

การพัฒนาเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาจากเปลือกมังคุดเพื่อดูดซับไมโครพลาสติกจากการซักผ้าโพลีเอสเตอร์

ธินันท์ คำศรี, ปริญญาพร สุขสกุล, รุ่งวิภา คະศรี, และสุธี จุ่งลก*

เบตง วีระราษฎร์ประสาน บ้านเลขที่ 19 ถนนรวมวิทย์ ตำบลเบตง อำเภอเบตง จังหวัดยะลา 95110

*Corresponding author: gaschem4159@kbyala.ac.th

บทคัดย่อ

ไมโครพลาสติกจากเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ที่หลุดออกมาในกระบวนการซักผ้าเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาที่ผลิตจากเปลือกมังคุดเพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับไมโครพลาสติกจากน้ำซักผ้า โดยเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพพัฒนาจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ และเม็ดไบโอชาผลิตจากเปลือกมังคุดด้วยกระบวนการไพโรไลซิส ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร โดยศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไมโครพลาสติกในน้ำที่จากการซักผ้าโพลีเอสเตอร์ การเปรียบเทียบการใช้เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาจากเปลือกมังคุดและใช้ร่วมกัน ผลการทดลองพบว่าการใช้เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพ ร่วมกับเม็ดไบโอชาสามารถลดปริมาณไมโครพลาสติกในน้ำซักผ้าได้สูงกว่าการใช้วัสดุเพียงชนิดเดียว เนื่องจากโครงสร้างรูพรุนและพื้นผิว ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการดักจับไมโครพลาสติกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพทำงานร่วมกับเม็ดไบโอชาจากเปลือกมังคุดมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นวัสดุดูดซับไมโครพลาสติกในกระบวนการปล่อยน้ำที่จากการซักผ้า 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 ราคาอ่อนโยน และดูแลรักษาง่าย [4]

อย่างไรก็ตาม การซักเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์สามารถก่อให้เกิดการหลุดร่วงของเส้นใยขนาดเล็กจำนวนมากสู่แหล่งน้ำผ่านน้ำทิ้งจากเครื่องซักผ้า และแม้ระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปจะสามารถกำจัดของแข็งบางส่วนได้ แต่ไมโครไฟเบอร์จำนวนหนึ่งยังสามารถหลุดรอดไปสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ เนื่องจากมีขนาดเล็กมากและมีลักษณะเป็นเส้นใยที่ยากต่อการกรองด้วยวิธีปกติ [3] ส่งผลให้ไมโครพลาสติกสะสมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในสิ่งแวดล้อม ซึ่งในประเทศไทยเองก็พบการปนเปื้อนของไมโครพลาสติกในพื้นที่ชายหาดหลายแห่ง [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 “ไบโอชาร์” (Biochar) เป็นวัสดุคาร์บอนที่ได้จากการแปรรูปชีวมวลด้วยกระบวนการไพโรไลซิสภายใต้สภาวะจำกัดออกซิเจน ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นคือมีพื้นที่ผิวสูง มีรูพรุนจำนวนมาก และสามารถดูดซับสารปนเปื้อนในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6] นอกจากนี้ งานวิจัยหลายฉบับยังรายงานว่าไบโอชาร์มีศักยภาพในการกำจัดสารปนเปื้อนทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์จากน้ำได้ดี และเป็นวัสดุดูดซับที่มีต้นทุนต่ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [8],[9]

การผลิตไบโอชาร์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น เปลือกมังคุด ซึ่งเป็นของเหลือจากการบริโภคและอุตสาหกรรมอาหาร ยังเป็นแนวทางเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้ง ลดปริมาณขยะอินทรีย์ และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

ดังนั้น โครงการนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาร์จากเปลือกมังคุด เพื่อใช้เป็นวัสดุสำหรับดักจับและดูดซับไมโครพลาสติกจากเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ในน้ำซักผ้า โดยอาศัยคุณสมบัติของไฮโดรเจลในการอุ้มน้ำและสร้างโครงสร้างรูพรุนร่วมกับคุณสมบัติของไบโอชาร์ในการเพิ่มพื้นที่ผิวและเพิ่มศักยภาพการดูดซับ อันจะนำไปสู่การพัฒนาวัสดุที่สามารถประยุกต์ใช้ได้จริงในระดับครัวเรือน เพื่อลดการปล่อยไมโครพลาสติกสู่สิ่งแวดล้อม และเป็นแนวทางสนับสนุนการจัดการมลพิษทางน้ำอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาร์จากเปลือกมังคุดสำหรับใช้ในการดักจับและดูดซับไมโครพลาสติกจากน้ำซักผ้า
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพ เม็ดไบโอชาร์ และเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาร์ในการลดปริมาณไมโครพลาสติกจากเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ในน้ำซักผ้า

