข่ายวิชาชีพทันตกรรมประกอบด้วย ทันตแพทยสภา ทันตแพทยสมาคมแห่งประเทศไทย และราชวิทยาลัยทันตแพทย์แห่งประเทศไทยร่วมกับคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล คณะทันตแพทยศาสตร์และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในการจัดทีมเข้าดำเนินการช่วยเหลือและฟื้นฟูยูนิตทันตกรรมและระบบปั๊มลมของคลินิกทันตกรรมในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ การศึกษานี้ใช้การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive analysis) โดยรวบรวมข้อมูลจากการลงพื้นที่ปฏิบัติงานจริง การสังเกตภาคสนาม ข้อมูลจากผู้ปฏิบัติงานและผู้รับความช่วยเหลือ ผลการศึกษาพบว่า การช่วยเหลือและฟื้นฟูยูนิตทันตกรรมและระบบปั๊มลมสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีการบูรณาการองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมและทันตกรรมควบคู่กับการทำงานแบบสหวิชาชีพ นอกจากนี้ ยังพบว่าปัจจัยด้านจิตวิญญาณและความรู้สึกของผู้รับความช่วยเหลือ การสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการเตรียมความพร้อมเชิงระบบแนวทางการพัฒนากลไกความร่วมมือระหว่างสถาบันและการบูรณาการซึ่งสอดคล้องการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน (Sustainability Organization Development) SDG 17 ความร่วมมือเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน (Partnerships for the Goals)

คำสำคัญ: อุทกภัย / ยูนิตทันตกรรม / ระบบปั๊มลม / การฟื้นฟู / เครื่องมือทันตกรรม

Case study: Rescue and rehabilitation of dental units and air compressor systems in dental clinics Hat Yai district, Songkhla province

Nitirut Kunvichaisak, Anan Tokul, Sulak Kongleut, Sitthiporn Haphon, and Nattawit Wonghocharoen*

Maintenance Unit, Physical and Environmental Division
Faculty of Dentistry, Mahidol University, Yothi Road, Thung Phayathai Subdistrict, Ratchathewi District, Bangkok, Thailand
Corresponding author: nattawit.von@mahidol.ac.th

Abstract

The flood that occurred in Hat Yai District, Songkhla Province at the end of November 2025 resulted in the dental clinic being closed in 2025. Both the public and private sectors have been severely damaged, especially the dental units and compressor systems, which are important infrastructure for dental medical services. This article aims to extract lessons from the process of rescuing and restoring dental units and compressor systems. From the actual operation in the disaster area, which is the operation of the Dental Profession Network Partners, including: The Dental Council, the Dental Association of Thailand, and the Royal College of Dental Physicians of Thailand in collaboration with the Faculty of Dentistry. Mahidol University Faculty of Dentistry and Faculty of Engineering, Prince of Songkla University In organizing a team to rescue and restore the dental unit and air compressor system of the dental clinic in Hat Yai District. This study used descriptive analysis by collecting data from field trips. Field Observation Information from workers and recipients The results of the study showed that the rescue and rehabilitation of dental units and compression systems can be carried out effectively. There is an integration of engineering and dental knowledge along with multidisciplinary work. In addition, it was found that the spiritual and emotional factors of the aid recipients reflect the importance of systematic preparation, the approach to the development of inter-institutional cooperation mechanisms and integration that is in line with Sustainability Organization Development in accordance with Objective 17

Keywords: Flood / Dental unit / Air compression system / Rehabilitation / Dental instruments

1. บทนำ

จากสถานการณ์อุทกภัยครั้งใหญ่ในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ช่วงปลายเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2568 พบว่าสถานพยาบาลและคลินิกทันตกรรมหลายแห่งได้รับผลกระทบอย่างรุนแรง ส่งผลให้ยูนิตทันตกรรมและระบบปั๊มลมไม่สามารถใช้งานได้ตามปกติ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่ระบุว่าความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ทางการแพทย์ภายหลังภัยพิบัติ [1,2] การฟื้นฟูอุปกรณ์ทางการแพทย์ภายหลังอุทกภัยจึงจำเป็นต้องดำเนินการอย่างเป็นระบบ โดยอาศัยหลักการทางวิศวกรรมชีวการแพทย์และแนวทางการจัดการอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐาน เช่น การกำจัดความชื้น การตรวจสอบค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้า และการทดสอบการทำงานก่อนนำกลับมาใช้งาน เพื่อป้องกันความเสียหายซ้ำและลดความเสี่ยงต่อผู้ปฏิบัติงานและผู้ป่วย [3,4,5] ทั้งนี้แนวทางดังกล่าวควรดำเนินควบคู่กับการบริหารจัดการทรัพยากรและการวางแผนเชิงระบบ เพื่อให้การฟื้นฟูมีประสิทธิภาพและเกิดความต่อเนื่องของบริการสุขภาพ [6,7] ด้วยความตระหนักถึงความสำคัญของการฟื้นฟูระบบบริการสุขภาพให้กลับมาดำเนินการได้โดยเร็ว ประกอบด้วยหน่วยงานหลัก ได้แก่ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้ร่วมกันบูรณาการความร่วมมือทั้งด้านวิชาการ วิชาชีพ และวิศวกรรม เพื่อดำเนินการลงพื้นที่ฟื้นฟู ซ่อมแซม และตรวจสอบระบบอุปกรณ์ทางทันตกรรมที่ได้รับความเสียหาย ภายใต้การสนับสนุนและประสานงานในระดับพื้นที่ การดำเนินงานดังกล่าวมุ่งเน้นการวางแผนอย่างเป็นระบบ เพื่อให้การฟื้นฟูเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ลดความเสี่ยงต่อบุคลากร และสามารถเปิดให้บริการแก่ประชาชนได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งความร่วมมือในครั้งนี้สะท้อนถึงพลังของเครือข่ายสถาบันอุดมศึกษาในการตอบสนองต่อสถานการณ์ภัยพิบัติ และเป็นต้นแบบของการบูรณาการองค์ความรู้ข้ามสาขาวิชา เพื่อสนับสนุนระบบบริการสุขภาพในภาวะวิกฤตอย่างยั่งยืนต่อไป [8,9,10]

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษากระบวนการดำเนินงานในการช่วยเหลือและฟื้นฟูยูนิตทันตกรรมและระบบปั๊มลมในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากอุทกภัย

2.2 เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิผลของการฟื้นฟูอุปกรณ์ในด้านการกลับมาใช้งาน ความปลอดภัย และความพร้อมในการให้บริการ

2.3 เพื่อเสนอแนวทางในการพัฒนาระบบการเตรียมความพร้อม การบริหารจัดการ และความร่วมมือระหว่างหน่วยงานเพื่อรองรับสถานการณ์ภัยพิบัติในอนาคตอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

3. ขอบเขตของการศึกษา

คลินิกทันตกรรมที่ได้รับผลกระทบจากเหตุอุทกภัยในพื้นที่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พ.ศ. 2568 ดำเนินการช่วยเหลือฟื้นฟูยูนิตทันตกรรมและระบบปั๊มลมภายในคลินิกทันตกรรม

4. วิธีการศึกษา

การดำเนินการปฏิบัติการช่วยเหลือฟื้นฟูและซ่อมเครื่องมือทางทันตกรรมโดยความร่วมมือหน่วยงาน ประกอบด้วย ภาคีองค์กรวิชาชีพทันตกรรม ร่วมกับ ทันตแพทยสภา , คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล , คณะทันตแพทยศาสตร์ ร่วมกับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และจิตอาสานักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ จำนวน 32 คน โดยปฏิบัติงานระหว่างวันที่ 3-5 ธันวาคม 2568 ในพื้นที่น้ำท่วม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

4.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

4.1.1 ประชุมวางแผนงาน เพื่อกำหนดแผนปฏิบัติการหน้าที่และความรับผิดชอบของแต่ละฝ่าย การกำหนดระยะเวลาในการดำเนินงานแต่ละขั้นตอนอย่างเหมาะสม ตลอดจนการวางแนวทางและมาตรการด้านความปลอดภัยสำหรับการเข้าปฏิบัติงานในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และบรรลุผลตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

4.1.2 มอบหมายหน้าที่ความรับผิดชอบ (ตารางที่ 1) ประกอบด้วย

1. ทีมคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ทำหน้าที่ เป็นผู้ปฏิบัติงานหลักในการลงพื้นที่ให้ดำเนินการช่วยเหลือฟื้นฟู ตรวจสอบ แก้ไข ซ่อมแซม และให้ความช่วยเหลือคลินิกทันตกรรมในพื้นที่อุทกภัย
2. คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทำหน้าที่ ประสานงานในพื้นที่ อำนวยการ สนับสนุนด้านการจัดการ ประสานเครือข่าย และอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานของทีมปฏิบัติการ
3. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทำหน้าที่ สนับสนุนด้านวิศวกรรมและเทคนิค ได้แก่ การจัดเตรียมสถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง และสถานที่ทดสอบและอบขดลวดมอเตอร์

4.1.3 การเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์

1. ปั๊มฉีดน้ำแรงดันสูง
2. เครื่องเป่าลม
3. อุปกรณ์เครื่องมือช่าง
4. อุปกรณ์ถอดตัวมอเตอร์
5. น้ำมันเครื่องสำหรับปั๊มลม เบอร์ SAE30
6. อุปกรณ์สำหรับบันทึกข้อมูล ปากกา สติกเกอร์
7. รองเท้าบู๊ท ถุงมือ ถุงขยะ อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (PPE)
8. แปรงทำความสะอาด ฟองน้ำ น้ำยาล้างจาน ผงซักฟอก

ตารางที่ 1 แบ่งทีมปฏิบัติหน้าที่และหน้าที่ความรับผิดชอบ

ทีม	รายละเอียด	หัวหน้าทีม	หน้าที่ความรับผิดชอบ
ทีม 1	ทีมช่างคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์	นิติรุจน์	ลงพื้นที่ให้ดำเนินการช่วยเหลือฟื้นฟู ตรวจสอบ แก้ไข ซ่อมแซมยูนิตทันตกรรมและปั๊มลม
ทีม 2	ทีมช่างคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์	อนันต์	ลงพื้นที่ให้ดำเนินการช่วยเหลือฟื้นฟู ตรวจสอบ แก้ไข ซ่อมแซมยูนิตทันตกรรมและปั๊มลม
ทีม 3	ทีมช่างคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์	สุลักษณ์	ลงพื้นที่ให้ดำเนินการช่วยเหลือฟื้นฟู ตรวจสอบ แก้ไข ซ่อมแซมยูนิตทันตกรรมและปั๊มลม

ตารางที่ 1 แบ่งทีมปฏิบัติหน้าที่และหน้าที่ความรับผิดชอบ (ต่อ)

ทีม	รายละเอียด	หัวหน้าทีม	หน้าที่ความรับผิดชอบ
ทีม 4	ทีมช่างคณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์ นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์	ธิติวัฒน์	ลงพื้นที่ให้ดำเนินการช่วยเหลือฟื้นฟู ตรวจสอบ แก้ไข ซ่อมแซมยูนิตทันตกรรมและปั๊มลม
ทีม 5	ทีมช่างคณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์	ดำรงศักดิ์	ตรวจสอบ ทดสอบ การอบขดลวดมอเตอร์
ทีม6	ทีมช่างคณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์	ดุจดาว	ประสานงาน รวบรวมข้อมูล เตรียมรถตู้ ติดต่อหน่วยงาน และอาหาร น้ำดื่ม

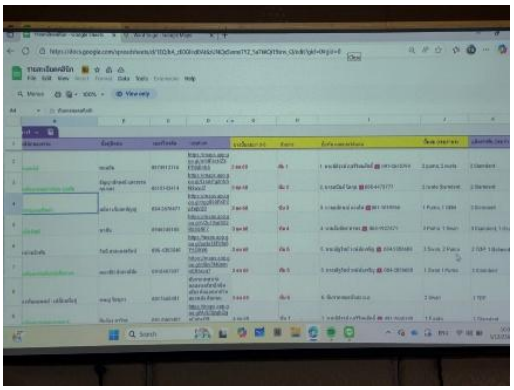
4.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 1 ประชุมชี้แจงแนวทางปฏิบัติงานการวางแผนงานดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2

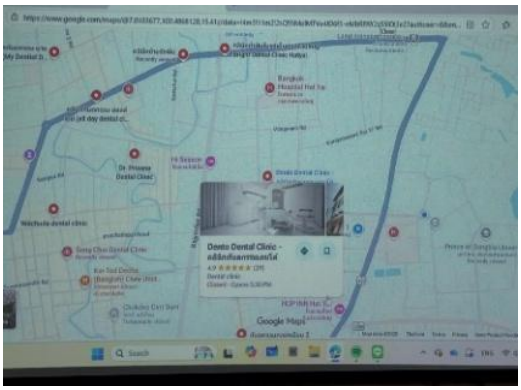
รูปที่ 1 แสดงการประชุมชี้แจงแนวทางปฏิบัติงานการวางแผนงาน

รูปที่ 2 แสดงการประชุมชี้แจงแนวทางปฏิบัติงานการวางแผนงาน

ขั้นตอนที่ 2 ข้อมูลคลินิก ผู้ประสานงานติดต่อคลินิก ข้อมูลการเดินทาง ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 แสดงข้อมูลคลินิกผู้ประสานงานติดต่อคลินิก



รูปที่ 4 แสดงข้อมูลการเดินทางปฏิบัติงาน

ขั้นตอนที่ 3 : ทีมเตรียมความพร้อม เครื่องมือ อุปกรณ์ ลงพื้นที่ปฏิบัติงานประจำวัน ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6

รูปที่ 5 แสดงเตรียมความพร้อมการลงพื้นที่ปฏิบัติงานประจำวัน

รูปที่ 6 แสดงเตรียมความพร้อมการลงพื้นที่ปฏิบัติงานประจำวัน

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบสภาพความเสียหายภายในคลินิกประเมินวางแผนงาน ดังแสดงในรูปภาพที่ 7 และ 8

รูปที่ 7 แสดงการตรวจสอบสภาพความเสียหายภายในคลินิก

รูปที่ 8 แสดงการตรวจสอบสภาพความเสียหายภายในคลินิก

ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบสภาพความเสียหายของยูนิตทันตกรรมและปั๊มลม ดังแสดงในรูปภาพที่ 9 และ 10

รูปที่ 9 แสดงการตรวจสอบสภาพความเสียหายภายในคลินิก

รูปที่ 10 แสดงการตรวจสอบสภาพความเสียหายภายในคลินิก

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจเช็คระบบไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงานภายในคลินิก ดังแสดงในรูปที่ 11 และ 12

รูปที่ 11 แสดงกาตรวจเช็คระบบไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

รูปที่ 12 แสดงการตรวจเช็คเมนไฟปั๊มลม

ขั้นตอนที่ 7 การถอดล้างทำความสะอาดยูนิตทันตกรรมและปั๊มลม ดังแสดงในรูปที่13 และ 14

รูปที่ 13 แสดงการล้างทำความสะอาดยูนิตทันตกรรม

รูปที่ 14 แสดงการล้างทำความสะอาดยูนิตทันตกรรม

ขั้นตอนที่ 8 การถอดมอเตอร์ปั๊มลมและล้างทำความสะอาด ดังแสดงในรูปที่ 15 และ 16

รูปที่ 15 แสดงการล้างทำความสะอาดยูนิตทันตกรรม

รูปที่ 16 แสดงการล้างทำความสะอาดยูนิตทันตกรรม

ขั้นตอนที่ 9 ตรวจเช็คขดลวดมอเตอร์ว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ดังแสดงในรูปที่ 17 และ 18

รูปที่ 17 แสดงการตรวจเช็คขดลวดมอเตอร์

รูปที่ 18 แสดงการตรวจเช็คขดลวดมอเตอร์

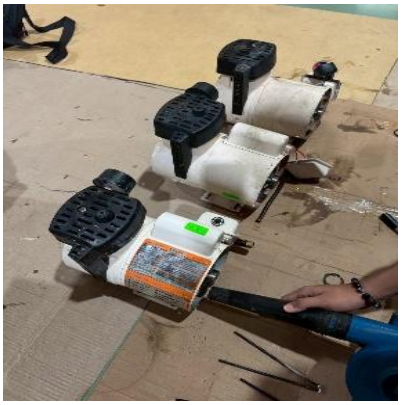
ขั้นตอนที่ 10 จดบันทึกชุดมอเตอร์ปั๊มลมและข้อมูลคลินิกก่อนส่งมอบให้คลินิกดังแสดงในรูปที่ 19 และ 20

รูปที่ 19 แสดงการบันทึกข้อมูลอุปกรณ์แต่ละคลินิก

รูปที่ 20 แสดงการบันทึกข้อมูลอุปกรณ์แต่ละคลินิก

ขั้นตอนที่ 11 การเตรียมชุดมอเตอร์เพื่อทำการอบดังแสดงในรูปที่ 21 และ 22

รูปที่ 21 แสดงการเตรียมชุดมอเตอร์เพื่อทำการอบ



รูปที่ 22 แสดงการเตรียมชุดมอเตอร์เพื่อทำการอบ

ขั้นตอนที่ 12 การอบขดลวดมอเตอร์ใช้ระยะเวลา 18-20 ชั่วโมง อุณภูมิความร้อนเฉลี่ย 70 องศาเซลเซียส ดังแสดงในที่ 23 และ 24

รูปที่ 23 แสดงการอบขดลวดมอเตอร์

รูปที่ 24 แสดงการอบขดลวดมอเตอร์

ขั้นตอนที่ 13 ตรวจวัดขดลวดมอเตอร์หลังอบจะต้องมีค่ามากกว่า 1–5 MΩ ดังแสดงในรูปที่ 25 และ 26

รูปภาพที่25 แสดงการตรวจวัดขดลวดมอเตอร์หลังอบ

รูปภาพที่24 แสดงการตรวจขดลวดมอเตอร์หลังอบ

ขั้นตอนที่ 14 ประกอบชุดมอเตอร์เข้ากับปั๊มลม ดังแสดงในรูปที่ 27 และ 28

รูปที่ 27 แสดงการประกอบชุดมอเตอร์เข้ากับปั๊มลม

รูปที่ 28 แสดงการประกอบชุดมอเตอร์เข้ากับปั๊มลม

ขั้นตอนที่ 15 ต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องปั๊มลมก่อนทอสอบเลือกน้ำมันเฉพาะสำหรับปั๊มลม ดังแสดงในรูปที่ 29 และ 30

รูปที่ 29 แสดงตัวอย่างน้ำมันเครื่องสำหรับปั๊มลม

รูปที่ 30 แสดงตัวอย่างน้ำมันเครื่องสำหรับปั๊มลม

ขั้นตอนที่ 16 การทดสอบการทำงานต้องตรวจเช็คระบบไฟฟ้าและการทำงานของปั๊มลมอย่างละเอียด โดยเน้นสังเกต ทิศทางการหมุนของพัดลมมอเตอร์, อุณหภูมิที่สูงขึ้นผิดปกติ, การตัดต่อของสวิตช์แรงดัน, รอยรั่วตามข้อต่อต่างๆ และ วัดค่ากระแสไฟฟ้า เพื่อป้องกันมอเตอร์ไหม้ซ้ำ ดังแสดงในรูปที่ 31,32

รูปที่ 31 แสดงการสอบการทำงานปั๊มลม

รูปที่ 32 แสดงการแสดงการสอบการทำงานปั๊มลม

ขั้นตอนที่ 17 ประชุมสรุปผลการดำเนินงานและ ดังแสดงในรูปที่ 33 และ 34

รูปที่ 33 แสดงการประชุมสรุปผลการดำเนินงาน

รูปที่ 34 แสดงการประชุมสรุปผลการดำเนินงาน

4.2 สรุปผลการดำเนินการ

ผลการดำเนินการให้การช่วยเหลือฟื้นฟูยูนิตทันตกรรมและปั๊มลมของคลินิกทันตกรรมในพื้นที่หาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยแบ่งทีมทำงานออกเป็น 5 ทีม ประกอบด้วย ทีมลงพื้นที่ดำเนินการช่วยเหลือฟื้นฟู ตรวจสอบ แก้ไข ซ่อมแซม จำนวน 3 ทีม ทีมตรวจสอบ ทดสอบ และอบขดลวดมอเตอร์ จำนวน 1 ทีม และทีมประสานงาน รวบรวมข้อมูล ติดต่อหน่วยงาน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการดำเนินการ

ลำดับ	สถานที่	ยูนิตทันตกรรม (เครื่อง)	ปั๊มลม (เครื่อง)	ชนิดปั๊มลม		ขนาด Motor			ผลการการดำเนินการ
				น้ำมัน	Oil free	1Hp	1.5 Hp	3 Hp	
1	บ้านรักฟัน	3	3	2	1	1	2	-	ใช้งานได้ตามปกติ
2	คลินิกเดนโต้	4	3	-	2	1	2	-	ใช้งานได้ตามปกติ
3	คลินิกธรณินทร์	6	4	2	2	-	2	2	ใช้งานได้ตามปกติ
4	คลินิกสมศักดิ์	2	2	2	-	-	2	-	ใช้งานได้ตามปกติ
5	คลินิก Dentistar	4	2	2	-	-	2	-	ใช้งานได้ตามปกติ
6	คลินิก My Dentist	4	2	2	-	-	2	-	ใช้งานได้ตามปกติ
7	คลินิกไบร์ทเด็นทัล	2	2	-	2	1		1	ใช้งานได้ตามปกติ
8	รพ.สต.คลองแห	2	1	-	1	-	1	-	ใช้งานได้ตามปกติ
9	รพ.สต.คูเต่า	2	2	-	2	-	2	-	ใช้งานได้ตามปกติ
10	ทันตกรรมรัถการ	2	2	2	-	-	-	2	
	รวมจำนวนทั้งสิ้น	31	23	12	11	3	15	5	

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการดำเนินการช่วยเหลือฟื้นฟูยูนิตทันตกรรมจำนวน 31 เครื่อง และระบบปั๊มลมจำนวน 23 เครื่อง ภายหลังเหตุอุทกภัยในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่า ระบบปั๊มลมสามารถจำแนกตามประเภทได้เป็นชนิดใช้น้ำมันจำนวน 12 เครื่อง (ร้อยละ 52.17) และชนิดไม่ใช้น้ำมัน (Oil Free) จำนวน 11 เครื่อง (ร้อยละ 47.83) ซึ่งมีสัดส่วนใกล้เคียงกันเมื่อจำแนกตามขนาดมอเตอร์ พบว่าขนาด 1.5 HP มีจำนวนมากที่สุด 15 เครื่อง (ร้อยละ 65.22) รองลงมาคือขนาด 3 HP จำนวน 5 เครื่อง (ร้อยละ 21.74) และขนาด 1 HP จำนวน 3 เครื่อง (ร้อยละ 13.04) โดยพบว่าระบบปั๊มลมสามารถกลับมาใช้งานตามปกติ (คิดเป็นร้อยละ100) ได้ภายหลังการดำเนินการฟื้นฟู ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพของกระบวนการดำเนินงานที่เป็นระบบและสอดคล้องกับแนวทางการบริหารจัดการอุปกรณ์ทางการแพทย์ในภาวะภัยพิบัติความสำเร็จดังกล่าวเกิดจากการดำเนินการตามหลักวิศวกรรม โดยเฉพาะการกำจัดความชื้นและการตรวจสอบระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในการป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์รวมถึงการทำงานร่วมกันระหว่างหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการจัดการภัยพิบัติที่เน้นความร่วมมือแบบบูรณาการ เมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการฟื้นฟู พบว่าความพร้อมในการให้บริการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ลดความเสี่ยงด้านความปลอดภัย และสามารถฟื้นฟูการให้บริการได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการจัดการระบบสุขภาพในภาวะฉุกเฉิน

การวิเคราะห์ปัจจัยความสำเร็จ อุปสรรค และการเปรียบเทียบก่อน–หลังการฟื้นฟู

จากการดำเนินการฟื้นฟูยูนิตทันตกรรมและระบบปั๊มลมภายหลังเหตุอุทกภัยในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่าการดำเนินงานโดยรวมประสบความสำเร็จในระดับสูง โดยเฉพาะระบบปั๊มลมที่สามารถกลับมาใช้งานได้ครบถ้วน คิดเป็นร้อยละ 100 สะท้อนถึงประสิทธิภาพของกระบวนการฟื้นฟูที่ดำเนินการอย่างเป็นระบบและสอดคล้องกับหลักวิศวกรรม ความสำเร็จดังกล่าวเกิดจากการบูรณาการหลายปัจจัยร่วมกันทั้งในด้านเทคนิคและการบริหารจัดการ โดยการทำความสะอาด การกำจัดความชื้น และการตรวจสอบระบบไฟฟ้าอย่างเหมาะสม มีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยงของการลัดวงจรและความเสียหายของอุปกรณ์ขณะเดียวกัน การวางแผนการดำเนินงานอย่างเป็นขั้นตอน การจัดลำดับความสำคัญของอุปกรณ์ และการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยให้กระบวนการฟื้นฟูเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิผล ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการจัดการภาวะฉุกเฉินในสถานพยาบาล เมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการฟื้นฟู พบว่าก่อนดำเนินการอุปกรณ์ส่วนใหญ่ไม่สามารถใช้งานได้และมีความเสี่ยงด้านความปลอดภัย โดยเฉพาะไฟฟ้าลัดวงจรและความเสียหายของมอเตอร์ขณะที่ภายหลังการฟื้นฟู อุปกรณ์สามารถกลับมาใช้งานได้ตามปกติ ส่งผลให้ความพร้อมในการให้บริการทางทันตกรรมเพิ่มขึ้นและลดความเสี่ยงด้านความปลอดภัยอย่างมีนัยสำคัญ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวทางด้านวิศวกรรมและสาธารณสุขที่ระบุว่าความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความเสียหายของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายหลังอุทกภัยและการกำจัดความชื้นร่วมกับการตรวจสอบระบบไฟฟ้าเป็นขั้นตอนสำคัญก่อนการนำอุปกรณ์กลับมาใช้งานรวมถึงแนวทางการดำเนินงานแบบบูรณาการระหว่างหลายภาคส่วนที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการฟื้นฟูและความยั่งยืนของระบบบริการสุขภาพ โดยสรุปการฟื้นฟูอุปกรณ์ในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการผสมผสานองค์ความรู้ด้านเทคนิคการบริหารจัดการ และความร่วมมือระหว่างหน่วยงาน สามารถช่วยให้การฟื้นฟูอุปกรณ์ทางการแพทย์ภายหลังภัยพิบัติเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในสถานการณ์ลักษณะเดียวกันในอนาคตได้

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการฟื้นฟูยูนิตทันตกรรมและระบบปั๊มลมภายหลังเหตุอุทกภัยสามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภายใต้กรอบการบริหารจัดการเชิงระบบและการบูรณาการองค์ความรู้แบบสหวิชาชีพ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการจัดการภัยพิบัติในสถานพยาบาล โดยปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จ ได้แก่ การดำเนินงานอย่างรวดเร็วภายใน 24–72 ชั่วโมงแรก การปฏิบัติตามขั้นตอนทางวิศวกรรมอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะการกำจัดความชื้นและการตรวจสอบระบบไฟฟ้า รวมถึงความร่วมมือระหว่างทีมวิศวกรรม ทันตกรรม และผู้ผลิตอุปกรณ์ ซึ่งเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับกรอบการจัดการภาวะฉุกเฉินด้านสุขภาพผลการดำเนินงานสะท้อนให้เห็นว่ากระบวนการฟื้นฟูที่มีการวางแผนอย่างเป็นขั้นตอนและการจัดการทรัพยากรอย่างเหมาะสม สามารถลดความเสียหายของอุปกรณ์และลดระยะเวลาการหยุดชะงักของบริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้สอดคล้องกับรายงานสถานการณ์ในพื้นที่ที่ระบุถึงผลกระทบต่อระบบบริการสุขภาพจากอุทกภัยอย่างไรก็ตาม การดำเนินงานยังมีข้อจำกัดในด้านข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ต้นทุนและระยะเวลาในแต่ละขั้นตอน รวมถึงการขาดการติดตามผลในระยะยาว ซึ่งอาจมีผลต่อการประเมินความคงทนของอุปกรณ์ในด้านการประยุกต์ใช้ ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการฟื้นฟูอุปกรณ์ทางการแพทย์ในพื้นที่ที่ประสบภัยพิบัติอื่น โดยเน้นการพัฒนาแนวทางปฏิบัติมาตรฐาน (SOP) และการเตรียมความพร้อมด้านทรัพยากร ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางของกระทรวงสาธารณสุขและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการออกแบบโครงสร้างพื้นฐานให้รองรับภัยพิบัติในอนาคต เมื่อพิจารณาในมิติของการพัฒนาอย่างยั่งยืนการดำเนินงานครั้งนี้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) โดยเฉพาะด้านสุขภาพ โครงสร้างพื้นฐาน และความร่วมมือระหว่างหน่วยงาน ซึ่งสะท้อนว่าการฟื้นฟูครั้งนี้ไม่เพียงเป็นการซ่อมแซมอุปกรณ์ แต่ยังเป็นการเสริมสร้างความเข้มแข็งของระบบบริการสุขภาพในระยะยาว

6.1 ข้อเสนอแนะ

6.1.1 ด้านการปฏิบัติงาน

ควรมีการทำความสะอาดและอบไล่ความชื้นโดยเร็วภายใน 24–72 ชั่วโมงแรกภายหลังเกิดเหตุ เพื่อเพิ่มโอกาสในการฟื้นฟูอุปกรณ์ให้กลับมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพควบคู่กับการตรวจสอบค่าความต้านทานฉนวนไฟฟ้าก่อนการใช้งานทุกครั้งรวมถึงการจัดลำดับความสำคัญของอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการให้บริการ

6.1.2 ด้านการบริหารจัดการ

ควรมีการพัฒนาแนวทางปฏิบัติมาตรฐาน (SOP) สำหรับการฟื้นฟูอุปกรณ์หลังอุทกภัย และเสริมสร้างระบบความพร้อมในสถานพยาบาล โดยอ้างอิงแนวทางจากกระทรวงสาธารณสุขและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการออกแบบระบบโครงสร้างพื้นฐานให้รองรับภัยพิบัติในอนาคต

6.1.3 ด้านวิชาการและการพัฒนา

ควรมีการติดตามผลระยะยาวของอุปกรณ์หลังการฟื้นฟู และเก็บข้อมูลเชิงปริมาณเพิ่มเติม เช่น ระยะเวลา ต้นทุน และอัตราความสำเร็จ เพื่อพัฒนาเป็นองค์ความรู้และแนวทางสำหรับการประยุกต์ใช้ในหน่วยบริการอื่น โดยอาศัยข้อมูลจากการดำเนินงานภาคสนามร่วมด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันการแพทย์ฉุกเฉินแห่งชาติ. (2563)แนวทางการจัดการภาวะฉุกเฉินและภัยพิบัติในสถานพยาบาล. นนทบุรี: สพฉ.;
[2] กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2562)มาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อรองรับภัยพิบัติ. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงมหาดไทย;
[3] World Health Organization. (2022) Health emergency and disaster risk management framework. Geneva: WHO.
[4] กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย.(2566) แนวทางการบริหารจัดการภัยพิบัติในสถานพยาบาล. กรุงเทพมหานคร: ปภ.;
[5] สมาคมทันตแพทย์แห่งประเทศไทย. (2565)แนวทางมาตรฐานความปลอดภัยทางทันตกรรม. กรุงเทพมหานคร: สมาคมทันตแพทย์แห่งประเทศไทย;
[6] กระทรวงสาธารณสุข. (2564)แผนบริหารจัดการความเสี่ยงและแผนรองรับภาวะฉุกเฉินด้านสาธารณสุข. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงสาธารณสุข;
[7] สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสงขลา.(2568) รายงานสถานการณ์อุทกภัยและผลกระทบต่อสถานพยาบาลในพื้นที่จังหวัดสงขลา. สงขลา: สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสงขลา;
[8] United Nations. (2015) Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations;
[9] งานภาคสนามคณะทำงานฟื้นฟูยูนิตทันตกรรม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. (2568)รายงานการดำเนินงานฟื้นฟูภายหลังอุทกภัย;
[10] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.(2561) มาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้าและความปลอดภัยในอาคาร. กรุงเทพมหานคร: วสท.

แบบประเมินความพึงพอใจและประสิทธิภาพการใช้งานระบบคัดกรองการรับนักศึกษา TCAS รอบ Portfolio ผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ณิชชา พูลเอี่ยม และ กิตติกานต์ นาวาพงส์*

งานเทคโนโลยีสารสนเทศและสื่อการเรียนการสอน คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
**Corresponding author: kittikan.naw@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

การคัดเลือกนักศึกษา TCAS รอบ Portfolio คณะเภสัชศาสตร์ มีความซับซ้อนเนื่องจากมีผู้สมัครจำนวนมากถึง 300–400 คนต่อปี และมีคณะกรรมการประเมิน 20-25 คนต่อปี กระบวนการเดิมต้องเผชิญกับข้อจำกัดด้านเวลาและปริมาณเอกสารที่ต้องพิจารณา งานเทคโนโลยีสารสนเทศฯ จึงได้พัฒนาระบบคัดกรอง “MUPY Portfolio Scoring System - IT Support (MUPY-PSSIT)” ผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ เพื่อยกระดับประสิทธิภาพการจัดการข้อมูล โดยประยุกต์ใช้แนวคิด Single Screen Design เพื่อรวบรวมฟังก์ชันการทำงานไว้ในหน้าจอเดียว และรองรับการใช้งานในลักษณะ BYOD (Bring Your Own Device) เพื่อความคล่องตัวในการใช้งานบนอุปกรณ์ที่หลากหลายของคณะกรรมการ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความพึงพอใจและประสิทธิภาพการใช้งานระบบของบุคลากรสายวิชาการ โดยใช้หลักการออกแบบ UX/UI เป็นกรอบในการประเมิน จากการศึกษาพบว่าระบบสามารถช่วยลดความซับซ้อนในขั้นตอนการตรวจเอกสารและการคำนวณคะแนน ทำให้การดำเนินงานมีความถูกต้อง แม่นยำ รวดเร็วขึ้น และด้วยการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ที่เน้นความต่อเนื่องและความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูล ระบบ MUPY-PSSIT จึงสามารถสนับสนุนการทำงานของกรรมการได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบสารสนเทศที่ยั่งยืนเพื่อรองรับกระบวนการคัดเลือกนักศึกษาที่มีคุณภาพและตอบโจทย์การเป็นองค์กรดิจิทัลต่อไป

คำสำคัญ: MUPY-PSSIT / TCAS รอบ Portfolio / Single Screen Design / BYOD / UX/UI

Satisfaction and efficiency evaluation of the online TCAS portfolio screening system, Faculty of Pharmacy, Mahidol University

Nitcha Pooleiam and Kittikan Nawapong*

Information Technology and Instructional Media, Faculty of Pharmacy, Mahidol University, Thailand
**Corresponding author: kittikan.naw@mahidol.ac.th*

Abstract

The student selection process for the Faculty of Pharmacy via the TCAS Portfolio round is characterized by high complexity, handling 300–400 applicants and requiring evaluation from 20–25 committee members annually. The traditional process encountered significant limitations regarding time constraints and the immense volume of physical documentation. Consequently, the Information Technology Unit developed the "MUPY Portfolio Scoring System - IT Support (MUPY-PSSIT)," an online screening platform designed to enhance data management efficiency. This system integrates a Single Screen Design concept to centralize all functional requirements within a unified interface and supports Bring Your Own Device (BYOD) to facilitate seamless access across diverse hardware utilized by the committee.

This study aims to evaluate user satisfaction and the operational efficiency of the system among academic staff, using UX/UI design principles as the evaluative framework. The findings reveal that the system effectively reduces complexity in document verification and score calculation. Furthermore, it enhances operational accuracy, precision, and speed. Through a user interface design that prioritizes workflow continuity and accessibility, MUPY-PSSIT effectively supports the committee's decision-making process. It serves as a sustainable prototype for information system development, supporting high-quality student recruitment and aligning with the faculty's strategic goals of becoming a digital organization.

Keywords: MUPY-PSSIT / TCAS Portfolio Round / Single Screen Design / BYOD / UX/UI

1. บทนำ

ระบบการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา **TCAS (Thai University Central Admission System)** เป็นระบบกลางของประเทศไทยที่ใช้สำหรับการรับสมัครและคัดเลือกนักเรียนเข้าศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา โดยพัฒนาขึ้นเพื่อให้กระบวนการคัดเลือกมีมาตรฐานเดียวกัน เพิ่มความโปร่งใส เป็นธรรม และลดความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงโอกาสทางการศึกษา [1] ระบบ TCAS เปิดโอกาสให้นักเรียนสามารถสมัครเข้าศึกษาต่อได้หลายรอบตามคุณสมบัติและความถนัดของตนเอง เช่น รอบแฟ้มสะสมผลงาน (Portfolio) รอบโควตา รอบสอบข้อเขียน และรอบแอดมิชชั่น ซึ่งแต่ละรอบมีเกณฑ์การพิจารณาที่แตกต่างกัน ทั้งด้านผลการเรียน คะแนนสอบกลาง ความสามารถพิเศษ และการสอบสัมภาษณ์ [1], [2] นอกจากนี้ TCAS ยังถูกออกแบบมาเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของระบบแอดมิชชั่นเดิมที่มีความซับซ้อนและสร้างภาระค่าใช้จ่ายให้กับผู้สมัคร โดยช่วยให้นักเรียนสามารถวางแผนการสมัครเรียนได้อย่างเป็นระบบ ลดการสอบซ้ำซ้อน และเพิ่มความชัดเจนในเส้นทางการศึกษาต่อ ทั้งยังเอื้อต่อการบริหารจัดการของสถาบันอุดมศึกษาในการคัดเลือกนักศึกษาที่มีคุณสมบัติเหมาะสมอย่างมีประสิทธิภาพ

การคัดเลือกนักศึกษาผ่านระบบ TCAS รอบแฟ้มสะสมผลงาน (Portfolio) เป็นกระบวนการที่มุ่งเน้นการประเมินศักยภาพของผู้สมัครในมิติที่หลากหลายและรอบด้าน มากกว่าการพิจารณาเพียงผลการเรียนหรือคะแนนสอบกลาง ผู้สมัครต้องจัดเตรียมแฟ้มสะสมผลงานซึ่งประกอบด้วยเอกสารและหลักฐานที่สะท้อนถึงความสามารถทางวิชาการ ผลงานกิจกรรม ความสามารถพิเศษ ความสนใจเฉพาะด้าน รวมถึงแรงจูงใจและเป้าหมายในการเข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาที่เลือก รอบนี้จึงเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงอัตลักษณ์และศักยภาพที่แท้จริงของตนเอง อย่างไรก็ตาม ด้วยปริมาณข้อมูลที่ซับซ้อน เอกสารจำนวนมากที่ประกอบการพิจารณา และการคำนวณคะแนนภาพรวมรายบุคคลนั้น การพัฒนาระบบสารสนเทศที่สามารถจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นโครงสร้าง รองรับการจัดการเอกสาร กำหนดเกณฑ์คะแนน และประมวลผลอัตโนมัติ จึงมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพ ลดภาระงานของคณะกรรมการ พร้อมทั้งสนับสนุนการตัดสินใจคัดเลือกให้มีความเป็นธรรมและโปร่งใสยิ่งขึ้น

งานเทคโนโลยีสารสนเทศและสื่อการเรียนการสอน คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เล็งเห็นความสำคัญดังกล่าว จึงได้พัฒนาระบบคัดกรองการรับนักศึกษาผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ “MUPY Portfolio Scoring System – IT Support (MUPY-PSSIT)” ร่วมกับงานการศึกษาเภสัชศาสตรบัณฑิต เพื่อยกระดับการบริหารจัดการหลักสูตรเภสัชศาสตรบัณฑิต ซึ่งมีผู้สมัครเฉลี่ย 300–400 คน และคณะกรรมการประเมินกว่า 20–25 คนในแต่ละปี โดยระบบนี้ให้ความสำคัญกับการออกแบบประสบการณ์ผู้ใช้ (User Experience: UX) และส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface: UI) ควบคู่ไปกับการพัฒนาฟังก์ชันการทำงาน โดยนำแนวคิด Single Screen Design มาใช้รวบรวมข้อมูลและฟังก์ชันสำคัญไว้ในหน้าจอเดียว เพื่อลดความซับซ้อนของขั้นตอน ลดภาระการเรียนรู้ และป้องกันความผิดพลาดในการประเมิน [6] นอกจากนี้ ระบบยังถูกออกแบบให้มีการแสดงผลที่ชัดเจน เป็นมิตรต่อผู้ใช้ และรองรับรูปแบบ Bring Your Own Device (BYOD) เพื่อให้คณะกรรมการสามารถประเมินผลได้อย่างสะดวกบนอุปกรณ์ที่หลากหลาย ช่วยเพิ่มความรวดเร็วและความถูกต้องแม่นยำในการให้คะแนน ลดการใช้ทรัพยากรกระดาษและหมึกพิมพ์ และสนับสนุนการดำเนินงานของคณะฯ ให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืนในระยะยาว

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและความพึงพอใจของระบบการคัดกรองการรับนักศึกษา TCAS รอบ Portfolio ผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ต่อบุคลากรสายวิชาการและผู้เกี่ยวข้อง
2. เพื่อรวบรวมข้อเสนอแนะของบุคลากรสายวิชาการในการนำไปใช้ปรับปรุงและพัฒนาระบบการคัดกรองการรับนักศึกษา TCAS รอบ Portfolio ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นที่บุคลากรสายวิชาการที่ได้รับการแต่งตั้งเป็นคณะกรรมการดำเนินการสอบคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรี หลักสูตรเภสัชศาสตรบัณฑิต คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จำนวน 21 คน ในฐานะคณะกรรมการประเมินและคัดเลือกนักศึกษาเข้าศึกต่อ TCAS รอบ Portfolio ประจำปีการศึกษา 2568 ซึ่งเป็นผู้ใช้งานระบบ ทั้งนี้ แม้กลุ่มตัวอย่างจะมีจำนวนจำกัด แต่ถือเป็นกลุ่มประชากรแบบเลือกสรรเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) [3]

ที่ครอบคลุมบุคลากรผู้มีอำนาจตัดสินใจและต้องปฏิบัติงานจริงในกระบวนการคัดเลือกทั้งหมด ทำให้ข้อมูลที่ได้รับสะท้อนถึงปัญหาหน้างาน และความต้องการที่แท้จริงของผู้ใช้งานได้อย่างตรงจุดตามภาระหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย เพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบสารสนเทศในด้านความความเสถียร ความเร็ว และความยืดหยุ่นในการรองรับอุปกรณ์ที่หลากหลาย พร้อมทั้งประเมินความพึงพอใจต่อการออกแบบ UX/UI ภายใต้แนวคิด Single Screen Design ที่เน้นความต่อเนื่องของกระบวนการทำงาน [6] ตั้งแต่การตรวจสอบเอกสารจนถึงการยืนยันผลคะแนน

สำหรับขอบเขตด้านตัวแปร ผู้ศึกษาได้กำหนดตัวแปรอิสระเป็นข้อมูลพื้นฐานของผู้ใช้งานและคุณลักษณะทางเทคนิคของระบบ ได้แก่ ความง่ายในการใช้งาน การออกแบบหน้าจอ และความเร็วในการประมวลผล [7] เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ที่มีต่อตัวแปรตาม ซึ่งครอบคลุมประสิทธิภาพการปฏิบัติงานในด้านความถูกต้องแม่นยำและการลดระยะเวลาการประเมินตลอดจนความพึงพอใจโดยรวมต่อประสบการณ์การใช้งานและส่วนติดต่อผู้ใช้ เพื่อนำผลการศึกษาไปใช้พัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพระบบการคัดกรองนักศึกษาให้ดียิ่งขึ้น

4. วิธีการศึกษา

1. รูปแบบการวิจัย เป็นการวิจัยเชิงสำรวจและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ [8]

2. ประชากร คณะกรรมการดำเนินการสอบคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรี หลักสูตรเภสัชศาสตรบัณฑิต คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จำนวน 21 คน

3. เครื่องมือที่ใช้คือแบบสอบถามออนไลน์ (Online Questionnaire) โดยประยุกต์ใช้แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการวิจัยเบื้องต้น [3] โดยแบ่งออกเป็น 7 ส่วนหลัก ดังนี้:

ส่วนที่ 1: ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2: ความสะดวกในการใช้งานและประโยชน์ของระบบ (System Usability) โดยระบบมีการแสดงผลข้อมูลผู้สมัครและเกณฑ์การให้คะแนนที่ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 1

ส่วนที่ 3: การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานและความเหมาะสมในการใช้งาน (User interface & Visual Design) ซึ่งรวมถึงตารางสรุปผลคะแนนที่ง่ายต่อการตรวจสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2

ส่วนที่ 4: ประสิทธิภาพและความเสถียรของระบบ (System Performance & Stability)

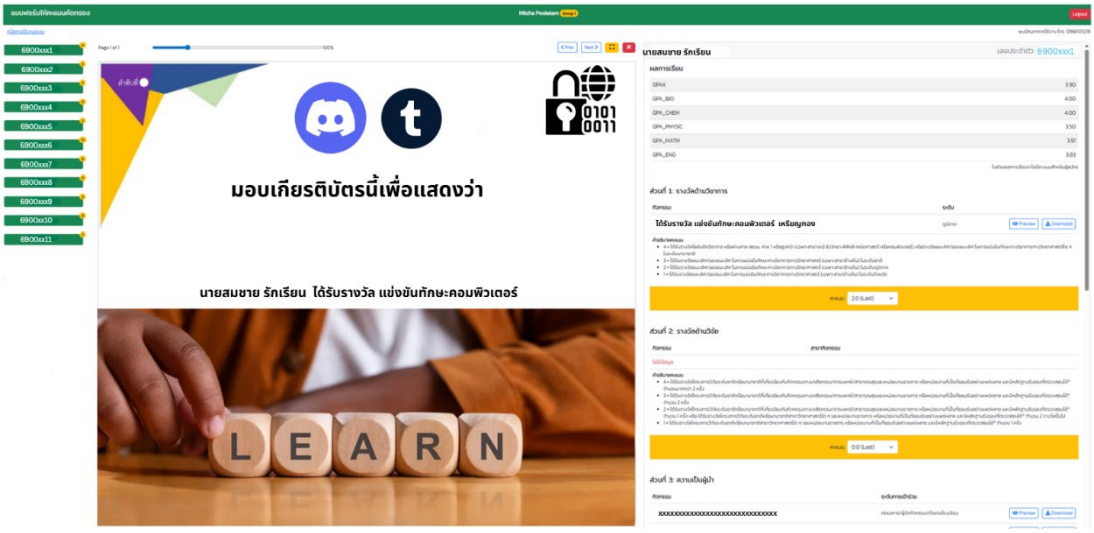
ส่วนที่ 5: ความครบถ้วนของข้อมูลและเนื้อหา (Content Quality)

ส่วนที่ 6: ความปลอดภัยและการจัดการข้อมูล (Data Security & Management) ถามเฉพาะ admin

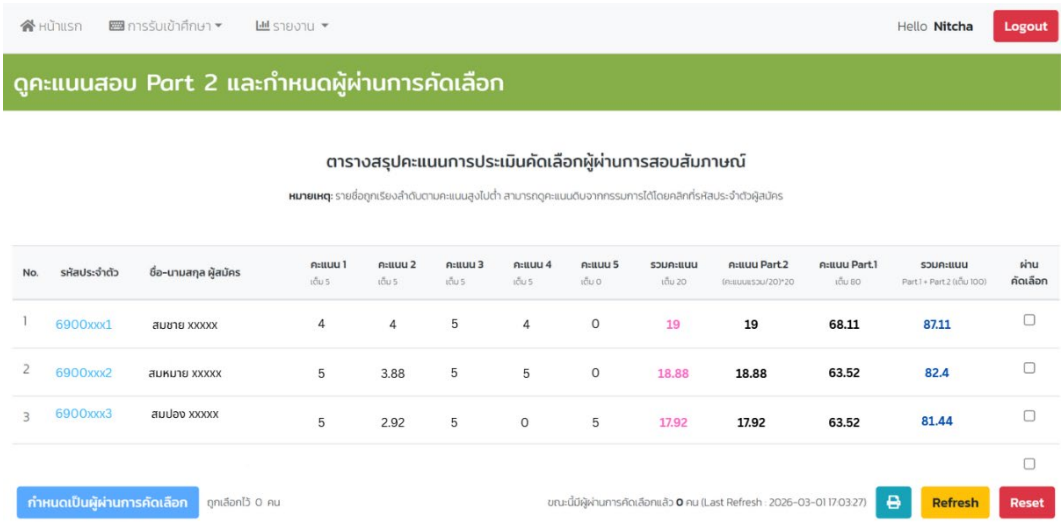
ส่วนที่ 7: ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม (สำหรับรวบรวมข้อเสนอแนะและปัญหาที่พบจากการใช้งานระบบ)

4. การสร้างเครื่องมือการวิจัย ศึกษาเอกสาร ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดประเด็นข้อคำถามให้ครอบคลุม [9], [10] คุณลักษณะทางเทคนิคและประสบการณ์ผู้ใช้งาน พร้อมนำแบบสอบถามเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อช่วยตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์ของเนื้อหาให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย และดำเนินการปรับปรุงแบบสอบถามตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยดำเนินการส่งลิงก์แบบสอบถามออนไลน์ให้แก่คณะกรรมการฯ ประเมินผ่านช่องทางสื่อสารภายใน (Email) กำหนดระยะเวลาการเก็บข้อมูล 2 สัปดาห์



รูปที่ 1 แสดงแบบฟอร์มให้คะแนนคัดกรอง (ข้อมูลตัวอย่าง)



รูปที่ 2 แสดงรูปแบบตารางสรุปคะแนนการประเมินคัดเลือกผู้ผ่านการสอบสัมภาษณ์ (ข้อมูลตัวอย่าง)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการวิจัยพบว่า ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป จากการรวบรวมข้อมูลผู้ใช้งานระบบจำนวน 18 คน พบว่ากลุ่มเป้าหมายหลักคือ กรรมการผู้ให้คะแนน 88.9% และกลุ่มผู้จัดการ/ผู้ประสานงานการสอบ 11.1% อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการเข้าถึงระบบคือ Computer/Laptop 83.3% รองลงมาคือ Tablet 11.1% และ Mobile 5.6% โดยมีระบบปฏิบัติการที่ใช้มากที่สุดคือ Windows 72.2% รองลงมาคือ Mac OS 11.1% iOS (iPhone/iPad) 11.1% และ Android 5.6% ข้อมูลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความหลากหลายของอุปกรณ์ที่ผู้ใช้เลือกใช้ตามความสะดวก [5]

ส่วนที่ 2 การประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจ ผู้ใช้งานระบบมีความพึงพอใจในระดับสูงและเห็นว่าระบบสามารถลดภาระงานได้จริง 100% ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี ที่ระบุว่าการรับรู้ประโยชน์และความง่ายในการใช้งานเป็นปัจจัยตัดสินการยอมรับระบบ [4], [7] โดยผลการวิจัยพบว่าความง่ายในการเข้าถึงระบบอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ซึ่งผู้ใช้งานส่วนใหญ่ 50% สามารถใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องรับการชี้แจง และอีก 50% ใช้งานได้ง่ายหลังรับคำแนะนำเบื้องต้น ดังแสดงในตารางที่ 1 สอดคล้องกับข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่ระบุว่าระบบมีความเป็น Friendly User สูง

และส่งผลให้การใช้งานมีความสะดวกคล่องตัวสูงมาก ดังแสดงในตารางที่ 7 ในด้านความประหยัดเวลา พบว่าระบบสามารถลดเวลาทำงานได้ โดยกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ระบุว่าช่วยลดเวลาได้ตั้งแต่ระดับนาทีไปจนถึงหลายชั่วโมงต่อเคส เมื่อเทียบกับวิธีการเดิม ดังแสดงในตารางที่ 2 สำหรับการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface & Visual Design) ผลการประเมินพบว่ามีความโดดเด่นในด้านโทนสีภาพรวม ซึ่งผู้ใช้เห็นว่าเหมาะสมแล้วถึง 88.9% ตามมาด้วยความสบายตาของตัวอักษรและสี 77.8% ตลอดจนความชัดเจนของข้อมูลและการแสดงผลบนอุปกรณ์ 72.2% ดังแสดงในตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพและความเสถียรของระบบ (System Performance & Stability) พบว่าระบบมีความรวดเร็วในการโหลดหน้าเว็บและความถูกต้องในการบันทึกและเรียกดูข้อมูลสูงถึง 88.9% นอกจากนี้ในระหว่างการใช้งาน ผู้ใช้กว่า 72.2% ไม่พบข้อผิดพลาดหรือการหยุดทำงานของระบบเลย ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินด้านคุณภาพเนื้อหา (Content Quality) ที่พบว่า รูปแบบการนำเสนอช่วยให้การพิจารณาผู้สมัครทำได้ง่ายขึ้นถึง 94.4% และข้อมูลมีความครบถ้วนต่อการพิจารณา Portfolio สูงถึง 83.3% ดังแสดงในตารางที่ 5 ระบบยังมีความโดดเด่นอย่างมากในเรื่องความปลอดภัยและการจัดการข้อมูล (Data Security & Management) โดยผู้ใช้งาน 100% ให้ความเชื่อมั่นเต็มประสิทธิภาพในด้านการกำหนดสิทธิ์เข้าถึงข้อมูลตามบทบาท ความแม่นยำในการประมวลผล ความเชื่อถือได้ของระบบ และการช่วยลดความผิดพลาดจากงาน Manual ดังแสดงในตารางที่ 6 จากข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ดังแสดงในตารางที่ 7 ผู้ใช้ส่วนใหญ่ชื่นชมความพื้นฐานของระบบที่มีความเป็น Friendly User และระบบคำนวณคะแนนอัตโนมัติที่ช่วยลดความผิดพลาด แต่ยังมีประเด็นที่ควรพัฒนาต่อยอดในอนาคต เช่น การเพิ่มระบบ Auto-save หรือการบันทึกร่าง (Draft) เพื่อป้องกันข้อมูลสูญหาย การปรับปรุงการแสดงผลแบบ Responsive ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นบนสมาร์ทโฟน ตลอดจนการเพิ่มฟังก์ชันเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างผู้สมัคร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการตัดสินใจของกรรมการผู้ประเมิน

ตารางที่ 1 ความสะดวกในการใช้งานและประโยชน์ของระบบ (System Usability)

หัวข้อการประเมิน	ประเด็นสำคัญ	สัดส่วนผลการสำเร็จ
ขั้นตอนการใช้งาน	ความง่ายในการเข้าถึงและใช้งานระบบ	ใช้งานได้ง่าย ไม่ต้องรับการชี้แจง (50%)
		ใช้งานได้ง่ายแต่ต้องรับการชี้แจงบ้าง (50%)
		ใช้งานได้ยากและต้องรับการชี้แจง (0%)
การลดภาระงาน	ประสิทธิภาพในการรวมคะแนน/จัดการข้อมูล	ช่วยลดภาระงานได้มาก (100%)
ความเสถียรของระบบ	ความราบรื่นในการทำงานทางเทคนิค	ใช้งานได้ราบรื่น (83.3%)
		มีความไม่เสถียรบ้างแต่ยังสามารถใช้งานได้อย่างลุล่วง (16.7%)
		ไม่เสถียรจนเป็นอุปสรรคในการทำงาน
ความพึงพอใจต่อการใช้งานในภาพรวม	ภาพรวมของการใช้งานระบบ และประโยชน์	เกินความคาดหวัง (33.3%)
		เป็นไปตามความคาดหวัง (66.7%)
		ต่ำกว่าความคาดหวัง (0%)

ตารางที่ 2 ความสะดวกในการใช้งานและประโยชน์ของระบบ (System Usability) : การประหยัดเวลาในการทำงาน เมื่อเทียบกับการประเมินโดยวิธีการเดิม

กลุ่มการตอบ	รายละเอียด/หน่วยที่ระบุ	จำนวนผู้ตอบ (คน)	สัดส่วน (%)
กลุ่มประหยัดเวลาต่อเคส	5 นาที, 10-15 นาที, 20 นาที ต่อคน/เคส	5	27.8
กลุ่มระบุเป็นตัวเลขนาที	2 นาที, 5 นาที, 15 นาที, 20 นาที, 40 นาที	10	55.6
กลุ่มประหยัดเวลาหลักชั่วโมง	3 ชั่วโมง (หรือเทียบเท่า 180-400 นาที)	2	11.1
กลุ่มที่ไม่สามารถระบุได้	ไม่เคยใช้ระบบเดิม/เปรียบเทียบไม่ได้	1	5.5
รวม		18	100

