

ผลกระทบของขนาดอนุภาคเซลลูโลสต่อฟิล์มชีวภาพจากเปลือกถองกอก

สายรุ้ง คำตรง¹ และ ภาณุพงศ์ ใจบาล^{1,2*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงานและการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์ พลังงาน และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง, ระยอง

²โครงการจัดตั้งศูนย์วิจัยเทคโนโลยีควอนตัม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่

*panupongj@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของขนาดอนุภาคเซลลูโลสจากเปลือกถองกอกบนฟิล์มชีวภาพโดยขนาดอนุภาคถูกแบ่งออกเป็น 355 125 และ 75 ไมโครเมตร เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) จะถูกใช้ในการยืนยันเฟสของเซลลูโลส โดยในบางตัวอย่างจะพบเฟสทุติยภูมิซึ่งเฟสทุติยภูมิที่ปรากฏขึ้นจะไม่ส่งผลต่อกระบวนการเตรียมฟิล์มชีวภาพ การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR) ซึ่งให้เห็นถึงการมีอยู่ของหมู่คาร์บอกซิลและไฮดรอกซิลในผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ที่ถูกสังเคราะห์จากอนุภาคเซลลูโลสขนาด 75 ไมโครเมตร ลักษณะสัณฐานวิทยาของผง (SEM) และองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง (EDS) พบว่าที่ขนาดอนุภาคเซลลูโลส 75 ไมโครเมตร ทำให้เกิดพื้นผิวเรียบและเป็นเนื้อเดียวกันของฟิล์มชีวภาพ ซึ่งการลดลงของขนาดอนุภาคทำให้เกิดความสามารถในการละลายน้ำของ CMC สูง ส่งผลให้ฟิล์มชีวภาพมีคุณภาพสูงเช่นกัน และการดูดกลืนแสงของฟิล์มชีวภาพที่ขนาดอนุภาคทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ ในที่นี้ ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าฟิล์มชีวภาพจากเปลือกถองกอกที่มีคุณภาพสูงสามารถผลิตได้โดยใช้อนุภาคเซลลูโลสขนาด 75 ไมโครเมตร ซึ่งในอนาคตอาจจะเป็นผลิตภัณฑ์ชีวภาพทางเลือกอีกชนิดหนึ่ง

คำสำคัญ: เปลือกถองกอก คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ฟิล์มชีวภาพ



The Effects of Cellulose Particle Sizes on Biofilm from Longkong Peel

Saryung Khumtrong¹ and Panupong Jaiban^{1,2*}

¹Faculty of Science, Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Rayong Campus, Rayong 21120, Thailand

²Research Center for Quantum Technology, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai, 50200, Thailand

*panupongj@kmutnb.ac.th

Abstract

The effects of longkong cellulose particle sizes on its biofilm were investigated. The particle sizes were divided into 355, 125 and 75 μm . The X-ray diffraction patterns confirmed the cellulose phase with the secondary phase in some sample. The second phase did not affect biofilm preparation. The FTIR analysis suggested a strong presence of carboxyl and hydroxyl groups in carboxymethylcellulose (CMC) powder, which synthesized from the cellulose particle size 75 μm . The SEM and EDS observations revealed that the cellulose particle size of 75 μm produced a smooth surface and homogeneity of biofilm. The decrease in particle size induced significantly the high water solubility of CMC and high reaction surface area, leading to high quality of biofilm. The light absorption of all biofilms was not different significantly. Herein, the result suggested that a high quality of biofilm from longkong peel could be produced using the cellulose particle size 75 μm , which may be alternative bioproduct in near future.

Keywords: longkong peel, carboxymethylcellulose, biofilm

1. บทนำ

ในแต่ละปี ขยะชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากการบริโภคจำนวนมาก เช่น บ้าน ตลาด และชุมชน [1] ซึ่งการบำบัดขยะชีวภาพที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ [2] โดยมีงานวิจัยหลายชิ้นที่มีความกังวลเกี่ยวกับปัญหานี้และพยายามที่จะพัฒนาวัสดุชีวภาพและผลิตฟิล์มชีวภาพจากขยะชีวภาพ ล่าสุดได้มีการผลิตฟิล์มชีวภาพจากเปลือกผลไม้ซึ่งเป็นขยะชีวภาพ อาทิเช่น เปลือกทุเรียน [3] เปลือกกล้วย [4] และเปลือกมังคุด [5] ตัวอย่างเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ ไม่ว่าจะเป็น อุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ อีกทั้งยังเป็นวัสดุชีวภาพที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เหตุผลนี้จึงกลายเป็นแรงจูงใจของเราในการพัฒนาฟิล์มชีวภาพจากเปลือกผลไม้โดยส่วนประกอบหลักของเปลือกผลไม้คือเซลลูโลส ซึ่งเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่สามารถหมุนเวียนได้ในทรัพยากรธรรมชาติและมีพอลิเมอร์คาร์โบไฮเดรต (โพลีแซคคาไรด์) มากกว่า 90% (w/w) ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้

