1. บทนำ

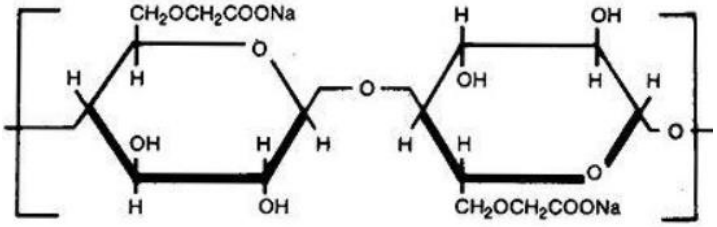
ในปัจจุบันมีได้มีการนำวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรมาแปลงเป็น Carboxymethyl Cellulose (CMC) เพื่อเพิ่มมูลค่าและลดปริมาณขยะ เช่นเปลือกมะละกอ กระดาษสา ลำต้นกล้วย ต้นสาคูปาล์ม และเปลือกทุเรียน อีกทั้ง CMC ยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมอาหาร ยากาว สารหล่อลื่น ยาฆ่าแมลง สิ่งทอ ผงซักฟอก เซรามิก ซีเมนต์และกระดาษ ในประเทศไทยพบว่ากากใยสับปะรดเหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูปสับปะรดมีปริมาณเซลลูโลสอยู่ในปริมาณมาก และปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตสับปะรดกระป๋องและน้ำสับปะรดรายใหญ่ที่สุดของโลก และมีปริมาณผลผลิตและมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในปี 2554 ไทยมีผลผลิตสับปะรด 2.59 ล้านตัน อย่างก็ตามในการบริโภคสับปะรดจะบริโภคเพียงเนื้อผลเท่านั้น ผลผลิตการบริโภคและการส่งออกสับปะรดที่เพิ่มขึ้นนั้นจึงทำให้มีปริมาณวัสดุเศษเหลือเช่นเปลือกและกากใยสับปะรดเพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว

ในงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการทดลองเบื้องต้นโดยเริ่มจากการใช้วัตถุดิบที่เป็นสับปะรดสดทั้งผลซึ่งซื้อจากแหล่งผลิตใน อ.แม่จัน จ.เชียงราย เพื่อควบคุมปัจจัยในแง่คุณภาพของวัตถุดิบ และเตรียมข้อมูลพื้นฐานในทุกส่วนของผลสับปะรด อันได้แก่ เปลือก แกน และเนื้อสับปะรด เพื่อเป็นข้อมูลสู่การนำไปประยุกต์ใช้กับเปลือกสับปะรดที่เป็นเศษเหลือการเกษตร เป็นวัสดุเศษเหลือจากชุมชน กลุ่มผู้ขายสับปะรดตัดแต่ง และโรงงานแปรรูปสับปะรดมาทำการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส (CMC) และทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานสำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพอื่นๆ ต่อไป ซึ่งผลจากงานวิจัยจะเป็นการเพิ่มมูลค่าและใช้ประโยชน์จากกากใยสับปะรดที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร นอกจากนั้นยังเป็นการลดปริมาณขยะและนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

2. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (biodegradable polymer) และพอลิเมอร์ชีวภาพ (biopolymer) ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในการใช้เป็นวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นวัสดุที่ใช้ได้ทางเภสัชกรรม ทางการแพทย์ และการประยุกต์ใช้ทางวิศวกรรมการแพทย์ (Kim et al., 2010)

คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose; CMC) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) คือพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำ (hydrophilic) ที่เป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสนั่นเอง ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดนี้ เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ (modified natural hydrocolloids) เกิดจากการแปรหรือปรับปรุงคุณสมบัติของเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่คาร์บอกซิเมทิลซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุล ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1: โครงสร้างโมเลกุลของ sodium carboxymethylcellulose (นิธิยา และ พิมพ์เพ็ญ, 2552).

คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสเป็นหนึ่งในอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่มีความสำคัญและใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สิ่งทอ กระดาษ อาหาร ยา เครื่องสำอาง และสารทำความสะอาด (Biswal and Singh, 2004) เนื่องจาก CMC ช่วยเพิ่มความหนืด ไม่มีพิษ ไม่ก่อให้เกิดการแพ้ ดูดซับน้ำได้ดี สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติได้ง่าย และมีราคาถูก ด้วยโครงสร้างทางเคมีของ CMC ที่มีมวลโมเลกุลสูงและมีหมู่ไฮดรอกซิลในสายพอลิเมอร์จำนวนมา CMC จึงถูกใช้ในงานวิจัยการผลิตฟิล์มพอลิเมอร์ชีวภาพหลายๆ ชนิด (Ghanbarzadeh et al., 2011; Ma et al., 2008; Wiwatwongwana and Pattana, 2010) คุณสมบัติทั่วไปของ CMC (ทางการค้า) คือละลายน้ำได้ มีสีขาวถึงครีม ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นพิษ และมีลักษณะเป็นผง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำ CMC มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่นอุตสาหกรรมอาหาร ยาเครื่องสำอาง กาว สารหล่อลื่น ยาฆ่าแมลง สิ่งทอ ผงซักผอก เซรามิก ซีเมนต์และกระดาษ (Biswal and Singh, 2004; Ganz, 1969; Keller, 1984) โดยความสามารถในการละลายของซีเอ็มซีขึ้นอยู่กับค่าระดับการแทนที่ (degree of substitution, DS) โดย CMC ทางการค้าจะมีค่า DS อยู่ระหว่าง 0.5-1.4 และค่า DS นี้เองยังขึ้นกับความเข้มข้นของอีเธอริไฟอิง เอเจนต์ อุณหภูมิและระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (Waring and Parsons, 2001) การแทนที่ของหมู่ carboxymethyl จะแทนที่ได้มากที่สุด 3 หมู่ต่อแอนไฮโดรกลูโคส 1 หน่วย ซึ่งก็คือ DS = 3 ซึ่งเป็นค่า DS สูงสุดที่จะเกิดได้ของ CMC

ในการเตรียม CMC หรืออนุพันธ์ของเซลลูโลสโดยทั่วไปจะต้องใช้เยื่อเซลลูโลสที่มีปริมาณแอลฟา-เซลลูโลส (alpha cellulose) หรือที่เรียกกันว่า เซลลูโลสคุณภาพสูงซึ่งเซลลูโลสคุณภาพสูงนี้ อาจเตรียมได้จากวัตถุดิบต่างๆกันและวิธีทางเคมีที่แตกต่างกันด้วยเช่นกัน ในบางกรรมวิธีอาจเตรียมมาจากแป้งผสม เช่น แป้งผสมเบต้ากลูแคนที่เตรียมจากข้าวโอ๊ต (เกล็ดเล็กๆ) ข้าวบาร์เลย์และยีสต์ หรือจะเป็นจากโพลีแซคคาไรด์ในน้ำนมโปรตีน และจากแป้งข้าวเจ้าแบบเบต้ากลูแคนเป็นต้น ซึ่งในต่างประเทศส่วนใหญ่ผลิตเซลลูโลส

ดังกล่าวได้จากไม้ยืนต้นจำพวกสนและยูคาลิปตัส ทั้งนี้ การควบคุมคุณภาพเยื่อเซลลูโลสที่ได้ให้คงที่นับว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งในการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งต้องใช้วัตถุดิบจำนวนมาก เนื่องจากการใช้วัตถุดิบจากพวกพืชไร่ที่มีคุณภาพและปริมาณแตกต่างกันจากหลายๆแหล่ง จะทำให้ได้เยื่อเซลลูโลสที่มีคุณสมบัติไม่คงที่ ปัจจุบันมีงานวิจัยที่นำวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่าโดยแปลงเป็น CMC (ตารางที่ 2.1) ไม่ว่าจะเป็น ต้นกก ซังข้าวโพด กาบมะพร้าว ก้านกล้วย กากปาล์ม ใบคะน้า ใบสัปปะรด หญ้านวลจันทร์ เปลือกมะละกอ กระดาษสา ลำต้นกล้วย ต้นไมยราพยักษ์ ต้นสาคูปาล์ม และเปลือกทุเรียน (กฤษณเวช และวิทวัส, 2554; รานี และสุธาทิพย์, 2554; กฤษณา, 2547; Adinugraha et al., 2005; Almasi et al., 2010; Pushpamalar et al., 2006; Rachtanapun, 2008; Rachtanapun et al., 2012; Rachtanapun and Rattanapanone, 2011) เป็นต้น ซึ่งถือว่าเป็นการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งหรือผลพลอยได้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ การวิจัยเพื่อพัฒนาในการนำวัสดุเหล่านี้ มาใช้ในการผลิตเซลลูโลสคุณภาพสูง จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะสามารถเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหล่านี้ได้

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการเตรียม CMC จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดต่างๆ สภาวะที่ใช้และค่า DS ของ CMC ที่ได้

