

วิธีการและภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากฟางข้าว

นิภาพร แสงจุ¹ ชุสิทธิ์ พุฒนวล² วนิดา พงษ์ศักดิ์ชาติ³

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์⁴ และ อาภัสรา แสงนาค^{4*}

มหาวิทยาลัยบูรพา ถนนลงหาดบางแสน แสนสุข เมือง ชลบุรี 20131

รับเมื่อ 29 สิงหาคม 2550 ตอบรับเมื่อ 30 กรกฎาคม 2551

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการและภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซีจากฟางข้าวโดยใช้ค่าระดับการแทนที่และค่าความบริสุทธิ์ของซีเอ็มซีเป็นเกณฑ์ เปรียบเทียบวิธีการเตรียมซีเอ็มซี 3 วิธีซึ่งมีชนิดของสารละลายตัวกลาง ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยาอีเทอร์ิฟิเคชัน รวมทั้งวิธีการทำให้บริสุทธิ์แตกต่างกันพบว่า วิธีที่ใช้เอธานอลเป็นสารละลายตัวกลางร่วมกับการทำซีเอ็มซีให้บริสุทธิ์โดยใช้วิธี soxhlet extraction สามารถผลิตซีเอ็มซีที่มีค่าระดับการแทนที่ (DS) และค่าความบริสุทธิ์สูงสุด จากนั้นศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตซีเอ็มซีจากฟางข้าว โดยศึกษาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ 35 45 และ 55) ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (0.75 1.0 และ 1.25 กรัมต่อกรัมเซลลูโลส) อุณหภูมิของปฏิกิริยาการแทนที่ (50 60 และ 70 องศาเซลเซียส) และเวลาของปฏิกิริยาการแทนที่ (60 70 และ 80 นาที) พบว่า ภาวะที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 55 ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ 1.0 กรัมต่อกรัมเซลลูโลส อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และเวลา 70 นาที เป็นภาวะที่ทำให้ได้ซีเอ็มซีที่มีค่าระดับการแทนที่ (0.60) และค่าความบริสุทธิ์ (ร้อยละ 99) สูงสุด

คำสำคัญ : คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส / ฟางข้าว

* Corresponding author: E-mail: arpaths@buu.ac.th

¹ นักศึกษาระดับวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์

² อาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

³ อาจารย์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์

⁴ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์

Optimum Method and Conditions of Carboxymethyl Cellulose Production from Rice Straw

Nipaporn Saengchu ¹, Chuleporn Puttnual ², Vanida Pongsakchat ³,
Kullaya Limroongreungrat ⁴, and Arpathsra Sangnark ^{4*}

Burapha University, Long-Hard Bangsaen Road, Saensook, Maung, Chonburi 20131

Received 29 August 2007 ; accepted 30 July 2008

Abstract

Three methods of carboxymethyl cellulose (CMC) production from rice straw were compared based on degree of substitution (DS) and purity. Methods varied in 1) solvent medium, sodium hydroxide concentration, temperature and time of etherification and 2) purification processes. CMC quality was highest when ethanol was used as solvent medium in etherification and the product was purified by soxhlet extraction. The optimum conditions for CMC production were then investigated as follows: Sodium hydroxide concentration (35, 45 and 55%), amount of sodium chloroacetate (0.75, 1.0 and 1.25 g/g cellulose), temperature (50, 60 and 70 °C), and time (60, 70 and 80 min). The results indicated that CMC, produced by using 55% sodium hydroxide solution and 1.0 g sodium chloroacetate/g cellulose at 50 °C and 70 min, had the highest DS (0.6) and purity (99%).

Keywords : Carboxymethyl Cellulose / Rice Straw

* Corresponding author: E-mail: arpaths@buu.ac.th

¹ Undergraduated Student, Department of Food Science, Faculty of Science.

² Lecturer, Department of Chemistry, Faculty of Science.

³ Lecturer, Department of Mathematics, Faculty of Science.

⁴ Assistant Professor, Department of Food Science, Faculty of Science.

1. บทนำ

ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวได้มากถึงประมาณปีละ 26 ล้านตันต่อปี [1] ทำให้มีผลพลอยได้จากการเก็บเกี่ยวและการสีข้าวเป็นปริมาณมาก ดังนี้คือ แกลบ 11 ล้านตัน รำข้าว 1.6 ล้านตัน และฟางข้าว 117 ล้านตันต่อปี [2] ดังนั้นจึงมีนักวิจัยและโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ พยายามนำผลพลอยได้เหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ เช่น การนำแกลบมาเผาเพื่อใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงในโรงงานสีข้าว การนำขี้เถ้าแกลบมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการหล่อโลหะ และการนำฟางข้าวมาเป็นแหล่งของสารอินทรีย์ในการผลิตปุ๋ยซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์ที่ไม่คุ้มค่าเท่าที่ควร เนื่องจากฟางข้าวประกอบด้วยเซลลูโลสปริมาณสูงถึงร้อยละ 43.30 [3] จึงควรนำฟางข้าวที่เหลือทิ้งจากการเก็บเกี่ยวมาสกัดเซลลูโลสบริสุทธิ์เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตซีเอ็มซีซึ่งเป็นอนุพันธ์เซลลูโลสอีเทอร์ที่อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส การเตรียมซีเอ็มซีทำได้โดยใช้เซลลูโลสบริสุทธิ์ทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้เส้นใยเซลลูโลสฟองตัวออกได้เป็นสารละลายเซลลูโลสในต่าง แล้วทำปฏิกิริยาต่อกับโซเดียมโมโนคลอไรด์ได้เป็นโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซี [4] ซึ่งเป็นโพลีเมอร์ที่ละลายได้ในน้ำ ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสและไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ มีสมบัติช่วยเพิ่มความหนืดและความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดเช่น ไอศกรีม น้ำผลไม้ และซอสประเภทต่างๆ เป็นต้น [5]

