

ผลของกลีเซอรอล และเพค-10 ไคเมทิลโคนต่อสมบัติของฟิล์มชีวภาพ จากเปลือกทุเรียน

สุชัยพรรณ เข้มแก้ว และ สุปราณี แก้วภิมมย์*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเซลลูโลสของเปลือกทุเรียนเหลือทิ้ง สายพันธุ์หมอนทอง ด้วยปฏิกิริยาคาร์บอกซีเมทิลเลชัน ขึ้นชั้นโครงสร้างทางเคมีของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี และศึกษาโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (WAXD) เตรียมฟิล์มชีวภาพจากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้หลายสูตร โดยใช้กลีเซอรอล และเพค-10 ไคเมทิลโคนเป็นสารเติมแต่ง ศึกษาผลของปริมาณสารเติมแต่ง (10 20 และ 30 %wt) ต่อสมบัติเชิงกล ความแข็ง โครงสร้างของแผ่นฟิล์ม และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเติมกลีเซอรอลช่วยให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น แต่มีค่ามอดูลัสของยังลดลง ในขณะที่การเติมเพค-10 ไคเมทิลโคน มีผลให้ค่าความยืดหยุ่นของฟิล์มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ค่ามอดูลัสของยังเพิ่มสูงขึ้น ในงานวิจัยนี้การเติมกลีเซอรอล 30 %wt ทำให้ฟิล์มชีวภาพที่ได้มีค่าการต้านทานแรงขีดข่วนสูงที่สุดที่ระดับ 3H และร้อยละการยืด ณ จุดขาดสูงที่สุดเท่ากับ 47 % และมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำต่ำที่สุดคือ $317 \text{ g/day}\cdot\text{m}^2$

คำสำคัญ : คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส, ฟิล์มชีวภาพ, กลีเซอรอล, เพค-10 ไคเมทิลโคน

Effects of Glycerol and PEG-10 dimethicone on Properties of Biofilm from Durian rind

Sujaipun Khemkaew and Supranee Kaewpirom*

Abstract

In this study, carboxymethyl cellulose was prepared from cellulose extracted from Montong-durian rind by carboxymethylation. Chemical structure of the synthesized carboxymethyl cellulose was confirmed by Fourier-transform infrared spectroscopy. Its crystal structure was also defined using wide-angle X-ray diffraction. Biofilms from such carboxymethyl cellulose with various formulations were produced using two different additives, namely glycerol and PEG-10 dimethicone. The effects of additive content (10, 20, and 30%wt) on mechanical properties, hardness, crystal structure and water vapor transmission rate of those biofilm were revealed. The experimental results showed that with addition of glycerol, the flexibility of the film increased while the Young's modulus decreased. On the other hand, with addition of PEG-10 dimethicone, flexibility of the film was reduced significantly, while the Young's modulus was improved. In this study, the biofilm with 30 %wt glycerol displayed the highest scratch resistance at 3H, the highest elongation at break of 47 % and the lowest water vapor transmission rate of 317 g/day•m².

Keywords : Carboxymethyl cellulose, Biofilm, Glycerol, PEG-10 dimethicone

Department of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University.

* Corresponding author, E-mail: kaewpiro@bua.ac.th Received 9 December 2015, Accepted 24 May 2016

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันว่าตลาดของฟิล์มพลาสติก เช่น ฟิล์มกันรอย ฟิล์มกันกระแทก และฟิล์มถนอมสายตา เติบโตอย่างรวดเร็วและขยายวงกว้างควบคู่ไปกับการเติบโตของตลาดอุปกรณ์สื่อสาร เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต และคอมพิวเตอร์ แต่เนื่องจากฟิล์มพลาสติกเหล่านี้ไม่ย่อยสลาย หรือย่อยสลายได้ยาก จึงก่อให้เกิดขยะพลาสติกในสิ่งแวดล้อมจำนวนมาก และเป็นปัญหาในด้าน การกำจัดขยะของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และยังเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย นักเทคโนโลยีจึงได้พัฒนาพลาสติกย่อยสลายได้ เพื่อใช้ทดแทนพลาสติกจากปิโตรเลียมขึ้นมากมาย ซึ่งเป็นการช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกได้อีกวิธีหนึ่ง และพลาสติกที่ย่อยสลายได้ซึ่งได้มาจากพืชที่ได้รับความสนใจมากชนิดหนึ่ง คือ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส หรือ ซีเอ็มซี (Carboxymethyl cellulose, CMC) หรือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium carboxymethyl cellulose) จัดเป็นพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลส เกิดจากการปรับปรุงสมบัติของเซลลูโลสให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมทิลและหมู่คาร์บอกซีเมทิล เนื่องจากซีเอ็มซี เป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นอันตราย ไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และละลายน้ำได้ดี จึงมีสมบัติเป็นสารเพิ่มความหนืดที่ช่วยในการยึดเกาะ และใช้เป็นสารคงสภาพได้ จึงพบว่ามีการประยุกต์ใช้ซีเอ็มซีในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมการซักฟอก สี กาว สิ่งทอ กระดาษ เซรามิกส์ อาหารและยา เป็นต้น [1]

