

## การย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพ จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคุ

ดวงฤทัย เขมะไชเวช<sup>1</sup> ชนกชนม์ แสงจันทร์<sup>1</sup>  
พลพัฒน์ รวมเจริญ<sup>2</sup> และสุชีวีวรรณ ยอยรัฐรอบ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และ <sup>2</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สงขลา 90000

\*E-mail: [sucheewan.yo@skru.ac.th](mailto:sucheewan.yo@skru.ac.th)

รับบทความ: 13 มิถุนายน 2564 แก้ไขบทความ: 29 ตุลาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 10 พฤศจิกายน 2564

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคุ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะเวลาในการย่อยสลายและศึกษาหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพ ซึ่งได้เตรียมแผ่นพลาสติกชีวภาพในรูปแบบฟิล์มโดยใช้เทคนิคสารละลาย ติดตามประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพกับเวลาและระดับการย่อยสลาย และอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจนในระบบปิดภายใต้สภาพแวดล้อมที่ดัดแปลงจาก ASTM D5538-98 ที่มีการควบคุมด้วยปุ๋ยหมักจุลินทรีย์ จากการศึกษาพบว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังมีระยะเวลาในการย่อยสลายสั้นกว่าและมีอัตราการย่อยสลายสูงกว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาคุ เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีองค์ประกอบที่เป็นอะไมโลสน้อยกว่าแป้งสาคุ อะไมโลสซึ่งมีโครงสร้างเป็นโซ่ตรงทำให้เกิดอัตราการสลายตัวที่ช้ากว่าอะไมโลเพกตินที่มีโครงสร้างเป็นโซ่ที่มีกิ่งก้านสาขา ผลการวิจัยนี้ยังสามารถทำนายระยะเวลาในการใช้ประโยชน์ของแผ่นพลาสติกชีวภาพได้

**คำสำคัญ:** การย่อยสลายทางชีวภาพ พลาสติกชีวภาพ แป้งมันสำปะหลัง แป้งสาคุ

## Biodegradability of Bioplastic Films from Cassava Starch and Sago Starch

Duagrathai Kamachaiwet<sup>1</sup>, Chanokchon Sangjan<sup>1</sup>,  
Polphat Ruamcharoen<sup>2</sup> and Sucheewan Yoyrurub<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Environmental Science Program and <sup>2</sup>Rubber and Polymer Technology Program  
Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla 90000, Thailand

\*E-mail: sucheewan.yo@skru.ac.th

Received: 13 June 2021 Revised: 29 October 2021 Accepted: 10 November 2021

### Abstract

This research focused on biodegradability of bioplastic films made of cassava starch and sago starch. The objectives of this study were to study the degradation period and carbon dioxide from biodegradation of bioplastic films. The films were prepared with the solution casting method. The biodegradation was determined in terms of the degree of degradation and the rate of aerobic biodegradation on exposure to a controlled-composting environment under laboratory condition adapted from ASTM D5538–98. It was found that cassava starch bioplastic films showed less decomposed time and higher rate of degradation than sago starch bioplastic films. This could be corresponded to the less amylose content of cassava starch than sago starch. Amylose is linear structure leading to slower decompose rate than amylopectin which is branch structure. The results of this research can be used to predict the utilization time of bioplastic films.

**Keywords:** Biodegradability, Bioplastic films, Cassava starch, Sago starch

### บทนำ

ปัจจุบันพลาสติกได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวันและมีแนวโน้มการใช้งานมากขึ้น เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติเบา แข็งแรง ทนทาน และราคาถูก สามารถผลิตให้มีรูปแบบต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ก้าวหน้าและทันสมัย ทำให้ปัจจุบันมีผลิต-

ภัณฑ์พลาสติก หลากหลายรูปแบบและมีสีสันสวยงามให้เลือกใช้อย่างมากมาย ส่งผลให้ปริมาณขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วด้วย ในบางพื้นที่ขยะพลาสติกมากกว่าครึ่งถูกกำจัดด้วยกระบวนการที่ยังไม่ถูกวิธีและก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ คือ ปัญหาสุขภาพ ปัญหาเศรษฐกิจ และปัญหาสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ส่งผลต่อ

มนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในประเทศไทยประมาณปีละกว่า 27.8 ล้านตัน คิดเป็นขยะพลาสติกประมาณร้อยละ 12–13 ยกเว้นในเขตกรุงเทพฯ ที่มีปริมาณขยะพลาสติกประมาณร้อยละ 20 หรือ 2,000 ตัน/วัน จากปริมาณขยะรวมของกรุงเทพฯ 10,560 ตัน/วัน (Sima-chaya, 2021) ขยะเหล่านี้ส่วนใหญ่มักฝังกลบรวมกับขยะทั่วไป ซึ่งใช้พื้นที่ในการฝังกลบมากกว่าขยะเศษอาหารประมาณ 3 เท่า เนื่องจากขยะพลาสติกและโฟมมีปริมาตรสูงเมื่อเทียบกับน้ำหนักและมีความสามารถทนต่อแรงอัดได้สูง ทำให้ต้องใช้พื้นที่ฝังกลบมาก นอกจากนี้ยังใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนานถึง 450 ปี และมีโอกาสเกิดการปนเปื้อนของสารประกอบที่เป็นพิษที่ใช้ในกระบวนการผลิตพลาสติก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ หากกำจัดด้วยการเผาจะทำให้เกิดมลพิษทางอากาศและเกิดแก๊สเรือนกระจก เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อนเพิ่มขึ้นอีกด้วย

พลาสติกชีวภาพ (bioplastics) เป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากพลาสติกชีวภาพเป็นวัสดุที่ผลิตจากธรรมชาติ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงหรือขึ้นรูปได้โดยกระบวนการทางความร้อน อีกทั้งยังสามารถย่อยสลายเองตามธรรมชาติ (Somyoonsap, 2010) โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมาจาก กรดพอลิแลคติก (polylactic acid; PLA) พอลิไฮดรอกซีบิวทีเรต (polyhydroxybutyrate; PHB) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol; PVA) เป็นต้น (Locharoenrat *et al.*, 2007) แต่พลาสติกย่อยสลายได้มีราคาค่อนข้างสูง จึงเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน ดังนั้นทางเลือกหนึ่งที่มีผู้ให้

ความสนใจอย่างมาก คือ เลือกใช้พอลิเมอร์ (polymer) จากธรรมชาติที่มีสมบัติในการย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เช่น แป้ง (starch) เซลลูโลส (cellulose) สารประกอบดังกล่าวเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรที่หาได้ง่าย ราคาถูก และสามารถย่อยสลายได้ง่ายตามธรรมชาติ (Tharanathan, 2003) ประกอบกับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีความอุดมสมบูรณ์ในเรื่องของวัตถุดิบทางการเกษตร เช่น ข้าว ข้าวโพด อ้อย มันสำปะหลัง สามารถใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตพลาสติกชีวภาพ โดยใช้แป้งเป็นองค์ประกอบหลัก จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งซึ่งช่วยขยายตลาดและขอบเขตการใช้ประโยชน์ รวมทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับแป้งอีกด้วย แต่ข้อเสียที่สำคัญคือแป้งไม่สามารถขึ้นรูปโดยกระบวนการทางความร้อนเช่นเดียวกับพลาสติก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เปราะ แตกหักง่ายทำให้เกิดปัญหาในการใช้งาน (Shogren *et al.*, 2002) ดังนั้นผลการวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษากระบวนการแปรรูป โดยขึ้นรูปลักษณะของพลาสติกชีวภาพจากแป้งทั้ง 2 ชนิด คือ พลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและพลาสติกชีวภาพแป้งสาธู โดยการละลายและขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบาง (Roasri and Suwan, 2015) แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์การศึกษาด้านการย่อยสลายทางชีวภาพของวัสดุดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะเวลาในการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาธู และเพื่อศึกษาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพจากแป้งทั้งสองชนิด โดยใช้อุปกรณ์ทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพเพื่อให้คล้ายคลึงกับสภาวะการย่อยสลายตามมาตรฐาน ASTM D5338–98 และอาศัยหลักการย่อยสลายทางชีว-

ภาพที่มีออกซิเจนและความคมภาวะการย่อยสลาย โดยการฝังกลบในดินผสมปุ๋ยหมักที่มีจุลินทรีย์ช่วยในการย่อยสลาย

### วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยดัดแปลงการวัดจากมาตรฐาน ASTM D 5338-98 คือ การทดสอบการย่อยสลายพลาสติกโดยกระบวนการทางชีวภาพในภาวะที่มีออกซิเจน ในระบบที่มีการควบคุมภาวะการย่อยสลายทางชีวภาพในห้องปฏิบัติการ โดยการเร่งการย่อยสลายพลาสติกให้เร็วกว่าวิธีการทดสอบที่นิยมกันทั่วไป ได้แก่ การฝังกลบหรือปล่อยทิ้งไว้ในธรรมชาติ นอกจากนี้เครื่องมือทดสอบนี้ยังออกแบบให้สามารถวัดปริมาณการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนในชั้นตัวอย่างไปเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราการย่อยสลาย และสามารถใช้ทดสอบวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพทุกประเภท โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

1) การเตรียมชิ้นงานแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคุ เตรียมชิ้นงานโดยชั่งน้ำหนักแป้งมันสำปะหลังหรือแป้งสาคุอย่างละ 12 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร ที่บรรจุในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร แซ่บีกเกอร์ในอ่างน้ำมันพืช ต้มให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที พร้อมกับปั่นกวน เติมกลีเซอรินร้อยละ 20 ปั่นกวนต่ออีก 20 นาที ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เทใส่แม่พิมพ์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จะได้แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้ง จากนั้นตัดชิ้นงานแผ่นพลาสติกชีวภาพขนาด 2x4 เซนติเมตร หน้า 0.1 เซนติเมตร เพื่อนำไป

ทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ (Roasri and Suwan, 2015)

2) การหาร้อยละโดยน้ำหนักของการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยศึกษาการย่อยสลายแผ่นพลาสติกชีวภาพในดิน ซึ่งน้ำหนักของแผ่นพลาสติกชีวภาพที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป โดยการนำดินสำหรับปลูกพืชชนิดเดียวกันใส่ลงถึงสี่ตำแหน่ง ขนาด 29.5x25.7 เซนติเมตร และความลึกของดินในการฝังชั้นตัวอย่าง 12 เซนติเมตร นำชั้นตัวอย่าง ที่เตรียมได้จากวิธีการในข้อ 1 โดยตัดขนาด 2x4 เซนติเมตร หน้า 0.1 เซนติเมตร ติดตามการย่อยสลายโดยการวางถึงสี่ตำแหน่งที่ติดวางถึงพลาสติกที่ทำการทดลองไว้ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน เก็บข้อมูลทุก 6 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักของชั้นตัวอย่าง เพื่อหาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปจากการย่อยสลาย ดังสมการที่ 1 (Varalakshmi, 2015)

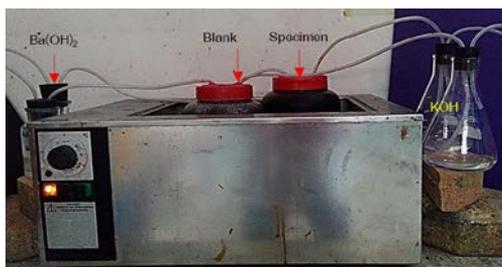
ร้อยละการย่อยสลายทางชีวภาพ = [(น้ำหนักแห้งก่อนการย่อยสลาย - น้ำหนักแห้งหลังการย่อยสลาย)/น้ำหนักแห้งก่อนการย่อยสลาย] x 100

- - - (1)

อัตราเร็วการย่อยสลายหาได้จากความสัมพันธ์ของความสัมพัทธ์ระหว่างร้อยละการย่อยสลายทางชีวภาพและระยะเวลาการย่อยสลาย (ชั่วโมง)

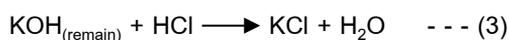
3) การหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายทางชีวภาพมาตรฐาน ASTM D 5338-98 ทำได้โดยเตรียมชุดทดสอบการย่อยสลาย (specimen) โดยใส่ดินสำหรับปลูกพืชลงในขวดแก้ว ขนาด 4.5 ลิตร ในปริมาณ 1/2 ของขวดแก้ว วางชั้นตัวอย่างที่เตรียมไว้ จำนวน 10 แผ่นลงในขวดแก้ว จากนั้นกลบดินจนเต็มขวดแก้ว และฝังสายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ลงในดินลึก 10 เซนติเมตร ร้อยสายยางผ่าน

ฝาปิดขวดแก้วแล้วต่อสายยางระหว่างขวดสารละลายแบบเรียบไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มอล (ทำหน้าที่ดักจับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น) และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มอล ที่เตรียมไว้ เตรียมชุดควบคุม (blank) เช่นเดียวกับชุดทดสอบการย่อยสลาย แต่ไม่ใส่ชิ้นตัวอย่างแผ่นพลาสติกชีวภาพ วางชุดทดสอบการย่อยสลายและชุดควบคุมไว้ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 58 องศาเซลเซียส การจัดอุปกรณ์ทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพดังในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การจัดอุปกรณ์ทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพ

การติดตามหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเก็บตัวอย่างสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มอล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่เวลาเริ่มต้น 3 วัน และ 6 วัน ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 25 มิลลิลิตร ไทเทรตหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 นอร์มอล ปฏิบัติการไทเทรตแสดงได้ดังสมการที่ (2) และ (3)



แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ได้เป็นโพแทสเซียมคาร์บอเนต ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) ดัง

ในสมการที่ (1) และสามารถหาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ส่วนที่เหลือได้โดยการไทเทรตกับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ดังในสมการที่ (2) (Rosario and Dell, 2010)

### ผลการวิจัย

ลักษณะชิ้นงานแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังจะเป็นสีใสและลักษณะชิ้นงานแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาธูจะเป็นสีน้ำตาลขนาด 2x4 เซนติเมตร ดังในภาพที่ 2



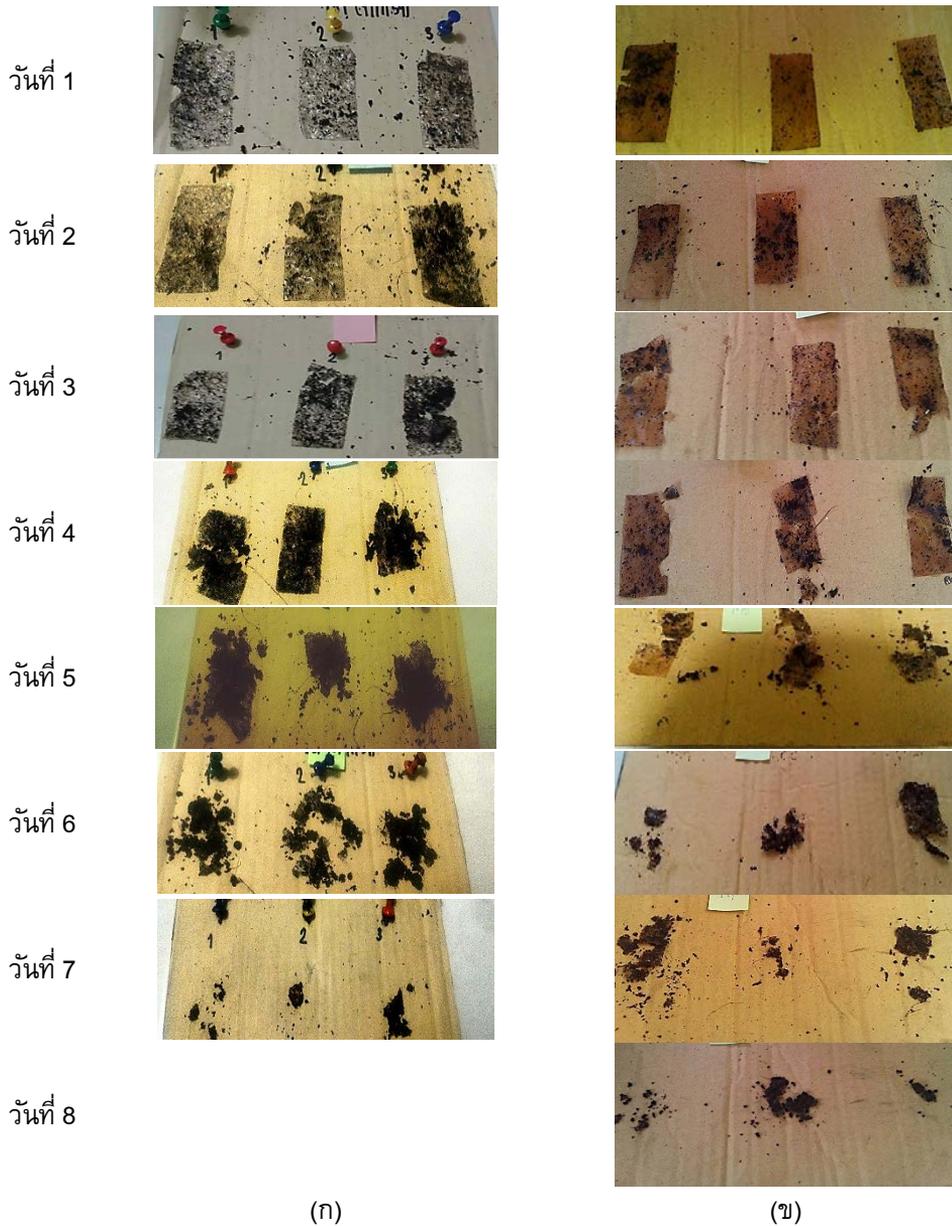
(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 แผ่นพลาสติกชีวภาพจาก (ก) แป้งมันสำปะหลัง และ (ข) แป้งสาธู