Barai และคณะ [6] ศึกษาผลของสารละลายตัวกลาง (solvent medium) ในปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชัน 4 ชนิดคือ isopropyl alcohol, isobutyl alcohol, เอทานอล และน้ำ เพื่อผลิตซีเอ็มซีจากผักตบชวาพบว่า การใช้เอทานอลเป็นสารละลายตัวกลางทำให้ได้ซีเอ็มซีที่มีค่าระดับการแทนที่สูงที่สุด ต่อมา Togrul และ Arslan [7] ผลิตซีเอ็มซีจากหัวบีทที่มีค่าระดับการแทนที่ 0.66 โดยใช้ isobutyl alcohol เป็นสารละลายตัวกลางและทำซีเอ็มซีให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยเอทานอล ในขณะที่ปราณี รัตนวลิตโรจน์ และ ศรีไฉล ชุนทน [8] เตรียมซีเอ็มซีจากกากอ้อยโดยใช้เอทานอลสารละลายตัวกลางและทำซีเอ็มซีให้บริสุทธิ์โดยใช้วิธี soxhlet extraction พบว่าซีเอ็มซีที่ผลิตได้จากกากอ้อยมีค่าระดับการแทนที่ 0.79 และมีค่าความบริสุทธิ์

สูงถึงร้อยละ 92 จากนั้น Yasar และคณะ [9] สามารถผลิตซีเอ็มซีจากเปลือกส้มโดยใช้ isobutyl alcohol เป็นสารละลายตัวกลาง ทำให้เกิดปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชันที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 6 ชั่วโมง และทำให้บริสุทธิ์โดยล้างด้วยเมทานอลพบว่า ซีเอ็มซีที่ผลิตได้มีค่าระดับการแทนที่เพียง 0.67

เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีการผลิตซีเอ็มซีเชิงพาณิชย์ซีเอ็มซีที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารทั้งหมดต้องนำเข้าจากต่างประเทศ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการและภาวะที่เหมาะสมในการผลิตซีเอ็มซีจากฟางข้าวเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร ช่วยลดการนำเข้าวัตถุดิบอาหารดังกล่าวจากต่างประเทศและสามารถเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรได้ด้วย

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมฟางข้าว

นำตัวอย่างฟางข้าวล้างน้ำเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก สะเด็ดน้ำ และนำไปตากแดดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ตัดฟางข้าวให้เป็นชิ้นเล็กๆ และนำมาบดด้วยเครื่องบด Coarse beater mill ผ่านตะแกรงเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. เก็บในถุงพอลิเอทิลีนและปิดผนึกด้วยความร้อนเก็บที่อุณหภูมิห้อง

2.2 การเตรียมเซลลูโลสจากฟางข้าว

2.2.1 การย่อยสลายด้วยน้ำ (Prehydrolysis)

สกัดเซลลูโลสตามวิธีของจิตต์ ศรีวรรณวิทย์ และดวงใจ วิบูลย์ธนภรณ์ [10] โดยนำฟางข้าวที่ผ่านการบด 50 ก. มาเติมน้ำ 1,500 มล. และเติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นร้อยละ 1.2 (ปริมาตรต่อปริมาตร) 50 มล. นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 °C พร้อมกวนผสมตลอดเวลาเป็นเวลา 3 ชม. นำมากรองและล้างด้วยน้ำ นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

2.2.2 การสกัดเชื้อเซลลูโลส

นำตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 2.2.1 ปริมาณ 30 ก. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 (น้ำหนักต่อปริมาตร) 600 มล. นำไปรีฟลักซ์ (reflux) ที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 2 ชม. กรองและล้างด้วยน้ำ

กลั่น นำไปอบที่อุณหภูมิ 85 °C ซ้ำมคืน ซึ่งกากที่ได้จากการรีฟลักซ์ใส่ลงในขวดแก้วที่มีฝาปิด นำมาพอกสีด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยใช้อัตราส่วนของเยื่อเซลลูโลสต่อสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์เป็น 1:25 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปิดฝาแล้วกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชม. 30 นาที กรองและล้างด้วยน้ำ นำตัวอย่างมาสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 4 (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้อัตราส่วนของตัวอย่างต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็น 1:25 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นำไปให้ความร้อนบน hot plate ที่อุณหภูมิ 70-80 °C และกวนผสม เป็นเวลา 1 ชม. กรองและล้างด้วยน้ำ พอกสีซ้ำอีกครั้ง นำกากที่ได้มาพอกสีและกำจัดลิกนินด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.7 (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้อัตราส่วนของตัวอย่างต่อสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 1:25 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นำไปให้ความร้อนบน hot plate ที่อุณหภูมิ 80-90 °C และกวนผสม เป็นเวลา 1 ชม. 30 นาที กรองและล้างด้วยน้ำ นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C จนกระทั่งแห้ง นำเซลลูโลสที่ได้ไปเก็บในถุงพอลิเอทิลีน ปิดผนึกด้วยความร้อน เก็บที่อุณหภูมิห้อง

2.2.3 การศึกษาสมบัติของเซลลูโลส

- การวิเคราะห์ปริมาณแอลฟา-เซลลูโลส
วิเคราะห์หาปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสตามวิธีมาตรฐาน TAPPI T203 cm - 99 [7]
- การวัดค่าสี
ประเมินค่าสีของฟางข้าวและเซลลูโลสโดยใช้เครื่องวัดสี (Handy colorimeter) 3 ค่า คือ L^* , a^* และ b^*