ซีเอ็มซีสังเคราะห์จากพืชหลากหลายชนิดที่ให้เซลลูโลสในปริมาณสูง เช่น ฟางข้าว เปลือกมะละกอ และเปลือกทุเรียน เป็นต้น นักวิจัยหลายกลุ่มทำการสังเคราะห์ซีเอ็มซีจากพืชที่ให้เซลลูโลสในปริมาณมาก และพบว่าซีเอ็มซีที่ได้สามารถนำไปพัฒนาเป็นฟิล์มชีวภาพได้ Rachtanapun et al. [2] ศึกษาสภาพที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คาร์บอกซี-เมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่แตกต่างกันตั้งแต่ 20-60 %w/v พบว่า การสังเคราะห์ซีเอ็มซีโดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30%w/v ให้ปริมาณร้อยละผลได้ของซีเอ็มซีสูงที่สุด และสามารถเตรียมฟิล์มซีเอ็มซีได้โดยวิธีหล่อขึ้นรูปจากสารละลาย (solution casting) Jimaphan et al. [3] พัฒนาฟิล์มซีเอ็มซีจากเชื้อฟางข้าว โดยวิธีหล่อขึ้นรูปในสารละลายซีเอ็มซีความเข้มข้น 1.2 และ 3% w/v และใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ (0.25 0.5 และ 1.0% w/v) พบว่า เมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น สมบัติของฟิล์มจะดีขึ้น โดยมีค่าการต้านทานแรงดึงอยู่ในช่วง 15.13-29.22 MPa และค่าระยะยืด ณ จุดขาดอยู่ในช่วง 6.29-33.53% Ünlü [4] สังเคราะห์ซีเอ็มซีจากกระดาษหนังสือพิมพ์ใช้แล้วซึ่งมีปริมาณเซลลูโลสที่สกัดได้ถึง 75-90% และผลิตภัณฑ์ซีเอ็มซีที่ได้มีค่าระดับของการแทนที่ (degree of substitution, DS) ด้วยหมู่คาร์บอกซี-เมทิล อยู่ในช่วง 0.3-0.7% และร้อยละผลได้ของซีเอ็มซี อยู่ในช่วง 84-94% โดยซีเอ็มซีที่ได้อยู่ในเกรดการค้าเหมาะสมสำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรม

ในภาคตะวันออกของประเทศไทยมีการปลูกผลไม้ส่งออกในปริมาณมาก ทุเรียนจัดเป็นผลไม้ที่สำคัญชนิดหนึ่งและมีมูลค่าการส่งออกมาก และในปัจจุบันเกษตรกรสามารถพัฒนาให้ออกผลผลิตได้เกือบตลอดปี

เปลือกทุเรียนจึงกลายเป็นของเหลือทิ้งจำนวนมากและเป็นปัญหาในการกำจัดทิ้ง อย่างไรก็ตามเปลือกทุเรียนมีส่วนประกอบที่เป็นเส้นใยค่อนข้างมาก โดยนอกเหนือจากส่วนที่เป็นพอลิแซคคาไรด์แล้ว ยังประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเซลลูโลสสูงถึง 30% [5]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้สังเคราะห์ซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียน และนำซีเอ็มซีที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม โดยใช้สารเติมแต่ง 2 ชนิดคือ กลีเซอรอล (Glycerol) (ทำหน้าที่เพิ่มความยืดหยุ่น) และเพค-10 ไดเมทิลโคน (PEG-10 Dimethicone) ซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ของพอลิเอเธอร์และซิลิโคน (ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงเชิงกล) ศึกษาโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Infrared spectroscopy) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างด้วยการวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (Wide-angle X-ray diffraction) ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของฟิล์ม ได้แก่ ความต้านทานต่อการขีดข่วน (Resistance to scratching) โดยเทคนิคการวัดความแข็งด้วยดินสอด่ ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (Percent elongation at break) ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) และอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (Water vapor transmission rate, WVTR)