ในบรรดาเปลือกผลไม้ ลองกอง (*L. domesticum*) เป็นหนึ่งในผลไม้ที่น่าสนใจเพราะเป็นผลไม้ท้องถิ่นทั่วไปในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ และไทย โดยลองกองเป็นผลไม้ที่เน่าเสียง่าย จึงต้องมีการแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้อยู่ในรูปแบบผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เยลลี่และน้ำผลไม้ ซึ่งการเก็บรักษานี้ทำให้มีขยะชีวภาพจำนวนมากจากเปลือกลองกอง ดังนั้นเราจึงสนใจที่จะนำเปลือกลองกองมาใช้ในการผลิตฟิล์มชีวภาพเพื่อลดปริมาณขยะและเพิ่มโอกาสทางเศรษฐกิจของเปลือกลองกอง โดยในอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพมีหลายวิธีในการเตรียมฟิล์มชีวภาพจากเซลลูโลส (Cellulose) หนึ่งในนั้นคือการนำไปสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose, CMC) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสชนิดหนึ่งที่เกิดจากการปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ทำให้มีหมู่เมทิลและหมู่คาร์บอกซีเมทิลเข้ามาแทนที่ในโครงสร้างเดิม โดย CMC มีคุณสมบัติที่ไม่มีความเป็นพิษและมีความสามารถในการละลายน้ำสูง [6] ดังนั้นจึงมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการนำไปผลิตเป็นฟิล์มชีวภาพ อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการละลายน้ำของ CMC ส่งผลกระทบบอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์มซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าอนุภาคขนาดเล็กยอมมีพื้นที่ผิวสูง ดังนั้นการปรับปรุงความสามารถในการละลายของ CMC จึงนำไปสู่การผลิตฟิล์มชีวภาพที่มีคุณภาพสูงด้วยสมมุติฐานนี้ ในงานวิจัยนี้เราจึงเน้นที่จะศึกษาถึงผลกระทบของขนาดอนุภาคเซลลูโลสที่มีต่อ CMC และฟิล์มชีวภาพเริ่มแรก ทำการสกัดเซลลูโลสจากเปลือกลองกองจากนั้นจึงทำการกรองอนุภาคเซลลูโลสในหลายขนาด โดยเซลลูโลสที่มีขนาดต่างกันจะถูกนำมาใช้เป็นวัสดุเริ่มต้นสำหรับการสังเคราะห์ CMC และการเตรียมฟิล์มชีวภาพในภายหลัง เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD) ถูกใช้เพื่อยืนยันเฟสของตัวอย่างทั้งหมด สัณฐานวิทยาและองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างสังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และสเปกโตรสโคปีรังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, EDS) ตามลำดับ เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) ถูกใช้เพื่อระบุพันธะเคมีของตัวอย่างทั้งหมด ตรวจสอบการดูดกลืนแสงของฟิล์มชีวภาพทั้งหมดโดยใช้เครื่องสเปกโตรสโคปี (UV-Vis Spectrophotometer, UV-Vis) และสุดท้ายจะเป็นการกล่าวถึงผลกระทบของขนาดอนุภาคเซลลูโลสต่อการผลิตฟิล์มชีวภาพจากเปลือกลองกอง

2. สมมุติฐานของงานวิจัย

1. ขนาดอนุภาคของเซลลูโลสมีผลต่อการสังเคราะห์ CMC และฟิล์มชีวภาพ
2. ขนาดอนุภาคของเซลลูโลสที่เล็กยอมแสดงลักษณะพื้นผิวและคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่า

3. ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

1. ตัวแปรต้น ได้แก่ ขนาดอนุภาคของเซลลูโลส
2. ตัวแปรตาม ได้แก่ ลักษณะพื้นผิวและสมบัติทางกายภาพของฟิล์มชีวภาพ
3. ตัวแปรควบคุม ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นฟิล์ม ความเข้มข้นของสาร ปริมาณและสัดส่วนของสารที่ใช้

4. วัสดุและวิธีการดำเนินงาน

4.1 วัสดุ

เปลือกลองกองได้มาจากตลาดท้องถิ่นในประเทศไทย สารเคมีทั้งหมดที่ใช้ในการสกัดเซลลูโลสและการสังเคราะห์ CMC ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดคลอโรอะซิติก ($C_2H_3ClO_2$) จาก Sigma-Aldrich ไอโซโพรพานอล (C_3H_8O), เอทานอล (C_2H_5OH), เมทานอล (CH_3OH) และกรดอะซิติก (CH_3COOH) จาก Merck KGaA



4.2 การสกัดเซลลูโลส

ในขั้นตอนแรก นำเปลือกของกอกที่ทำความสะอาดแล้วไปอบแห้งแล้วนำมาปั่นให้ละเอียด จากนั้นนำไปต้มใน NaOH (1 โมลาร์) พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองเส้นใยแล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่น หลังจากนั้นทำการพอกเส้นใยด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (30%) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการกรองและล้างอีกครั้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากได้รับเซลลูโลสแล้วทำการปั่นให้ละเอียดอีกรอบแล้วนำไปคัดแยกอนุภาคโดยใช้เครื่องปั่นตะแกรง (Retsch, AS 200) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยการศึกษาแบ่งขนาดอนุภาคเซลลูโลสออกเป็นสามขนาด ได้แก่ 355 ไมโครเมตร 125 ไมโครเมตร และ 75 ไมโครเมตร

4.3 การสังเคราะห์ CMC

เซลลูโลสที่มีขนาดอนุภาคต่างกันถูกกวนผสมในสารละลาย NaOH 40% และไอโซโพรพานอลที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการเติมกรดคลอโรอะซิติกลงในสารละลายพร้อมปั่นกวนอีกครั้งเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้น นำส่วนผสมเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำส่วนผสมออกจากเตาแล้วสารจะแยกออกเป็นสองชั้น คือ ของเหลวและของแข็ง ทำการเทส่วนเป็นของเหลวทิ้งแล้วเติมสารละลายเมทานอล (70%) พร้อมปรับ pH ให้เป็นกลางด้วยกรดอะซิติก เฟสของแข็งที่แขวนลอยในสารละลายเมทานอลจะถูกกรองและล้างด้วยสารละลายเอทานอล (70%) ทั้งหมด สามครั้ง ในขั้นตอนสุดท้ายทำการล้างด้วยสารละลายเอทานอลบริสุทธิ์ (99%) หลังจากนั้นกรองเก็บส่วนที่เป็นของแข็งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.4 การเตรียมฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) จากเปลือกของกอก