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาธูระหว่างการย่อยสลาย (ภาพที่ 3) พบว่า แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังในวันที่ 1 แผ่นพลาสติกชีวภาพเริ่มพองตัว เกิดจากแผ่นพลาสติกชีวภาพมีการสัมผัสกับดินที่ผสมปุ๋ยหมักจุลินทรีย์ ทำให้มีความชื้นเกิดขึ้น ต่อมาในวันที่ 2 และวันที่ 3 เห็นลักษณะรอยขาด อาจเกิดจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินมีการปล่อยเอนไซม์เข้าไปทำลายโครงสร้างในการย่อยสลาย



**ภาพที่ 3** การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพในระหว่างการย่อยสลาย  
(ก) แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแยมันสำปะหลัง และ (ข) แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแยมันสาธู

ของแผ่นพลาสติกชีวภาพ หรือเกิดจากการบวมพอง เนื่องจากการแทรกซึมของน้ำในดิน วันที่ 4 แผ่นพลาสติกชีวภาพมีลักษณะการแยกเป็นลักษณะชิ้นส่วนอย่างชัดเจน วันที่ 5 และวันที่ 6

แผ่นพลาสติกชีวภาพถูกย่อยสลายเป็นชิ้นส่วนละเอียด และในวันที่ 7 แผ่นพลาสติกชีวภาพย่อยสลายเป็นเนื้อเดียวกับดินที่ผสมปุ๋ยหมักจุลินทรีย์ เนื่องจากการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์

สำหรับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาครระหว่างการย่อยสลาย พบว่า ในวันที่ 1 ไม่เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของการย่อยสลาย เนื่องจากโครงสร้างของแป้งสาครมีปริมาณอะไมโลสมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง อะไมโลสมีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรง จุลินทรีย์จึงทำลายโครงสร้างได้ยาก วันที่ 2 ถึงวันที่ 4 สังเกตเห็นรอยขาดของแผ่นพลาสติกชีวภาพ เนื่องจากจุลินทรีย์ในดินเข้าไปทำลายและย่อยสลายโครงสร้างของแป้งในแผ่นพลาสติกชีวภาพ วันที่ 5 และวันที่ 6 แผ่นพลาสติกชีวภาพมีลักษณะขาดเป็นเศษชิ้นส่วนขนาดเล็ก วันที่ 7 แผ่นพลาสติกชีวภาพถูกย่อยสลายเป็นชิ้นมีลักษณะเล็กละเอียด และในวันที่ 8 แผ่นพลาสติกชีวภาพถูกย่อยสลายมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกับดินที่ผสมปุ๋ย แสดงว่าเกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์

การย่อยสลายของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งทั้ง 2 ชนิด เกิดขึ้นในชั่วโมงที่ 42 ถึง ชั่วโมงที่ 78 และจะสิ้นสุดการย่อยสลายชั่วโมงที่ 90 โดยการย่อยสลายทางชีวภาพ จะแบ่งเป็น 3 ขั้นดังนี้

ขั้นที่ 1: การย่อยสลายค่อนข้างคงที่ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงชั่วโมงที่ 42 เนื่องจากเป็นช่วงที่จุลินทรีย์มีการปรับตัวเพื่อให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพ

ขั้นที่ 2: การย่อยสลายเกิดขึ้นในชั่วโมงที่ 42 ถึงชั่วโมงที่ 78 จะเห็นได้ว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเกิดการย่อยสลายได้เร็วกว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาคร เนื่องจากจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินเข้าไปทำลายโครงสร้างที่เรียงตัวไม่เป็นระเบียบ ซึ่งมีมากในแป้งมันสำปะหลัง จึงส่งผลให้แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังย่อยสลายได้เร็วกว่าแผ่นพลาสติก