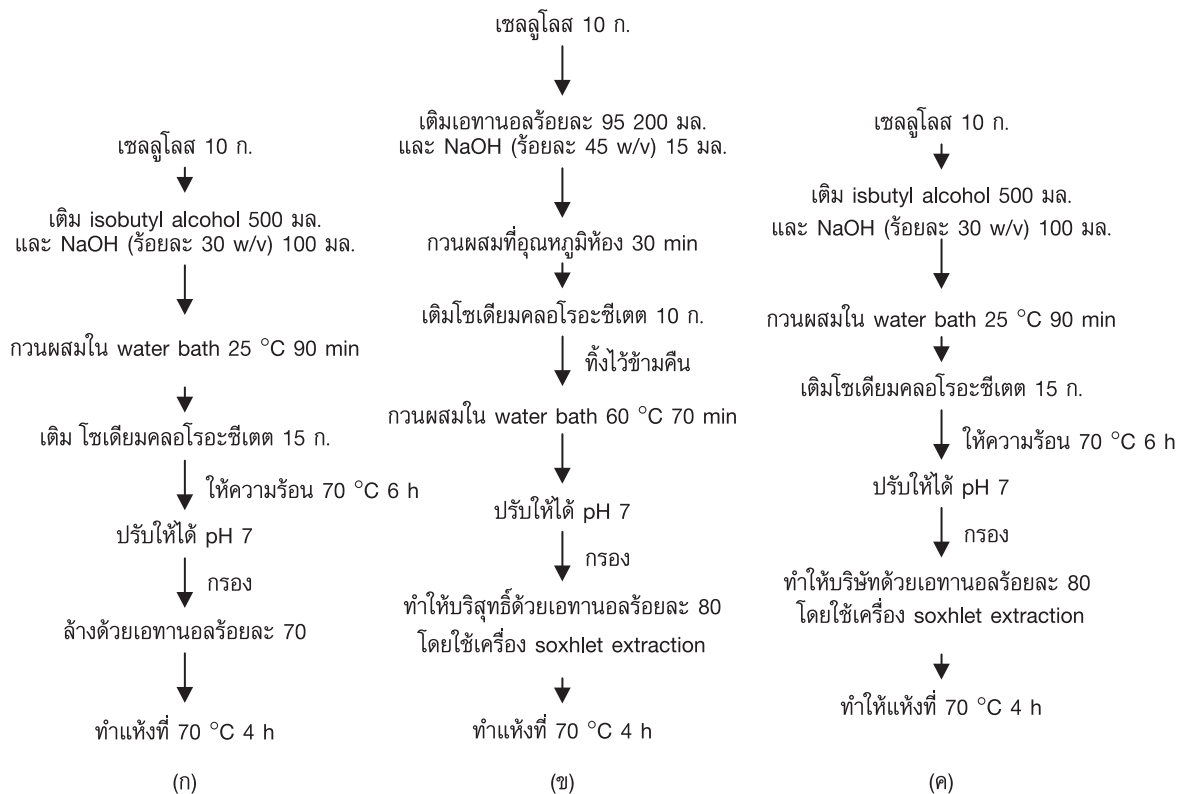
ค่า L^* = 100 (สีขาว), L^* = 0 (สีดำ), $+a^*$ = สีแดง, $-a^*$ = สีเขียว และ $+b^*$ = สีเหลือง, $-b^*$ = สีนํ้าเงิน ทำโดยนำเยื่อเซลลูโลสที่บดละเอียดแล้วบรรจุลงใน mold พลาสติก ใช้แผ่นกระจกสไลด์เกลี่ยและอัดให้แน่น ให้ได้ผิวเรียบที่สุด นำหัววัดของเครื่องวัดสีวางให้แนบสนิทบนตัวอย่าง และคำนวณค่า Whiteness จาก $100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$

- การวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ในเซลลูโลส
ทำโดยเทียบกับสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเทรต 0.01 โมลาร์ ตามวิธีของ AOAC Method 941.18 [12]

- การวิเคราะห์ทางสถิติ
วิเคราะห์ปริมาณแอลฟา-เซลลูโลส ค่าสี และค่า Whiteness วางแผนการทดลองแบบ T - test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window version 11.5

2.3 ศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการผลิตซีเอ็มซีจากเซลลูโลส

นำเซลลูโลสจากที่สกัดได้จากฟางข้าวจากข้อ 2.2 มาใช้ในการเตรียมซีเอ็มซีตามวิธีของ (1) Togrul และ Arslan [7] (2) ปราณีย์ รัตนวลิตโรจน์ และศรีโฉล ชุนทน [8] และ (3) วิธีของ Togrul และ Arslan [7] และทำให้บริสุทธิ์โดยใช้เครื่อง soxhlet extraction (รูปที่ 1) และเลือกวิธีที่เหมาะสมในการผลิตซีเอ็มซีจากวิธีที่ให้ซีเอ็มซีที่มีค่าความบริสุทธิ์และค่าระดับการแทนที่สูงที่สุด โดยวิเคราะห์ค่าดังกล่าวตามวิธีของ ASTM [13]



รูปที่ 1 การผลิตซีเอ็มซีจากเซลลูโลสตามวิธีของ (ก) Togrul และ Arslan [7] (ข) ปราณี รัตนวลิตโรจน์ และศรีโฉล ขุนทน [8] และ (ค) Togrul และ Arslan [7] ร่วมกับการทำให้บริสุทธิ์ใช้เครื่อง soxhlet extraction

2.3.1 การวิเคราะห์ค่าความบริสุทธิ์ของซีเอ็มซี

ซึ่งซีเอ็มซีที่อบแห้งประมาณ 3 ก. ใส่ในบีกเกอร์

ขนาด 500 มล. เติมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ที่มีอุณหภูมิ 60-65 °C ปริมาตร 150 มล. กวนผสมในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 10 นาที ทิ้งให้ตกตะกอน กรองผ่านด้วยกรอง นำส่วนตะกอนมากวนผสมในเอทานอลซ้ำอีกครั้งหนึ่งตามภาวะที่กล่าวมาแล้ว กรองตะกอนผ่านด้วยกรองใช้เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 (ปริมาตรต่อปริมาตร) อุณหภูมิ 60-65 °C ปริมาตร 250 มล. ล้างตะกอนในบีกเกอร์ออกมาให้หมด ล้างตะกอนด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 (ปริมาตรต่อปริมาตร) 50 มล. ใช้อีเทอร์ล้างหลายๆ ครั้ง นำด้วยกรองไปอังบนไอน้ำเพื่อไล่กลิ่นอีเทอร์ นำด้วยกรองไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 1 ชม. ใช้แท่งแก้วทำให้ตะกอนแตกแล้วอบอีก 1 ชม. ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์

เป็นเวลา 30 น. นำด้วยกรองไปชั่งและอบซ้ำจนกระทั่งน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 0.003 ก.