2. วิธีการวิจัย

2.1 สารเคมีและวัตถุดิบ

เปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองจากตำบลอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี สารเคมีที่ใช้ในการสกัดผงเซลลูโลสและสังเคราะห์ซีเอ็มซีทุกชนิดเป็นเกรดวิเคราะห์ (AR grade) ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดโมโนคลอโรอะซิติก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากบริษัท Lobachemie

กรดอะซิติกเข้มข้นจากบริษัท Scharlau chemie ไอโซโพรพานอลจากบริษัท QREC (ASIA) SDN BHD เอทานอลบริสุทธิ์จากบริษัท J.T. Baker เมทานอลจากบริษัท Ajax Finechem. กลีเซอรอลจากบริษัท Gammaco Thailand และ เพค-10 ไดเมทิลโคน จากบริษัท Jurong xisima trade ประเทศจีน

2.2 การสกัดเซลลูโลส

ล้างเปลือกทุเรียนด้วยน้ำสะอาด และหั่นให้ได้ขนาด $5 \times 3 \text{ cm}^2$ ก่อนนำมาอบที่อุณหภูมิ $60 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บั่นเปลือกทุเรียนที่อบแล้วให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบั่นน้ำผลไม้ (รุ่น BL-767 จากบริษัท Moulinex) รีฟลักซ์ผงเปลือกทุเรียนในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 \%w/v ที่อุณหภูมิ $100 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนของผสมที่ได้กลายเป็นของเหลวหนืดสีดำที่มีเยื่อแขวนลอยอยู่ จึงกรองด้วยผ้าขาวบาง ล้างเยื่อที่กรองได้ด้วยน้ำกลั่นหลายๆ รอบ จนกว่าน้ำล้างจะเป็นกลาง นำเยื่อที่ได้ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ $55 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บั่นเยื่อด้วยเครื่องบั่น ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น $30\text{-}32\%$ บั่นเยื่อด้วยเครื่องบั่นอีกครั้ง คัดเฉพาะเยื่อที่มีขนาดเล็กกว่า $177 \text{ }\mu\text{m}$ ด้วยตะแกรงร่อนขนาด 80 mesh เพื่อเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ซีเอ็มซีต่อไป

2.3 การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

ละลายผงเซลลูโลส 15 g ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30 \%w/v จำนวน 50 cm^3 ผสมกับไอโซโพรพานอล 450 mL ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติมกรดโมโนคลอโรอะซิติก 18 g แล้วคนของผสมโดยใช้แท่งคนแม่เหล็กประมาณ 1.5 ชั่วโมง

คลุมสารละลายด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากการอบสารผสมจะแยกเป็น 2 ชั้น แยกสารชั้นล่างออกมาล้างด้วยเมทานอล (70 %v/v) หลายๆ ครั้ง เก็บผลิตภัณฑ์ซีเอ็มซีที่ได้โดยการกรอง และอบที่อุณหภูมิ 55 °C ในตู้อบลมร้อน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กำหนดค่าร้อยละผลได้โดยสมการ [2]

$$Yield\ of\ CMC\ (\%) = \frac{Weight\ of\ CMC\ (g)}{Weight\ of\ cellulose\ (g)} \times 100$$

2.4 การเตรียมฟิล์มซีเอ็มซี

ละลายผงซีเอ็มซีที่สังเคราะห์ได้ 3 g ในน้ำกลั่น 100 mL ที่อุณหภูมิ 80 °C เวลา 10 นาที พร้อมกับคนโดยใช้แท่งคนแม่เหล็ก ทั้งสารละลายให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก่อน แบ่งสารละลาย 20 mL ลงในบีกเกอร์ที่ใส่สารเติมแต่ง (กลีเซอรอล หรือ เพค-10 ไคเมทิลโคโค) ในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 10 20 30 %w/w (ตารางที่ 1 แสดงชื่อฟิล์ม ชนิด และปริมาณสารเติมแต่งที่ใช้เป็นส่วนประกอบของฟิล์ม) คนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเทลงในจานเพาะเชื้อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm ก่อนนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ฟิล์มซีเอ็มซีหนาประมาณ 0.11 mm

2.5 การศึกษาโครงสร้างทางเคมีและโครงสร้างผลึก

วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน และซีเอ็มซีที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้เทคนิคอินฟราเรด-สเปกโทรสโคปี (System 2000 Perkin Elmer) โดยวิธีอัด KBr ที่ช่วงเลขคลื่น 4000 – 400 cm⁻¹

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างของฟิล์มตัวอย่าง โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ใช้มุมตกกระทบ (2θ) ในช่วง 10-60° อัตราเร็ว 0.5 °/min