ขั้นแรก ผง CMC ถูกละลายในน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำการเทสารละลายลงในแม่พิมพ์ทรงสี่เหลี่ยม (5 x 5 ซม.) แล้วนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4.5 ลักษณะเฉพาะ

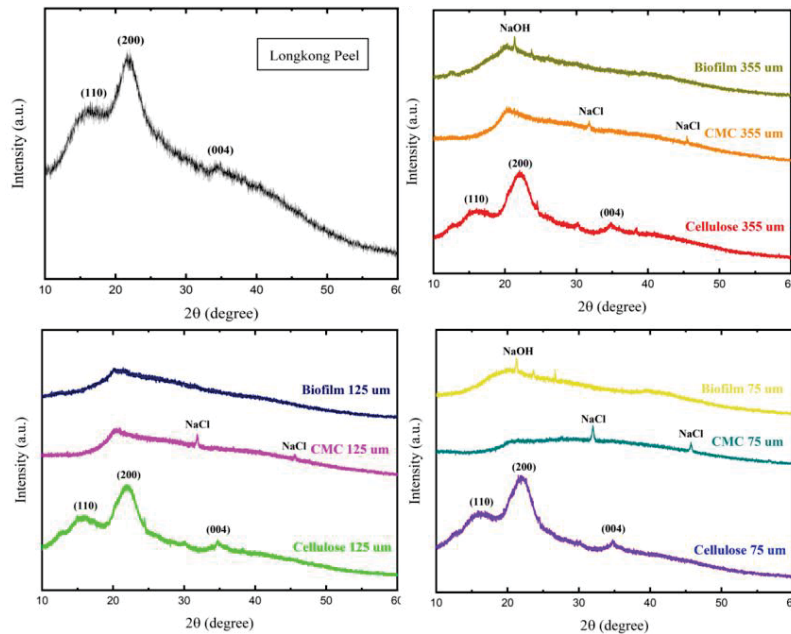
เปลือกของกอก เซลลูโลส CMC และฟิล์มชีวภาพได้รับการยืนยันองค์ประกอบทางเคมีโดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-NIR PerkinElmer) ในช่วงเลขคลื่นตั้งแต่ 400 ถึง 4000 ซม.⁻¹ เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (Rigaku, Smart Lab) ถูกใช้เพื่อศึกษาลักษณะเฟสของตัวอย่างในช่วงมุมเลี้ยวเบนระหว่าง 10° ถึง 60° ศึกษาโครงสร้างจุลภาคและองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และสเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน (EDS) การดูดกลืนแสงของฟิล์มทั้งหมดได้รับการตรวจสอบโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ UV-Visible (UV2600, SHIMADZU) ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 200 ถึง 600 นาโนเมตร

5. ผลลัพธ์และการอภิปรายผล

5.1 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)

โครงสร้างผลึกของเปลือกของกอกแสดงไว้ในภาพที่ 1 โดยผลลัพธ์แสดงจุดสูงสุดที่ 22° ซึ่งสอดคล้องกับระนาบการเลี้ยวเบน (200) พิกัดนี้ถูกรายงานว่าเป็นผลึกเซลลูโลส ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน JCPDS No.03-0226 [7] นอกจากนี้ พิกัด (110) และ (004) บ่งชี้ถึงการมีอยู่ของเฟสอสัณฐานของเซลลูโลส ผลลัพธ์นี้สามารถยืนยันได้ว่าเปลือกของกอกส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลลูโลสที่มีโครงสร้างต่างกัน รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของเซลลูโลสที่มีขนาดต่างกันพบว่าเซลลูโลสทั้งหมด

มีรูปแบบ XRD ที่คล้ายคลึงกันที่พีค 16°, 22° และ 35° สำหรับตัวอย่างเซลลูโลสสอดคล้องกับระนาบ (110), (200) และ (004) ตามลำดับ พีคเหล่านี้บ่งชี้ว่ามีเฟสเซลลูโลส [8] โดยพีค (110) สัมพันธ์กับเฟสเซลลูโลสสัณฐาน ในขณะที่ขยอกยอดที่ (200) สัมพันธ์กับเซลลูโลสที่เป็นผลึก ที่น่าสนใจคือความเข้มของยอด (004) ของเซลลูโลสจะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเปลือกถองกอง ผลลัพธ์นี้เกิดจากการกำจัดลิกนินหรือเฮมิเซลลูโลสออกในระหว่างการฟอกสี [9] ในกรณีของผง CMC ที่สังเคราะห์จากเซลลูโลสที่มีขนาดต่างกันจะสังเกตเห็นเฟส NaCl ได้ โดยพีคนี้อาจมาจาก NaOH และกรดคลอโรอะซิติก [10] นอกจากนี้ที่พีค (200) ในผง CMC ทั้งหมดมีลักษณะของพีคที่ลดลงโดยการลดลงนี้เป็นผลมาจากการลดลงของโครงสร้างผลึกเซลลูโลสเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลเซลลูโลสที่แตกสลายโดย NaOH ระหว่างปฏิกิริยาคาร์บอกซิเมทิลเลชัน [11] และรูปแบบ XRD ของฟิล์มชีวภาพพบพีคที่ไม่แตกต่างจากผง CMC ผลการวิจัยพบว่าเฟสหลักของฟิล์มชีวภาพยังคงเป็นเซลลูโลสที่มีโครงสร้างผลึกต่ำ เช่น ผง CMC อย่างไรก็ตาม การมีอยู่ของเฟส NaOH (JCPDS No.01-075-0642) ที่ 22°, 24° และ 27° ในฟิล์มชีวภาพทำให้ไอออน Na^+ ในกลุ่มคาร์บอกซิลิกของผง CMC อาจทำปฏิกิริยากับ OH^- ของน้ำ ทำให้เกิดเฟสดังกล่าวขึ้น