พืช	สภาวะการเตรียมที่เหมาะสม	DS	Reference
ต้นกล้วย	15% NaOH + 6g MCA 55°C, 3 h.	0.75	Adinugraha et al., 2005
Sago waste	30% NaOH + 6g MCA 45°C, 3 h.	0.77	Pushpamalar et al., 2006
เปลือกมะละกอ	40% NaOH + MCA 55°C, 3 h.	N.D.	Rachtanapun, 2008
ต้นไมยราพยักษ์	50% NaOH + 7.5g MCA 55°C, 3 h.	0.23	Rachtanapun and Rattanapanone, 2011
ฟางข้าว	30% NaOH + 6g MCA 55°C, 3 h.	0.71	Jinaphun et al., 2012
เปลือกทุเรียน	30% NaOH + 6g MCA 55°C, 3 h.	0.87	Rachtanapun et al., 2012
ซังข้าวโพด	25% NaOH + 2.5g MCA 60°C, 3 h.	1.20	Singh and Singh, 2013

สับปะรด (Ananas comosus (L.) Merr.)เป็นพืชอยู่ในวงศ์ Bromeliaceae มีถิ่นกำเนิดในแอฟริกา เป็นผลไม้ที่มีรสชาติดีมีการปลูกกันหลายประเทศทั่วโลก สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย (Smooth Cayenne) มีชื่อเรียกหลายชื่อ เช่น สับปะรดศรีราชา พันธุ์ตาดำ ตาแดง กัลกัตตาหรือสับปะรดปราณบุรี เป็นพันธุ์ที่นิยมปลูกมากในประเทศไทยเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมทำสับปะรดกระป๋องและน้ำสับปะรดเนื่องจากมีขนาดผลใหญ่ รสดีและเนื้อฉ่ำน้ำ แหล่งปลูกสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียในประเทศไทยอยู่ที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ และกระจายอยู่แถบจังหวัดระยอง ชลบุรี เพชรบุรี กาญจนบุรี และราชบุรี (Isuwan, 2011)

สำหรับประเทศไทยนั้นนับเป็นประเทศผู้ส่งออกสับปะรดกระป๋องและน้ำสับปะรดเข้มข้นรายใหญ่ของโลกโดยเฉลี่ยปี ละ 600,000 ตัน (กระทรวงพาณิชย์ 2552) แบ่งออกเป็นสับปะรดกระป๋องร้อยละ 80 และน้ำสับปะรดร้อยละ 20 และมีมูลค่าการส่งออกเพิ่มมากขึ้นทุกปี โดยในปี 2553 ไทยมีส่วนแบ่งการตลาดส่งออกสับปะรดกระป๋องร้อยละ 49.2 คิดเป็นมูลค่า 465 ล้านดอลลาร์สหรัฐ และมีส่วนแบ่งการส่งออกน้ำสับปะรดร้อยละ 29.1 คิดเป็นมูลค่า 204 ล้านดอลลาร์สหรัฐ (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร 2555) ในปี 2554 ไทยมีผลผลิตสับปะรด 2.59 ล้านตัน และคาดว่าจะมีปริมาณผลผลิตและมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นทุกปี โดยผลผลิตทั้งหมดมีการบริโภคในรูปผลสดในประเทศร้อยละ 20-25 ที่เหลือจะแปรรูปและส่งออกทั้งหมด (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร 2555) โดยทั่วไปสับปะรดมีผลผลิตประมาณ 3,870 กิโลกรัมต่อไร่ สับปะรดหนึ่งผลจะหนักประมาณ 1,754 กรัม เมื่อเข้าแปรรูปในโรงงานจะมีเศษเหลือใช้จากการทำสับปะรดกระป๋องประมาณ 1,228 กรัม/ผล (หรือร้อยละ70ของผล) ในพื้นที่ 1 ไร่ จะได้เศษเปลือกสับปะรดเฉลี่ย 2,700 กิโลกรัม หรือถ้าคิดจากภาพรวมทั้งประเทศจะได้ประมาณ 1.62 ล้านตัน ส่วนของใบและจุกสับปะรด ประมาณ 2.50 ล้านตัน (คิดจากพื้นที่ปลูกประมาณ6แสนไร่) เศษเหลือและผลพลอยได้เหล่านี้จะมีมากทุกปีระหว่างเดือน เม.ย.-มิ.ย. และระหว่าง พ.ย.-ม.ค. ในช่วงเวลาอื่นจะมีน้อย (สุมน, 2557) เศษเหลือของสับปะรดจากโรงงานทั่วไปเรียกว่าเปลือกหรือกากสับปะรดประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ มีเปลือกด้านข้าง ส่วนหัว ส่วนล่าง ไส้ (แกนกลาง) และเศษเนื้อ อาจจะมีส่วนใดส่วนหนึ่งมากน้อยแล้วแต่โรงงาน ซึ่งจะทำให้ส่วนประกอบทางเคมีของเศษเหลือของสับปะรดรวมมีค่าแตกต่างกัน (ตารางที่ 2.2) โดยทั่วไปเปลือกสับปะรดรวมสดจากโรงงานทำสับปะรดกระป๋องจะมีปริมาณน้ำอยู่สูง มีวัตถุแห้งประมาณ 10-12 เปอร์เซ็นต์ มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 3.2-3.4 (Perez และคณะ, 1973) มียอดโภชนะย่อยได้ (TDN) 65-74 เปอร์เซ็นต์ (Muller,1974,1975) ปริมาณน้ำตาลที่พบมากส่วนใหญ่เป็นพวกซูโครส(70%) กลูโคส (20%) และฟรุคโตส (10%) (Muller,1978) จากตารางที่ 2.2 และ 2.3 ส่วนต่างๆ ของเศษเหลือสับปะรดจากโรงงานทำสับปะรดกระป๋องมีความชื้นสูง (84.5-88.6%) มีคาร์โบไฮเดรตละลายง่าย(NFE) และส่วนของเนื้อเซลหรือ Cell content (NDS) สูงมากในส่วนที่เป็นเศษเนื้อค่าเฉลี่ย 86.3 และ85.5% ตามลำดับ ค่าเยื่อใย (NDF) จะมากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณของลิกนิน (ADL) ซึ่งพบว่ามีอยู่น้อยในส่วนต่าง ๆ ของสับปะรดโดยเฉพาะในส่วนของแกนและเศษเนื้อ ฉะนั้นส่วนของเยื่อใย (NDF) ในวัสดุเศษเหลือสับปะรดรวมจากโรงงานทำสับปะรดกระป๋องจึงสามารถย่อยได้ดีและเป็นแหล่งพลังงานที่ดีในสัตว์กระเพาะจึงถูกนำไปใช้เป็นอาหารโคเนื้อและโคนม (สุมน, 2557)

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีแยกวิเคราะห์ตามส่วนต่างๆ ของสับปะรด (% โดยวัตถุแห้ง)

ส่วนประกอบ	เปลือกด้านข้าง	ส่วนหัว	ส่วนล่าง	แกน	เศษเนื้อ
ความชื้น	85.8	84.9	85.9	88.6	84.5
โปรตีน	4.4	4.1	5.4	3.2	3.6
ไขมัน	1.5	1.2	1.4	1.3	1.2
เยื่อใย(CF)	8.1	11.6	13.4	8.9	4.7
เถ้า	4.9	5.4	7.6	3.8	4.2
NFE	81.1	77.7	72.2	82.8	86.3
NDS	72.9	61.2	53.1	73.1	85.5
NDF	27.1	38.8	46.9	26.3	14.5
ADF	12.1	17.1	20.4	12.2	5.8
ADL	1.7	1.9	2.8	0.7	0.6
Cellulose	10.4	15.2	17.6	11.5	5.2
Hemicellulose	15.0	21.7	26.5	14.1	8.7

(ที่มา: วรพงษ์และวิภา, 2528)

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของเศษเหลือสับปะรด (% โดยวัตถุแห้ง)

ชนิดพืช	วัตถุแห้ง	โปรตีน	NDF	ADF	ลิกนิน	แหล่งที่มา
เปลือกสับปะรด	14.18	5.70	56.86	29.85	2.67	กรมปศุสัตว์ (2547)
เปลือกสับปะรด	10.83	6.00	57.32	27.54	2.89	จินดาและคณะ (2542)
จุกสับปะรด	19.26	7.50	50.57	25.87	2.67	จินดาและคณะ (2542)

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อเพิ่มมูลค่าเปลือก แกน และเนื้อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและจากอุตสาหกรรมน้ำผลไม้
2) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ CMC และสมบัติของ CMC ที่ได้

4. ระเบียบวิธีวิจัย

4.1 การสกัดเซลลูโลสจากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรด

เนื่องจากเป็นการทดลองเบื้องต้นเพื่อเป็นข้อมูลสู่การนำไปประยุกต์ใช้กับเปลือกสับปะรดที่เป็นเศษเหลือการเกษตรและจากอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ จึงต้องเริ่มจากการใช้วัตถุดิบที่เป็นสับปะรดสดทั้งผลซึ่งซื้อจากแหล่งผลิตใน อ.แม่จัน จ.เชียงราย เพื่อควบคุมปัจจัยในแง่คุณภาพของวัตถุดิบ และเตรียมข้อมูลพื้นฐานในทุกส่วนของผลสับปะรด อันได้แก่ เปลือก แกน และเนื้อสับปะรด