ตารางที่ 1 ชื่อฟิล์ม ชนิด และปริมาณสารเติมแต่งที่ใช้เป็นส่วนประกอบ

ชื่อฟิล์ม	สารเติมแต่ง	ปริมาณ
		สารเติมแต่ง (%w/w)
CMC _d	ไม่ใส่สารเติมแต่ง	-
CMC _d 10G	กลีเซอรอล	10
CMC _d 20G	กลีเซอรอล	20
CMC _d 30G	กลีเซอรอล	30
CMC _d 10PEG	เพค-10 ไคเมทิลโคโค	10
CMC _d 20PEG	เพค-10 ไคเมทิลโคโค	20
CMC _d 30PEG	เพค-10 ไคเมทิลโคโค	30

2.6 สมบัติเชิงกล

วัดความทนต่อการขีดข่วนของฟิล์มซีเอ็มซีที่ใส่สารเติมแต่งด้วยเครื่องวัดความแข็งด้วยดินสอด (Pencil hardness) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3363 ที่ระดับความแข็ง 6B-6H

วัดร้อยละการขีด ฉีก จุดขาด ความแข็งแรงดึงและมอดูลัสของยัง ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Testometric Micro 350) ใช้แผ่นฟิล์มตัวอย่างขนาด 0.1x0.5x5 cm³ กำหนดความยาวพิงก์ด 1cm อัตราเร็วในการดึง 20 mm/min ส่วนวัดแรง 50 N

2.7 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

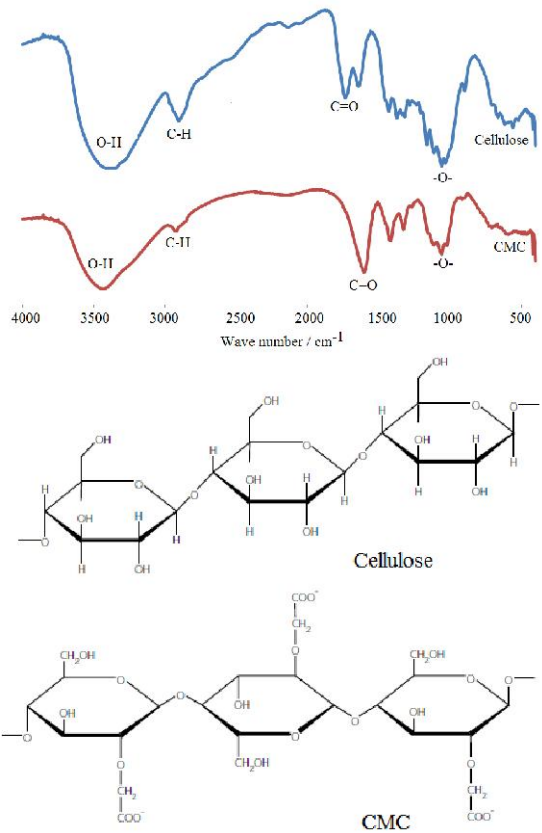
ทำการทดลองเพื่อวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (WVTR) จากปริมาณน้ำที่ระเหยผ่านวัสดุตัวอย่างต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM E 96 ดังนี้ ใช้ฟิล์มตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2x2 cm² ปิดปากกล่องพลาสติกที่มีซิลิกาบรรจุอยู่ 4.0000 g และปิดขอบซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างฟิล์มกับกล่องพลาสติกให้สนิทด้วยฟิล์มพาราฟินส์ ชั่งน้ำหนักกล่องที่ปิดสนิทแล้วด้วยเครื่องชั่งละเอียดเป็นน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นนำไปวางในโถดูดความชื้นที่บรรจุสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว (มีระดับความชื้นสัมพัทธ์ 75%) แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนักทุกวัน เป็นเวลา 14 วัน เพื่อหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น พลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (ตัวแปรต้น) และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (ตัวแปรตาม) จะได้กราฟเส้นตรง จากนั้นคำนวณค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำจากความชันของเส้นตรงโดยอาศัยสมการ [2]

$$WVTR = \frac{Slope}{Film\ area}$$

3. ผลการวิจัย และอภิปรายผล

3.1 การสังเคราะห์คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

การสังเคราะห์ซีเอ็มซีโดยใช้เซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน 15 g พบว่ามีค่าร้อยละผลได้เท่ากับ 127% ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่าร้อยละผลได้ของซีเอ็มซีจากเชื้อฟางข้าว (150%) ซึ่งรายงานโดย Jinaphan et al. [3] ร้อยละผลได้ที่สูงนี้เกิดจากการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซิเมทิลบนสายเซลลูโลส ซึ่งเป็นผลให้น้ำหนักของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น