3. ขอบเขตของการศึกษา

โครงการ “การพัฒนาเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาจากเปลือกมังคุดเพื่อดักจับไมโครพลาสติกจากเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ในน้ำซักผ้า” มีขอบเขตการศึกษาดังนี้

3.1 ขอบเขตด้านวัสดุและการพัฒนา

ศึกษาการพัฒนาเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพ และเม็ดไบโอชาที่ผลิตจากเปลือกมังคุด รวมถึงการประยุกต์ใช้ร่วมกัน ในรูปแบบเม็ดวัสดุสำหรับการดักจับและดูดซับไมโครพลาสติกในน้ำซักผ้า โดยจำกัดการศึกษาเฉพาะการใช้งานในสภาวะที่ใกล้เคียงกับการซักผ้าในระดับครัวเรือน ไมโครพลาสติกที่ศึกษาในโครงการนี้มาจากเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ ซึ่งปล่อยไมโครไฟเบอร์ออกมาในระหว่างการซักเท่านั้น ไม่ครอบคลุมไมโครพลาสติกจากแหล่งอื่น เช่น พลาสติกแตกตัวจากบรรจุภัณฑ์ หรือไมโครพลาสติกจากเครื่องสำอางขอบเขตด้านแหล่งที่มาของไมโครพลาสติกไมโครพลาสติกที่ศึกษาในโครงการนี้มาจากเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ ซึ่งปล่อยไมโครไฟเบอร์ออกมาในระหว่างการซัก

โดยไม่ครอบคลุมไมโครพลาสติกจากแหล่งอื่น เช่น พลาสติกแตกตัวจากบรรจุภัณฑ์ หรือไมโครพลาสติกจากเครื่องสำอาง

3.2 ขอบเขตด้านการทดลอง

การทดลองดำเนินการโดยใช้น้ำซักผ้าจำลองหรือ น้ำซักผ้าจริงจากการซักเสื้อผ้าโพลีเอสเตอร์ และศึกษาประสิทธิภาพการดักจับ/ดูดซับไมโครพลาสติกของวัสดุในกลุ่มทดลองต่างๆ ได้แก่

- 1) ไม่ใช่วัสดุ (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 โดยทำการกรวนหรือเขย่าให้ผ้าสัมผัสกับน้ำและสารซักฟอกอย่างทั่วถึงเป็นเวลา 15 นาที เพื่อจำลองกระบวนการซักผ้าและทำให้เกิดการหลุดของเส้นใยไมโครไฟเบอร์

2.2 เก็บรวบรวมน้ำซักผ้าหลังการซักเพื่อใช้เป็นสารละลายตัวอย่างในการทดลอง

ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบการทดลอง

แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุด ได้แก่

- ชุดควบคุม (ไม่ใช่วัสดุ)
- ชุดที่ใส่เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพ
- ชุดที่ใส่เม็ดไบโอซา
- ชุดที่ใส่เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอซา

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

การวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษานี้ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เพื่ออธิบายและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดักจับไมโครพลาสติกของวัสดุแต่ละชุดการทดลอง โดยสถิติที่ใช้ประกอบด้วย

1) ค่าเฉลี่ย (Mean)

ใช้ในการหาค่าเฉลี่ยของปริมาณไมโครไฟเบอร์ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละชุดการทดลอง

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

ใช้แสดงการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละชุดการทดลอง

3) ค่าร้อยละ (Percentage)

ใช้คำนวณประสิทธิภาพการดักจับไมโครพลาสติกของวัสดุแต่ละประเภท

โดยคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกจากสูตร

$$\text{Removal efficiency (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