ชีวภาพจากแป้งสาคร

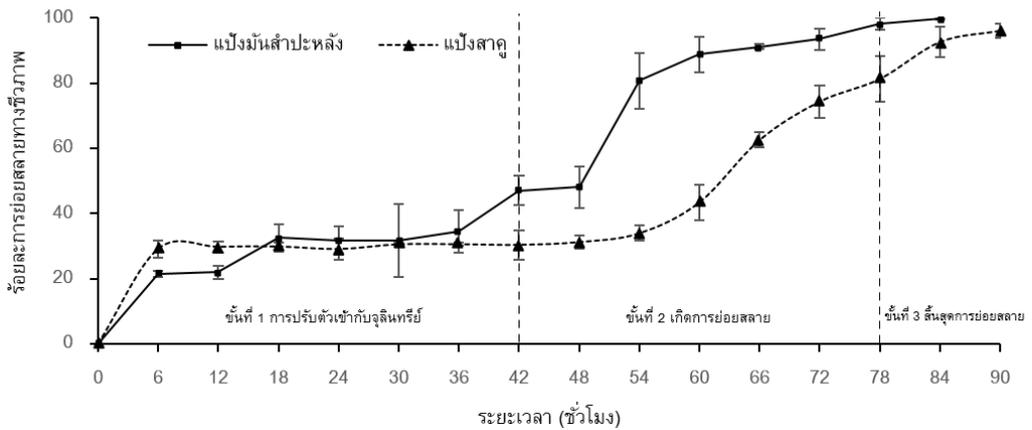
ขั้นที่ 3: แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาคร ถูกย่อยสลายหมดในชั่วโมงที่ 78 และชั่วโมงที่ 90 เกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ตามลำดับ โดยขึ้นตัวอย่างแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและขึ้นตัวอย่างแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาครเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพร้อยละ 99.73 และร้อยละ 97.76 ตามลำดับความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการย่อยสลายทางชีวภาพกับระยะเวลาแสดงในภาพที่ 4

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพได้เร็วกว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาคร โดยแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังเริ่มเกิดการย่อยสลายมากกว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาครตั้งแต่ชั่วโมงที่ 42 รวมทั้งยังสิ้นสุดการย่อยสลายเร็วกว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาครด้วย

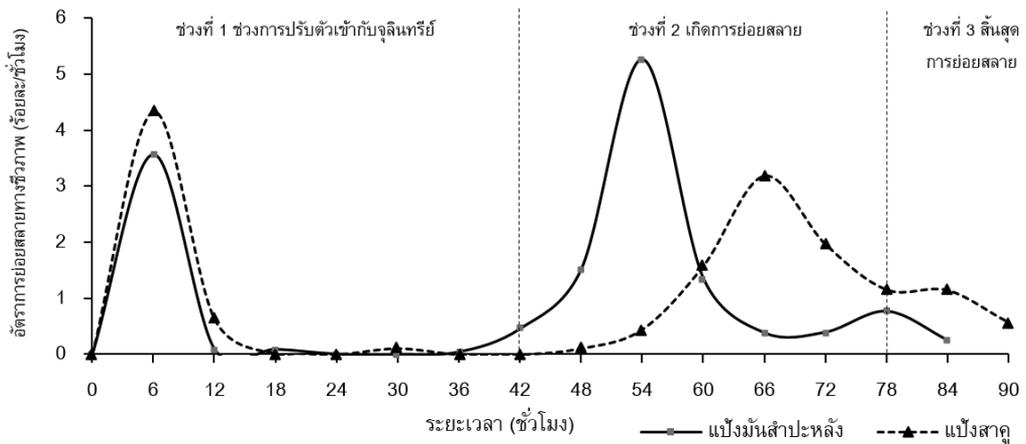
จากการศึกษาอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาคร อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพหาได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพกับระยะเวลาในการย่อยสลายดังในภาพที่ 5

จากภาพที่ 5 อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งทั้ง 2 ชนิดมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกับผลการวิจัยของ Song *et al.* (2009) สามารถอธิบายได้เป็น 3 ช่วง ดังต่อไปนี้

ช่วงที่ 1: การปรับตัวของจุลินทรีย์เนื่องจากจุลินทรีย์ในดินปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อม



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการย่อยสลายทางชีวภาพกับระยะเวลา



ภาพที่ 5 อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพกับระยะเวลาการย่อยสลาย

ทำให้แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแบริ่งมันส์สำหรับหลัง และแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแบริ่งสาธู มีอัตราการย่อยสลายที่ไม่แตกต่างกันในช่วงแรก