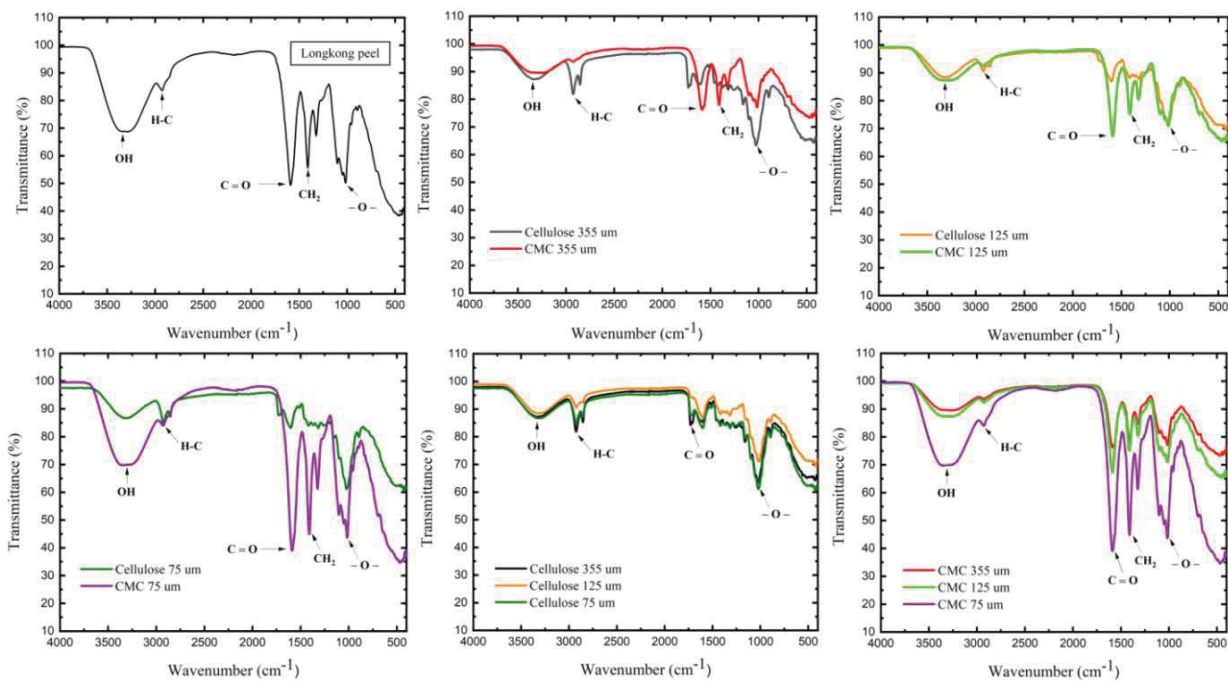
ภาพที่ 1 รูปแบบ XRD ของเปลือกถองกอง เซลลูโลส CMC และฟิล์มชีวภาพที่ขนาดอนุภาคต่าง ๆ

5.2 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (FT-IR)

ภาพที่ 2 แสดงสเปกตรัม FTIR ของเปลือกถองกอง เซลลูโลส และผง CMC โดยจากผลการทดลองของเปลือกถองกองพบว่ามีความถี่หลายพันธะในตัวอย่างนี้ พีคแรกที่ 3290 cm^{-1} ซึ่งสัมพันธ์กับการสั่นแบบยืดของกลุ่มไฮดรอกซิล (-OH Stretching) ในขณะเดียวกัน จุดสูงสุดที่สองที่พีค 2927 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของกลุ่มไฮโดรคาร์บอน (C-H Stretching) และส่วนอื่นๆ ปรากฏที่พีค 1589 cm^{-1} , 1408 cm^{-1} และ 1102 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นสะเทือนแบบยืดของกลุ่มคาร์บอกซิลิก (C=O Stretching), การสั่นแบบงอของหมู่เมทิล ($-\text{CH}_2$ Scissoring) และการสั่นแบบยืดของกลุ่มอีเธอร์ (-O- Stretching) ตามลำดับ โดยพีคที่สังเกตได้ทั้งหมดสะท้อนถึงพันธะเคมีในโครงสร้างเซลลูโลส [12] ถัดมาเป็นรูปการเปรียบเทียบสเปกตรัม FTIR ระหว่างเซลลูโลสและผง CMC สำหรับขนาดอนุภาคแต่ละขนาดโดยพีค FTIR ของเซลลูโลสและผง CMC ของอนุภาคทุกขนาด



ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ความเข้มการดูดกลืนของเซลลูโลสมีลักษณะที่เปลี่ยนไปเมื่อทำการสังเคราะห์เป็นผง CMC สำหรับอนุภาค 355 ไมโครเมตร และ 125 ไมโครเมตร โดยพีคมีลักษณะการดูดกลืนที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเซลลูโลส ในขณะที่ผง CMC สำหรับอนุภาค 75 ไมโครเมตรมีการดูดกลืนที่ตีขึ้นมากซึ่งการเพิ่มขึ้นนี้เกิดจากการมีอยู่ของกลุ่มคาร์บอกซิลที่พีค 1589 cm^{-1} และหมู่ไฮดรอกซิลที่พีค 3290 cm^{-1} [13] โดยผลที่ได้บ่งชี้ถึงการมีอยู่ของขนาดอนุภาคเซลลูโลสต่อโครงสร้างพื้นระ CMC นอกจากนี้เรายังเปรียบเทียบสเปกตรัม FTIR ของเซลลูโลสและผง CMC ที่มีขนาดต่างกันดังที่แสดงในภาพ พบว่าผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในเซลลูโลสระหว่างอนุภาคทุกขนาด อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างที่เห็นได้ชัดในผง CMC สำหรับอนุภาค 355 ไมโครเมตรจะมีค่าการดูดกลืนที่ต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกันค่าการดูดกลืนในขนาดอนุภาค 75 ไมโครเมตร ให้ผลลัพธ์ที่บ่งชี้ถึงการมีอยู่อย่างแข็งแกร่งของหมู่คาร์บอกซิลและไฮดรอกซิลในผง CMC ที่สังเคราะห์จากเซลลูโลส 75 ไมโครเมตร ผลลัพธ์เหล่านี้สามารถสรุปได้ว่าอนุภาคเซลลูโลสขนาด 75 ไมโครเมตร ช่วยเพิ่มกลุ่มการทำงานของเซลลูโลสอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจนำไปสู่ความสามารถในการละลายน้ำที่ดีขึ้นของผง CMC โดยผลลัพธ์นี้จะอธิบายในส่วนต่อไป