เมื่อ

C_0 คือ ปริมาณไมโครไฟเบอร์ก่อนการทดลอง

C_t คือ ปริมาณไมโครไฟเบอร์หลังการทดลอง

จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อประเมินประสิทธิภาพในการดักจับไมโครไฟเบอร์ของเม็ดไฮโดรเจลชีวภาพ เม็ดไบโอซา 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 กลุ่มที่ใช้เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอชาให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด แสดงถึงผลเสริมฤทธิ์ของวัสดุทั้งสองชนิด โดยไฮโดรเจลช่วยเพิ่มโอกาสในการสัมผัสระหว่างไมโครไฟเบอร์กับวัสดุขณะที่ไบโอชาทำหน้าที่ยึดเกาะและกักเก็บเส้นใยไว้ภายในโครงสร้างรูพรุนของวัสดุ 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 ชุดการทดลองที่ใช้เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพร่วมกับเม็ดไบโอซาพบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกสูงที่สุด แสดงถึงผลเสริมฤทธิ์ของวัสดุทั้งสองชนิด โดยไฮโดรเจลทำหน้าที่เป็นโครงสร้างกักเก็บและเพิ่มระยะเวลาสัมผัสระหว่างเส้นใยกับวัสดุ ส่วนไบโอซาช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวและแรงยึดเกาะ ส่งผลให้สามารถดักจับไมโครไฟเบอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผลการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของวัสดุชีวภาพร่วมกับวัสดุคาร์บอนจากของเหลือทิ้งทางการเกษตร ในการประยุกต์ใช้เพื่อลดปัญหาไมโครพลาสติกในระดับครัวเรือน และเป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการมลพิษทางน้ำอย่างยั่งยืน

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการดักจับไมโครพลาสติกของวัสดุแต่ละชนิดภายใต้การทดลอง

ประเภทชุดทดลอง	ปริมาณไมโครไฟเบอร์ ก่อนทดลอง (มก.)	ปริมาณไมโครไฟเบอร์ หลังทดลอง (มก.)	ร้อยละการกำจัด (%)
1) ชุดควบคุม(ไม่ใช้วัสดุ)	100	98	2.00
2) เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพ	100	65	35.00
3) เม็ดไบโอซา	100	52	48.00
4) ไฮโดรเจล + เม็ดไบโอซา	100	28	72.00

จากตารางที่ 1 พบว่า วัสดุไฮโดรเจลร่วมกับไบโอซามีประสิทธิภาพการกำจัดไมโครพลาสติกสูงกว่าวัสดุเดี่ยว โดยสามารถลดจำนวนอนุภาคได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้วัสดุผสมในการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้เป็นการทดลองเบื้องต้นภายใต้เงื่อนไขควบคุมเดียวกัน

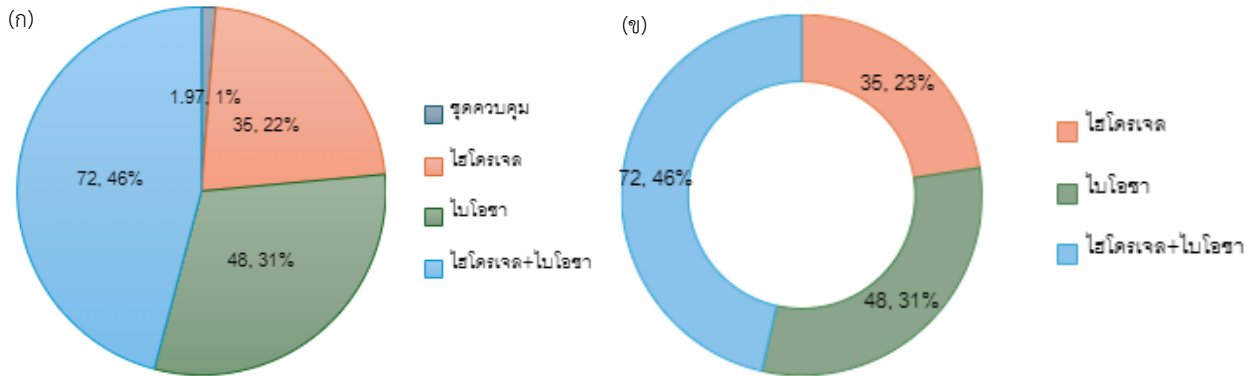
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของร้อยละการกำจัดไมโครพลาสติก