ช่วงที่ 2: อัตราเร็วของการย่อยสลายสูงกว่าช่วงที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของแบริ่งต่ออัตราการย่อยสลายจะเห็นได้ว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแบริ่งมันส์สำหรับหลังมีอัตราการย่อยสลายเร็วกว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแบริ่งสาธู โดยพิจารณาจากแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแบริ่งมันส์สำหรับหลังมีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพมากกว่า และระยะเวลาในการย่อยสลายสั้นกว่าแผ่น

พลาสติกชีวภาพจากแบริ่งสาธู เนื่องจากแบริ่งมันส์สำหรับหลังมีปริมาณอะไมโลสน้อยกว่าแบริ่งสาธู

ช่วงที่ 3: สิ้นสุดการย่อยสลายเป็นเส้นตรงที่ คือ เกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์

แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแบริ่งมันส์สำหรับหลังและแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแบริ่งสาธูมีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพเกิดขึ้นร้อยละ 5 ต่อชั่วโมง และร้อยละ 3 ต่อชั่วโมง ตามลำดับ

การย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแบริ่งทั้ง 2 ชนิด ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ โดยสามารถวิเคราะห์ปริมาณแก๊ส

คาร์บอนไดออกไซด์ได้จากการนำสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือจากการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มาไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ผลการวิเคราะห์แสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายทางชีวภาพ

ชนิดแป้ง	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (mg)		
	วันเริ่มต้น	3 วัน	6 วัน
แป้งมันสำปะหลัง	0.0	5.5	36.3
แป้งสาकु	0.0	1.5	20.0

ตาราง 1 แสดงถึงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งทั้ง 2 ชนิด พบว่า จากระยะเวลาเริ่มต้นจนถึงวันที่ 6 แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นสูงกว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาकुในทุกช่วงเวลา และเมื่อระยะเวลาการย่อยสลายนานขึ้น ทำให้เกิดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นด้วย ซึ่งจากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าการย่อยสลายแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาकुอย่างเห็นได้ชัด และสอดคล้องกับอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพดังกล่าวข้างต้น

อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาकु มีการย่อยสลายภายใน 7 วัน และ 8 วัน ตามลำดับ ในการประยุกต์ใช้งานจึงอาจเหมาะกับการใช้งานในบางประเภท เช่น ถูเพาะต้นกล้า สำหรับการประยุกต์การใช้งานที่หลากหลายขึ้นสามารถทำได้โดยการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของพลาสติกชีวภาพเพื่อยืดระยะเวลาในการใช้งานได้นานยิ่งขึ้น

## อภิปรายผล

การย่อยสลายทางชีวภาพอาศัยจุลินทรีย์ในดินที่มีความหลากหลาย โดยแบคทีเรียที่พบ เช่น *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus spp.* และรา เช่น *Aspergillus niger*, *Mucor spp.*, *Penicillium chrysogenum*, *Rhizopus spp.*, *Fusarium spp.* (Lei et al., 2012; Nigam et al., 2021; Sun et al., 2010) การย่อยสลายทางชีวภาพทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา กลไกการย่อยสลายของแผ่นพลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากแป้ง เริ่มจากการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์และปัจจัยภายนอกที่ส่งผลให้พลาสติกชีวภาพแตกออกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย ขั้นตอนนี้เรียกว่า การย่อยสลายทางชีวภาพ (biodegradation) จากนั้นจุลินทรีย์จะปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์เพื่อย่อยสลายพอลิเมอร์ของพลาสติกชีวภาพกลายเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก โมเลกุลที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายเหล่านี้ดูดซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์และเกิดกระบวนการสันดาปเพื่อสร้างพลังงานและมวลชีวภาพ ขั้นตอนนี้เรียกว่าการดูดซึม (assimilation) ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายคือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และน้ำ (H<sub>2</sub>O) การเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อเทียบกับระยะเวลาสามารถยืนยันได้ว่าการย่อยสลายทางชีวภาพเป็นไปตามกลไกที่มีการใช้ออกซิเจน (aerobic) จากผลการวิจัยพบว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังย่อยสลายทางชีวภาพได้เร็วกว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาकु สอดคล้องกับปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น คือ แป้งมันสำปะหลังเกิดการย่อยสลายได้ง่ายและเร็ว ทำให้มีปริมาณคาร์-

