JPAGS
Journal of Physics & General Science

การสังเคราะห์และคุณสมบัติของคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสจากเปลือกมะพร้าวสำหรับการเตรียมผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกชีวภาพ

Synthesis and Characterization of Carboxymethyl Cellulose from Coconut Peel for Preparation of Bioplastics Packaging

ธรนันท์ จันแดง* อธิวัฒน์ ทองแซม และปริญทิพย์ รัตนบุรี

Tharanan Chandaeng*, Atiwat Thongsam and Parintip Rattanaburi

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช

General Science Program, Faculty of Education, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Nakorn Si Thammarat

*Corresponding author e-mail: adilan361@gmail.com

(Received: October 16, 2019, Revised: November 26, 2019, Accepted: December 30, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส carboxymethyl cellulose หรือ CMC จากเปลือกมะพร้าวเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยดัดแปลงคุณสมบัติของเซลลูโลสให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมทิลและหมู่คาร์บอกซิเมทิล ทดสอบการย่อยสลายด้วยวิธีการฝังดินและการละลายน้ำ พบว่าแผ่นพลาสติกมีคุณสมบัติในการย่อยสลายได้ภายใน 24 ชั่วโมง แผ่นพลาสติกมีความหนา สี ที่แตกต่างกัน ซึ่งแผ่นพลาสติกที่เหมาะสมในการนำไปผลิตบรรจุภัณฑ์ คือ พลาสติกที่เตรียมจาก CMC-1 ปริมาณ 5 กรัม มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน สีน้ำตาล โปร่งแสง ซึ่งมีความหนาของแผ่นเท่ากับ 0.160 มิลลิเมตร มีค่าต้านแรงดึงเท่ากับ 32.73 นิวตัน ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของแผ่นพลาสติกด้วยเทคนิค FTIR แสดงให้เห็นจุดยอดของเลขคลื่นที่หลากหลายและสามารถเห็น O-H stretching ที่เลขคลื่น 3400 cm^{-1} สามารถเห็นจุดยอดอื่นของ CH_2 และ CH_3 C-H stretching ที่เลขคลื่น 2922 cm^{-1} หมู่คาร์บอนิล C=O stretching แสดงที่เลขคลื่น 1059 cm^{-1} และ C-O stretching ของแอลกอฮอล์ แสดงที่เลขคลื่น 1059 cm^{-1}

คำสำคัญ: คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เซลลูโลส ฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรสโคปี เปลือกมะพร้าว

ABSTRACT

This research focuses on the synthesis of carboxymethyl cellulose (CMC) from agricultural residual coconut peel by modifying the properties of cellulose to replace the original structure with the methyl and carboxylic groups to produce the plastic sheet. Biodegradation is tested using soil embedding methods and water solubility. It was found that the plastic sheet has the ability to degrade within 24 hours. The plastic sheet has a different color and thickness. The suitable plastic sheet for packaging production is plastic prepared from 5 grams of CMC-1 powder which has a smooth homogeneous sheet, translucent, brown color with a thickness of 0.160 mm, and a 32.73 N of tensile strength. As the results, the analysis of the characteristics of plastic sheets using the FTIR technique show various wave numbers and can see O-H stretching at peak of 3400 cm^{-1}. Other peaks can also be seen with CH_2 and CH_3 C-H stretching is at the wave number of 2922 cm^{-1}, carbonyl group C=O is at the wave number of 1059 cm^{-1}, and C-O stretching of alcohol is at the wave number of 1059 cm^{-1}.