ตารางที่ 3 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานและความเหมาะสมในการใช้งาน (User interface & Visual Design)

หัวข้อการประเมิน	เหมาะสมแล้ว ควรใช้งานต่อไป	เหมาะสมแล้ว แต่สามารถทำให้ดีขึ้นได้	ควรปรับปรุง
การจัดวางองค์ประกอบบนหน้าจอ	66.7%	33.3%	-
การแสดงผลบนอุปกรณ์	72.2%	27.8%	-
ตัวอักษร/สี/ความสบายตา	77.8%	22.2%	-
ขนาดปุ่ม/ไอคอน/สัญลักษณ์	66.7%	33.3%	-
รูปแบบการนำเสนอ Portfolio	55.6%	44.4%	-
โทนสีภาพรวม	88.9%	11.1%	-
ความชัดเจนของข้อมูลสำคัญ	72.2%	27.8%	-

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพและความเสถียรของระบบ (System Performance & Stability)

หัวข้อการประเมิน	ระดับความพึงพอใจสูงสุด	ระดับปานกลาง/ควรพัฒนา	ระดับที่ต้องปรับปรุง
ความรวดเร็วในการโหลดหน้าเว็บ	88.9% (เหมาะสมแล้ว ควรใช้ต่อไป)	11.1% (เหมาะสมแล้ว แต่สามารถทำให้ดีขึ้นได้	0% (ควรปรับปรุง)
ในระหว่างใช้งาน ระบบไม่เกิดข้อผิดพลาดหรือหยุดทำงาน	72.2% (ไม่เกิดข้อผิดพลาดเลย)	27.8% (มีบ้างแต่ไม่เป็นปัญหา)	0% (เป็นอุปสรรคในการทำงาน)
การบันทึกและเรียกดูข้อมูลได้อย่างถูกต้อง	88.9% (บันทึกข้อมูลและเรียกดูข้อมูลได้ง่าย)	11.1% (บันทึกข้อมูลและเรียกดูข้อมูลได้ยาก แต่ไม่เป็นอุปสรรคในการทำงาน)	0% (เป็นอุปสรรคในการทำงาน)
ระบบมีความเหมาะสมในการใช้งานในภาพรวมบนอุปกรณ์ของท่าน	72.2% (เหมาะสมแล้ว ควรใช้ต่อไป)	27.8% (เหมาะสมแล้ว แต่สามารถทำให้ดีขึ้นได้)	0% (ควรปรับปรุง)

ตารางที่ 5 ความครบถ้วนของข้อมูลและเนื้อหา (Content Quality)

หัวข้อการประเมิน	ใช่ และช่วยประหยัดเวลาในการทำงาน	ไม่ใช่ แต่ยังช่วยประหยัดเวลา	ไม่ใช่ และไม่ช่วยประหยัดเวลา
ข้อมูลสำคัญครบถ้วนต่อการพิจารณา Portfolio	83.30%	16.70%	-
รูปแบบการนำเสนอช่วยให้พิจารณาผู้สมัครได้ง่าย	94.40%	5.6%	-
รูปแบบการนำเสนออ่านง่ายและสอดคล้องกับขั้นตอน	88.90%	11.10%	-
การแก้ไขข้อมูลทำได้โดยง่าย	88.90%	11.10%	-

ตารางที่ 6 ความปลอดภัยและการจัดการข้อมูล (Data Security & Management)

หัวข้อการประเมิน	เหมาะสมแล้ว ควรใช้งานต่อไป	เหมาะสมแล้ว แต่สามารถทำให้ดีขึ้นได้	ควรปรับปรุง
สิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลถูกกำหนดอย่างถูกต้องตามบทบาทของผู้ใช้งาน	100%	-	-
การประมวลผลข้อมูลของระบบมีความแม่นยำและสอดคล้องกับเกณฑ์การคัดเลือก	100%	-	-
โดยรวมแล้ว ผู้ใช้มีความมั่นใจในความปลอดภัยและความเชื่อถือได้ของระบบ	100%	-	-
ระบบช่วยลดความผิดพลาดจากงาน manual (คะแนนผิดคน/ข้อมูลสลับ/รวมคะแนนผิด)	100%	-	-
ระบบช่วยลดงานจัดการข้อมูล (รายชื่อ/จัดสรรกรรมการ/ติดตามสถานะ)	100% (โครงสร้างไฟล์ชัดเจน เข้าใจง่าย และ นำไปทำงานต่อได้ง่าย)	0% (โครงสร้างไฟล์ชัดเจน เข้าใจง่าย แต่ต้องใช้เวลาจัดการก่อนนำไปทำงานต่อ)	0% (โครงสร้างไฟล์ ไม่ชัดเจน เข้าใจยาก เป็นอุปสรรคต่อการนำไปทำงานต่อ)

ตารางที่ 7 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

กรุณาระบุข้อดี หรือ สิ่งที่ท่านชอบของระบบนี้	สรุปผลการประเมินเชิงคุณภาพ
ด้านความง่ายในการใช้งาน	ผู้ใช้งานส่วนใหญ่มีความเห็นสอดคล้องกันว่าระบบมีความเป็น Friendly User สูง มีอินเทอร์เฟซที่เข้าใจง่าย และส่งผลให้การใช้งานมีความสะดวกคล่องตัวสูงมาก
ด้านประสิทธิภาพเชิงเวลา	ระบบสามารถลดระยะเวลาในการประสานงานได้ โดยเฉพาะในกรณีที่มีปริมาณผู้สมัครและผู้ประเมินจำนวนมาก ช่วยรวบรวมผลได้อย่างรวดเร็วและประหยัดเวลาในการทำงาน
ด้านฟังก์ชันการคำนวณคะแนน	โดยผู้ประเมินไม่ต้องคำนวณคะแนนเอง มีการประมาณการคะแนนให้อัตโนมัติ พร้อมคำอธิบายเกณฑ์การให้คะแนนที่ชัดเจนในระหว่างการประเมิน
ด้านการบริหารจัดการทรัพยากร	มีการรวมศูนย์ข้อมูล (Data Centralization) โดยรวบรวมเอกสารและลิงก์ข้อมูลทั้งหมดไว้ในจุดเดียว ช่วยลดการใช้กระดาษและลดภาระในการพกพาเอกสารจำนวนมาก
ด้านการเข้าถึงข้อมูล	ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงระบบเพื่อปฏิบัติงานได้จากทุกที่ทุกเวลา (Work from anywhere) ผ่านการเชื่อมต่อด้วยลิงก์ข้อมูลที่พร้อมใช้งานทันทีและการแสดงผลที่รวดเร็ว
ระบบบันทึกข้อมูล	ผู้ประเมินต้องการระบบ Auto-save หรือการบันทึกข้อมูลแบบร่าง (Draft) ระหว่างการประเมิน เพื่อป้องกันข้อมูลสูญหายกรณีต้องหยุดพักงานหรือ Logout ก่อนกด Submit
การแสดงผล	พบปัญหาการแสดงผลเอกสารขนาดเล็กเกินไปจนอ่านไม่ได้ (อาจเกิดจากคุณภาพไฟล์ต้นทาง)
ประสิทธิภาพการโหลด	ในการโหลดไฟล์ข้อมูลและเอกสารของผู้สมัครช้าเป็นบางครั้ง
การเปรียบเทียบข้อมูล	ระบบยังขาดฟังก์ชันการเปิดไฟล์เปรียบเทียบระหว่างผู้สมัคร หรือการสรุปคะแนนเทียบกับผู้สมัครรายก่อนหน้าเพื่อให้เห็นภาพรวมก่อนตัดสินใจ
การรองรับอุปกรณ์	ระบบปัจจุบันรองรับการใช้งานผ่าน Computer และ iPad ได้ดี แต่ต้องการให้พัฒนาการแสดงผลแบบ Responsive เพื่อให้ใช้งานผ่านโทรศัพท์มือถือได้อย่างสมบูรณ์
เกณฑ์การประเมิน	ผู้ประเมินระบุว่าเกณฑ์การให้คะแนนและช่วงคะแนน (Score Range) ในบางส่วนยังขาดความชัดเจน ซึ่งเป็นส่วนที่กรรมการต้องการความแม่นยำมากขึ้น

ตารางที่ 7 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม (ต่อ)

คำแนะนำหรือความเห็นอื่นๆ	สรุปผลการประเมินเชิงคุณภาพ
ความพึงพอใจ	ผู้ใช้งานส่วนใหญ่มีความเห็นในทิศทางบวกอย่างมาก โดยระบุว่า "เป็นระบบที่ดีมาก" และแสดงความขอบคุณต่อทีมพัฒนาที่ช่วยสร้างระบบนี้ขึ้นมา
ความยั่งยืนของระบบ	มีความต้องการเชิงนโยบายอย่างชัดเจนให้มีการพัฒนาและใช้งานระบบนี้ต่อไปในระยะยาว เพื่อรองรับกระบวนการทำงานในอนาคต
การจัดการข้อมูลขาออก	มีข้อเสนอแนะเชิงเทคนิคให้ปรับปรุงการ Export Data ให้มีโครงสร้างที่สะดวกต่อการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อ

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาวิจัยการพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบพบว่า กลุ่มเป้าหมายหลักคือกลุ่มกรรมการผู้ให้คะแนน 88.9% และกลุ่มผู้จัดการ/ผู้ประสานงานการสอบ 11.1% ซึ่งเข้าถึงระบบผ่านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เป็นหลัก โดยผลการประเมินในภาพรวมสะท้อนให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพสูงในด้านการใช้งาน (Usability) และสามารถลดภาระงานในการรวมคะแนนและจัดการข้อมูลได้จริง 100% สอดคล้องกับผลการประเมินด้านเทคนิคที่พบว่าระบบมีความเสถียรและความรวดเร็วในการโหลดข้อมูลอยู่ในระดับดีมาก 88.9% ทั้งนี้ในส่วนของการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (UI) และคุณภาพเนื้อหาพบว่ามีความเหมาะสมและช่วยประหยัดเวลาในการพิจารณา Portfolio ได้อย่างมีประสิทธิภาพ 94.4% อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยเชิงคุณภาพบ่งชี้ถึงแนวทางการพัฒนาระบบในอนาคต โดยเฉพาะการเพิ่มฟังก์ชันบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Auto-save) การปรับปรุงการแสดงผลแบบตอบสนอง (Responsive Design) บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และการพัฒนาระบบส่งออกข้อมูล (Export Data) เพื่อรองรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก ซึ่งภาพรวมความพึงพอใจที่อยู่ในระดับสูงและข้อเสนอแนะให้มีการใช้งานอย่างต่อเนื่อง สะท้อนถึงความสำเร็จในการนำระบบมาประยุกต์ใช้เพื่อยกระดับมาตรฐานการบริหารจัดการรับเข้านักศึกษาและนำไปสู่การพัฒนาระบบที่ยั่งยืนในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

[1] ที่ประชุมอธิการบดีแห่งประเทศไทย. (2567). ระบบการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา (TCAS). https://www.mytcas.com

[2] กองบริหารการศึกษา มหาวิทยาลัยมหิดล. (2567). ระบบการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยมหิดล (Mahidol TCAS). https://tcas.mahidol.ac.th

[3] บุญชม ศรีสะอาด. (2560). การวิจัยเบื้องต้น (ฉบับปรับปรุงใหม่). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

[4] วิภาดา คุปตพงศ์. (2562). ปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจและการยอมรับการใช้งานระบบสารสนเทศออนไลน์. กรุงเทพฯ: คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[5] ธานินทร์ ศิลป์จารุ. (2563). การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS และ AMOS (พิมพ์ครั้งที่ 18). กรุงเทพฯ: บิสซิเนสอาร์แอนด์ดี.

[6] ณัฐพงศ์ ส่งเนียม. (2565). UX Design สรุปครบจบในเล่มเดียว. กรุงเทพฯ: ไอดีซี พรีเมียร์.

[7] Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology [การรับรู้ประโยชน์ การรับรู้ความง่ายในการใช้งาน และการยอมรับเทคโนโลยีสารสนเทศของผู้ใช้]. MIS Quarterly, 13(3), 319–340.

[8] อาภา ภัคภิญโญ. (25 มกราคม 2568). วิจัยเชิงปริมาณ เชิงคุณภาพและเชิงผสมผสานแตกต่างกันยังไง [วิดีโอ]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=oGI4Dklfmlk

[9] ชุลีกร ด่านยุทธศิลป์. (10 กันยายน 2568). การสร้างและทดสอบเครื่องมือวิจัยเชิงคุณภาพ ตอนที่ 1 [วิดีโอ]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=evskWmZJjL0

[10] ชุลีกร ด่านยุทธศิลป์. (13 กันยายน 2568). การสร้างและทดสอบเครื่องมือวิจัยเชิงคุณภาพ ตอนที่ 2 [วิดีโอ]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=4oXnrYlfjX0

การบริหารการจองห้องประชุมอย่างมีประสิทธิภาพ

บีรญา หัสครบุรี, อรรถกร ธีระกาย, และ ฐานิศร์ แก่นแก้ว*

หน่วยบริหารสถานที่ งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนโยธี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400 ประเทศไทย
**Corresponding author: thanit.kan@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

ห้องประชุมเป็นทรัพยากรที่มีบทบาทสำคัญต่อการสนับสนุนภารกิจขององค์กร โดยเฉพาะหน่วยงานภาครัฐและสถาบันการศึกษา ซึ่งมีการจัดประชุม อบรม สัมมนา และกิจกรรมทางวิชาการอย่างต่อเนื่อง การขาดระบบบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพอาจก่อให้เกิดปัญหาการจองซ้ำซ้อน ความล่าช้า ความไม่เป็นธรรมในการเข้าถึงทรัพยากร และความไม่พึงพอใจของผู้ใช้บริการ หน่วยบริหารสถานที่ งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม ให้บริการห้องประชุมจำนวนทั้งสิ้น 30 ห้อง ครอบคลุมความจุตั้งแต่ไม่เกิน 10 ที่นั่งจนถึงไม่เกิน 500 ที่นั่ง บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาบทบาท แนวทาง และกระบวนการบริหารการจองห้องประชุม เพื่อพัฒนาระบบการให้บริการให้มีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน วิธีการศึกษาใช้การวิเคราะห์กระบวนการบริหารจัดการ ตั้งแต่การกำหนดระเบียบและหลักเกณฑ์การจอง การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศในกระบวนการทำงาน การประชาสัมพันธ์ข้อมูลแก่ผู้ใช้บริการ และการติดตามประเมินผลการใช้งานอย่างต่อเนื่อง ผลการศึกษาพบว่า ผู้ใช้บริการร้อยละ 90 มีความพึงพอใจในระดับมาก ระบบการจองที่มีความชัดเจน โปร่งใส และตรวจสอบได้ ช่วยลดปัญหาการจองซ้ำซ้อน เพิ่มความรวดเร็วในการให้บริการ และลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ อีกทั้งระบบออนไลน์เอื้อให้สามารถตรวจสอบสถานะห้องประชุมแบบเรียลไทม์ ส่งผลให้การวางแผนจัดกิจกรรมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สรุปได้ว่า การบริหารการจองห้องประชุมอย่างเป็นระบบและมีมาตรฐานช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ยกระดับคุณภาพการให้บริการ เสริมสร้างภาพลักษณ์องค์กร และสนับสนุนการพัฒนาอย่างยั่งยืน สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) เป้าหมายที่ 10

คำสำคัญ : การบริหารจัดการห้องประชุม / ระบบการจองออนไลน์ / ประสิทธิภาพการให้บริการ / การจัดการทรัพยากร / สถาบันอุดมศึกษา

Efficient meeting room reservation management

Beeraya Hatsakormburi, Artakorn Theerakay, and Thanit Kankeaw*

Facilities Management, Physical and Environmental Division,
Faculty of Dentistry, Mahidol University, Yothi Road, Thung Phayathai Subdistrict, Ratchathewi District,
Bangkok 10400, Thailand
**Corresponding author: thanit.kan@mahidol.ac.th*

Abstract

Meeting rooms are a resource that plays an important role in supporting an organization's mission. Especially government agencies and educational institutions, which hold conferences, trainings, seminars, and academic activities continuously. The lack of an effective management system can lead to double bookings. Delay The Facility Management Unit, Physical and Environmental Affairs provides a total of 30 meeting rooms with capacities ranging from 10 seats to 500 seats. The purpose of this article is to study the roles, guidelines, and processes of meeting room reservation management in order to develop an efficient service system that is in line with the needs of users. The study method used the analysis of the management process, starting from the establishment of regulations and criteria for reservations. The application of information systems in the work process, the publicity of information to users, and the continuous monitoring and evaluation of the use of the The results of the study showed that 90% of users were satisfied with the service. A clear, transparent, and verifiable booking system reduces duplicate bookings. The online system also allows for real-time monitoring of the status of the meeting room. As a result, the planning of activities will be more efficient. In conclusion, systematic and standardized management of meeting room reservations helps to increase the efficiency of resource utilization, improve service quality, strengthen organizational image, and support sustainable development, in line with the Sustainable Development Goals (SDGs) Goal 10

Keywords : Meeting room management / Online booking system / Service efficiency / Resource management / Higher education institutions

1. บทนำ

หน่วยบริหารสถานที่ งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม มีบทบาทสำคัญในการให้บริการห้องประชุมจำนวนทั้งสิ้น 30 ห้อง ครอบคลุมความจุตั้งแต่ขนาดเล็กไม่เกิน 10 ที่นั่ง ไปจนถึงขนาดใหญ่ไม่เกิน 500 ที่นั่ง ซึ่งห้องประชุมนับเป็นทรัพยากรพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการสนับสนุนพันธกิจขององค์กร โดยเฉพาะในหน่วยงานภาครัฐและสถาบันการศึกษา ที่มีการจัดประชุม อบรม สัมมนา และกิจกรรมทางวิชาการอย่างต่อเนื่อง[1,2] อย่างไรก็ตาม หากปราศจากระบบบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ อาจก่อให้เกิดปัญหาการจองซ้ำซ้อน ความล่าช้า ความไม่เป็นธรรมในการเข้าถึงทรัพยากร และความไม่พึงพอใจของผู้ใช้บริการ ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานขององค์กรโดยรวม[2,3] การบริหารจัดการทรัพยากรที่ไม่มีความเป็นระบบยังอาจเพิ่มภาระงานของเจ้าหน้าที่ และทำให้ไม่สามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ได้อย่างคุ้มค่า[3]การพัฒนาระบบบริหารการจองห้องประชุมให้มีความชัดเจน โปร่งใส และสามารถตรวจสอบได้ จึงเป็นกลไกสำคัญในการยกระดับคุณภาพการให้บริการ เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร และลดความซ้ำซ้อนของกระบวนการทำงาน ทั้งนี้ แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการบริหารคุณภาพสมัยใหม่ เช่น การปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง (Continuous Quality Improvement: CQI) และการบริหารจัดการโดยยึดผู้ใช้บริการเป็นศูนย์กลาง (Customer-centered approach)[3,4] นอกจากนี้ การพัฒนาระบบบริหารจัดการห้องประชุมยังมีความเชื่อมโยงกับแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสูญเสีย และส่งเสริมการเข้าถึงบริการอย่างเท่าเทียม ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของ องค์การสหประชาชาติ (Sustainable Development Goals: SDGs) โดยเฉพาะเป้าหมายด้านโครงสร้างพื้นฐานที่มีประสิทธิภาพและการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน[5] ดังนั้น การศึกษานี้จึงมุ่งนำเสนอแนวทางเชิงระบบในการบริหารการจองห้องประชุม เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน เพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการทรัพยากร และสนับสนุนการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาบทบาท แนวทาง และกระบวนการบริหารการจองห้องประชุมของหน่วยบริหารสถานที่ งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม

2.2 เพื่อวิเคราะห์ปัญหา อุปสรรค และปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการให้บริการจองห้องประชุม

2.3 เพื่อพัฒนาระบบและแนวทางการบริหารการจองห้องประชุมให้มีความชัดเจน โปร่งใส และตรวจสอบได้

2.4 เพื่อประเมินระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการต่อระบบการจองห้องประชุม

2.5 เพื่อเสนอแนวทางเชิงนโยบายและเชิงปฏิบัติในการยกระดับคุณภาพการให้บริการและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

3. ขอบเขตของการศึกษา

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (พญาไท) สถานที่ตั้ง เลขที่6 ถนนโยธี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400 การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา (Developmental Study) โดยมุ่งเน้นการแก้ไขปัญหา อุปสรรค และพัฒนาประสิทธิภาพในการให้บริการห้องประชุม

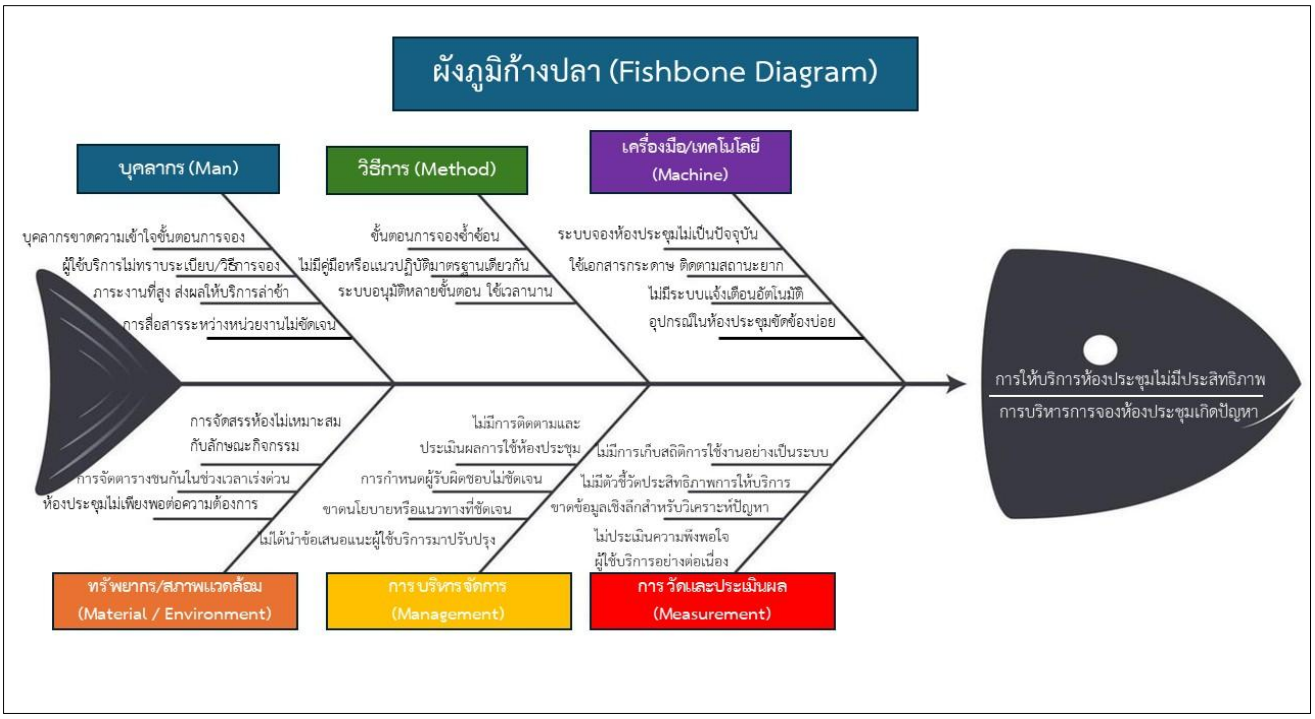
4. วิธีการศึกษา

จากการดำเนินงานด้านการบริหารจัดการจองห้องประชุมของคณะทันตแพทยศาสตร์ พบประเด็นปัญหาที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการให้บริการ การรับจองผ่านหลายช่องทาง หรือการติดต่อด้วยตนเอง ทำให้ข้อมูลการจองกระจัดกระจาย และยากต่อการตรวจสอบสถานการณ์จองแบบเรียลไทม์ เนื่องจากไม่มีระบบกลางที่แสดงตารางเวลาห้องประชุมอย่างชัดเจน ทำให้ผู้ใช้บริการอาจจองซ้ำช่วงเวลาเดียวกัน หรือมีการเปลี่ยนแปลงกำหนดการกะทันหัน ส่งผลให้เกิดความสับสนในการจัดสรรห้อง เจ้าหน้าที่ต้องตรวจสอบข้อมูลด้วยตนเองหลายขั้นตอน ตั้งแต่การรับคำขอ การบันทึกข้อมูล การยืนยันผลการจอง และการแจ้งเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้เกิดภาระงานสูง และมีความเสี่ยงต่อความคลาดเคลื่อนของข้อมูล การดำเนินงานที่ใช้เวลาและขั้นตอนจำนวนมาก ส่งผลให้การตอบสนองต่อผู้ใช้บริการล่าช้า และอาจไม่สามารถรองรับปริมาณคำขอใช้ห้องประชุมที่เพิ่มขึ้นได้อย่างเหมาะสม ปัญหาการจองซ้ำซ้อนหรือการแจ้งยืนยันล่าช้า อาจทำให้ผู้ขอใช้ห้องประชุมไม่สามารถใช้งานห้องได้ตาม

เวลาที่ต้องการ ส่งผลต่อภาพลักษณ์และคุณภาพการให้บริการของหน่วยงานการทำงานที่ต้องอาศัยการบันทึกและตรวจสอบข้อมูลด้วยตนเองหลายขั้นตอน ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อข้อผิดพลาด เช่น การบันทึกข้อมูลไม่ถูกต้อง หรือการสื่อสารข้อมูลคลาดเคลื่อนเมื่อขาดข้อมูลสถิติที่เป็นระบบ ไม่สามารถนำข้อมูลการใช้ห้องประชุมมาวิเคราะห์เพื่อพัฒนานโยบายหรือปรับปรุงกระบวนการให้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.1 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Root Cause Analysis)

จากปัญหาการบริหารการจองห้องประชุมที่ไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดปัญหา นั้นสามารถดำเนินการวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้แนวคิด ผังภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) เพื่อจำแนกปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ดำเนินการวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้แนวคิด ผังภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram)

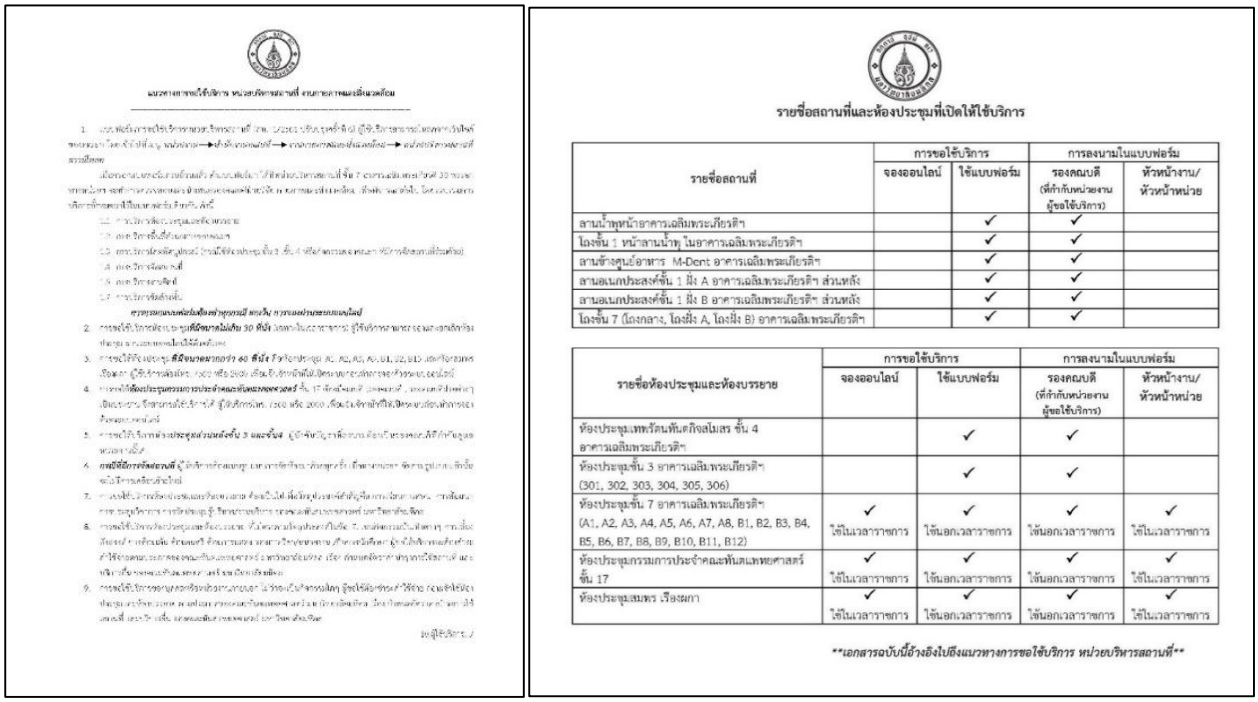
1. บุคลากร (Man)
    - 1.1 บุคลการขาดความเข้าใจขั้นตอนการจอง
    - 1.2 ผู้ใช้บริการไม่ทราบระเบียบ หรือวิธีการจอง
    - 1.3 ภาระงานเจ้าหน้าที่สูง ส่งผลให้บริการล่าช้า
    - 1.4 การสื่อสารระหว่างหน่วยงานไม่ชัดเจน
2. วิธีการ (Method)
    - 2.1 ขั้นตอนการจองซ้ำซ้อน
    - 2.2 ไม่มีคู่มือหรือแนวปฏิบัติมาตรฐานเดียวกัน
    - 2.3 ระบบอนุมัติหลายขั้นตอน ใช้เวลานาน
    - 2.4 ขาดการทบทวนกระบวนการทำงานอย่างสม่ำเสมอ
3. เครื่องมือ/เทคโนโลยี (Machine)
    - 3.1 ระบบจองห้องประชุมไม่เป็นปัจจุบัน
    - 3.2 ใช้เอกสารกระดาษ ติดตามสถานะยาก
    - 3.3 ไม่มีระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ

3.4 อุปกรณ์ในห้องประชุมขัดข้องบ่อย

4. ทรัพยากร/สภาพแวดล้อม (Material / Environment)
   - 4.1 การจัดสรรห้องไม่เหมาะสมกับลักษณะกิจกรรม
   - 4.2 การจัดตารางชนกันในช่วงเวลาเร่งด่วน
   - 4.3 ห้องประชุมไม่เพียงพอต่อความต้องการ
5. การบริหารจัดการ (Management)
   - 5.1 ไม่มีการติดตามและประเมินผลการใช้ห้องประชุม
   - 5.2 การกำหนดผู้รับผิดชอบไม่ชัดเจน
   - 5.3 ขาดนโยบายหรือแนวทางที่ชัดเจน
   - 5.4 ไม่ได้นำข้อเสนอแนะผู้ใช้บริการมาปรับปรุง
6. การวัดและประเมินผล (Measurement)
   - 6.1 ไม่มีการเก็บสถิติการใช้งานอย่างเป็นระบบ
   - 6.2 ไม่มีตัวชี้วัดประสิทธิภาพการให้บริการ
   - 6.3 ขาดข้อมูลเชิงลึกสำหรับวิเคราะห์ปัญหา
   - 6.4 ไม่ประเมินความพึงพอใจผู้ใช้บริการอย่างต่อเนื่อง

4.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. จัดทำเอกสารเผื่อแพร่ประชาสัมพันธ์ แนวทางปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับการบริหารการจองห้องประชุม และรายชื่อสถานที่และห้องประชุมที่เปิดให้บริการ ดังแสดงในรูปที่ 2



รายชื่อสถานที่และห้องประชุมที่เปิดให้ใช้บริการ

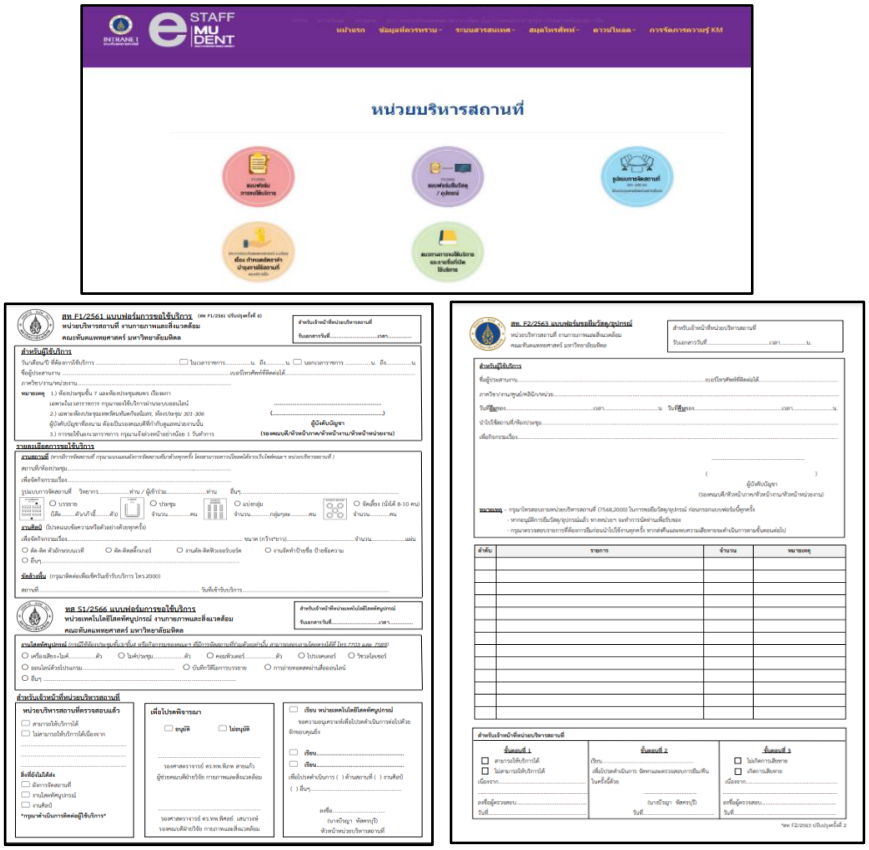
รายชื่อสถานที่	การขอใช้บริการ		การลงนามในแบบฟอร์ม	
	จองออนไลน์	ใช้แบบฟอร์ม	รองคณบดี (ที่กำกับหน่วยงานผู้ขอใช้บริการ)	หัวหน้างาน/หัวหน้าหน่วย
ลานน้ำพุหน้าอาคารเฉลิมพระเกียรติฯ		✓	✓	
โถงชั้น 1 หน้าลานน้ำพุ ในอาคารเฉลิมพระเกียรติฯ		✓	✓	
ลานข้างศูนย์อาหาร M-Dent อาคารเฉลิมพระเกียรติฯ		✓	✓	
ลานอเนกประสงค์ชั้น 1 ฝั่ง A อาคารเฉลิมพระเกียรติฯ ส่วนหลัง		✓	✓	
ลานอเนกประสงค์ชั้น 1 ฝั่ง B อาคารเฉลิมพระเกียรติฯ ส่วนหลัง		✓	✓	
โถงชั้น 7 (โถงกลาง, โถงฝั่ง A, โถงฝั่ง B) อาคารเฉลิมพระเกียรติฯ		✓	✓	

รายชื่อห้องประชุมและห้องบรรยาย	การขอใช้บริการ		การลงนามในแบบฟอร์ม	
	จองออนไลน์	ใช้แบบฟอร์ม	รองคณบดี (ที่กำกับหน่วยงานผู้ขอใช้บริการ)	หัวหน้างาน/หัวหน้าหน่วย
ห้องประชุมเทพรัตนทันตกิจสโมสร ชั้น 4 อาคารเฉลิมพระเกียรติฯ		✓	✓	
ห้องประชุมชั้น 3 อาคารเฉลิมพระเกียรติฯ (301, 302, 303, 304, 305, 306)		✓	✓	
ห้องประชุมชั้น 7 อาคารเฉลิมพระเกียรติฯ (A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B9, B10, B11, B12)	✓ ใช้ในเวลาราชการ	✓ ใช้นอกเวลาราชการ	✓ ใช้นอกเวลาราชการ	✓ ใช้ในเวลาราชการ
ห้องประชุมกรรมการประจำคณะทันตแพทยศาสตร์ ชั้น 17	✓ ใช้ในเวลาราชการ	✓ ใช้นอกเวลาราชการ	✓ ใช้นอกเวลาราชการ	✓ ใช้ในเวลาราชการ
ห้องประชุมเสนทร เรืองผกา	✓ ใช้ในเวลาราชการ	✓ ใช้นอกเวลาราชการ	✓ ใช้นอกเวลาราชการ	✓ ใช้ในเวลาราชการ

เอกสารฉบับนี้อ้างอิงถึงแนวทางการขอใช้บริการ หน่วยบริหารสถานที่

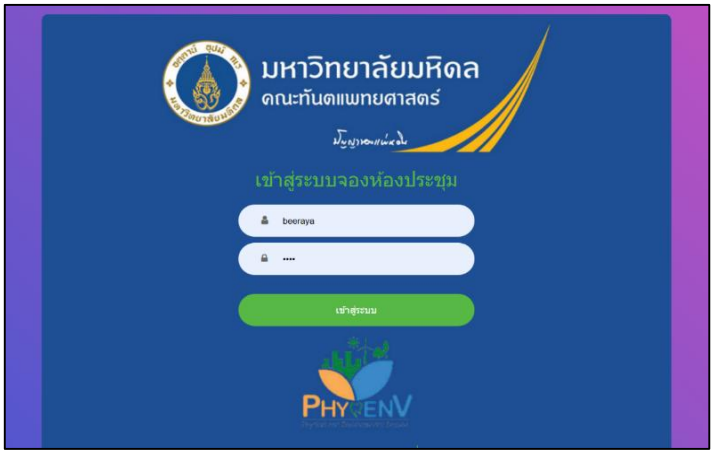
รูปที่ 2 แสดงแนวปฏิบัติการจองห้องประชุม และดำเนินการจัดทำแนวทางการขอใช้บริการห้องประชุม และแสดงเอกสารรายชื่อสถานที่และห้องประชุมที่เปิดให้บริการ

2. จัดทำแบบฟอร์มการขอใช้บริการ (สท F1/2561) ประกอบด้วย งานจองห้องประชุม งานจัดสถานที่ งานศิลป์ และงานขัดล้างพื้น และแบบฟอร์มขอยืมวัสดุ/อุปกรณ์ (สท F2/2563) สำหรับผู้ขอใช้บริการยืม - คืน เช่น โต๊ะ เก้าอี้ โทรทัศน์ สายแปลงต่างๆ เป็นต้น โดยทั้ง 2 แบบฟอร์มนี้ สามารถดาวน์โหลดได้ทาง อินทราเน็ตของคณะฯ โดยครอบคลุมกระบวนการตั้งแต่การรับคำขอจนถึงการให้บริการ ดังแสดงในรูปที่ 3



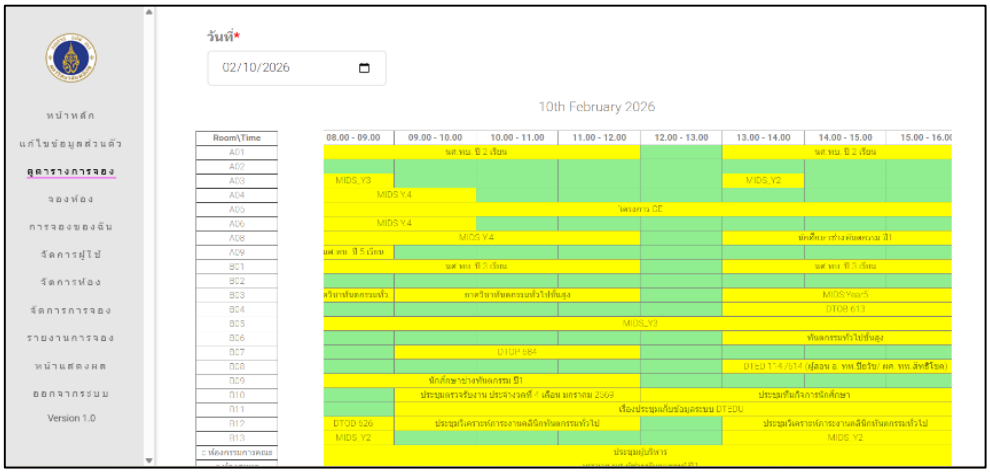
รูปที่ 3 แสดงเอกสารการรับคำขอจอง การพิจารณาอนุมัติ การจัดตารางใช้งานจนถึงการให้บริการ

3. จัดทำ ออกแบบ โปรแกรมการจองห้องประชุมออนไลน์ ในการบริหารจัดการการจองและการตรวจสอบสถานะห้องประชุมแบบเรียลไทม์ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงระบบออนไลน์ในการบริหารจัดการการจองและการตรวจสอบสถานะห้องประชุม

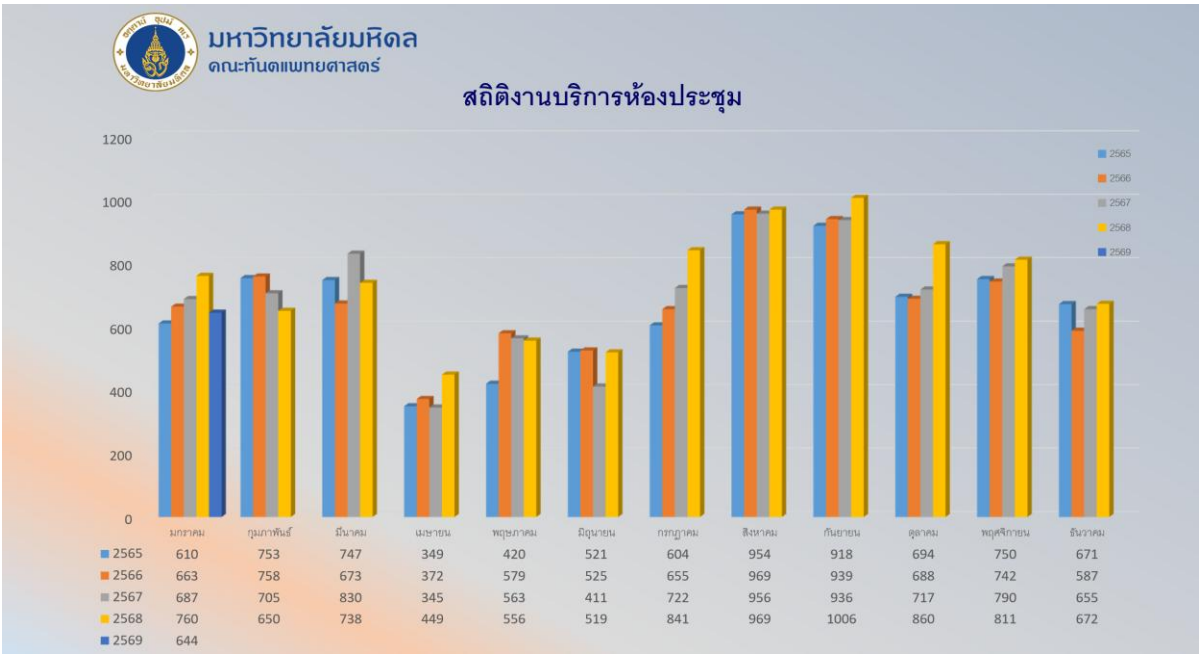
รายละเอียดแสดงการจองห้องประชุม การตรวจสอบสถานะการใช้ห้อง และการยกเลิกห้องประชุม ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 รายละเอียดแสดงการจองห้องประชุม การตรวจสอบสถานะการใช้ห้อง และการยกเลิกห้องประชุม

4. เก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ใช้บริการ โดยใช้แบบสอบถามเพื่อประเมินระดับความพึงพอใจ ดังนี้

4.1 สถิติการใช้บริการห้องประชุม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2565 - 2566 พบว่ามีจำนวนการใช้ห้องประชุมทั้งสิ้น 16,400 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภูมิข้อมูลจากผู้ใช้บริการโดยใช้แบบสอบถามเพื่อประเมินระดับความพึงพอใจ

4.2 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และสรุปผลเพื่อจัดทำข้อเสนอแนะเชิงพัฒนา จากจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น 116 คน แบ่งเป็นเพศชาย 35 คน และเพศหญิง 81 คน มีผลความพึงพอใจในการให้บริการดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลแสดงความพึงพอใจในการใช้บริการห้องประชุม

ความพึงพอใจในการให้บริการ	มากที่สุด (5)		มาก (4)		ปานกลาง (3)		น้อย (2)		น้อยที่สุด (1)	
	จำนวนผู้ตอบ	%	จำนวนผู้ตอบ	%	จำนวนผู้ตอบ	%	จำนวนผู้ตอบ	%	จำนวนผู้ตอบ	%
1. ความพร้อมการให้บริการห้องประชุม	111	95.69	4	3.45	1	0.86	0	0.00	0	0.00
2. ความพร้อมอุปกรณ์โสต	108	93.10	6	5.17	2	1.72	0	0.00	0	0.00
3. ความสะอาดของห้องประชุม	105	90.52	10	8.62	1	0.86	0	0.00	0	0.00
4.เจ้าหน้าที่มีความเอาใจใส่ กระตือรือร้น และเต็มใจให้บริการ	110	94.83	6	5.17	0	0.00	0	0.00	0	0.00
5.เจ้าหน้าที่มีความสุภาพอ่อนน้อม มีมนุษยสัมพันธ์ที่ดี	111	95.69	5	4.31	0	0.00	0	0.00	0	0.00
6. เจ้าหน้าที่แต่งกายสุภาพเรียบร้อย	110	94.83	6	5.17	0	0.00	0	0.00	0	0.00
7. เจ้าหน้าที่ผลการปฏิบัติงานโดยรวมของการบริการห้องประชุมและห้องบรรยาย	110	94.83	5	4.31	1	0.86	0	0.00	0	0.00

ผลความพึงพอใจในการให้บริการห้องประชุม ได้ค่าเฉลี่ย 4.94 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ ดีมาก ตามเกณฑ์ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 3.00 ดีมาก, 2.50 - 2.99 ดี, 2.00 - 2.49 พอใช้, 1.50 - 1.99 ควรปรับปรุง และน้อยกว่า 1.50 ควรปรับปรุงอย่างยิ่ง และข้อเสนอแนะของผู้ตอบแบบสอบถามที่อยากให้มีการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม ดังนี้

- ระบบจองห้องประชุม เนื่องจากการจองหายไปจากประวัติ ทำให้เกิดความผิดพลาดไม่มีห้องประชุมให้ใช้
- กรณีมีผู้ใช้บริการพร้อมกันจำนวนมาก อาจส่งผลให้ระบบประมวลผลทำงานล่าช้า รวมถึงการดาวน์โหลดแบบฟอร์มการให้บริการอาจใช้เวลานานกว่าปกติ

5. ผลการศึกษาและอภิปายผล

ผลการศึกษาการบริหารการจองห้องประชุมของหน่วยบริหารสถานที่ งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล พบว่า ก่อนการพัฒนาระบบการให้บริการยังประสบปัญหาการรับจองผ่านหลายช่องทาง ขาดระบบศูนย์กลางในการแสดงสถานะห้องประชุมแบบเรียลไทม์ ส่งผลให้เกิดการจองซ้ำซ้อน ความล่าช้าในการยืนยันผล และเพิ่มภาระงานของเจ้าหน้าที่ อีกทั้งข้อมูลการใช้ห้องประชุมยังไม่ถูกจัดเก็บอย่างเป็นระบบเพียงพอสำหรับการนำไปใช้วิเคราะห์เชิงบริหาร ภายหลังการพัฒนากระบวนการบริหารจัดการ โดยการกำหนดระเบียบและหลักเกณฑ์การจองให้ชัดเจน การจัดทำแบบฟอร์มมาตรฐานการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศและระบบออนไลน์ในการจองและตรวจสอบสถานะห้องประชุม รวมถึงการประชาสัมพันธ์แนวทางการใช้บริการแก่ผู้ใช้งาน พบว่าประสิทธิภาพการให้บริการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สามารถลดปัญหาการจองซ้ำซ้อน เพิ่มความรวดเร็วและความถูกต้องในการให้บริการ ลดภาระงานซ้ำซ้อนของเจ้าหน้าที่ และเอื้อให้สามารถติดตามสถานการณ์ใช้ห้องประชุมได้แบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้บริการพบว่า ผู้ใช้บริการร้อยละ 90 มีความพึงพอในระดับมากต่อระบบการจองห้องประชุมที่มีความชัดเจน โปร่งใส และตรวจสอบได้ ส่งผลให้การวางแผนจัดกิจกรรมของหน่วยงานต่าง ๆ มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยภาพรวม การบริหารการจองห้องประชุมอย่างเป็นระบบและมีมาตรฐานช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ยกระดับคุณภาพการให้บริการ เสริมสร้างภาพลักษณ์องค์กร และสนับสนุนการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาครั้งนี้สะท้อนให้เห็นว่า ปัญหาหลักของการบริหารการจองห้องประชุมก่อนการพัฒนาเกิดจากการขาดระบบศูนย์กลางและมาตรฐานการดำเนินงานที่ชัดเจน ส่งผลให้ข้อมูลการจองมีลักษณะกระจัดกระจาย เกิดความซ้ำซ้อนของรายการจอง และเกิดความล่าช้าในการให้บริการ อันเป็นข้อจำกัดที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการดำเนินงานของหน่วยงานโดยรวม อย่างไรก็ตาม ภายหลังการปรับปรุงกระบวนการทำงานให้เป็นระบบเดียวกัน และมีการนำระบบสารสนเทศมาใช้ในการบริหารจัดการ พบว่าสามารถลดความผิดพลาดในการจอง เพิ่มความโปร่งใสของกระบวนการ และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรห้องประชุมได้อย่างเป็นรูปธรรมผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดการบริหารจัดการองค์กรสมัยใหม่ที่มุ่งเน้นการลดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน การบูรณาการกระบวนการทำงาน และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเป็นเครื่องมือสำคัญในการสนับสนุนการดำเนินงาน รวมถึงการใช้ข้อมูลเป็นฐานในการตัดสินใจเชิงบริหาร (data-driven decision making) ซึ่งช่วยยกระดับคุณภาพการให้บริการ เพิ่มความพึงพอใจของผู้ใช้บริการ และเสริมสร้างภาพลักษณ์ที่ดีของหน่วยงานในระยะยาว จากข้อค้นพบดังกล่าว สามารถสังเคราะห์เป็นข้อเสนอเชิงนโยบายและเชิงปฏิบัติได้ ดังนี้

1. เชิงนโยบาย องค์กรควรกำหนดให้มีระบบบริหารจัดการห้องประชุมแบบศูนย์กลาง (centralized system) เป็นมาตรฐานเดียวกันทั้งหน่วยงาน พร้อมกำหนดแนวปฏิบัติ (Standard Operating Procedures: SOPs) ที่ชัดเจน โปร่งใส และสามารถตรวจสอบได้ รวมถึงสนับสนุนการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการบริหารจัดการทรัพยากร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความสูญเสียจากการดำเนินงานที่ซ้ำซ้อน

2. เชิงปฏิบัติ ควรพัฒนาระบบสารสนเทศให้มีฟังก์ชันสนับสนุนการใช้งานอย่างครบถ้วน เช่น ระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ (ผ่านอีเมลหรือแพลตฟอร์มสื่อสารภายในองค์กร) เมื่อมีการอนุมัติหรือเปลี่ยนแปลงการจอง ระบบรายงานสถานะการใช้งานห้องประชุมแบบเรียลไทม์ และระบบฐานข้อมูลที่สามารถวิเคราะห์แนวโน้มการใช้ทรัพยากร เพื่อช่วยลดความผิดพลาดในการสื่อสาร และเพิ่มความสะดวกในการใช้งานของผู้ใช้บริการและผู้ปฏิบัติงาน ทั้งนี้ สำหรับการศึกษาครั้งต่อไป ควรขยายผลการประเมินในเชิงปริมาณเพิ่มเติม ได้แก่ ระยะเวลาการให้บริการเฉลี่ยก่อนและหลังการพัฒนา อัตราการจองซ้ำซ้อน ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการในมิติต่าง ๆ และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนพัฒนาระบบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายในระดับองค์กร

โดยสรุป การพัฒนาระบบบริหารการจองห้องประชุมในครั้งนี้ไม่เพียงช่วยแก้ไขปัญหาเชิงระบบที่เกิดขึ้นในอดีต แต่ยังเป็นแนวทางสำคัญในการยกระดับคุณภาพการให้บริการ เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร และสนับสนุนการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืนในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการ (ก.พ.ร.). (2561). แนวทางการพัฒนาคุณภาพการให้บริการภาครัฐ. กรุงเทพมหานคร: สำนักงาน ก.พ.ร.

[2] สำนักงานปลัดสำนักนายกรัฐมนตรี. (2562). แนวทางการพัฒนาระบบงานภาครัฐสู่รัฐบาลดิจิทัล. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานปลัดสำนักนายกรัฐมนตรี.

[3] สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา. (2561). แนวทางการประกันคุณภาพการศึกษาภายในระดับอุดมศึกษา. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.

[4] สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล (องค์การมหาชน). (2566). แนวทางการประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการภาครัฐ. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล.

[5] กองบริหารงานทั่วไป. (2565). แนวทางการบริหารจัดการห้องประชุมภายในหน่วยงานราชการ. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานปลัดสำนักนายกรัฐมนตรี.

การเปรียบเทียบคุณภาพภาพรังสีจากแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล

สมพร มาโพนทอง[1], กนกศรี มินโมหา[1*], และ มณฑิชา ชัยชะนะมงคล[2]

[1]คลินิกรังสีวิทยาช่องปากและใบหน้าขากรรไกร คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนโยธี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

[2]งานบริหารคุณภาพ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนโยธี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

**Corresponding author: Kanogsri.min@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

การถ่ายภาพรังสีในช่องปากระบบดิจิทัลแบบทางอ้อมมีความจำเป็นต้องใช้แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากร่วมกับเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล ซึ่งความแตกต่างของชนิดและยี่ห้อของแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลอาจส่งผลต่อคุณภาพของภาพรังสีที่ใช้ในการวินิจฉัยทางทันตกรรม การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของภาพรังสีที่ได้จากแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปาก 4 ยี่ห้อ และเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล 3 ยี่ห้อ โดยการจัดวางแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากคู่กับ Step wedge ใส่ในอุปกรณ์ยึดจับแผ่นรับภาพรังสี (XCP holder) โดยถ่ายภาพรังสีด้วยเครื่องเอกซเรย์และหุ่นจำลองเดียวกัน ค่าพารามิเตอร์เท่ากัน (70 kV, 6 mA, 0.25 sec) จากนั้นนำภาพรังสีที่ได้ไปสแกนด้วยเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลแต่ละยี่ห้อ และวิเคราะห์ค่าความเข้มของเฉดสีด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ ImageJ เพื่อประเมินช่วงความกว้างของระดับเฉดสี นอกจากนี้ยังประเมินจำนวนขั้นของ step wedge ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ผลการศึกษาพบว่า แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากยี่ห้อ P1 มีแนวโน้มให้คุณภาพภาพรังสีที่ดีกว่ายี่ห้ออื่น ในขณะที่ยี่ห้อ P3 มีแนวโน้มให้คุณภาพที่ลดลง สำหรับเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล พบว่า ยี่ห้อ S1 มีแนวโน้มแสดงช่วงระดับเฉดสีได้กว้างและสามารถแยกขั้นของ step wedge ได้มากกว่า ในขณะที่ยี่ห้อ S3 มีแนวโน้มให้ผลที่ลดลง ดังนั้นชนิดของแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มความแตกต่างของค่าช่วงระดับเฉดสีระหว่างยี่ห้อ ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดซื้อและทดแทนอุปกรณ์แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล เพื่อเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการวินิจฉัยและวางแผนการรักษาทางทันตกรรม

คำสำคัญ: คุณภาพภาพรังสี / แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปาก / เครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล / การถ่ายภาพรังสีทางทันตกรรม / รังสีวิทยาทางทันตกรรม

Comparison of radiographic image quality between intraoral digital imaging plates and digital radiography scanners

Somphorn Maponthong[1], Kanogsri Minmoha[1]*, and Monticha Chaichanamongkol[2]

[1]Oral and Maxillofacial Radiology Clinic, Faculty of Dentistry, Mahidol University, Yothi Road, Thung Phaya Thai Subdistrict, Ratchathewi District, Bangkok, Thailand

[2]Quality Management Division, Faculty of Dentistry, Mahidol University, Yothi Road, Thung Phaya Thai Subdistrict, Ratchathewi District, Bangkok, Thailand

**Corresponding author: Kanogsri.min@mahidol.ac.th*

Abstract

Indirect digital intraoral radiography requires the use of intraoral digital imaging plates in combination with digital radiography scanners to convert X-ray signals into digital images. Variations in the types and brands of imaging plates and scanners may influence radiographic image quality, which is essential for accurate dental diagnosis. The objective of this study was to compare the radiographic image quality obtained from four brands of intraoral digital imaging plates and three brands of digital radiography scanners. Each imaging plate was positioned in contact with an aluminum step wedge and secured using an Extension Cone Paralleling (XCP) holder. Radiographic images were acquired using the same X-ray unit and phantom under standardized exposure parameters (70 kV, 6 mA, 0.25 s). The exposed plates were subsequently digitized using each scanner system. Descriptive analysis was performed to evaluate image quality. Quantitative assessment was conducted using ImageJ software to determine grayscale intensity differences, representing the grayscale dynamic range. In addition, subjective evaluation was performed by visually counting the number of distinguishable step wedge levels. The results showed that imaging plate brand P1 produced higher grayscale intensity differences and allowed visualization of more step wedge levels compared to other brands, whereas brand P3 showed lower performance. Among the scanners, brand S1 demonstrated a wider grayscale dynamic range and enabled visualization of more step wedge levels, while brand S3 showed comparatively lower performance. Within the conditions of this study, differences in radiographic image quality were observed among the tested imaging plates and scanner systems. These findings provide preliminary information to support decision-making in the procurement and replacement of intraoral digital imaging plates and scanners, with the aim of improving diagnostic accuracy and efficiency in dental practice.