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

จากตารางที่ 2 พบว่า ชุดทดลองไฮโดรเจลร่วมกับไบโอซามีค่าเฉลี่ยการกำจัดไมโครพลาสติกสูงที่สุด และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ แสดงถึงความเสถียรของผลการทดลอง ขณะที่ไฮโดรเจลเดี่ยวมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการผสมผสานคุณสมบัติการอุ้มน้ำของไฮโดรเจลกับโครงสร้างรูพรุนของไบโอซาส่งผลให้เกิดการดูดซับที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.2 ผลการศึกษาข้อมูลผลงานวิชาการในฐานข้อมูล Scopus

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 และ 2 พบว่า ชุดควบคุมมีร้อยละการกำจัดไมโครพลาสติกต่ำที่สุด (เฉลี่ย $1.97 \pm 0.15\%$) แสดงให้เห็นว่าไมโครไฟเบอร์ยังคงปนเปื้อนอยู่ในน้ำอย่างชัดเจน ขณะที่เม็ดไฮโดรเจลชีวภาพสามารถกำจัดได้เฉลี่ย $35.00 \pm 1.00\%$ และเม็ดไบโอซากำจัดได้เฉลี่ย $48.00 \pm 1.00\%$ ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อใช้วัสดุผสมไฮโดรเจลร่วมกับไบโอซา พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุด โดยสามารถกำจัดไมโครพลาสติกได้เฉลี่ย $72.00 \pm 1.73\%$ สะท้อนให้เห็นถึงการทำงานเสริมฤทธิ์กันของวัสดุทั้งสองชนิด อีกทั้งค่า S.D. ที่อยู่ในระดับต่ำบ่งชี้ว่าผลการทดลอง มีความสม่ำเสมอและเชื่อถือได้ ดังนั้น วัสดุผสมไฮโดรเจลร่วมกับไบโอซาจึงมีศักยภาพสูงในการประยุกต์ใช้เพื่อลดการปนเปื้อน ไมโครพลาสติกในน้ำซักผ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของวัสดุชีวภาพร่วมกับวัสดุคาร์บอนจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรในการประยุกต์ใช้เพื่อลดปัญหาไมโครพลาสติกจากน้ำซักผ้าในระดับครัวเรือน



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 วัสดุผสมไฮโดรเจลร่วมกับไบโอชามีประสิทธิภาพในการกำจัดไมโครพลาสติกสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุเดี่ยว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติการอุ้มน้ำและโครงสร้างพอลิเมอร์ของไฮโดรเจลที่ช่วยดักจับอนุภาคขนาดเล็ก ร่วมกับโครงสร้างรูพรุนและพื้นที่ผิวสูงของไบโอชาที่ช่วยเพิ่มจุดยึดเกาะของไมโครพลาสติก ส่งผลให้เกิดการทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ วัสดุไบโอชาจากเปลือกมังคุดยังแสดงศักยภาพในการเป็นวัสดุดูดซับที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้ ขณะที่ไฮโดรเจลชีวภาพสามารถประยุกต์ใช้ในระบบกรองน้ำเบื้องต้นได้เช่นกัน

นอกจากนี้ การนำเปลือกมังคุดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ผลิตไบโอชาช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับชีวมวลและลดของเสียสู่สิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยได้รายงานว่ไบโอชามีโครงสร้างรูพรุนและพื้นที่ผิวสูง จึงเหมาะสมต่อการดูดซับสารปนเปื้อนในน้ำ [6], [7], [8] ขณะที่ไฮโดรเจลมีโครงสร้างพอลิเมอร์สามมิติที่สามารถกักเก็บน้ำและดักจับอนุภาคขนาดเล็กได้ดี [5] ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษารุ่นนี้ที่พบว่าวัสดุผสมมีประสิทธิภาพสูงกว่าวัสดุเดี่ยว ทั้งนี้ ปัญหาไมโครพลาสติกจากสิ่งทอได้รับการยืนยันว่าเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญของการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทางน้ำ [3], [4] และเป็นประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมที่ประเทศไทยให้ความสำคัญ [1], [2], [10] ดังนั้น การพัฒนาวัสดุดูดซับจากชีวมวลจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ. (2563). สถานการณ์ขยะพลาสติกของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2562. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจากรัฐธรรมนูญ. (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/s12302-019-0180-5>
- Ahmed, 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.