Keywords: carboxymethyl cellulose, cellulose, FTIR, Coconut peel

บทนำ

อุตสาหกรรมพลาสติกได้เริ่มต้นมาประมาณ 30 ปีที่แล้ว ผลิตภัณฑ์จากพลาสติกเป็นที่นิยมใช้ทั่วไป โดยนำไปเป็นอุปกรณ์ของเด็กเล่น อุปกรณ์ตกแต่งบ้าน เสื้อผ้า ภาชนะบรรจุอาหารและเครื่องดื่มเป็นต้น พลาสติกสามารถทำเป็นแผ่นพลาสติก ทำน้ำยาเคลือบหนัง หรือหล่อให้เป็นรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กัน พลาสติกมีความคงทนแข็งแรงเช่นเดียวกับโลหะบางชนิด แต่มีน้ำหนักเบากว่า จึงได้มีการนำพลาสติกไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมมากมาย จากการที่คนทั่วไปนิยมใช้พลาสติกกันมากขึ้น ผลที่ตามมา คือ ขยะมีมากจนเกลื่อนเมือง พลาสติกเป็นขยะที่ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายหลายสิบปีและยังส่งผลต่อสภาพแวดล้อม ถ้าได้รับการย่อยสลายผิดวิธี การเผาส่งผลให้เกิดผลพิษทางอากาศ การฝังดินทำให้เกิดผลพิษทางดิน หรือแม้แต่การทิ้งถุงพลาสติกลงน้ำจะทำให้น้ำเน่าเสียแล้ว ยังส่งผลถึงสัตว์น้ำเมื่อได้รับประทานเข้าไป ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมุ่งศึกษาการสังเคราะห์ CMC จากเซลลูโลสของเปลือกมะพร้าว เพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตถุงพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้โดยธรรมชาติ

มะพร้าว (Coconut) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* Linn. เป็นพืชยืนต้นใบเลี้ยงเดี่ยวชนิดหนึ่ง อยู่ในตระกูลปาล์ม นอกจากมะพร้าวแล้ว อินทผลัม ปาล์มน้ำมัน ตาลโตนด จาก หมาก สาคูลาน และหวาย ต่างก็เป็นพืชที่จัดอยู่ในตระกูลปาล์ม โดยจากงานวิจัยที่คณะผู้วิจัยได้ค้นคว้ามา พบว่าเปลือกมะพร้าวแก่นั้น มีส่วนประกอบทางเคมีเป็นเซลลูโลส 36.3 % ลิกนิน 32.7 % และเฮมิเซลลูโลส 12.4 % [1-2]

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส หรือ CMC (carboxyl methyl cellulose) หรือ โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (sodium carboxyl methyl cellulose) จัดเป็นพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ (hydrophilic) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสเกิดจากการปรับปรุงสมบัติของเซลลูโลสให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมทิลและหมู่คาร์บอกซิล เนื่องจาก CMC เป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นอันตราย ไม่เป็นผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และละลายน้ำได้ดี [3-4] จึงมีสมบัติเป็นสารเพิ่มความหนืดที่ช่วยในการยึดเกาะและใช้เป็นสารคงสภาพได้ จึงพบว่ามีการประยุกต์ใช้ CMC ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมซักฟอก สี กาว สิ่งทอ กระดาษ เซรามิค อาหาร และยา เป็นต้น CMC สังเคราะห์ได้จากพืชหลากหลายชนิดที่ให้เซลลูโลสในปริมาณสูง เช่น ฟางข้าว เปลือกมะละกอเปลือกทุเรียน และเปลือกมะพร้าว เป็นต้น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ CMC เซลลูโลสจากเปลือกมะพร้าวเป็นสารเริ่มต้นในการทำผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ นอกจากนั้น ยังนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของโครงสร้างด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (FTIR) เพื่อยืนยันการย่อยสลายได้ด้วยวิธีการนำไปฝังดิน และการละลายในน้ำ นอกจากนั้น ได้นำแผ่นพลาสติกมาทดสอบการต้านแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) และประยุกต์ใช้แผ่นพลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์ย่อยสลายได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสังเคราะห์ CMC จากเซลลูโลสของเปลือกมะพร้าว
2. เพื่อประยุกต์ใช้ CMC เป็นวัตถุดิบในการเตรียมแผ่นพลาสติกย่อยสลายได้และประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์

วิธีการวิจัย

คณะผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานของการวิจัยนี้ว่า CMC จากเซลลูโลสเปลือกมะพร้าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อทำผลิตภัณฑ์พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ และมีขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นพืช คือ เปลือกมะพร้าว

2. วิจัยเฉพาะเปลือกมะพร้าว เซลลูโลส การสกัดเซลลูโลส การสังเคราะห์ CMC และการเตรียมบรรจุภัณฑ์พลาสติก โดยมีวิธีการทดลอง ดังนี้

1. เตรียมแผ่นพลาสติก โดยใช้ผง CMC-1 จำนวน 5 กรัม ในน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตร และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เทใส่แม่พิมพ์ นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