การคำนวณ

$$S = A \times 10000 / B (100 - C)$$

โดยที่ S = ร้อยละความบริสุทธิ์ของซีเอ็มซี
 A = น้ำหนักตะกอนหลังทำให้บริสุทธิ์ (ก.)
 B = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ (ก.)
 C = ปริมาณความชื้นของซีเอ็มซี (ร้อยละ)

2.3.2 การวิเคราะห์ค่าระดับการแทนที่

ซึ่งซีเอ็มซีที่เตรียมได้ประมาณ 4 ก. ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มล. เติมเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ปริมาตร 75 มล. กวนของผสมจน

เป็นเนื้อเดียวกัน เดิมกรดไนตริก 5 มล. คนต่อ 1-2 นาที ให้ความร้อนจนเดือดและปล่อยให้เดือดเป็นเวลา 1-2 นาที ยกปิกเกอร์ลงและคนต่อเป็นเวลา 10-15 นาที เทของเหลวเบาๆ บนกระดาษกรอง ล้างตะกอนด้วยเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 80 (ปริมาตรต่อปริมาตร) จนหมดกรดซึ่งสามารถตรวจสอบโดยใช้ diphenylamine reagent และล้างด้วยเมทานอลเล็กน้อย นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 3 ชม. ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งตัวอย่างซีเอ็มซีที่ได้ประมาณ 1-1.5 ก. ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มล. เติมน้ำ 100 มล. และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.3-0.5 นอร์มัล ปริมาตร 25 มล. ให้ความร้อนจนเดือดพร้อมคนส่วนผสมตลอดเวลาและปล่อยให้เดือดนานเป็นเวลา 10-15 นาที นำมาไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.3-0.5 นอร์มัล ขณะร้อนโดยใช้ phenolphthalein เป็นอินดิเคเตอร์

การคำนวณ

$$A = (BC - DE) / F$$

$$G = 0.162 / (1 - 0.058A)$$

A = ปริมาณ milliequivalents ของกรดที่ถูกใช้ไป ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

B = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (มล.)

C = ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัลลิตี)

D = ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินไป (มล.)

E = ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มัลลิตี)

F = น้ำหนักซีเอ็มซีหลังการอบแห้ง (ก.)

G = ค่าระดับการแทนที่

2.4 การศึกษาภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตซีเอ็มซี

2.4.1 ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมต่อการผลิตซีเอ็มซี

ศึกษาความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม ในขั้นตอนการเตรียมเซลลูโลสในภาวะต่าง

แปรความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นร้อยละ 35, 45 และ 55 (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยใช้ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีจำนวนโมลเป็นสองเท่าของโซเดียมคลอไรด์ที่เติม ซึ่งการทดลองนี้ใช้โซเดียมคลอไรด์ 10 ก. ดังนั้นต้องเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 20, 15 และ 12.5 มล. ตามลำดับ และผลิตซีเอ็มซีตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 2.3 หลังจากนั้นนำซีเอ็มซีมาบดละเอียดให้ผ่านรูตะแกรงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 มล. โดยใช้ Ultra-centrifugal mill ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที นำไปวิเคราะห์ค่าความชื้น ค่าระดับการแทนที่ และค่าความบริสุทธิ์ เลือกความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำให้ซีเอ็มซีที่ผลิตได้มีค่าระดับการแทนที่และค่าความบริสุทธิ์สูง เพื่อนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

2.4.2 ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสมต่อการผลิตซีเอ็มซี

ศึกษาปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ในปฏิกิริยาการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสโดยแปรปริมาณโซเดียมคลอไรด์เป็น 3 ระดับคือ 0.75, 1 และ 1.25 กรัมต่อน้ำหนักเซลลูโลส ตามลำดับ และผลิตซีเอ็มซีตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 2.3 โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เลือกได้จากข้อ 2.4.1 จากนั้นบดซีเอ็มซีที่ผลิตได้ วิเคราะห์สมบัติของซีเอ็มซี และเลือกปริมาณโซเดียมคลอไรด์ตามเกณฑ์ข้อ 2.4.1

2.4.3 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของโซเดียมคลอไรด์และเซลลูโลส

ศึกษาอุณหภูมิในระหว่างการทำปฏิกิริยาของโซเดียมคลอไรด์และเซลลูโลสต่อการผลิตซีเอ็มซี โดยแปรอุณหภูมิเป็น 3 ระดับคือ 50, 60 และ 70 °C ผลิตซีเอ็มซีตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 2.3 โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่เลือกได้จากข้อ 2.4.1 และ 2.4.2 ตามลำดับ จากนั้นบดซีเอ็มซีที่ผลิตได้ วิเคราะห์สมบัติของซีเอ็มซี และเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในระหว่างการทำปฏิกิริยาของโซเดียมคลอไรด์และเซลลูโลสตามเกณฑ์ข้อ 2.4.1

2.4.4 เวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของโซเดียมคลอไรด์และเซลลูโลส

ศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาของโซเดียมคลอไรด์และเซลลูโลสต่อการผลิตซีเอ็มซี โดยแปรเวลา

เป็น 60, 70 และ 80 นาที ผลิตซีเอ็มซีตามวิธีที่เลือกได้จากข้อ 2.3 โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่เติมและอุณหภูมิที่เลือกได้จากข้อ 2.4.1, 2.4.2 และ 2.4.3 ตามลำดับ จากนั้นบดซีเอ็มซีที่ผลิตได้ และวิเคราะห์สมบัติของซีเอ็มซีเช่นเดียวกับข้อ 2.4.1