1. ซื้อสับปะรดปัตตาเวียจากแหล่งผลิตแล้วนำมาปอกแยกเปลือก แกน และเนื้อ
2. นำเปลือก แกน และเนื้อสับปะรดที่ได้ไปล้าง สับให้มีขนาดเล็ก แล้วอบแห้งที่ 80±5°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อน เพื่อสะดวกแก่การเก็บรักษาในปริมาณมาก
3. ลดขนาดเปลือกและเนื้อสับปะรดแห้งให้มีขนาดประมาณ 1 มม.
4. เตรียมเยื่อจากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรด 2 วิธี

วิธีที่ 1 นำผงเปลือก แกน และเนื้อสับปะรดมาต้มที่อุณหภูมิ 70°C ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ (30, 40, 50% w/v) เป็นเวลา 1, 12, 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองแล้วล้างเยื่อด้วยน้ำสะอาด จนมีค่า pH อยู่ในช่วง 7-7.5 จึงนำไปอบแห้งที่ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

วิธีที่ 2 นำผงเปลือกและเนื้อสับปะรดมาเติมด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30% แล้วต้มในหม้อแรงดันที่ 120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นกรองแล้วล้างเยื่อด้วยน้ำสะอาด จนมีค่า pH อยู่ในช่วง 7-7.5 จึงนำไปอบแห้งที่ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เปรียบเทียบปริมาณและลักษณะเยื่อที่ได้แล้วเลือกวิธีที่ดีที่สุดในการเตรียมเยื่อสำหรับสังเคราะห์ CMC ในขั้นต่อไป

4.2 การวิเคราะห์ผลดานคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเซลลูโลสจากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรด

วิเคราะห์ปริมาณ holocellulose ตามวิธี acid chlorite ด่วยวิธีของBrowning (1963) ใน method of wood chemistry วิเคราะหปริมาณแอลฟาเซลลูโลสตามวิธีTAPPI T203 om-88 และวัดคาสี (L, a* และb*) ดวยเครื่อง colorimeter (Minolta, Japan)

4.3 การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส

1. นำเยื่อจากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรดมาทำปฏิกิริยากับกรดคลอโรอะซิติก (6 g / 5 g cellulose) ภายใต้สภาวะด่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (20, 30, 40 %) ที่อุณหภูมิ 50, 60, 70°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
2. ล้าง CMC ที่ได้แล้วอบแห้ง ชั่งน้ำหนักหา % ผลผลิตที่ได้

4.4 การทดสอบคุณสมบัติของ CMC

4.4.1 หาค่าระดับการแทนที่ (DS) (Pushpamalar et al., 2006)

ค่าระดับการแทนที่หาได้โดยวิธี potentionmetric titration โดยนำ CMC ที่ได้ มาละลายกับ 60 mL ของ 95%ethanol และคนให้ละลาย หลังจากนั้นเติม 10 mL ของ 2 M nitric acid และคนผสม 2 นาที จากนั้นให้ความร้อนที่ 100°C 5 นาที และปั่นต่ออีก 15 นาที แล้ววางทิ้งไว้ จากนั้นกรองให้ตกตะกอนแล้วล้างด้วย 95% ethanol 80 mL ต่อด้วย 80% ethanol ที่ความร้อน 60°C จนกระทั่ง acid และ salts หายไป. นำตะกอนมาล้างด้วย methanol และนำมาใส่ beaker และให้ความร้อนจนกระทั่ง alcohol หายไป ใส่ beaker ที่มีตะกอนใน oven ที่ 105°C 3 ชม. เพื่ออบแห้ง ชั่ง 0.5 g ของ acitic carboxymethyl cellulose ใส่ใน 250 mL Eelenmeyer flask และเติมน้ำกลั่น 100 mLแล้วคนให้เข้ากัน เติม 0.5 N sodium hydroxide 25 mL และต้มประมาณ 15 นาที แล้วจากนั้นสารละลายไป titrated กับ 0.3 N hydrochloric acid โดยใช้ phenolphthalein เป็นตัว indicator คำนวณค่า %CM และ DS ได้จากสมการต่อไปนี้

$$\%CM = \frac{(V_0 - V_n) * 0.0058 * 100}{M}$$

$$DS = \frac{162 * \%CM}{[5800 - (57 * \%CM)]}$$

โดยที่ V_0 = ปริมาตรในการไทเทรต blank (ml)

V_n = ปริมาตรในการไทเทรตตัวอย่าง (ml)

M = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

4.4.2 ความหนืด

ละลายสารตัวอย่าง CMC 1 g ในน้ำกลั่น 100ml (1.0% w/v) วัดความหนืดของ CMC โดยใช้เครื่อง Brookfield ที่ 25°C

4.4.3 ความสามารถในการละลายน้ำ (Pushpamalar et al., 2006)

ชั่งตัวอย่าง CMC 0.5 g ใส่น้ำกลั่น 50ml ใน 250 ml Erlenmenyer flask และเขย่าส่วนผสมที่ความเร็ว 150 rpm โดยใช้เครื่องเขย่าเป็นเวลา 24ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30°C ตัวอย่างที่ไม่ละลายจะถูกกำจัดออกโดยเครื่อง centrifugation ที่ 3000 xg เป็นเวลา 10 นาที นำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักของวัตถุแห้ง โดยคำนวณจากความแตกต่างระหว่างน้ำหนักเริ่มต้นของวัตถุแห้ง ที่แสดงเป็นร้อยละของน้ำหนักรวม

4.4.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังค์ชันของ CMC โดยใช้ Fourior-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) (Rachtanapun et al., 2012)

เตรียมตัวอย่าง CMC แห้งจากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรดด้วยเทคนิค KBr disc แล้วตรวจการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังค์ชั่นจากค่า %Transmission ในช่วง wavenumber 4000-400 cm^{-1} ด้วยเครื่อง Fourior-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

4.4.5 ศึกษาสัณฐาณวิทยาของ CMC ด้วย Scanning Electron Microscope (SEM)

เตรียมตัวอย่างโดยวางผง CMC ที่ได้จากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรดลงบนเทปกาวที่ติดบนฐานวาง (stub) จากนั้นนำตัวอย่างไปเคลือบด้วยอนุภาคทองก่อนจะศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้ SEM

5. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

5.1 การเตรียมวัตถุดิบสับปะรดผลสด

จากการเตรียมวัตถุดิบสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย 1 ลูก มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 1.000 - 1.400 กรัม (รูปที่ 5.1) และเมื่อนำมาปอกแยกเปลือก แกน และเนื้อ สับและนำไปอบที่ 80±5°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อน พบว่าได้ค่าน้ำหนักดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ส่วนประกอบของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย ก่อนและหลังอบแห้ง

ตัวอย่าง	% น้ำหนักแห้ง	% สัดส่วนต่อผลสด
เปลือก	20.46	14.55
แกน	14.09	10.66
เนื้อ	16.99	32.93

จากการอบแห้งพบว่า เปลือกและเนื้อสับปะรดอบแห้งมีสีเข้มกว่าก่อนอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของเปลือกที่มีสีเข้มมากกว่าส่วนเนื้อ (ดังรูปที่ 5.2)

5.2 การเตรียมเยื่อเซลลูโลสจากตัวอย่างสับปะรดปัตตาเวียแห้ง

จากตัวอย่างสับปะรดปัตตาเวียแห้งในส่วนของแกน เนื้อ และเปลือก เมื่อนำมาสกัดเซลลูโลสด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 30% ที่อุณหภูมิ 70°C พบว่า ได้เซลลูโลสมีลักษณะเยื่อดังรูป 5.3

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะเซลลูโลสที่สกัดได้จากส่วนต่างๆ ของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย จะพบว่าเซลลูโลสจากแกนจะมีสีอ่อนกว่าเซลลูโลสจากเนื้อและเปลือก ตามลำดับ เส้นใยเซลลูโลสจากแกนสับปะรดจะมีลักษณะเกาะตัวแน่นและเป็นระเบียบ ในขณะที่เส้นใยเซลลูโลสจากเนื้อผลจะมีเส้นใยละเอียดเล็กแต่พันกันเป็นกลุ่ม และเซลลูโลสจากเปลือกมีลักษณะแข็งร่วนไม่เกาะกลุ่มกัน