Keywords: Radiographic image quality / Intraoral digital imaging plate / Digital radiography scanner / Dental radiography / Dental radiology

1. บทนำ

คลินิกรังสีวิทยาช่องปากและใบหน้าขากรรไกร โรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เป็นศูนย์กลางการให้บริการถ่ายภาพรังสีด้วยระบบดิจิทัลที่ทันสมัย ครอบคลุมการให้บริการการถ่ายภาพรังสีภายในช่องปาก (intraoral radiography) ซึ่งสนับสนุนการวินิจฉัย การวางแผนการรักษา และการติดตามผลทางทันตกรรม โดยมีระบบบริการสองระบบหลัก ได้แก่ ระบบการเรียนการสอนเพื่อฝึกฝนทักษะนักศึกษาภายใต้การกำกับดูแลของอาจารย์ประจำภาควิชารังสีวิทยาและแม็กซิลโลเฟเชียล และระบบบริการโดยบุคลากรผู้เชี่ยวชาญ นอกจากนี้คลินิกเปิดให้บริการทั้งผู้ป่วยภายในคณะและผู้ป่วยส่งต่อจากสถานพยาบาลภายนอก โดยมุ่งเน้นคุณภาพมาตรฐานภายใต้การดูแลของทันตแพทย์เฉพาะทางด้านรังสีวิทยา [1] ปัจจุบันการถ่ายภาพรังสีดิจิทัลภายในช่องปาก (intraoral digital radiography) เป็นเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญในการวินิจฉัย วางแผนการรักษา และติดตามผลทางทันตกรรม เนื่องจากสามารถให้ภาพที่มีคุณภาพสูง ลดปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ และสามารถปรับแต่งภาพภายหลังการถ่ายได้ [2,3] แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลภายในช่องปากสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ ระบบทางตรง (direct digital system) ใช้ตัวรับสัญญาณแบบ solid-state เช่น CCD/CMOS sensors และระบบทางอ้อม (intraoral digital system) ใช้แผ่นรับภาพชนิด photostimulable phosphor plate (PSP) [3,4] แม้ระบบทางตรงให้ผลลัพธ์ที่รวดเร็ว และมีความคมชัดของภาพสูงกว่า แต่ด้วยตัวเซนเซอร์มีความหนาและมีต้นทุนสูงกว่าระบบทางอ้อม โรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จึงใช้แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปาก (plate) ชนิด PSP ให้บริการถ่ายภาพรังสีด้วยระบบดิจิทัลในปากที่มีความบางและยืดหยุ่นกว่า ซึ่งมีการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพภาพรังสีในระบบดิจิทัลพบว่า ระบบ PSP จะมีข้อดีด้านความยืดหยุ่นและความสะดวกในการใช้งาน แต่คุณภาพอาจได้รับอิทธิพลจากทั้งคุณภาพของแผ่นรับภาพและประสิทธิภาพของเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล โดยเฉพาะเมื่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ต่างยี่ห้อ ความเข้ากันได้ของระบบ (system compatibility) อาจส่งผลต่อความคมชัดและความถูกต้องของภาพรังสี [5] ซึ่งผู้วิจัยจึงได้สำรวจการใช้แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปาก (plate) และเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล (scanner) ของโรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในคลินิกรังสีวิทยาช่องปากและใบหน้าขากรรไกร คลินิกวิทยาเอ็นโดดอนต์ และศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ พบว่า แต่ละคลินิกมีการใช้แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปาก (plate) และเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล (scanner) ที่แตกต่างกันหลายรุ่นและหลายยี่ห้อ ซึ่งความแตกต่างของอุปกรณ์เหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของภาพรังสี ความแม่นยำในการวินิจฉัย และการวางแผนการรักษา ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการเปรียบเทียบคุณภาพภาพรังสีจากแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลของโรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เพื่อสามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดซื้อและทดแทนอุปกรณ์แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลต่อไป และอันจะมีประโยชน์ต่อการวินิจฉัยและวางแผนการรักษาทางทันตกรรม

2. วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลหลายยี่ห้อที่ใช้งานในคลินิกภายในโรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบคุณภาพภาพรังสีจากแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

3.1 ขอบเขตด้านตัวแปร

ตัวแปรต้น คือ ชนิด/ยี่ห้อของแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปาก จำนวน 4 ยี่ห้อ (P1, P2, P3, P4) และชนิด/ยี่ห้อของเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล จำนวน 3 ยี่ห้อ (S1, S2, S3) ตัวเลขที่กำกับท้ายตัวแปร (1, 2, 3) หมายถึงอุปกรณ์จากยี่ห้อเดียวกัน ตัวแปรตาม คือ ช่วงความกว้างของระดับเฉดสี (grayscale dynamic range) ที่วิเคราะห์จากโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ ImageJ และจำนวนขั้นของ Step wedge (ยี่ห้อ Pehamed) ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

3.2 ตัวแปรควบคุม

การศึกษานี้ใช้เครื่องเอกซเรย์เครื่องเดียวกัน หุ่นจำลองเดียวกัน ใช้ค่าพารามิเตอร์คงที่ (70 kV, 6 mA, 0.25 sec) รวมทั้งการใช้ Step wedge และอุปกรณ์ยึดจับแผ่นรับภาพรังสี (Extension Cone Paralleling Holder: XCP Holder) รูปแบบเดียวกัน

3.3 ขอบเขตด้านพื้นที่

ดำเนินการศึกษาที่คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ไม่มีอาสาสมัครหรือผู้ป่วยเข้าร่วมการศึกษา

3.4 ขอบเขตด้านเนื้อหา

ศึกษาการเปรียบเทียบคุณภาพภาพรังสีจากแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา (descriptive analysis) เพื่ออธิบายและเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการประเมินคุณภาพภาพรังสีทั้งเชิงปริมาณและเชิงอัตวิสัย โดยการประเมินคุณภาพเชิงปริมาณ (objective evaluation) ใช้โปรแกรม ImageJ เพื่อคำนวณค่าผลต่างความเข้มระดับเฉดสีของภาพรังสีจาก step wedge ระหว่างขั้นที่ 1 และขั้นที่ 7 ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของความกว้างของช่วงระดับเฉดสี และการประเมินคุณภาพเชิงอัตวิสัย (subjective evaluation) ใช้การประเมินด้วยสายตา โดยการนับจำนวนขั้นของ Step wedge ที่สามารถมองเห็นได้

4. วิธีการศึกษา

4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ทำการสำรวจแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลที่ใช้งานทั้งหมดภายในโรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เพื่อใช้ในการศึกษา

2. การถ่ายภาพรังสี โดยนำแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากแต่ละชนิด/ยี่ห้อ จัดวางร่วมกับ Step wedge ภายในอุปกรณ์ยึดจับแผ่นรับภาพรังสี (XCP Holder) ทำการถ่ายภาพรังสีบริเวณฟันหลังของหุ่นจำลอง จำนวน 1 ภาพต่อชนิด/ยี่ห้อ ด้วยเครื่องเอกซเรย์เดียวกัน ใช้ค่าพารามิเตอร์คงที่ คือ 70 kV ,6 mA ,0.25 sec

3. การสแกนภาพรังสี โดยหลังจากถ่ายภาพรังสีเสร็จ นำแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากไปสแกนด้วยเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลประจำคลินิกที่ได้จากการสำรวจ จำนวน 3 คลินิก ได้แก่ คลินิกรังสีวิทยาช่องปากและใบหน้าขากรรไกร คลินิกวิทยาเอ็นโดดอนต์ และศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ ซึ่งทำการถ่ายภาพรังสีแผ่นรับภาพทั้ง 4 ยี่ห้อ นำไปสแกนที่คลินิกที่ 1 ให้ครบทุกยี่ห้อ จากนั้นทำการถ่ายภาพรังสีซ้ำใหม่ทั้งหมดอีกครั้งภายใต้เงื่อนไขเดิมจนครบทั้ง 2 คลินิก

4. การจัดเก็บและบันทึกภาพรังสี โดยนำภาพรังสีที่ได้จากการสแกนทุกครั้งส่งเข้าสู่ระบบ PACS (picture archiving and communication system) บันทึกภาพรังสีในรูปแบบ JPEG (joint photographic expert group)

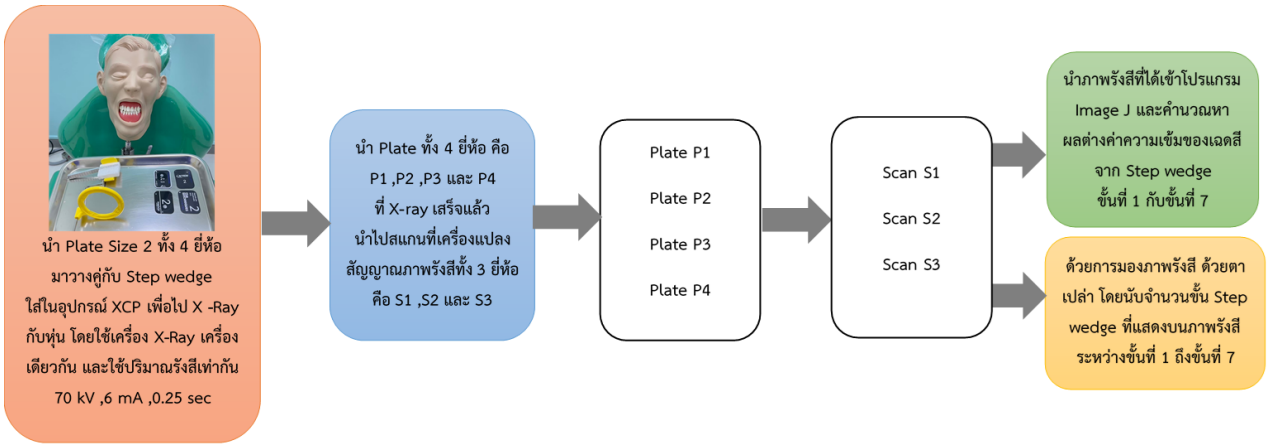
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. นำภาพรังสีที่ได้เข้าโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Image J เพื่อคำนวณหาผลต่างค่าความเข้มของระดับเฉดสีบน Step wedge ระหว่างขั้นที่ 1 และขั้นที่ 7 โดยภาพรังสีที่แสดงผลต่างค่าความเข้มของระดับเฉดสีได้สูงที่สุด แสดงถึงภาพรังสีนั้นสามารถแสดงรายละเอียดของค่าเฉดสีได้ดีมากที่สุด

2. นับจำนวนขั้นของ Step wedge ที่แสดงบนภาพรังสีระหว่างขั้นที่ 1 ถึงขั้นที่ 7 ด้วยมองภาพรังสีด้วยตาเปล่า โดยภาพรังสีที่แสดงจำนวนขั้นได้มาก แสดงว่าภาพรังสีนั้นสามารถอ่านของเฉดสีได้ดี

4.3 กรอบการศึกษา

การเปรียบเทียบคุณภาพภาพรังสีจากแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลของ มีกรอบการศึกษา ดังรูปที่ 1



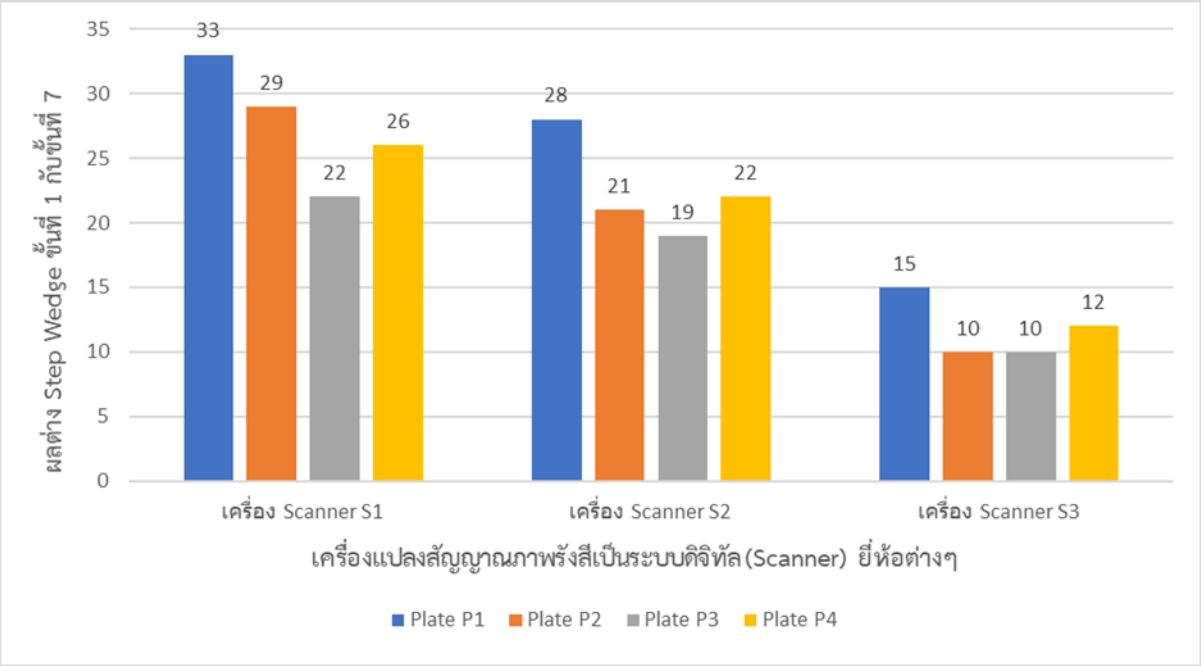
รูปที่ 1 กรอบการศึกษา

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการเปรียบเทียบคุณภาพภาพรังสีจากแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลของโรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยมีรายละเอียดผลการศึกษา ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Image J พบว่า แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากที่มีแนวโน้มแสดงความกว้างของช่วงระดับเฉดสีได้ดีกว่ายี่ห้ออื่น คือ แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปาก ยี่ห้อ P1 และแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากที่มีแนวโน้มแสดงความกว้างของช่วงระดับเฉดสีได้ลดลง คือ แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปาก ยี่ห้อ P3

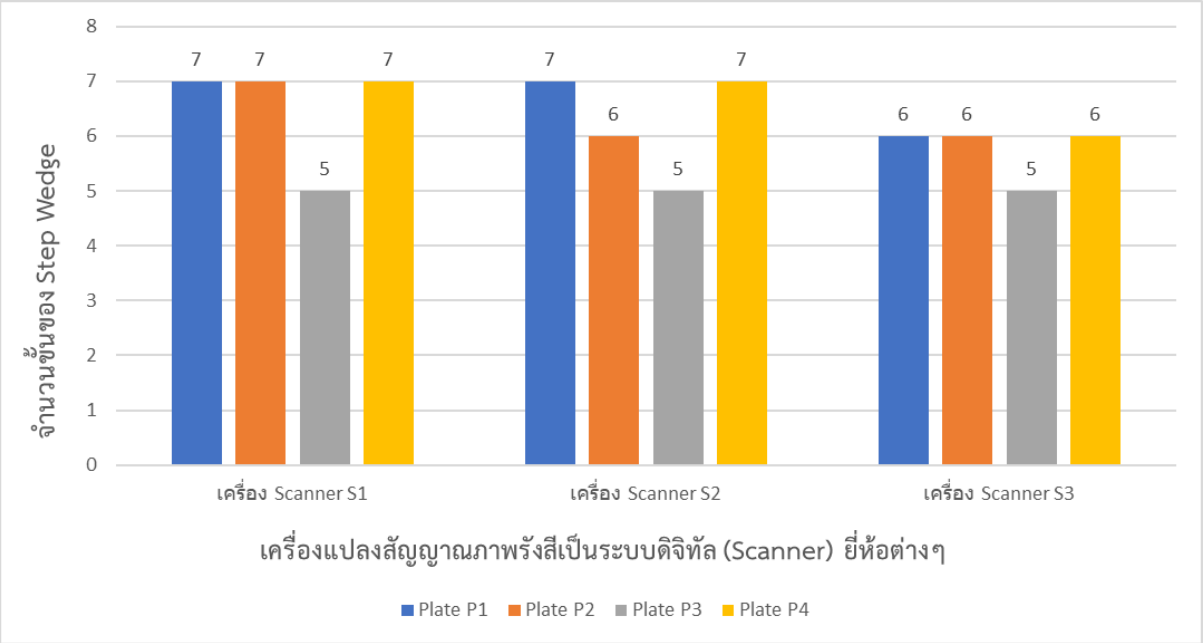
เครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลที่สามารถสแกนแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลแล้วมีแนวโน้มแสดงความกว้างของช่วงระดับเฉดสีได้ดีกว่ายี่ห้ออื่น คือ เครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล ยี่ห้อ S1 และเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลที่มีแนวโน้มแสดงความกว้างของช่วงระดับเฉดสีได้ลดลง คือ เครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล ยี่ห้อ S3 ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผลต่างค่าความเข้มของเฉดสีของ Step wedge ที่แสดงบนภาพรังสีระหว่างขั้นที่ 1 และขั้นที่ 7 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ Image J

ผลการวิเคราะห์ด้วยการนับจำนวนขั้น Step wedge ที่แสดงให้เห็นบนภาพรังสีด้วยการมองเห็นด้วยตาเปล่า พบว่า แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากที่มีแนวโน้มสามารถแสดงจำนวนขั้นของ step wedge ได้ชัดเจนกว่ายี่ห้ออื่น คือ แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปาก ยี่ห้อ P1 และแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากที่มีแนวโน้มแสดงจำนวนขั้นของ step wedge ที่ลดลง คือ แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปาก ยี่ห้อ P3

เครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลที่สามารถสแกนแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลแล้วมีแนวโน้มแสดงจำนวนขั้นของ step wedge ได้ชัดเจนกว่ายี่ห้ออื่น คือ เครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล ยี่ห้อ S1 และเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลที่มีแนวโน้มแสดงจำนวนขั้นของ step wedge ที่ลดลง คือ เครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล ยี่ห้อ S3 ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 จำนวนขั้น Step wedge ที่แสดงให้เห็นบนภาพรังสีด้วยการมองเห็นด้วยตาเปล่า

5.1 อภิปรายผล

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การกำหนดตัวแปรในการถ่ายภาพรังสีเดียวกัน โดยใช้แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลแต่ละยี่ห้อให้คุณภาพภาพรังสีแตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ผลต่างค่าความเข้มของระดับเฉดสี ด้วยโปรแกรม Image J และการนับจำนวนขั้นของ step wedge ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยภาพรวมพบว่า แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปาก ยี่ห้อ P1 และ เครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล ยี่ห้อ S1 มีแนวโน้มให้ผลลัพธ์ดีกว่ายี่ห้ออื่น ขณะที่แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปาก ยี่ห้อ P3 และเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล ยี่ห้อ S3 มีแนวโน้มให้ผลลัพธ์ที่ลดลง ซึ่งจากผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลต่างยี่ห้อให้คุณภาพภาพรังสีแตกต่างกัน แต่ “คุณภาพของภาพรังสี” ยังขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกันมีผลต่อการวินิจฉัย การวางแผนการรักษา และการติดตามผลทางทันตกรรม ซึ่งสอดคล้องกับงานศึกษาที่พบว่า ภาพรังสี 2 มิติยังมีข้อจำกัดในการแสดงรายละเอียดบางส่วน เช่น การซ้อนทับของโครงสร้าง หรือการมองเห็นคลองรากฟันที่มีความซับซ้อน ดังนั้น “คุณภาพของภาพรังสีที่ได้” จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยลดข้อจำกัดดังกล่าวและเพิ่มความแม่นยำในการวินิจฉัย [6] อย่างไรก็ตามความแตกต่างดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากที่มีแนวโน้มแสดงความกว้างของช่วงเฉดสีได้ดี แต่นำไปสแกนด้วยเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลที่ประมวลผลได้จำกัด อาจให้ผลลัพธ์ลดลงได้ ในทางกลับกันเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลที่แสดงความกว้างของช่วงระดับเฉดสีได้ดีกว่าอาจช่วยดึงศักยภาพของแผ่นรับภาพรังสีออกมาได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับหลักการประเมินค่าความทึบรังสี (radiopacity) และระดับเฉดสีที่ปรากฏในภาพรังสีสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามองค์ประกอบของวัสดุและสัดส่วนของสารที่เกี่ยวข้องกับการดูดกลืนรังสี [7, 8] โดยพบว่า วัสดุที่มีองค์ประกอบของสารทึบรังสีแตกต่างกันจะให้ค่าระดับสีเทา (grey Value) ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ [7] และการเพิ่มความเข้มข้นของสารทึบรังสีส่งผลให้ค่าความทึบรังสีเพิ่มขึ้น และสามารถตรวจวัดความแตกต่างดังกล่าวได้อย่างชัดเจนด้วยการใช้ step wedge และการวิเคราะห์ค่าระดับสีเทา ด้วยโปรแกรม ImageJ [8] ผลการศึกษานี้ใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการจัดซื้อหรือทดแทนอุปกรณ์แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลของคลินิกต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับงานด้านประกันคุณภาพทางรังสีวินิจฉัยที่พบว่า ภาพรังสีที่

ด้อยคุณภาพเป็นสาเหตุสำคัญที่นำไปสู่การถ่ายซ้ำ (repeat film) ซึ่งไม่เพียงแต่เพิ่มภาระด้านต้นทุน แต่ยังส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยทางรังสีของผู้ป่วย ดังนั้น การมีข้อมูลสนับสนุนในการเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีแนวโน้มให้คุณภาพภาพที่ดีกว่าเพื่อให้ได้ภาพรังสีที่มีคุณภาพสำหรับการวินิจฉัยทางทันตกรรม [9]

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพภาพรังสีจากแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลที่ใช้งานภายในโรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยใช้แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปาก จำนวน 4 ยี่ห้อ และเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล จำนวน 3 ยี่ห้อ ภายใต้เงื่อนไขการถ่ายภาพเดียวกัน ได้แก่ การใช้เครื่องเอกซเรย์และหุ่นจำลองเดียวกัน และกำหนดค่าพารามิเตอร์คงที่ (70 kV, 6 mA, 0.25 sec) เพื่อควบคุมตัวแปรที่อาจมีผลต่อคุณภาพของภาพรังสี การประเมินคุณภาพภาพรังสีใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา (descriptive analysis) โดยแบ่งเป็นการประเมินเชิงปริมาณ (objective evaluation) และการประเมินเชิงอัตวิสัย (subjective evaluation) การประเมินเชิงปริมาณดำเนินการโดยใช้โปรแกรม ImageJ เพื่อคำนวณค่าผลต่างความเข้มระดับเฉดสีของภาพรังสีจาก step wedge ระหว่างขั้นที่ 1 และขั้นที่ 7 ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของช่วงความกว้างของระดับเฉดสี ส่วนการประเมินเชิงอัตวิสัยใช้การนับจำนวนขั้นของ step wedge ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

ผลการศึกษาพบว่า แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากแต่ละยี่ห้อให้คุณภาพภาพรังสีแตกต่างกัน โดยแผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปาก ยี่ห้อ P1 มีแนวโน้มแสดงความกว้างของช่วงระดับเฉดสีได้ดีกว่ายี่ห้ออื่น และสามารถแสดงจำนวนขั้นของ step wedge ได้มากกว่า ขณะที่แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปาก ยี่ห้อ P3 มีแนวโน้มแสดงผลลัพธ์ที่ลดลง ทั้งในด้านค่ากว้างของช่วงระดับเฉดสีและจำนวนขั้นของ step wedge ที่มองเห็นได้ ส่วนแผ่นรับภาพ ยี่ห้อ P2 และ P4 ให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับปานกลาง ในส่วนของเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัล พบว่า เครื่องสแกนยี่ห้อ S1 มีแนวโน้มแสดงความกว้างของช่วงระดับเฉดสีได้ดี และสามารถแยกขั้นของ step wedge ได้มากกว่าเครื่องสแกนยี่ห้ออื่น ในขณะที่เครื่องสแกนยี่ห้อ S3 มีแนวโน้มแสดงผลลัพธ์ที่ลดลง ทั้งในด้านค่าความกว้างของช่วงเฉดสีและจำนวนขั้นของ step wedge ที่มองเห็นได้ ส่วนเครื่องสแกนยี่ห้อ S2 มีแนวโน้มแสดงผลลัพธ์อยู่ในระดับกลางระหว่าง S1 และ S3

เมื่อพิจารณาผลการประเมินทั้งสองวิธีร่วมกัน พบว่า แนวโน้มของผลลัพธ์มีความสอดคล้องกัน กล่าวคือ แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลที่สามารถแสดงความกว้างของช่วงระดับเฉดสีได้ดี สามารถแสดงจำนวนขั้นของ step wedge ได้มาก ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการแสดงรายละเอียดของภาพรังสีที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากยี่ห้อเดียวกัน เมื่อใช้งานร่วมกับเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีต่างยี่ห้อ ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของความเข้ากันได้ของระบบ (system compatibility) โดยสรุปการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า แผ่นรับภาพรังสีดิจิทัลในปากและเครื่องแปลงสัญญาณภาพรังสีเป็นระบบดิจิทัลต่างยี่ห้อมีความแตกต่างในด้านคุณภาพภาพรังสีภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน โดยเฉพาะการแสดงความกว้างของช่วงระดับเฉดสีและความสามารถในการแยกแยะรายละเอียดของภาพ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดซื้อและทดแทนอุปกรณ์ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการวินิจฉัยและวางแผนการรักษาทางทันตกรรม

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ทันตแพทย์หญิงสุชยา ดำรงค์ศรี รองคณบดีฝ่ายพัฒนาคุณภาพ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล รองศาสตราจารย์ ดร. ทันตแพทย์หญิงจิรา กิติทรัพย์กาญจนา ผู้ควบคุมคลินิกรังสี

วิทยาช่องปากและใบหน้าขากรรไกร ที่ให้การส่งเสริมและสนับสนุน ให้คำปรึกษาแนะนำ ตรวจสอบทานความถูกต้อง พร้อมทั้งให้ความคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ภาควิชารังสีวิทยาช่องปากและแม็กซิลโลเฟเชียล. (2566). *แนะนำคลินิกรังสีวิทยาช่องปากและใบหน้าขากรรไกร*. 16 มกราคม 2569. https://dt.mahidol.ac.th/oral-and-maxillofacial-radiology/

[2] Craciun, D., Popovici, R. A., Popa, M., Dinu, S., Kis, A. M., Zeicu, C., ... & Brad, S. (2025). *Use of Electronic Imaging Programs in Dental Practice.* Medicine in Evolution, 31(2), 212-222. https://doi.org/10.70921/medev.v31i2.1305

[3] Sampaio-Oliveira, M., Gonzalez-Passos, T., Gaêta-Araujo, H., Dagassan-Berndt, D., Bornstein, M. M., Queiroz Freitas, D., Haiter-Neto, F., & Oliveira, M. L. (2025). *Intraoral digital radiography: A comprehensive report on the technical specifications of current and historical systems*. Imaging Science in Dentistry, 55 (1), 72–89. https://doi.org/10.5624/isd.20240248

[4] Almeida, S. M. de, Oliveira, A. E. F. de, Ferreira, R. I., & Bóscolo, F. N. (2003). *Image quality in digital radiographic systems*. Brazilian Dental Journal, 14(2), 136–141. https://doi.org/10.1590/S0103-64402003000200012

[5] Schwerter-Medina, R., Ríos-Kremer, S., Rosas, C., Romero-Araya, P., & Aguilera, F. R. (2025). *Comparison of radiographic imaging quality/accuracy using photostimulable phosphor plates and metal oxide semiconductor receptors*. Journal of Dental Education, 89(7), 1174-1181. https://doi.org/10.1002/jdd.13812

[6] พีรยา บุญทวี, วรรณกมล ปัญญารักษ์, ธนิดา ศรีสุวรรณ. (2022). *Advanced medical imaging technique in endodontics: A literature review*. Thai Endodontic Journal, 1(1), 17–32. retrieved from https://he03.tci-thaijo.org/index.php/thaiendod/article/view/245

[7] Vibulcharoenkitja, P., Banomyong, D., & Sutimuntanakul, S. (2019). *Radiopacity of Biodentine, Bio-MA, and calcium silicate-based cement added with different radiopacifiers*. M Dent Journal, 39(3), 199–205.

[8] Tonneam, C., Jantarat, J., Smutkeeree, A., & Wichai, W. (2024). *The effect of different concentrations of radiopacifier agents on the radiopacity level of nano-calcium hydroxide intracanal medication*. M Dent Journal, 44(3), 161–168.

[9] Nittayasupaporn, B., Proukkerd, J., Permwong, M., & Tippayamontri, T. (2024). *Repeat film analysis and its implications for quality assurance in diagnostic radiology: An institutional case study.* The Thai Journal of Radiological Technology, 49(1), 26-39.

การพัฒนารูปแบบการบริหารจัดการเอกสารดิจิทัลสำหรับเลขานุการภาควิชา โดยใช้ไมโครซอฟท์ ทีมส์ เพื่อส่งเสริมสำนักงานสีเขียว

มณฑิตา อ้นรัตน์[1] และ นฤมล ศักดิ์บุญญารัตน์[2*]

[1]คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
[2]คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
**Corresponding author: Narumon.sak@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบการบริหารจัดการเอกสารดิจิทัลสำหรับเลขานุการภาควิชาอาหารเคมีและภาควิชาสรีรวิทยา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยมุ่งลดปริมาณการใช้กระดาษในกระบวนการจัดการเรียนการสอน ควบคู่กับการยกระดับประสิทธิภาพการปฏิบัติงานให้สอดคล้องกับนโยบายสำนักงานสีเขียวของมหาวิทยาลัย จากระบบการดำเนินงานในรูปแบบเดิมประสบปัญหาการใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลือง ส่งผลให้บุคลากรต้องใช้เวลาจำนวนมากในการจัดทำสำเนา และจัดเรียงเอกสาร กระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานโดยรวม ผู้วิจัยได้นำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ผ่านโปรแกรม Microsoft Teams ในรูปแบบ Classroom เพื่อการบริหารจัดการเอกสารดิจิทัลอย่างเป็นระบบ โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์จากรายวิชาหลักจำนวน 6 รายวิชา ระหว่างปีการศึกษา พ.ศ. 2565 – 2567 ในมิติต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณการใช้กระดาษและหมึกพิมพ์ ต้นทุน ระยะเวลาการดำเนินงาน และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ผลการศึกษาพบว่า รูปแบบการบริหารจัดการเอกสารดิจิทัลที่พัฒนาประสบความสำเร็จอย่างชัดเจน สามารถลดการใช้กระดาษได้ร้อยละ 98.70 ลดการใช้หมึกพิมพ์ได้ร้อยละ 99.31 คิดเป็นมูลค่าต้นทุนที่สามารถประหยัดทั้งสิ้น 127,557.88 บาท และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 4,144.88 $kgCO_2e$ ในด้านประสิทธิภาพการดำเนินงานพบว่าลดเวลาจัดการเอกสารได้รวม 241.68 ชั่วโมง ส่งผลให้เลขานุการภาควิชามีเวลาเพิ่มขึ้นในการปฏิบัติภารกิจหลักและงานเชิงกลยุทธ์ ขณะเดียวกันเอกสารประกอบการเรียนการสอนสามารถเผยแพร่ให้นักศึกษาได้อย่างรวดเร็วและเข้าถึงข้อมูลได้ทุกที่ทุกเวลา งานวิจัยนี้แสดงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่เดิมอย่างเหมาะสม ไม่เพียงช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามเป้าหมายของมหาวิทยาลัย ยังเป็นการบริหารจัดการทรัพยากรขององค์กรให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด นำไปสู่การพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การบริหารจัดการเอกสารดิจิทัล / การลดก๊าซเรือนกระจก / สำนักงานสีเขียว / เลขานุการภาควิชา / ไมโครซอฟท์ ทีมส์

A digital document management system implement by Department Secretaries using Microsoft Teams to promote the Green Office model

Montita Onrat[1] and Narumon Sakboonyarat[2*]

[1] Faculty of Pharmacy, Mahidol University, Thailand
[2] Faculty of Pharmacy, Mahidol University, Thailand
**Corresponding author: Narumon.sak@mahidol.ac.th*

Abstract

This research aimed to develop a digital document-management model for departmental secretaries in the Department of Food Chemistry and the Department of Physiology, Faculty of Pharmacy, Mahidol University. The primary objectives were to reduce paper consumption in teaching and learning processes while enhancing operational efficiency in alignment with the university's Green Office policy. Under the conventional workflow, excessive use of resources and significant time spent on document duplication and organization. All of these adversely affect overall work efficiency. To address issues, information technology was integrated into administrative practices through the use of Microsoft Teams in a Classroom format, enabling a systematic transition toward a structured digital document-management system. A comparative study was conducted across six core courses during the academic years 2022 – 2024. The evaluation focused on multiple dimensions, including paper and printing ink consumption, operational costs, processing time, and greenhouse gas emissions.

The findings demonstrated that the proposed digital document-management model was highly effective. Paper consumption was reduced by 98.70%, while printing ink usage decreased by 99.31%, resulting in total cost savings of 127,557.88 THB. Additionally, the implementation contributed to a cumulative reduction of 4,144.88 kgCO_2e in greenhouse gas emissions. In terms of operational efficiency, the system reduced document-management time by a total of 241.68 hours. This improvement enabled departmental secretaries to reallocate their time toward core responsibilities and strategic tasks. Furthermore, instructional materials could be disseminated promptly, allowing students to access learning resources anytime and anywhere. Overall, this research illustrates that the effective application of existing technological infrastructure not only supports environmental sustainability goals but also maximizes institutional resource utilization and encourages sustainable improvements in operational performance

Keywords: Digital document management / Greenhouse gas reduction / Green Office / Department Secretaries / Microsoft Teams

1. บทนำ

ในปัจจุบัน สถาบันอุดมศึกษาให้ความสำคัญกับการดำเนินงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมภายใต้นโยบายมหาวิทยาลัยสีเขียว (Green University) โดยมุ่งเน้นการลดปริมาณขยะและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า [1] เลขานุการภาควิชาถือเป็นบุคลากรสายสนับสนุนที่มีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนพันธกิจด้านการเรียนการสอน โดยทำหน้าที่เป็นคนกลางในการประสานงานและจัดเตรียมทรัพยากรการเรียนรู้ให้แก่อาจารย์และนักศึกษา อย่างไรก็ตาม กระบวนการปฏิบัติงานแบบดั้งเดิมยังคงพึ่งพาการใช้กระดาษในปริมาณมาก โดยเฉพาะการจัดทำเอกสารประกอบการสอน ใบงาน และคู่มือปฏิบัติการ ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนวัสดุสิ้นเปลือง การใช้พื้นที่จัดเก็บ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้ทรัพยากรกระดาษและหมึกพิมพ์

จากการวิเคราะห์สภาพปัญหาในการปฏิบัติงานจริงของเลขานุการภาควิชา พบว่าอุปสรรคสำคัญในการบริหารจัดการคือข้อจำกัดด้านการบริหารจัดการวัสดุสำรองคลัง เนื่องจากในรอบระยะเวลาการเบิกจ่ายวัสดุสำนักงาน เลขานุการไม่สามารถทราบปริมาณเนื้อหาเอกสารจริงที่อาจารย์ผู้สอนจะจัดเตรียมได้ล่วงหน้าอย่างแม่นยำ ทำให้การวางแผนสำรองกระดาษเกิดความคลาดเคลื่อน ซึ่งมีความเสี่ยงที่จะส่งผลให้เกิดปัญหากระดาษคงคลังสะสมมากเกินความจำเป็นหรือกลายเป็นขยะ (Waste) เมื่อปริมาณเนื้อหาน้อยกว่าที่คาดการณ์ไว้ นอกจากนี้ ในช่วงเปิดภาคการศึกษาที่มีความต้องการใช้งานสูง เลขานุการต้องเผชิญกับคอขวดในกระบวนการทำงาน ได้แก่ การรอคิวใช้งานเครื่องถ่ายเอกสารส่วนกลางเป็นเวลานาน และภาระงานในการจัดเรียงและเย็บชุดเอกสารด้วยแรงงานคน ซึ่งถือเป็นขั้นตอนการทำงานที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม (Non-Value Added) ทำให้สูญเสียเวลาที่ควรใช้ไปกับการปฏิบัติงานเชิงกลยุทธ์หรือการบริการด้านอื่น ๆ

เพื่อตอบสนองต่อนโยบายสำนักงานสีเขียว (Green Office) และนโยบายการมุ่งสู่มหาวิทยาลัยดิจิทัลของมหาวิทยาลัยมหิดล [2] การนำเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมอย่างยิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Microsoft Teams ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่มหาวิทยาลัยได้ลงทุนจัดสรรลิขสิทธิ์ให้แก่บุคลากรและนักศึกษาทุกคน โดยฟีเจอร์รูปแบบ Classroom มีความโดดเด่นในการบริหารจัดการชั้นเรียน สามารถจัดเก็บและเผยแพร่ไฟล์ผ่านเมนู Class Materials ที่มีความปลอดภัยและเป็นระบบ ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนารูปแบบการบริหารจัดการเอกสารดิจิทัลสำหรับเลขานุการภาควิชาโดยใช้ Microsoft Teams เพื่อลดปริมาณการใช้กระดาษ ลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรขององค์กรให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด อันจะเป็นต้นแบบการปฏิบัติงานที่ดี (Best Practice) ในการสนับสนุนการเรียนการสอนวิถีใหม่อย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนารูปแบบการบริหารจัดการเอกสารดิจิทัลสำหรับเลขานุการภาควิชา โดยการประยุกต์ใช้โปรแกรม Microsoft Teams ในรูปแบบ Classroom เพื่อใช้ในการเผยแพร่ข้อมูลและเอกสารประกอบการเรียนการสอนแก่นักศึกษา
2. เพื่อเปรียบเทียบและประเมินผลสัมฤทธิ์ของการใช้ระบบเอกสารดิจิทัล ในด้านการลดปริมาณทรัพยากร ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสะสม (Carbon Footprint)
3. เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดำเนินงาน ระหว่างการจัดการเอกสารรูปแบบเดิมกับการจัดการเอกสารดิจิทัลที่มีต่อระยะเวลาการปฏิบัติงานของเลขานุการภาควิชา

3. ขอบเขตของการศึกษา

ในการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนารูปแบบการบริหารจัดการเอกสารดิจิทัลในครั้งนี้ ผู้ศึกษาได้กำหนดขอบเขตการดำเนินงานเพื่อให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้

1. การศึกษานี้ดำเนินการ ณ ภาควิชาอาหารเคมี และ ภาควิชาสรีรวิทยา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยครอบคลุมรายวิชาที่เปิดสอนในระดับปริญญาตรี โดยมีขอบเขตการเก็บข้อมูลรายวิชาภาควิชาละ 3 รายวิชา จำนวนรวมทั้งสิ้น 6 รายวิชา ต่อปีการศึกษา
2. การศึกษาจะมุ่งเน้นที่กระบวนการบริหารจัดการเอกสารประกอบการเรียนการสอน (Course Materials) ได้แก่ เอกสารคำสอน บทปฏิบัติการ และใบงาน โดยเจาะจงที่ขั้นตอนการจัดเตรียม การทำสำเนา และการแจกจ่ายเอกสาร เปลี่ยนจากรูปแบบกระดาษ มาเป็นรูปแบบไฟล์ดิจิทัลผ่านระบบเครือข่าย
3. เครื่องมือหลักที่ใช้ในการดำเนินงานคือ Microsoft Teams รูปแบบ Classroom ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ลิขสิทธิ์ภายใต้การบริหารจัดการของมหาวิทยาลัยมหิดล โดยเน้นการใช้งานฟีเจอร์ "เอกสารประกอบการเรียน (Class Materials)" ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษในการกำหนดสิทธิ์ให้นักศึกษาอ่านได้เพียงอย่างเดียว เพื่อป้องกันการแก้ไขต้นฉบับ
4. ขอบเขตด้านระยะเวลา: ดำเนินการศึกษาและเก็บข้อมูลในช่วงปีการศึกษา 2565 – 2567 โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบระหว่าง "ปริมาณการใช้จริงในระบบดิจิทัล" กับ "ปริมาณการประมาณการความต้องการใช้ทรัพยากรหากดำเนินการในรูปแบบเดิม" เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่า

4. วิธีการศึกษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยและพัฒนาเพื่อปรับปรุงกระบวนการปฏิบัติงาน โดยประยุกต์ใช้แนวคิดวงจรคุณภาพ (PDCA) และหลักการลดความสูญเปล่า (Lean Management) เป็นกรอบแนวคิดหลักในการดำเนินงาน ดังนี้

4.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ผู้ศึกษาได้กำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัยโดยบูรณาการแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำไปสู่การพัฒนารูปแบบการทำงานที่มีประสิทธิภาพ ดังนี้

1. แนวคิดสำนักงานสีเขียว (Green Office): มุ่งเน้นการบริหารจัดการที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยการใช้ทรัพยากรและพลังงานอย่างรู้คุณค่า เลือกใช้วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องใช้สำนักงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาในปริมาณต่ำ รวมถึงมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมและการมีส่วนร่วมของบุคลากร [3]
2. แนวคิดการบริหารจัดการแบบลีน (Lean Management): มุ่งขจัดความสูญเปล่าของการดำเนินงานในทุกกระบวนการ ตัดกิจกรรม ที่ไม่มีประโยชน์หรือไม่มีการเพิ่มคุณค่าในกระบวนการออกไป [4]
3. วงจรการบริหารงานคุณภาพ (PDCA Cycle): ประกอบด้วย การวางแผน (Plan), การปฏิบัติตามแผน (Do), การตรวจสอบ (Check) และการปรับปรุงการดำเนินการ (Act) เป็นกระบวนการที่ใช้ปรับปรุงการทำงานขององค์กรอย่างเป็นระบบ โดยมีเป้าหมายเพื่อแก้ปัญหาและเกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง [5]
4. หลักการลดต้นทุน (Cost Reduction): เป็นการปรับปรุงกระบวนการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพราะเมื่อองค์กรวิเคราะห์กระบวนการทำงานเพื่อหาจุดที่สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ จะทำให้พบกับแนวทางการปรับปรุงคุณภาพและประสิทธิภาพไปพร้อมกัน เช่น การกำจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น การลดข้อผิดพลาด และการปรับปรุงกระบวนการทำงาน โดยการศึกษานี้มุ่งเน้นการเปรียบเทียบผลลัพธ์การดำเนินงานเพื่อแสดงความคุ้มค่า โดยพิจารณาจากปริมาณทรัพยากรที่ลดลงและงบประมาณที่ประหยัดได้จริงจากการปรับปรุงกระบวนการทำงาน [6]

4.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ได้ดำเนินการแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ตามวงจรการบริหารงานคุณภาพ โดยมีรายละเอียดและวิธีการคำนวณดังนี้

ระยะที่ 1: การวิเคราะห์และเตรียมการ (Plan)

1. การกำหนดเกณฑ์มาตรฐาน (Baseline Data) ทำการรวบรวมข้อมูลจำนวนนักศึกษาและจำนวนหน้าเอกสารย้อนหลัง 3 ปี เพื่อกำหนดเป็นค่าคาดการณ์ปริมาณการใช้ทรัพยากร (Baseline) โดยใช้สูตร:

- **ปริมาณกระดาษคาดการณ์ (แผ่น)** = จำนวนนักศึกษา x จำนวนหน้าเอกสารประกอบการสอน
- **ปริมาณหมึกคาดการณ์ (ตลับ)** = ปริมาณกระดาษคาดการณ์ / 92,400 (ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการพิมพ์ต่อตลับหมึกยี่ห้อ Riso รุ่น S-7250UA) [7]

2. การวิเคราะห์กระบวนการทำงานเดิม (Workflow Analysis) ผู้ศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาที่ส่งผลต่อความล่าช้าและความสิ้นเปลืองทรัพยากรในระบบเดิม โดยจำแนกตามปัจจัยหลัก 4M ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1: การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในกระบวนการจัดการเอกสารรูปแบบเดิม

ปัจจัยหลัก (4M)	สาเหตุของปัญหา (Root Causes)	ผลกระทบต่อการดำเนินงาน
1. บุคลากร (Man)	ภาระงานด้านเอกสารซ้ำซ้อนและมีปริมาณมาก	เกิดความเหนื่อยล้าและมีโอกาสเกิดข้อผิดพลาดในการจัดทำ
2. กระบวนการ (Method)	ขั้นตอนการถ่ายเอกสารและจัดเย็บชุดด้วยมือ	เกิดคอขวด (Bottle Neck) และระยะเวลารอคอยนาน
3. อุปกรณ์ (Machine)	เครื่องถ่ายเอกสารมีจำกัดและขัดข้องบ่อยครั้ง	กระบวนการทำงานหยุดชะงัก ไม่สามารถส่งมอบงานได้ทันเวลา
4. วัสดุ (Material)	การใช้กระดาษและหมึกพิมพ์ในปริมาณสูง	สิ้นเปลืองงบประมาณและเป็นภาระในการจัดเก็บเอกสาร

3. การบันทึกเวลามาตรฐาน (Standard Time) ทำการบันทึกขั้นตอนการทำงานและระบุจุดวิกฤต (Pain Points) โดยกำหนดค่ามาตรฐานเวลาสำหรับการเปรียบเทียบ ซึ่งได้จากการสุ่มจับเวลาการปฏิบัติงานจริงดังนี้:

- **เวลาถ่ายเอกสารมาตรฐาน (120 PPM):** อ้างอิงจากความเร็วการพิมพ์ต่อเนื่องของเครื่องถ่ายเอกสารมัลติฟังก์ชันระบบดิจิทัลที่ใช้งานในหน่วยงาน ซึ่งมีขีดความสามารถในการจัดการเอกสารได้เฉลี่ย 120 แผ่นต่อนาที
- **เวลาจัดเรียงและเย็บชุดมาตรฐาน (35 PPM):** อ้างอิงจากค่าเฉลี่ยความเร็วในการจัดลำดับหน้าเอกสารและการเย็บชุดด้วยมือของเจ้าหน้าที่ โดยจากการสุ่มบันทึกเวลาพบว่าสามารถจัดการเอกสารได้เฉลี่ย 35 แผ่นต่อนาที ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาสูงที่สุดในระบบเดิม

ระยะที่ 2: การพัฒนาและทดสอบระบบการทำงานไร้กระดาษ (Do)

1. การออกแบบและปฏิบัติงานบนระบบดิจิทัล ทำการพัฒนาโครงสร้างการจัดเก็บไฟล์บน Microsoft Teams Classroom และเปลี่ยนรูปแบบการแจกจ่ายเอกสารเป็นการอัปโหลดไฟล์ PDF

ระยะที่ 3: การประเมินผลและวางแนวทางพัฒนา (Check & Act)

1. การคำนวณผลสัมฤทธิ์ด้านต้นทุน (Economic Value): คำนวณมูลค่าประหยัดสะสมจากราคาตลาดของวัสดุอุปกรณ์ในแต่ละปีการศึกษา:

- **มูลค่าประหยัดรวม** = (จำนวนแผ่นที่ลดได้ x ราคากระดาษต่อแผ่น) + (จำนวนตลับหมึกที่ลดได้ x ราคาตลับหมึก)

2. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact): การผลิตกระดาษ 1 รีม (500 แผ่น) = การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 5.26 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า [8]

- **การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้กระดาษ** = จำนวนรีมที่ลดได้ (รีม) x 5.26 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลา (Time Efficiency): คำนวณเวลาที่มีประสิทธิผลเพิ่มขึ้น (Saved Time) จากการลดภาระงานในขั้นตอนที่มีค่า Standard Time สูง:

- **เวลาที่ประหยัดได้** = (ปริมาณกระดาษที่ลดได้ / 120 PPM*) + (ปริมาณกระดาษที่ลดได้ / 35 PPM**)

หมายเหตุ ** 120 PPM คือ ความเร็วของเครื่องถ่ายเอกสาร 120 แผ่นต่อนาที*
*** 35 PPM คือ ความเร็วการจัดเรียง/เย็บ 35 แผ่นต่อนาที*

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis)

ข้อมูลทั้งหมดถูกวิเคราะห์ด้วยการทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Office LTSC Professional Plus 2024 (Excel) และ GraphPad Prism 9.2.0 โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลคาดการณ์โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบพหุคูณของ Dunnett (Dunnett's multiple comparison)

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการปรับปรุงกระบวนการทำงาน

จากการศึกษาพบว่าการปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดการเอกสารสู่ระบบดิจิทัลช่วยขจัดขั้นตอนที่เป็นคอขวดในระบบเดิมออกไปได้ทั้งหมด โดยเฉพาะขั้นตอนการผลิตสื่อสิ่งพิมพ์และการรอคิวใช้งานอุปกรณ์ ส่งผลให้กระบวนการส่งมอบเอกสารประกอบการสอนมีความรวดเร็วและแม่นยำยิ่งขึ้น นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบเชิงคุณภาพในมุมมองของผู้ใช้งานที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบการบริหารจัดการเอกสารดิจิทัลผ่านไมโครซอฟท์ ทีมส์ (Microsoft Teams) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. มุมมองของนักศึกษา
   - ความสะดวกและการเข้าถึง: นักศึกษาสามารถเข้าถึงเอกสารประกอบการเรียนการสอนได้อย่างรวดเร็วและสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทุกที่ทุกเวลา ไม่ต้องพกพาเอกสาร และเสี่ยงต่อการสูญหาย
   - ความสอดคล้องกับพฤติกรรมการเรียนรู้ยุคใหม่: ปัจจุบันนักศึกษามักใช้แท็บเล็ต (เช่น iPad) ในการจดบันทึกการได้รับไฟล์ PDF โดยตรงทำให้สะดวกต่อการค้นหาคำ (Search) การไฮไลท์ และการจัดการข้อมูล
   - อาจมีนักศึกษาบางกลุ่มที่ไม่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนตัว หรืออาจเกิดอาการล้าทางสายตาจากการจ้องจอเป็นเวลานาน
2. มุมมองของอาจารย์ผู้สอน
   - ความยืดหยุ่นในการปรับปรุงเนื้อหา: หากมีข้อผิดพลาดในเอกสาร หรือต้องการอัปเดตข้อมูลสถิติใหม่ ๆ อาจารย์สามารถแก้ไขและอัปโหลดไฟล์ใหม่ได้ทันที โดยไม่ต้องกังวลเรื่องการสั่งพิมพ์ล่วงหน้า
   - ความมั่นใจในความปลอดภัยของข้อมูล: การใช้ฟีเจอร์ "Class Materials" ใน Microsoft Teams ช่วยกำหนดสิทธิ์ให้นักศึกษาอ่านได้อย่างเดียว ทำให้ผู้อนุญาตหรืออาจารย์มั่นใจได้ว่าต้นฉบับจะไม่ถูกดัดแปลง

3. มุมมองของเลขานุการภาควิชา
   - ประหยัดเวลาในการปฏิบัติงาน: ลดขั้นตอนที่ใช้เวลามากแบบสูญเปล่า (Non-Value Added) เช่น การยืนรอเครื่องถ่ายเอกสาร การจัดเรียงหน้ากระดาษ การเย็บเล่ม และการแจกจ่ายเอกสารให้นักศึกษา
   - ลดภาระงานทางกายภาพ: ลดความเหนื่อยล้าและข้อจำกัดทางสรีระจากการที่ต้องจัดทำเอกสาร
   - เพิ่มความยืดหยุ่นในการทำงาน: ผู้ปฏิบัติงานสามารถบริหารจัดการและอัปโหลดเอกสารผ่านระบบคลาวด์จากที่ใดก็ได้ ไม่ต้องยึดติดกับการทำงานหน้าเครื่องถ่ายเอกสารเพียงอย่างเดียว

5.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงปริมาณและต้นทุน

จากการเก็บข้อมูลการใช้ทรัพยากรจริงในรายวิชาที่ทำการศึกษาตลอดปีการศึกษา 2565 – 2567 พบว่าปริมาณการใช้กระดาษลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับค่าคาดการณ์ (Baseline) ดังแสดงรายละเอียดจำแนกตามรายวิชาในตารางที่ 2

ตารางที่ 2: ข้อมูลรายละเอียดปริมาณการใช้กระดาษและร้อยละการลดลงจำแนกตามรายวิชาและปีการศึกษา (พ.ศ. 2565 – 2567)

ปีการศึกษา/ รหัสวิชา	จำนวน นักศึกษา (คน)	จำนวนหน้า เอกสาร (หน้า)	ปริมาณกระดาษ คาดการณ์* (แผ่น)	ปริมาณกระดาษใช้ จริง (แผ่น)	ประหยัดได้ (แผ่น)	ลดลง (ร้อยละ)
ปีการศึกษา 2565	**รวม 765**	**5,390**	**133,678**	**920**	**132,758**	**98.70**
- PYCB 401	129	1,045	34,443	0	34,443	100.00
- PYDB 401	127	987	32,131	127	32,004	99.60
- PYDB 411	127	156	10,033	445	9,588	95.56
- PYBJ 201	133	1,387	24,871	0	24,871	100.00
- PYBJ 202	134	1,097	20,368	0	20,368	100.00
- PYCJ 301	116	718	11,832	348	11,484	97.06
ปีการศึกษา 2566	**รวม 758**	**5,328**	**129,955**	**931**	**129,024**	**98.72**
- PYCB 401	118	1,073	32,568	0	32,568	100.00
- PYDB 401	119	1,014	31,535	119	31,416	99.62
- PYDB 411	118	156	9,322	413	8,909	95.57
- PYBJ 201	136	1,327	24,072	0	24,072	100.00
- PYBJ 202	134	1,015	18,626	0	18,626	100.00
- PYCJ 301	133	743	13,832	399	13,433	97.12
ปีการศึกษา 2567	**รวม 791**	**5,134**	**132,015**	**862**	**131,153**	**98.69**
- PYCB 401	133	1,037	34,979	0	34,979	100.00
- PYDB 401	133	1,043	35,378	0	35,378	100.00
- PYDB 411	133	131	9,443	466	8,977	95.07
- PYBJ 201	130	1,173	20,280	0	20,280	100.00
- PYBJ 202	131	1,011	18,471	0	18,471	100.00
- PYCJ 301	132	739	13,464	396	13,068	97.06
รวมทั้งสิ้น 3 ปี	**2,314**	**15,852**	**395,648**	**2,713**	**392,935**	**98.70**

หมายเหตุ * คำนวณจาก (จำนวนนักศึกษา x จำนวนหน้าเอกสารประกอบการสอน) / 4 จำนวนหน้าเอกสารประกอบการสอน ต่อ 1 แผ่นกระดาษ

จากการลดลงของปริมาณกระดาษข้างต้น ส่งผลให้ปริมาณการใช้งานตลับหมึกพิมพ์ลดลงตามสัดส่วนของประสิทธิภาพการพิมพ์ ของอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการเอกสาร ซึ่งสามารถเปรียบเทียบผลต่างได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3: เปรียบเทียบปริมาณการใช้ตลับหมึกพิมพ์และร้อยละการลดลง (พ.ศ. 2565 – 2567)