ภาพที่ 2 รูปแบบ FT-IR ของเปลือกลองกอง เซลลูโลสและ CMC ที่ขนาดอนุภาคต่าง ๆ

ตารางที่ 1

ค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ของเปลือกถองกอก เซลลูโลส และผง CMC

เลขคลื่น (ซม ⁻¹) (Wavenumbers)	พันธะเคมี (Chemical bonding)
3290	OH Stretching
2927	C-H Stretching
1589	C=O Stretching
1408	CH ₂ Scissoring
1102	-O- Stretching

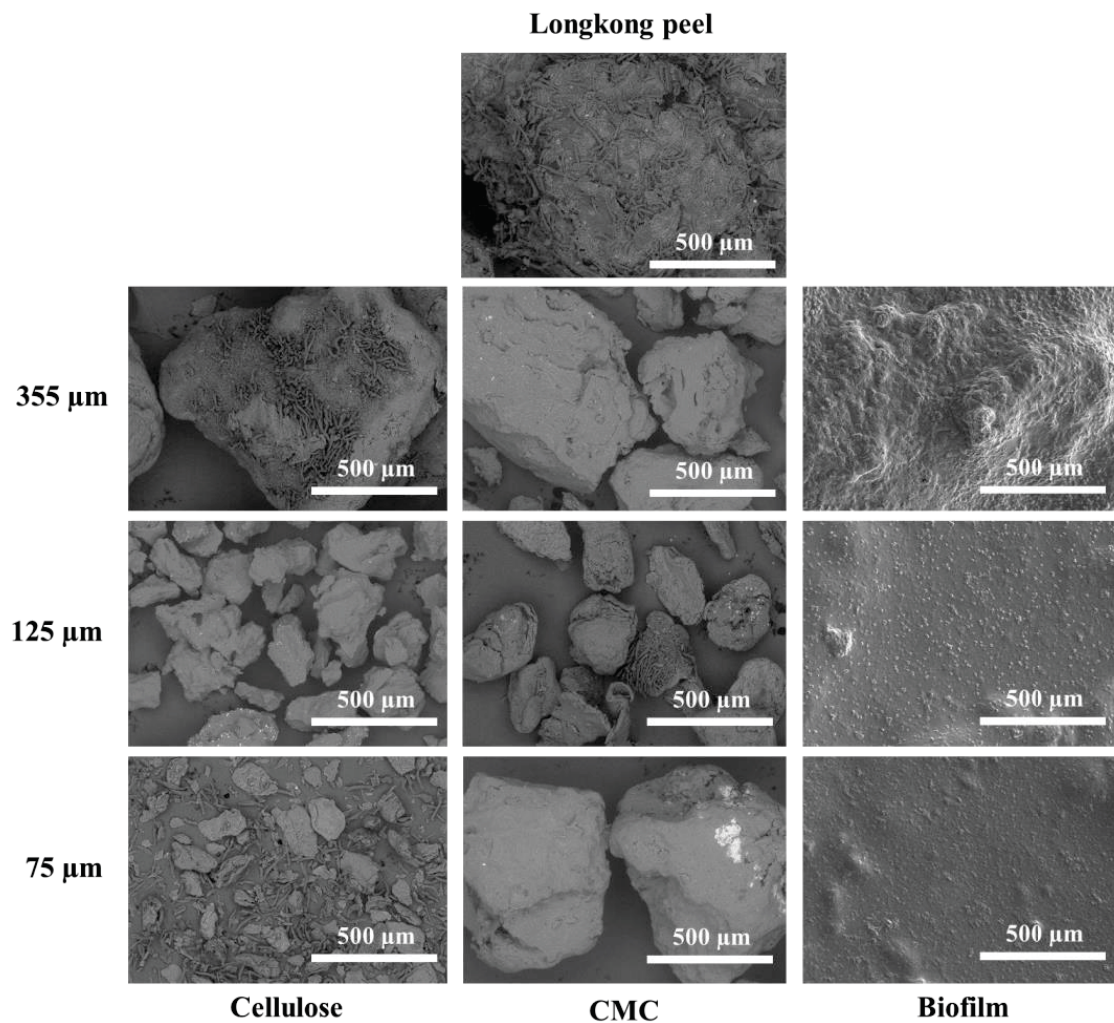
5.3 การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และสเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน (EDS)