2.4.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design ทดลอง 3 ซ้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Window version 11.5

2.5 การวิเคราะห์สมบัติของซีเอ็มซีที่ผลิตได้

เปรียบเทียบกับซีเอ็มซีทางการค้า (Blanose™)

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC [12] ค่าระดับการแทนที่ ความบริสุทธิ์ของซีเอ็มซีที่ผลิตได้และซีเอ็มซีทางการค้าเช่นเดียวกับข้อ 2.3 และทดสอบสมบัติความหนืดของซีเอ็มซีโดยเตรียมสารละลายซีเอ็มซีความเข้มข้นร้อยละ 2 (น้ำหนักต่อปริมาตร) กวนผสมเป็นเวลา 1 ชม. จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 ชม. วิเคราะห์ความหนืดโดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Brookfield viscometer รุ่น LVDV -III) ที่อุณหภูมิ 25 °C โดยเลือกใช้หัววัด

(spindle) LV 4

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

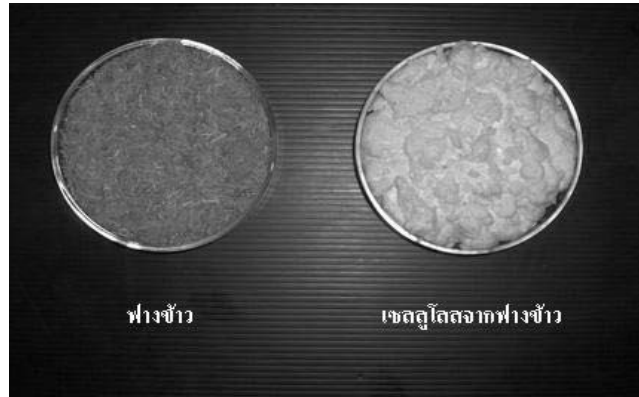
3.1 ผลการศึกษาสมบัติของเซลลูโลสจากฟางข้าว

เซลลูโลสที่สกัดได้มีปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสประมาณร้อยละ 84 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปริมาณที่พบในฟางข้าวประมาณร้อยละ 40 ($P < 0.05$, ตารางที่ 1) และใกล้เคียงกับเซลลูโลสที่ผลิตจากกากอ้อยตามวิธีของปรานีรัตน์ วลีดิโรจน์ และศรีไฉล ชุณหน [8] ซึ่งมีปริมาณแอลฟา-เซลลูโลสประมาณร้อยละ 85 ส่วนลักษณะทางกายภาพของเซลลูโลสที่สกัดได้เป็นผงละเอียด สีขาว พู และมีน้ำหนักเบา (รูปที่ 2) มีค่าความสว่าง (L^*) สูงกว่าฟางข้าวประมาณ 1.9 เท่า มีค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ลดลงอย่างชัดเจน ($P < 0.05$) ส่งผลให้ค่าความขาว (whiteness) เพิ่มขึ้นเป็น 93 เนื่องจากขั้นตอนการสกัดเยื่อเซลลูโลสมีการฟอกสีด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำให้เซลลูโลสที่สกัดได้มีสีขาวเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาปริมาณ โซเดียมไฮโปคลอไรด์ที่ตกค้าง พบว่าเซลลูโลสจากฟางข้าวมีปริมาณของโซเดียมไฮโปคลอไรด์ที่ตกค้างเพียง 18 มก./กก. เท่านั้น จึงปลอดภัยต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร

ตารางที่ 1 สมบัติของเซลลูโลสจากฟางข้าวเปรียบเทียบกับฟางข้าว^a

สิ่งทดลอง	แอลฟา-เซลลูโลส (ร้อยละ)	สี			Whiteness
		L^*	a^*	b^*	
ฟางข้าว	44.79 ± 0.08 ^b	59.05 ± 0.38 ^b	5.93 ± 0.20 ^a	25.50 ± 0.31 ^b	51.78 ± 0.30 ^b
เซลลูโลสจากฟางข้าว	83.97 ± 0.12 ^a	93.60 ± 0.27 ^a	0.47 ± 0.22 ^b	3.10 ± 0.20 ^a	92.87 ± 0.30 ^a

^aค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทดลอง 20 ซ้ำ)



รูปที่ 2 ฟางข้าวและเซลลูโลสที่สกัดได้จากฟางข้าว

3.2 ผลการศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการผลิตซีเอ็มซีจากเซลลูโลส

ซีเอ็มซีที่ผลิตตามวิธีของปราณี รัตนวลิตโรจน์ และศรีไฉล ขุนทน [8] มีค่าความบริสุทธิ์สูงที่สุด คือ ร้อยละ 85 ในขณะที่ซีเอ็มซีที่ผลิตตามวิธีของ Togrul และ Arslan [7] มีค่าความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 41 ($P < 0.05$, ตารางที่ 2) เนื่องจากการผลิตซีเอ็มซีตามวิธีของปราณี รัตนวลิตโรจน์ และศรีไฉล ขุนทน [8] มีขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้เอทานอลด้วยเครื่อง soxhlet extraction ซึ่งสามารถกำจัดผลพลอยได้ที่ไม่ต้องการจากปฏิกิริยาได้มาก เช่น สารประเภทเกลือโซเดียมซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาข้างเคียงที่มีปริมาณสารละลายต่างมากเกินไป แต่วิธีของ Togrul และ Arslan [7] ทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยเอทานอลเท่านั้น ซึ่งสามารถกำจัดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการออกไปเพียงเล็กน้อย ทำให้มีค่าความบริสุทธิ์ต่ำกว่าการทำบริสุทธิ์ด้วยเครื่อง soxhlet extraction นอกจากนี้ซีเอ็มซีที่ผลิตตามวิธีของปราณี รัตนวลิตโรจน์ และศรีไฉล ขุนทน [8] มีค่าระดับการแทนที่สูงที่สุด เนื่องจากวิธีของปราณี รัตนวลิตโรจน์ และ