บอนด์ไดออกไซด์เกิดขึ้นมากกว่า ในขณะที่แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาธูย่อยสลายทางชีวภาพได้ช้ากว่า และมีปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นน้อยกว่า นอกจากนี้จากการพิจารณาปริมาณอะไมโลสที่เป็นองค์ประกอบของแป้งทั้ง 2 ชนิด พบว่า แป้งมันสำปะหลังมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 17 (Swinkles, 1985) ในขณะที่แป้งสาธูมีปริมาณอะไมโลสสูงถึงร้อยละ 27 (Sriroth *et al.*, 1999) ทำให้เกิดการย่อยสลายได้ช้ากว่า เนื่องจากอะไมโลสมีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรง มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบสูง น้ำและจุลินทรีย์จึงแทรกซึมผ่านเข้าไปย่อยสลายได้ยาก

### สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาธู พบว่า แผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังถูกย่อยสลายได้ดีกว่าแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาธู โดยมีระยะเวลาในการย่อยสลายภายใน 7 วันและ 8 วัน และมีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพร้อยละ 5 ต่อชั่วโมง และร้อยละ 3 ต่อชั่วโมงตามลำดับ สอดคล้องกับปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายทางชีวภาพของแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งมันสำปะหลังและแผ่นพลาสติกชีวภาพจากแป้งสาธู การเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อเทียบกับระยะเวลาสามารถยืนยันได้ว่าการย่อยสลายทางชีวภาพเป็นไปตามกลไกที่มีการใช้ออกซิเจน จากข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นที่เป็นการติดตามของการย่อยสลายทางชีวภาพ (มาตรฐาน ASTM D5338-98) และเป็นทางเลือกในการเลือกวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ และหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ในการทำงานวิจัยนี้

### เอกสารอ้างอิง

- Lei Y., Peng H., Wang Y., Liu Y., Han F., Xiao Y., and Gao Y. 2012. Preferential and rapid degradation of raw rice starch by an  $\alpha$ -amylase of glycoside hydrolase subfamily GH13\_37. **Applied Microbiology and Biotechnology** 94:1577–1584.
- Locharoenrat, W., Patcharapan, S., and Lertworasirikul, A. (2007). Bio-based polymer Products: Eco-products. In **Research Exhibition on Kasetsart Fair 2007**. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Nigam, S., Das, A. K., and Patidar, M. K. (2021). Synthesis, characterization and biodegradation of bioplastic films produced from *Parthenium hysterophorus* by incorporating a plasticizer (PEG600). **Environmental Challenges** 5: 100280.
- Roasri, S., and Suwan, J. (2015). **Preparation and Properties of Bioplastics from Cassava Starch Mixed with Natural Rubber**. Rubber and Polymer Technology Program, Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University. (in Thai)

- Rosario, L., and Dell, E. (2010). Biodegradability of plastics testing in an undergraduate materials laboratory. 2010 Annual Conference & Exposition. Louisville, Kentucky.
- Shogren, R. L., Lawton, J. W., and Tiefenbacher, K. F. (2002). Baked starch foams: Starch modifications and additives improve process parameters, structure and properties. **Industrial Crops and Products** 1(16): 69–79.
- Simachaya, W. (2021). **Plastic Waste Surpasses 60% during COVID–19**. Retrieved from [http://www.tei.or.th/th/blog\\_detail.php?blog\\_id=51](http://www.tei.or.th/th/blog_detail.php?blog_id=51), May 22, 2021. (in Thai)
- Somyoonsap, P. (2010). Bioplastics: Innovation of green products. **Srinakharinwirot Science Journal** 26(2): 177–195.
- Song, J. H., Murphy, J., Narayan, B., and Davies, G. B. H. (2009). Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B** 364: 2127–2139.
- Sriroth, K., Chollakup, R., Hicks, A., and Oates, C. G. (1999). **Structural and Functional Properties of Thai Sago (Metroxylon spp.) Starch Extracted from Different Trunk Portions**. USA: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Sun H., Zhao P., Ge X., Xia Y., Hao Z., Liu J., and Peng M. (2010). Recent advances in microbial raw starch degrading enzymes. **Applied Biochemistry and Biotechnology** 160: 988–1003.
- Swinkels, J. J. M. (1985). Composition and properties of commercial native starches. **Starch** 37(1): 1–5.
- Tharanathan, R. N. (2003). Review biodegradable films and composite coatings past Present and future. **Trends in Food Science and Technology** 1(14): 71–78.
- Varalakshmi, B. (2015). Biodegradation of polythene bag using bacteria isolated from soil. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** 4: 674–680.