ภาพที่ 3 แสดงภาพ SEM ของตัวอย่างทั้งหมด ในกรณีของเปลือกถองกอกจะเห็นว่าตัวอย่างมีเส้นใยและอนุภาคเซลลูโลสขนาดใหญ่ (>500 ไมโครเมตร) โดยจากภาพ SEM สามารถยืนยันถึงความแตกต่างของขนาดอนุภาคเซลลูโลสได้ เมื่อนำเซลลูโลสที่ขนาดอนุภาคต่างๆ มาทำการสังเคราะห์เป็นผง CMC พบว่าขนาดอนุภาคของผง CMC เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเซลลูโลสโดยเฉพาะที่อนุภาค 75 ไมโครเมตร พบว่าขนาดอนุภาคผง CMC อยู่ที่ประมาณ 500 ไมโครเมตร หรือใหญ่กว่า ผลลัพธ์นี้ อาจเกิดจากการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน เนื่องจากขนาดอนุภาคที่ 75 ไมโครเมตร มีลักษณะค่อนข้างเล็กเมื่อเทียบกับอนุภาคอื่นๆ จึงทำให้มีพื้นที่ผิวสูงซึ่งส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีและการรวมตัวที่ดีขึ้น ดังนั้นผง CMC ที่ขนาดอนุภาค 75 ไมโครเมตร จึงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับภาพ SEM ของฟิล์มชีวภาพ พบว่า ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มมีความแตกต่างกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคเซลลูโลสโดยฟิล์มที่ขนาดอนุภาคเซลลูโลส 355 ไมโครเมตร แสดงลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระ ในขณะที่พื้นผิวของฟิล์มจะมีลักษณะที่เรียบและเรียบเนียนตามขนาดอนุภาคของเซลลูโลสที่ลดลง โดยทั่วไปความสามารถในการละลายน้ำของผง CMC จะส่งผลต่อคุณสมบัติทางภาพของฟิล์ม ดังนั้นความสามารถในการละลายน้ำที่สูงของ CMC ส่งผลให้พื้นผิวของฟิล์มมีลักษณะที่เรียบและเป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้ การมีอยู่ของหมู่คาร์บอกซิลและไฮดรอกซิลใน CMC จากอนุภาคเซลลูโลส 75 ไมโครเมตร ช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ด้วยเหตุนี้ ผง CMC ที่ถูกสังเคราะห์จากเซลลูโลสขนาดอนุภาค 75 ไมโครเมตร จึงสามารถสร้างพื้นผิวที่เรียบและเป็นเนื้อเดียวกันบนฟิล์มชีวภาพได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับเซลลูโลสที่อนุภาคอื่นๆ

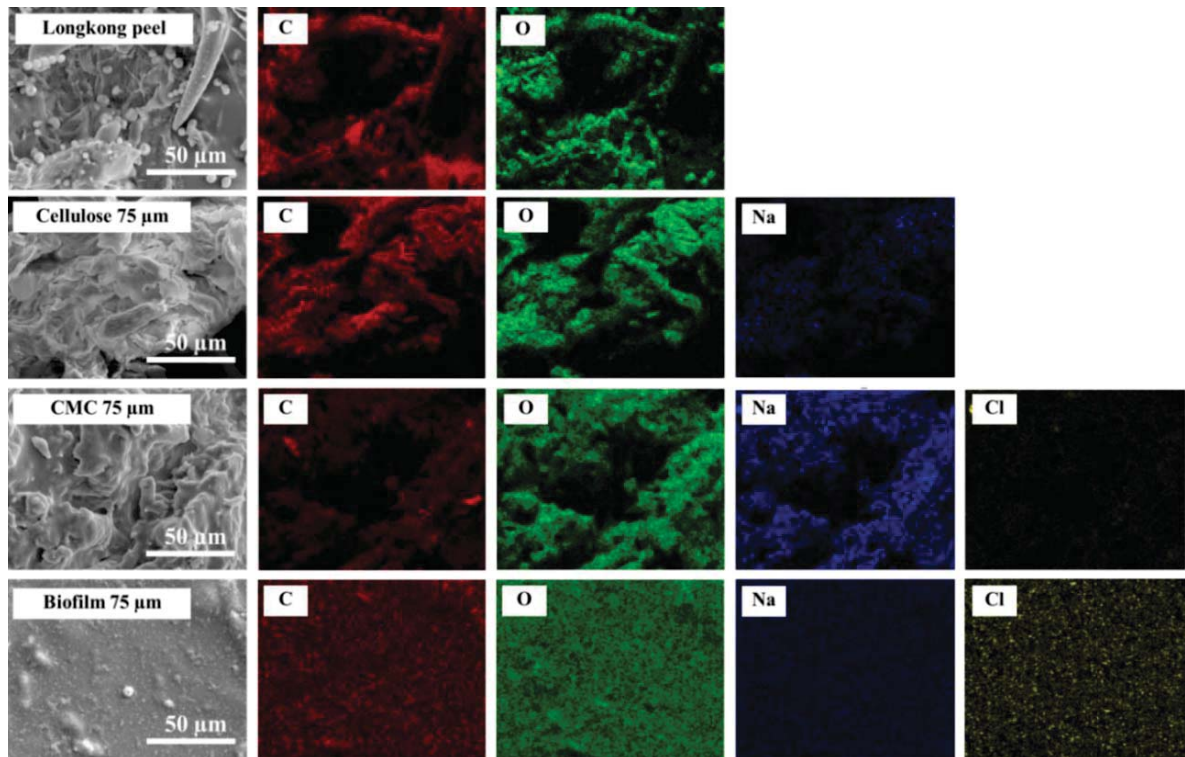
ตัวอย่างที่เตรียมจากอนุภาคเซลลูโลส 75 ไมโครเมตร ได้รับการคัดเลือกในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี โดยการวิเคราะห์ EDS ผลลัพธ์ EDS แสดงในภาพที่ 4 จากผลการศึกษาพบว่าเปลือกถองกอกประกอบด้วยคาร์บอน (C) และออกซิเจน (O) ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองส่วนใหญ่จะปรากฏอยู่ในเซลลูโลสโดยการสังเกตนี้มาพร้อมกับผลลัพธ์ของ XRD และ FTIR แต่เมื่อทำการสกัดเซลลูโลสจากเปลือกถองกอกแล้วพบว่ามีองค์ประกอบจากธาตุโซเดียม (Na) ปรากฏอยู่โดยผลลัพธ์ที่ได้ไม่สอดคล้องกับผล XRD และ FTIR ของเซลลูโลสเนื่องจากปริมาณ Na ที่พบอาจมีค่าที่ต่ำมาก (~1.9 wt%) โดยคาดว่า Na ในเซลลูโลสอาจเกิดจากการปนเปื้อนของ NaOH ที่ใช้ในการสกัดเซลลูโลสและเมื่อเซลลูโลสถูกสังเคราะห์เป็นผง CMC ยังคงพบองค์ประกอบ C และ O ในตัวอย่าง โดยสิ่งที่น่าสนใจคือ องค์ประกอบ Na มีค่าเพิ่มขึ้นจาก ~1.9% โดยน้ำหนัก เป็น ~14.3% โดยน้ำหนักในผง CMC เมื่อเปรียบเทียบกับเซลลูโลส จากการศึกษาครั้งนี้ ธาตุที่ตรวจพบของ Na อาจแบ่งออกเป็นสองรูปแบบทางเคมี ในขั้นแรกอาจเป็นเฟสที่เกิดจาก NaCl ซึ่งสามารถสังเกตได้จากรูปแบบ XRD ในภาพที่ 1