ศรีไฉล ขุนทน [8] มีการใช้เอทานอลซึ่งมีหมู่เมทิล (methyl group, $-CH_3$) เพียงหมู่เดียวเป็นสารละลายตัวกลาง ขณะที่วิธีของ Togrul และ Arslan [7] ใช้ isobutyl alcohol ซึ่งมีหมู่เมทิลถึง 3 หมู่เป็นสารละลายตัวกลาง ส่งผลให้มีความเกะกะ (steric hindrance) ต่อการเกิดปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชันในโมเลกุลของเซลลูโลส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Barai และคณะ [6]

ดังนั้นจึงเลือกซีเอ็มซีที่ผลิตจากเซลลูโลสตามวิธีของปราณี รัตนวลิตโรจน์ และศรีไฉล ขุนทน [8] เป็นวิธีที่สามารถผลิตซีเอ็มซีที่มีค่าความบริสุทธิ์และค่าระดับการแทนที่สูงที่สุด คือ ร้อยละ 85 และ 0.41 ตามลำดับ เนื่องจากการนำซีเอ็มซีไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร จะพิจารณาจากซีเอ็มซีที่มีค่าความบริสุทธิ์สูงถึงร้อยละ 99 และค่าระดับการแทนที่ คือ 0.45-1.4 [14] นอกจากนั้นวิธีของปราณี รัตนวลิตโรจน์ และศรีไฉล ขุนทน [8] เป็นวิธีที่ใช้ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีอื่น เนื่องจากสารเคมีที่ใช้มีราคาถูกและประหยัดพลังงานในขั้นตอนของปฏิกิริยาโซเดียมคลอไรด์ที่เติมที่จะไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส

ตารางที่ 2 ค่าความบริสุทธิ์ และค่าระดับการแทนที่ของการผลิตซีเอ็มซีตามวิธีต่างๆ^A

ซีเอ็มซีที่ผลิตตามวิธีต่างๆ	ความบริสุทธิ์ (ร้อยละ)	ค่าระดับการแทนที่
วิธีของ Togrul และ Arslan [7]	41.43 + 1.25 ^b	0.39 + 0.01 ^b
วิธีของปราณี รัตนวลิตโรจน์ และศรีไฉล ชุนทน [8]	85.47 + 0.29 ^a	0.41 + 0.02 ^a
วิธีของ Togrul และ Arslan [7] และทำให้บริสุทธิ์โดยใช้เครื่อง soxhlet extraction	84.45 + 1.38 ^a	0.39 + 0.01 ^b

^A ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทดลอง 3 ซ้ำ)

a, b หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

4.3 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตซีเอ็มซี

4.3.1 ผลของความเข้มข้นสารละลายโซเดียม-

ไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมต่อการผลิตซีเอ็มซี

การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากร้อยละ 35 เป็นร้อยละ 55 ทำให้ค่าความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 6 ($P < 0.05$, ตารางที่ 3) เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้มีเซลลูโลสในภาวะต่างที่มากเกินพอต่อการทำปฏิกิริยากับโซเดียมคลอไรด์ที่เติมได้เป็นผลิตภัณฑ์ซีเอ็มซีและไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงที่จะได้สารประกอบที่ไม่ต้องการ เช่น โซเดียมไกลโคเลต และสารประเภทเกลือ

[4, 15] นอกจากนี้การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากร้อยละ 35 เป็นร้อยละ 55 ส่งผลให้ซีเอ็มซีมีค่าระดับการแทนที่เพิ่มมากขึ้นด้วย เนื่องจากเซลลูโลสที่ใช้ในการผลิตซีเอ็มซีเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่จึงเคลื่อนที่ได้ช้ามาก การเกิดปฏิกิริยาแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลจึงขึ้นกับปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กไปอยู่รอบๆ โมเลกุลของเซลลูโลสถ้ามีโมเลกุลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณมาก ทำให้เกิดปฏิกิริยาการแทนที่ได้ดีขึ้น ค่าระดับการแทนที่จึงสูงขึ้น [6, 8] จึงเลือกสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 55 เพื่อศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3 สมบัติของซีเอ็มซีที่เตรียมโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ^A

ความเข้มข้น NaOH (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร)	ความชื้น (ร้อยละ)	ความบริสุทธิ์ (ร้อยละ)	ค่าระดับการแทนที่
35	5.11 \pm 0.18 ^b	84.33 \pm 0.70 ^c	0.38 \pm 0.01 ^c
45	5.55 \pm 0.09 ^a	85.22 \pm 0.60 ^b	0.42 \pm 0.01 ^b
55	5.52 \pm 0.16 ^a	90.07 \pm 0.01 ^a	0.44 \pm 0.01 ^a

^A ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทดลอง 3 ซ้ำ)

a, b, c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

4.3.2 ผลของปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่ เหมาะสมต่อการผลิตซีเอ็มซี

การเพิ่มปริมาณโซเดียมคลอไรด์จาก 0.75 กรัม เป็น 1.0 กรัมต่อกรัมเซลลูโลส ส่งผลให้ค่าความบริสุทธิ์ของซีเอ็มซีเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 ($P < 0.05$, ตารางที่ 4) เนื่องจากโมเลกุลของโซเดียมคลอไรด์สามารถล้อมรอบโมเลกุลของเซลลูโลสในภาวะต่างมากขึ้น ทำให้การเกิดปฏิกิริยาแทนที่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ซีเอ็มซีได้ดีขึ้น จึงไม่เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงและไม่ทำให้เกิดสารประกอบที่ไม่