ปีการศึกษา	ปริมาณกระดาษคาดการณ์ (แผ่น)	ปริมาณหมึกคาดการณ์ (ตลับ)*	ปริมาณหมึกใช้จริง (ตลับ)	การลดลง (ร้อยละ)
2565	133,678	1.45	0.01	99.31
2566	129,955	1.41	0.01	99.28
2567	132,015	1.43	0.01	99.35
รวมทั้งสิ้น	**395,648**	**4.28**	**0.03**	**99.31**

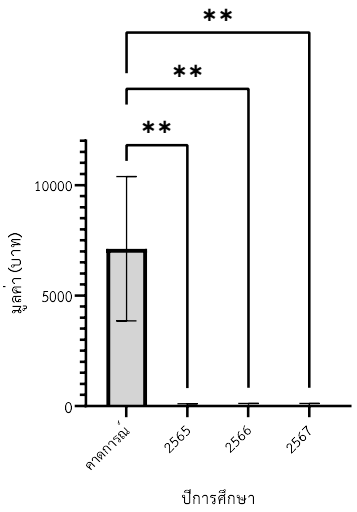
หมายเหตุ * คำนวณจากค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการพิมพ์ 92,400 แผ่น ต่อ 1 ตลับหมึก

เมื่อพิจารณาผลจากการประหยัดวัสดุสิ้นเปลืองทั้งสองประเภท พบว่าสามารถประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ได้อย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา โดยสรุปเป็นมูลค่าประหยัดได้ดังตารางที่ 4 และข้อมูลเปรียบเทียบการประหยัดวัสดุสิ้นเปลืองทั้งสองประเภทแต่ละรายวิชาในปีการศึกษานั้น ๆ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกปีการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 1

ตารางที่ 4: สรุปการลดปริมาณการใช้ทรัพยากรและต้นทุนรวมเปรียบเทียบระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่ (พ.ศ. 2565 – 2567)

ปีการศึกษา	ปริมาณกระดาษที่ลดลง (แผ่น)	ปริมาณหมึกพิมพ์ที่ลดลง (ตลับ)*	มูลค่าประหยัดจากกระดาษ (บาท)	มูลค่าประหยัดจากหมึก (บาท)	รวมมูลค่าที่ประหยัดได้ (บาท)
2565	132,758	1.44	23,386.72	17,456.81	40,843.53
2566	129,024	1.40	26,050.22	16,965.82	43,016.04
2567	131,153	1.42	26,452.54	17,245.77	43,698.31
รวมทั้งสิ้น	**392,935**	**4.26**	**75,889.48**	**51,668.40**	**127,557.88**

หมายเหตุ * คำนวณจากค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการพิมพ์ 92,400 แผ่น ต่อ 1 ตลับหมึก



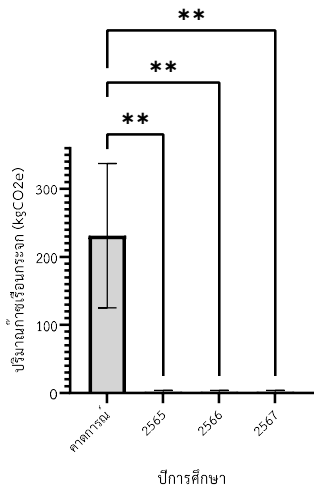
รูปที่ 1: ความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าที่ใช้จริงในแต่ละรายวิชากับมูลค่าคาดการณ์ ปีการศึกษา พ.ศ. 2565 – 2567 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังแสดง (One-way ANOVA, n = 6 รายวิชา, ระดับนัยสำคัญ Dunnett's multiple comparison: ** < 0.01)

นอกเหนือจากผลประโยชน์ด้านต้นทุน การลดการใช้วัสดุยังส่งผลบวกต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง ผ่านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตกระดาษ ดังตารางที่ 5 และข้อมูลเปรียบเทียบลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ละรายวิชาในปีการศึกษานั้น ๆ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกปีการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 2

ตารางที่ 5: สรุปผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตกระดาษ (พ.ศ. 2565 – 2567)

ปีการศึกษา	จำนวนกระดาษที่ลดได้ (รีม)	ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตกระดาษ ($kgCO_2e$)*
2565	266	1,399.16
2566	259	1,362.34
2567	263	1,383.38
รวม 3 ปี	**787**	**4,144.88**

หมายเหตุ * การผลิตกระดาษ 1 รีม (500 แผ่น) = การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 5.26 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า



รูปที่ 2: ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตกระดาษในแต่ละรายวิชากับข้อมูลคาดการณ์ ปีการศึกษา พ.ศ. 2565 – 2567 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังแสดง (One-way ANOVA, n = 6 รายวิชา, ระดับนัยสำคัญ Dunnett's multiple comparison: ** < 0.01)

5.3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงเวลา

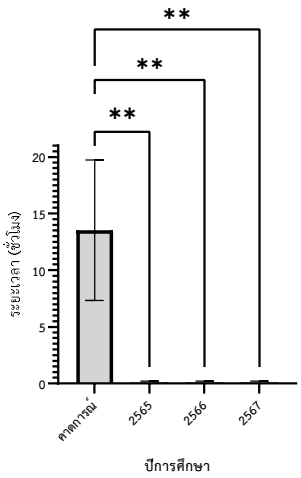
การปรับปรุงกระบวนการทำงานช่วยประหยัดเวลาในขั้นตอนการเตรียมเอกสารประกอบการสอนได้อย่างชัดเจน โดยสรุปรวมผลการดำเนินงานรายปีการศึกษาดังตารางที่ 6 และข้อมูลเปรียบเทียบระยะเวลาในขั้นตอนการเตรียมเอกสารแต่ละรายวิชาในปีการศึกษานั้น ๆ ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกปีการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3

ตารางที่ 6: สรุปเวลาที่ประหยัดได้ในการเตรียมเอกสารจำแนกตามปีการศึกษา (พ.ศ. 2565 – 2567)

ปีการศึกษา	ประหยัดเวลาการถ่ายเอกสาร (นาที)*	ประหยัดเวลาการจัดเรียง/เย็บชุด (นาที)**	รวมเวลาที่ประหยัดได้ (นาที)	รวมเวลา (ชั่วโมง)
2565	1,106	3,793	4,899	81.65
2566	1,075	3,686	4,761	79.35
2567	1,093	3,747	4,840	80.67
รวมทั้งสิ้น 3 ปี	**3,274**	**11,227**	**14,501**	**241.68**

หมายเหตุ * ความเร็วเครื่อง 120 PPM

** ความเร็วการจัดเรียง/เย็บ 35 PPM



รูปที่ 3: ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในขั้นตอนการเตรียมเอกสารในแต่ละรายวิชากับข้อมูลคาดการณ์ ปีการศึกษา พ.ศ. 2565 – 2567 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานดังแสดง (One-way ANOVA, n = 6 รายวิชา, ระดับนัยสำคัญ Dunnett's multiple comparison: ** < 0.01)

จากตารางที่ 6 พบว่าระบบใหม่ช่วยลดระยะเวลาจัดการเอกสารรวมทั้งหมด **241.68 ชั่วโมง** ช่วยให้บุคลากรมีเวลาเพิ่มขึ้นในการปฏิบัติภารกิจส่วนงานอื่นที่มีความสำคัญเชิงกลยุทธ์ของภาควิชาได้อย่างมีนัยสำคัญ

6. สรุปผลการศึกษา

สรุปผลการพัฒนารูปแบบการบริหารจัดการเอกสารดิจิทัลจากการศึกษาในรายวิชาหลักจำนวน 6 รายวิชา ตลอดระยะเวลา 3 ปีการศึกษา พบว่าจากการเปรียบเทียบกับข้อมูลฐานที่คาดการณ์ไว้ ระบบใหม่สามารถลดปริมาณการใช้กระดาษลงได้ถึง 392,935 แผ่น (คิดเป็นร้อยละ 98.70) และลดการใช้ตลับหมึกพิมพ์ได้ร้อยละ 99.31 ส่งผลให้หน่วยงานสามารถประหยัดงบประมาณวัสดุสำนักงานได้รวมทั้งสิ้น 127,557.88 บาท พร้อมทั้งช่วยลดภาระงานทางกายภาพของเลขานุการภาควิชาในขั้นตอนการผลิตและจัดชุดเอกสารลงได้กว่า 241.68 ชั่วโมง นอกจากนี้ในมิติด้านสิ่งแวดล้อมยังสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 4,144.88 $kgCO_2e$ ซึ่งเป็นการสนับสนุนนโยบายสำนักงานสีเขียวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการดำเนินงานตามวงจร PDCA อย่างต่อเนื่อง ผู้ศึกษาพบว่าปัจจัยความสำเร็จที่สำคัญคือการบูรณาการเครื่องมือดิจิทัล (Microsoft Teams) เข้ามาแทนที่กระบวนการทำงานแบบเดิมเพื่อขจัดความสูญเปล่าด้านการรอคอยและการผลิตที่เกินความจำเป็น อย่างไรก็ตาม แม้ผลลัพธ์เชิงปริมาณจะเป็นเพียงการศึกษาขั้นต้นภายในหน่วยงาน แต่รูปแบบกระบวนการทำงานที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น โดยการประยุกต์ใช้แนวคิดการบริหารจัดการแบบลีน (Lean Management) ร่วมกับแพลตฟอร์มไมโครซอฟท์ทีมส์ (Microsoft Teams) ถือเป็นต้นแบบที่มีความยืดหยุ่นสูง หน่วยงานอื่น ๆ สามารถนำแนวคิดการปฏิบัติงานนี้ ไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับโครงสร้างและข้อจำกัดของตนเอง เพื่อยกระดับการจัดการเอกสารดิจิทัลได้อย่างเป็นรูปธรรม

นอกจากนี้ รูปแบบกระบวนการที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับภาระงานอื่นที่มีลักษณะการใช้เอกสารจำนวนมากได้อย่างหลากหลาย อาทิ การเรียนการสอนของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา งานจัดเตรียมเอกสารการประชุม ซึ่งเปลี่ยนจากการพิมพ์วาระการประชุมและเอกสารแนบแจกกรรมการในห้องประชุม เป็นการตั้งกลุ่ม (Team) หรือช่องทาง (Channel) สำหรับคณะกรรมการชุดนั้น ๆ เพื่ออัปโหลดไฟล์วาระการประชุม กรรมการสามารถเปิดอ่านผ่านอุปกรณ์สื่อสารส่วนบุคคล (เช่น สมาร์ตโฟน แท็บเล็ต แล็ปท็อป) และสามารถสืบค้นรายงานการประชุมย้อนหลังได้ทันที รวมถึงงานสารบรรณและหนังสือเวียนภายใน

เพื่อใช้สำหรับการเวียนแจ้งประกาศ ระเบียบ หรือคำสั่งของคณะ/ภาควิชา โดยจัดหมวดหมู่ให้บุคลากรเข้ามาค้นหาและอ่านได้เอง ลดการทำสำเนาแจกจ่ายเอกสาร

ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืนในระยะยาว ผู้บริหารหน่วยงานควรพิจารณาผลักดันนโยบายระบบเอกสารดิจิทัลให้ครอบคลุมทุกรายวิชา ตลอดจนควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในอนาคตเกี่ยวกับการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน และการประเมินมาตรฐานความปลอดภัยของระบบจัดเก็บข้อมูลบนคลาวด์ เพื่อยกระดับการให้บริการทางการศึกษาของภาควิชา/คณะสู่ระดับสากลต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] กิติกร จามรดุสิต. (2562). มหาวิทยาลัยมหิดลกับการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียว UI Green Metric Ranking. กองกายภาพและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล. https://op.mahidol.ac.th/pe/wp-content/uploads/2019/04/Article-UI-Green-Metric-Ranking.pdf

[2] ผู้จัดการออนไลน์. (2568, 18 มิถุนายน). ก้าวสู่ยุคดิจิทัลเต็มตัว! มหิดลจับมือ DE พัฒนา e-Office และพลิกโฉมการศึกษา-สุขภาพผ่านระบบคลาวด์กลาง. https://mgronline.com/qol/detail/9680000057296

[3] กรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม. (2569). เกณฑ์การประเมินสำนักงานสีเขียว (Green Office). กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. https://www.dcce.go.th/1687/

[4] กฤชชัย อนรรฆมณี. (2561). LEAN กลยุทธ์การพัฒนาองค์กรที่ขาดไม่ได้. วารสาร TPA News, 22(254), 20-21. https://www.tpa.or.th/tpanews/upload/mag_content/131/ContentFile2561.pdf

[5] Sahatorn Petvirojchai. (2564, 10 มิถุนายน). PDCA ประโยชน์ และตัวอย่างการใช้เพื่อพัฒนาองค์กร. HR NOTE.asia. https://th.hrnote.asia/orgdevelopment/what-is-pdca-210610/

[6] Bhatara Pro. (ม.ป.ป.). Cost Reduction คืออะไร? รวมกลยุทธ์ลดต้นทุน เพิ่มกำไรอย่างยั่งยืน. สืบค้นเมื่อ 25 กุมภาพันธ์ 2569, จาก https://www.bhatarapro.com/cost-reduction-strategy-guide/

[7] Toner.com. (ม.ป.ป.). Riso S-7250UA Black Ink Cartridge. สืบค้นจาก https://www.toner.com/productdetails/Riso/Ink_Cartridge/S-7250UA/106009.html

[8] โครงการห้องเรียนสีเขียว การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2566, 29 มิถุนายน). มาลดการใช้กระดาษกันเถอะ!. https://gls.egat.co.th/knowledge/79

การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทย ผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน

จักรพล คนเที่ยง

งานสื่อประชาสัมพันธ์และสื่อสารองค์กร หน่วยงานพัฒนาธุรกิจ โครงการจัดตั้งสถาบันอุทยานธรรมชาติวิทยาลิรีรุกขชาติ
สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนพุทธมณฑลสาย 4 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย 73170
Corresponding author: jakkapol.kon@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ และ 2) เพื่อศึกษาผลการทดลองใช้สื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยมุ่งประเมินทั้งความเหมาะสมขององค์ประกอบสื่อและระดับความพึงพอใจ กลุ่มตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน สำหรับประเมินคุณภาพและความเหมาะสมของสื่อ และกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 400 คน ซึ่งประกอบด้วยนักศึกษา บุคลากรมหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตศาลายา และประชาชนทั่วไป เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ และแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ชม โดยใช้สถิติพื้นฐานในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ผลการวิจัยพบว่า การพัฒนาสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ มีการออกแบบอย่างเป็นระบบ โดยครอบคลุมทั้งด้านเนื้อหาและกระบวนการผลิต ด้านเนื้อหามุ่งเน้นความถูกต้องทางวิชาการ ความชัดเจน และความเหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย โดยมีการผสมผสานองค์ประกอบของข้อความ ภาพ เสียง และวิดีทัศน์อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ด้านการผลิตสื่อได้ดำเนินการตามกระบวนการผลิตวิดีทัศน์ตามหลัก 4P ได้แก่ 1) การเตรียมการผลิต (Pre-Production) 2) การผลิต(Production) 3) การหลังการผลิต(Post-Production) และ 4) การเผยแพร่ผลงาน(Presentation) ซึ่งช่วยให้สื่อมีคุณภาพและความน่าสนใจ ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นต่อความเหมาะสมของสื่อในระดับ มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.52, S.D. = 0.56) และผลการทดลองใช้สื่อกับกลุ่มเป้าหมายพบว่ามีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.52, S.D. = 0.55)

คำสำคัญ: สมุนไพรไทย / สื่อวิดีทัศน์ / การประชาสัมพันธ์ออนไลน์ / การเรียนรู้ / การพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน

The development of online video-based public relations media on thai herbal medicine for enhancing learning and sustainable organizational development

Jakkapol Konthaing

Sireeruckhachati Nature Learning Park, Mahidol University, Thailand
Corresponding author: jakkapol.kon@mahidol.ac.th

Abstract

Study aimed to 1) develop a video-based public relations media on Thai herbal knowledge through online platforms, and 2) examine the results of implementing the developed media by evaluating both the appropriateness of media components and the level of audience satisfaction. The samples were divided into two groups. The first group consisted of five experts who evaluated the quality and appropriateness of the media. The second group comprised 400 participants, including students, staff of Mahidol University (Salaya Campus), and the general public. The research instruments included an expert evaluation form and a satisfaction questionnaire for viewers. Data were analyzed using basic statistics, including mean ($\bar{x}$) and standard deviation (S.D.).

The results revealed that the developed video media was systematically designed, covering both content and production processes. In terms of content, the media emphasized academic accuracy, clarity, and appropriateness for the target audience, integrating text, images, audio, and video elements effectively. Regarding the production process, the media development followed the 4P video production framework, including: (1) pre-production, (2) production, (3) post-production, and (4) presentation. This process contributed to the overall quality and attractiveness of the media. The experts rated the appropriateness of the media at the highest level ($\bar{x}$ = 4.52, S.D. = 0.56). Similarly, the results from the implementation with the target group indicated that audience satisfaction was also at the highest level ($\bar{x}$ = 4.52, S.D. = 0.55).

Keywords: Thai herbal medicine / video media / online public relations / learning / sustainable organizational development

1. บทนำ

ในบริบทของระบบสุขภาพโลกที่กำลังเผชิญกับความท้าทายเชิงโครงสร้างและความซับซ้อนในมิติสุขภาพสมัยใหม่ การแพทย์แผนโบราณ การแพทย์เสริม และการแพทย์บูรณาการ (Traditional, Complementary and Integrative Medicine: T&CM) ได้รับการยอมรับเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในระดับนโยบายและการใช้งานจริงในสังคม โดยมีรายงานว่าประชากรโลกมากกว่าร้อยละ 80 ใช้ T&CM ในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง และมักใช้ควบคู่กับการแพทย์กระแส [11] สอดคล้องกับข้อมูลขององค์การอนามัยโลกที่ระบุว่ามีการใช้ T&CM ในกว่า 170 ประเทศ และร้อยละ 67.00 ของประเทศสมาชิกรายงานอัตราการใช้ระหว่างร้อยละ 40.00 ถึง 99.00 ของประชากร [12] ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของการแพทย์ทางเลือกในระบบสุขภาพโลก ในบริบทของประเทศไทย สมุนไพรไทยถือเป็นทรัพยากรทางภูมิปัญญาที่มีความสำคัญและได้รับการส่งเสริมอย่างต่อเนื่อง [2] โดยการแพทย์แผนไทยมีประวัติยาวนานกว่า 800 ปี และได้รับการบรรจุในยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) [10] อุทยานธรรมชาติวิทยาสิรีรุกขชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล เป็นแหล่งเรียนรู้สมุนไพรที่มีศักยภาพสูงโดยรวบรวมพืชสมุนไพรมากกว่า 800 ชนิด และมีบทบาทสำคัญด้านการอนุรักษ์ การศึกษาและการวิจัย อีกทั้งยังได้รับการรับรองมาตรฐานระดับสากล [6] อย่างไรก็ตาม อุทยานธรรมชาติวิทยาสิรีรุกขชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล ยังเผชิญข้อจำกัดในการเผยแพร่ข้อมูลผ่านสื่อดิจิทัล โดยสื่อวิดีทัศน์ที่มีอยู่ยังจำกัดอยู่ในพื้นที่ทางกายภาพ และยังไม่ได้รับการเผยแพร่อย่างเป็นระบบผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ [4] และจากการทบทวนวรรณกรรมพบช่องว่างสำคัญ ได้แก่ การขาดงานวิจัยด้านการสื่อสารสมุนไพรที่มุ่งเน้นกลุ่มเป้าหมาย การขาดการบูรณาการทฤษฎีการออกแบบสื่อวิดีทัศน์ และการขาดการเชื่อมโยงระหว่างการผลิตสื่อกับการพัฒนาองค์กรด้านสุขภาพ รวมถึงการใช้แพลตฟอร์มออนไลน์ยังไม่เต็มศักยภาพ และยังขาดองค์ความรู้ด้านการจัดการความรู้ผ่านสื่อดิจิทัล [5]

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์สมุนไพรไทย ผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์เพื่อส่งเสริม การเรียนรู้อย่างยั่งยืน โดยใช้กรณีศึกษาโครงการจัดตั้งสถาบันอุทยานสิรีรุกขชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งกระบวนการวิจัยประกอบด้วย การออกแบบสื่อวิดีทัศน์ เนื้อหา การผลิต และการเผยแพร่ผ่านแพลตฟอร์มที่ได้รับความนิยม เช่น YouTube เป็นต้น โดยใช้หลักการออกแบบสื่อมัลติมีเดีย เพื่อเพิ่มการรับรู้ของประชาชน การพัฒนาองค์ความรู้ด้านการสื่อสารดิจิทัล เพื่อองค์กร และการสร้างต้นแบบการประชาสัมพันธ์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในองค์กรด้านสุขภาพอื่นๆ อันจะนำไปสู่การอนุรักษ์และเผยแพร่ภูมิปัญญาสมุนไพรไทยอย่างยั่งยืนในยุคดิจิทัลต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์
2. เพื่อศึกษาผลการทดลองใช้สื่อวิดีทัศน์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์

3. ขอบเขตของการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมุ่งเน้นที่จะศึกษาการพัฒนาสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ในรายการศึกษาสมุนไพรสไตล์ลุงอ๋า เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้สมุนไพรและพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน ซึ่งมีของเขตการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

3.1.1 ความรู้ด้านสมุนไพรไทย

3.1.2 การผลิตสื่อวีดิทัศน์ ตามหลัก 4P ประกอบด้วย

1) ระยะการเตรียมการผลิต (Pre-Production)
2) ระยะการผลิต (Production)

3) ระยะหลังการผลิต (Post-Production)

4) การเผยแพร่ผลงาน (Presentation)

3.1.3 การเผยแพร่ผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์

3.1.4 3.1.4 การส่งเสริมการเรียนรู้ และแนวคิดการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน

3.2 ขอบเขตประชากรและกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

3.2.1 ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ที่มีความรู้ด้านการพัฒนาสื่อวีดิทัศน์และประสบการณ์ทางด้านเทคโนโลยี เพื่อประเมินความเหมาะสมของสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์

3.2.2 นักศึกษา บุคลากรมหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตศาลายา และประชาชนทั่วไป จำนวน 400 คน ที่ศึกษาสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งได้มาโดยวิธีการ สุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling)

3.3 ขอบเขตระยะเวลา

ระหว่างเดือน มกราคม ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2568

4. วิธีการศึกษา

4.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนของการวิจัย ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สำรวจความต้องการผลิตสื่อวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาองค์ประกอบของการผลิตสื่อวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์

ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยใช้ขั้นตอนการผลิตรายการวีดิทัศน์ ตามหลัก 4P ดังนี้

1) ระยะการเตรียมการผลิต (Pre-Production)

2) ระยะการผลิต (Production)

3) ระยะหลังการผลิต (Post-Production)

4) การเผยแพร่ผลงาน (Presentation)

ขั้นตอนที่ 4 นำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ด้านการพัฒนาสื่อวีดิทัศน์และประสบการณ์ทางด้านเทคโนโลยี จำนวน 5 ท่าน เพื่อประเมินความเหมาะสมของสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์

ขั้นตอนที่ 5 ทดลองใช้สื่อวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ และประเมินระดับความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง ด้วยแบบฟอร์มอิเล็กทรอนิกส์ (google form) แล้วนำมาวิเคราะห์และสรุปผล

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

4.2.1 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item-Objective Congruence: IOC) กำหนดเกณฑ์ที่ IOC ≥ 0.67

4.2.2 ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

4.2.3 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) สำหรับการวิเคราะห์ระดับความต้องการจำเป็น ความเหมาะสมและความพึงพอใจ

4.2.4 เกณฑ์แปลผลค่าเฉลี่ยของคะแนนตามแนวคิดของ Likert Scale [9] ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 – 5.00 หมายความว่า ระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 – 4.50	หมายความว่า ระดับมาก
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51 – 3.50	หมายความว่า ระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51 – 2.50	หมายความว่า ระดับน้อย
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 – 1.50	หมายความว่า ระดับน้อยที่สุด

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการพัฒนาสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาองค์ประกอบของสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นกรอบแนวคิดในการออกแบบสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 : กรอบแนวคิดองค์ประกอบและกระบวนการพัฒนาสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์

จากรูปที่ 1 องค์ประกอบของสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ด้านเนื้อหา ประกอบด้วย ข้อความ, ภาพ, เสียง, และวิดีทัศน์ที่พัฒนาและออกแบบตรงกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย โดยใช้ความคมชัดของภาพที่มีคุณภาพสูง เลือกใช้แสง สี และเสียง ข้อความมีความชัดเจน กระชับใช้ภาษาที่เหมาะสม อ่านง่ายสอดคล้องกับภาพเสียงบรรยายและเสียงดนตรีประกอบ ส่วนที่ 2. ด้านการสร้างสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยใช้ขั้นตอนการผลิตรายการ วีดิทัศน์ ตามหลัก 4P ดังนี้ 1) ระยะการเตรียมการผลิต (Post-Production) ประกอบด้วย (1) การกำหนดวัตถุประสงค์ (2) การวิเคราะห์กลุ่มเป้าหมาย (3) การค้นคว้าและรวบรวมข้อมูล (4) การวางแผนการถ่ายทำ 2) ระยะการผลิต (Production) ประกอบด้วย (1) การถ่ายภาพ (2) การจัดแสง (3) การบันทึกเสียง (4) การควบคุมองค์ประกอบภาพ 3) ระยะหลังการผลิต (Post-Production) ประกอบด้วย (1) การตัดต่อวิดีโอ (2) การปรับแต่งเสียง (3) การใส่ข้อความ/กราฟิก (4) การใส่ดนตรีประกอบ (5) การตรวจสอบคุณภาพ และ4) การเผยแพร่ผลงาน (Presentation) ประกอบด้วย (1) การเลือกแพลตฟอร์ม (2) การตั้งชื่อเรื่องและคำอธิบาย (3) การออกแบบภาพปก ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ด้านการพัฒนาสื่อวิดีทัศน์และประสบการณ์ทางด้านเทคโนโลยี จำนวน 5 ท่าน ผลการประเมินค่า IOC = 0.91 และการประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบสื่อวิดีทัศน์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเหมาะสมขององค์ประกอบสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์สมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์

องค์ประกอบของสื่อวิดิทัศน์	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	แปรผล
1. ด้านเนื้อหา			
1.1 ข้อความ	4.60	0.49	มากที่สุด
1.2 ภาพ	4.58	0.50	มากที่สุด
1.3 เสียง	4.47	0.55	มาก
1.4 วิดีทัศน์	4.55	0.52	มากที่สุด
เฉลี่ย	**4.55**	**0.52**	**มากที่สุด**
2. ด้านการสร้างสื่อวิดีทัศน์ 4P			
2.1 ระยะการเตรียมการผลิต (Pre-Production)			
1) การกำหนดวัตถุประสงค์	4.52	0.55	มากที่สุด
2) การวิเคราะห์กลุ่มเป้าหมาย	4.50	0.57	มาก
3) การค้นคว้าและรวบรวมข้อมูล	4.48	0.56	มาก
4) การวางแผนการถ่ายทำ	4.46	0.58	มาก
2.2 ระยะการผลิต (Production)			
1) การถ่ายภาพ	4.54	0.52	มากที่สุด
2) การจัดแสง	4.49	0.55	มาก
3) การบันทึกเสียง	4.45	0.57	มาก
4) การควบคุมองค์ประกอบภาพ	4.50	0.56	มาก
2.3 ระยะหลังการผลิต (Post-Production)			
1) การตัดต่อวิดีโอ	4.53	0.54	มากที่สุด
2) การปรับแต่งเสียง	4.48	0.55	มาก
3) การใส่ข้อความ/กราฟิก	4.51	0.53	มากที่สุด
4) การใส่ดนตรีประกอบ	4.47	0.56	มาก
5) การตรวจสอบคุณภาพ	4.52	0.54	มากที่สุด
2.4 การเผยแพร่ผลงาน (Presentation)			
1) การเลือกแพลตฟอร์ม	4.49	0.55	มาก
2) การตั้งชื่อเรื่องและคำอธิบาย	4.46	0.57	มาก
3) การออกแบบภาพปก	4.44	0.58	มาก
เฉลี่ย	**4.49**	**0.56**	**มาก**
โดยรวม	**4.52**	**0.56**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 1 พบว่า ความเหมาะสมขององค์ประกอบสื่อวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.52, S.D. = 0.56)

5.1.1 ผลการออกแบบสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวางแผน ออกแบบ และพัฒนาสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยนำองค์ประกอบของสื่อวิดีทัศน์ด้านสมุนไพรไทยผ่านช่องทางแพลตฟอร์มออนไลน์ ตามข้อ 1.1 มาเป็นแนวทางในการพัฒนาสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยกำหนดกระบวนการดำเนินงานไว้เป็นขั้นตอน ดังต่อไปนี้

5.1.1.1 สำรวจและศึกษาต้นสมุนไพรภายในบริเวณอุทยานธรรมชาติวิทยาสิรีรุกขชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล ร่วมกับนักวิชาการเกษตรหรือผู้เชี่ยวชาญด้านต้นสมุนไพร โดยมีการแนะนำต้นสมุนไพรที่มีความสำคัญและ น่าศึกษาเรียนรู้ โดยส่วนใหญ่ผู้ที่มีความสนใจต้นสมุนไพร จะศึกษาลักษณะพฤษศาสตร์ คุณลักษณะพิเศษและสรรพคุณ เพื่อนำมาสร้างสื่อวีดิทัศน์ให้ผู้ที่สนใจสามารถเห็นภาพจริงและจดจำสรรพคุณได้อย่างง่าย

5.1.1.2 ลักษณะพฤษศาสตร์และสรรพคุณ/กำหนดเนื้อหาที่จะนำมาเขียนบททำสื่อวีดิทัศน์ โดยจะรวบรวมข้อมูลเนื้อหาต่างๆ ได้แก่ ลักษณะวิสัย ลักษณะใบ ลักษณะดอก ลักษณะผลและสรรพคุณ เป็นต้น เพื่อที่จะนำมาทำบทหรือสคริปต์รายการให้กับวิทยากรได้พูดในประเด็นที่สำคัญ ซึ่งต้นสมุนไพรที่จะนำมาทำสื่อวีดิทัศน์ซึ่งจะมีเนื้อหาข้อมูล เช่น ชื่อภาษาไทย ชื่อวิทยาศาสตร์ ชื่อวงศ์ ลักษณะพฤษศาสตร์และสรรพคุณ เพื่อให้ถ่ายคลิปทำตามขั้นตอน

5.1.1.3 เตรียมอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์ สำหรับถ่ายทำสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยให้มีภาพเคลื่อนไหวและเสียงที่ชัดเจน ดังนี้

กล้อง DSLR (Digital Single Lens Reflex) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายบันทึกภาพเคลื่อนไหวหรือถ่ายภาพนิ่ง ของต้นสมุนไพร

รูปที่ 2 : กล้อง DSLR

ขาตั้งกล้อง (tripod) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งกล้องเพื่อให้กล้องยึดกับขาตั้งให้นิ่ง และมั่นคง ซึ่งจำเป็นสำหรับการถ่ายภาพเคลื่อนไหวหรือภาพนิ่ง เพื่อให้กล้องนิ่งไม่สั่นไหว

รูปที่ 3 : ขาตั้งกล้อง

ไมค์หนีบปกเสื้อ (Lavalier) เป็นอุปกรณ์ที่ทำการรับเสียงจากผู้พูดแล้วแปลงสัญญาณไฟฟ้า เข้าตัวกล้อง DSLR เป็นไมค์หนีบปกเสื้อที่มีขนาดตัวเล็ก แต่สามารถรับเสียงผู้พูดได้ดี ให้เสียงพูดชัดเจน และรับเสียงได้เฉพาะเจาะจง เพราะระยะของไมค์อยู่ใกล้กับปากของผู้พูด ทั้งยังลดเสียงรบกวนรอบข้างได้ ตัวไมค์ที่มีขนาดเล็กจึงสามารถซ่อนตัวไมค์ได้

รูปที่ 4 : ไมค์หนีบปกเสื้อ

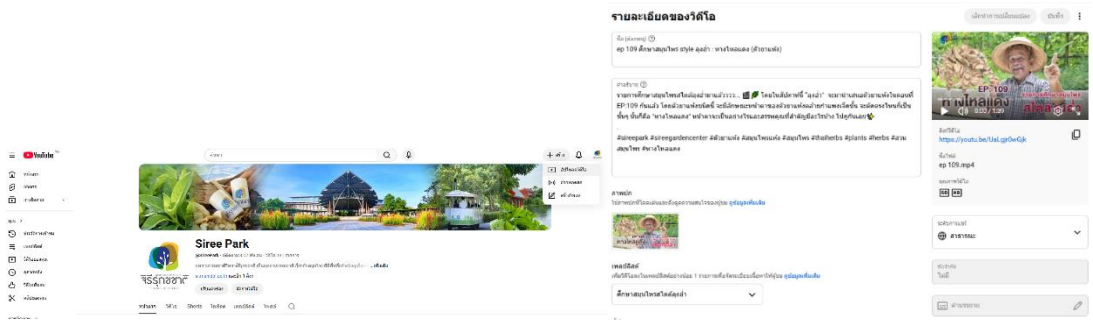
5.1.1.4 ตัดต่อด้วยโปรแกรม Premiere Pro 2024 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการตัดต่อวีดิโอและบันทึกตัดต่อเสียง ซึ่งมีการทำงานที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมาก สามารถนำภาพเคลื่อนไหว เสียงพูดและตัวอักษร มาวาง (Drag & Drop) ลงบนไทม์ไลน์ (Time line) ทำให้มีความน่าสนใจมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 5 : โปรแกรม Premiere Pro 2024

5.1.1.5 ตรวจสอบคุณภาพและความถูกต้องของตัวคลิปที่ออกมาเป็นไฟล์คลิปวีดิโอ และได้นำไป ให้ผู้ที่เชี่ยวชาญด้านสมุนไพรตรวจสอบลักษณะพฤษศาสตร์และสรรพคุณให้มีความถูกต้อง

รูปที่ 6 : ตัวอย่างชื่อไทย ชื่อวิทยาศาสตร์ และชื่อวงศ์

5.1.1.6 อัพสื่อวิดีทัศน์ลงแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยผู้วิจัยเลือกสื่อออนไลน์ผ่านช่องทาง YouTube ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มออนไลน์หลักขององค์กรซึ่งเป็นที่นิยมในสื่อวีดิทัศน์



รูปที่ 7 : หน้าช่อง YouTube

5.2 ผลการทดลองใช้สื่อวิดีทัศน์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์

ผู้วิจัยได้นำกระบวนการพัฒนาสื่อวิดีทัศน์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักศึกษา และบุคลากรมหาวิทยาลัยมหิดลวิทยาเขต ศาลายา และประชาชนทั่วไป จำนวน 400 คน แล้วสอบถามความพึงพอใจ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความพึงพอใจที่มีต่อสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	แปรผล
1. ด้านเนื้อหา (Content)			
1.1 เนื้อหามีความถูกต้องทางวิชาการ	4.58	0.52	มากที่สุด
1.2 เนื้อหาครอบคลุมลักษณะสมุนไพร	4.55	0.54	มากที่สุด
1.3 เนื้อหาเกี่ยวกับสรรพคุณมีความชัดเจน	4.53	0.56	มากที่สุด
1.4 เนื้อหามีความเหมาะสมกับผู้ชม	4.50	0.55	มากที่สุด

ตารางที่ 2 ความพึงพอใจที่มีต่อสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ (ต่อ)

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	แปรผล
1.5 เนื้อหาช่วยให้เข้าใจง่าย	4.57	0.53	มากที่สุด
เฉลี่ย	**4.55**	**0.54**	**มากที่สุด**
2. ด้านการนำเสนอ (Presentation)			
2.1 ลำดับเนื้อหามีความเป็นระบบ	4.51	0.56	มากที่สุด
2.2 การอธิบายเข้าใจง่าย	4.54	0.55	มากที่สุด
2.3 รูปแบบน่าสนใจ	4.49	0.57	มาก
2.4 การแบ่งช่วงเหมาะสม	4.47	0.58	มาก
2.5 ระยะเวลาวิดีโอเหมาะสม	4.46	0.59	มาก
เฉลี่ย	**4.49**	**0.57**	**มาก**
3. ด้านคุณภาพสื่อ (Media Quality)			
3.1 ภาพคมชัด	4.60	0.50	มากที่สุด
3.2 เสียงชัดเจน	4.56	0.52	มากที่สุด
3.3 การตัดต่อมีความต่อเนื่อง	4.51	0.55	มากที่สุด
3.4 แสดงรายละเอียดสมุนไพรชัดเจน	4.53	0.54	มากที่สุด
เฉลี่ย	**4.55**	**0.53**	**มากที่สุด**
4. ด้านการเข้าถึงและการใช้งาน (Platform & Usability)			
4.1 เข้าถึงได้สะดวก	4.50	0.56	มากที่สุด
4.2 รองรับอุปกรณ์หลากหลาย	4.48	0.57	มาก
4.3 ความรวดเร็วในการรับชม	4.49	0.56	มาก
4.4 ความเหมาะสมกับแพลตฟอร์ม	4.52	0.55	มากที่สุด
เฉลี่ย	**4.50**	**0.56**	**มากที่สุด**
รวมทั้งหมด	**4.52**	**0.55**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 2 พบว่า ความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยรวมอยู่ในระดับ มากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.52, S.D. = 0.55)

การพัฒนาสื่อวิดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทย ผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน เมื่อนำไปทดลองแล้วสามารถอภิปรายผลการศึกษา ดังต่อไปนี้

1. ผลการพัฒนาสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบองค์ประกอบของสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ด้านเนื้อหา ประกอบด้วย ข้อความ, ภาพ, เสียง , และวิดีทัศน์ที่พัฒนาและออกแบบตรงกับความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย โดยใช้ความคมชัดของภาพที่มีคุณภาพสูง เลือกใช้แสง สี และเสียง ข้อความมีความชัดเจน กระชับใช้ภาษาที่เหมาะสม อ่านง่ายสอดคล้องกับภาพเสียงบรรยายและเสียงดนตรีประกอบ ส่วนที่ 2. ด้านการสร้างสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยใช้ขั้นตอนการผลิตรายการ วีดิทัศน์ ตามหลัก 4P ดังนี้ 1) ระยะการเตรียมการผลิต (Pre-Production) 2) ระยะการผลิต (Production) 3) ระยะหลังการผลิต

(Post-Production) และ4) การเผยแพร่ผลงาน (Presentation) ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ด้านการพัฒนาสื่อวีดิทัศน์และประสบการณ์ทางด้านเทคโนโลยี จำนวน 5 ท่าน เพื่อประเมินความเหมาะสมของสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ พบว่า ความเหมาะสมขององค์ประกอบสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.52, S.D. = 0.56) สามารถอธิบายได้ผ่านกรอบแนวคิดด้านการออกแบบสื่อและทฤษฎีการเรียนรู้สื่อประสม โดยเฉพาะแนวคิดของ Richard E. Mayer ในทฤษฎี Multimedia Learning Theory ซึ่งเสนอว่าการนำเสนอข้อมูลผ่านสื่อที่ผสมผสานระหว่างภาพ เสียง และข้อความอย่างเหมาะสม จะช่วยลดภาระทางปัญญา (Cognitive Load) และส่งเสริมการประมวลผลข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งนี้ องค์ประกอบของสื่อที่ผู้วิจัยพัฒนา เช่น ความคมชัดของภาพ การใช้ภาษาอย่างกระชับ และการสอดคล้องกันของภาพและเสียง ล้วนสอดคล้องกับหลักการสำคัญ เช่น Coherence Principle และ Modality Principle ซึ่งช่วยให้ผู้รับสารเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายและจดจำได้ดีขึ้น นอกจากนี้ กระบวนการผลิตสื่อที่ใช้หลัก 4P ได้แก่ Pre-Production, Production, Post-Production และ Presentation ยังสะท้อนแนวคิดของการออกแบบการเรียนการสอนอย่างเป็นระบบ ส่งผลให้สื่อมีคุณภาพและตอบสนองความต้องการของกลุ่มเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อพิจารณาร่วมกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ รุ่งทิวา เสาร์สิงห์, ภคพงษ์ แก่นไม้อ่อน, และเตชินท์ แซ่เตีย ได้ศึกษาเรื่อง การผลิตสื่อวีดิทัศน์การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ เรื่อง ศูนย์การเรียนรู้ป่าชายเลน บางขุนเทียน ผลการวิจัยพบว่า ผู้ศึกษาได้พัฒนาสื่อวีดิทัศน์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ และได้นำเสนอสื่อวีดิทัศน์ต่อผู้เชี่ยวชาญ ที่มีประสบการณ์ด้านการผลิตสื่อ จำนวน 3 คน เพื่อประเมินสื่อ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ด้าน คือ ด้านการนำเสนอ และด้านเทคนิคการผลิต ผลประเมินสื่อวีดิทัศน์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ ประเมินด้านนำเสนอเนื้อหา โดยผู้เชี่ยวชาญ ภาพรวมมีผลประเมินในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.14 ผลประเมินรายข้อที่มีค่าสูงสุด คือ หลังชมสื่อแล้วรู้สึกสนใจไปท่องเที่ยวที่ศูนย์ เรียนรู้ป่าชายเลน บางขุนเทียน มีผลประเมินในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.35 [3]

2. ผลการทดลองใช้สื่อวิดีทัศน์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์

ผู้วิจัยได้นำกระบวนการพัฒนาสื่อวิดีทัศน์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักศึกษา บุคลากรมหาวิทยาลัยมหิดลวิทยาเขต ศาลายาและประชาชนทั่วไป จำนวน 400 คน แล้วสอบถามความพึงพอใจ พบว่าความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อสื่อวิดีทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.52, S.D. = 0.55) สามารถอธิบายได้ผ่านกรอบแนวคิดด้านเทคโนโลยีการยอมรับและพฤติกรรมผู้ใช้ โดยเฉพาะแบบจำลอง Technology Acceptance Model ของ Fred Davis [7] ซึ่งระบุว่า การยอมรับเทคโนโลยีขึ้นอยู่กับการรับรู้ถึงประโยชน์ (Perceived Usefulness) และความง่ายในการใช้งาน (Perceived Ease of Use) โดยสื่อวิดีทัศน์ที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะเข้าใจง่าย ใช้งานสะดวก และเนื้อหามีประโยชน์ จึงส่งผลให้ผู้ใช้เกิดทัศนคติที่ดีและความพึงพอใจในระดับสูง

ผลการศึกษานี้ยังสอดคล้องกับ กาญจนา ศิริเจริญวงศ์ และคณะ ได้ศึกษา เรื่อง การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์และผลของการใช้สื่อต่อความรู้ ความมั่นใจและความพึงพอใจเพื่อการเตรียมนักศึกษาพยาบาล ในการฝึกประสบการณ์เด็กและวัยรุ่น ผลการวิจัยพบว่าการประเมินคุณภาพสื่อวีดิทัศน์โดยรวมทุกด้านอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.57, SD. = 0.45) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าด้านการนำไปใช้โดยรวมอยู่ในระดับ มากที่สุด ($\bar{x}$= 4.67, SD. = 0.48) รองลงมาคือด้านเนื้อหาโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.63, SD. = .49) และด้านรูปแบบสื่อการเรียนรู้โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.57, SD. = 0.57) ตามลำดับ [1]

6. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์ด้านสมุนไพรไทยผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืนในมิติของการสร้างองค์ความรู้ (Knowledge Management) และการพัฒนาทุนมนุษย์

(Human Capital Development) โดยสื่อที่พัฒนาขึ้นทำหน้าที่เป็นเครื่องมือในการถ่ายทอดความรู้ด้านสมุนไพรไทยอย่างเป็นระบบ ชัดเจน และเข้าถึงได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดองค์กรแห่งการเรียนรู้ (Learning Organization) ในด้านการพัฒนาอย่างยั่งยืน สื่อดังกล่าวช่วยส่งเสริมให้บุคลากรและประชาชนเกิดการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันและการทำงาน อันเป็นการเพิ่มศักยภาพของบุคลากรในองค์กร นอกจากนี้ การใช้แพลตฟอร์มออนไลน์ยังช่วยลดข้อจำกัดด้านเวลาและสถานที่ ทำให้เกิด ความเท่าเทียมในการเข้าถึงความรู้ (Accessibility & Inclusivity) ซึ่งเป็นหนึ่งในหลักสำคัญของความยั่งยืน [8] อีกทั้ง กระบวนการพัฒนาสื่อที่อิงตามหลัก 4P (Pre-production, Production, Post-production, Presentation) แสดงให้เห็นถึงการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ มีการวางแผน การควบคุมคุณภาพ และการประเมินผล ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด การบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ (Effective Management) ในองค์กรยุคใหม่ ผลการวิจัยที่พบว่าทั้งผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด สะท้อนให้เห็นว่าสื่อที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพ สามารถสร้างคุณค่าให้กับองค์กรได้จริง ทั้งในด้านภาพลักษณ์ การสื่อสาร และการส่งเสริมองค์ความรู้เฉพาะทาง (สมุนไพรไทย)

งานวิจัยนี้มีความเชื่อมโยงกับการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืนใน 3 มิติหลัก ได้แก่ 1) มิติด้านความรู้และการเรียนรู้ 2) มิติด้านเทคโนโลยีและการเข้าถึง และ 3) มิติด้านการบริหารจัดการและการสร้างคุณค่าองค์กร

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. **ด้านกลุ่มตัวอย่าง** กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ในบริบทการศึกษาและผู้ที่เข้าถึงเทคโนโลยีได้ อาจจำกัดการอ้างอิงไปยังประชากรที่มีบริบทแตกต่าง
2. **ด้านตัวแปรวิจัย** มุ่งเน้นความพึงพอใจเป็นหลัก ยังไม่ครอบคลุมตัวแปรสำคัญ เช่น ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้หรือการนำไปใช้จริง
3. **ด้านเนื้อหาและแพลตฟอร์ม** เนื้อหาสมุนไพรยังครอบคลุมจำกัด และใช้แพลตฟอร์มออนไลน์บางช่องทาง อาจส่งผลต่อการเข้าถึงของผู้ใช้
4. **ด้านความเป็นกลางของผู้ประเมิน** ผู้วิจัยเป็นผู้ผลิตสื่อและเป็นบุคลากรขององค์กรเดียวกันกับกลุ่มตัวอย่างส่วนหนึ่ง (มหาวิทยาลัยมหิดล) อาจเกิด Social Desirability Bias ได้ โดยกลุ่มตัวอย่างอาจให้คะแนนสูงกว่าความเป็นจริงเนื่องจากรู้จักองค์กร

ข้อเสนอแนะเพื่อการนำผลการวิจัยไปใช้

1. **ด้านเนื้อหาและการผลิตสื่อ** ควรขยายฐานเนื้อหาให้ครอบคลุมสมุนไพรหลากหลายชนิดมากขึ้น พร้อมจัดทำเนื้อหา 2 ระดับ คือ สำหรับประชาชนทั่วไปและระดับวิชาการ และควรเพิ่มความพิถีพิถันในขั้นตอน post-Production โดยเฉพาะการปรับแต่งเสียงและจังหวะการนำเสนอ เนื่องจากได้คะแนนต่ำกว่าด้านอื่น
2. **ด้านแพลตฟอร์มและการเผยแพร่** ควรขยายช่องทางเผยแพร่ไปยัง Facebook, TikTok และ Instagram Reels โดยปรับรูปแบบวิดีทัศน์ให้เหมาะสมกับแต่ละแพลตฟอร์ม พร้อมพัฒนาระบบ SEO เพื่อเพิ่มการค้นพบเนื้อหาจากผู้ใช้ใหม่
3. **ด้านการประเมินและติดตามผล** ควรเพิ่มการวัดผลที่ลึกขึ้นกว่าความพึงพอใจ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงความรู้และพฤติกรรมการนำสมุนไพรไปใช้จริง รวมถึงติดตาม YouTube Analytics เพื่อนำมาพัฒนาสื่อในรุ่นถัดไป

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

1. **ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่** ควรศึกษาการนำ AR, Interactive Video หรือ AI มาพัฒนาสื่อสมุนไพรเชิงปฏิสัมพันธ์ เช่น การสแกนใบพืชเพื่อแสดงข้อมูลแบบทันที หรือการแนะนำเนื้อหาแบบ Personalized Content
2. **ศึกษาผลระยะยาวและเปรียบเทียบรูปแบบสื่อ** ควรทำวิจัยติดตามผลระยะยาวเพื่อวัดผลต่อพฤติกรรมการใช้สมุนไพร และศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลของวิดีโอรูปแบบต่างๆ เพื่อหาแนวทางการผลิตที่เหมาะสมที่สุด
3. **ขยายสู่องค์กรสุขภาพอื่น** ควรนำกระบวนการ 4P ที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบกับองค์กรสุขภาพอื่น เพื่อพัฒนาเป็นคู่มือมาตรฐานการผลิตสื่อสุขภาพดิจิทัลสำหรับองค์กรสาธารณะต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] กาญจนา ศิริเจริญวงศ์, มัณฑนาวดี เมธาพัฒนะ, สุมาลา สว่างจิต, และจักรกฤช ปิจดี. (มกราคม-เมษายน, 2564). การพัฒนาสื่อวีดิทัศน์และผลของการใช้สื่อต่อความรู้ความมั่นใจและความพึงพอใจเพื่อการเตรียมนักศึกษาพยาบาล ในการฝึกประสบการณ์เด็กและวัยรุ่น. Journal of Health and Nursing Research, 37(1). หน้า 224

[2] กรุงเทพธุรกิจ. (2566). สมุนไพรออร์แกนิค มาแรง ตอบโจทย์เทรนด์รักสุขภาพทั่วโลก. สืบค้น 2 กุมภาพันธ์ 2568. จาก https://www.bangkokbiznews.com/health/well-being/1046941.

[3] รุ่งทิวา เสาร์สิงห์, ภคพงษ์ แก่นไม้อ่อน, และเตชินท์ แซ่เตีย. (มกราคม-มิถุนายน, 2565). การผลิตสื่อวีดิทัศน์การท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ เรื่องศูนย์การเรียนรู้ป่าชายเลนบางขุนเทียน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2 (1). หน้า 84.

[4] อุทยานธรรมชาติวิทยาสิรีรุกขชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2568). โครงการจุลินทรีย์แห่งธรรมชาติวิทยาสิรีรุกขชาติ . สืบค้น 15 มีนาคม 2568, จาก https://sr.mahidol.ac.th.

[5] Alghamdi, A. M., Pileggi, S. F., & Sohaib, O. (2023). Social media analysis to enhance sustainable knowledge management: A concise literature review. Sustainability, 15(13), p. 9957

[6] BIOTEC-NSTDA. (พฤศจิกายน, 2023). มหาวิทยาลัยมหิดลและ BIOTEC ผนึกกำลังในบันทึกความเข้าใจครั้งสำคัญเพื่อการจัดการทรัพยากรพืชและชีวภาพอย่างยั่งยืน. สืบค้น 2 กุมภาพันธ์ 2568. จาก https://www.biotec.or.th/home/en/mahidol-university-mou-nstda-en/.

[7] Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS Quarterly, 13(3), pp. 319–340.

[8] García-Hernández, A., García-Valcárcel Muñoz-Repiso, A., Casillas-Martín, S., & Cabezas-González, M. (2022). Sustainability in digital education: A systematic review of innovative proposals. Education Sciences, 13(1), p. 33.

[9] Joshi, A., et al. (2015). Likert Scale: Explored and Explained. British Journal of Applied Science & Technology, 7(4), pp. 396–403.

[10] Prarawan Senachai, Jakaphun Julsrigival, and Raksmey Sann. (2022). Social Marketing Strategy to Promote Traditional Thai Medicines during COVID-19: KAP and DoI Two-Step Theory Application Process. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022, 19, p. 2.

[11] Van der Ark, R., Grooten, L., Vlieger, A., Baghuis, M., & Bergkamp, J. (2024, June). A review of the WHO strategy on traditional, complementary, and integrative medicine from the perspective of academic consortia for integrative medicine and health. Frontiers in Medicine, p. 2.

[12] World Health Organization. (2023). WHO global report on traditional and complementary medicine 2023. Geneva: WHO Press.

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรเพื่อพัฒนาอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาสำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร

ชญานี อักษรอินทร์, ฟ้าสวย ศรีโยธี, และ อุมารัจน์ สันติสุขเกษม*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย

**Corresponding author: santisukkasaem_u@su.ac.th*

บทคัดย่อ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานขององค์กรถือเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ งานวิจัยนี้จึงดำเนินการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของสำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากรในปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 เพื่อให้ทราบถึงแหล่งกำเนิดและเพื่อเสนอแนวทางในการลด ผลการศึกษาพบว่าสำนักฯ มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 1 และขอบเขตที่ 2 เท่ากับ 4 และ 83 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ($tonCO_2eq/year$) ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่คาดว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า (ขอบเขตที่ 2) จะมีสัดส่วนสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 95.40 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด อย่างไรก็ตาม การรั่วไหลของสารทำความเย็นชนิด R-22 จากเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานนานเกิน 10 ปี ยังคงเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องให้ความสำคัญแม้จะถูกรายงานแยก ผลจากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ในการกำหนดมาตรการเบื้องต้นในการปรับปรุงและพัฒนาองค์กรให้สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ การสำรวจอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความเสี่ยงในการรั่วไหลของสารทำความเย็นและพิจารณาการเปลี่ยนทดแทน และการกำหนดมาตรการในการลดการใช้ไฟฟ้า นอกจากนี้การประเมินยังแสดงให้เห็นถึงจุดที่เป็นประเด็นปัญหาของการเก็บข้อมูล เช่น ไม่มีมิเตอร์น้ำแยก มีการให้บริการพื้นที่สำหรับนักศึกษาและบุคลากรภายนอกสำนักฯ ซึ่งส่งผลให้การประเมินในขอบเขตที่ 3 ไม่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตามการดำเนินมาตรการตามผลการศึกษานี้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนข้อที่ 13 และสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนบริหารจัดการองค์กรอย่างยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร / การปล่อยก๊าซเรือนกระจก / การพัฒนาองค์กร / ความยั่งยืน / การจัดการสิ่งแวดล้อม

Assessment of organizational carbon footprint for sustainable development: A case study of Bureau of Digital Technology, Silpakorn University

Chayanee Aksornin, Fasuai Sriyothee and Umarat Santisukkasaem*

Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University, Thailand
**Corresponding author: santisukkasaem_u@su.ac.th*

Abstract

Greenhouse gas (GHG) emissions from organizational operations represent a significant contribution to climate change. Accordingly, this study assesses the carbon footprint of the Bureau of Digital Technology, Silpakorn University in the budget year of 2025 with the objectives of quantifying GHG emissions source and identifying mitigation measures to reduce emissions. The results indicate that total GHG emissions in Scope 1 and Scope 2 are 4 and 83 tCO_2eq/year, respectively. These findings are consistent with the initial hypothesis that Scope 2 emission from electricity consumption would account for the largest share, representing 95.40% of total emissions. Nevertheless, the leakage of R-22 refrigerant from air conditioners with a lifespan of more than 10 years remains a significant concern even it was reported separately. The results of this study can be applied to formulate initial strategies for organizational improvement and development, enabling a reduction in greenhouse gas emissions. For instance, an inspection of electrical appliances for potential refrigerant leaks, consideration of their replacement, and the establishment of measures to lower power usage. Furthermore, the assessment highlighted data collection challenges, such as the lack of separate water meters and the provision of services and space to students and personnel external to the organization. These factors resulted in an incomplete Scope 3 assessment. Nevertheless, implementing the measures derived from this study aligns with Sustainable Development Goal 13 and can serve as baseline data for future sustainable organizational management planning.