2. ทดสอบการย่อยสลายโดยการแช่น้ำ โดยการนำแผ่นพลาสติกที่ได้มาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ให้ได้น้ำหนัก 0.1 กรัม นำมาแช่ในน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. นำแผ่นพลาสติกที่ได้มาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ให้ได้น้ำหนัก 1.0 กรัม นำไปฝังดินเป็นเวลา 1 สัปดาห์

4. วัดความหนาของแผ่นพลาสติกด้วยดิจิตัลไมโครมิเตอร์ (digital micrometer)

5. ทดสอบการต้านแรงดึงของแผ่นพลาสติกด้วยเครื่อง UTM โดยนำแผ่นพลาสติกที่ได้มาตัดให้ได้ขนาด 2×5 ตารางเซนติเมตร

6. วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรสโคปี (FTIR) [5]

นอกจากนั้น ได้นิยามการคำนวณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยคำนวณออกมาในรูปผลผลิตร้อยละ (percent yield) โดยคำนวณจากสมการ

$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = \frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100\ \% \qquad (1)$$

ผลผลิตจริง คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองหรือจากการเกิดปฏิกิริยา และผลผลิตตามทฤษฎี คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคำนวณตามสมการเคมี เกิดจากปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ ผลผลิตร้อยละจะได้ไม่ถึงร้อยเปอร์เซนต์ เนื่องจากการทำการทดลองจะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง อาจจะทำให้เกิดสารชนิดอื่น ๆ ได้ นอกจากนี้ สารตั้งต้นอาจจะมีสารชนิดอื่นปนอยู่ด้วย

ผลการวิจัย

จากการเตรียมเป็นแผ่นพลาสติกที่ใช้ผง CMC-1 ได้แผ่นพลาสติกที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน สีน้ำตาลโปร่งแสง และจากการทดสอบการย่อยสลายโดยการแช่น้ำ พบว่าแผ่นพลาสติกสามารถย่อยสลายได้หมด และค่า pH ของน้ำมีค่าเท่ากับ 7 ซึ่งมีค่าเป็นกลาง ซึ่งได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 1 และเมื่อทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่าแผ่นพลาสติกสามารถย่อยสลายได้หมด โดยได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 2 เมื่อวัดความหนาของแผ่นพลาสติก ได้ผลดังตารางที่ 3 เมื่อทำการวัดค่าการต้านแรงดึงกับแผ่นพลาสติก ได้ผลดังกราฟในภาพที่ 4 จากการทดสอบ พบว่าค่าการต้านแรงดึงพบว่าแผ่นพลาสติก CMC-1/3 มีความหนาของแผ่นเท่ากับ 0.112 มิลลิเมตร มีค่าต้านแรงดึงเท่ากับ 28.30 นิวตัน ระยะยืดได้ของแผ่นพลาสติกเท่ากับ 12.01 มิลลิเมตร สำหรับ CMC-1/5 มีความหนาเท่ากับ 0.160 มิลลิเมตร มีค่าต้านแรงดึงเท่ากับ 32.73 นิวตัน ระยะที่ยืดได้ของแผ่นพลาสติกเท่ากับ 10.15 มิลลิเมตร พบว่า CMC-1/3 และ CMC-1/5 มีค่าการต้านแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน สำหรับแผ่นพลาสติก CMC-2/5 มีความหนาของแผ่นเท่ากับ 0.197 มิลลิเมตร มีค่าต้านแรงดึงเท่ากับ 35.68 นิว-ตัน และเกือยจะยืดไม่ได้เลย และได้สรุปผลความหนา ค่าต้านแรงดึง และระยะยืดของแผ่นพลาสติกไว้ในตารางที่ 3 อีกครั้ง

ได้เลือกแผ่นพลาสติก CMC-1/5 และ CMC-2/5 มาวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR พบว่าแผ่นพลาสติกดังกล่าว มีจุดยอดของเลขคลื่นที่หลากหลาย สามารถเห็น O-H stretching ที่เลขคลื่น 3400 cm^{-1} สามารถเห็นจุดยอดอื่น ๆ ของ CH_2 และ CH_3 C-H stretching ที่เลขคลื่น 2922 cm^{-1} หมู่คาร์บอนิล C=O stretching แสดงที่เลขคลื่น 1059 cm^{-1} และ C-O stretching ของแอลกอฮอล์ แสดงที่เลขคลื่น 1059 cm^{-1} ดังภาพที่ 5 และ 6 จึงสามารถยืนยันหมู่