รูปที่ 1 อินฟราเรดสเปกตรัม (บน) และโครงสร้างทางเคมี (ล่าง) ของเซลลูโลส และซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียน

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของซีเอ็มซีที่สังเคราะห์ขึ้น โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ได้สเปกตรัมของสารตัวอย่าง ดังรูปที่ 1 ซึ่งปรากฏพิคของการสั่นแบบยืดของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H stretching) ที่ 3430 cm⁻¹ การสั่นแบบยืดของหมู่เมทิล และหมู่เมทิลีน (C-H stretching) ที่ 2920 cm⁻¹ การสั่นแบบยืดของหมู่คาร์-บอกลิก (C=O stretching) ที่ 1603 cm⁻¹ การสั่นแบบยืด (-O- stretching) ของหมู่อีเทอร์ที่ 1300 - 1000 cm⁻¹[6] นอกจากนี้ ยังพบการสั่นแบบการขยับเข้าหากันและแยกกันแบบกรไกรของหมู่เมทิลีน (-CH₂

scissoring) ที่ 1419 cm^{-1} และเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของเซลลูโลสซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ซีเอ็มซี พบว่าพีกการสั่นของหมู่คาร์บอกซิลิกมีการเลื่อนตำแหน่งมายังเลขคลื่นที่ต่ำลง (พบพีกของการสั่นแบบยืดของหมู่คาร์บอนิลในเซลลูโลส ($\text{C}=\text{O}$ stretching) ที่เลขคลื่น 1735 cm^{-1}) และยังพบพีกการสั่นของหมู่เมทิลีนชัดเจนขึ้นมาก จึงเป็นการยืนยันการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซิเมทิล [2]

3.2 สมบัติเชิงกล

ค่าความแข็งของฟิล์มซีเอ็มซีวัดด้วยเครื่องวัดความแข็งด้วยดินสอด่ ที่ระดับ 6B-6H ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับค่าความแข็งของฟิล์มซีเอ็มซีที่ใส่และไม่ใส่สารเติมแต่ง

ชื่อฟิล์ม	สารเติมแต่ง	ระดับค่าความแข็ง
CMC _d	ไม่ใส่สารเติมแต่ง	H
CMC _d 10G	กลีเซอรอล	2H
CMC _d 20G	กลีเซอรอล	3H
CMC _d 30G	กลีเซอรอล	3H
CMC _d 10PEG	เพค-10 ไคเมทิลโคน	4B
CMC _d 20PEG	เพค-10 ไคเมทิลโคน	5B
CMC _d 30PEG	เพค-10 ไคเมทิลโคน	5B

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าความแข็งของฟิล์มซีเอ็มซีที่ไม่มีสารเติมแต่งอยู่ที่ระดับ H และเมื่อเติมกลีเซอรอลที่ 10 20 และ 30 %w/w พบว่าฟิล์มมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ โดยฟิล์มซีเอ็มซีที่เติมกลีเซอรอลร้อยละ 20 และ 30 %w/w มีค่าระดับความแข็งเท่ากันคือ 3H ซึ่ง

เป็นค่าความแข็งที่สูงที่สุดสำหรับฟิล์มที่เติมสารเติมแต่งในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมกลีเซอรอลมากถึง 20-30 %w/w เป็นมีปริมาณที่มากพอที่จะทำให้โมเลกุลของกลีเซอรอลเข้าแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของซีเอ็มซีได้อย่างสม่ำเสมอ [7] จึงเกิดปริมาตรอิสระมากขึ้น เมื่อมีแรงกดมากกระทำ โมเลกุลของซีเอ็มซีจึงสามารถเกิดการเคลื่อนที่เพื่อลดผลของแรงกระทำนั้นได้ เป็นผลให้ฟิล์มซีเอ็มซีทนต่อการบิดข่วนได้มากขึ้น

ในทางตรงกันข้าม เมื่อเติมเพค-10 ไคเมทิลโคนที่ 10 20 และ 30 % w/w พบว่าค่าระดับค่าความแข็งของฟิล์มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มซีเอ็มซีที่ไม่มีสารเติมแต่ง ทั้งนี้อาจเนื่องจากเพค-10 ไคเมทิลโคนจัดเป็นโคพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับโมเลกุลของกลีเซอรอล จึงอาจทำให้การแทรกตัวเข้าไประหว่างโมเลกุลของซีเอ็มซีทำได้ยากขึ้น จึงไม่มีผลในการเพิ่มปริมาตรอิสระให้กับโมเลกุลของซีเอ็มซีเหมือนกับการเติมกลีเซอรอล