โดยองค์ประกอบของคลอรีน (Cl) ถูกตรวจพบในภาพ EDS และในชั้นที่สองมาจากฟังก์ชันของอนุพันธ์เซลลูโลส ซึ่งช่วยในการเพิ่มความสามารถในการละลายน้ำของผง CMC ในกรณีของฟิล์มชีวภาพตัวอย่างมีองค์ประกอบ C, O, Na และ Cl ซึ่งเหมือนกับผง CMC จากผลลัพธ์เหล่านี้ สามารถกล่าวได้ว่าเฟส NaOH ไม่ส่งผลต่อการเตรียมฟิล์มชีวภาพและคุณภาพของฟิล์มชีวภาพ ดังนั้นเราจึงสามารถเตรียมฟิล์มชีวภาพที่มีพื้นผิวที่เรียบและเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยใช้ขนาดอนุภาคเซลลูโลสที่ 75 ไมโครเมตร



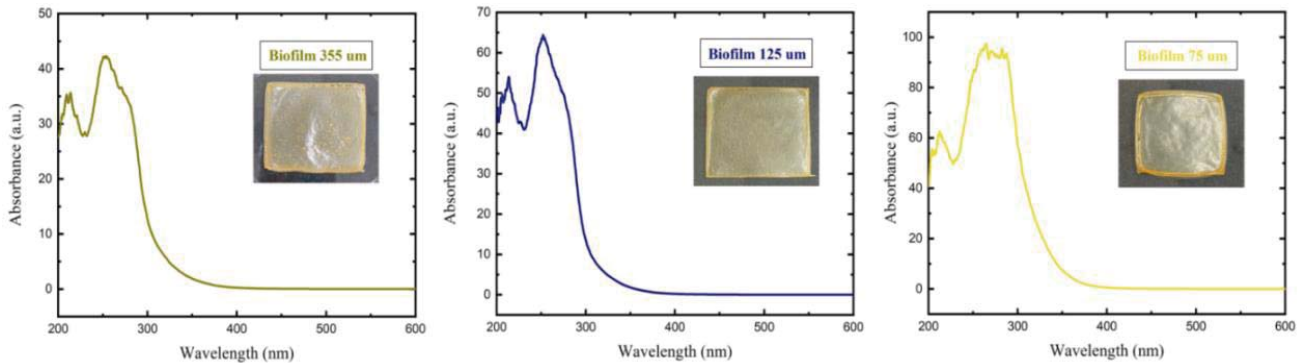
ภาพที่ 3 รูปแบบ SEM ของเปลือกลองกอง เซลลูโลส CMC และฟิล์มชีวภาพที่ขนาดอนุภาคต่าง ๆ



ภาพที่ 4 รูปแบบ EDS ของเปลือกลองกอง เซลลูโลส CMC และฟิล์มชีวภาพที่ขนาดอนุภาคต่าง ๆ

5.4 การวิเคราะห์การดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องสเปกโตรสโคปี (UV-Vis)

ภาพที่ 5 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของฟิล์มชีวภาพทั้งหมด ดังที่เห็นในภาพฟิล์มชีวภาพดูดซับแสงตั้งแต่ 200 ถึง 300 นาโนเมตร จากผลการทดลองพบว่าฟิสิกส์การดูดกลืนแสงสองฟิสิกส์ซึ่งเป็นการดูดกลืนที่แสงอัลตราไวโอเล็ต โดยฟิสิกส์แรกพบการดูดกลืนสูงสุดประมาณ 210 นาโนเมตรและฟิสิกส์ที่สองพบการดูดกลืนสูงสุดประมาณ 260 นาโนเมตร นอกจากนี้ การดูดกลืนแสงสูงสุดของฟิล์มชีวภาพที่เตรียมจากอนุภาคเซลลูโลส 355 และ 125 ไมโครเมตร นั้นค่อนข้างแคบ ในทางกลับกัน ฟิล์มชีวภาพที่เตรียมจากอนุภาคเซลลูโลส 75 ไมโครเมตร มีการดูดกลืนแสงสูงสุดในวงกว้างซึ่งคุณภาพของพื้นฟิล์มชีวภาพอาจจะทำให้เกิดความแตกต่างนี้ โดยภาพของฟิล์มชีวภาพแสดงไว้ในรูปที่ 5 เห็นได้ชัดว่าฟิล์มชีวภาพที่อนุภาคเซลลูโลส 355 และ 125 ไมโครเมตร มีความไม่สม่ำเสมอและมีอนุภาคขนาดใหญ่ของผง CMC ที่ไม่ละลายน้ำซึ่งอนุภาคเหล่านี้อาจกระตุ้นให้เกิดการดูดกลืนสูงสุดในขณะเดียวกัน ฟิล์มชีวภาพที่เตรียมจากอนุภาคเซลลูโลส 75 ไมโครเมตร มีความสม่ำเสมอที่ดีขึ้นส่งผลให้การดูดกลืนแสงดีขึ้นเช่นกัน