Keywords: Carbon footprint of organization/ Greenhouse gas emissions / Organizational development / Sustainability / Environmental management

1. บทนำ

ปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นสาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคมในระดับโลก องค์กรทุกภาคส่วนล้วนมีส่วนเกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งทางตรงและทางอ้อม จึงมีความจำเป็นต้องตระหนักถึงความรับผิดชอบด้านสิ่งแวดล้อมและดำเนินมาตรการลดการปล่อยอย่างเป็นระบบ การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO) จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการวิเคราะห์และติดตามปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ ขององค์กร เพื่อระบุแหล่งกำเนิดและกำหนดแนวทางลดการปล่อยอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนข้อที่ 13 ว่าด้วยการรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

มาตรฐาน GHG Protocol [1] ได้แบ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกเป็น 3 ขอบเขตหลัก ได้แก่ ขอบเขตที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากแหล่งกำเนิดที่องค์กรเป็นเจ้าของหรือควบคุม ขอบเขตที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า และขอบเขตที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ ในบริบทของประเทศไทยภาครัฐได้ประกาศเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนภายในปี พ.ศ. 2593 และเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ภายในปี พ.ศ. 2608 ดังนั้นการบรรลุเป้าหมายดังกล่าวจึงจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากองค์กรณ์ภาคส่วนต่าง ๆ

สำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร เป็นหน่วยงานที่มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนโครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร การดำเนินงานของสำนักฯ จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณมากสำหรับการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ เซิร์ฟเวอร์ ศูนย์ข้อมูล และระบบปรับอากาศ นอกจากนี้ยังมีการใช้สารทำความเย็นในอุปกรณ์ปรับอากาศซึ่งหากเกิดการรั่วไหลจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญ การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของสำนักดิจิทัลเทคโนโลยีในปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 ตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ TGO [2] ซึ่งเป็นข้อกำหนดของประเทศไทยที่อ้างอิงตามมาตรฐาน GHG Protocol และมีขอบเขตการประเมินครอบคลุมทั้งขอบเขตที่ 1 ขอบเขตที่ 2 และขอบเขตที่ 3 โดยผลการประเมินจะทำให้สามารถทราบถึงแหล่งกำเนิดและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขอบเขต และสามารถนำผลการศึกษาไปใช้ในการกำหนดมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีประสิทธิภาพและนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนบริหารจัดการองค์กรอย่างยั่งยืนต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของสำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร
2. เพื่อวิเคราะห์แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีนัยสำคัญของสำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร
3. เพื่อเสนอแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร

3. ขอบเขตของการศึกษา

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของสำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากรในปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 มีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. ขอบเขตด้านพื้นที่

สำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม

2. ขอบเขตด้านเวลา

ปีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของสำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร คือ ปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 โดยมีระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2567 ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2568

3. ขอบเขตการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ขอบเขตที่ 1 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากการดำเนินกิจกรรมขององค์กร (Direct emission) ได้แก่ ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในสำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร เช่น การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงจากการใช้รถจักรยานยนต์สำนักงาน การรั่วไหลของสารทำความเย็น เป็นต้น

ขอบเขตที่ 2 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการดำเนินกิจกรรมขององค์กร (Indirect emission) ได้แก่ ไฟฟ้าที่ถูกนำเข้าสู่องค์กรที่มีการนำจากภายนอกเพื่อใช้งานภายในองค์กร

ขอบเขตที่ 3 การปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ (Other indirect emission) ได้แก่ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ นอกเหนือจากที่ระบุในขอบเขต 1 และขอบเขต 2 เช่น วัตถุดิบตั้งต้นที่ซื้อมา การขนส่งวัตถุดิบจากผู้ผลิต การเดินทางที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจขององค์กร เป็นต้น

4. วิธีการศึกษา

4.1 การรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ดำเนินการโดยใช้แบบสอบถามและการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากเอกสารและหลักฐานที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ข้อมูลขอบเขตที่ 1

การรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 1 ประกอบด้วยการรั่วไหลจากสารทำความเย็น เช่น HFCs ได้แก่ R-134a, R-410A และ HCFCs ได้แก่ R-22 จากระบบปรับอากาศและเครื่องทำความเย็น การรั่วไหลของก๊าซมีเทน (CH_4) จากระบบบำบัดน้ำเสียหรือ septic tank [4] โดยจากการสำรวจแหล่งกำเนิดเบื้องต้นพบว่าสำนักฯ มีกิจกรรมหลักเพียงแค่ การใช้เชื้อเพลิง การรั่วไหลของสารทำความเย็น และการรั่วไหลจาก septic tank เท่านั้น ในส่วนของการเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการจากการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องและทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น เอกสารการเบิกจ่าย บันทึกการซ่อมบำรุง เป็นต้น ในส่วนของการใช้เชื้อเพลิง ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่องค์กรเป็นเจ้าของ โดยรวบรวมข้อมูลชนิดและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ ในส่วนของสารทำความเย็น ดำเนินการรวบรวมจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้สารทำความเย็น และชนิดและปริมาณของ CH_4 จากการใช้ห้องน้ำ (Septic tank) นั้นทำได้โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนพนักงานขององค์กรกับจำนวนวันทำงาน เพื่อนำไปคำนวณปริมาณการรั่วไหลในลำดับถัดไป

4.1.2 ข้อมูลขอบเขตที่ 2

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 2 เป็นการปล่อยทางอ้อมจากกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า จึงดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากใบเสร็จค่าไฟฟ้าหรือมิเตอร์ไฟฟ้าของสำนักดิจิทัลเทคโนโลยี โดยบันทึกปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ตลอดปีงบประมาณ พ.ศ. 2568

4.1.3 ข้อมูลขอบเขตที่ 3

ในขอบเขตที่ 3 มีการเก็บรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น เอกสารการเบิกจ่าย บันทึกการซ่อมบำรุง ตลอดปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 รวมถึงมีการจัดทำ Google Form เพื่อสำรวจการเดินทางมาทำงานของบุคลากร เป็นต้น

4.2 วิธีการคำนวณ

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกใช้วิธีการตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ TGO [2] ดังแสดงในสมการที่ 1

$$\text{GHG Emission} = \text{Activity Data} \times \text{Emission Factor} \quad (1)$$

โดยที่

- GHG Emission คือ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)
- Activity Data คือ ปริมาณกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ปริมาณสารทำความเย็นที่รั่วไหล (kg) หรือปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (l)
- Emission Factor (EF) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยกิจกรรม

โดยค่า EF ของการผลิตไฟฟ้าในระบบโครงข่ายของประเทศไทย (Grid Emission Factor) และค่า EF ของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ อ้างอิงจากเอกสารค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรมต่าง ๆ ที่เผยแพร่โดย TGO [2] ส่วนค่าศักยภาพการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ของสารทำความเย็นแต่ละชนิดอ้างอิงจากรายงานการประเมินฉบับที่ 5 ของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC AR5) [3] ดังนั้นในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 1 และขอบเขตที่ 2 จึงสามารถทำได้โดยนำปริมาณกิจกรรมคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าศเรือนกระจกดังสมการที่ (1) ยกตัวอย่างเช่น นำปริมาณสารทำความเย็นที่เติมทดแทนในรอบปีงบประมาณ โดยถือว่าปริมาณที่เติมเท่ากับปริมาณที่รั่วไหลออกจากระบบในหน่วยกิโลกรัม (kg) คูณกับค่า EF ของสารทำความเย็นที่ใช้ โดยในกรณีนี้ใช้สารทำความเย็นชนิด R-22 (HCFC-22) ซึ่งมีค่า EF เท่ากับ 1,760 $kgCO_2eq$ /kg [3] ในส่วนของการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Septic tank ตามแนวทางของ TGO [2] ซึ่งอ้างอิงจาก IPCC Guidelines มีความซับซ้อนกว่าเล็กน้อย โดยต้องคำนวณตามสมการที่ 2 โดยสามารถเลือกใช้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ตามเงื่อนไขของระบบ ซึ่งมีค่าคงที่ให้เลือกระบุไว้ใน IPCC Guidelines ยกเว้นในส่วนของปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียทั้งหมด (TOW, kgBOD/ปี) สามารถคำนวณได้จากจำนวนพนักงาน × วันทำงาน × 40 gBOD/คน/วัน จากนั้นจึงนำปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน (CH_4) ที่คำนวณได้มาแปลงให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าโดยนำไปคูณด้วยค่า GWP ของ CH_4 ซึ่งเท่ากับ 28 $kgCO_2eq$ /$kgCH_4$ [3]

$$CH_4 \text{ Emission } (kgCH_4) = [\Sigma(U \times T \times EF) \times (TOW - S)] - R \quad (2)$$

4.3 เครื่องมือและการวิเคราะห์ข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรมภายในสำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากรตามที่ระบุในขอบเขตการศึกษาใช้ตารางการเก็บรวบรวมข้อมูลและการคำนวณ Verification Sheet ที่กำหนดไว้โดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) และวิเคราะห์สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ การนำเสนอข้อมูลใช้ตารางและกราฟเพื่อแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขอบเขต รวมทั้งระบุจุดสำคัญ (Hotspot) ที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูง เพื่อเป็นข้อมูลในการกำหนดมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อไป

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของสำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร แบ่งผลการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน โดยมีรายละเอียดผลการศึกษาดังนี้

5.1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม

ผลการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของสำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 พบว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้น 87 tonCO_2eq/year จากขอบเขตที่ 1 และขอบเขตที่ 2 แบ่งเป็นขอบเขตที่ 1 จำนวน 4 tonCO_2eq คิดเป็นร้อยละ 4.60 ขอบเขตที่ 2 จำนวน 83 tonCO_2eq คิดเป็นร้อยละ 95.40 และขอบเขตที่ 3 ข้อมูลไม่สมบูรณ์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแยกตามขอบเขต

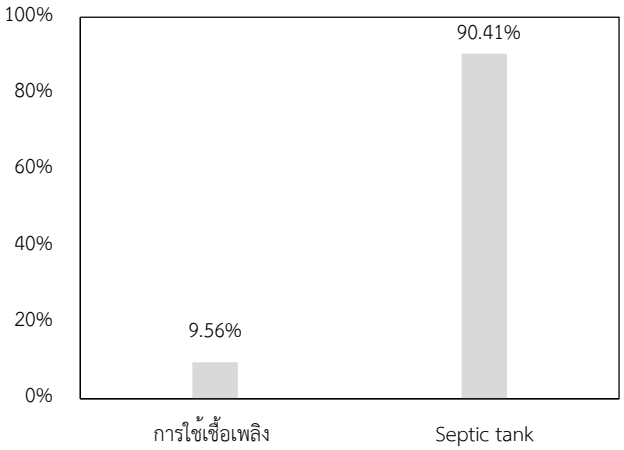
ขอบเขต	ปริมาณการปล่อย (tonCO_2eq/year)	สัดส่วน (%)
ขอบเขต 1	4	4.60
ขอบเขต 2	83	95.40
ขอบเขต 3	ไม่สมบูรณ์	-
รวม	87	100.00

5.2 ผลการประเมินในแต่ละขอบเขต

5.2.1 ขอบเขตที่ 1

ในขอบเขตที่ 1 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมเท่ากับ 4 tonCO_2eq/year โดยแบ่งออกเป็น 2 แหล่งกำเนิดหลัก ได้แก่ การใช้เชื้อเพลิง และปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) จากการใช้ห้องน้ำ (Septic tank) รวมถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรงที่ทำการรายงานแยกเท่ากับ 23 tonCO_2eq/year จากปริมาณการรั่วไหลของสารทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศ และการใช้เชื้อเพลิง

จากรูปที่ 1 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 1 พบว่าการรั่วไหลของก๊าซมีเทนจากห้องน้ำเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกหลัก คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 90.41 ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะขององค์กรขนาดเล็กที่มีพนักงาน 59 คน หยุดงานตามวันหยุดราชการ และมีบุคลากรเพียง 2-3 ท่านที่ปฏิบัติงานในช่วงวันหยุดสุดสัปดาห์ ส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงมีสัดส่วนร้อยละ 9.56 เนื่องจากสำนักฯ มีการใช้เชื้อเพลิงเฉพาะในรถจักรยานยนต์สำหรับขนส่งเอกสารและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองในกรณีไฟฟ้าดับเท่านั้น ทั้งนี้ แม้ว่าการรั่วไหลของสารทำความเย็นจะถูกแยกรายงานต่างหากและไม่ได้นับรวมในขอบเขตที่ 1 แต่ยังคงเป็นประเด็นที่ต้องให้ความสำคัญ เนื่องจากเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานเกิน 10 ปี และยังคงใช้สารทำความเย็นชนิด R-22 ที่มีค่า GWP สูงถึง 1,760 เท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งโดยปกติระบบปรับอากาศจะเป็นระบบปิดจึงไม่ควรมีการรั่วไหลของสารทำความเย็น นอกจากนี้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการรั่วไหลของสารทำความเย็นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการใช้งานของอุปกรณ์ ดังนั้นการพิจารณาเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศหรือเปลี่ยนไปใช้สารทำความเย็นที่มีค่า GWP ต่ำกว่าจึงสามารถลดความเสี่ยงของการรั่วไหลของก๊าซเรือนกระจกในระยะยาวได้



รูปที่ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 1

5.2.2 ขอบเขตที่ 2

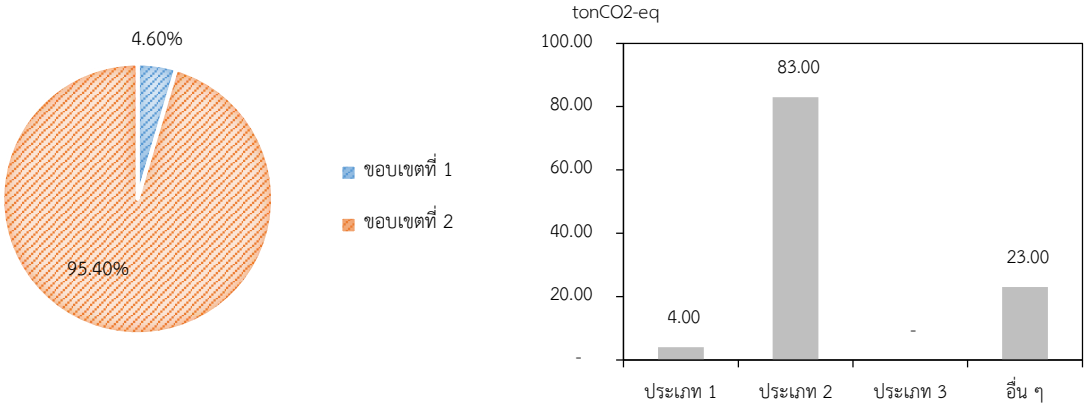
ในส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าในขอบเขตที่ 2 สามารถคิดเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 83 tonCO2/year ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 95.40 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด การใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมที่สำคัญ เนื่องจากการดำเนินงานของสำนักดิจิทัลเทคโนโลยีจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณมากสำหรับการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ เซิร์ฟเวอร์ ศูนย์ข้อมูล และระบบปรับอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

5.2.3 ขอบเขตที่ 3

การประเมินในขอบเขตที่ 3 ยังไม่สมบูรณ์ เนื่องจากข้อจำกัดในการเก็บข้อมูล ได้แก่ ไม่มีมิเตอร์น้ำแยกสำหรับพื้นที่ของสำนักดิจิทัลเทคโนโลยีโดยเฉพาะ นอกจากนี้สำนักฯ ยังไม่ได้ชำระค่าน้ำประปาอีกด้วย ทำให้ไม่สามารถประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำประปาได้อย่างแม่นยำ รวมถึงสำนักฯ มีการให้บริการพื้นที่สำหรับนักศึกษาและบุคลากรภายนอกสำนักฯ ทำให้การแยกข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของสำนักฯ เองและกิจกรรมของผู้ใช้บริการภายนอกเป็นไปได้ยาก ดังนั้นในการศึกษานี้จึงตัดขอบเขตที่ 3 ออกจากการรายงานผล

5.3 ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร

จากการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินงานของสำนักดิจิทัลเทคโนโลยีในขอบเขตที่ 1 และขอบเขตที่ 2 พบว่ามีปริมาณคาร์บอนฟุตพรินท์องค์กรเท่ากับ 87 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2eq) ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 โดยคิดเป็นการปล่อยจากขอบเขตที่ 1 เท่ากับ 4 tCO_2eq และขอบเขตที่ 2 เท่ากับ 83 tCO_2eq คิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ ร้อยละ 4.60 และ 95.40 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2



(ก) ร้อยละการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ข) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

รูปที่ 2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 1 และ 2

จากการวิเคราะห์สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก พบว่าผลการศึกษาเป็นไปตามสมมติฐานเริ่มต้นที่คาดว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้า (ขอบเขตที่ 2) จะมีสัดส่วนสูงที่สุด เนื่องจากกิจกรรมหลักของสำนักฯ คือการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ เซิร์ฟเวอร์ ศูนย์ข้อมูล และระบบปรับอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก โดยพบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม (ขอบเขตที่ 2) มีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 95.40 ในขณะที่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (ขอบเขตที่ 1) มีสัดส่วนเพียงร้อยละ 4.60 ทั้งนี้ เนื่องจากการรั่วไหลของสารทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศได้ถูกแยกรายงานออกต่างหาก ส่งผลให้สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละขอบเขตสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะการใช้พลังงานที่แท้จริงขององค์กรได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

ผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาองค์กรประเภทเดียวกัน ซึ่งส่วนใหญ่พบว่าขอบเขตที่ 2 จากการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด เช่น Hayi et al. [5] ที่ศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏกลุ่มภาคใต้ 5 แห่ง พบว่าขอบเขตที่ 2 มีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 83.70 และ Aroonsrimorakot et al. [6] ที่ศึกษาคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ก็พบว่าการใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งปล่อยหลักเช่นกัน รวมถึง Thanatrakolsri & Sirithian [7] ที่ศึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ วิทยาเขตลำปาง ช่วงปี พ.ศ. 2562–2565 ก็พบผลในทิศทางเดียวกัน โดยมีปริมาณการปล่อยรวม 778–1,051 tCO_2eq/year และขอบเขตที่ 2 ยังคงเป็นแหล่งกำเนิดหลักในทุกปีที่ศึกษา

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของสำนักดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าสำนักฯ มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์รวมทั้งสิ้น 87 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี (tonCO2eq/year) โดยแบ่งเป็นขอบเขตที่ 1 จำนวน 4 tonCO2eq/year (ร้อยละ 4.60) และขอบเขตที่ 2 จำนวน 83 tonCO2eq/year (ร้อยละ 95.40) ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่คาดว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้า (ขอบเขตที่ 2) จะมีสัดส่วนสูงที่สุด อันเป็นผลมาจากกิจกรรมหลักของสำนักฯ ที่พึ่งพาการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ทั้งนี้ แม้การรั่วไหลของสารทำความเย็นชนิด R-22 จากเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานเกิน 10 ปี จะถูกแยกรายงานต่างหาก แต่ยังคงเป็นประเด็นที่ต้องให้ความสำคัญ เนื่องจากมีแนวโน้มปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการใช้งานของอุปกรณ์ ในส่วนของขอบเขตที่ 3 ยังคงมีข้อจำกัดในการประเมิน เนื่องจากไม่มีมิเตอร์น้ำและไม่มีระบบการเก็บข้อมูลบุคคลภายนอกที่มาใช้บริการ

จากผลการศึกษาสามารถเสนอแนะมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ การสำรวจและซ่อมแซมเครื่องปรับอากาศที่รั่วไหล การจัดทำแผนบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ การเปลี่ยนทดแทนเครื่องปรับอากาศเก่าด้วยเครื่องใหม่ที่ไม่มีการรั่วไหลของสารทำความเย็น รวมถึงพิจารณาการใช้สารทำความเย็นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมหรือมีศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนต่ำกว่าชนิดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน การเลิกใช้ยานพาหนะ (รถจักรยานยนต์) การจัดโครงการกิจกรรมที่ส่งเสริมสร้างจิตสำนึกและสร้างความตระหนักในเรื่องของการอนุรักษ์พลังงาน การรณรงค์ประหยัดพลังงานไฟฟ้า รวมถึงพิจารณาเรื่องการติดตั้งโซลาร์เซลล์เพื่อทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่ง โดยบรรจุมาตรการทั้งหมดลงในนโยบายที่กำหนดโดยผู้บริหาร เพื่อที่จะเป็นแนวทางขั้นต้นในการกำหนดแผนปฏิบัติการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ในท้ายที่สุดนอกจากนี้ ในส่วนของข้อจำกัดในการประเมินขอบเขตที่ 3 ที่ยังไม่สมบูรณ์ ควรพิจารณาประเด็นของการติดตั้งมิเตอร์น้ำเพื่อให้ทราบถึงปริมาณการใช้น้ำที่แท้จริง และวางระบบในการบันทึกข้อมูลผู้ที่มาใช้บริการ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่จะสามารถใช้ในการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขอบเขตที่ 3 ให้สมบูรณ์ เนื่องจากกิจกรรมในขอบเขตที่ 3 นั้นเป็นขอบเขตที่องค์กรไม่สามารถควบคุมได้โดยตรง การทราบถึงแหล่งกำเนิดและปริมาณที่ชัดเจนจึงเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดมาตรการหรือนโยบายแก้ไขได้อย่างตรงประเด็น ทั้งนี้ งานวิจัยในอนาคตควรให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์ขอบเขตที่ 3 อย่างครบถ้วน รวมถึงการประเมินศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายใต้สถานการณ์จำลองต่าง ๆ เช่น สถานการณ์การเปลี่ยนทดแทนเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานเกิน 10 ปี ด้วยเครื่องใหม่ที่ใช้สารทำความเย็นที่มีค่า GWP ต่ำกว่า หรือสถานการณ์การติดตั้งโซลาร์เซลล์เพื่อทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งบางส่วน เพื่อให้สามารถประเมินได้ว่ามาตรการใดมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากที่สุด และสามารถนำไปกำหนดเป้าหมายและแผนปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพและครอบคลุมยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของสำนักดิจิทัลเทคโนโลยีนี้ นอกจากจะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนบริหารจัดการองค์กรอย่างยั่งยืนและเป็นกรณีศึกษาที่เป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานอื่น ๆ ในการดำเนินการประเมินและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อไปแล้ว ยังเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนข้อที่ 13 ที่ว่าด้วยการดำเนินการอย่างเร่งด่วนเพื่อต่อสู้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและผลกระทบที่เกิดขึ้นอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development. (2004). *The greenhouse gas protocol: A corporate accounting and reporting standard* (Revised ed.). https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf

[2] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (ม.ป.ป.). *แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร*. https://lowcarboncity.tgo.or.th/scaleup/uploads/docs/2_แนวทางการประเมิน_CFO.pdf

[3] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley, Eds.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324

[4] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2008). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: A primer* (H. S. Eggleston, K. Miwa, N. Srivastava, & K. Tanabe, Eds.). Institute for Global Environmental Strategies. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/support/Primer_2006GLs.pdf

[5] Hayi, N., Buadit, T., & Suwanteep, K. (2023). Carbon footprint assessment and actions to promote green universities of Rajabhat University Southern Area Group in Thailand. *Interdisciplinary Research Review*, *18*(3), 1–10. https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/jtir/article/view/248346

[6] Aroonsrimorakot, S., Yuwaree, C., Arunlertaree, C., Hutajareorn, R., & Buadit, T. (2013). Carbon footprint of Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Salaya Campus, Thailand. *APCBEE Procedia*, *5*, 175–180. https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2013.05.031

[7] Thanatrakolsri, P., & Sirithian, D. (2024). Evaluation of greenhouse gas emissions and mitigation measures at Thammasat University's Lampang Campus in Thailand. *Environmental Health Insights*, *18*, 1–12. https://doi.org/10.1177/11786302241253589

การเพิ่มประสิทธิภาพการคัดเลือกนักเรียนเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

วิภาวดี กรรณประชา* และ สมหญิง โอฐธนู

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย
**Corresponding author: wipawadee.jan@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

รอบการคัดเลือกนักศึกษาเข้าศึกษาต่อในระดับมหาวิทยาลัยใช้ระบบบสารสนเทศการคัดเลือกกลางบุคคลเข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษา แบ่งออกเป็น 4 แบบ ดังนี้ รอบที่ 1 แฟ้มสะสมผลงาน รอบที่ 2 โควตา รอบที่ 3 รับตรงร่วมกัน รอบที่ 4 รับตรงอิสระ ดังนั้น เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ผู้เขียนจึงได้จัดทำบทความนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาต่อภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ปัญหาที่พบในปัจจุบัน คือ นักศึกษาชั้นปีที่ 1 มีผลการเรียนเฉลี่ยต่ำกว่ามาตรฐานที่ทางคณะวิศวกรรมศาสตร์กำหนด ซึ่งมีนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ได้เกรดเฉลี่ยน้อยกว่า 1.80-2.00 เป็นจำนวน 8 คนเป็นจำนวนที่มากที่สุดเท่าที่ทางภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้ทำการรวบรวมข้อมูลทางสถิติไว้ จากการศึกษาพบว่า นักศึกษาที่มีผลการเรียนเฉลี่ยต่ำกว่ามาตรฐานได้ผ่านการคัดเลือกมาจากรอบที่1 แฟ้มสะสมผลงาน (Portfolio) ซึ่งทางคณะวิศวกรรมศาสตร์มีจำเพาะกลุ่มผู้สมัครผ่านระบบ TCAS ปกติ โดยผู้สมัครผ่านโรงเรียนที่มีความร่วมมือทางวิชาการ (MOU) โดยโรงเรียนคัดเลือกผู้สมัครตามเกณฑ์การรับในรอบที่ 1 ของแต่ละโรงเรียนเข้ามาศึกษาต่อกับทางคณะตามจำนวนที่คณะกำหนด ผลการตรวจสอบพบว่า นักศึกษามีผลคะแนนรายวิชา SCMA115 และ SCPY130 ไม่ผ่าน ซึ่งเป็นรายวิชาแกน หมวดวิชาเฉพาะ ส่งผลให้คะแนนรายเทอมต่ำกว่าเกณฑ์ จึงได้เสนอแนวทางการแก้ปัญหา ดังนี้ 1. การคัดเลือกนักศึกษาในรอบโรงเรียนที่มีความร่วมมือทางวิชาการ (MOU) มีความเข้มข้นมากขึ้น โดยจัดให้มีการทดสอบข้อสอบของหลักสูตร เพื่อวัดความรู้ความสามารถด้านวิชาพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ 2. กำหนดให้มีการรับเข้านักศึกษาในรอบ Portfolio น้อยลง เพราะเป็นรอบที่มีความเสี่ยงที่จะได้นักศึกษาที่ไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากเป็นรอบที่ยื่นผลการศึกษาจากโรงเรียนและผลงาน ยากต่อการตรวจสอบ ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2567 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.1

คำสำคัญ: การคัดเลือกนักเรียนเข้าศึกษา / การเพิ่มประสิทธิภาพ / วิศวกรรมอุตสาหการ

Increasing efficiency in admitting students to the Bachelor of Engineering Program, Faculty of Engineering, Mahidol University

Wipawadee Kanpracha* and Somying Ottanoo

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University, Thailand
**Corresponding author: wipawadee.jan@mahidol.ac.th*

Abstract

"The current university student selection process uses the Thai University Central Admission System (TCAS), structured into four rounds: Round 1 (Portfolio), Round 2 (Quota), Round 3 (Admission), and Round 4 (Independent Admission). This article aims to propose strategies for enhancing the efficiency of recruiting students into the B.Eng. Program in Industrial Engineering at Mahidol University. This necessity arises from an unprecedented issue: eight first-year students recorded a GPA below the faculty's standard threshold (1.80–2.00). Investigations revealed these underperforming students were primarily admitted via Round 1 (Portfolio), which includes standard applicants and those from the Academic Cooperation Network (MOU). Specifically, these students failed core prerequisite courses (SCMA115 and SCPY130), resulting in low semester GPAs.

The proposed solutions are:

1. Strengthen the MOU selection process by A curriculum examination shall be organized to measure fundamental knowledge and proficiency in Science and Mathematics.

2. The number of admissions in the Portfolio round shall be reduced, as it carries a risk of admitting underperforming students. This is due to the reliance on school transcripts and past achievements, which are difficult to verify.

Research findings indicate that the academic achievement of first-year students in the 2024 academic year showed no statistically significant differences at the 0.1 level.

Keywords: Student admission selection council of graduate schools / Increasing efficiency / Industrial engineering

1. บทนำ

การคัดเลือกนักเรียนเข้าศึกษาต่อมหาวิทยาลัย ก่อนปี พ.ศ. 2561 มีรายละเอียด ดังนี้ ระบบการสอบคัดเลือกเข้าเรียนต่อมหาวิทยาลัย พ.ศ. 2504-2548 ใช้ระบบการสอบเข้ามหาวิทยาลัย (Entrance) พ.ศ. 2549-2560 ใช้ระบบ Admission และ พ.ศ. 2561 ถึงปัจจุบัน ใช้ระบบสารสนเทศการคัดเลือกกลางบุคคลเข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษา (Thai University Central Admission System: TCAS) TCAS มีรอบการสมัครและคัดเลือกจำนวน 4 รอบ คือ รอบที่ 1 แฟ้มสะสมผลงาน (Portfolio) รอบที่ 2 โควตา (Quota) รอบที่ 3 รับตรงร่วมกัน (Admission) และรอบที่ 4 รับตรงอิสระ (Direct Admission) หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้เปิดการรับนักเรียนด้วยระบบ TCAS ตามจำนวนที่หลักสูตรกำหนดไว้ในแผนการรับนักศึกษา [1] และเน้นการจัดการเรียนการสอนให้มีคุณภาพ ยึดแนวปฏิบัติตามพันธกิจมหาวิทยาลัยมหิดล เพื่อผลิตบัณฑิตให้สอดคล้องกับแผนการศึกษาแห่งชาติ แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ โดยมุ่งเน้นให้บัณฑิตมีความรู้ ความสามารถในวิชาชีพ มีคุณธรรม จริยธรรม มีความสำนึกต่อสังคมและมีความใฝ่รู้และเรียนรู้ด้วยตนเอง [2]

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ดำเนินการให้ทุกหลักสูตรฯ กำหนดเกณฑ์การพิจารณาคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาระดับปริญญาตรีในแต่ละรอบการรับพร้อมจำนวนการรับตามแผนด้วยระบบ TCAS จากการกำหนดเกณฑ์การพิจารณาคุณสมบัติทั่วไป คุณสมบัติเฉพาะ ระยะเวลาแต่ละรอบการรับได้ติดตามการใช้เกณฑ์การคัดเลือกฯ บุคคลที่เข้าศึกษาในหลักสูตรมีประสิทธิผลหรือผลสัมฤทธิ์จากการศึกษาเพียงใด ซึ่งเมื่อบุคคลเข้ามาศึกษาแล้วได้รับผลการเรียนในหลักสูตรเป็นตัวชี้วัดที่ส่งผลให้เห็นถึงคุณภาพของนักศึกษาและคุณภาพของการกำหนดเกณฑ์การรับระบบ TCAS ซึ่งผลการศึกษาของ นิตยา วิริยะธารากิจ [3] พบว่าการรับนิสิตระดับปริญญาตรีของสาขาวิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มศว. ประสบผลสำเร็จ โดยประสิทธิภาพของกระบวนการรับนิสิต คือ การได้นิสิตที่มีคุณภาพ มีความรู้ผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด แม้ว่าจำนวนนิสิตจากระบบรับตรงได้น้อยกว่าแผนการรับ ประสิทธิผลที่ชัดเจน คือ การได้นิสิตที่สามารถรับการพัฒนาให้มีระดับความรู้ตามวัตถุประสงค์ของหลักสูตร ทั้งนี้สาขาวิชากายภาพบำบัดควรเพิ่มนโยบายและกลยุทธ์ที่ทำให้สามารถได้จำนวนนิสิตที่มีคุณภาพตามเป้าหมายที่ต้องการ โดยเฉพาะจากระบบสอบตรงตามระบบการคัดเลือกของมหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ชาลี จิตรีผ่อง (2562) การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาคณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เข้าศึกษาด้วยระบบ TCAS และระบบรับตรง พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เข้าศึกษา ด้วยวุฒิ ปวช. ซึ่งเข้าศึกษาด้วยระบบโควตาและระบบสอบตรง พบว่าในภาพรวมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยนักศึกษาที่เข้าศึกษาด้วยระบบโควตามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมากกว่านักศึกษาที่เข้าศึกษาด้วยระบบสอบตรง และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เข้าศึกษา ด้วยวุฒิ ม.6 ซึ่งเข้าศึกษาด้วยระบบ TCAS 1 ระบบ TCAS 2 และ ระบบ TCAS 3 พบว่าในภาพรวมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยนักศึกษาที่เข้าศึกษาด้วยระบบ TCAS 3 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักศึกษาที่เข้าศึกษาด้วยระบบ TCAS 1 และนักศึกษาที่เข้าศึกษาด้วยระบบ TCAS 1 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักศึกษาที่เข้าศึกษาด้วยระบบ TCAS 2 และนักศึกษาที่เข้าศึกษาด้วยระบบ TCAS 2 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักศึกษาที่เข้าศึกษาด้วยระบบ TCAS 5 [4]

2. วัตถุประสงค์

เพื่อลดความแปรปรวนด้านคุณภาพของนักเรียนที่เข้าศึกษาในช่วงเปลี่ยนถ่ายจากนักเรียนเป็นนักศึกษา

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์การเพิ่มประสิทธิภาพการคัดเลือกนักเรียนเข้าศึกษาต่อ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยมีขอบเขตของการศึกษา ดังนี้

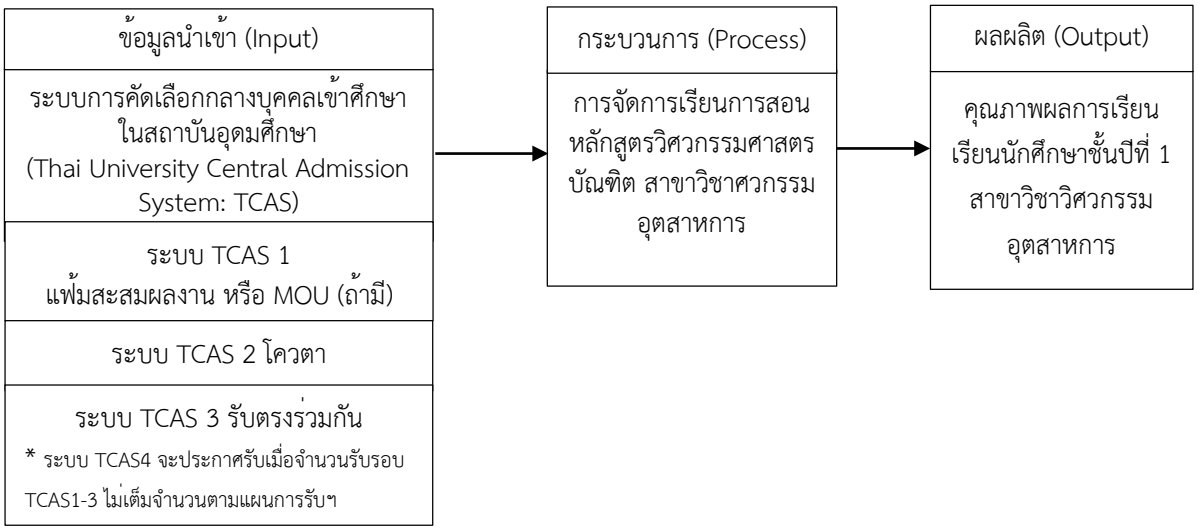
1. ศึกษาจากประชากรนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2565-2566
2. ประสิทธิภาพการคัดเลือกนักเรียนเข้าศึกษาต่อ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

4. วิธีการศึกษา

4.1 รวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยวิเคราะห์ผลการศึกษา การเพิ่มประสิทธิภาพการคัดเลือกนักเรียนเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยมีรายละเอียด

ศึกษาประชากรจากหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ชั้นปีที่ 1 เข้าศึกษาปีการศึกษา 2565-2566 ดังแสดงความสัมพันธ์ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้า กระบวนการ และผลผลิต

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

โดยใช้สถิติพรรณนา (Descriptive statistics) เพื่ออธิบายลักษณะทั่วไปของประชากร ได้แก่ ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) การวิเคราะห์เชิงอนุมาณ โดยใช้การแจกแจง ที (t- Distribution)

การเก็บข้อมูลการรับนักเรียนเข้าศึกษาต่อด้วยระบบ TCAS และผลการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2565-2566 จากงานบริหารการศึกษาเพื่อความเป็นเลิศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล โดยมีเกณฑ์การเทียบระดับคะแนนเฉลี่ยผลการเรียนได้กำหนดเกณฑ์ ดังนี้ [5]

ระดับคะแนนเฉลี่ย 3.51-4.00 หมายถึง ผลการเรียนอยู่ในระดับดีเยี่ยม
ระดับคะแนนเฉลี่ย 3.01-3.50 หมายถึง ผลการเรียนอยู่ในระดับดี
ระดับคะแนนเฉลี่ย 2.51-3.00 หมายถึง ผลการเรียนอยู่ในระดับพอใช้
ระดับคะแนนเฉลี่ย 2.01-2.50 หมายถึง ผลการเรียนอยู่ในระดับอ่อน
ระดับคะแนนเฉลี่ย 1.51-2.00 หมายถึง ผลการเรียนอยู่ในระดับอ่อนมาก

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการสืบค้นข้อมูลการรับนักศึกษาเข้าศึกษาด้วยระบบ TCAS ในรอบที่แตกต่างกันของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่รับเข้าผ่านระบบ TCAS ปีการศึกษา 2566-2567 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

H_0: การรับนักศึกษาเข้าศึกษาด้วยระบบ TCAS ในรอบที่แตกต่างกัน ของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ปีการศึกษา 2566 -2567 มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไม่แตกต่างกัน

H_1: การรับนักศึกษาเข้าศึกษาด้วยระบบ TCAS ในรอบที่แตกต่างกัน ของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ปีการศึกษา 2566 -2567 มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแตกต่างกัน

5.1 ผลการศึกษารูปแบบผลงานวิชาการ

นักศึกษาที่เข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จะต้องมีผลการศึกษาตามเกณฑ์ตามข้อบังคับมหาวิทยาลัยมหิดล ว่าด้วยการศึกษาระดับอนุปริญญาและปริญญาตรี พ.ศ. 2552 [5] โดยในปีการศึกษา 2566 จากข้อมูลพบว่า นักศึกษาเข้าศึกษารหัส 66 จำนวน 49 คน มีผลการเรียน 2 ภาคการศึกษาเฉลี่ยสะสมต่ำกว่า <2.00 จำนวน 7 คน และนักศึกษารหัส65 จำนวน 39 คน มีผลการเรียน 2 ภาคการศึกษาเฉลี่ยสะสมต่ำกว่า <2.00 จำนวน 8 คน และ นักศึกษาชั้นปีที่ 1 และชั้นปีที่ 2 เกิดสภาพปัญหาพื้นฐานการเรียนด้านวิชาการลดลงเป็นจำนวนมากทำให้ประสบปัญหาเกี่ยวกับผลการเรียนมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์ฯ อาจส่งผลให้การสำเร็จการศึกษาไม่เป็นไปตามแผนการศึกษา จึงได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลจำนวนนักเรียนเข้าศึกษาต่อแต่ละรอบการรับ พร้อมทั้งสังเคราะห์ผลกระบวนการรับ การจัดการเรียนการสอนในภาคการศึกษาต้นของรายวิชาพื้นฐานตามโปรแกรมการศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ เพื่อพิสูจน์สมมติฐานว่า รอบการรับ TCAS แต่ละรอบส่งผลต่อผลการเรียน <2.00 หรือไม่และนำข้อมูลมาแปรผลเพื่อสรุปปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผลการเรียน และการสำเร็จการศึกษาของนักศึกษา ดังแสดงในตารางข้อมูลการรับนักเรียนเข้าศึกษาต่อ ของระบบ TCAS ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนการรับนักเรียนเข้าศึกษาต่อแต่ละรอบของระบบ TCAS

ปีการศึกษา จำนวนนักเรียนที่รับเข้า (คน)	TCAS 1 (Portfolio) (GPAX) 4-5 ภาคการศึกษา ≥ 3.00, (GPA) วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ และภาษาอังกฤษ ≥3.00, เรียงความทัศนคติต่อวิชาชีพวิศวกรรมอุตสาหการความยาว 1 หน้ากระดาษ A4 หรือโควตาโรงเรียนในความร่วมมือทางวิชาการ (MOU) (ถ้ามี) ประกาศรับ 35 คน	TCAS 2 (Quota) (GPAX) 6 ภาคการศึกษา ≥3.00, เกรดเฉลี่ยสะสมตามกลุ่มสาระการเรียนรู้ (GPA) วิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ และภาษาอังกฤษ ≥3.00, ใช้คะแนนสอบความถนัดทางวิชาชีพวิศวกรรม TPAT3 ≥30 ประกาศรับ 10 คน	TCAS 3 คะแนน GPAX ≥3.00, A-level T-PAT3 ประกาศรับ 5 คน	TCAS 4 คะแนน GPAX ≥3.00, A-level T-PAT3 ประกาศรับ 5 คน
2561 (41)	17	4	4	16
2562 (28)	20	0	0	8
2563 (30)	20 (ไม่มี MOU 18 มี MOU 2 คน)	2	0	8
2564 (23)	22 (ไม่มี MOU 11 มี MOU 11 คน)	0	0	1
2565 (37)	26 (ไม่มี MOU 17 มี MOU 9 คน)	0	1	10
2566 (48)	28 (ไม่มี MOU 13 มี MOU 15 คน)	8	9	3

จำนวนและร้อยละผลการศึกษาที่มีนักศึกษาสอบผ่านเกณฑ์ฯ พบว่า ปีการศึกษา 2565-2566 มีนักศึกษาสอบไม่ผ่านเกณฑ์ฯ สูงขึ้นกว่าปีที่ผ่านมา นักศึกษาชั้นปีที่ 1 มีผลการศึกษาเฉลี่ยสะสมตั้งแต่ 1.50 แต่ไม่ถึง 2.00 เป็นจำนวน 14 คน ซึ่งเป็นจำนวนที่มากที่สุด ดังตารางที่ 2 ตั้งแต่เริ่มการรับแบบระบบ TCAS ทำให้เกิดสภาพปัญหาพื้นฐานด้านการเรียน โดยผู้วิจัยได้นำ

ข้อมูลผลการรับเข้าศึกษาต่อด้วยระบบ TCAS ตั้งแต่ ปีการศึกษา 2561-2566 และผลการศึกษาในระดับ ชั้นปีที่ 1 มาทำการวิเคราะห์ ดังนั้น เพื่อป้องกันการติดวิทยาทัณฑ์ ลดการพ้นสภาพการเป็นนักศึกษา อันเนื่องมาจาก เกรดเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์ข้อบังคับฯ และช่วยการเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดเลือกนักเรียนเข้าศึกษาต่อคณะวิศวกรรมศาสตร์

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของผลการเรียนนักศึกษาชั้นปีที่ 1

ระบบการสอบคัดเลือกเข้าเรียนต่อมหาวิทยาลัย	ปีการศึกษา/ จำนวนนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ที่รับเข้า	จำนวนและร้อยละของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 (คน)ที่มีผลการศึกษา ≥2.00	จำนวน และร้อยละของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 (คน) ที่มีผลการศึกษา <2.00
Admission	2558 (47)	47 (100)	0
Admission	2559 (52)	51 (98.07)	1 (1.93)
Admission	2560 (48)	44 (91.66)	4 (8.34)
TCAS	2561 (41)	39 (95.12)	2 (4.88)
*TCAS	2562 (28)	28 (100)	0
*TCAS	2563 (30)	28 (93.33)	2 (6.67)
*TCAS	2564 (23)	23 (100)	0
TCAS	2565 (37)	31 (83.78)	6 (16.22)
TCAS	2566 (48)	40 (83.67)	8 (16.33)

หมายเหตุ ปีการศึกษาที่ใช้ประกาศมหาวิทยาลัยมหิดล เรื่อง แนวปฏิบัติในการจัดการเรียนการสอน กรณีที่เกิดสถานการณ์ฉุกเฉิน ซึ่งมหาวิทยาลัยไม่สามารถจัดการเรียนการสอนได้ตามปกติ พ.ศ. 2563 เป็นช่วงสถานการณ์โรคระบาดการติดเชื้อไวรัสโควิด (Covid-19) [6] (*) ช่วงระหว่างที่เกิดสถานการณ์โรคระบาดฯ สำหรับรายวิชาที่นักศึกษามีผลคะแนนไม่ผ่าน ให้ผู้สอนจัดการสอบแก้ไขผลคะแนนที่ไม่ผ่านได้ โดยเริ่มใช้ในปีการศึกษา 2/2562 ถึง ปีการศึกษา 2/2565 (ปี พ.ศ. 2563-2566)

จากตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของผลการเรียนนักศึกษาชั้นปีที่ 1 พบว่า จำนวนและร้อยละของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ที่มีผลการศึกษา ≥2.00 ปีการศึกษา 2565 คิดเป็นร้อยละ 83.78 และปีการศึกษา 2566 คิดเป็นร้อยละ 83.67 มีนักศึกษาสอบไม่ผ่านเกณฑ์ฯ ปีการศึกษา 2565 คิดเป็นร้อยละ 16.22 และปีการศึกษา 2566 คิดเป็นร้อยละ 16.33 มีจำนวนสูงกว่าปีที่ผ่านมา

5.2 ผลการวิเคราะห์ศึกษาข้อมูล

วิเคราะห์ผลการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2561-2566 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยผลการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 จำแนกตามปีการศึกษา และรอบการรับระบบ TCAS

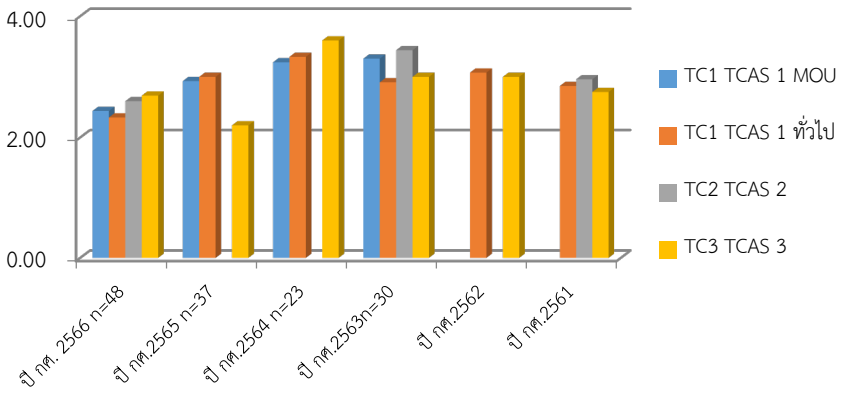
ระบบ	ระบบย่อย	ปีการศึกษา 2566 N=48		ปีการศึกษา 2565 N=37		ปีการศึกษา 2564 N=23		ปีการศึกษา 2563 N=30		ปีการศึกษา 2562 N=30		ปีการศึกษา 2561 N=28	
		$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.
TC1	TCAS 1 MOU	2.44 (3.68)	0.53 (0.22)	2.93 (3.61)	0.48 (0.10)	3.24 (3.51)	0.24 (0.15)	3.30 (3.54)	0.49 (0.10)	-	-	-	-
	TCAS 1 ทั่วไป	2.33 (3.70)	0.43 (0.21)	3.00 (3.71)	0.48 (0.19)	3.33 (3.68)	0.34 (0.19)	2.91 (3.68)	0.60 (0.20)	3.07 (3.78)	0.31 (0.14)	2.85 (3.81)	0.54 (0.12)

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยผลการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 จำแนกตามปีการศึกษา และรอบการรับระบบ TCAS (ต่อ)

ระบบ	ระบบย่อย	ปีการศึกษา 2566 N=48		ปีการศึกษา 2565 N =37		ปีการศึกษา 2564 N =23		ปีการศึกษา 2563 N =30		ปีการศึกษา 2562 N =30		ปีการศึกษา 2561 N =28	
		$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.
TC2	TCAS 2	2.60 (3.84)	0.42 (0.08)	-	-	-	-	3.44 (3.53)	0.08 (0.13)	-	-	2.96 (3.44)	0.40 (0.30)
TC3	TCAS3*	2.69 (3.72)	0.33 (0.22)	2.20 (3.39)	0.44 (0.43)	3.60 (3.62)	N=1	3.00 (3.61)	0.28 (0.26)	3.00 (3.62)	0.30 (0.28)	2.75 (3.42)	0.41 (0.30)
ผลรวมผลการเรียนชั้นปีที่ 1 และ (ม.6) $\bar{x}$ และ S.D.		**2.49 (3.72)**	**0.47 (0.21)**	**2.71 (3.57)**	**0.58 (0.35)**	**3.30 (3.50)**	**0.29 (0.09)**	**3.00 (3.64)**	**0.54 (0.22)**	**3.05 (3.74)**	**0.31 (0.20)**	**2.81 (3.58)**	**0.46 (0.30)**

หมายเหตุ ข้อมูล ( ) คือ ผลรวมผลการเรียนของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยผลการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 จำแนกตามปีการศึกษา ตั้งแต่ปีการศึกษา 2561 ถึงปีการศึกษา 2566 โดยจำแนกการรับระบบ TCAS ออกเป็น 3 ระบบ เนื่องจากระบบย่อยบางระบบมีคุณสมบัติและเกณฑ์การรับคล้ายกัน และระบบ TCAS4 จะประกาศรับเมื่อจำนวนการรับรอบ TCAS1-3 ไม่เต็มจำนวนตามแผนการรับฯ คือระบบ TC1 ประกอบด้วย ระบบย่อย TCAS 1 MOU และ TCAS 1 ทั่วไป ระบบ TC2 คือ ระบบย่อย TCAS 2 และระบบ TC3 ประกอบด้วย ระบบย่อย TCAS 3 ซึ่งระบบ TCAS4 จะประกาศรับเพิ่ม กรณีที่จำนวนรับรอบ TCAS1-3 ไม่เต็มจำนวนตามแผนการรับฯ ดังแสดงตารางที่ 3 ซึ่งปีการศึกษา 2566 พบว่า ระบบ TC1 ระบบย่อย TCAS 1 ทั่วไป มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด [2.33] รองลงมา TCAS 1 MOU [2.44] และระบบ T3 ระบบย่อย TCAS 3 มากที่สุด [2.69] ปีการศึกษา 2565 พบว่า รอบระบบ TC3 ระบบย่อย TCAS 3 มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด [2.20] และ ระบบ TC1 ระบบย่อย TCAS 1 ทั่วไป มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด [3.00] ปีการศึกษา 2564 พบว่า ระบบ TC1 ระบบย่อย TCAS 1 MOU มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด [3.24] และระบบ T3 ระบบย่อย TCAS 3 มากที่สุด [3.60] N=1 ปีการศึกษา 2563 พบว่า ระบบ TC1 ระบบย่อย TCAS 1 ทั่วไป มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด [2.91] และระบบ TC2ระบบย่อย TCAS 2 มากที่สุด [3.44] ปีการศึกษา 2562 พบว่า ระบบ TC3 ระบบย่อย TCAS 4 มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด[3.00] และระบบ TC1 ระบบย่อย TCAS1 ทั่วไป มีค่าเฉลี่ยที่สุด [3.07] ปีการศึกษา 2561 พบว่า ระบบ TC3 ระบบย่อย TCAS 3 มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด [2.75] และระบบ TC2 ระบบย่อย TCAS 2 มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด [2.96] ดังรูปที่ 2 แผนภูมิแสดงจำนวนนักศึกษาชั้นปีที่ 1 จำแนกตามปีการศึกษา 2561-2566 และรอบการรับระบบ TCAS



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงจำนวนนักศึกษาชั้นปีที่ 1 จำแนกตามปีการศึกษา 2561-2566 และรอบการรับระบบ TCAS

รูปที่ 3 แผนผังแสดงสาเหตุปัจจัยที่ส่งผลต่อผลการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ที่ไม่ผ่านเกณฑ์

จากรูปที่ 3 แผนผังแสดงสาเหตุปัจจัยที่ส่งผลต่อผลการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ ซึ่งอธิบายแผนผังที่แสดงถึงสาเหตุนักศึกษาที่มีผลการเรียนเฉลี่ยไม่ผ่านเกณฑ์วิทยาทัณฑ์อยู่ทางด้านขวา และสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาอยู่ทางด้านซ้าย สาเหตุหลัก (Major Causes) คือ นักศึกษา และกระบวนการรับเข้า โดยที่สาเหตุหลักแบ่งออกเป็นสาเหตุย่อย (Minor Causes) พบว่า สาเหตุหลักเกิดจากกระบวนการรับเข้าของนักศึกษา และสาเหตุย่อยมาจากรอบการรับเข้าแบบโครงการโควตาเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการ (MOU) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหานักศึกษามีเกรดเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานมาจากนักศึกษาที่คัดเลือกมาไม่มีประสิทธิภาพ เกิดจากปัจจัยดังต่อไปนี้ ได้แก่ เกณฑ์การคัดนักศึกษาของแต่ละโรงเรียนไม่เหมือนกัน และไม่มีผลการสอบกลาง/ไม่มีการสอบวัดระดับความรู้เบื้องต้น

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบจำนวนร้อยละผลการเรียนนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2565-2566 และปีการศึกษา 2567-2568

ระบบการสอบคัดเลือกเข้าเรียนต่อมหาวิทยาลัย	ปีการศึกษา/ จำนวนนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ที่รับเข้า	จำนวนและร้อยละของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 (คน)ที่มีผลการศึกษา ≥2.00	จำนวน และร้อยละของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 (คน) ที่มีผลการศึกษา <2.00
TCAS	2565 (37)	31 (83.78)	6 (16.22)
TCAS	2566 (48)	40 (83.67)	8 (16.33)
TCAS	2567 (45)	44 (97.78)	**1 (2.22)**
*TCAS	2568 (42)	36 (85.71)	6 (14.29)

หมายเหตุ ผลการศึกษาของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2568 มีผลการศึกษาเฉพาะภาคการศึกษาที่ 1/2568 ปัจจุบันกำลังอยู่ระหว่างการศึกษาภาคการศึกษาที่ 2/2568

จากตารางที่ 4 เปรียบเทียบจำนวนร้อยละของผลการเรียนนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2565-2566 และปีการศึกษา 2567-2568 พบว่า จำนวนร้อยละของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2567 ที่มีผลการศึกษา ≥2.00 คิดเป็นร้อยละ 97.78 และนักศึกษาที่มีผลการศึกษา <2.00 มีเพียงร้อยละ 2.22 เท่านั้น และในปีการศึกษา 2568 นักศึกษาชั้นปีที่ 1 มีผลการศึกษาเฉพาะภาคการศึกษาที่ 1/2568 ปัจจุบันกำลังอยู่ระหว่างการศึกษาภาคการศึกษาที่ 2/2568 จำนวนร้อยละของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2568 ที่มีผลการศึกษา ≥2.00 คิดเป็นร้อยละ 85.71 และนักศึกษาที่มีผลการศึกษา <2.00 ร้อยละ 14.29 เมื่อเปรียบเทียบกับปีการศึกษา 2565-2566 ที่มีนักศึกษาที่มีผลการศึกษา <2.00 มีระดับที่แตกต่างกันมากกว่า

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา2565-2566 และปีการศึกษา 2567-2568

ระบบ	ระบบย่อย	ปีการศึกษา 2565 N =37		ปีการศึกษา 2566 N=48		ปีการศึกษา 2567 N=45		ปีการศึกษา 2568 N =42	
		$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.
TC1	TCAS 1 MOU	2.93 (9)	0.48	2.44 (13)	0.53	2.83 (9)	0.48	3.36 (3)	0.70
	TCAS 1 ทั่วไป	3.00 (17)	0.48	2.33 (15)	0.43	2.88 (29)	0.52	2.73 (21)	0.57
TC2	TCAS 2	-	-	2.60 (8)	0.42	3.04 (1)	n=1	2.63 (4)	0.65
TC3	TCAS3*	2.20 (11)	0.44	2.69 (12)	0.33	3.04 (6)	0.35	2.56 (14)	0.53
ค่าเฉลี่ย และ S.D. รวม				**2.39**	**0.48**	**2.86**	**0.66**		

หมายเหตุ ข้อมูล ( ) คือ จำนวนนักศึกษาแต่ละรอบ

จากตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2565-2566 และปีการศึกษา 2567-2568 พบว่า ค่าเฉลี่ยในรอบ TCAS1 MOU ปีการศึกษา 2566 ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด [2.44] โดยในปีการศึกษา 2567 มีค่าเฉลี่ยผลการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 [2.83] สูงกว่าผลการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา2565 และค่าเฉลี่ยผลการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ในปีการศึกษา 2568 เท่ากับ [3.00] มีระดับสูงขึ้น กว่าปีการศึกษา2567 และปีการศึกษา 2566 และรอบ TCAS2 และ TCAS3 ปีการศึกษา 2567 มีค่าเฉลี่ยที่สูงขึ้นเช่นกัน แสดงถึงประสิทธิภาพการรับนักเรียนที่เข้าศึกษาต่อลดความแปรปรวนด้านคุณภาพการเรียนได้

ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2566 กับปีการศึกษา 2567 พบว่า ในภาพรวมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ระดับ 0.1 โดยผลการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2566 มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำกว่าผลการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ปีการศึกษา 2567 ทั้งภาพรวมและรายคู่ทุกระบบ นักศึกษาที่เข้าศึกษาด้วยระบบ TCAS2 และ ระบบ TCAS 3 ของปีการศึกษา 2566 และ ปีการศึกษา 2567 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่า นักศึกษาที่เข้าศึกษาด้วยระบบ TCAS 1 และ (MOU) TCAS 1 ทั่วไป โดยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการรับนักศึกษาระบบ TCAS ปีการศึกษา 2566 ($\bar{x}$ = 2.39 , S.D. = 0.48) ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการรับนักศึกษาระบบ TCAS ปีการศึกษา 2567 ($\bar{x}$ = 2.86 , S.D. = 0.66)

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่รับเข้าผ่านระบบ TCAS ปีการศึกษา 2566 และ 2567

	2566		2567	
ค่าสถิติ	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.
กลุ่ม TCAS1 (MOU) + (ทั่วไป)	2.39	0.48	2.86	0.66
กลุ่ม TCAS2 + TCAS3	2.65	0.36	3.04	0.68

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.1

จากตารางที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่รับเข้าผ่านระบบ TCAS ปีการศึกษา 2566 และ 2567 โดยแบ่ง 2 กลุ่มรอบการรับ คือ กลุ่มTCAS1 (MOU)+(ทั่วไป) และกลุ่ม TCAS 2+TCAS 3 พบว่า ในปีการศึกษา 2566 ผลการศึกษาเฉลี่ยของนักศึกษา กลุ่ม TCAS1(MOU) + (ทั่วไป) น้อยกว่า ผลการศึกษาเฉลี่ยของนักศึกษา กลุ่ม TCAS2+TCAS3 แต่ในปีการศึกษา 2567 เมื่อปรับลดจำนวนการรับนักเรียน รอบ TCAS1 (MOU) ส่งผลให้เกรดเฉลี่ยของนักศึกษาระบบ TCAS 1 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.1 สอดคล้องกับกับกลุ่ม TCAS2 และ TCAS3

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลดความแปรปรวนด้านคุณภาพ [7] ของนักเรียนที่เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในช่วงเปลี่ยนถ่ายจากนักเรียนเป็นนักศึกษา

สรุปผลการวิเคราะห์ปัญหา จากขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล พบว่า นักศึกษาปีการศึกษา 2565-2566 ที่มีปัญหาด้านเกรดเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน นั่นคือ มีเกรดเฉลี่ยต่ำกว่า 2.00 มีจำนวนทั้งหมด 14 คน (2565 : 6 คน , 2566 : 8 คน) มีสาเหตุหลักมาจากกระบวนการรับเข้ารอบ TCAS1 (MOU/Folio) โดยปีการศึกษา 2565 นักศึกษาที่เข้ามาจากรอบ TCAS 1 Portfolio จำนวน 2 คน และมาจากโรงเรียนที่มีความร่วมมือทางวิชาการ (MOU) จำนวน 4 คน และปีการศึกษา 2566 นักศึกษาที่เข้ามาจากรอบ TCAS 1 Portfolio จำนวน 2 คน และมาจากโรงเรียนที่มีความร่วมมือทางวิชาการ (MOU) จำนวน 6 คน โดยจากการรวบรวมข้อมูล พบว่า จำนวน 4 คน จาก 6 คนนั้น มาจากโรงเรียนเดียวกันและมีผลการเรียนต่ำกกว่าเกณฑ์ ผู้วิจัยได้สรุปไว้ในข้อเสนอแนะต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. กำหนดให้มีการรับเข้านักศึกษาในรอบ Portfolio น้อยลง เพราะเป็นรอบที่มีความเสี่ยงที่จะได้นักศึกษาที่ไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากเป็นรอบที่ยื่นผลการศึกษาจากโรงเรียน และยื่นผลงาน ยากต่อการตรวจสอบ ยังไม่มีผลการสอบกลาง[8] ซึ่งในรอบ TCAS1 ช่วงเวลาอยู่ระหว่างที่ที่ประชุมอธิการบดีแห่งประเทศไทย (ทปอ.) กำลังรับสมัครการสอบข้อสอบกลางในระบบ TCAS (Thai University Central Admission System) เพื่อใช้เป็นคะแนนสำหรับยื่นสมัครเข้าระบบการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาของประเทศไทย ประกอบด้วย 3 ชุดวิชา ดังนี้ 1) Thailand General Aptitude Test (TGAT) คือ การสอบวัดความถนัดทั่วไป ประกอบด้วย 3 บท คือ การสื่อสารภาษาอังกฤษ, การคิดอย่างมีเหตุผล, และสมรรถนะการทำงาน 2) Thailand Professional Aptitude Test (TPAT) คือ การสอบวัดความถนัดวิชาชีพ ซึ่งมีความแตกต่างกันตามคณะ/สาขาวิชาที่สมัคร (เช่น ความถนัดแพทย์, วิศวกรรมศาสตร์, ครุศาสตร์) และ 3) Applied Knowledge Level (A-Level) คือ การสอบวัดความรู้เชิงวิชาการ ประกอบด้วยวิชาหลักๆ เช่น คณิตศาสตร์ประยุกต์, วิทยาศาสตร์ประยุกต์, ฟิสิกส์, เคมี, ชีววิทยา, ภาษาไทย, สังคมศึกษา, ภาษาอังกฤษ และภาษาต่างประเทศ
2. การรับสมัครนักเรียนจากโรงเรียนที่มีความร่วมมือทางวิชาการ (MOU) ควรได้รับการคัดเลือกอย่างเข้มข้นจากโรงเรียน
3. การคัดเลือกนักศึกษาในรอบการรับ TCAS 1 Portfolio (ทั่วไป/MOU) ควรมีกระบวนการที่ชัดเจนนอกเหนือจากการนำเพียงผลการศึกษามัธยมศึกษาปีที่ 6 มาประกอบการสัมภาษณ์ โดยหลักสูตรฯ ควรจัดให้มีการทดสอบข้อสอบของหลักสูตร เพื่อวัดความรู้ความสามารถเบื้องต้นด้านวิชาพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์
4. หลังจากสิ้นสุดการรับบุคคลเข้าศึกษาต่อหลักวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (TCAS) คณะวิศวกรรมศาสตร์มีการดำเนินการจัดโครงการปรับพื้นฐานวิชาทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ ให้กับนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ก่อนการเปิดภาคการศึกษา เพื่อลดความเสี่ยงของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 ที่สอบไม่ผ่านเกณฑ์รายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

จากผลการวิจัย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้

1) ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษา อัตราการสำเร็จการศึกษา และการใช้เวลาเรียนจนสำเร็จการศึกษาภายในระยะเวลา 4 ปี ของนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่รับเข้าผ่าน TCAS
2) ควรมีการศึกษาด้านสภาพแวดล้อมในสถานศึกษาและปัจจัยอื่นๆ เพื่อจะได้ทราบสภาพแวดล้อมในสถานศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเรียนรู้ของนักศึกษาต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางประกอบการกำหนดเกณฑ์การรับบุคคลเข้าศึกษาต่อในรอบ TCAS1
2. เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาหลักสูตรในด้านผลลัพธ์ทางการศึกษาของนักศึกษาที่เป็นไปตามเกณฑ์
3. เกิดประโยชน์ต่อผู้เรียนในการเลือกหลักสูตรเรียนได้อย่างเหมาะสมไม่ลาออกระหว่างการศึกษา

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนและผู้ร่วมเขียนขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย นาทะพันธ์ รองหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ในการให้คำแนะนำ ประสบการณ์การทำงาน จนได้สั่งสมความรู้และสามารถจัดทำบทความนี้ได้สำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

[1] หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ (2561) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยลัยมหิดล.