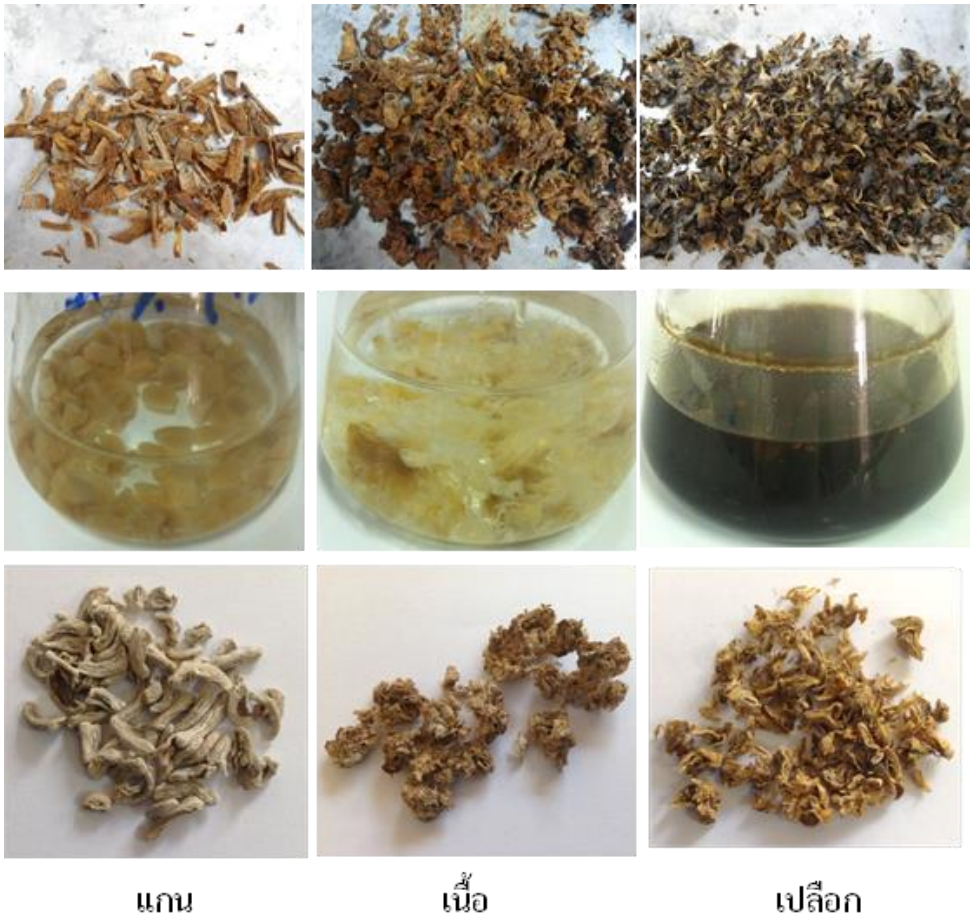
เมื่อสกัดเซลลูโลสด้วย สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 30, 40, 50 % (w/v) ที่อุณหภูมิ 70°C พบว่าลักษณะของเซลลูโลสที่ได้จากการสกัดด้วย NaOH ที่ความเข้มข้นต่างๆ มีลักษณะเยื่อและสีที่ไม่แตกต่างกัน (รูป 5.4) แต่มีปริมาณผลผลิตต่างกัน ดังตารางที่ 5.2 จากผลการทดลอง พบว่า ปริมาณผลผลิตเซลลูโลสจากแกนมีปริมาณผลผลิตเซลลูโลสมากกว่าเปลือกและเนื้อสับปะรดจากการสกัดด้วย NaOH ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่ใช้ พบว่า การสกัดด้วย 30 % (w/v) NaOH ให้ปริมาณผลผลิตมากกว่าการสกัดด้วย 40 และ 50 % (w/v) NaOH โดยให้ผลที่มีแนวโน้มเหมือนกันทั้งการสกัดจากแกน เนื้อ และเปลือกสับปะรด ทั้งนี้เป็นเพราะความเข้มข้น NaOH ที่สูงเกินไปจะทำลายสายเซลลูโลสบางส่วนและทำให้สั้นลง (Ismail et al., 2010;

Rachtanapun and Rattanapanone, 2011) ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของ NaOH ที่ 30 % (w/v) ในการเปรียบเทียบกับการสกัดเซลลูโลสที่อุณหภูมิ 120°C ในหม้อแรงดัน (autoclave) ซึ่งได้ปริมาณผลผลิตดังตารางที่ 5.2

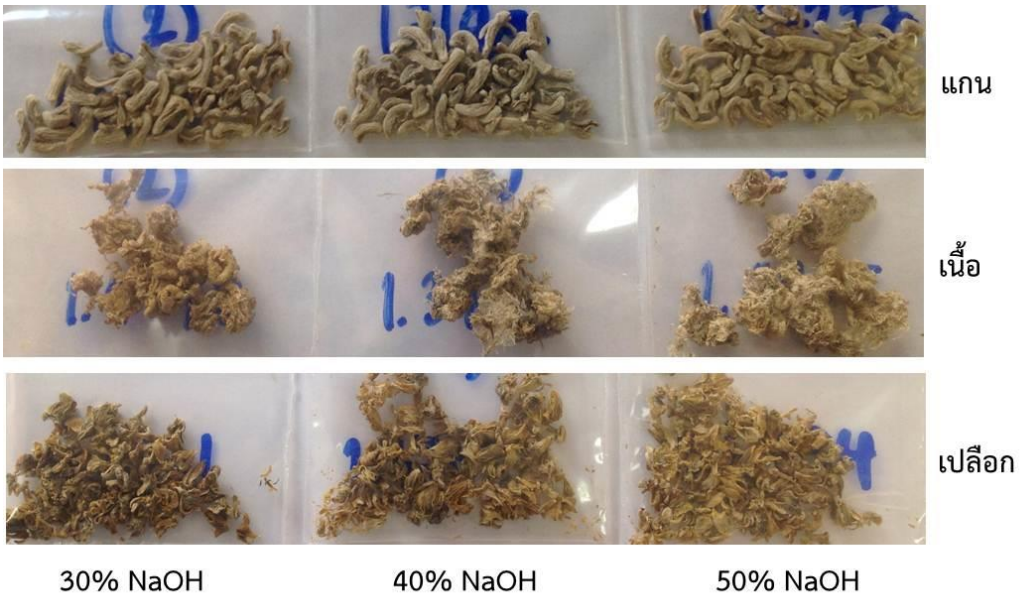
รูปที่ 5.1 สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย

แกน **เนื้อ** **เปลือก**

รูปที่ 5.2 ส่วนประกอบของสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียในส่วนแกน เนื้อ และเปลือก ทั้งก่อนอบและหลังอบ



รูปที่ 5.3 ลักษณะการสกัดเซลลูโลสจาก แกน เนื้อ และเปลือกสับปะรดแห้งด้วย NaOH ความเข้มข้น 30 (w/v) ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 5.4 ลักษณะเส้นใยเซลลูโลสจากแกน เนื้อ และเปลือกสับปะรดปัตตาเวียแห้ง ที่สกัดด้วย NaOH ความเข้มข้นต่างๆ (30, 40, 50 % w/v) ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 5.2 ปริมาณผลผลิต (เปอร์เซ็นต์ผลผลิต) ของเซลลูโลสที่สกัดด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 30, 40, 50 % (w/v) ที่อุณหภูมิ 70°C (24 ชั่วโมง) และที่สกัดด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 30 % (w/v) ที่อุณหภูมิ 120°C (1 ชั่วโมง)

สับปะรด	% ผลผลิต cellulose			
	การสกัดที่ 70°C			การสกัดที่ 120°C
	30% NaOH	40% NaOH	50% NaOH	30% NaOH
เปลือก	8.35 ± 0.28	8.02 ± 0.08	7.34 ± 0.45	13.23 ± 0.42
แกน	8.99 ± 0.35	8.57 ± 0.08	8.40 ± 0.29	8.56 ± 0.24
เนื้อ	5.99 ± 0.36	5.76 ± 0.06	5.88 ± 0.34	6.87 ± 0.06

จากตารางที่ 5.2 พบว่า การสกัดด้วย NaOH ความเข้มข้น 30% w/v ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากเปลือกจะให้ปริมาณผลผลิตเซลลูโลสที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับการสกัดที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแต่ไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตเซลลูโลสจากแกน ทั้งนี้เป็นเพราะการใช้อุณหภูมิสูงในหม้อแรงดันจะเป็นการระเบิดด้วยไอน้ำซึ่งเปนอีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำลายโครงสรางของวัสดุทางธรรมชาติได (Angle et al., 2001) ซึ่งวิธีนี้จะเปนการใชไอน้ำที่ความดันสูงจึงทำใหโครงสรางของผนังเซลลเปลี่ยนแปลงทำใหวัตถุเกิดการแตกหัก โดยบางสวนจะถูกไฮโดรไลซเชนเฮมิเซลลูโลสซึ่งสามารถล่างออกไดด้วยน้ำ และยังคงเหลือสวนที่ไมละลายน้ำที่ประกอบดวย เซลลูโลสและลิกนิน (Ref) จึงทำให้ได้ปริมาณเซลลูโลสมากขึ้น หลังจากการสกัดด้วยอุณหภูมิสูงกากแกนและเปลือกที่ได้จะมีสีคล้ำมากแต่เมื่อล้างด้วยน้ำหลายๆ รอบ ก็จะให้เยื่อที่มีสีไม่ต่างจากการสกัดด้วยเบสที่ 70°C (รูปที่ 5.5) ดังนั้นจึงเลือกใช้การสกัดที่ 120 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งได้ปริมาณเซลลูโลสมากกว่าและใช้ระยะเวลาในการสกัดสั้นกว่าสำหรับการทดลองต่อไป

เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณ holocellulose และ alpha-cellulose (ตารางที่ 5.3) ของเซลลูโลสที่ได้จากการสกัดที่ 120 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะพบว่า เปลือกและแกนจะมีปริมาณ holocellulose และ alpha-cellulose มากกว่าส่วนเนื้อ ซึ่งสัมพันธ์กับ % yield ของเซลลูโลสที่สกัดได้จากเปลือกซึ่งมีมากที่สุด รองลงมาได้แก่ส่วนแกน และส่วนเนื้อ จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ส่วนของเปลือกและแกนน่าจะเป็นแหล่งของเซลลูโลสที่ดีสำหรับการนำมาใช้ประโยชน์ต่อไป ซึ่งก็สอดคล้องกับปริมาณเศษเหลือสับปะรดจากชุมชน กลุ่มผู้ค้าสับปะรดตัดแต่ง และเศษเหลือจากโรงงานสับปะรด ซึ่งพบว่าเป็นส่วนของเปลือกและแกนเป็นหลัก

รูปที่ 5.5 ลักษณะเส้นใยเซลลูโลสจากแกน และเปลือกสับปะรดปัตตาเวียแห้ง ที่สกัดด้วย NaOH ความเข้มข้น 30% w/v ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ตารางที่ 5.3 สรุปผลการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส ผลผลิต และคุณสมบัติของ CMC ที่ได้จากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย (ที่สภาวะเหมาะสม 40% NaOH, อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยา 50°C)

ปริมาณในตัวอย่างสับปะรด	เปลือก	แกน	เนื้อ	CMCทางการค้า
% yield cellulose	13.23 ± 0.42	8.56 ± 0.24	6.87 ± 0.06	
% holocellulose	49.06 ± 3.70	36.37 ± 2.10	10.46 ± 2.41	
% alpha-cellulose	59.49 ± 1.08	59.29 ± 2.41	9.72 ± 1.06	
% yield CMC (w/w dried sample)	133.60 ± 5.01	135.93 ± 2.60	136.53 ± 3.28	
คุณสมบัติ CMC				
- DS	0.699 ± 0.008	0.698 ± 0.010	0.682 ± 0.008	1.106 ± 0.003
- viscosity (cP)	66.00 ± 0.20	635.87 ± 4.74	383.40 ± 2.10	702.9
- water solubility (%)	46.21 ± 4.70	58.38 ± 2.68	54.46 ± 4.12	100
- สี L	73.60	80.9	76.7	93.05
a*	5.00	4.6	3.70	0.18
b*	15.70	14.1	14.50	7.18

5.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่มีต่อค่า DS ของ CMC จากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรดปัตตาเวีย

เนื่องจากค่าระดับการแทนที่ (degree of substitution, DS) เป็นหนึ่งในคุณสมบัติของ CMC ที่จะสัมพันธ์กับความสามารถในการละลายน้ำและการนำ CMC ไปประยุกต์ใช้ โดย CMC ทางการค้าจะมีค่า DS อยู่ระหว่าง 0.5-1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อค่า DS ได้แก่ ความเข้มข้นของ NaOH (etherifying agent) อุณหภูมิและระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (Waring and Parsons, 2001) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของ NaOH และ ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มีต่อค่า DS ของ CMC ที่ได้จากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดที่จะให้ค่า DS สูงเทียบเท่าCMC ทางการค้า

การสังเคราะห์ CMC จากเซลลูโลสของเปลือก เนื้อและแกนสับปะรด ใช้สารละลาย NaOH เป็น etherifying agent (สมการที่ 1) ซึ่งจะช่วยให้เส้นใยเซลลูโลสพองตัวก่อนจะให้หมู่คาร์บอกซีเมธิลเข้าทำปฏิกิริยาแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลจนได้เป็น CMC (Rachtanapun et al., 2012) พบว่า ที่ความเข้มข้นของ NaOH 20, 30, 40 และ 50% w/v อุณหภูมิการสังเคราะห์ 50°C ได้ลักษณะของ CMC เป็นผงสีน้ำตาลอ่อน ดังรูปที่ 5.6 โดยความเข้มข้นของ NaOH ไม่มีผลต่อสีของ CMC

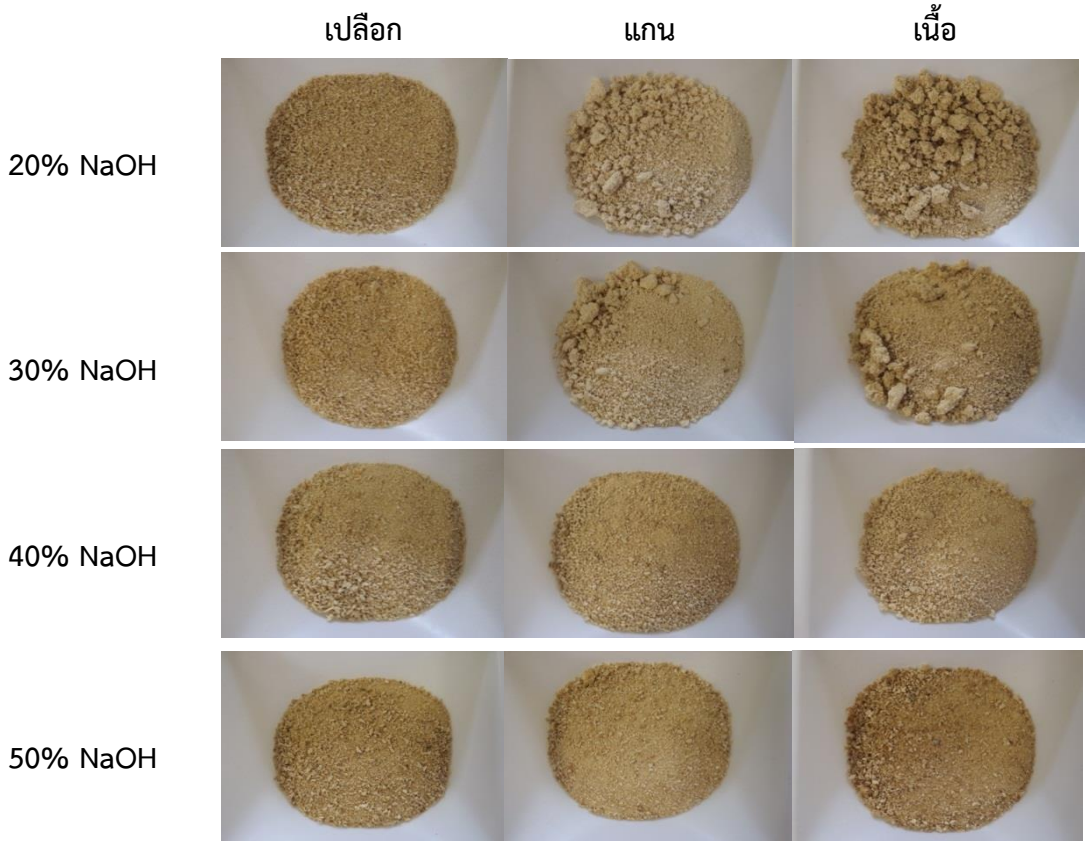
เมื่อวิเคราะห์ค่าระดับการแทนที่หรือ DS ซึ่งเป็นค่าที่ส่งผลต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพอื่นๆ ของ CMC (รูปที่ 5.7) พบว่า ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่เพิ่มขึ้นจาก 20% ถึง 40% ทำให้ DS ของ CMC มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้น 40% NaOH ให้ค่า DS สูงสุดของ CMC จากเปลือก แกน และเนื้อ

สับปะรด 0.7, 0.7 และ 0.68 ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH ที่ 50% พบว่าค่า DS ของ CMC ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เป็นเพราะที่ความเข้มข้น NaOH สูงจะทำให้สายโซ่ของเซลลูโลสบางส่วนถูกทำลาย (Ismail et al., 2010) นอกจากนี้ ที่ความเข้มข้น NaOH สูงๆ นอกจากปฏิกิริยา carboxymethylation (สมการที่ 2) แล้ว จะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงระหว่าง NaOH กับ monochloroacetic acid เกิดเป็น sodium glycolate (ดังสมการที่ 3) เพิ่มมากขึ้น ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลของความเข้มข้นของ NaOH ที่มีต่อ DS ของ CMC จาก sago waste ไมยราพยักษ์ และซังข้าวโพด (Pushpamalar et al., 2006; Rachtanapun and Rattanapanone, 2011; Singh and Singh, 2013)