ภาพที่ 5 รูปแบบ UV-Vis ของฟิล์มชีวภาพที่ขนาดอนุภาคต่าง ๆ

6. สรุปผลการวิจัย

ในงานนี้ ประสบความสำเร็จในการผลิตฟิล์มชีวภาพจากเปลือกถั่วเขียวด้วยเซลลูโลสขนาดต่างๆ ผลลัพธ์ของ XRD บ่งชี้ถึงเฟสเซลลูโลสในตัวอย่างทั้งหมดโดยการมีอยู่ของเฟสทุติยภูมิเกิดจากวัสดุตั้งต้นที่ใช้ การวิเคราะห์ FTIR เผยให้เห็นถึงการมีอยู่ของหมู่ไฮดรอกซิลและคาร์บอกซิลในผง CMC ที่ถูกสังเคราะห์โดยเซลลูโลสขนาดอนุภาค 75 ไมโครเมตร โดยอนุภาคเซลลูโลสขนาด 75 ไมโครเมตร สามารถสร้างผง CMC ได้ดีกว่าเนื่องจากมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบและมีความเป็นเนื้อเดียวกันของฟิล์มมากกว่าและสเปกตรัม UV-Vis ของฟิล์มชีวภาพทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิจัยพบว่าฟิล์มชีวภาพจากเปลือกถั่วเขียวสามารถผลิตได้จากอนุภาคเซลลูโลสขนาด 75 ไมโครเมตร

7. ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับสมบัติทางกายภาพ ยกตัวอย่างเช่น การทดสอบสมบัติเชิงกล
2. หากต้องการนำไปประยุกต์ใช้ทางด้านอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ควรมีการเติมสารเติมแต่งหรือสารจำพวกพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) รวมด้วยเพื่อเพิ่มสมบัติทางด้านต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น การยืดหยุ่น ความโปร่งใส

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทว.) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ สัญญาเลขที่ มจพ.-FF-65-43 คุณภาพพงศ์ ใจบาล ขอขอบคุณทุนสนับสนุนบางส่วนจากหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนากำลังคนและทุนด้านการพัฒนา สถาบันอุดมศึกษาการวิจัยและการสร้างนวัตกรรม [หมายเลขทุน B05F630113]

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] David, A. Z., & Larry, M. Z. (2021). Composting: the microbiological processing of organic wastes. In Terry, J. G., Jeffry, J. F., & David, A. Z. (Ed.), *Principles and Applications of Soil Microbiology* (655-679). USA: Elseier.
- [2] Dan, B. P., & Deen, D. G. (2021). Remediation of industrial organic waste pollutants. In Mishra, V. K., Kumar, K. (Ed.), *Sustainable Environmental Clean-up* (295-314). USA: Elseier



- [3] Pornchai et al. (2021). Carboxymethyl cellulose film from durian rind. **Food Science and Technology**, 48 (1), 52-58.
- [4] Sajad, P., & Sona, C. (2017). Design of an optical sensor for ethylene based on nanofiber bacterial cellulose film and its application for determination of banana storage time. **Polymers for Advanced Technologies**, 29 (5), 1385-1393.
- [5] Xin et al. (2020). Development of antioxidant and antimicrobial packaging films based on chitosan and mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) rind powder. **International Journal of Biological Macromolecules**, 145, 1129-1139.
- [6] Tharanan, C., Atiwat, T., & Parintip, R. (2020). Synthesis and Characterization of Carboxymethyl Cellulose from Coconut Peel for Preparation of Bioplastics Packaging. **Journal of physics and general science**, 4 (1), 21-27.
- [7] Antony et al. (2020). Energy efficient process for valorization of corn cob as a source for nanocrystalline cellulose and hemicellulose production. **International Journal of Biological Macromolecules**, 163, 260-269.
- [8] Arzu, Y. M., Seda, E. B., & Serap, C. (2019). Optimum alkaline treatment parameters for the extraction of cellulose and production of cellulose nanocrystals from apple pomace. **Carbohydrate Polymers**, 215, 330-337.
- [9] N. sai, P., & Jayeeta, M. (2020). Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from *Cucumis sativus* peels. **Carbohydrate Polymers**, 247, 116706.
- [10] Nan et al. (2017). Novel Synthesis of Plasmonic Ag/AgCl@TiO₂ Continuous Fibers with Enhanced Broadband Photocatalytic Performance. **Catalysts**, 7 (4), 117.
- [11] Mario, P. A., Djagal, W. M., & Haryadi. (2005). Synthesis and characterization of sodium carboxymethylcellulose from cavendish banana pseudo stem (*Musa cavendishii* LAMBERT). **Carbohydrate Polymers**, 62 (2), 164-169.
- [12] Pornchai, R. (2009). Blended Films of Carboxymethyl Cellulose from Papaya Peel (CMCp) and Corn Starch. **Kasetsart Journal - Natural Science**, 43 (5), 259-266.
- [13] Suria et al. (2015). Formulation and physical characterization of microemulsions based carboxymethyl cellulose as vitamin c carrier. **Malaysian Journal of Analytical Sciences**, 19 (1), 275-283.