ตารางที่ 1 การทดสอบการย่อยสลายของแผ่นพลาสติก

ชนิด	ปริมาตรของน้ำ (ml)	น้ำหนักพลาสติกก่อนการแช่น้ำ (g)	น้ำหนักพลาสติกหลังการแช่น้ำ (g)	ร้อยละของการย่อยสลายได้
CMC-1/3	50	0.1	0.0	100
CMC-1/5	50	0.1	0.0	100
CMC-2/5	50	0.1	0.0	100

ตารางที่ 2 การทดสอบการย่อยสลายด้วยการฝังดิน

ชนิด	น้ำหนักพลาสติกก่อนการฝังดิน (g)	น้ำหนักพลาสติกหลังการฝังดิน (g)	ร้อยละของการย่อยสลายได้
CMC-1/3	1.0	0.0	100
CMC-1/5	1.0	0.0	100
CMC-2/5	1.0	0.0	100

ตารางที่ 3 ความหนา ค่าต้านแรงดึง และระยะยืดของแผ่นพลาสติก

ชนิดของแผ่นพลาสติก	ความหนา (มิลลิเมตร)	ค่าต้านแรงดึง (นิวตัน)	ระยะยืด (มิลลิเมตร)
CMC-1/3	0.112	28.30	12.01
CMC-1/5	0.160	32.73	10.15
CMC-2/5	0.197	35.68	0

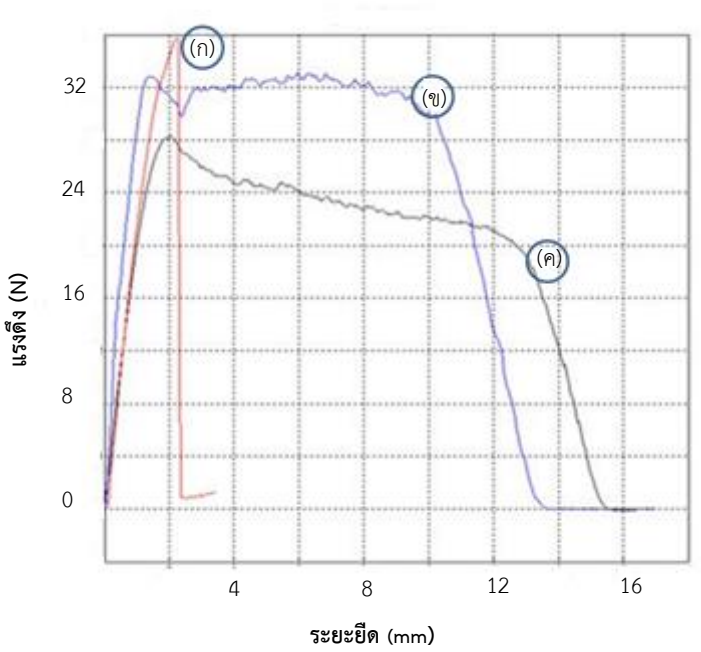
ฟังก์ชันของแผ่นพลาสติกที่เตรียมได้จาก CMC ที่ได้จากเซลลูโลสของเปลือกมะพร้าวในการวิจัยนี้

แผ่นพลาสติก CMC-1/3 กับ CMC-1/5 มีค่าต้านแรงดึงน้อยกว่าแผ่นพลาสติก CMC-2/5 แต่มีระยะที่ยืดได้มากกว่า CMC-2/5 จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าแผ่นพลาสติก CMC-1/5 มีความเหมาะสมที่จะนำไปสร้างเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกย่อยสลายได้