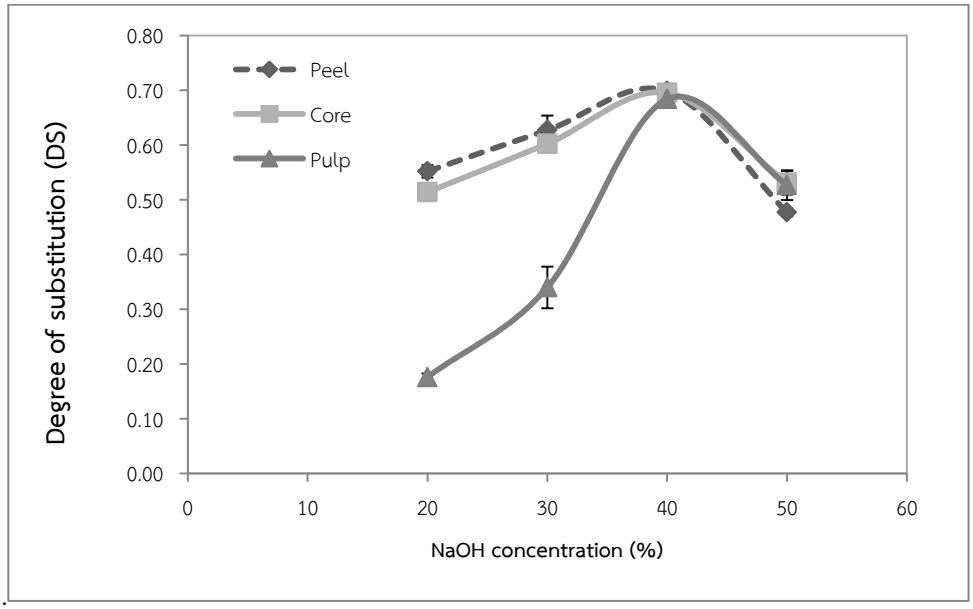
$$\text{Cellulose-OH} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{Cellulose-ONa} + H_2O \qquad \text{-----(1)}$$

$$\text{Cellulose-ONa} + ClCH_2COONa \longrightarrow \underset{\text{CMC}}{\text{Cellulose-O-}CH_2COONa} + NaCl \qquad \text{-----(2)}$$

$$NaOH + ClCH_2COONa \longrightarrow \underset{\text{sodium glycolate}}{HO\text{-}CH_2COONa} + NaCl \qquad \text{-----(3)}$$



รูปที่ 5.6 Carboxymethyl cellulose (CMC) จากส่วนเปลือก แกน และเนื้อ สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียจากการใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH 20-50% (w/v) ในการสังเคราะห์



รูปที่ 5.7 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ในการสังเคราะห์ที่มีต่อค่า degree of substitution (DS) ของ CMC จากเปลือก (peel) แกน (core) และเนื้อ (pulp) สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย

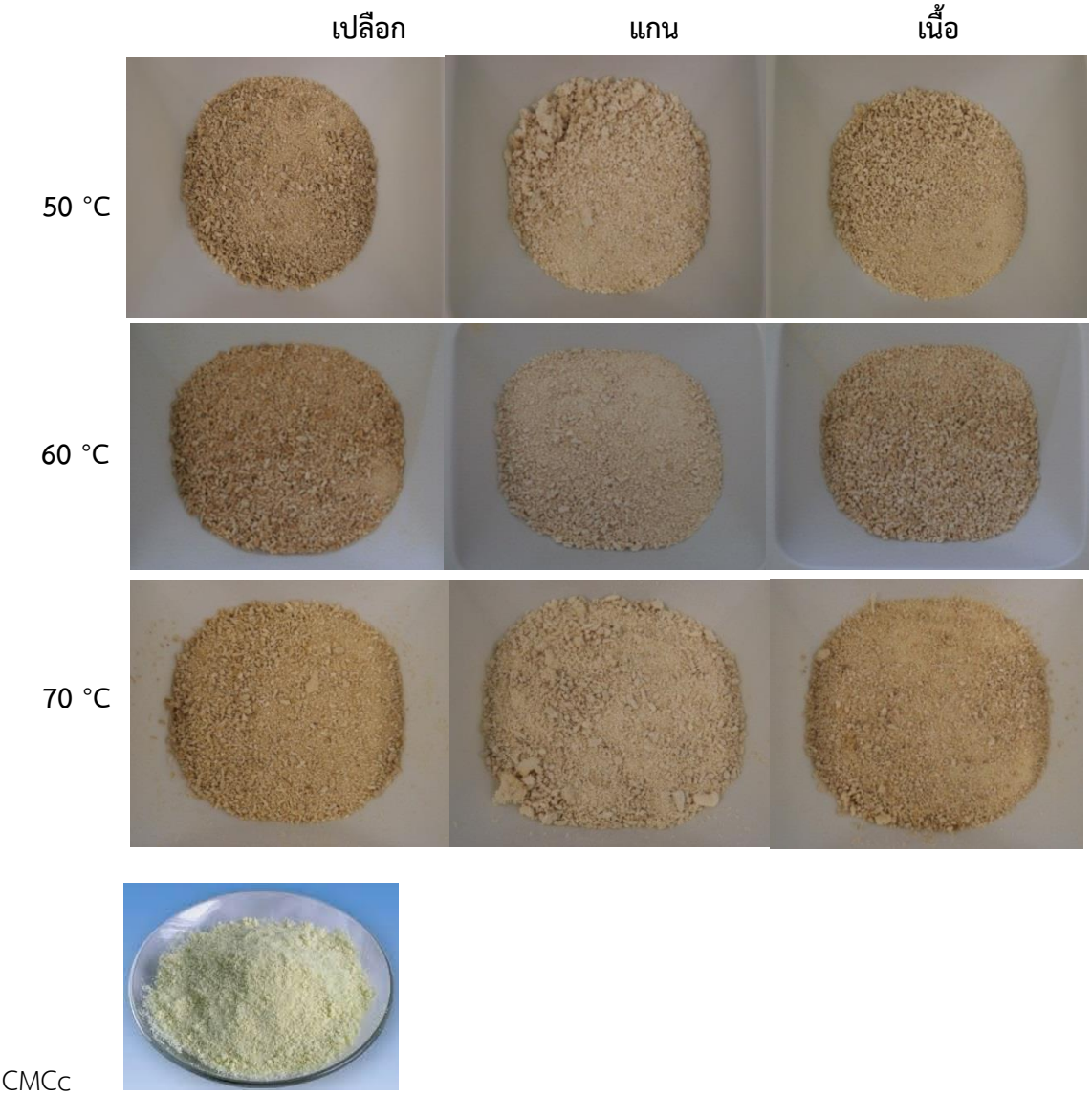
5.4 ผลของอุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่มีต่อคุณสมบัติของ CMC จากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรดปัตตาเวีย

จากการทดลอง 5.3 ผู้วิจัยเลือกใช้ NaOH ความเข้มข้น 40% ในการสังเคราะห์ CMC เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการสังเคราะห์ (50, 60, 70°C) ที่มีต่อคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ค่าผลผลิต (% yield) ค่า DS ความหนืด (viscosity) ความสามารถในการละลายน้ำ (% solubility) และ FTIR spectra ของ CMC จากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรด รูปที่ 5.8 แสดงลักษณะของ CMC ที่ได้ ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลอ่อนโดย CMC จากเนื้อจะมีสีเข้มที่สุด และ CMC จากแกนจะมีสีอ่อนกว่าจากเปลือกและเนื้อ

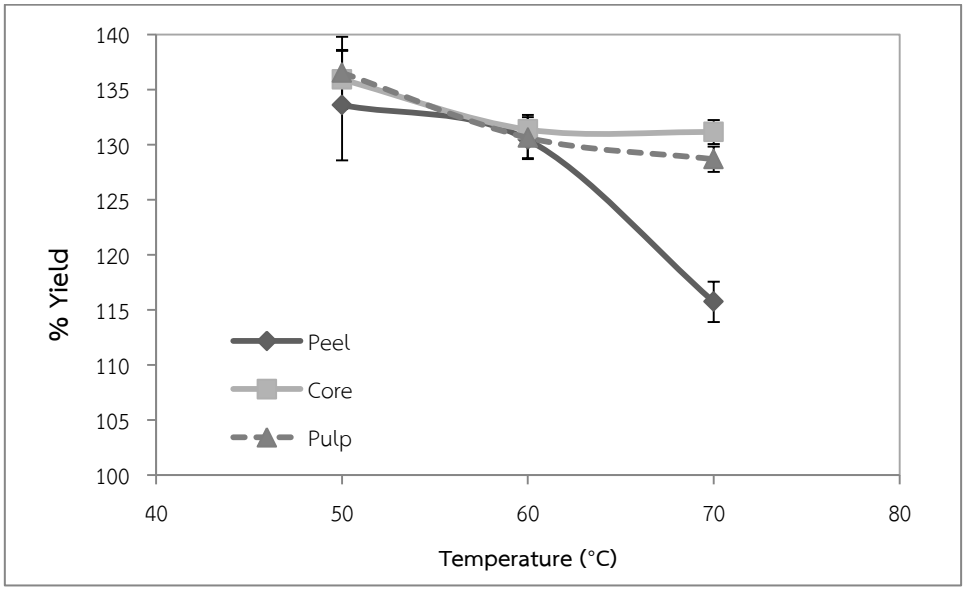
จากรูปที่ 5.9 พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการสังเคราะห์เพิ่มขึ้นจะทำให้ % yield ของ CMC ลดลง เพราะอุณหภูมิสูงจะเร่งให้เกิดการสลายตัวของสายเซลลูโลสมากขึ้น (Ismail et al., 2010) โดยเฉพาะกับเซลลูโลสจากเปลือกสับปะรดซึ่งทนต่ออุณหภูมิสูงได้น้อยกว่าเซลลูโลสจากแกน (อังคณาและคณะ, 2557) ซึ่ง % yield ที่ได้สัมพันธ์กับค่า DS ที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิการสังเคราะห์เพิ่มขึ้น (รูปที่ 5.10) ซึ่งเป็นผลจากการสลายตัวของสายเซลลูโลสที่อุณหภูมิสูงเกินไปทำให้หมู่ที่สามารถถูกแทนที่ได้ด้วยหมู่คาร์บอกซีเมธิลบางส่วนถูกทำลายไปด้วยจึงส่งผลให้ค่า ฏฆ ที่อุณห๓มิการสังเคราะห์สูงๆ มีค่า DS ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มการลดลงของ DS เช่นเดียวกับผลใน CMC จากซังข้าวโพด (Singh and Singh, 2013) และ sago waste (Pushpamalar et al., 2006) % yield สูงสุดของการสังเคราะห์ CMC ได้จากการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ 50°C โดยได้ % yield ของ CMC จากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรด เป็น 134, 137, 136 % w/w cellulose ตามลำดับ