ค่าแรงคั้นสูงสุด แรงคั้น ณ จุดขาด โมดูลัสของยัง และร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์มซีเอ็มซีที่ใส่และไม่ใส่สารเติมแต่ง แสดงในรูปที่ 2 ซึ่งพบว่าค่าแรงคั้นสูงสุด แรงคั้น ณ จุดขาด และโมดูลัสของยังมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณกลีเซอรอลสูงขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลเป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น และแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของซีเอ็มซีได้ โมเลกุลของซีเอ็มซีจึงเกิดการเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น [7] และเหตุดังกล่าวส่งผลให้ฟิล์มซีเอ็มซีมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น โดยสังเกตจากค่าร้อยละยืด ณ จุดขาด (รูป 2d) ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกลีเซอรอลที่เพิ่มขึ้น

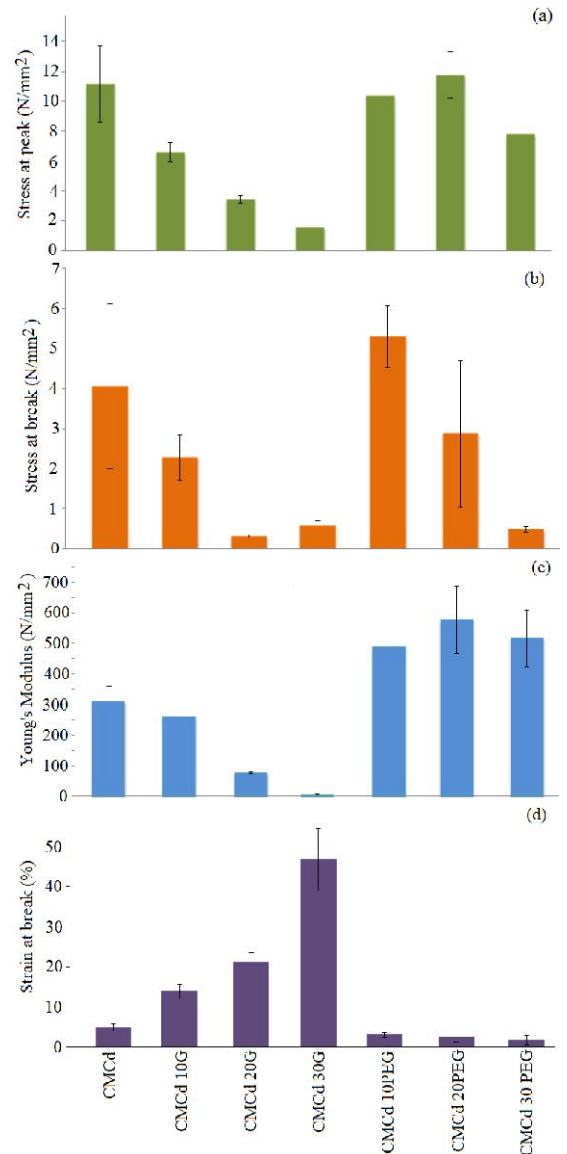
สำหรับฟิล์มที่เติมเพค-10 ไคเมทิลโคนปริมาณ 10 20 และ 30 % w/w พบว่าถึงแม้ค่าแรงคั้น ณ จุดขาด มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเพค-10 ไคเมทิลโคนเพิ่มขึ้น

แต่ค่าแรงเค้นสูงสุดและมอดุลัสของยังมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าสูงกว่าทั้งฟิล์มซีเอ็มซีที่ไม่ได้สารเติมแต่ง และฟิล์มซีเอ็มซีที่เติมกลีเซอรอล ส่วนร้อยละการยืด ณ จุดขาด มีค่าต่ำกว่าฟิล์มซีเอ็มซีที่ไม่ได้สารเติมแต่ง และฟิล์มซีเอ็มซีที่ได้กลีเซอรอลอย่างมาก ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากเพค-10 ไคเมทิกโคนเป็นสารเติมแต่งที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีซิลิกอนเป็นองค์ประกอบจึงทำให้มีความแข็งแรงมากกว่าฟิล์ม ซีเอ็มซีที่ไม่เติมและเติมกลีเซอรอล อีกทั้งขนาดโมเลกุลที่ใหญ่ทำให้เพค-10 ไคเมทิกโคนแทรกตัวระหว่างสายโซ่ของซีเอ็มซีได้ยาก และอาจเกิดการแยกเฟสออกจากซีเอ็มซี จึงส่งผลให้ฟิล์มซีเอ็มซีมีความยืดหยุ่นลดลง