ต้องการดังกล่าวมาแล้ว ซึ่งส่งผลให้ซีเอ็มซีที่ผลิตได้มีค่าความบริสุทธิ์สูงขึ้น [4, 15] อย่างไรก็ตาม ซีเอ็มซีที่เตรียมโดยโซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 1.0 กรัม และ 1.25 กรัมต่อกรัมเซลลูโลส มีความบริสุทธิ์และค่าระดับการแทนที่ไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) จึงเลือกโซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 1.0 กรัมต่อกรัมเซลลูโลส สำหรับทดลองในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากใช้โซเดียมคลอไรด์ในปริมาณที่น้อยกว่า

ตารางที่ 4 สมบัติของซีเอ็มซีที่เตรียมโดยโซเดียมคลอไรด์ปริมาณต่างๆ^A

ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (กรัม/กรัมเซลลูโลส)	ความชื้น (ร้อยละ)	ความบริสุทธิ์ (ร้อยละ)	ค่าระดับ การแทนที่
0.75	7.61 ± 0.11 ^c	90.27 ± 2.15 ^b	0.37 ± 0.01 ^b
1.0	8.47 ± 0.12 ^b	95.43 ± 1.84 ^a	0.43 ± 0.01 ^a
1.25	9.49 ± 0.20 ^a	95.00 ± 2.12 ^a	0.43 ± 0.01 ^a

^A ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทดลอง 3 ซ้ำ)

^{a, b, c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

4.3.3 ผลของอุณหภูมิในระหว่างการทำปฏิกิริยา ของโซเดียมคลอไรด์และเซลลูโลส ต่อการผลิตซีเอ็มซี

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในระหว่างการทำปฏิกิริยาของโซเดียมคลอไรด์และเซลลูโลสต่อการผลิตซีเอ็มซีจาก

50 เป็น 70 °C พบว่าค่าความชื้น ค่าความบริสุทธิ์ และค่าระดับการแทนที่ของซีเอ็มซีที่ผลิตได้ ไม่มีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 5, $P \geq 0.05$) จึงเลือกอุณหภูมิของปฏิกิริยาการแทนที่เป็น 50 °C

ตารางที่ 5 ผลของอุณหภูมิระหว่างการทำปฏิกิริยาของโซเดียมคลอไรด์และเซลลูโลสต่อสมบัติของซีเอ็มซี^A

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น ^{ns} (ร้อยละ)	ความบริสุทธิ์ ^{ns} (ร้อยละ)	ค่าระดับ การแทนที่ ^{ns}
50	8.03 ± 0.27	97.43 ± 0.64	0.61 ± 0.01
60	7.93 ± 0.45	97.63 ± 0.75	0.61 ± 0.01
70	7.93 ± 0.45	97.54 ± 0.75	0.61 ± 0.01

^A ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทดลอง 3 ซ้ำ)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

4.3.4 ผลของเวลาในระหว่างการทำปฏิกิริยาของโซเดียมคลอโรอะซีเตตและเซลลูโลสต่อการผลิตซีเอ็มซี

เมื่อเพิ่มเวลาในระหว่างการทำปฏิกิริยาของโซเดียมคลอโรอะซีเตตและเซลลูโลสจาก 60 นาทีเป็น 80 นาที ทำให้ซีเอ็มซีมีความบริสุทธิ์และค่าระดับการแทนที่เพิ่มขึ้น ($P < 0.05$, ตารางที่ 6) เนื่องจากเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

ทำให้การเกิดปฏิกิริยาอีเทอร์ิฟิเคชันที่หมู่ไฮดรอกซิลสูงขึ้นส่งผลให้หมู่คาร์บอกซิเมทิลไปแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลได้มากขึ้น จึงทำให้ค่าระดับการแทนที่สูง [6] อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้เวลาในระหว่างการทำปฏิกิริยา 70 และ 80 นาที พบว่าค่าระดับการแทนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) อาจเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ 70 นาที มากเกินไปสำหรับการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่

ตารางที่ 6 ค่าความชื้น ค่าความบริสุทธิ์ และค่าระดับการแทนที่ ของซีเอ็มซีที่เวลาในการทำปฏิกิริยาของโซเดียมคลอโรอะซีเตตและเซลลูโลสต่างๆ^A

เวลา (นาที)	ความชื้น (ร้อยละ)	ความบริสุทธิ์ (ร้อยละ)	ค่าระดับการแทนที่
60	8.60 ± 0.55 ^a	98.13 ± 0.24 ^b	0.59 ± 0.01 ^b
70	8.01 ± 0.20 ^b	99.04 ± 0.43 ^a	0.60 ± 0.01 ^a
80	8.81 ± 0.27 ^a	99.22 ± 0.53 ^a	0.61 ± 0.01 ^a

^A ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทดลอง 3 ซ้ำ)

^{a, b, c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

4.4 ผลการศึกษาสมบัติของซีเอ็มซีที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับซีเอ็มซีทางการค้า (Blanose™)

ซีเอ็มซีที่ผลิตได้ตามภาวะที่ดีที่สุดจากข้อ 4.3 และซีเอ็มซีทางการค้ามีค่าความชื้น ค่าความบริสุทธิ์ และค่าระดับการแทนที่ไม่แตกต่างกัน ($P \geq 0.05$, ตารางที่ 7) สารละลายซีเอ็มซีที่ผลิตได้และซีเอ็มซีทางการค้าเข้มข้น