[2] มหาวิทยาลัยมหิดล, คำขวัญ ปรัชญา ปณิธาน วิสัยทัศน์ และพันธกิจของมหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2550. https://mahidol.ac.th/ th/motto-mahidol/

[3] นิตยา วิริยะธารากิจ. (2558). ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการรับนิสิตระดับปริญญาตรีของสาขาวิชากายภาพบำบัด คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครทรวิโรฒ.

[4] ชาลี จิตรีผ่อง. (2562). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาคณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล.

[5] มหาวิทยาลัยมหิดล. (2552, 27 เมษายน), ข้อบังคับมหาวิทยาลัยมหิดล เรื่อง ว่าด้วยการศึกษาระดับอนุปริญญาและปริญญาตรี พ.ศ. 2552

[6] มหาวิทยาลัยมหิดล. (2563, 15 มิถุนายน), ประกาศเรื่อง แนวปฏิบัติในการจัดการเรียนการสอน กรณีที่เกิดสถานการณ์ฉุกเฉิน ซึ่งมหาวิทยาลัยไม่สามารถจัดการเรียนการสอนได้ตามปกติ พ.ศ. 2563 เป็นช่วงสถานการณ์โรคระบาดการติดเชื้อไวรัสโควิด (Covid-19)

[7] ศุภชัย นาทะพันธ์. (2566). การควบคุมคุณภาพ กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

[8] สมาคมที่ประชุมอธิการบดีแห่งประเทศไทย (2567). ระบบการสอบเข้ามหาวิทยาลัย. https://www.mytcas.com/

การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้งานหัวหุ่นสำหรับยึดแบบจำลองฟัน

อรพธู กุลวิไชยศักดิ์[1], ปฐวี สุขเจริญ[1],ณัฐวิชช์ วงษ์ฮ้อเจริญ[2], และ นิติรุจน์ กุลวิไชยศักดิ์ [2*]

[1]โรงพยาบาลทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400
[2]งานกายภาพและสิ่งแวดล้อม คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400
**Corresponding author: nitiroot.kun@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

คลินิกวิทยาเอ็นโดดอนต์ โรงพยาบาลทันตกรรม เปิดให้บริการรักษาคลองรากฟันและรองรับการเรียนการสอนในการให้บริการผู้ป่วย โดยนักศึกษาต้องผ่านการฝึกทักษะด้วยกล้องจุลทรรศน์ร่วมกับหัวหุ่นและแบบจำลองฟันบนยูนิตทันตกรรมก่อนลงคลินิกปฏิบัติงานการรักษาผู้ป่วย บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหา พัฒนา และรองรับการเรียนการสอนอย่างมีประสิทธิภาพ จากปัญหาการชำรุดของแผ่นยางรองแบบจำลองฟันส่งผลกระทบต่อความพร้อมใช้งานและประสิทธิภาพการฝึกปฏิบัติของนักศึกษาทันตแพทย์ ซึ่งการจัดซื้ออะไหล่ใช้เวลานานเนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาสูง จึงได้ทำการแก้ไขปัญหาโดยปรับปรุงโดยใช้แผ่นปะเก็นยางที่มีคุณสมบัติและความหนาใกล้เคียงกันทดแทนแผ่นยางเดิมที่ชำรุด ผลการปรับปรุงพบว่าแผ่นปะเก็นยางสามารถยึดติดได้มั่นคงรองรับแรงกดจากการปรับตั้งหัวหุ่นได้อย่างเหมาะสม ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานหรือความปลอดภัยของนักศึกษา รวมทั้งประหยัดค่าใช้จ่ายซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายจากการจัดซื้ออะไหล่ได้ 193,200 บาท คิดเป็นร้อยละ 98.57 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาทันตแพทย์ผู้ใช้งานพบว่ามีความพึงพอใจมากกว่าร้อยละ 90 ซึ่งแนวทางการพัฒนา ปรับปรุง สะท้อนแนวทางต่อการพัฒนาคุณภาพงานบริการการเรียนการสอนอย่างมีประสิทธิภาพสอดคล้องการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน (Sustainability Organization Development) ด้านการรักษาและการบริหารทรัพยากร ความปลอดภัย และการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืน (SDG 3 และ SDG 17)

คำสำคัญ : หัวหุ่นจำลอง / แบบจำลองฟัน / ยูนิตทันตกรรม / การพัฒนาคุณภาพ / การบริหารทรัพยากร

Improving the efficiency of the dummy head for fixing the tooth model Environment

Onpathu Kulvichaisak[1], Pathavi Sukcharoen[1], nattawit Wonghocharoen[2], and Nitirut Kulvichaisak[2*]

[1]Dental Hospital Mahidol University Faculty of Dentistry, Mahidol University, Thung Phayathai, Ratchathewi, Bangkok Thailand

[2]Physical and Environmental Division Faculty of Dentistry, Mahidol University, Thung Phayathai, Ratchathewi, Bangkok Thailand

**Corresponding author: nitiroot.kun@mahidol.ac.th*

Abstract

This study aimed to develop and evaluate an alternative material for replacing deteriorated rubber bases in phantom head units used in endodontic clinical training at the Faculty of Dentistry, Mahidol University. The deterioration of original rubber components affected the stability of tooth models, potentially compromising training accuracy and efficiency. In addition, replacement parts were costly and required long procurement times due to importation.An alternative solution using rubber gasket material with similar physical properties was designed, fabricated, and tested. A 4-mm thickness gasket was identified as optimal for maintaining stability and usability. The evaluation was conducted through an implementation in a real training environment, involving postgraduate dental students and instructors. User satisfaction was assessed using a 5-point Likert scale.The results demonstrated that the modified rubber gasket provided sufficient stability, did not interfere with clinical procedures, and achieved a high satisfaction level (mean score = 4.62; 92.4%). Furthermore, the total cost of implementation was 2,800 THB compared to 196,000 THB for original parts, resulting in a cost reduction of 98.57%.This study highlights a cost-effective and sustainable approach to resource management in dental education, supporting continuous learning without compromising quality or safety.

Keywords: Endodontic education / Phantom head unit / Rubber gasket / Simulation training / Cost reduction / Resource management / Dental education innovation

1. บทนำ

คลินิกวิทยาเอ็นโดดอนต์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เป็นหน่วยงานที่มีบทบาทสำคัญทั้งด้านการจัดการเรียนการสอนระดับหลังปริญญา และการให้บริการรักษาคลองรากฟันแก่ผู้ป่วยในหลากหลายระดับความซับซ้อน ตั้งแต่กรณีทั่วไป กรณีที่มีความซับซ้อนสูง ไปจนถึงงานศัลยกรรมปลายรากฟัน (Endodontic Microsurgery) รวมถึงการเป็นศูนย์กลางในการจัดประชุมวิชาการระดับนานาชาติ เช่น Mahidol International Endodontic Symposium (MIES) อย่างต่อเนื่องในการเตรียมความพร้อมของนักศึกษาหลังปริญญาชั้นปีที่ 1 ก่อนเริ่มปฏิบัติงานจริงในคลินิก นักศึกษาจำเป็นต้องผ่านการฝึกทักษะการใช้กล้องจุลทรรศน์ทางทันตกรรมร่วมกับหัวหุ่นจำลองฟัน (Phantom Head Unit) ที่ติดตั้งกับยูนิตทันตกรรม ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาความแม่นยำ ความชำนาญ และความปลอดภัยในการปฏิบัติหัตถการทางเอ็นโดดอนต์ โดยการฝึกด้วยหัวหุ่นจำลองถือเป็นกระบวนการสำคัญที่ช่วยยกระดับทักษะทางคลินิกก่อนการให้บริการแก่ผู้ป่วยจริง [4,5] อย่างไรก็ตามจากการใช้งานอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานพบว่าแผ่นยางรองแบบจำลองฟันบริเวณฐานหัวหุ่นเกิดการเสื่อมสภาพและชำรุด ส่งผลให้ความมั่นคงในการยึดติดของแบบจำลองฟันลดลง เกิดการเคลื่อนไหวระหว่างการฝึกปฏิบัติ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการทำหัตถการ และลดประสิทธิภาพของการจัดการเรียนการสอน นอกจากนี้ การจัดหาอะไหล่ทดแทนยังมีข้อจำกัด เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวเป็นแบบเฉพาะรุ่นและมีการจำหน่ายเป็นชุด ส่งผลให้มีต้นทุนสูงและต้องใช้ระยะเวลาในการนำเข้า ซึ่งก่อให้เกิดภาระด้านงบประมาณของหน่วยงานอย่างมีนัยสำคัญ [1,2] จากปัญหาดังกล่าว คลินิกจึงดำเนินการศึกษาทางเลือกในการแก้ไขปัญหา โดยการประยุกต์ใช้แผ่นปะเก็นยางที่มีความหนาและคุณสมบัติทางกายภาพใกล้เคียงกับวัสดุต้นแบบ เพื่อนำมาติดตั้งทดแทนแผ่นยางรองที่ชำรุดบริเวณฐานหัวหุ่น พร้อมทั้งประเมินผลการใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงของการฝึกปฏิบัติทางคลินิก ผลการทดลองเบื้องต้นพบว่าวัสดุทดแทนสามารถรองรับแรงกดและการปรับตั้งหัวหุ่นได้อย่างเหมาะสม โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการเรียนการสอน และสามารถใช้งานได้อย่างมีเสถียรภาพ

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งานและความคุ้มค่าของการใช้วัสดุทดแทนดังกล่าว เพื่อเป็นแนวทางในการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดค่าใช้จ่าย และสนับสนุนการพัฒนาองค์กรอย่างยั่งยืนสอดคล้องกับแนวทางการบริหารงบประมาณด้านการศึกษางบประมาณา [2,3]

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อมีชุดหัวหุ่นจำลองพร้อมใช้งาน
2. เพื่อลดค่าใช้จ่ายการจัดซื้อแผ่นยางชุดหัวหุ่นจำลอง
3. เพื่อให้นักศึกษาทันตแพทย์มีความพึงพอใจของต่อการใช้งานชุดหัวหุ่นจำลอง

3. ขอบเขตของการศึกษา

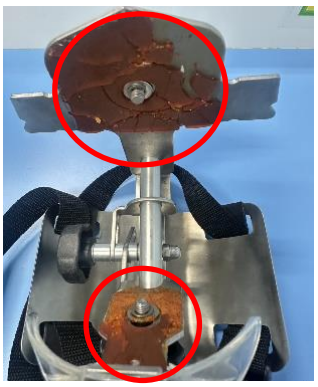
คลินิกวิทยาเอ็นโดดอนต์ โรงพยาบาลทันตกรรมคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (พญาไท)

4. วิธีการศึกษา

สภาพปัญหาและผลกระทบต่อการจัดการเรียนการสอน ในการจัดการเรียนการสอนภาคปฏิบัติทางทันตแพทยศาสตร์ โดยเฉพาะในรายวิชาปฏิบัติการทางคลินิกและพรีคลินิก มีการใช้ หัวหุ่นฝึกปฏิบัติ (Phantom Head Unit) เป็นอุปกรณ์หลักสำหรับฝึกทักษะทางหัตถการ เช่น การเตรียมโพรงฟัน การรักษาคลองรากฟัน และการบูรณะฟัน ทั้งนี้ แผ่นยางรองแบบจำลองฟันที่ติดตั้งบริเวณหัวหุ่นทำหน้าที่สำคัญในการยึดตรึงแบบจำลองฟันให้มั่นคงใกล้เคียงสภาพจริงในช่องปากผู้ป่วย ดังแสดงในรูปที่ 1 ปัจจุบันพบว่า แผ่นยางรองแบบจำลองฟันเกิดการชำรุด เสื่อมสภาพ และฉีกขาดจากการใช้งานต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน

ดังแสดงในรูปที่ 2 อีกทั้งไม่มีอะไหล่สำรองรองรับการเปลี่ยนทดแทน เนื่องจากอุปกรณ์เป็นรุ่นเก่าหรือบริษัทผู้ผลิตยกเลิกการผลิต ส่งผลให้ไม่สามารถจัดหาอะไหล่ได้ตามระบบพัสดุปกติ ปัญหาแผ่นยางรองแบบจำลองฟันที่ติดกับหัวหุ่นชำรุดไม่มีอะไหล่รองรับ ส่งผลกระทบต่อการเรียนการสอนของนักศึกษารูปภาพปัญหาแผ่นยางรองแบบจำลองฟันที่ติดกับหัวหุ่นชำรุด

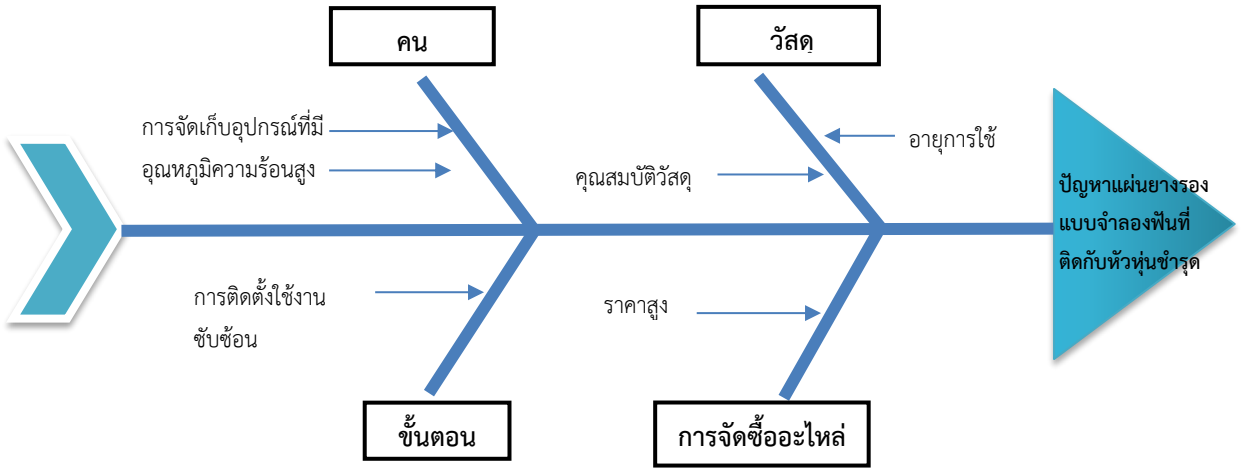
รูปที่ 1 แสดงชุดหัวหุ่นจำลองฟัน



รูปที่ 2 แสดงแผ่นยางรองชำรุด เสื่อมสภาพ

4.1 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Root Cause Analysis)

จากปัญหาแผ่นยางรองแบบจำลองฟันบริเวณฐานหัวหุ่นเกิดการเสื่อมสภาพและชำรุด ส่งผลต่อความมั่นคงในการใช้งาน สามารถดำเนินการวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้แนวคิด ผังก้างปลา (Fishbone Diagram: Ishikawa Diagram) เพื่อจำแนกปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบ ดังแสดงผังก้างปลา (Fishbone Diagram: Ishikawa Diagram) รูปที่ 3 ดังนี้



รูปที่ 3 แสดงผังก้างปลา (Fishbone Diagram: Ishikawa Diagram) การวิเคราะห์หาสาเหตุ

1. ด้านวัสดุ (Material)
   - 1.1 วัสดุแผ่นยางมีอายุการใช้งานยาวนานเกินอายุการรับประกัน
   - 1.2 คุณสมบัติยางเสื่อมสภาพจากแรงกดและการใช้งานต่อเนื่อง
   - 1.3 เกิดการแข็งตัว ฉีกขาด หรือเสียรูปจากแรงอัดซ้ำ ๆ
   - 1.4 ไม่มีวัสดุอะไหล่สำรองในระบบพัสดุ

2. ด้านการใช้งาน (Method / Process)
   2.1 ใช้งานหัวหุ่นต่อเนื่องหลายรอบการเรียนการสอน
   2.2 มีการปรับระดับและขันยึดซ้ำบ่อยครั้ง
   2.3 ขาดแนวทางการตรวจสอบสภาพเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)
   2.4 ไม่มีรอบเปลี่ยนอะไหล่ตามแผนระยะเวลา
3. ด้านเครื่องมือ/อุปกรณ์ (Machine)
   3.1 หัวหุ่นเป็นรุ่นเก่า บริษัทผู้ผลิตจำหน่ายอะไหล่เป็นชุด
   3.2 ไม่สามารถสั่งซื้อเฉพาะชิ้นส่วนแผ่นยางได้
   3.3 โครงสร้างฐานรองออกแบบเฉพาะรุ่น (Proprietary Design)
4. ด้านบุคลากร (Man)
   4.1 ผู้ใช้งานหลายกลุ่ม (นักศึกษา/อาจารย์)
   4.2 ความแตกต่างของแรงกดและการปรับตั้ง
   4.3 ขาดการให้คำแนะนำเรื่องการดูแลอุปกรณ์อย่างสม่ำเสมอ
5. ด้านสิ่งแวดล้อม (Environment)
   5.1 สภาพอุณหภูมิและความชื้นในห้องปฏิบัติการ
   5.2 การทำความสะอาดด้วยน้ำยาที่อาจมีผลต่อสภาพยาง
   5.3 การใช้งานในกิจกรรมประชุมวิชาการนานาชาติอย่างต่อเนื่อง เช่น Mahidol International Endodontic Symposium

4.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

ศึกษาและทดลองกลุ่มตัวอย่างแผ่นยางในการยึดฐานแบบจำลองฟันใช้ทดแทนดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการทดสอบกลุ่มตัวอย่างแผ่นยางในการยึดฐานแบบจำลองฟันใช้ทดแทน

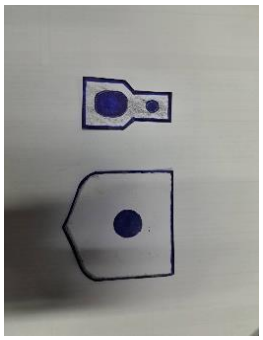
แผ่นยางปะเก็น	การยึดฐานแบบจำลองฟัน		ผลการทดสอบ
	ยึดได้	ยึดไม่ได้	
ความหนา 2 มม.		/	ปรับแบบจำลองฟันไม่ได้
ความหนา 4 มม.	/		ใช้งานสะดวก
ความหนา 6 มม.		/	ปรับแบบจำลองฟันไม่ได้

จาการทดสอบกลุ่มตัวอย่างพบว่าแผ่นยางปะเก็นที่สามารถนำมาใช้งานทดแทนของเดิมที่ชำรุด เสื่อมสภาพ คือแผ่นยางปะเก็นที่มีความหนา 4 มิลลิเมตร

4.3 ขั้นตอนการดำเนินการติดตั้ง

4.3.1 วัดขนาดแผ่นยางและวาดแบบลงกระดาษตามระยะดังแสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5

รูปที่ 4 แสดงการวัดขนาดแผ่นยาง



รูปที่ 5 แสดงการวาดลงกระดาษตามระยะจริง

4.3.2 นำแผ่นยางปะเก็นมาตัดตามแบบและประกอบแผ่นยางดังแสดงในรูปที่ 6 และรูปที่ 7

รูปที่ 6 แสดงแผ่นยางปะเก็นที่ตัดตามแบบ

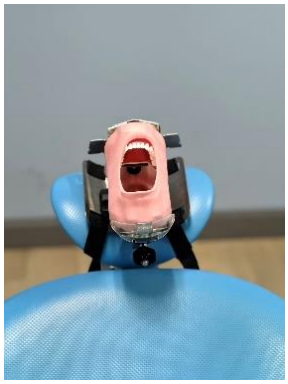
รูปที่ 7 แสดงแผ่นยางปะเก็นประกอบยึดโครงหัวหุ่น

4.3.3 ประกอบแผ่นยางเข้ากับชุดหัวหุ่นแบบจำลองฟันดังแสดงในรูปที่ 8 และรูปที่ 9

รูปที่ 8 แสดงยึดแผ่นยางปะเก็นเข้ากับชุดหัวหุ่น

รูปที่ 9 แสดงประกอบยึดชุดหัวหุ่นกับยูนิตทันตกรรม

4.3.4 การทดลองใช้งานชุดหัวหุ่นแบบจำลองฟันดังแสดงในรูปที่ 10 และรูปที่ 11



รูปที่ 10 แสดงการประกอบชุดหัวหุ่น

รูปที่ 11 แสดงการทดลองใช้งานชุดหัวหุ่นจำลอง

4.4 ผลการทดสอบการใช้งาน

การประเมินผลการใช้งานแผ่นปะเก็นยางทดแทน ดำเนินการในลักษณะ การวิจัยเชิงประเมิน (Evaluation Study) ภายหลังการติดตั้งและทดลองใช้งานจริงในห้องปฏิบัติการฝึกทักษะทางคลินิก โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

4.4.1 กลุ่มตัวอย่าง: นักศึกษาหลังปริญญาชั้นปีที่ 1 และผู้สอนที่ใช้งานหัวหุ่นฝึกปฏิบัติ

4.4.2 เครื่องมือประเมิน: แบบสอบถามความพึงพอใจมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scale)

5 = มากที่สุด

4 = มาก

3 = ปานกลาง

2 = น้อย

1 = น้อยที่สุด

ตารางที่ 2 แสดงการการประเมินผลการใช้งานแผ่นปะเก็นยาง

ลำดับ	รายละเอียด	ค่าเฉลี่ย (คะแนนเต็ม 5)	ร้อยละความพึงพอใจ	หมายเหตุ
1.	ความสะดวกในการใช้งาน	4.60	ร้อยละ 92	
2.	ความเหมาะสมของขนาดรูปร่าง	4.55	ร้อยละ 91	
3.	การรองรับแรงกดของแผ่นยาง	4.65	ร้อยละ 93	
4.	การปรับตั้งใช้งาน	4.58	ร้อยละ 91.6	
5.	ไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงาน	4.70	ร้อยละ 94	
	ค่าเฉลี่ย	4.62	ร้อยละ 92.4	

5. ผลการการศึกษาและอภิปรายผล

การศึกษาการใช้แผ่นปะเก็นยางทดแทนแผ่นยางรองแบบจำลองฟันบริเวณฐานหัวหุ่นฝึกปฏิบัติ พบว่าวัสดุทดแทนสามารถติดตั้งได้อย่างเหมาะสม มีความแน่นหนา และสามารถรองรับแรงกดจากการปรับตั้งหัวหุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่เกิดการ

เคลื่อนตัวระหว่างการใช้งานจริงในการฝึกปฏิบัติร่วมกับกล้องจุลทรรศน์ทางทันตกรรม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อความแม่นยำของหัตถการทางเอ็นโดดอนต์ [4] ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งประกอบด้วยนักศึกษาหลังปริญญาและผู้สอน พบว่าทุกตัวชี้วัดมีระดับความพึงพอใจมากกว่าร้อยละ 90 โดยเฉพาะไม่ส่งผลกระทบต่อการทำหัตถการและการรองรับแรงกดของแผ่นยางซึ่งได้รับคะแนนสูงสุด สะท้อนถึงความมั่นคงและประสิทธิภาพของวัสดุทดแทนในการใช้งานจริง และสอดคล้องกับแนวทางการใช้สื่อจำลองในการพัฒนาทักษะทางคลินิกที่เน้นความเสถียรของอุปกรณ์ [4,5] ในด้านการบริหารงบประมาณ พบว่าวิธีการดัดแปลงดังกล่าวใช้งบประมาณรวมทั้งสิ้น 2,800 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดซื้ออะไหล่จากบริษัทผู้จำหน่ายในราคาทั้งสิ้น 196,000 บาท สามารถประหยัดงบประมาณได้ 193,200 บาท คิดเป็นร้อยละ 98.57 และมีอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (Return on Investment: ROI) ในระดับสูง สะท้อนถึงความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์และสอดคล้องกับแนวทางการบริหารงบประมาณภาครัฐที่มุ่งเน้นประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในการใช้ทรัพยากร [2]

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้วัสดุทดแทนที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับวัสดุต้นแบบสามารถแก้ไขปัญหาเชิงเทคนิคได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อมาตรฐานการเรียนการสอน ทั้งยังช่วยลดต้นทุนได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและแนวทางการควบคุมค่าใช้จ่ายภาครัฐ [2] รวมถึงการประกันคุณภาพการศึกษาในระดับอุดมศึกษาที่มุ่งเน้นประสิทธิผลของกระบวนการเรียนรู้ [3] ในมิติด้านคุณภาพการศึกษา ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มากกว่าร้อยละ 90 สะท้อนว่าการปรับเปลี่ยนวัสดุทดแทนดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อการเรียนของนักศึกษาและสามารถรองรับการจัดการเรียนการสอนได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ส่งผลกระทบ ซึ่งมีความสำคัญต่อการพัฒนาทักษะทางคลินิกในสภาพแวดล้อมจำลอง [4,5] ในมิติด้านเศรษฐศาสตร์และการบริหารงบประมาณแนวทางนี้ถือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ (Efficiency Improvement) โดยลดต้นทุน (Cost Reduction) ผลลัพธ์ (Outcome) ของการเรียนการสอน ซึ่งเป็นหลักการสำคัญของการบริหารทรัพยากรที่จำกัด[2] ซึ่งการศึกษานี้ควรมีการติดตามผลในระยะยาวเพื่อประเมินความทนทานของวัสดุ รวมถึงกำหนดมาตรฐานคุณสมบัติของแผ่นปะเก็นยางที่ใช้งาน เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ซ้ำได้ ดังนั้น การใช้แผ่นปะเก็นยางทดแทนแผ่นรองแบบจำลองฟันในหัวหุ่นฝึกปฏิบัติ สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านเทคนิค คุณภาพการศึกษาและการบริหารงบประมาณ อีกทั้งยังสะท้อนถึงการพัฒนาองค์ความรู้จากงานประจำสู่นวัตกรรม (Routine to Research: R2R) [2,3] และสามารถต่อยอดเป็นต้นแบบการบริหารจัดการทรัพยากรในหน่วยงานการศึกษาทางทันตกรรมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมบัญชีกลาง. (2560). พระราชบัญญัติการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ. 2560. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงการคลัง.

[2] สำนักงบประมาณ. (2565). แนวทางการบริหารงบประมาณรายจ่ายประจำปีและการควบคุมค่าใช้จ่ายภาครัฐ. กรุงเทพมหานคร: สำนักงบประมาณ.

[3] สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา. (2561). แนวทางการประกันคุณภาพการศึกษาภายในระดับอุดมศึกษา. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม.

[4] Authors. Evaluation of dental students' tooth preparation skills using conventional phantom labs versus advanced simulation technologies. BMC Med Educ. 2025;25:1365.

[5] Rodanant P, Patarakulwiwat P. Importance of patient's position during oral prophylaxis: A simulated study in phantom head. Mahidol Dent J. 2018;38(1):39-44.

การศึกษาแนวทางการขนส่งที่ยั่งยืนสำหรับผู้เดินทาง กรณีโครงการมหาวิทยาลัยสีเขียวของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ตระการ พรมสำลี*, ทัศนีย์ เจียรพสุอนันต์, และ ณฐพล ทองปลิว

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ตำบลเมืองศรีไค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

**Corresponding author: trakan.promsumlee@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการขนส่งอย่างยั่งยืนในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีโดยการใช้รถขนส่งมวลชนไฟฟ้าที่ให้บริการฟรีภายในมหาวิทยาลัย (Electric Buses) การศึกษาอาศัยทฤษฎีปฏิบัติการ (Social Practice Theory) ในการประเมินความต้องการและความพึงพอใจของผู้เดินทาง การเก็บข้อมูลดำเนินการผ่านการจัดสนทนากลุ่ม (Focus group) 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่สนใจจะเปลี่ยนมาใช้บริการรถไฟฟ้า และ กลุ่มที่ใช้ยานพาหนะส่วนบุคคล (ไม่สนใจจะเปลี่ยนมาใช้บริการรถไฟฟ้า) ผลการศึกษาผู้เดินทางทั้ง 2 กลุ่ม พบว่า ผู้เดินทางส่วนมากเห็นข้อดีของรถขนส่งมวลชนไฟฟ้า และผู้เดินทางบางส่วนมีความสนใจที่จะใช้บริการ โดยประเด็นที่ต้องให้ความสำคัญที่จะช่วยให้ผู้เดินทางสนใจใช้บริการรถไฟฟ้ามากขึ้น ได้แก่ การติดตั้งสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อความปลอดภัยและความสะดวกสบายของผู้โดยสาร การให้ข้อมูลรายละเอียดการเส้นทางที่ให้บริการ การจัดระบบรถเดินรถมีความน่าเชื่อถือและครอบคลุมพื้นที่ มีระยะเวลาและความถี่ในการให้บริการที่เพียงเพียงพอ และการให้บริการต้องมี “ความปลอดภัยบนท้องถนน” “ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม” “การประหยัดค่าใช้จ่าย” “อิสรภาพในการเดินทาง” และ “ความผ่อนคลาย” ในการใช้รถขนส่งมวลชนไฟฟ้าที่ในมหาวิทยาลัยที่ตอบสนองความต้องการของผู้เดินทางจะส่งผลดีในการช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ลดความคับคั่งของการจราจร และการลดอุบัติเหตุ ดังนั้นการพัฒนาโครงการรถขนส่งมวลชนไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการพัฒนาการขนส่งอย่างยั่งยืนภายในมหาวิทยาลัย เพื่อการลดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งหากดำเนินการร่วมกับแนวทางแก้ปัญหาโดยอาศัยธรรมชาติเป็นฐาน (Nature-based Solutions; NbS) จะมีความสอดคล้องกับการพัฒนาเป็นมหาวิทยาลัยคาร์บอนต่ำสีเขียว

คำสำคัญ: ทฤษฎีปฏิบัติการ / จัดสนทนากลุ่ม / มหาวิทยาลัยสีเขียว / การขนส่งอย่างยั่งยืน / ก๊าซเรือนกระจก

Sustainable transport practices of commuters: The green university initiative of Ubon Ratchathani University

Trakan Promsumlee*, Tassanee Jiaphasu-anan, and Natapol Thongplew[1]

Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Thailand

**Corresponding author: trakan.promsumlee@gmail.com*

Abstract

This research aims to study sustainable transportation management approaches in Ubon Ratchathani University (UBU) using free electric buses. The study applies the Social Practice Theory to assess the needs and requirements of commuters. Data was collected through two focus groups: 1) commuters interested in switching to electric buses and 2) commuters using private vehicles (not interested in using electric buses) in 2021. The results from both focus groups showed that most commuters recognized the benefits of electric buses, and some were interested in using them. Key design considerations for electric bus systems to increase the number of commuters include installing safety and comfort amenities, providing detailed route information, establishing a reliable and comprehensive bus network, and ensuring sufficient service frequency and timing. In other words, commuters looked for "road safety," "environmental friendliness," "cost-effectiveness," "freedom of travel," and "relaxation" experiences. Implementing electric buses within the university that meet commuter requirements will contribute to reduced greenhouse gas emissions, decreased traffic congestion, and reduced accidents. Therefore, developing an electric mass transit project within UBU is a suitable approach to developing sustainable transportation within the university to reduce greenhouse gas emissions. When implemented in conjunction with Nature-based Solutions (NbS), it will align with the development of a low-carbon, green university.

Keywords: Social practice theory / Focus group discussion / Green University / Sustainable transportation / Greenhouse gases

ปัจจัยความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนสู่ความเป็นเลิศอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาแผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2568-2572

อนุทธัต สุวรรณลพ

คณะรัฐศาสตร์และรัฐประศาสนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประเทศไทย
**Corresponding author: anuttat.163247@gmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และนำเสนอปัจจัยความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนสู่ความเป็นเลิศอย่างยั่งยืน โดยใช้กรณีศึกษา คือ แผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2568 - 2572 ซึ่งเป็นสภาเด็กและเยาวชนต้นแบบ ประจำปี 2568 ของกรมกิจการเด็กและเยาวชนแห่งเดียวและแห่งแรกในประเทศไทย โดยเป็นการศึกษาค้นคว้าจากเอกสารแผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2568 – 2572 การสำรวจ (Survey Research) และการสัมภาษณ์ (Interview) พบว่า บุคลากรสภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ได้ดำเนินการปฏิบัติตามแผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2568 - 2572 อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากแผนยุทธศาสตร์ดังกล่าวมีวิสัยทัศน์ ตัวชี้วัด และแนวทางการดำเนินงานที่ชัดเจน สามารถดำเนินการได้จริง รวมทั้งมีแผนปฏิบัติการและแผนงานโครงการที่ตอบสนองแผนยุทธศาสตร์เป็นประจำทุกปี นอกจากนี้ แผนยุทธศาสตร์ดังกล่าวมีความยืดหยุ่น และสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามบริบทและสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไป

คำสำคัญ: ปัจจัยความสำเร็จ / งานด้านเด็กและเยาวชน / ความเป็นเลิศ / ความยั่งยืน / สภาเด็กและเยาวชน

Success factors for advancing the children and youth Development System toward Sustainable Excellence: A case study of the strategic plan of children and youth council of Chiang Mai, 2025-2029

Anuttat Suwannalop

Faculty of Political Science and Public Administration, Chiang Mai University, Thailand
**Corresponding author: anuttat.163247@gmail.com*

Abstract

Success Factors for Advancing the Children and Youth Development System toward Sustainable Excellence: A Case Study The Strategic Plan of Children and Youth Council of Chiang Mai aims to analyze and present the success factors for advancing the children and youth development system toward sustainable excellence, which the Strategic Plan of Children and Youth Council of Chiang Mai for the period (2025 - 2029), as a case study. Children and Youth Council of Chiang Mai has been recognized as the first and only model Children and Youth Council in Thailand for the year 2025 by the Department of Children and Youth. The study is based on a review of the Strategic Plan of Children and Youth Council of Chiang Mai, 2025 - 2029 combined with survey research and interviews. The findings reveal that the personnel of Children and Youth Council of Chiang Mai have continuously implemented the strategic plan as intended. This continuity is attributed to the plan's clear vision, well-defined performance indicators, and explicit implementation guidelines that are practical and achievable. In addition, the strategic plan is supported by concrete action plans and annual programs and projects that are consistently aligned with the strategic objectives. Furthermore, the strategic plan demonstrates flexibility and adaptability.

Keywords: Success factors / The Children and Youth Development System / Excellence / Sustainability / Children and youth council

1. บทนำ

สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ [1] เป็นมาตรการส่งเสริมการดำเนินงานเพื่อการพัฒนาเด็กและเยาวชน ตามหมวด 3 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมการพัฒนาเด็กและเยาวชนแห่งชาติ พ.ศ. 2550 และที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2560 โดยมาตรา 29 บัญญัติให้สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดมีอำนาจหน้าที่ประสานงานระหว่างสภาเด็กและเยาวชนแห่งประเทศไทย เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ด้านต่าง ๆ รวมทั้งส่งเสริม สนับสนุน จัดกิจกรรม และเป็นศูนย์กลางการเรียนรู้ด้านวิชาการ การศึกษา สุขภาพ กีฬา อาชีพ และวัฒนธรรมในท้องถิ่นของเด็กและเยาวชน ให้เด็กและเยาวชนได้แสดงความคิดเห็นหรือแสดงออกเฉพาะเรื่องที่มีผลกระทบต่อเด็กและเยาวชน เพื่อนำข้อมูลหรือข้อเสนอแนะส่งต่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมและพัฒนาเด็กและเยาวชน

ตลอดระยะเวลากว่า 15 ปีที่ผ่านมา สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ได้ดำเนินงานต่าง ๆ ที่จำเป็นเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์แห่งพระราชบัญญัติดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง มีผลงานเป็นที่ประจักษ์จนได้รับการยอมรับและยกย่องจากกรมกิจการเด็กและเยาวชนให้เป็น “สภาเด็กและเยาวชนต้นแบบ 1 เดียวของประเทศไทย” เนื่องในโอกาสครบรอบ 40 ปี วันเยาวชนแห่งชาติ ประจำปี 2568 ภายใต้ความท้าทายของการเปลี่ยนผ่านจากรุ่นสู่รุ่น รวมทั้งบริบททางเศรษฐกิจ สังคม และการเมืองที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดกว่า 15 ปี ซึ่งมีความซับซ้อนและมีพลวัตสูง ส่งผลโดยตรงต่อวิถีชีวิตของเด็กและเยาวชน รวมทั้งองค์กรสภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ ที่เป็นกลไกการดำเนินงานด้านเด็กและเยาวชนยังประสบข้อจำกัดบางประการ เช่น เป้าหมายหรือทิศทางเชิงยุทธศาสตร์ บุคลากร หรือความไม่ต่อเนื่องของการดำเนินงานในบางกรณี เป็นต้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่จะต้องปรับตัวเพื่อให้สามารถรับมือต่อบริบทที่เปลี่ยนแปลงไปดังกล่าวได้ ด้วยเหตุนี้ ที่ประชุมคณะบริหารสภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ ครั้งที่ 2/2568 วันที่ 10 พฤษภาคม 2568 จึงมีมติเห็นชอบแผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2568 – 2572 ซึ่งฝ่ายวิชาการและแผนงานได้ดำเนินการจัดทำร่างแผนดังกล่าวมาตั้งแต่ปี 2567 เพื่อให้เป็นเครื่องมือสำคัญในการกำหนดทิศทางการพัฒนาสภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่อย่างเป็นระบบ ชัดเจน และต่อเนื่อง โดยแผนยุทธศาสตร์นี้จะทำหน้าที่เป็นกรอบกำหนดวิสัยทัศน์ เป้าประสงค์ และแนวทางการดำเนินงานที่สอดคล้องกับบริบทพื้นที่และนโยบายระดับชาติ นอกจากนี้ แผนยุทธศาสตร์จะเป็นกลไกสำคัญในการรับมือกับความท้าทายของการเปลี่ยนผ่านจากรุ่นสู่รุ่น ช่วยยกระดับสภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ไปสู่การเป็นองค์กรที่มีความเป็นเลิศในระยะยาว ภายใต้วิสัยทัศน์ คือ “องค์กรที่มุ่งสู่ความเป็นเลิศในการดำเนินงานด้านเด็กและเยาวชนเพื่อสร้างอนาคตที่มีความยั่งยืน”

การบริการสาธารณะแนวใหม่ (New Public Service : NPS) เป็นข้อเสนอเกี่ยวกับพลเมืองและการคืนอำนาจให้ประชาชนโดยเดนฮาร์ดท ได้เสนอกระบวนทัศน์ใหม่ที่เรียกว่า “New Public Service (NPS)” หรือการบริการสาธารณะแนวใหม่ และยังกล่าวถึง “Public Spirit” ที่เน้นการมีส่วนร่วมของประชาชนว่าเป็นเครื่องมือสำคัญในการกระตุ้นจิตวิญญาณสาธารณะ (นฤมล อนุสนธิ์พัฒน์, 2558, อ้างถึงในชวนากร อัศวพิชยนต, 2567) [2]

จากแนวคิดดังกล่าว Denhardt (2008) ได้เสนอหลักการบริการสาธารณะแนวใหม่ (NPS) โดยมีสาระสำคัญ 7 ประเด็น ดังต่อไปนี้ (พิมพ์กมล เกษแก้ว, 2563, อ้างถึงในชวนากร อัศวพิชยนต, 2567) [3]

1. บริการรับใช้พลเมืองและมองพลเมืองไม่ใช่ลูกค้า (Serve Citizens, Not Customers) เป็นการมองว่าความสัมพันธ์ระหว่างรัฐบาลกับพลเมืองแตกต่างจากความสัมพันธ์ระหว่างผู้ประกอบการและลูกค้าโดยสิ้นเชิง เนื่องจากรัฐบาลไม่เพียงแค่รับใช้ผู้ที่มาขอรับบริการเท่านั้น แต่ยังต้องบริการเพื่อรับใช้พลเมืองอื่น ๆ ในสังคมที่รอคอยการบริการหรืออาจจะไม่ได้รับบริการโดยตรง แต่รัฐบาลต้องให้บริการและกระทำด้วยความเสมอภาคเท่าเทียมกันในฐานะที่เป็นพลเมืองด้วยกัน

2. การค้นหาผลประโยชน์สาธารณะ (Seek the Public Interest) เป้าหมายของการค้นหาประโยชน์สาธารณะไม่ใช่เพื่อตอบสนองต่อบุคคลใดบุคคลหนึ่ง แต่ต้องอาศัยหลักความรับผิดชอบร่วมกันระหว่างพลเมืองกับรัฐบาลในการแก้ปัญหาสังคมที่

เกิดขึ้นร่วมกัน โดยยึดถือผลประโยชน์สาธารณะเป็นหลัก มีหลักประชาธิปไตยเป็นบรรทัดฐาน ควบคู่ไปกับความเสมอภาคและความเท่าเทียม

3. เน้นคุณค่าความเป็นพลเมืองมากกว่าการเป็นผู้ประกอบการ (Value Citizenship Over Entrepreneurship) มองว่าผลประโยชน์สาธารณะคือสิ่งที่มีคุณค่ามากที่สุด ซึ่งข้าราชการและพลเมืองต้องร่วมกันกำหนดสิ่งที่เกิดประโยชน์แก่สังคมมากกว่าการนำงบประมาณของรัฐหรือพลเมืองผู้เป็นเจ้าของไปให้ผู้ประกอบการดำเนินการเสมือนเป็นเจ้าของงบประมาณ บทบาทของภาครัฐจะทำหน้าที่บริการประชาชน

4. คิดเชิงกลยุทธ์และปฏิบัติตามหลักประชาธิปไตย (Think Strategically, Act Democratically) นโยบายและแผนงานจะต้องใช้หลักคิดเชิงกลยุทธ์ที่มีการพิจารณาถึงปัจจัยสภาพแวดล้อม และมีวิสัยทัศน์พันธกิจที่รวมไปถึงการกำหนดบทบาทความรับผิดชอบและขั้นตอนการปฏิบัติงานให้ชัดเจนซึ่งนโยบายหรือแผนงานที่จะบรรลุความสำเร็จและตอบสนองความต้องการได้นั้นจะต้องเกิดจากกระบวนการความร่วมมือร่วมใจและการมีส่วนร่วมของนักบริหารรัฐกิจและพลเมืองทั้งในการบริการสาธารณะและการนำนโยบายไปปฏิบัติซึ่งจะทำให้พลเมืองเกิดความภูมิใจในการมีส่วนร่วมเพื่อประโยชน์สาธารณะ

5. การตระหนักในความรับผิดชอบได้ไม่ใช่เรื่องง่าย (Recognize That Accountability Is Not Simple) การบริการสาธารณะรัฐบาลควรให้ความสนใจมากกว่าการใช้กลไกตลาด คือต้องสนใจสถานภาพที่เป็นอยู่ (Statutory) รัฐธรรมนูญ ค่านิยมของชุมชน ปทัสถานของการทางเมือง มาตรฐานความเป็นมืออาชีพและผลประโยชน์ของประชาชนการบริการสาธารณะแนวใหม่มองว่าปัญหาสังคมมีความซับซ้อน จึงเสนอทางออกให้รัฐด้วยการสร้างช่องทางในการตัดสินใจร่วมกับประชาชน รัฐบาลไม่ใช่ผู้ที่จะทำการตัดสินใจเพียงฝ่ายเดียว แต่ควรเปิดกว้าง โปร่งใสและสามารถตรวจสอบได้

6. การให้บริการมากกว่าการกำกับทิศทาง (Serve Rather Than Steering) กล่าวคือ หน้าที่สำคัญของข้าราชการ คือการมีภาวะผู้นำในการสร้างผลประโยชน์ร่วมกันของพลเมืองมากกว่าการพยายามที่จะควบคุมหรือเป็นผู้กำกับทิศทางสังคมให้เป็นไปตามที่รัฐบาลต้องการ ดังนั้นการตัดสินใจดำเนินการใด ๆ ก็ตามจะต้องมีการพูดคุยสนทนาผลประโยชน์สาธารณะร่วมกัน ข้าราชการต้องคอยสนับสนุนอำนวยความสะดวกด้านต่าง ๆ และช่วยแก้ปัญหา

7. การให้คุณค่ากับคน ไม่ใช่แค่ผลิตผล (Value People, Not Just Productivity) องค์การภาครัฐและเครือข่ายต้องเน้นการมีส่วนร่วมและคำนึงถึงผลสำเร็จในระยะยาว การปฏิบัติงานภาครัฐจะสำเร็จได้ก็ต่อเมื่อได้รับความร่วมแรงร่วมใจและการให้ความสำคัญกับทุกคน การบริการสาธารณะแนวใหม่ให้ความสำคัญกับการจัดการผ่านคน ผู้บริหารภาครัฐต้องเห็นความสำคัญของค่านิยมและผลประโยชน์ของคนในองค์การ นอกจากนี้ การปฏิบัติงานต้องทำให้เกิดการยอมรับจากพลเมืองและผู้บริหารภาครัฐก็ต้องยอมรับในความสามารถของข้าราชการเช่นเดียวกัน การบริหารและการปฏิบัติงานต้องเน้นคนด้วยการเสริมสร้างแรงจูงใจให้เกิดขึ้นแก่ข้าราชการมากกว่าการสร้างผลิตภาพในการทำงาน

ศิริพงษ์ ลดาวัลย์ ณ อยุธยา (2548) กล่าวว่า การบริการสาธารณะแนวใหม่ (New Public Service : NPS) เป็นชุดความคิดทางรัฐประศาสนศาสตร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเป็นทางเลือกใหม่สำหรับใช้ในวงการบริหารภาครัฐ ซึ่งเน้นบทบาทของรัฐในฐานะผู้ให้บริการ ให้ความสำคัญกับการจัดบริการสาธารณะ การปกครองและการบริหารประเทศ ภายใต้ค่านิยมประชาธิปไตย (Value of Democracy) การสร้างคุณค่าของความเป็นพลเมือง (Value of Citizenship) การสร้างความผูกพันของพลเมือง และผลประโยชน์สาธารณะ (Public Insert) [4]

สำหรับการบริการสาธารณะมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาถึงการนำหลักแนวคิดของการจัดการภาครัฐแนวใหม่ (New Public Management) ซึ่งเป็นพื้นฐานแนวคิดสำคัญของการบริหารงานบริการสาธารณะ ต้องประกอบด้วยหลัก 4 ประการ คือ 1. การสร้างให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการบริหาร (Relevant) 2. การสร้างความเสมอภาคในสังคม (Social Quilty) 3. การจัดสรรค่านิยมในสังคม (Value) 4. การพัฒนาสร้างให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (Change) ทั้งนี้ การบริการสาธารณะขององค์กรภาครัฐจะสามารถดำเนินการตามภาระหน้าที่ได้ครอบคลุมจะต้องประกอบไปด้วยหลักการดังกล่าว การพัฒนาด้านการ

บริการสาธารณะต้องยึดหลักของการบริหารในหลายมิติเข้ามาร่วมและมีการจับศาสตร์การบริหารของภาคประชาชนและชุมชน (Private Sector) เข้ามาขับเคลื่อนงานบริการสาธารณะ ในมุมมองของการจัดการภาครัฐแนวใหม่ซึ่งถือว่าเป็นกุญแจสำคัญที่จะเข้ามาช่วยในการจัดการงานขององค์กรภาครัฐเพื่อให้เกิดประโยชน์และประสิทธิภาพในด้านงานบริการสาธารณะ (Preston and Post, 2013 อ้างถึงในอ้างถึงในชวนากร อัศวพิชยนต, 2567)

จากการศึกษาแนวคิดการบริการสาธารณะแนวใหม่ (New Public Service : NPS) จึงสามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังต่อไปนี้

1. การให้ความสำคัญกับคุณค่าของความเป็นพลเมืองแห่งรัฐ โดยมองความสัมพันธ์ระหว่างรัฐบาลกับพลเมืองแตกต่างจากความสัมพันธ์ระหว่างผู้ประกอบการและลูกค้า เน้นการสร้างความรู้สึกเป็นเจ้าของร่วมระหว่างรัฐกับพลเมือง และมองผลลัพธ์เกี่ยวกับการบริการและรับใช้พลเมืองมากกว่าการมองเฉพาะผลผลิตเพียงอย่างเดียว

2. การดำเนินการใด ๆ เช่น การคิดวิเคราะห์ การตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ เป็นต้น ต้องมุ่งเน้นเพื่อประโยชน์สาธารณะเป็นสำคัญ โดยยึดหลักการพื้นฐานของประชาธิปไตยและหลักธรรมาภิบาล เปิดโอกาสให้พลเมืองมีส่วนร่วมกับรัฐ โปร่งใส ตรวจสอบได้ มีความเสมอภาค และรับผิดชอบร่วมกัน