3.3 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ

การวัดอัตราการซึมผ่านของไอน้ำโดยการชั่งน้ำหนัก น้ำที่ระเหยผ่านฟิล์มซีเอ็มซีที่เติมและไม่เติมสารเติมแต่ง ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ในระยะเวลา 7 วัน ซึ่งดัดแปลงจากวิธีมาตรฐาน ASTM E 96 [6] ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งค่าที่แสดงในตารางมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน $\pm 1.23 \text{ g/day.m}^2$ พบว่า อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มซีเอ็มซีที่ไม่ได้สารเติมแต่งมีค่าเท่ากับ 322 g/day.m^2 เมื่อเติม กลีเซอรอล 10 %w/w พบว่าฟิล์มมีค่าอัตราการผ่านของไอน้ำสูงขึ้น 1.9% (328 g/day.m^2) แต่เมื่อเติมกลีเซอรอล 20 และ 30 %w/w กลับพบว่า อัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเติมกลีเซอรอลทำให้มีช่องว่างระหว่างโมเลกุลของซีเอ็มซีมากขึ้น แต่การเติมในปริมาณมากเกินไป 20%w/w อาจทำให้โมเลกุลของกลีเซอรอลซึ่งมีขั้วเกิดการดูดซับน้ำเอาไว้ และไม่ยอมให้โมเลกุลของน้ำแทรกผ่านไป ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำจึงลดลง ซึ่งผลการทดลอง

นี้สอดคล้องกับผลงานวิจัยที่เสนอโดย Shekarabi et al. [8]



รูปที่ 2 ค่า (a) แรงเค้นสูงสุด (b) แรงเค้น ณ จุดขาด (c) มอดุลัสของยัง และ (d) ร้อยละการยืด ณ จุดขาดของฟิล์มซีเอ็มซีที่ได้และไม่ใส่สารเติมแต่ง

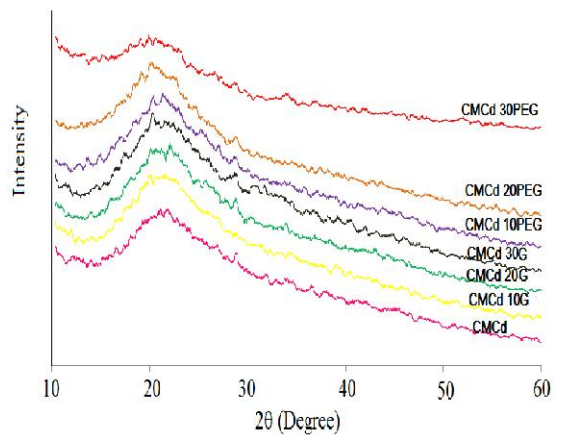
สำหรับฟิล์มที่เติมเพค-10 ไคเมทิโคนพบว่าค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดลงถึง 3.7% เมื่อเติมเพค-10 ไคเมทิโคน เพียง 10%w/w และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเพค-10 ไคเมทิโคนเป็น 20 และ 30 %w/w พบว่าค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มเพิ่มขึ้นจนมีค่าเท่ากับฟิล์มซีเอ็มซีที่ไม่ได้สารเติมแต่ง ทั้งนี้จากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.2 ว่า เพค-10 ไคเมทิโคนจัดเป็นโคพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และแทรกตัวเข้าไประหว่างโมเลกุลของซีเอ็มซีได้ยากขึ้น จึงไม่มีผลในการเพิ่มปริมาตรอิสระให้กับ โมเลกุลของซีเอ็มซี เหมือนกับการเติมกลีเซอรอล ประกอบกับเพค-10 ไคเมทิโคนมีสมบัติชอบน้ำจึงดูดซับโมเลกุลของน้ำไว้ได้ ทำให้อัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดลง ส่วนการเติมเพค-10 ไคเมทิโคนในปริมาณที่มากขึ้น (20-30 %w/w) อาจทำให้เกิดการแยกเฟสระหว่างเพค-10 ไคเมทิโคนกับซีเอ็มซีมากขึ้น จนอาจทำให้มีช่องว่างที่ไอน้ำสามารถซึมผ่านได้

ตารางที่ 3 อัตราการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มซีเอ็มซีที่เติมและไม่เติมสารเติมแต่ง

ชื่อฟิล์ม	อัตราการซึมผ่านของไอน้ำ (g/day.m ²)
CMC _d	322
CMC _d 10G	328
CMC _d 20G	322
CMC _d 30G	317
CMC _d 10PEG	310
CMC _d 20PEG	316
CMC _d 30PEG	322