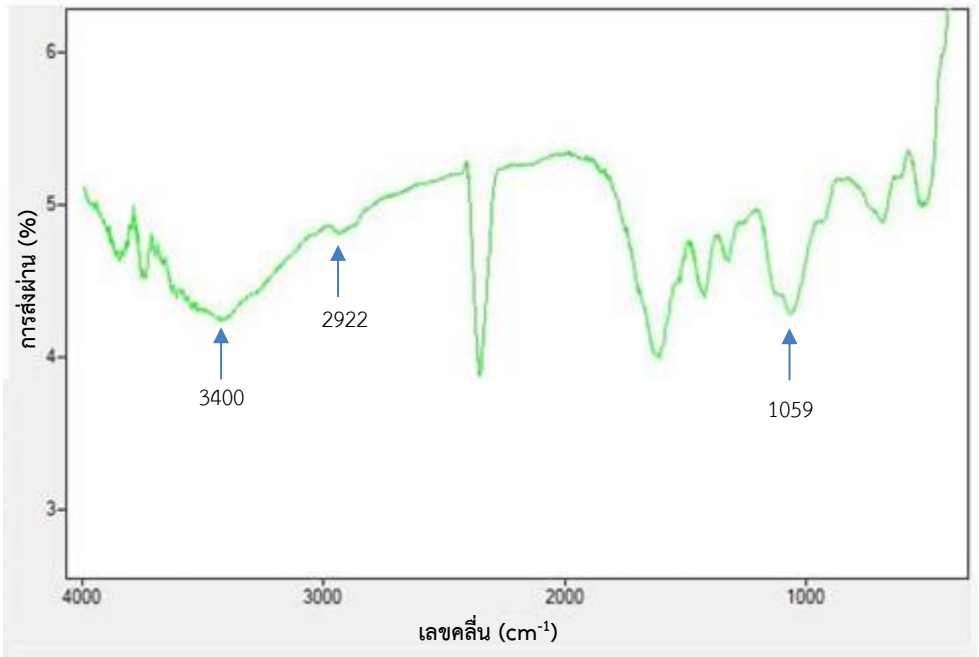
สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์ CMC จากเปลือกมะพร้าวเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยดัดแปลงคุณสมบัติของเซลลูโลสให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมทิลและหมู่คาร์บอกซิเมทิล นำเซลลูโลสที่สกัดได้จากเปลือกมะพร้าวมากำจัดลิกนิน โดยใช้สารเคมีที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และ โซเดียมคลอไรท์ ($NaClO_2$) และสกัด CMC จากเซลลูโลสด้วยกรดคลอโรอะซิติก ($C_2H_3O_2Cl$) ในสารละลายผสมของไอโซโพรพานอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อใช้ CMC เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายทางชีวภาพ โดยวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ของแผ่นนพลาสติก ได้แก่ การย่อยสลาย การต้านแรงดึง และการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรสโคปี (FTIR) ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้

การสกัดเซลลูโลสจากเปลือกมะพร้าวนั้น โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเบสที่เหมาะสมในการสกัดที่มีผลผลิตร้อยละเฉลี่ยของการสกัดเซลลูโลสจากผงเปลือกมะพร้าวเท่ากับ 16.68 (คิดจากสมการที่ 1) กำจัดลิกนินโดยสารเคมีที่เหมาะสม คือ

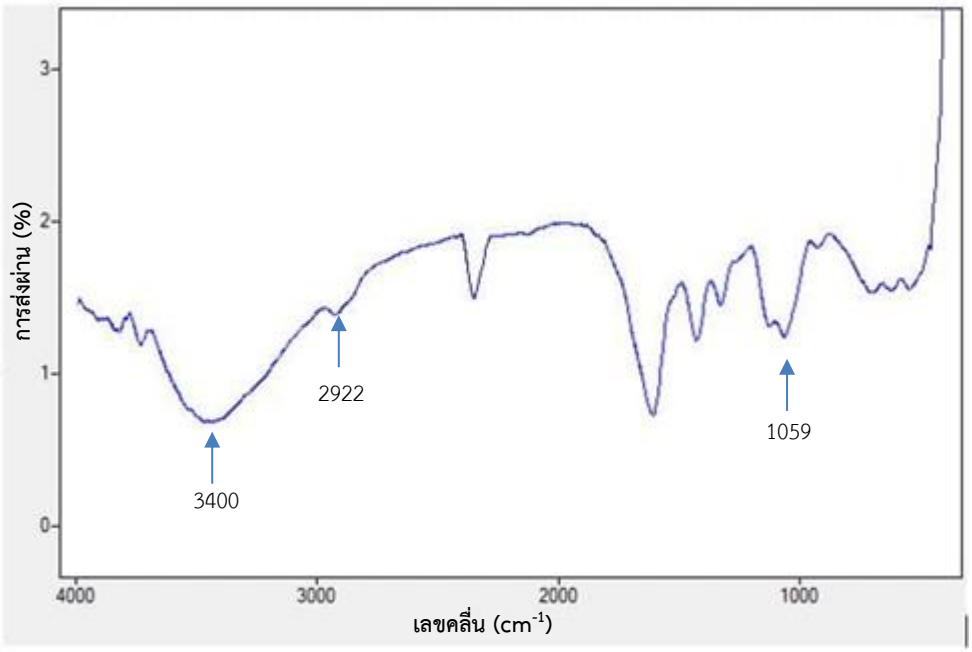


ภาพที่ 4 กราฟค่าการต้านแรงดึงของแผ่นพลาสติก (ก) CMC-2/5, (ข) CMC-1/5 และ (ค) CMC-1/3