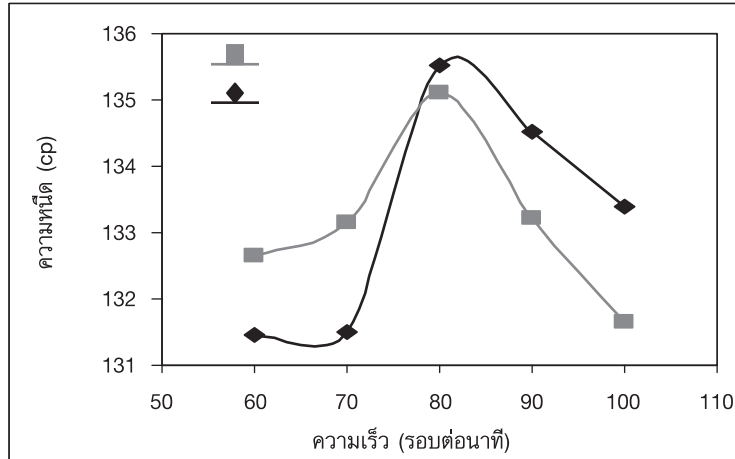
ร้อยละ 2 มีค่าความหนืดสูงสุดประมาณ 136 เซนติพอยด์ เมื่อใช้ความเร็ว 80 รอบต่อนาที ($P \geq 0.05$, รูปที่ 3) และซีเอ็มซีที่ผลิตได้จากฟางข้าวมีสีขาวกว่าซีเอ็มซีทางการค้า (ตารางที่ 7, รูปที่ 4)

ตารางที่ 7 สมบัติของซีเอ็มซีที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับซีเอ็มซีทางการค้า^A

สิ่งทดลอง	ความชื้น ^{ns} (ร้อยละ)	ความชื้น ^{ns} (ร้อยละ)	ค่าระดับการแทนที่ ^{ns}
ซีเอ็มซีทางการค้า	7.66 + 0.30	99.51 + 0.02	0.60 + 0.01
ซีเอ็มซีจากฟางข้าว	8.01 + 0.40	99.04 + 0.53	0.60 + 0.01

^A ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทดลอง 20 ซ้ำ)

^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (T-test)



รูปที่ 3 ความหนืดของซีเอ็มซีจากฟางข้าวและซีเอ็มซีทางการค้า



รูปที่ 4 ซีเอ็มซีที่ผลิตจากฟางข้าวและซีเอ็มซีทางการค้า

4. สรุปผลการทดลอง

วิธีที่เหมาะสมในการผลิตซีเอ็มซีจากฟางข้าว คือวิธีของปราณี รัตน์วลิตโรจน์ และศรีเณล ชุนทน [2] ภายใต้ภาวะการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 55 ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ 1.0 กรัมต่อกรัมเซลลูโลส อุณหภูมิ 50 °C และเวลา 70 นาที และซีเอ็มซีที่ผลิตได้มีสมบัติไม่แตกต่างจากซีเอ็มซีทางการค้า

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ทุนจากงบรายได้เพื่อสนับสนุนในการทำวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

1. Ministry of Agriculture and Cooperatives of Thailand, 2003, "Rice Production", February, 16, from <http://www.oae.go.th/thaifs/2002>
2. Sundhagul, M. and Attasampunna, P., 2002, "Bioconversion of Carbohydrate Residues in Thailand", September, 17, from <http://www.unu.edu.unupress.unupbooks.80362e.80362E0.htm>.
3. EL-Masry, H. G., 1983, "Utilization of Egyptian Rice Straw in Production of Cellulose and Microbial Protein: Effect of Various Pre-treatments on Yields of Protein and Enzyme Activity", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 34, pp. 725-732.
4. Kirk, R.E. and Othmer, D.F., 1967, *Cellulose Encyclopedia of Chemical Technology*, Wiley, New York, pp. 593-683.
5. Oлару, N., Oлару, L., Stoleriu, A., and Timpu, D., 1998, "Carboxymethylcellulose Synthesis in Organic Media Containing Ethanol and /or Acetone", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 67, pp. 481-486.
6. Barai, B.K., Singhal, R.S., and Kulkarni, P., 1997, "Optimization of a Process for Preparing Carboxymethyl Cellulose from Water Hyacinth (*Eichornia crassipes*)", *Carbohydrate Polymers*, Vol. 32, pp. 229-331.
7. Togrul, H. and Arslan, N., 2003, "Production of Carboxymethyl Cellulose from Sugar Beet Pulp Cellulose and Rheological Behaviour of Carboxymethyl Cellulose", *Carbohydrate Polymers*, Vol. 54, pp. 73-82.
8. ปราณีย์ รัตนวลิตโรจน์, และศรีไฉล ชุณหทนต์, 2541, *การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากชานอ้อย*, สถาบันวิจัยโหลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ, 52 หน้า.
9. Yasar, F., Togrul, H., and Arslan, N., 2007, Flow Properties of Cellulose and Carboxymethyl Cellulose from Orange Peels, *Journal of Food Engineering*, Vol. 81, pp. 187-199.
10. จิตต์ ศรีวรรณวิทย์ และดวงใจ วิบูลย์ธนภัณฑ์, 2521, "การศึกษาวิจัยการผลิตเซลลูโลสคุณภาพสูง", *รายงานการวิจัย กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ*, หน้า 35.
11. TAPPI, 1993, "The Leading Association for the Worldwide Pulp, Paper, Packaging, and Converting Industries, Alpha-, Beta-, and Gamma-Cellulose in Pulp, Method T 203 cm-99", September, 1, from <http://webstore.ansi.org/ansidocstore/product.asp?sku=T+203+cm%2D99>
12. AOAC, 1990, *Official Methods of Analysis, 15th ed.* Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC. 1298 p.
13. ASTM, 1994, "American Society for Testing and Materials, Method ASTM: D1439-94", March, 19, from http://webstore.ansi.org/ansidocstore/dept.asp?dept_id=1515
14. Kalle, U.H.F., 1985, "Cellulose Ethers-Synthesis, Application and Analytical Aspects". In J.F. Kennedy (eds.), *Cellulose and its Derivatives*, Ellis Horwood Ltd., England, pp. 273-279.
15. Togrul, H. and Arslan, N., 2003, "Flow Properties of Sugar Beet Pulp Cellulose and Intrinsic Viscosity-Molecular Weight Relationship", *Carbohydrate Polymers*, Vol. 54, pp. 63-71.