3.4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึก

การวิเคราะห์ความเป็นผลึกของฟิล์มซีเอ็มซีที่เติมและไม่เติมสารเติมแต่งด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้ผลดังรูปที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงค่าความเข้มแสง (intensity) ที่ค่อนข้างต่ำตลอดช่วงของการวิเคราะห์ ($2\theta = 0-60^\circ$) สะท้อนว่าฟิล์มซีเอ็มซีมีความเป็นผลึกต่ำเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนใน โมเลกุลของเซลลูโลสถูกทำลายด้วยไซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยาการบอสมิเลชัน [9] ดังนั้นเมื่อเติมสารเติมแต่งจึงไม่พบว่าการเติมสารเติมแต่งส่งผลให้ฟิล์มมีความมึผลึกน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นฟิล์มที่เติมสารเติมแต่งเพค-10 ไคเมทิโคน 30 %w/w ซึ่งปรากฏการลดลงของค่าความเข้มแสงที่ตำแหน่ง $2\theta = 15-25^\circ$ อย่างชัดเจน ซึ่งแสดงถึงความเป็นผลึกที่ลดลง



รูปที่ 3 ผลของสารเติมแต่งต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างผลึกของฟิล์มซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียน

4. สรุปผล

เปลือกทุเรียนเป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีศักยภาพในการใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสได้ โดยให้ค่าร้อยละผลได้เท่ากับ 127% และสามารถนำซีเอ็มซีที่ได้ไปผลิตเป็นฟิล์มชีวภาพด้วยวิธีหล่อขึ้นรูปจากสารละลายได้นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงสมบัติของฟิล์มซีเอ็มซีได้โดยการเติมสารเติมแต่ง โดยสารเติมแต่งกลีเซอรอลทำให้ฟิล์มมีค่าความต้านทานต่อการซึดซ่วน และความยืดหยุ่นมากขึ้น และเมื่อใส่กลีเซอรอลที่ความเข้มข้นมากกว่า 20%w/w ค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดลง ส่วนการเติมสารเติมแต่งเพค-10 ไดมเททิลโคนมีผลให้ค่าความแข็งแรงของฟิล์มเพิ่มมากขึ้น และค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำลดลง แต่ฟิล์มที่ได้มีความยืดหยุ่นลดลงอย่างมาก

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 32/2559

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Romseang, M. Chailangka, R. Kunsana, W. Kantaran, A. Rojsinsup and N. Leksawat, “CMC Biopolymer”, Available: <http://www.agro.cmu.ac.th/absc/data/56/No07.pdf>, 30 September 2013. (in Thai)
- [2] P. Rachtanapun, S. Luangkamin, K. Tanprasert, and R. Suriyatem, “Carboxymethyl cellulose film from durian rind”, LWT - Food Science and Technology 48, 2012, pp. 52-58.
- [3] N. Jinaphan, J. Sangsuwan, S. Sutthasupa, and S. Kamthai, “Properties of Carboxymethyl Cellulose (CMC) Film from Rice Straw Pulp”, Agricultural Science Journal 43, 2012, pp. 616-620. (in Thai)
- [4] C. Ünlü, “Carboxymethylcellulose from recycled newspaper in aqueous medium”, Carbohydrate Polymers 97, 2013, pp. 159-164.
- [5] K. Siralermukul, “Cellulose from durian rind”, Available:http://www.material.chula.ac.th/RA/DIO47/September/radio_9-4.htm, 11 November 2015. (in Thai)
- [6] P. Rachtanapun and N. Rattanapanone, “Synthesis and Characterization of Carboxymethyl Cellulose Powder and Film from *Mimosa pigra*”, Journal of Applied Polymer Science 122, 2011, pp. 3218-3226.
- [7] P. Rachtanapun, S. Kumthai, N. Yakee and R. Uthaiyod, “Production of carboxymethyl cellulose (CMC) Film from Papaya Peels and Its Mechanical Properties”, Proceedings of the 45th Kasetsart University Annual Conference, Bangkok, Thailand, 2007, pp. 790-799. (in Thai)

- [8] A.S. Shekarabi, A.R. Oromiehie, A. Vaziri, M. Ardjmand and A.A. Safekordi, “Effect of Glycerol Concentration on Physical Properties of Composite Edible Films Prepared from Plums Gum and Carboxymethylcellulose”, *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences* 4, 2014, pp. 1241-1248.
- [9] M.P. Adinugraha, D.W. Marseno and P. Hayadi, “Synthesis and Characterization of Sodium Carboxymethylcellulose from Cavendish Banana Pseudo Stem (*Musa cavendishii* LAMBERT)”, *Carbohydrate Polymers* 62, 2005, pp. 164-169.