ภาพที่ 5 สเปกตรัม FTIR ของแผ่นพลาสติก CMC-1/5

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) สกัด CMC จากเซลลูโลสที่ได้ด้วยกรดคลอโรอะซิติก ไอโซโพรพานอล และโซเดียมไฮดรอก-ไซด์ ได้ผง CMC-1 ที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการกำจัดลิกนิน ได้ผงที่มีลักษณะเป็นของแข็งสีน้ำตาลอ่อน มีปริมาณผลผลิตร้อยละ 93.90 และการทดสอบการละลายน้ำปรากฏว่าแผ่นพลาสติกทั้ง 3 ชนิด กล่าวคือ CMC-1/3, CMC-1/5 และ CMC-2/5 สามารถละลายน้ำได้หมดในเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อนำแผ่นพลาสติกทั้ง 3 ชนิดฝังดิน มันถูกทำให้สลายหมดสิ้นในระยะเวลา 1 สัปดาห์



ภาพที่ 6 สเปกตรัม FTIR ของแผ่นพลาสติก CMC-2/5

จากผลการวิจัยเห็นได้ว่า ผู้วิจัยสามารถสังเคราะห์ CMC ที่ละลายน้ำได้จากเปลือกของมะพร้าว และสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ และสามารถเตรียมเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงมิได้ ถ้าไม่มีอาจารย์สถาพร จันทวี และอาจารย์วัสสา รวยรวย อาจารย์ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องทดสอบวัสดุในการทดสอบแรงดึงของแผ่นพลาสติก ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการทำวิจัย และคอยเคี่ยวเข็ญคณะผู้วิจัยจนทำให้สามารถก้าวผ่านอุปสรรคต่าง ๆ ได้อย่างภาคภูมิ ตลอดจนเป็นแบบอย่างที่ดีให้แก่ผู้วิจัย ซึ่งผู้วิจัยซาบซึ้งในความปรารถนาดีและจักได้นำแบบอย่างของท่าน ไปใช้ในการทำงานการดำรงชีวิต ตลอดจนจักเผยแพร่และเป็นแบบอย่างที่ดีแก่สังคมในภายภาคหน้าต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] โศรดา กนกพานนท์, ชารีฟ อินทพันธ์ และอภิตา บุญศิริ, “การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกมะพร้าวอ่อน,” *วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์*, ปีที่ 4, ฉ. 4, น. 60-65, 2560.

[2] สุจัยพรรณ เข็มแก้ว และสุปราณี แก้วภิรมย์, “ผลของกลีเซอรอลและเพค-10 ไดเมทิโคนต่อสมบัติของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกทุเรียน,” *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, ปีที่ 12, ฉ. 2, น. 11-21, 2559.

[3] ยุทธนา นามวงษา, ละมุล วิเศษ และณัฐพล ภูมิสะอาด, “ผลของพลาสติไซเซอร์และอุณหภูมิอบแห้งต่อสมบัติของฟิล์มย่อยสลายได้ตามธรรมชาติจากแป้งบุก,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, ปีที่ 18, ฉ. 2, น. 32-38, 2559.

[4] ธัญญ์นลิน วิญญูประสิทธิ์, ยุราพร สหัสกุล และน้ำผึ้ง รุ่งอรุณ, “นาโนเซลลูโลส: การประยุกต์ใช้ในอาหารและความปลอดภัยอาหาร,” *วารสารพิษวิทยาไทย*, ปีที่ 32, ฉ. 21, น. 67-69, 2560.

[5] Y. Zhao, C. Xu, C. Xing, X. Shi, L. M. Matuana, H. Zhou and X. Ma, "Fabrication and characteristics of cellulose nanofibril films from coconut palm petiole prepared by different mechanical processing," *Industrial Crops and Products*, vol. 65, pp. 96-101, 2015.