ดังนั้น หากพิจารณาอำนาจหน้าที่ของสภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมการพัฒนาเด็กและเยาวชนแห่งชาติ พ.ศ. 2550 และที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2560 จะเห็นถึงความสอดคล้องกันในเชิงหลักการอย่างชัดเจน แม้สภาเด็กและเยาวชนจะไม่ใช่หน่วยงานราชการในความหมายดั้งเดิม แต่เป็นมาตรการของรัฐตามที่กฎหมายบัญญัติไว้ ซึ่งเชื่อมโยงกับเด็กและเยาวชน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รวมทั้งภาคส่วนอื่นที่เกี่ยวข้อง สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่จึงได้ดำเนินการจัดทำแผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ (พ.ศ. 2568 - 2572) ที่สอดคล้องกับแนวคิดการบริการสาธารณะแนวใหม่ (New Public Service : NPS) โดยเฉพาะการคิดเชิงกลยุทธ์และปฏิบัติตามหลักประชาธิปไตย (Think Strategically, Act Democratically) ซึ่งการทำแผนยุทธศาสตร์ได้คำนึงถึงปัจจัยสภาพแวดล้อม และมีวิสัยทัศน์พันธกิจที่รวมไปถึงการกำหนดบทบาทความรับผิดชอบและขั้นตอนการปฏิบัติงานอย่างชัดเจน เพื่อทำให้แผนยุทธศาสตร์นี้บรรลุความสำเร็จและตอบสนองความต้องการของเด็กและเยาวชนด้วยกระบวนการความร่วมมือร่วมใจและการมีส่วนร่วมของนักบริหารรัฐกิจและพลเมืองทั้งในการบริการสาธารณะและการนำนโยบายทำให้พลเมืองเกิดความภูมิใจในการมีส่วนร่วมเพื่อประโยชน์สาธารณะ นอกจากนี้ แผนยุทธศาสตร์นี้ยังมีความสอดคล้องกับกฎหมาย ระเบียบ นโยบายรัฐบาล และมติคณะรัฐมนตรีที่เกี่ยวข้อง โดยสามารถอธิบายความเชื่อมโยงได้ ดังต่อไปนี้

1. ยุทธศาสตรความเป็นเลิศด้านความยั่งยืน (Sustainability Organizations) เป้าประสงค์ คือ สภาเด็กและเยาวชนทุกระดับมีความเข้มแข็งและดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่องจนเกิดความยั่งยืน สามารถประสานและบูรณาการความร่วมมือในการสนับสนุน ส่งเสริม และมีส่วนร่วมในการพัฒนาเด็กและเยาวชนกับหน่วยงานระดับพื้นที่ของสภาเด็กและเยาวชนแต่ละระดับ ยุทธศาสตร์นี้เป็นการอาศัยหลักความรับผิดชอบร่วมกันและการมีส่วนร่วมระหว่างบ้านพักเด็กและครอบครัวจังหวัด ในฐานะหน่วยงานรับผิดชอบสภาเด็กและเยาวชนจังหวัด กับอำเภอ ในฐานะหน่วยงานรับผิดชอบสภาเด็กและเยาวชนอำเภอ และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในฐานะหน่วยงานรับผิดชอบสภาเด็กและเยาวชนตำบลหรือเทศบาลแล้วแต่กรณี รวมทั้งหน่วยงานภาคีเครือข่ายภาคส่วนอื่นเพื่อประสานความร่วมมือในการจัดตั้งสภาเด็กและเยาวชนแต่ละระดับและดำเนินงานด้านเด็กและเยาวชนร่วมกันอันจะนำไปสู่ความเข้มแข็งของสภาเด็กและเยาวชนแต่ละพื้นที่และเกิดผลสำเร็จในระยะยาวด้วยความร่วมมือจากเด็กและเยาวชน บุคลากรขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และประชาชนในพื้นที่ รวมทั้งเชื่อมโยงเครือข่ายจากทุกภาคส่วนนอกพื้นที่เพื่อมาร่วมกันดำเนินงานให้บรรลุผลสำเร็จโดยมุ่งผลประโยชน์ของเด็กและเยาวชนเป็นสำคัญ

2. ยุทธศาสตร์ความเป็นเลิศด้านบุคลากร (Human Resource Development) เป้าประสงค์ คือ บุคลากรของสภาเด็กและเยาวชนมีสมรรถนะที่เหมาะสมและมีขีดความสามารถสูง สามารถปฏิบัติหน้าที่ในฐานะแกนนำเด็กและเยาวชนในระดับพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมค่านิยมและวัฒนธรรมองค์กรที่สร้างสรรค์ ยุทธศาสตร์นี้เป็นการเห็นความสำคัญของค่านิยมและผลประโยชน์ของคนในองค์กร โดยมุ่งเน้นการพัฒนาบุคลากรให้มีความเป็นผู้นำและมีศักยภาพที่จะเป็นผู้อำนวยการ แก้ไขปัญหา ให้บริการ สนับสนุน รวมทั้งสามารถตอบสนองความต้องการของเด็กและเยาวชนในฐานะผู้รับบริการได้ โดยจะต้องร่วมกับทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง เช่น เด็กและเยาวชน ภาคประชาสังคม ภาคเอกชน เป็นต้น ร่วมกันกำหนดสิ่งที่เป็นประโยชน์และแก้ไขปัญหาหรือพัฒนาเด็กและเยาวชน จนทำให้เกิดการยอมรับและเป็นที่ไว้วางใจในการดำเนินงานจากทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง

3. ยุทธศาสตร์ความเป็นเลิศด้านหลักสูตรการเรียนรู้ (Advance Development) เป้าประสงค์ คือ หลักสูตรการเรียนรู้ของเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่มีความเป็นเลิศ เชื่อมโยงกับบริบทพื้นที่และการเปลี่ยนแปลงไปของโลก รวมทั้งเด็กและเยาวชนสามารถเป็นผู้นำการจัดกิจกรรมเพื่อพัฒนาเด็กและเยาวชน และท้องถิ่นชุมชนของตนเอง ยุทธศาสตร์นี้แสดงให้เห็นถึงการให้คุณค่าความเป็นพลเมืองอย่างชัดเจน นั่นคือ การจัดทำหลักสูตรที่ตอบโจทย์ความต้องการหรือสามารถใช้แก้ไขปัญหาหรือพัฒนาเด็กและเยาวชนได้จริง โดยเปิดโอกาสให้เด็กและเยาวชนมีส่วนร่วมกำหนดและจัดทำหลักสูตรในการพัฒนาตนเองร่วมกับสภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ด้วย ดังนั้น จึงไม่ได้เป็นการมองเด็กและเยาวชนเป็นเพียงผู้รับบริการจากสภาเด็กและเยาวชนเท่านั้น หากแต่มองว่าเป็นพลเมืองที่มีบทบาทในการกำหนดและขับเคลื่อนกิจกรรมสาธารณะในอนาคต ซึ่งสอดคล้องกับหลักการพัฒนาสร้างให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (Change) และการมีส่วนร่วมบนพื้นฐานของประชาธิปไตย

4. ยุทธศาสตร์ความเป็นเลิศด้านระบบบริหาร (Reliability in Management) เป้าประสงค์ คือ ระบบบริหารจัดการและกลไกดำเนินงานเชิงโครงสร้างของสภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ มีประสิทธิภาพ รวมทั้งมีความเข้มแข็งและยั่งยืน โดยเชื่อมโยงกับเทคโนโลยีกับการบริหารและกระบวนการมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่ายและหน่วยงานด้านเด็กและเยาวชนในระดับพื้นที่ ยุทธศาสตร์นี้มุ่งสร้างกลยุทธ์ให้ระบบบริหารองค์กรมีธรรมาภิบาล ได้มาตรฐาน และเป็นมืออาชีพ กำหนดโครงสร้างและเป้าหมายขององค์กรที่มีความชัดเจนทุกระดับ เพื่อตอบสนองความต้องการของทุกภาคส่วนและมุ่งสู่ความสำเร็จด้วยความร่วมมือร่วมใจของทุกภาคส่วน เปิดโอกาสให้เด็กและเยาวชนเข้ามาร่วมกำหนดและดำเนินการปฏิบัติในสิ่งที่เกิดประโยชน์ต่อองค์กรและสังคม สะท้อนถึงการสร้างความรู้สึกภาคภูมิใจ เป็นเจ้าของร่วม และความรับผิดชอบต่อผลประโยชน์สาธารณะร่วมกัน ซึ่งสอดคล้องกับหลักการสร้างให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการบริหาร (Relevant)

5. ความเป็นเลิศด้านสมรรถนะองค์กร (Performance-Based Organization) เป้าประสงค์ คือ สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่สามารถปรับตัวและพัฒนาเท่าทันต่อกระแสโลกาภิวัตน์สามารถบรรลุเป้าหมายเชิงกลยุทธ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้ระบบบริหาร องค์ความรู้พื้นฐานทางวิชาการ วัฒนธรรมองค์กรที่เข้มแข็ง และบุคลากรที่มีสมรรถนะสูง ยุทธศาสตร์นี้แสดงให้เห็นว่าความสำเร็จขององค์กรไม่ได้วัดและประเมินผลจากประสิทธิภาพเชิงปริมาณเพียงอย่างเดียว หากแต่ยังคงวัดและประเมินผลจากความสามารถในการสร้างคุณค่าสาธารณะ ประโยชน์สาธารณะ ความโปร่งใส และการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียจากการดำเนินการของสภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ด้วย ดังนั้น การคิดเชิงกลยุทธ์ภายใต้หลักประชาธิปไตยจึงเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาองค์กรตามยุทธศาสตร์นี้

จากตารางที่ 1 พบว่า ยุทธศาสตร์แต่ละด้านมีความเชื่อมโยงกับแนวคิดการบริการสาธารณะแนวใหม่หลายประการ โดยเฉพาะการค้นหาประโยชน์สาธารณะ (Seek the Public Interest) และการให้คุณค่ากับประชาชน (Value People) ซึ่งปรากฏในหลายยุทธศาสตร์ สะท้อนถึงแนวทางการบริหารที่ยึดประชาชนเป็นศูนย์กลางและมุ่งสร้างความยั่งยืนเชิงสาธารณะ

ตารางที่ 1 แสดงการเชื่อมโยงยุทธศาสตร์ของสภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่กับหลักการบริการสาธารณะแนวใหม่ (New Public Service: NPS)

ยุทธศาสตร์ความเป็นเลิศ/หลักการของ NPS	Serve Citizens, Not Customers	Seek the Public Interest	Value Citizenship Over Entrepreneurship	Think Strategically, Act Democratically	Recognize That Accountability Is Not Simple	Serve Rather Than Steering	Value People, Not Just Productivity
ยุทธศาสตรความเป็นเลิศด้านความยั่งยืน	√	√		√	√		
ยุทธศาสตร์ความเป็นเลิศด้านบุคลากร	√	√	√				√
ยุทธศาสตร์ความเป็นเลิศด้านหลักสูตรการเรียนรู้			√			√	√
ยุทธศาสตร์ความเป็นเลิศด้านระบบบริหาร		√		√	√		√
ยุทธศาสตร์ความเป็นเลิศด้านสมรรถนะองค์กร	√	√		√		√	√

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาแผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2568 - 2572
2. เพื่อวิเคราะห์และนำเสนอปัจจัยความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนสู่ความเป็นเลิศอย่างยั่งยืนที่เกิดจากแผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2568 - 2572

3. ขอบเขตของการศึกษา

บทความนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนสู่ความเป็นเลิศอย่างยั่งยืน ใช้กรณีศึกษาแผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2568 - 2572 โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. แนวคิดการบริการสาธารณะแนวใหม่ (New Public Service : NPS)
2. แผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2568 - 2572 ที่สอดคล้องกับแนวคิดการบริการสาธารณะแนวใหม่ (New Public Service : NPS)
3. ปัจจัยความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนสู่ความเป็นเลิศอย่างยั่งยืน

4. วิธีการศึกษา

บทความนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์เนื้อหาเชิงคุณภาพ (Content Analysis) โดยศึกษาค้นคว้าจากเอกสารแผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2568 - 2572 การสำรวจ (Survey Research) การสัมภาษณ์ (Interview) และวิเคราะห์ปัจจัยความความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนสู่ความเป็นเลิศอย่างยั่งยืน โดยศึกษาค้นคว้าและวิเคราะห์ตามลำดับดังต่อไปนี้

1. แผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2568 - 2572 ที่สอดคล้องกับแนวคิดการบริการสาธารณะแนวใหม่ (New Public Service : NPS)
2. การสำรวจปัจจัยความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนสู่ความเป็นเลิศอย่างยั่งยืนด้วยการสนทนากลุ่ม (Focus Group Discussion) จำนวน 5 กลุ่ม กลุ่มละ 8 คน ประกอบด้วย ผู้บริหารสภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ 2 กลุ่ม และคณะทำงานสภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ 3 กลุ่ม
3. การสัมภาษณ์ผู้บริหารและบุคลากรของสภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่เกี่ยวกับปัจจัยความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนสู่ความเป็นเลิศอย่างยั่งยืน ด้วยการสุ่มตัวอย่างแบบโควตา จำนวน 5 กลุ่ม กลุ่มละ 2 คน

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การศึกษาแผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2568 - 2572 ส่งผลทำให้ทราบว่าแผนยุทธศาสตร์นี้มีความสอดคล้องกับแนวคิดการบริการสาธารณะแนวใหม่อย่างมีนัยสำคัญ ตั้งแต่กระบวนการวางแผนที่สะท้อนหลักการคิดเชิงกลยุทธ์และปฏิบัติตามหลักประชาธิปไตย (Think Strategically, Act Democratically) และในสาระสำคัญของยุทธศาสตร์ความเป็นเลิศและเป้าประสงค์ ยังมุ่งเน้นประโยชน์สาธารณะมากกว่าการมุ่งเน้นประสิทธิภาพหรือความคุ้มค่าเชิงงบประมาณเพียงอย่างเดียว ซึ่งสะท้อนหลักการค้นหาประโยชน์สาธารณะ (Seek the Public Interest) อย่างเป็นรูปธรรม อีกทั้งยังมีการกำหนดกลไกติดตามและประเมินผล ตลอดจนความรับผิดชอบต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย สอดคล้องกับหลักการตระหนักในความรับผิดชอบมาใช่เรื่องง่าย (Recognize That Accountability Is Not Simple) โดยมองความรับผิดชอบในมิติที่ซับซ้อนและเชื่อมโยงหลายฝ่าย นอกจากนี้แผนยุทธศาสตร์ยังให้ความสำคัญกับคุณค่าของความเป็นพลเมืองแห่งรัฐ โดยยึดหลักการพื้นฐานของประชาธิปไตยและหลักธรรมาภิบาล ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าแผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2568 – 2572 สอดคล้องกับการบริหารภาครัฐสมัยใหม่ที่เน้นคุณค่าสาธารณะ การมีส่วนร่วม และความเป็นพลเมืองมากกว่าการบริหารเชิงกลไกตามทฤษฎีทางรัฐประศาสนศาสตร์แบบเดิม

นับตั้งแต่ที่ประชุมคณะบริหารสภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ ครั้งที่ 2/2568 วันที่ 10 พฤษภาคม 2568 เห็นชอบและประกาศใช้แผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ จึงได้ดำเนินการสัมภาษณ์และการสำรวจปัจจัยความสำเร็จภายหลังการนำแผนยุทธศาสตร์ไปสู่การปฏิบัติ และสามารถสรุปปัจจัยความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนสู่ความเป็นเลิศอย่างยั่งยืนได้ตามตารางที่ 2 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2 แสดงสรุปประเด็นปัจจัยความสำเร็จจากการสำรวจและสัมภาษณ์ด้วยการสนทนากลุ่ม (Focus Group Discussion)

ลำดับ	ประเด็นหลัก	รายละเอียดที่สามารถสังเคราะห์ได้	ความถี่
1	ระบบบริหารจัดการ	- ประสานแผนฯ ร่วมกับทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องอย่างต่อเนื่องและชัดเจน - กำหนดระยะเวลาการบรรลุเป้าหมายของแผนฯ อย่างเหมาะสม - บริหารเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยจัดทำปฏิทินงานประจำปี - ตัวชี้วัดและระบบการตรวจสอบ ติดตาม และประเมินผลที่มีประสิทธิภาพ	สูง
2	การดำเนินงาน	- ได้รับการจัดสรรอุดหนุนงบประมาณประจำปีจากกรมกิจการเด็กและเยาวชน กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์เป็นประจำทุกปี - ได้รับการสนับสนุนงบประมาณ องค์ความรู้ เครื่องมือ รวมทั้งวัสดุและอุปกรณ์จากหน่วยงานภาคีเครือข่าย - ดำเนินโครงการหรือกิจกรรมอย่างต่อเนื่องสอดคล้องกับข้อมูลสถิติ ตอบโจทย์ความเปลี่ยนแปลงของโลก และสอดคล้องกับความต้องการของเด็กและเยาวชน - ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดเก็บข้อมูลและดำเนินงานมีความพร้อมและเครื่องมืออำนวยความสะดวกครบถ้วน	ปานกลาง - สูง

ตารางที่ 2 แสดงสรุปประเด็นปัจจัยความสำเร็จจากการสำรวจและสัมภาษณ์ด้วยการสนทนากลุ่ม (Focus Group Discussion) (ต่อ)

ลำดับ	ประเด็นหลัก	รายละเอียดที่สามารถสังเคราะห์ได้	ความถี่
		- สถานที่จัดดำเนินงาน ระยะเวลา และกลุ่มเป้าหมายเอื้ออำนวยต่อการดำเนินงาน - สร้างความร่วมมือกับหน่วยงานภาคีเครือข่ายใหม่อยู่เสมอ	
3	การมีส่วนร่วม	- การส่วนร่วมทุกกระบวนการบริหารแผนฯ ของบุคลากร - สภาเด็กและเยาวชนทุกระดับ รวมทั้งเครือข่ายเด็กและเยาวชนให้ความร่วมมือและเห็นชอบด้วยกับการดำเนินงานตามแผนฯ - ประสานและบูรณาการความร่วมมือกับหน่วยงานภาคีเครือข่ายเพื่อแลกเปลี่ยนและพัฒนาศักยภาพร่วมกันนำไปสู่การสร้างความเข้มแข็ง	สูง
4	กระบวนการวางแผน	- ประชุมเป็นประจำทุกสัปดาห์เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลการดำเนินงานตามแผนฯ - กำหนดเป้าหมาย (วิสัยทัศน์) ของแผนฯ อย่างชัดเจน เห็นภาพอนาคต - วางแผนอย่างยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพ สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสถาการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปของสังคม - กำหนดและจัดทำแผนปฏิบัติการทุกระยะ (ระยะสั้น ระยะกลาง ระยะยาว) ทำให้เห็นภาพรวมของการดำเนินงานแต่ละปีที่นำไปสู่การบรรลุแผนฯ - มีความสอดคล้องกับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งสอดคล้องกับแผน 3 ระดับ ตามมติของคณะรัฐมนตรี ทำให้การดำเนินงานสอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน	สูง
5	บุคลากร	- สามารถปรับตัวเพื่อทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ดี - มีศักยภาพและสมรรถนะสูง มุ่งมั่นตั้งใจดำเนินงาน และมีทัศนคติที่ดี - รับรู้และเข้าใจเป้าหมายขององค์กรและบทบาทหน้าที่ของตน - มีวินัยและมีความรับผิดชอบต่อหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย - สร้างการเปลี่ยนผ่านจากรุ่นสู่รุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ	ปานกลาง

จากปัจจัยความสำเร็จที่ได้สรุปและนำเสนอไปดังตารางที่ 3 ข้างต้น พบว่า สามารถจัดกลุ่มได้เป็น 4 ด้าน ได้แก่ บุคลากร (Man) งบประมาณ (Money) ทรัพยากรและเครื่องมือ (Material) และการบริหารจัดการ (Management) ซึ่งสอดคล้องกับกรอบทฤษฎี 4M แม้การจัดกลุ่มดังกล่าวไม่ได้กำหนดขึ้นไว้ล่วงหน้า โดยทฤษฎีนี้ จักรกฤษณ์ นรนิติผดุงการ (2541, อ้างถึงในเบญญาภา แกมทอง, 2563) [5] ได้กล่าวถึงระบบการจัดการด้านปัจจัยการบริหารงาน (CHAKRITS 4M : Social Development Component) ไว้ว่านักจัดการไม่ว่าจะปฏิบัติอยู่ในระดับใด จะสามารถนำเอานโยบายและคำสั่งของผู้บังคับบัญชาไปปฏิบัติจัดทำให้เกิดผลสำเร็จได้ ผู้นั้นจำเป็นต้องมีความรู้และความสามารถที่จะกำหนดระบบงาน ระเบียบ และเทคนิคในการปฏิบัติงาน สร้างความพร้อมและมีความสามารถที่จะใช้เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการทำงานของตนเอง สามารถแยกออกเป็น 4 ด้าน ดังนี้

1. Man ได้แก่ คนหรือบุคลากร ซึ่งการจัดการที่ดี บุคลากรจะต้องมีความรู้ ความสามารถ มีคุณสมบัติที่เหมาะกับตำแหน่งหน้าที่การงานที่กำหนดไว้ และต้องมีจำนวนที่เพียงพอไม่มากไปหรือน้อยไป รวมถึงความจำเป็นที่จะต้องมีการให้ค่าตอบแทน และผลประโยชน์ที่สมบูรณ์กับการปฏิบัติหน้าที่ของบุคลากร และดูแลความเรียบร้อยของการปฏิบัติงาน การเพิ่มพูนความรู้สมรรถภาพในการปฏิบัติงานให้แก่บุคลากรภายในองค์การเป็นระยะ ๆ

2. Money ได้แก่ ด้านการเงินที่ต้องหาเงินเพื่อใช้ในการดำเนินกิจกรรมตามที่ได้กำหนด ระยะเวลาไว้สอดคล้องกัน ดังนั้น การพิจารณาเรื่องแหล่งเงิน การจัดสรรเพื่อเป็นค่าใช้จ่ายในกิจกรรมและรายการต่าง ๆ ให้ได้สัดส่วนผลตอบแทนสูงสุด และการควบคุมใช้จ่ายให้ถูกต้องตามหลักเกณฑ์โดยไม่ให้ฟุ่มเฟือยโดยไม่จำเป็น เพื่อจะการทำงานได้ดำเนินการอย่างราบรื่นจนสามารถ

บรรลุเป้าหมายได้เป็นอย่างดี การเงินจึงเป็นส่วนสำคัญที่ต้องดูแล อีกทั้งการรายงานฐานะทางการเงิน เพื่อแสดงผลการปฏิบัติงานและเพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงในระยะต่อไป

3. Material ได้แก่ วัสดุ อุปกรณ์ เป็นการจัดหาและมีไว้เป็นเครื่องมือเครื่องใช้สำหรับปฏิบัติงาน ที่เหมาะสม ทันสมัย เพียงพอ และมีประสิทธิภาพที่จะช่วยให้การดำเนินงานตามหน้าที่ขององค์การนั้น อย่างได้ผลหรือเป็นประโยชน์ที่สุด ทั้งนี้ ยังรวมถึงการเสาะแสวงหา การคิดค้น การออกแบบ การควบคุมการใช้งาน การบำรุงรักษาและเปลี่ยนชิ้นส่วนประกอบ การซ่อมแซมวัสดุอุปกรณ์ที่บกพร่องชำรุดเสียหายหรือประสิทธิภาพในการใช้งานต่ำกว่าระดับที่ต้องการ เพื่อจัดหาหรือจัดหาหรือจดทำสิ่งทดแทนภายในกำหนดเวลาที่สมควรได้

4. Management ได้แก่ ด้านการบริหารจัดการ หมายถึง การกำหนดรูปแบบและภารกิจขององค์การ การแบ่งส่วนขององค์การ รวมถึงการกำหนดกิจกรรมของแต่ละองค์การ การกำหนดตำแหน่งงาน (Position) พร้อมหน้าที่ในความรับผิดชอบและอำนาจ (Authority) ของแต่ละตำแหน่ง แต่ละส่วน แต่ละระดับ (Level) และขององค์การเป็นส่วนรวม อีกทั้งการกำหนดโครงสร้างและความสัมพันธ์ของงานส่วนต่างๆ ของแต่ละองค์การ สร้างระบบการควบคุมให้ทุกส่วนขององค์การได้อย่างสืบเนื่องและมีเอกลักษณ์

ดังนั้น จึงสามารถอธิบายปัจจัยความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนจากการสังเคราะห์ข้อมูลได้ดังต่อไปนี้

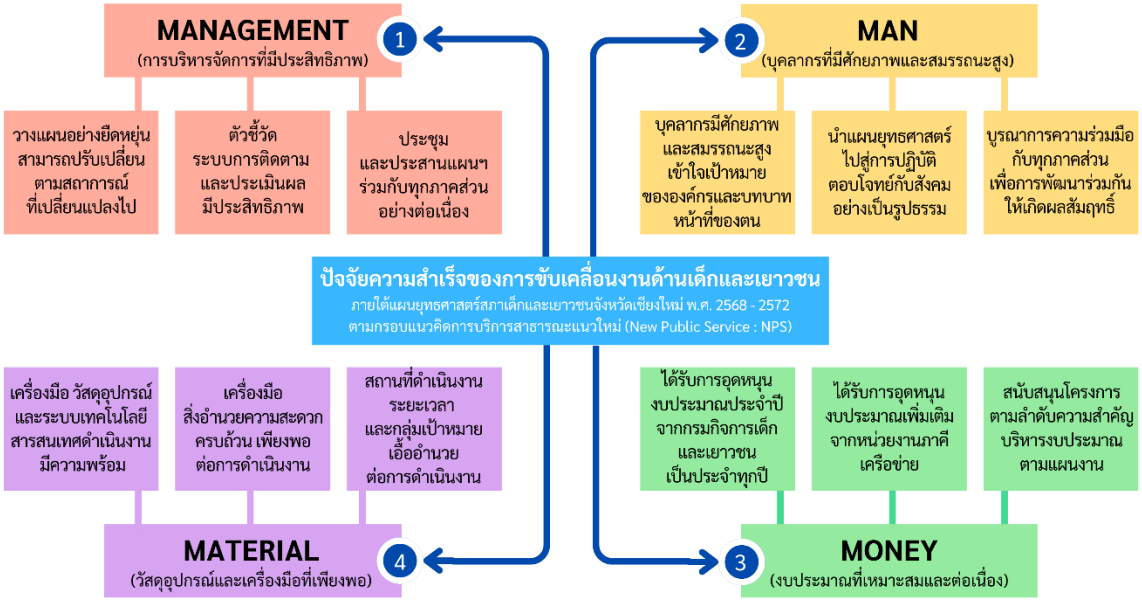
- ด้านการบริหารจัดการ (Management) ทำหน้าที่เป็นกลไกในการกำหนดทิศทางและโครงสร้างการดำเนินงานขององค์กร ระบบบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพสะท้อนผ่านการกำหนดวิสัยทัศน์ เป้าหมาย และแผนปฏิบัติการที่ชัดเจน การกำหนดบทบาทหน้าที่อย่างเหมาะสม ตลอดจนการมีระบบติดตามและประเมินผลที่เป็นรูปธรรม นอกจากนี้ การดำเนินงานที่สอดคล้องกับกฎหมายและแผนระดับต่าง ๆ จะช่วยสร้างความชอบธรรมและเสริมความมั่นคงขององค์กรในระยะยาว ความสามารถในการปรับตัวต่อบริบททางสังคมที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว
- ด้านคนหรือบุคลากร (Man) เป็นหัวใจสำคัญของการขับเคลื่อนงาน โดยบุคลากรต้องเข้าใจแผนยุทธศาสตร์และบริบทภาพรวมรวมทั้งต้องมีคุณลักษณะขั้นพื้นฐานที่ดี ได้แก่ ความมุ่งมั่นตั้งใจ มีภาวะความเป็นผู้นำ และมีความรับผิดชอบต่อบทบาทหน้าที่ เป็นต้น ขณะเดียวกันบุคลากรพึงต้องได้รับการพัฒนาศักยภาพอย่างเหมาะสม เปิดพื้นที่ให้ภาคีเครือข่ายและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเข้ามามีส่วนร่วม ในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และพัฒนาศักยภาพร่วมกัน ซึ่งจะช่วยเสริมสร้างความรู้สึกเป็นเจ้าของ และสามารถนำแผนยุทธศาสตร์ไปสู่การปฏิบัติให้เกิดผลเชิงประจักษ์ได้จริงอย่างต่อเนื่องและเป็นรูปธรรม
- ด้านเงินหรืองบประมาณ (Money) เป็นปัจจัยสนับสนุนที่ทำให้แผนยุทธศาสตร์สามารถดำเนินการไปได้อย่างต่อเนื่อง การได้รับการจัดสรรงบประมาณประจำปีอย่างเพียงพอ รวมถึงการสนับสนุนจากหน่วยงานภายนอกและเครือข่ายภาคี ช่วยเพิ่มเสถียรภาพทางการดำเนินงาน ทั้งนี้ การบริหารงบประมาณอย่างโปร่งใสและมีประสิทธิภาพ ยังส่งผลต่อความเชื่อมั่นของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ซึ่งเป็นทุนทางสังคมที่สำคัญต่อความยั่งยืน
- ด้านวัสดุหรืออุปกรณ์ (Material) เทคโนโลยีสารสนเทศ ระบบฐานข้อมูล และโครงสร้างพื้นฐานที่เอื้อต่อการปฏิบัติงาน เครื่องมือที่เหมาะสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการประสานงาน การจัดกิจกรรม และการติดตามผล อีกทั้งยังทำให้องค์กรสามารถปรับใช้ข้อมูลสถิติเชิงประจักษ์ในการตัดสินใจเชิงนโยบายได้ดียิ่งขึ้น

จากการศึกษาและสังเคราะห์ปัจจัยความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนที่สอดคล้องกับทฤษฎี 4M สรุปได้ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 แสดงสรุปประเด็นปัจจัยความสำเร็จปัจจัยความสำเร็จตามทฤษฎี 4M

ทฤษฎี 4M	ประเด็นที่สอดคล้องจากตารางที่ 2	สาระสำคัญโดยย่อ
ด้านการบริหารจัดการ (Management)	ระบบบริหารจัดการและกระบวนการวางแผน	- วางแผนอย่างยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งสอดคล้องกับแผน 3 ระดับ ตามมติของคณะรัฐมนตรี และสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสถาการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปของสังคม - กำหนดเป้าหมาย (วิสัยทัศน์) ของแผนฯ อย่างชัดเจน เห็นภาพอนาคต และจัดทำแผนปฏิบัติการทุกระยะ (ระยะสั้น ระยะกลาง ระยะยาว) ทำให้เห็นภาพรวมของการขับเคลื่อนไปสู่การบรรลุแผนฯ - ประชุมและประสานแผนฯ ร่วมกับทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องอย่างต่อเนื่องและชัดเจน - ตัวชี้วัดและระบบการตรวจสอบ ติดตาม และประเมินผลที่มีประสิทธิภาพ
ด้านคนหรือบุคลากร (Man)	บุคลากรและการมีส่วนร่วม	- มีศักยภาพและสมรรถนะสูง มุ่งมั่นตั้งใจดำเนินงาน มีทัศนคติที่ดี รับรู้และเข้าใจเป้าหมายขององค์กรและบทบาทหน้าที่ของตน มีวินัยและมีความรับผิดชอบต่อหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย สามารถปรับตัวเพื่อทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ดี - สภาเด็กและเยาวชนทุกระดับ รวมทั้งเครือข่ายเด็กและเยาวชนให้ความร่วมมือและเห็นชอบด้วยกับการดำเนินงานตามแผนฯ รวมทั้งมีการบูรณาการความร่วมมือกับหน่วยงานภาคีเครือข่ายเพื่อการพัฒนาร่วมกัน
ด้านเงินหรืองบประมาณ (Money)	การดำเนินงาน (ส่วนที่เกี่ยวข้องกับงบประมาณ)	- ได้รับการจัดสรรอุดหนุนงบประมาณประจำปีจากกรมกิจการเด็กและเยาวชนเป็นประจำทุกปี นอกจากนี้ ยังได้รับการสนับสนุนงบประมาณ องค์ความรู้ เครื่องมือ รวมทั้งวัสดุและอุปกรณ์จากหน่วยงานภาคีเครือข่ายเพิ่มเติมด้วย ทำให้การดำเนินงานมีความต่อเนื่อง
ด้านวัสดุหรืออุปกรณ์ (Material)	การดำเนินงาน (ส่วนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ)	- เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ และระบบเทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับจัดเก็บข้อมูลและดำเนินงานมีความพร้อม รวมทั้งมีเครื่องมืออำนวยความสะดวกครบถ้วน เพียงพอต่อการดำเนินงาน - สถานที่ดำเนินงาน ระยะเวลา และกลุ่มเป้าหมายเอื้ออำนวยต่อการดำเนินงานในภาพรวม

ปัจจัยความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนสู่ความเป็นเลิศอย่างยั่งยืน เกิดจากการบูรณาการระหว่างองค์ประกอบเชิงการจัดการตามทฤษฎี 4M นั่นคือ การบริหารจัดการ (Management) ที่มีประสิทธิภาพเป็นกลไกสำคัญที่กำกับทิศทางให้คนหรือบุคลากร (Man) ที่มีศักยภาพและสมรรถนะสูงสามารถดำเนินการให้เป็นไปตามแผนยุทธศาสตร์หรือกลไกที่ได้วางไว้ โดยมีเงินหรืองบประมาณ (Money) ที่เหมาะสม และวัสดุหรืออุปกรณ์ (Material) ที่เพียงพอและมีความพร้อม เป็นทรัพยากรสนับสนุนทำให้การดำเนินงานเกิดขึ้นได้อย่างเป็นรูปธรรม โดยประการที่สำคัญที่นำไปสู่ความยั่งยืน คือ การตั้งอยู่บนกรอบของคุณค่าที่มุ่งประโยชน์สาธารณะ หลักการพื้นฐานของประชาธิปไตย การมีส่วนร่วม และการมุ่งตอบสนองความต้องการของเด็กและเยาวชนในฐานะพลเมือง ตามแนวคิดแนวคิดการบริการสาธารณะแนวใหม่ (New Public Service : NPS) จะส่งผลให้การขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนเกิดความสำเร็จและมุ่งสู่ความเป็นเลิศอย่างยั่งยืน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 2 แสดงสรุปประเด็นปัจจัยความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนสู่ความเป็นเลิศอย่างยั่งยืน

หากสามารถบูรณาการองค์ประกอบตามทฤษฎี 4M ได้อย่างสมดุล โดยมีการบริหารจัดการที่ชัดเจน บุคลากรที่มีศักยภาพ งบประมาณที่เพียงพอและต่อเนื่อง รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ที่มีความพร้อมใช้งาน ภายใต้กรอบคุณค่าการบริการสาธารณะแนวใหม่ การขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนจะเกิดผลอย่างเป็นรูปธรรม มีประสิทธิภาพ และตอบสนองความต้องการของเยาวชนในฐานะพลเมืองอย่างแท้จริง อันจะนำไปสู่ความสำเร็จอย่างยั่งยืนในระยะยาว

6. สรุปผลการศึกษา

แผนยุทธศาสตร์สภาเด็กและเยาวชนจังหวัดเชียงใหม่ พ.ศ. 2568 - 2572 สอดคล้องกับกรอบแนวคิดเชิงคุณค่าสาธารณะตามแนวคิดการบริการสาธารณะแนวใหม่ (New Public Service : NPS) ขณะที่ปัจจัยความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนสะท้อนการบริหารจัดการตามทฤษฎี 4M ดังนั้น ปัจจัยความสำเร็จของการขับเคลื่อนงานด้านเด็กและเยาวชนสู่ความเป็นเลิศ คือ การบูรณาการระหว่าง “ประโยชน์สาธารณะ” กับ “ประสิทธิภาพเชิงระบบ” นั่นคือ ระบบบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ (Management) บุคลากรที่มีศักยภาพสูง (Man) งบประมาณที่เพียงพอ (Money) และการทรัพยากรและเทคโนโลยีสนับสนุน (Material) อย่างเหมาะสม ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่สำคัญของการพัฒนาองค์กรสาธารณะให้เกิดความยั่งยืนในระยะยาว และอย่างไรก็ตามการจะนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ควรเริ่มจากการกำหนดกรอบคุณค่าและเป้าหมายสาธารณะที่ชัดเจน แล้วจึงประเมินศักยภาพตามทฤษฎี 4M อย่างรอบด้าน รวมทั้งพัฒนากลไกการมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่ายควบคู่กับระบบติดตามประเมินผลอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้การขับเคลื่อนงานเกิดทั้งประสิทธิภาพ ประสิทธิผล และความยั่งยืนในระยะยาวอย่างแท้จริง

เอกสารอ้างอิง

[1] พระราชบัญญัติส่งเสริมการพัฒนาเด็กและเยาวชนแห่งชาติ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2560. 13 มิถุนายน 2560. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 134 ตอนที่ 63 ก หน้า 1-12

[2] ชวนากร อัศวพิชยนต. (2567). แนวคิดการจัดบริการสาธารณะแนวใหม่: การมีส่วนร่วมของประชาชนต่อการบริหารงานภาครัฐ The New Public Service: Public Participation in Public Administration. Journal of Roi Kaensarn Academi, 9 (9), 1615. https://so02.tcithaijo.org/index.php/JRKSA/article/view/272581

[3] ชวนากร อัศวพิชยนต. (2567). แนวคิดการจัดบริการสาธารณะแนวใหม่ : การมีส่วนร่วมของประชาชนต่อการบริหารงานภาครัฐ The New Public Service : Public Participation in Public Administration. Journal of Roi Kaensarn Academi, 9(9), 1615-1617. https://so02.tcithaijo.org /index.php/JRKSA/article/view/272581

[4] ศิริพงษ์ ลดาวัลย์ ณ อยุธยา. (2551). แนวความคิดและทฤษฎีรัฐประศาสนศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 2). เชียงใหม่ : คณะรัฐศาสตร์และรัฐประศาสนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[5] เบญญาภา แกมทอง. (2563). การศึกษากระบวนการเปลี่ยนแปลงขององค์การ กรณีศึกษา: การยกฐานะองค์การบริหารส่วนตำบลเป็นเทศบาลตำบลคอกกระบือ จังหวัดสมุทรสาคร [สารนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต], จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย. https://digital.car.chula.ac.th/cgi/viewc-ontent .cgi?article=8465&context=chulaetd

การพัฒนาสู่ระบบดิจิทัลในการจัดเลี้ยงการประชุมคณะกรรมการประจำคณะ: การวิเคราะห์เชิงประจักษ์ด้านความชอบ สุขภาพ และเป้าหมายของการพัฒนาที่ยั่งยืน

อังคณา รอดเครือมิตร* และ อรณิชา กุ้งทอง

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี จังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
**Corresponding author: angkana.rod@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มุ่งวิเคราะห์การเปลี่ยนผ่านสู่ระบบดิจิทัล สำหรับการจัดเลี้ยงในการประชุมคณะกรรมการประจำคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล เพื่อแก้ปัญหาความไม่สมมาตรของข้อมูล และขยะอาหารผ่านการประยุกต์ใช้ Google Sheet ในการจองอาหารล่วงหน้าแบบเรียลไทม์ โดยบูรณาการร่วมกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ในด้านสุขภาพ (SDG 3) นวัตกรรม (SDG 9) และการสร้างหลักประกันให้มีรูปแบบการผลิตและการบริโภคที่ยั่งยืน (SDG 12) จากการวิจัยเชิงปฏิบัติการและวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลัง 15 ครั้ง (n = 497) ด้วยภาษา Python พบว่า ตำแหน่งงานมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการเลือกอาหารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value < 0.001) โดยกลุ่มผู้บริหารส่วนใหญ่ เลือกอาหารที่ให้พลังงานสูง อิ่มท้อง อย่างซาลาเปาและขนมจีบ (ร้อยละ 50.3) ขณะที่กลุ่มอาจารย์ผู้แทนคณาจารย์ เน้นความสะดวก โดยเลือกแซนวิชเป็นหลัก (ร้อยละ 69.0) สำหรับกลุ่มหัวหน้าภาควิชาและสายสนับสนุน แสดงถึงพฤติกรรมบริโภคที่มีหลากหลายสูง โดยเฉพาะกลุ่มสายสนับสนุนที่ให้ความสำคัญกับเมนูสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญ ระบบดิจิทัลนี้ช่วยให้พยากรณ์ความต้องการได้แม่นยำ 100% จนสามารถลดขยะอาหารให้เหลือศูนย์ (Zero Waste) พร้อมเสนอแนะการใช้กลไก "การสะกิด" (Nudging) ผ่านสถาปัตยกรรมการเลือกในระบบดิจิทัล เพื่อเพิ่มสัดส่วนการบริโภคเมนูสุขภาพ ซึ่งปัจจุบันอยู่ที่ร้อยละ 14 ให้สูงขึ้น งานวิจัยนี้จึงเป็นแบบอย่างในการใช้เทคโนโลยี เพื่อยกระดับองค์กรสู่ความยั่งยืน และการจัดการทรัพยากรที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การเปลี่ยนผ่านสู่ระบบดิจิทัล / เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) / การจัดการขยะอาหาร / สถาปัตยกรรมการเลือก / การจัดเลี้ยงในองค์กร

Digital transformation in academic catering: A longitudinal analysis of preference, health, and sustainability

Angkana Rodkruamit* **and Onnicha Kungthong**

Faculty of Dentistry, Mahidol University, Bangkok, Thailand

**Corresponding author: angkana.rod@mahidol.ac.th*

Abstract

This study explores the digital transformation of catering services for the Faculty Committee meetings at the Faculty of Dentistry, Mahidol University. By replacing traditional systems with a real-time, cloud-based Google Sheet pre-ordering platform, the research aims to eliminate information asymmetry and food waste while empowering consumers through increased autonomy. This initiative aligns with the United Nations' Sustainable Development Goals (SDGs), specifically focusing on health and well-being (SDG 3), innovation and infrastructure (SDG 9), and responsible consumption and production (SDG 12). Utilizing action and analytical retrospective research, data from 15 meetings (n = 497) between February 2025 and March 2026 were processed using Python and analyzed with Chi-square statistics. The results revealed that professional roles significantly influence food preferences ($P < 0.001$); executives favored satiating items like steamed buns and dumplings (50.3%), faculty representatives preferred the convenience of sandwiches (69.0%), meanwhile, department heads and support staff exhibited high consumption diversity, with the latter group showing a significant inclination toward health conscious menu options. The digital system achieved 100% demand forecasting accuracy, effectively reducing food waste to zero. The study suggests implementing "nudging" strategies within the choice architecture of the digital interface to increase the selection of healthy options, which currently stands at 14%. Ultimately, this data-driven approach serves as a best practice for academic institutions seeking to foster a sustainable organizational culture.

Keywords: Digital transformation / Sustainable Development Goals (SDGs) / Food waste management / Choice architecture / Academic catering

1. บทนำ

ในบริบทของการปฏิบัติงานภายในองค์กรระดับอุดมศึกษาโดยเฉพาะหน่วยงานที่มีภารกิจซับซ้อนทั้งด้านการจัดการศึกษา การวิจัย และการบริการทางวิชาการ การประชุมคณะกรรมการประจำคณะถือเป็นกลไกเชิงยุทธศาสตร์ที่สำคัญที่สุดในการขับเคลื่อนนโยบายและแก้ไขปัญหาอุบัติใหม่ บทนำนี้จะลงรายละเอียดถึงความสำคัญของการจัดเลี้ยงอาหารว่างในการประชุมของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลโดยมีวัตถุประสงค์ในการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลควบคู่กับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) [1]

การเปรียบเทียบพฤติกรรมการบริโภคอาหารและการจัดการสุขภาวะของบุคลากรในองค์กรพบว่าลักษณะงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานส่งผลต่อพฤติกรรมการบริโภคอาหารที่แตกต่างกันระหว่างบุคลากรแต่ละกลุ่ม โดยมีผู้ศึกษาวิจัยไว้ดังต่อไปนี้

1. กลุ่มบุคลากรสายบริหารและพนักงานประจำสำนักงาน (Administrative/White-collar staff):
   - Sorensen และคณะ (2004) [2] ได้เปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างบุคลากรกลุ่มต่าง ๆ และพบว่าบุคลากรประจำสำนักงานมักเผชิญกับสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการรับประทานอาหารที่ไม่มีประโยชน์ (Unhealthy food) มากกว่า เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลา โครงสร้างการทำงานที่ต้องนั่งโต๊ะเป็นเวลานาน และการเข้าถึงอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำได้ง่าย
   - Smithdorf และคณะ (2022) [3] สนับสนุนข้อมูลดังกล่าวโดยระบุว่าบุคลากรสายบริหารในสถาบันอุดมศึกษามีความเสี่ยงต่อการเลือกรับประทานอาหารที่ไม่ดีต่อสุขภาพ เนื่องจากภาระงานที่เร่งด่วนและความเครียดสะสม
2. การเปรียบเทียบกับบุคลากรกลุ่มอื่น:
   - เมื่อเปรียบเทียบกับบุคลากรกลุ่มอื่น ๆ (เช่น บุคลากรสายปฏิบัติการหรือสายสนับสนุนอื่น) งานวิจัยของ Sorensen และคณะ (2004) [2] แสดงให้เห็นว่าบุคลากรสายบริหารมีความเครียดจากการทำงาน (Job strain) ที่ส่งผลต่อการเลือกบริโภคอาหารเพื่อลดความเครียดหรือลดทอนข้อจำกัดด้านเวลา
   - Devine และคณะ (2006) [4] และ Lallukka และคณะ (2004) [5] ได้เสริมประเด็นนี้โดยชี้ว่า ความตึงเครียดจากการทำงานและสภาพแวดล้อมที่กดดัน เป็นปัจจัยร่วมที่ทำให้บุคลากรในสายงานที่ต้องใช้ความคิดและนั่งทำงานเป็นหลักมีการลดลงของการบริโภคอาหารที่มีประโยชน์ (เช่น ผักและผลไม้) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ ในองค์กรอย่างมีนัยสำคัญ

อย่างไรก็ตาม การจัดเตรียมอาหารว่าง (Refreshments) ในระหว่างการประชุมมิได้เป็นเพียงธรรมเนียมปฏิบัติหรือสวัสดิการทั่วไป หากแต่มีความสำคัญในมิติทางสรีรวิทยาที่ส่งผลโดยตรงต่อ “พลังงานสมอง” และ “ประสิทธิภาพในการคิดวิเคราะห์” (Cognitive Engagement) เพื่อรักษาความต่อเนื่องในการตัดสินใจเชิงนโยบายที่ซับซ้อน นอกจากนี้ในมิติด้านจิตวิทยาและการจัดการองค์กร การดูแลเรื่องอาหารยังสะท้อนถึงวัฒนธรรมการดูแลเอาใจใส่ (Hospitality) ในสังคมไทยการดูแลเรื่องอาหารเป็นการแสดงออกถึงความใส่ใจของหน่วยงานที่มีต่อบุคลากรที่อุทิศเวลามาปฏิบัติหน้าที่ด้านการบริหารนอกเหนือจากภาระงานสอนหรืองานคลินิกปกติโดยเฉพาะความตั้งใจของผู้จัดอาหารให้ได้ตรงตามความชอบของผู้บริโภค ย่อมทำให้ผู้มาประชุมมีความรู้สึกที่ดีและผูกพันกับองค์กร ทั้งยังช่วยลดความตึงเครียดและสร้างบรรยากาศที่เอื้อต่อการระดมความคิดเห็น

ระบบการจัดเลี้ยงแบบดั้งเดิมมักประสบปัญหา “ความไม่สมมาตรของข้อมูล” (Information Asymmetry) ระหว่างผู้จัดและผู้บริโภค นำไปสู่ความสิ้นเปลืองของทรัพยากรอาหารที่ไม่สอดคล้องกับความต้องการจริง สอดคล้องกับแนวคิดของ Garrone et al. (2014) [6] [7] ที่ระบุว่าการขาดระบบฐานข้อมูลที่ชัดเจนเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดขยะอาหารในอุตสาหกรรมการจัดเลี้ยง ซึ่งการวิจัยนี้จะเป็นการเปรียบเทียบได้กับงานวิจัยในบริบทสากลของ Garrone, Melacini, & Perego, 2014 [6,7] ถึงการใช้ระบบดิจิทัลและข้อมูลสารสนเทศเข้ามาช่วยในการบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานอาหาร (Closed food supply chains) ในธุรกิจการจัดเลี้ยง (Catering) ที่พบว่าการสร้างความตระหนักรู้เกี่ยวกับข้อมูล (Information Awareness) ช่วยให้องค์กรสามารถลดการสูญเสียอาหารในขั้นตอนก่อนการบริโภคได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Filimonau และ De Coteau (2019) [8] ได้ชี้ให้เห็นว่าการใช้เทคโนโลยีเพื่อติดตามและพยากรณ์ความต้องการของผู้บริโภคเป็นแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุด (Best Practice) ในการลดขยะอาหารในระดับสากล ดังนั้นคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลจึงได้ดำเนินการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบดิจิทัล (Digital Transformation) โดยการประยุกต์ใช้ Google Sheet เพื่อสร้างระบบการจองและเลือกเมนูอาหารว่างล่วงหน้าแบบเรียลไทม์ ซึ่งเป็นการมอบอำนาจการตัดสินใจ (Autonomy) ให้แก่ผู้เข้าประชุม และยกระดับการบริหารจัดการทรัพยากรภายในองค์กรมุ่งเน้นการยกระดับองค์กรสู่การเป็น “Zero Waste Organization” โดยใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเป็นเครื่องมือในการควบคุมปริมาณการผลิตให้เท่ากับความต้องการจริง (Just-in-Time Production) เพื่อลดขยะอาหาร (Food Waste) ตั้งแต่ต้นทาง ตามแนวคิดของ Filimonau & De Coteau (2019) [8] ที่เสนอว่าความสำเร็จของการจัดการขยะอาหารต้องอาศัยการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมควบคู่กับการใช้เทคโนโลยี โดยงานวิจัยได้บูรณาการร่วมกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ของ สหประชาชาติ (United Nations, 2015) [1] ใน 3 มิติหลัก (ตารางที่ 1) ดังนี้:

1. ด้านสุขภาพและสุขภาวะที่ดี (SDG 3): การใช้แนวคิด “การสะกิด” (Nudge) ตามทฤษฎีของ Thaler & Sunstein (2008) [9] ผ่านการออกแบบทางเลือก (Choice Architecture) ในระบบดิจิทัล เพื่อปรับและจูงใจให้ผู้บริหารเลือกเมนูอาหารที่เป็นมิตรต่อสุขภาพ เช่น ผลไม้สดหรืออาหารโซเดียมต่ำ โดยผลการวิจัยของ Ensaff et al. (2015) [10] ยืนยันว่าการจัดวางลำดับข้อมูลที่เหมาะสมสามารถเปลี่ยนพฤติกรรมการเลือกบริโภคไปในทางที่ดีขึ้นได้

2. ด้านนวัตกรรมและโครงสร้างพื้นฐาน (SDG 9): การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานข้อมูลภายในคณะฯ เพื่อเปลี่ยนผ่านจากการทำงานแบบเดิมไปสู่การบริหารจัดการที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล (Data-Driven Management) ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญของ Smart Faculty

3. ด้านการบริโภคและการผลิตที่รับผิดชอบ (SDG 12): การมุ่งเน้นการจัดการทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดและลดการเหลือทิ้งให้เป็นศูนย์ (Zero Waste) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Principato et al. (2021) [11] ที่เน้นย้ำว่าเทคโนโลยีดิจิทัลมีบทบาทสำคัญในการติดตามและลดการสูญเสียทรัพยากรอาหารในระดับองค์กรอย่างยั่งยืน

ตารางที่ 1 สรุปกรอบแนวคิดทฤษฎีและการบูรณาการเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

มิติการวิจัย	แนวคิดและทฤษฎีสำคัญ	การอ้างอิงหลัก (Author)	เป้าหมายความยั่งยืน (SDGs)
Digital Transformation	การลดความไม่สมมาตรของข้อมูล	Garrone et al. (2014)	SDG 9: นวัตกรรมและโครงสร้างพื้นฐาน
Behavioral Nudging	สถาปัตยกรรมการเลือก (Choice Architecture)	Thaler & Sunstein (2008); Ensaff et al. (2015)	SDG 3: สุขภาพและสุขภาวะที่ดี
Zero Waste Management	การจัดการขยะอาหารในงานบริการ	Filimonau & De Coteau (2019)	SDG 12: การบริโภคที่รับผิดชอบ
Data-Driven Sustainability	บทบาทเทคโนโลยีในการลดความสูญเสีย	Principato et al. (2021)	SDG 12 & Zero Waste

งานวิจัยนี้จึงมิได้เป็นเพียงการพัฒนาระบบสนับสนุนการประชุม แต่เป็นการนำเสนอแบบอย่าง (Best Practice) ในการบูรณาการเทคโนโลยี จิตวิทยาพฤติกรรม และเป้าหมายความยั่งยืนเข้าด้วยกัน เพื่อปฏิรูปวัฒนธรรมองค์กรของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ให้มีความรับผิดชอบต่อสุขภาพ สังคม และสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐานสากล สอดรับกับยุทธศาสตร์การเป็นมหาวิทยาลัยระดับโลกที่ยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาระบบและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัล โดยการใช้ Google Sheet เป็นเครื่องมือในการจอง และเลือกเมนูอาหารว่างล่วงหน้าแบบเรียลไทม์ เพื่อยกระดับการบริหารจัดการทรัพยากรภายในองค์กร
2. เพื่อแก้ปัญหาความไม่สมมาตรของข้อมูล (Information Asymmetry) ระหว่างผู้จัดและผู้บริโภค ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของความสิ้นเปลืองทรัพยากร ให้สามารถลดขยะอาหาร (Food Waste) ให้เป็นศูนย์ (Zero Waste) โดยใช้ระบบดิจิทัลควบคุมปริมาณการผลิตให้เท่ากับความต้องการจริง
3. เพื่อบูรณาการเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ใน 3 มิติหลัก ได้แก่:
   - ด้านสุขภาพ (SDG 3): ส่งเสริมเมนูอาหารเพื่อสุขภาพผ่านแนวคิด "การสะกิด" (Nudging)
   - ด้านนวัตกรรม (SDG 9): พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานข้อมูลเพื่อขับเคลื่อนองค์กรด้วยข้อมูล (Data-Driven Management)
   - ด้านการบริโภคที่ยั่งยืน (SDG 12): จัดการทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดและลดการเหลือทิ้ง
4. เพื่อศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งงานต่อพฤติกรรมการเลือกอาหาร เพื่อใช้ในการพยากรณ์ความต้องการอาหารว่างได้อย่างแม่นยำ
5. เพื่อสร้างผลงานวิจัย โดยเฉพาะในด้านการวิจัยเพื่อพัฒนางานประจำให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น (From Routine to Research) สามารถเป็นต้นแบบในการบริหารจัดการที่เป็นแบบอย่างในการปฏิบัติงานในองค์กร

3. ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้ใช้วิธีวิจัยเชิงปฏิบัติการและเชิงวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลัง (Action and Analytical Retrospective Research) โดยครอบคลุมระยะเวลาการดำเนินงานประมาณ 1 ปี เพื่อพัฒนาระบบการจัดการอาหารว่างที่มีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับหลักความยั่งยืน โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มประชากรที่ใช้ในการศึกษาคือ คณะกรรมการและผู้เข้าร่วมประชุม คณะกรรมการประจำคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จำนวนทั้งสิ้น 38 ท่าน ประกอบด้วย:

- ผู้บริหารคณะ (คณบดีและรองคณบดี)
- หัวหน้าภาควิชา
- อาจารย์ผู้แทนคณาจารย์
- บุคลากรสายสนับสนุนที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลจากการประชุมรวม 15 ครั้ง เพื่อให้ครอบคลุมระยะเวลาที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์แนวโน้มพฤติกรรมและความแม่นยำของระบบ

3.2 การจัดหมวดหมู่รายการอาหารว่าง

เพื่อให้สอดคล้องกับหลัก "สถาปัตยกรรมการเลือก" (Choice Architecture) ผู้วิจัยได้คัดสรรรายการอาหารว่าง (Convenience Food) โดยแบ่งออกเป็น 5 ประเภทหลัก:

1. ประเภทแซนวิช: เช่น แซนวิชแฮมชีส, ผักโขมแฮมชีส, ทูน่า และปูอัดไข่กุ้ง
2. ประเภทซาลาเปาและขนมจีบ: เน้นอาหารโปรตีนอุ่นร้อน เช่น ไส้หมูสับ, หมูแดง และไส้ครีม
3. ประเภทผลไม้ตามฤดูกาล: เพื่อส่งเสริมสุขภาพตามแนวทาง SDG 3 เช่น ส้ม, มะละกอ, ฝรั่ง และแก้วมังกร
4. ประเภทข้าวเหนียว: เช่น ข้าวเหนียวคีนัวหมูเค็ม หรือไก่เค็ม
5. ประเภทเบเกอรี่: เช่น เอแคลร์ และขนมปังไส้ลูกเกด

เกณฑ์การคัดเลือก: ใช้ระบบ "คัดออกตามความนิยม" (Popularity-based Exclusion) โดยรายการที่ไม่มีผู้เลือก จะถูกนำออกจากเมนูในครั้งถัดไป เพื่อให้รายการอาหารตรงใจผู้บริโภคมากที่สุด

4. วิธีการศึกษา

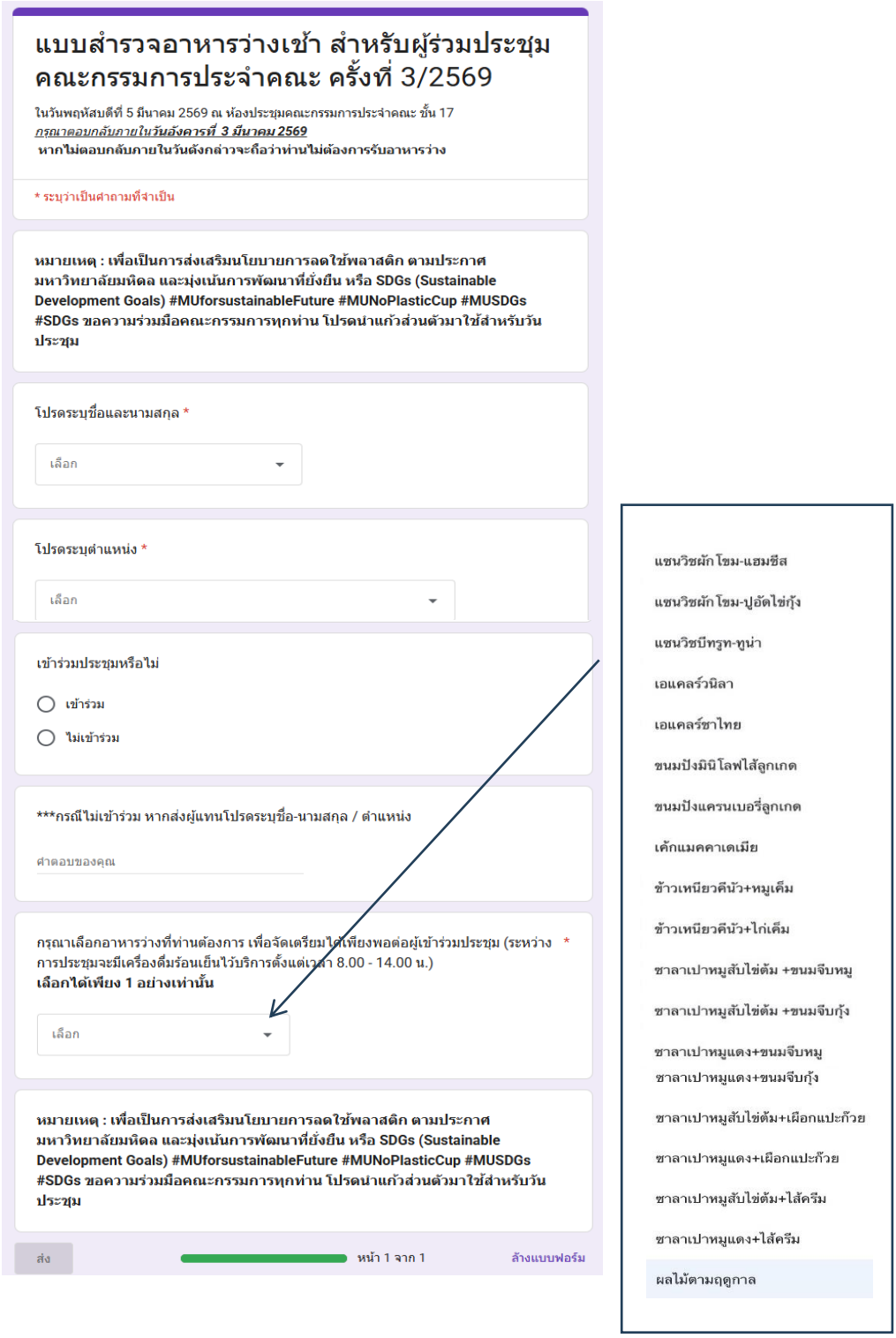
4.1 รวบรวมข้อมูล

กระบวนการสั่งจองผ่านระบบดิจิทัล (Google Sheet Workflow) เพื่อให้สอดคล้องกับหลัก SDG 12 (การบริโภคอย่างรับผิดชอบ) ผู้วิจัยกำหนดขั้นตอนดังนี้:

- ระยะเวลาดำเนินการ: ส่งลิงก์ระบบล่วงหน้าอย่างน้อย 1 สัปดาห์ก่อนวันประชุม
- การตอบกลับ: ผู้เข้าร่วมต้องแจ้งความประสงค์อย่างน้อย 2 วันก่อนการประชุม เพื่อให้ฝ่ายจัดเลี้ยงบริหารจัดการทรัพยากร และสั่งซื้ออาหารได้อย่างแม่นยำ 100%
- ระบบจองยืดหยุ่น: ผู้เข้าร่วมสามารถระบุสถานะ "ไม่เข้าประชุม" "ประชุมออนไลน์" หรือ "ไม่รับอาหารว่าง" เพื่อลดการจัดเตรียมอาหารที่เกินความจำเป็น (Waste Reduction)

โครงสร้างของ Google Sheet ที่ใช้ในการจอง

แบบฟอร์มถูกออกแบบให้ใช้งานง่าย (User-Friendly) ดังนี้



แบบสำรวจอาหารว่างเช้า สำหรับผู้ร่วมประชุม คณะกรรมการประจำคณะ ครั้งที่ 3/2569

ในวันพฤหัสบดีที่ 5 มีนาคม 2569 ณ ห้องประชุมคณะกรรมการประจำคณะ ชั้น 17
กรุณาตอบกลับภายในวันอังคารที่ 3 มีนาคม 2569
หากไม่ตอบกลับภายในวันดังกล่าวจะถือว่าท่านไม่ต้องการรับอาหารว่าง

* ระบุว่าเป็นคำถามที่จำเป็น

หมายเหตุ : เพื่อเป็นการส่งเสริมนโยบายการลดใช้พลาสติก ตามประกาศมหาวิทยาลัยมหิดล และมุ่งเน้นการพัฒนาที่ยั่งยืน หรือ SDGs (Sustainable Development Goals) #MUforsustainableFuture #MUNoPlasticCup #MUSDGs #SDGs ขอความร่วมมือคณะกรรมการทุกท่าน โปรดนำแก้วส่วนตัวมาใช้สำหรับวันประชุม

โปรดระบุชื่อและนามสกุล *

เลือก

โปรดระบุตำแหน่ง *

เลือก

เข้าร่วมประชุมหรือไม่

- เข้าร่วม
- ไม่เข้าร่วม

***กรณีไม่เข้าร่วม หากส่งผู้แทนโปรดระบุชื่อ-นามสกุล / ตำแหน่ง

คำตอบของคุณ

กรุณาเลือกอาหารว่างที่ท่านต้องการ เพื่อจัดเตรียมให้เพียงพอต่อผู้เข้าร่วมประชุม (ระหว่างการประชุมจะมีเครื่องดื่มร้อนเย็นไว้บริการตั้งแต่เวลา 8.00 - 14.00 น.) *
เลือกได้เพียง 1 อย่างเท่านั้น

เลือก

หมายเหตุ : เพื่อเป็นการส่งเสริมนโยบายการลดใช้พลาสติก ตามประกาศมหาวิทยาลัยมหิดล และมุ่งเน้นการพัฒนาที่ยั่งยืน หรือ SDGs (Sustainable Development Goals) #MUforsustainableFuture #MUNoPlasticCup #MUSDGs #SDGs ขอความร่วมมือคณะกรรมการทุกท่าน โปรดนำแก้วส่วนตัวมาใช้สำหรับวันประชุม

ส่ง หน้า 1 จาก 1 ล้างแบบฟอร์ม

- แซนวิชผักโขม-แฮมชีส
- แซนวิชผักโขม-ปูอัดไข่กุ้ง
- แซนวิชบีทรูท-ทูน่า
- เอแคลร์วนิลา
- เอแคลร์ชาไทย
- ขนมปังมินิโลฟไส้ลูกเกด
- ขนมปังแครนเบอรี่ลูกเกด
- เค้กแมคคาเดเมีย
- ข้าวเหนียวคีนัว+หมูเค็ม
- ข้าวเหนียวคีนัว+ไก่เค็ม
- ชาลาเปาหมูสับไข่ต้ม +ขนมจีบหมู
- ชาลาเปาหมูสับไข่ต้ม +ขนมจีบกุ้ง
- ชาลาเปาหมูแดง+ขนมจีบหมู
  ชาลาเปาหมูแดง+ขนมจีบกุ้ง
- ชาลาเปาหมูสับไข่ต้ม+เผือกแปะก๊วย
- ชาลาเปาหมูแดง+เผือกแปะก๊วย
- ชาลาเปาหมูสับไข่ต้ม+ไส้ครีม
- ชาลาเปาหมูแดง+ไส้ครีม
- ผลไม้ตามฤดูกาล

หน่วยพิธีการจะประมวลผลข้อมูลผ่าน Summary Dashboard เพื่อสั่งอาหารตามจำนวนจริง พร้อมทั้งดำเนินนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม และ Zero Waste ดังนี้

- จัดเตรียมเฉพาะเครื่องดื่มพื้นฐาน (น้ำเปล่า, น้ำผลไม้, ชา/กาแฟ)
- กำหนดนโยบาย “ขอความร่วมมือคณะกรรมการโปรดนำแก้วส่วนตัวมาใช้” เพื่อลดการใช้พลาสติกแบบครั้งเดียวทิ้ง
- Post-Meeting Audit: บันทึกข้อมูลอาหารเหลือหลังสิ้นสุดการประชุมทุกครั้ง เพื่อประเมินประสิทธิภาพและนำไปปรับปรุงในรอบถัดไป

4.2 สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้เทคนิคการประมวลผลผ่าน Python และ Microsoft Excel โดยมีขั้นตอนดังนี้:

1. Data Cleaning: ปรับรูปแบบข้อมูลจาก Wide Format เป็น Long Format เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์
2. Frequency Analysis: วิเคราะห์ความถี่เพื่อระบุเมนูที่ได้รับความนิยมสูงสุด
3. Group Analysis: เปรียบเทียบความชอบที่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มผู้บริหาร หัวหน้าภาควิชา อาจารย์ผู้แทนคณาจารย์ และสายสนับสนุน
4. Trend Analysis: วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของความพึงพอใจตามช่วงเวลา (Time Series)
5. Statistical Testing: ใช้สถิติ Chi-square เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งงาน และความพิกัดความชอบอาหารอย่างมีนัยสำคัญ

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการดำเนินการรวบรวมข้อมูลผ่านระบบจองอาหารว่างดิจิทัล ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2569 รวมการประชุมทั้งสิ้น 15 ครั้ง (n=497 ชุดข้อมูลการเลือกจริง) ผู้วิจัยได้ประมวลผลข้อมูลด้วยภาษา Python และวิเคราะห์เชิงสถิติ โดยมีผลการศึกษาดังนี้:

<u>การตรวจสอบข้อกำหนด (Assumptions) ของการใช้สถิติ Chi-square</u>

ก่อนทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งงานและพฤติกรรมการเลือกอาหารว่างด้วยสถิติ Chi-square Test of Independence ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบข้อกำหนดเบื้องต้นทางสถิติดังนี้:

1. ความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Observations): ข้อมูลการเลือกอาหารว่างของบุคลากรแต่ละคนถือเป็นอิสระต่อกัน โดยการออกแบบระบบสั่งจองดิจิทัล (Google Sheet) เป็นการดำเนินการเฉพาะบุคคลผ่านอุปกรณ์ของแต่ละท่าน ซึ่งช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการชี้นำหรือมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจของผู้อื่น

2. ประเภทของตัวแปร (Types of Variables): ตัวแปรที่นำมาทดสอบเป็นตัวแปรเชิงหมวดหมู่ (Categorical Variables) ได้แก่ ตำแหน่งงานของผู้เข้าร่วมประชุม (ผู้บริหาร, หัวหน้าภาควิชา, อาจารย์ผู้แทนคณาจารย์, และสายสนับสนุน) และประเภทเมนูอาหารว่าง (แซนวิช, ซาลาเปาและขนมจีบ, ผลไม้ตามฤดูกาล, ข้าวเหนียว, และเบเกอรี่) ซึ่งตรงตามเงื่อนไขอย่างครบถ้วน

ตัวแปรทั้งสองตัวที่ระบุไว้ตรงตามเงื่อนไขของการใช้สถิติ Chi-square Test of Independence อย่างครบถ้วน ด้วยเหตุผลทางสถิติดังนี้

(1) ระดับการวัดของตัวแปร (Measurement Level):

การทดสอบด้วย Chi-square กำหนดให้ตัวแปรทั้งสองตัวต้องเป็น ตัวแปรเชิงหมวดหมู่ (Categorical Variables) หรือข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative Data) ที่แบ่งตามกลุ่มหรือประเภท ไม่ใช่ตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative Variables) ที่มีค่าเป็นตัวเลขต่อเนื่อง

- ตัวแปรอิสระ (Independent Variable): ตำแหน่งงานของผู้เข้าร่วมประชุม แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ผู้บริหาร, หัวหน้าภาควิชา, อาจารย์ผู้แทนคณาจารย์, และสายสนับสนุน ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพแบบ Nominal Scale
- ตัวแปรตาม (Dependent Variable): ประเภทเมนูอาหารว่าง แบ่งเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ แซนวิช, ซาลาเปาและขนมจีบ, ผลไม้ตามฤดูกาล, ข้าวเหนียว, และเบเกอรี่ ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพแบบ Nominal Scale เช่นกัน

(2) การสร้างตารางสรุปผล (Contingency Table):

เมื่อตัวแปรทั้งสองเป็นข้อมูลแบบแบ่งกลุ่ม ทำให้สามารถนำมาแจกแจงความถี่ร่วมกันในรูปของตารางสองทาง (Contingency Table) ได้ โดยในกรณีนี้คือตารางขนาด 4x5 (4 แถวของตำแหน่งงาน และ 5 คอลัมน์ของประเภทเมนูอาหารว่าง)

(3) ความเป็นอิสระและลักษณะเฉพาะของข้อมูล (Mutually Exclusive Categories):

หมวดหมู่ของตัวแปรทั้งสองถูกออกแบบให้มีความชัดเจนและแยกขาดจากกัน (Mutually Exclusive) กล่าวคือ บุคลากร 1 คนจะสังกัดตำแหน่งงานเพียงกลุ่มเดียว และเลือกอาหารว่างหลักเพียง 1 เมนู ทำให้ข้อมูลในแต่ละเซลล์มีความเป็นอิสระต่อกัน (Independence of Observations)

ด้วยเงื่อนไขทั้ง 3 ประการนี้ ตัวแปรทั้งสองจึงสอดคล้องกับข้อกำหนดเบื้องต้นของสถิติ Chi-square Test of Independence อย่างสมบูรณ์

5.1 วิเคราะห์โครงสร้างกลุ่มประชากรและพฤติกรรมการบริโภคภาพรวม (Frequency Analysis)

กลุ่มเป้าหมายในการศึกษาประกอบด้วยคณะกรรมการประจำคณะจำนวน 38 ท่าน โดยมีโครงสร้างตำแหน่งงานหลัก คือ หัวหน้าภาควิชา (ร้อยละ 50.0) รองลงมาคือกลุ่มผู้บริหารคณะ (ร้อยละ 28.9) กลุ่มอาจารย์ผู้แทนคณาจารย์ และบุคลากรสายสนับสนุน (กลุ่มละร้อยละ 10.5) (ตารางที่ 2)

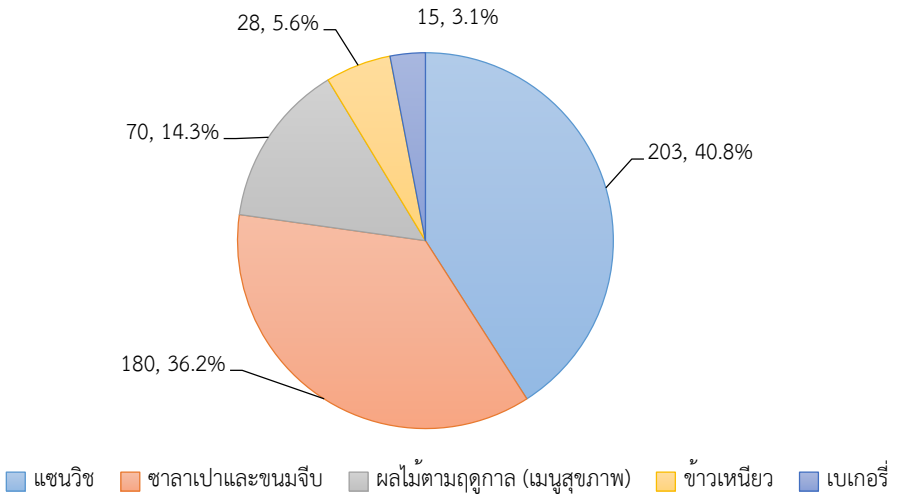
ในด้านความนิยมของอาหารว่าง พบว่ารายการที่ได้รับการเลือกสูงสุดคือ “แซนวิช” จำนวน 203 ครั้ง (ร้อยละ 40.8) ตามด้วย “ซาลาเปาและขนมจีบ” จำนวน 180 ครั้ง (ร้อยละ 36.2) ซึ่งทั้งสองประเภทครองสัดส่วนรวมกันถึงร้อยละ 77 ของความต้องการทั้งหมด สะท้อนถึงพฤติกรรมการเลือกอาหารที่เน้นความสะดวกและให้พลังงานสูง ขณะที่เมนูสุขภาพอย่างผลไม้ตามฤดูกาล ได้รับความนิยมอยู่ที่ประมาณร้อยละ 14 (ตารางที่ 3 และรูปที่ 1)

ตารางที่ 2 สัดส่วนตำแหน่งงานในการประชุมคณะกรรมการประจำคณะ

ตำแหน่งงาน	สัดส่วน (ร้อยละ)
หัวหน้าภาควิชา	50.0%
ผู้บริหาร (คณบดี/ รองคณบดี)	28.9%
อาจารย์ผู้แทนคณาจารย์	10.5%
บุคลากรสายสนับสนุน	10.5%

ตารางที่ 3 สัดส่วนความนิยมในการเลือกอาหารว่าง

รายการอาหาร	จำนวนครั้งที่เลือก	สัดส่วน (ร้อยละ)
แซนวิช	203	40.8%
ซาลาเปาและขนมจีบ	180	36.2%
ผลไม้ตามฤดูกาล (เมนูสุขภาพ)	70	14.3%
ข้าวเหนียว	28	5.6%
เบเกอรี่	15	3.1%

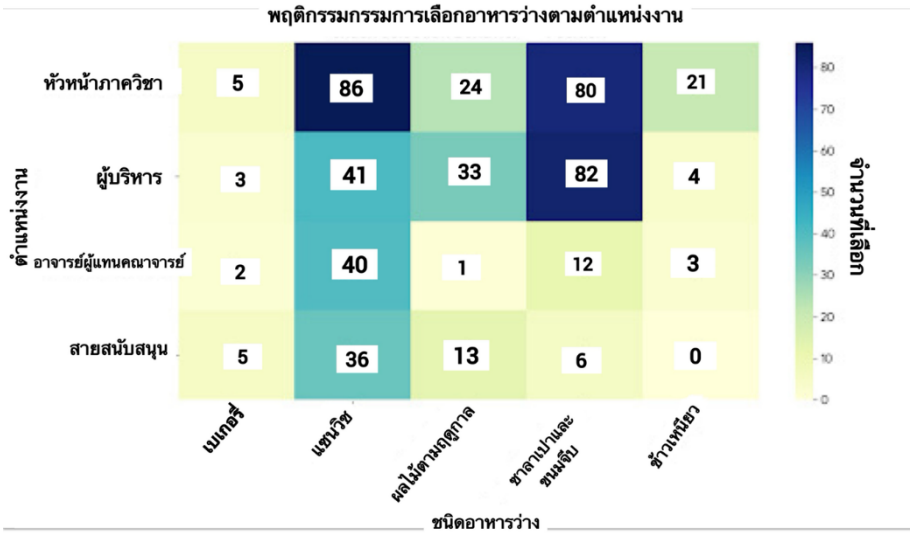


รูปที่ 1 สัดส่วนความนิยมในการเลือกอาหารว่าง

5.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมจำแนกตามกลุ่มประชากร (Group Preference Analysis)

ผลการทดสอบทางสถิติด้วย Chi-square พบค่าสถิติเท่ากับ 84.4856 และมีค่า P-value < 0.001 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งหน้าที่การงานมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการเลือกอาหารว่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 2 และตารางที่ 4) โดยมีอัตลักษณ์การบริโภคที่ชัดเจนดังนี้:

- กลุ่มผู้บริหารคณะ: เน้นความอิ่มท้องและรสชาติที่คุ้นเคย โดยเลือก “ซาลาเปาและขนมจีบ” สูงถึงร้อยละ 50.3
- กลุ่มอาจารย์ผู้แทนคณาจารย์: แสดงออกถึงความพึงพอใจที่เป็นเอกภาพสูงสุด โดยเลือก “แซนวิช” ถึงร้อยละ 69.0 เพื่อความสะดวกในการทำงาน
- กลุ่มหัวหน้าภาควิชา: มีความหลากหลายในการบริโภคสูง และเป็นกลุ่มเดียวที่มีการเลือก “ข้าวเหนียว” ร้อยละ 9.7 อย่างโดดเด่น
- กลุ่มสายสนับสนุน: มุ่งเน้นสุขภาพและความหลากหลาย โดยมีสัดส่วนการเลือก “ผลไม้ตามฤดูกาล” สูงกว่ากลุ่มอื่น



รูปที่ 2 พฤติกรรมการเลือกอาหารตามตำแหน่งงาน ตามจำนวนความถี่

ตารางที่ 4 พฤติกรรมการเลือกอาหารตามตำแหน่งงาน ตามสัดส่วนความนิยมของชนิดอาหารว่าง

กลุ่มประชากร	เมนูที่เลือกสูงสุด/ โดดเด่น	สัดส่วนความนิยม
กลุ่มผู้บริหารคณะ	ชาลาเปาและขนมจีบ	50.3%
กลุ่มอาจารย์ผู้แทนคณาจารย์	แซนวิช	69.0%
กลุ่มหัวหน้าภาควิชา	มีความหลากหลาย (โดดเด่นเรื่องข้าวเหนียว)	แซนวิช 39.8% ชาลาเปาและขนมจีบ 37% ข้าวเหนียว 9.7%***
กลุ่มสายสนับสนุน	มีความหลากหลาย (โดดเด่นเรื่องผลไม้ตามฤดูกาล)	แซนวิช 60% ผลไม้ 21.7%***

5.3 วิเคราะห์แนวโน้มตามช่วงเวลาและความซ้ำซ้อน (Trend Analysis)

- การเปลี่ยนแปลงกระแสความนิยม (Trend Shift): ในช่วงต้นปี 2568 แซนวิชครองความนิยมสูงสุด แต่พบจุดเปลี่ยนสำคัญในเดือนพฤษภาคม 2568 เมื่อมีการนำเมนูชาลาเปาและขนมจีบเข้ามา ทำให้ความนิยมแซนวิชลดลงกึ่งหนึ่งทันที และเริ่มเข้าสู่สภาวะความต้องการคงที่ (Stabilized) ตั้งแต่เดือนกันยายน 2568 เป็นต้นไป
- ดัชนีความหลากหลาย (Variety Score): ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.22 ซึ่งถือว่าค่อนข้างต่ำ สะท้อนว่าบุคลากรส่วนใหญ่มีพฤติกรรมการเลือกเมนูเดิม (Loyalty) สูงถึงร้อยละ 70-80 โดยเฉพาะกลุ่มผู้บริหารและอาจารย์ ขณะที่กลุ่มสายสนับสนุนมักแสวงหาความแปลกใหม่

จากการวิเคราะห์ที่พบว่าพฤติกรรมการเลือกเมนูเดิมสูง โดยมีค่าเฉลี่ยความหลากหลายอยู่เพียง 0.22 จะเห็นได้ว่า ความซ้ำซากของเมนู (Menu Monotony) อาจส่งผลกระทบโดยตรงต่อความพึงพอใจและความใส่ใจของคนในองค์กรในระยะยาว ในทางจิตวิทยาและพฤติกรรมศาสตร์ ความซ้ำซากส่งผลดังนี้:

- ความล้าจากการตัดสินใจ (Decision Fatigue) ที่นำไปสู่พฤติกรรมเดิมๆ: เมื่อเมนูไม่มีความแปลกใหม่ ผู้เข้าประชุมจะเลือกเมนูเดิมที่คุ้นเคยโดยอัตโนมัติ (Status Quo Bias) แม้จะเริ่มรู้สึกเบื่อ ซึ่งส่งผลให้ "ดัชนีความหลากหลาย" (Variety Score) ค่อนข้างต่ำ
- ความพึงพอใจลดลง (Sensory-Specific Satiety): การรับรสเดิมซ้ำๆ ทำให้ความสุขจากการรับประทานอาหารลดลง ซึ่งอาจส่งผลต่อบรรยากาศในที่ประชุมและการมีส่วนร่วม
- โอกาสในการส่งเสริมสุขภาพลดลง หากเมนูที่ซ้ำซากเป็นเมนูให้พลังงานสูง (เช่น แซนวิช หรือขนมจีบ) การไม่หมุนเวียนเมนูจะทำให้ผู้เข้าประชุมได้รับสารอาหารที่ไม่สมดุลในระยะยาว

การวิเคราะห์นี้ (ตารางที่ 5) สามารถนำแนวทางการใช้ระบบดิจิทัลมาช่วยโดยช่วยการหมุนเวียนเมนู (Menu Rotation Strategy) ยกระดับ Google Sheet หรือระบบจองอาหารเดิม ให้กลายเป็นเครื่องมือบริหารจัดการความหลากหลายได้ดังนี้:

ก. ระบบแจ้งเตือนเมนูยอดนิยม (Insight-Driven Rotation): ใช้ข้อมูลจาก Python ที่วิเคราะห์ไว้มาตั้งเงื่อนไขในระบบ เช่น หากเมนู "แซนวิช" ถูกเลือกติดต่อกันเกิน 3 ครั้ง ระบบจะทำการ "พักเมนู" (Cool-down period) และนำเสนอเมนูทดแทนที่มีลักษณะใกล้เคียงกันแต่เป็นตัวเลือกสุขภาพมากขึ้น

ข. การสุ่มเมนูประจำเดือน (Randomized Variety): สร้าง Dashboard ที่รวมรายชื่อร้านค้าและเมนูทั้งหมดไว้ แล้วใช้ฟังก์ชันสุ่ม (Random) เพื่อนำเสนอเมนู "Highlight of the Month" ในหน้าแรกของแบบฟอร์มจองอาหาร เพื่อดึงดูดความสนใจและลดความซ้ำซาก

ค. สถาปัตยกรรมการเลือก (Choice Architecture):

- Default Option Rotation: เปลี่ยนเมนูเริ่มต้น (Default) ในระบบจองแต่ละครั้งไม่ให้ซ้ำกัน เช่น ครั้งนี้ตั้งค่าเริ่มต้นเป็น "ผลไม้" ครั้งหน้าเป็น "ขนมไทยแคลอรี่ต่ำ" เพื่อกระตุ้นให้ผู้ใช้ลองเมนูใหม่ๆ
- Visual Nudging: ในระบบจองอาหารดิจิทัล ให้แสดงรูปภาพเมนูใหม่ๆ หรือเมนูที่ไม่ค่อยถูกเลือกในขนาดที่ใหญ่กว่า หรือวางไว้ในตำแหน่งที่มองเห็นง่ายที่สุด (Top of the list)
- Feedback Loop เพิ่มช่อง "คะแนนความพึงพอใจ" หรือ "อยากลองเมนูอะไรในครั้งหน้า" สั้นๆ หลังกดจอง ข้อมูลนี้จะถูกนำมาคำนวณร่วมกับ Variety Score เพื่อปรับเปลี่ยนสัดส่วนการสั่งซื้อในรอบถัดไปได้อย่างแม่นยำ (Demand-Driven Diversity)

การใช้ระบบดิจิทัลจะทำหน้าที่เป็น "ผู้จัดการความพึงพอใจ" โดยการใช้ข้อมูลความชอบ (Preference Data) มาสร้างสมดุลระหว่างเมนูยอดนิยม (Efficiency) และเมนูใหม่ๆ (Diversity) เพื่อตอบโจทย์ SDG 3 ด้านสุขภาวะที่ดีของบุคลากรในคณะ

ส่วนกระบวนการตรวจสอบหลังการประชุม (Post-Meeting Audit) ที่ถูกนำมาใช้เป็นเป็นกลไกสำคัญ ในการบันทึกและวิเคราะห์ปริมาณอาหารเหลือ เพื่อประเมินประสิทธิภาพการจัดการนี้ ส่งผลให้สามารถควบคุมการจัดอาหารได้ตามความต้องการจริงและบรรลุเป้าหมาย ขยะอาหารเป็นศูนย์ (Zero Waste) ได้อย่างเป็นรูปธรรมทุกการประชุม

ตารางที่ 5 สรุปการวิเคราะห์ จากการวิเคราะห์เชิงสถิติ (P< 0.001) สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

หัวข้อการวิเคราะห์	ผลการศึกษาสำคัญ	การแปลผลเชิงสถิติ/ นโยบาย
ความแม่นยำของระบบ	100% Demand Accuracy	ระบบ Google Sheet ช่วยกำจัดขยะอาหารให้เป็นศูนย์ (Zero Waste)
การเลือกเมนูเดิมซ้ำ	70-80% Repeat Selection	ผู้เข้าประชุมส่วนใหญ่เลือกเมนูเดิมที่เคยเลือก (Consumer Loyalty)
อิทธิพลของตำแหน่ง	นัยสำคัญทางสถิติสูง	ตำแหน่งงานเป็นปัจจัยหลักในการพยากรณ์ เมนูอาหารว่าง
เป้าหมายความยั่งยืน	14% Healthy Selection	ปัจจุบันเมนูสุขภาพ (SDG 3) ยังมีสัดส่วนน้อย ควรใช้เทคนิคการสะกิด (Nudge) เพิ่มเติม

5.4 บทวิจารณ์และอภิปรายผลแสดงตามกรอบความยั่งยืน (Discussion & SDGs Integration)

1. นวัตกรรมดิจิทัลเพื่อขจัดความไม่สมมาตรของข้อมูล (Digital Transformation)

งานวิจัยชิ้นนี้แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์เชิงบวกอย่างเป็นรูปธรรมจากการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบดิจิทัล (Digital Transformation) โดยการนำ Google Sheet มาใช้เป็นเครื่องมือหลักในการสั่งจองอาหารว่างล่วงหน้า ซึ่งถือเป็นนวัตกรรมที่เรียบง่าย แต่ทรงพลังในระดับปฏิบัติการ

- การแก้ปัญหา Information Asymmetry: ในอดีตการจัดเลี้ยงมักเผชิญกับ "ความไม่สมมาตรของข้อมูล" ซึ่งฝ่ายจัดเลี้ยงไม่ทราบความต้องการที่แท้จริง การใช้ระบบ Cloud-based ช่วยให้เกิดข้อมูลแบบ Real-time ที่แม่นยำ สอดคล้องกับแนวคิดของ Garrone et al. (2014) [6,7] ที่ระบุว่าการสร้างความตระหนักรู้ด้านข้อมูล (Information Awareness) เป็นปัจจัยสำคัญในการลดความสูญเสียและขยะอาหารในอุตสาหกรรมการจัดเลี้ยง
- การเพิ่มอำนาจการตัดสินใจ (Autonomy): ระบบนี้เป็นการคืนสิทธิในการเลือกให้แก่ผู้บริโภค ซึ่งสอดคล้องกับหลักจิตวิทยาองค์กรที่ว่าการได้รับประทานอาหารที่ตรงตามความชอบส่วนบุคคลจะสร้างความรู้สึกที่ดีและผูกพันต่อองค์กรมากขึ้น
- การลดภาระงานธุรการ: การเปลี่ยนจากการจดบันทึกแบบเดิมมาเป็นการสรุปยอดอัตโนมัติ (Summary Dashboard) ช่วยให้หน่วยพิธีการทำงานได้รวดเร็วและลดความผิดพลาดในการสื่อสารได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้กระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามมาตรฐานการบริหารจัดการสมัยใหม่

2. กลยุทธ์การพยากรณ์ความต้องการและเป้าหมาย Zero Waste (SDG 9 & 12)

ข้อมูลพฤติกรรมที่คงที่ (Stabilized Trend) ช่วยให้ฝ่ายจัดเลี้ยงทำ การพยากรณ์ความต้องการ (Demand Forecasting) ได้แม่นยำ 100% มุ่งสู่เป้าหมาย Zero Waste ตามแนวคิดของ Filimonau & De Coteau (2019) [8] การลดขยะอาหารตั้งแต่ต้นทางและการรณรงค์ลดพลาสติก (พกแก้วน้ำส่วนตัว) เป็นการเปลี่ยนวัฒนธรรมองค์กรสู่การบริโภคที่รับผิดชอบอย่างยั่งยืน (Principato et al., 2021) [11] การวิเคราะห์พฤติกรรมและการวางแผนในอนาคตที่สอดคล้องกับ SDG จากการวิจัยได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลผ่าน Python ที่ช่วยให้เห็นภาพรวมของพฤติกรรมผู้บริโภค ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญในการวางแผนเชิงกลยุทธ์ตามกรอบ SDG 9 (Innovation & Infrastructure) และ SDG 12 (Responsible Consumption and Production)

การพยากรณ์ความต้องการ (Demand Forecasting): จากข้อมูลพบว่าพฤติกรรมผู้บริโภคเข้าสู่สภาวะ "คงที่" ตั้งแต่เดือนกันยายน 2025 โดยนิยมแซนวิชและซาลาเปาและขนมจีบรวมกันกว่า 77% ข้อมูลนี้ช่วยให้ฝ่ายจัดซื้อ สามารถสั่งอาหารตามจำนวนจริง 100% ปัจจุบันในช่วงระยะเวลาของการศึกษา ไม่พบขยะอาหารเหลือทิ้ง เนื่องจากอาหารถูกเลือกตามความชอบของแต่ละบุคคล หากผู้ประชุมไม่ได้บริโภคในขณะประชุม จึงนำอาหารกลับไปบริโภคในภายหลัง การดำเนินการดังกล่าวได้มุ่งสู่

เป้าหมาย Zero Waste ซึ่ง Filimonau & De Coteau (2019) [8] ได้เน้นย้ำว่าเป็นหัวใจหลักของการจัดการขยะอาหารในภาคบริการ

ความหลากหลายของการเลือกอาหาร (Variety Score): ด้วยดัชนีความหลากหลายที่ค่อนข้างต่ำ (0.22) ผู้วิจัยจึงเสนอโมเดล "ยึดติดเมนูหลักแต่สลับเมนูทางเลือก" เพื่อตอบโจทย์ทั้งกลุ่มที่มีความคงที่ในการเมนูเดิมสูง (High Loyalty) และกลุ่มที่ต้องการความแปลกใหม่

การจัดการข้อมูลย้อนหลัง: การมี Data Log ช่วยให้องค์กรไม่ต้องใช้การคาดเดาอีกต่อไป แต่ใช้ข้อมูล (Data-Driven) ในการตัดสินใจแทน ซึ่งเป็นคุณลักษณะสำคัญของ Smart Faculty ที่มุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยีดิจิทัล มาเป็นอาวุธหลักในการต่อสู้กับความสิ้นเปลือง (Principato et al., 2021) [11]

3. สถาปัตยกรรมการเลือกเพื่อสุขภาวะ (Nudging for Health - SDG 3)

งานวิจัยนี้จะสามารถผลักดันให้ใช้กลไก “การสะกิด” (Nudging) ตามทฤษฎีของ Thaler & Sunstein (2008)*(5)* เพื่อให้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ensaff et al. (2015) [10] ที่ยืนยันว่าการออกแบบทางเลือกสามารถจูงใจให้เกิดพฤติกรรมการบริโภคที่ดีต่อสุขภาพได้ โดยไม่ต้องใช้การบังคับ

จุดเด่นที่สำคัญที่สุดประการหนึ่งของงานวิจัยนี้ (ตารางที่ 6) คือการสามารถใช้หลักการ "สถาปัตยกรรมการเลือก" (Choice Architecture) เพื่อส่งเสริม SDG 3 (Good Health and Well-being) ตามวาระการพัฒนาที่ยั่งยืนปี 2030 (United Nations, 2015) [1] มาดำเนินการโดยพัฒนาระบบดังนี้

- กลไก Nudging: การจัดวางแผนในการจัดวางเมนูสุขภาพ เช่น ผลไม้ตามฤดูกาลหรืออาหารโซเดียมต่ำ ไว้ในตำแหน่งที่สังเกตเห็นง่ายในระบบจองดิจิทัล เป็นการใช้แนวคิดของ Thaler & Sunstein (2008) [7] ในการ "สะกิด" ให้ผู้บริหารเลือกสิ่งที่ดีต่อร่างกายโดยสมัครใจ โดยไม่ใช้วิธีการบังคับ การดำเนินงานสอดคล้องกับแนวคิดของ Lehner et al. (2016) [12] ที่ว่า Nudging เป็นเครื่องมือที่มีอนาคตไกลสำหรับการบริโภคที่ยั่งยืน ช่วยเปลี่ยนวัฒนธรรมองค์กรให้ใส่ใจสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นรูปธรรม
- สถิติการตอบรับอาหารสุขภาพ: ข้อมูลพบว่าผลไม้ตามฤดูกาลในปัจจุบันความนิยม 14% หากมีการเปลี่ยนลำดับการเลือก อาจสะท้อนถึงการใช้ Nudging ในสถานที่ทำงานเพื่อส่งเสริมทางเลือกอาหารที่ดีต่อสุขภาพ (Ensaff et al., 2015)[10]
- การกระตุ้นให้ผู้บริหารและบุคลากรเห็นความสำคัญของการมีบทบาทเป็นต้นแบบด้านสาธารณสุขในฐานะคณะทันตแพทยศาสตร์ จากการควบคุมโภชนาการและลดความเสี่ยงโรค NCDs โดยการปรับวิธีการบริโภค ผ่านการจัดเลี้ยงเป็นการสร้างบรรทัดฐานใหม่ให้กับการประชุมในระดับบริหาร

ตารางที่ 6 สรุปผลลัพธ์ตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

เป้าหมาย SDG	กลไกที่ใช้ในงานวิจัย	ผลลัพธ์เชิงประจักษ์
SDG 3: Health	Digital Nudging & Choice Architecture	เพิ่มการเลือกเมนูผลไม้และลดความเสี่ยง NCDs
SDG 9: Innovation	Google Sheet & Python Analysis	ลดภาระงานธุรการและใช้ Data-Driven แทนการคาดเดา
SDG 12: Sustainability	Demand Forecasting & Zero Waste Policy	ลดขยะอาหาร (Food Waste) เหลือ 0%

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างพฤติกรรมการบริโภคกับเป้าหมาย SDGs

หมวดหมู่การวิเคราะห์	องค์ประกอบ (Components)	ข้อมูลพฤติกรรมและความสอดคล้อง	เป้าหมายความยั่งยืน (SDGs)	ประสิทธิภาพและความหมายทางสถิติ
สุขภาพและธรรมชาติ (Health & Nature)	โปรไฟล์ทางโภชนาการ (Nutritional Profile)	ผลไม้ตามฤดูกาล: มีกากใยสูง อาหารสุขภาพ	SDG 3 (Target 3.4): ส่งเสริมสุขภาวะที่ดีและลดปัจจัยเสี่ยงโรค NCDs	มีสัดส่วนการเลือก 14.3% ซึ่งเป็นกลุ่มที่ควรได้รับการสนับสนุนเพิ่มขึ้น (Nudge)
นิสัยขององค์กร (Organizational Habits)	ลักษณะทางกายภาพ (Physical Traits)	แซนวิช, ซาลาเปา: เป็นอาหารแบบดั้งเดิม/ แปรรูป มีคาร์โบไฮเดรตและโซเดียมแฝงสูง	SDG 3: เป็นจุดที่ต้องเฝ้าระวังด้านสุขภาพบุคลากรในระยะยาว	มีการเลือกเมนูเดิมซ้ำ (Loyalty) สูงถึง 77% ของการเลือกทั้งหมด
ระบบสั่งจองดิจิทัล (Digital Pre-ordering)	ประสิทธิภาพการจัดการ (Efficiency)	ใช้การสั่งจองล่วงหน้า 100% เพื่อจับคู่ Demand และ Supply ให้ตรงกัน	SDG 12 (Target 12.3): ลดขยะอาหาร (Food Waste) จากการสั่งเกินความจำเป็น	100% Efficiency: สามารถกำจัดขยะส่วนเกิน (Excess Waste) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการวิเคราะห์ผ่านตารางข้างต้น (ตารางที่ 7) แสดงให้เห็นว่าคณะฯ มีความโดดเด่นอย่างมากในการขับเคลื่อน SDG 12 (Responsible Consumption) ผ่านระบบดิจิทัล ซึ่งทำให้กระบวนการจัดหาอาหารว่างมีประสิทธิภาพเชิงปริมาณสูงสุด (Zero Waste Policy)

อย่างไรก็ตาม ในมิติของ SDG 3 (Good Health) องค์กรยังมีช่องว่างในการพัฒนา (Gap Analysis) เนื่องจากพฤติกรรมส่วนใหญ่ ยังยึดติดกับอาหารกลุ่มแปรรูปที่มีคาร์โบไฮเดรตและโซเดียมสูง การใช้ข้อมูลนี้ในการปรับเปลี่ยนเมนูให้เป็น "ทางเลือกสุขภาพที่เข้าถึงง่าย" จะช่วยให้การดำเนินงานสอดคล้องกับเป้าหมายความยั่งยืนทั้งสองด้านอย่างสมดุล

5.5 การพัฒนางานวิจัย ในบริบทการประมวลผลข้อมูล และแนวทางในการประยุกต์ใช้เทคนิค Machine Learning และการวิเคราะห์เชิงทำนายขั้นสูง (Advanced Predictive Analytics) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

(1) บริบทการประมวลผลข้อมูลในปัจจุบัน

ในการศึกษาระยะที่ผ่านมา (15 ครั้ง, n = 497) ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ภาษา Python และสถิติเชิงอนุมาน (Chi-square) ในการประมวลผลข้อมูลเชิงประจักษ์ ซึ่งผลลัพธ์ช่วยให้องค์กรสามารถควบคุมการจัดเลี้ยงและลดขยะอาหาร (Food Waste) ให้เหลือศูนย์ (Zero Waste) ได้จริง อย่างไรก็ดี ผู้วิจัยเห็นว่าการวิเคราะห์ดังกล่าวยังคงเป็น การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Analytics) และ การวิเคราะห์เชิงอนุมาน (Inferential Statistics) ซึ่งยังไม่ได้ประยุกต์ใช้โมเดล Machine Learning ขั้นสูงในการทำนายความต้องการ

(2) แนวทางการประยุกต์ใช้ Machine Learning และการวิเคราะห์เชิงทำนาย

เพื่อให้การศึกษามีความสมบูรณ์ในเชิงเทคนิคและการทำนาย ผู้วิจัยขอเสนอแนวทางการขยายผลและการพัฒนาการวิจัยด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคขั้นสูงดังนี้

2.1 การพยากรณ์ด้วยอนุกรมเวลาขั้นสูง (Advanced Time Series Forecasting)

- แนวทางดำเนินการ: นำข้อมูลพฤติกรรมการบริโภคในอดีต (Historical Data) มาพัฒนาโมเดล เช่น ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) หรือ LSTM (Long Short-Term Memory) โดยวิเคราะห์

ร่วมกับปฏิทินกิจกรรมของคณะฯ เพื่อพยากรณ์ความต้องการอาหารว่างตามวาระการประชุมและช่วงเวลาในรอบปี (Seasonality)

- ประโยชน์ที่ได้: ช่วยให้ระบบสามารถปรับตัวในเชิงรุก (Proactive Demand Forecasting) โดยไม่ต้องรอให้ผู้ใช้กดจองในระบบก่อน

2.2 การประเมินปัจจัยด้วยการจำแนกประเภท (Classification Algorithms & Feature Importance)

- แนวทางดำเนินการ: ใช้อัลกอริทึมประเภทการเรียนรู้ของเครื่อง เช่น Random Forest หรือ Gradient Boosting เพื่อวิเคราะห์ตัวแปรเชิงลึก (Features) อาทิ ตำแหน่งงานของผู้เข้าร่วม, วาระการประชุม, และช่วงเวลา
- ประโยชน์ที่ได้: ทราบถึงน้ำหนักความสำคัญของปัจจัย (Feature Importance) ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเมนูอาหารว่างอย่างละเอียด ช่วยให้เข้าใจความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนของกลุ่มผู้บริโภคได้ดีกว่าการวิเคราะห์เชิงความถี่แบบดั้งเดิม

2.3 ระบบการแนะนำอาหารอัจฉริยะ (Intelligent Recommendation Systems)

- แนวทางดำเนินการ: พัฒนาต่อยอดระบบสถาปัตยกรรมการเลือก (Choice Architecture) ด้วยการใช้ Machine Learning เพื่อแนะนำเมนูอาหารทางเลือกเพื่อสุขภาพ (Healthy Alternatives) แบบอัตโนมัติให้เหมาะสมกับโปรไฟล์ของผู้เข้าร่วมประชุมแต่ละกลุ่ม
- ประโยชน์ที่ได้: ส่งเสริมสุขภาวะที่ดี (SDG 3) และลดการบริโภคอาหารประเภทแป้งและโซเดียมสูงลงอย่างเป็นรูปธรรม

การปรับและพัฒนาวิจัย โมเดลเชิงทำนายขั้นสูงอย่างละเอียดดังกล่าว เพื่อให้เป็นแนวทางปฏิบัติที่ดี (Best Practice) สำหรับการยกระดับองค์กรสู่ Smart Faculty อย่างเต็มรูปแบบ

6. สรุปผลการศึกษา

การศึกษาวิจัยเรื่องการพัฒนาระบบการจัดการจัดเลี้ยงรูปแบบเฉพาะบุคคล (Personalized Catering) สำหรับคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล มิใช่เพียงการปรับปรุงกระบวนการธุรการระดับส่วนงาน แต่คือการสร้างโมเดลการบริหารจัดการองค์กรที่สอดคล้องกับมาตรฐานสากล ผ่านการบูรณาการเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยอาศัยการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบดิจิทัล (Digital Transformation) ด้วยเครื่องมือที่เข้าถึงง่ายแต่มีประสิทธิภาพ ผลการดำเนินงานสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

1. การเปลี่ยนผ่านจากความเคยชินสู่การตัดสินใจด้วยข้อมูล (Data-Driven Decision Making) จากการใช้เครื่องมือพื้นฐานสู่นวัตกรรมการจัดการ (SDG 9) การประยุกต์ใช้ Google Sheets เป็นตัวขับเคลื่อนดิจิทัล (Digital Enabler) สามารถแก้ปัญหาความซ้ำซ้อน และลดความขัดแย้งของข้อมูลได้จริง ถือเป็นการสร้างโครงสร้างพื้นฐานในการทำงานที่มีประสิทธิภาพ โดยไม่ต้องใช้ทรัพยากรสูง แต่ให้ผลลัพธ์ที่มีนัยสำคัญต่อการบริหารงานจัดการ การตัดสินใจบนฐานข้อมูล (SDG 3) โดยการใช้ Chi-square ทดสอบความสัมพันธ์ช่วยยืนยันว่า พฤติกรรมการบริโภคมีความแตกต่างกันตามกลุ่มผู้ปฏิบัติงาน ข้อมูลนี้ช่วยให้องค์กรสามารถออกแบบอาหารว่างที่ตอบโจทย์เฉพาะบุคคล (Personalized) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความพึงพอใจ และสุขภาวะที่ดีของบุคลากร แทนการจัดเลี้ยงแบบหว่านแห (One-size-fits-all) ผ่าน Google Sheets ซึ่งไม่เพียงแต่ช่วยลดความผิดพลาดในการสื่อสาร แต่ยังช่วยให้ผู้รับผิดชอบในการดำเนินการ สามารถวางแผนงบประมาณได้อย่างแม่นยำ ลดภาระงานที่ซ้ำซ้อน และสร้างความพึงพอใจสูงสุดแก่ผู้เข้าร่วมประชุม

2. นวัตกรรมการจัดการเพื่อความยั่งยืน (SDGs in Action) งานวิจัยนี้เป็นรูปธรรมของการนำเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) มาปรับใช้ในระดับองค์กร โดยเฉพาะ SDG 12 (Consumption and Production) การใช้กลไกการสะกิด (Nudging) ให้บุคลากรเลือกเมนูด้วยตนเองล่วงหน้า ส่งผลให้ขยะอาหาร (Food Waste) ลดลงจนเป็นศูนย์ (Zero Waste) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสำคัญ

ของการเป็น "องค์กรสีเขียว" ที่ไม่ได้มองเพียงแค่การประหยัดงบประมาณ แต่เป็นการรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการบริโภคที่ยั่งยืนอย่างแท้จริง

7. การนำไปประยุกต์ใช้งาน (Practical Applications) เพื่อให้ผลการวิจัยนี้ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

- การประยุกต์ใช้ในองค์กร: หน่วยงานภายในคณะฯ หรือมหาวิทยาลัยสามารถนำรูปแบบ "Personalized Catering Model" ไปใช้เป็นมาตรฐาน (Standard Practice) ในการจัดประชุมทุกระดับ เพื่อการบริหารงบประมาณอย่างคุ้มค่าและลดภาระงานธุรการในระยะยาว
- การขยายผลด้วยเทคโนโลยี: ข้อมูลพฤติกรรมการสั่งอาหารที่ถูกบันทึกไว้อย่างเป็นระบบ สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นระบบจัดซื้อจัดจ้างอัจฉริยะ หรือระบบวิเคราะห์เมนูสุขภาพ (Healthy Menu Dashboard) เพื่อยกระดับสู่การเป็นองค์กรต้นแบบด้านความยั่งยืน
- การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมบุคลากร: ควรใช้ผลการวิจัยนี้ในการประชาสัมพันธ์เพื่อรณรงค์ให้บุคลากรเห็นความสำคัญของการลดขยะอาหาร โดยแสดงให้เห็นว่า "การเลือก" เพียงครั้งเดียวสามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมหาศาล รวมทั้งสามารถปรับพฤติกรรมการบริโภคของบุคลากรให้มีสุขภาวะที่ดี

ความสำเร็จของงานวิจัยนี้มิใช่เพียงการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการบริหารจัดการ แต่คือการปรับเปลี่ยน "วัฒนธรรมองค์กร" ให้ก้าวสู่การเป็น Smart & Sustainable Faculty ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล (Data-Driven) ควบคู่ไปกับการมีความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] United Nations: Transforming our world. the 2030 Agenda for Sustainable Development, UN General Assembly, 2015.

[2] Sorensen, G., Stoddard, A. M., Hunt, M. K., Hebert, J. R., Ockene, J. K., Papandonatos, G. D., & Thomsen, M. T. (2004). The influence of work organization on workers' health: A study of production workers, supervisors, and white-collar workers. American Journal of Public Health, 94(7), 1136–1143.

[3] Smithdorf, G., Reynders, J., Meyer, E., November, R., & Malema, M. (2022). The assessment of health risk behaviours among the administrative staff at an institution of higher education. The Open Public Health Journal, 15, e187494452208100.

[4] Devine, C. M., Jastran, M., Jabs, J., Wethington, E., Farell, T. J., & Bisogni, C. A. (2006). Work and family conditions as determinants of fruit and vegetable consumption among working adults. Journal of Nutrition Education and Behavior, 38(5), 281–289.

[5] Lallukka, T., Laaksonen, M., Silventoinen, K., & Rahkonen, O. (2004). Associations of job strain and working conditions with health-related behaviors. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, 30(2), 126–134.

[6] Garrone, P., Melacini, M., & Perego, A. (2014). Information awareness and food waste reduction in managing closed food supply chains. Ecological Economics, 99, 146–154.

[7] Garrone, P., Melacini, M., & Perego, A. (2014). Opening the black box of food waste reduction. International Journal of Logistics Management, 25(2), 318-335.

[8] Filimonau, V., & De Coteau, D. (2019). Food waste management in hospitality operations: A critical review. International Journal of Hospitality Management, 76, 172-187.

[9] Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2008). Nudge. Improving decisions about health, wealth, and happiness, Yale University Press.

[10] Ensaff, H., Homer, M., Sahota, P., Cotterill, S., Devine-Wright, H., & Thompson, W. (2015). Catering for health: A workplace intervention using nudging to promote healthier food choices. Public Health Nutrition, 18(12), 2203–2211.

[11] Principato, L., Mattia, G., Di Leo, A., & Pratesi, C. A. (2022). The role of digital technologies in the fight against food waste: A systematic review. British Food Journal, 124(13), 1–20.

[12] Lehner, M., Mont, O., & Heiskanen, E. (2016). Nudging – A promising tool for sustainable consumption? Journal of Cleaner Production, 134, 166–177.

ผู้ตรวจประเมินบทความ

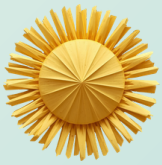
การประชุมวิชาการระดับชาติ การพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 2

(EN Sustainable Development National Conference # 2; ENSD Conference)

1.	ศ. ดร.ดวงรัตน์ อินทร	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
2.	ศ. ดร.เบญจภรณ์ ประภักดี	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
3.	รศ. ดร.กรวรรณ ศรีงาม	คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
4.	รศ. ดร.จรัณธร บุญญานุภาพ	คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร
5.	รศ. ดร.นพพล อรุณรัตน์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
6.	รศ. ดร.พันธนา ตอเงิน	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7.	รศ. ดร.สุกัญญา เสรีนนท์ชัย	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
8.	รศ. ดร.สุวิทย์ กิระวิทยา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9.	รศ. ดร.ธรรมรัตน์ พุทธไทย	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
10.	รศ. ดร.ภศิชา ไชยแก้ว	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
11.	รศ. ดร.จารุวรรณ วงศ์ทะเนตร	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
12.	รศ. ดร.ต่อลาภ คำโย	มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ
13.	ผศ. ดร.ปรียาพร เกิดฤทธิ์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
14.	ผศ. ดร.พรสิริ ชาติปรีชา	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
15.	ผศ. ดร.ประดับดวง เกียรติศักดิ์ศิริ	คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
16.	ผศ. ดร.เพียงใจ พีระเกียรติขจร	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
17.	ผศ. ภูมิศร์ ทับทิมแดง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
18.	ผศ. ดร.มณฑิรา ยุติธรรม	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
19.	ผศ. ดร.วิชญา รงค์สยามานนท์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
20.	ผศ. ดร.วันวิสา ปั้นศักดิ์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
21.	ผศ. ดร.วีณารัตน์ อัครภูติณัฐ	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
22.	ผศ. ดร.เสาวลักษณ์ ไกรนรา	สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
23.	ผศ. ดร.อรันย์ ศรีรัตนา ทาบูกานอน	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
24.	ผศ. จิรทยา เริ่มมนตรี	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ผู้ตรวจประเมินบทความ (ต่อ)

25. ผศ. ดร.นวพร กาญจนศิรานนท์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
26. ผศ. ศิรสิทธิ์ วงศ์วาสนา	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
27. ดร.คณวัฒน์ เปาอินทร	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
28. ดร.จักรพล พันธุวงศ์ภักดี	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
29. ดร.ชิษณุพงศ์ ประทุม	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
30. ดร.ตติยา ศิริพงศ์ปรีดา	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
31. ดร.ไตรรัตน์ เมืองทองอ่อน	ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (บางมด)
32. ดร.แพรวา วงศ์บุรี	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
33. ดร.ภาณุวัฒน์ ประเสริฐพงษ์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
34. ดร.พิสุทธิ์ นาคหมื่นไวย	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
35. ดร.สุวิน อภิชาติพัฒนศิริ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
36. ดร.อภิสิทธิ์ ภาสดา	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
37. ดร.อชิรญา ชัยเฉลิมปรีชา	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
38. นางสาวคันธรส ชำนาญกิจ	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
39. นายวรงค์ บุญเชิดชู	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
40. นายอภิรมย์ อังสุรัตน์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล



EN SUSTAINABLE DEVELOPMENT

NATIONAL CONFERENCE #2

การประชุมวิชาการระดับชาติ
การพัฒนาอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 2

5 มิถุนายน 2569

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