อุณหภูมิการสังเคราะห์ที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลต่อความหนืดของสารละลาย 1% CMC จากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรด (รูปที่ 5.11) โดยพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิการสังเคราะห์สูงขึ้น จาก 50°C เป็น 60° ความหนืด

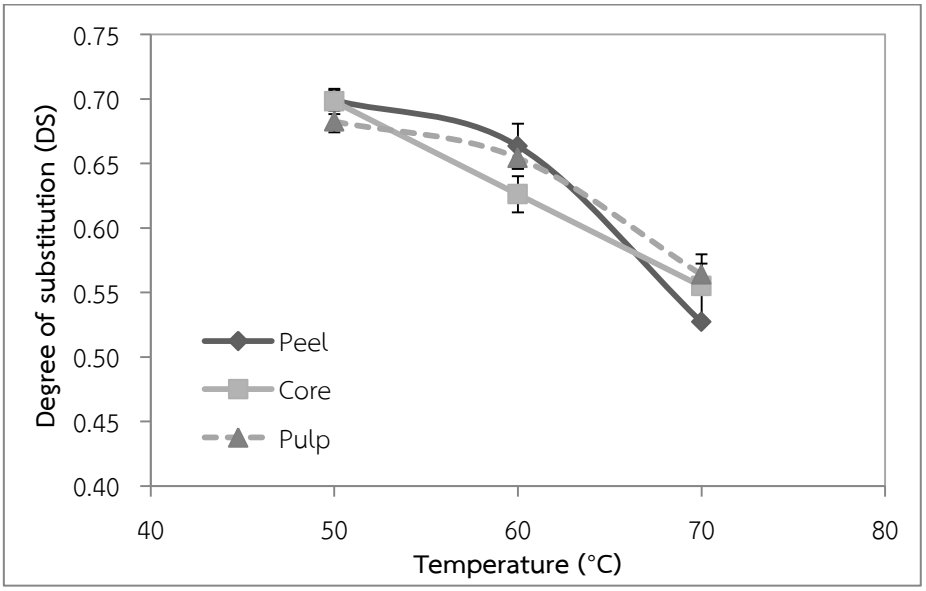
ของ CMC จะเพิ่มขึ้นมาก โดยเฉพาะ CMC จากเนื้อและแกนสับปะรด ซึ่งอาจเป็นเพราะที่อุณหภูมิสังเคราะห์ 60°C ทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีการคลายตัวและเซลลูโลสบางส่วนอาจถูกทำลายทำให้หมู่คาร์บอกซีเมธิลสัมผัสกับน้ำได้ดีมากขึ้นและพองตัวส่งผลให้ความหนืดเพิ่มขึ้น (Ismail et al., 2010) และมีค่ามากกว่า CMC ทางการค้า และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นความหนืดของ CMC จะลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากโครงสร้างสายเซลลูโลสที่ถูกทำลายที่อุณหภูมิสูง ในกรณีของ CMC ทางการค้า ตัวอย่างที่นำมาใช้มีค่า DS ประมาณ 1 ทำให้สามารถละลายน้ำได้ดีแต่อาจจะพองตัวได้ไม่มากนักจึงให้ค่าความหนืดประมาณ 700 cPs ค่าความหนืดของ CMC จากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรดที่ได้จะเป็นข้อมูลสำหรับการเลือกนำ CMC ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ต่อไป



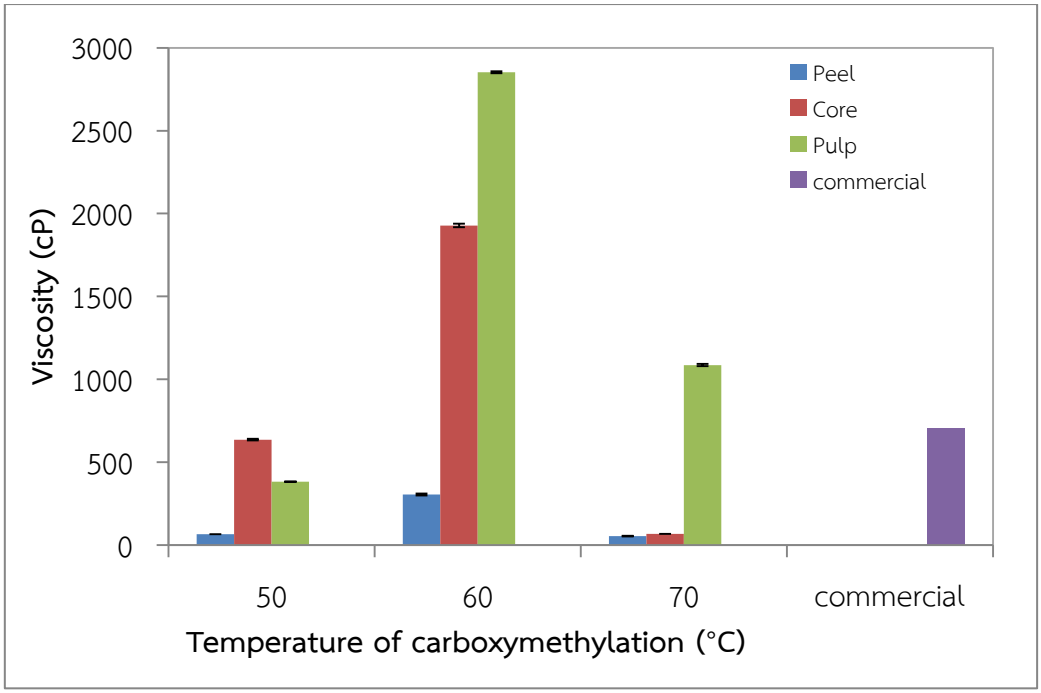
รูปที่ 5.8 Carboxymethyl cellulose (CMC) จากส่วนเปลือก แกน และเนื้อ สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียจากการใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ 50, 60, 70°C และ CMC ทางการค้า (CMCc)



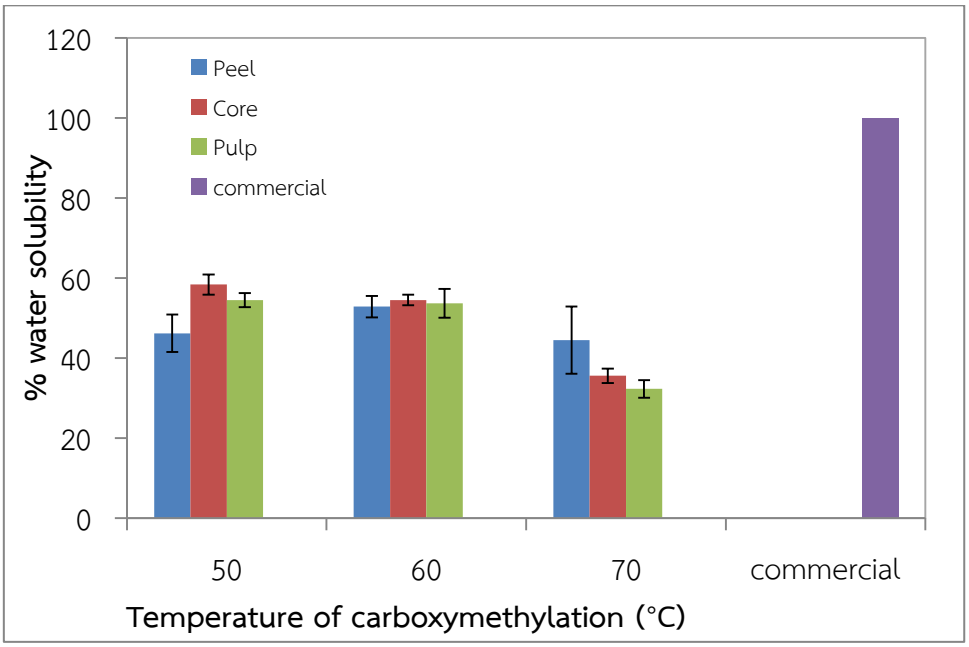
รูปที่ 5.9 ผลของอุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่มีต่อค่า %yield ของ CMC จากเปลือก (peel) แกน (core) และเนื้อ (pulp) สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย



รูปที่ 5.10 ผลของอุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่มีต่อค่า degree of substitution (DS) ของ CMC จากเปลือก (peel) แกน (core) และเนื้อ (pulp) สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย



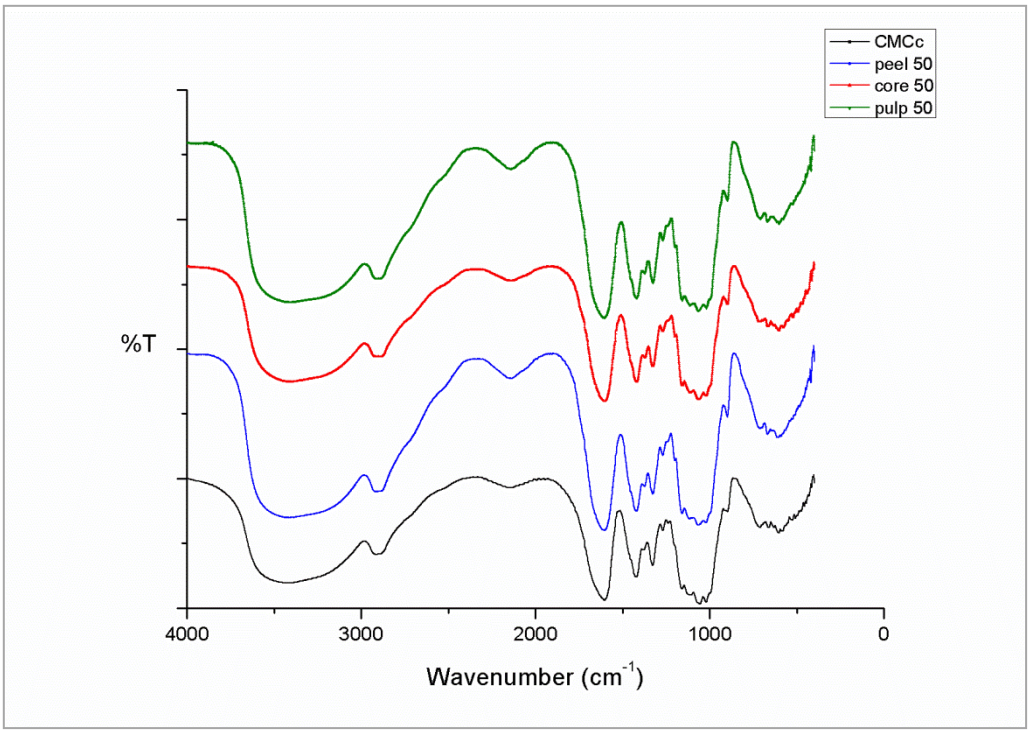
รูปที่ 5.11 ผลของอุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่มีต่อค่าความหนืด (viscosity) ของ CMC จากเปลือก (peel) แกน (core) และเนื้อ (pulp) สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย เปรียบเทียบกับ CMC ทางการค้า



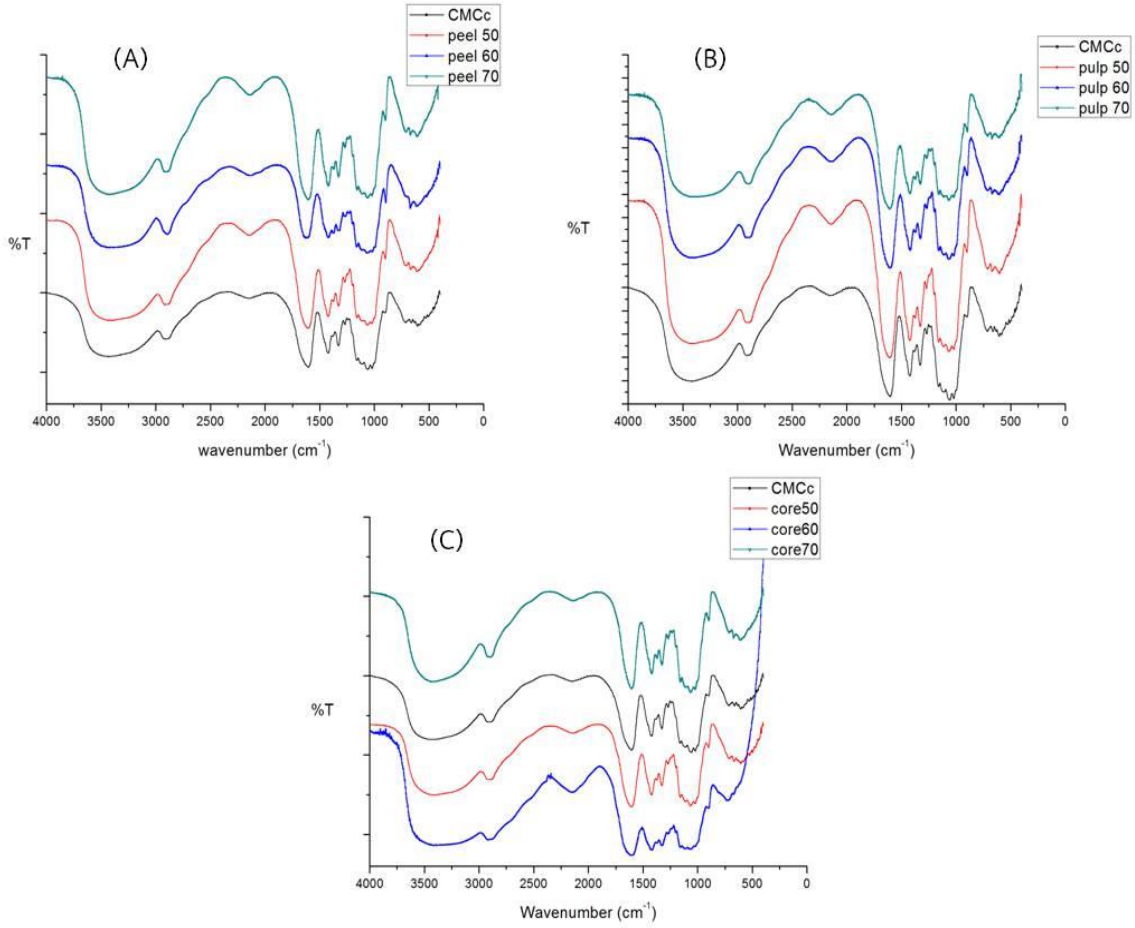
รูปที่ 5.12 ผลของอุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่มีต่อความสามารถในการละลายน้ำ (% water solubility) ของ CMC จากเปลือก (peel) แกน (core) และเนื้อ (pulp) สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย เปรียบเทียบกับ CMC ทางการค้า

สำหรับผลของอุณหภูมิการสังเคราะห์ต่อความสามารถในการละลายน้ำของ CMC ในรูปที่ 5.12 พบว่า ที่อุณหภูมิการสังเคราะห์ 50-60°C % solubility ของ CMC จากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรดมีค่าไม่ต่างกันนัก อยู่ในช่วง 48-58% w/w แต่เมื่อใช้อุณหภูมิการสังเคราะห์สูงขึ้นอาจเกิดการสลายโครงสร้างสายเซลลูโลสบางส่วน ส่งผลให้ค่า DS ที่ได้ลดลง ซึ่งสัมพันธ์กับค่า % solubility ของ CMC ที่ลดลงด้วยเช่นกัน สำหรับ CMC ทางการค้าซึ่งสามารถละลายน้ำได้ทั้งหมดเนื่องจากในสังเคราะห์ CMC จากเซลลูโลสทางการค้าที่มีขนาดเล็กมากและรูปร่างโมเลกุลสม่ำเสมอทำให้เกิดปฏิกิริยา carboxymethylation ได้อย่างสมบูรณ์และสม่ำเสมอ แต่ CMC ที่ได้ในการทดลองเตรียมมาจากเซลลูโลสซึ่งอาจจะมีขนาดไม่เล็กมากและขนาดไม่สม่ำเสมอกันทั้งหมดจึงอาจเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์จึงเหลืออนุภาคบางส่วนที่ไม่ละลายน้ำ

จากรูปที่ 5.13 แสดง FTIR spectra ของ CMC จากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรด เทียบกับ CMC ทางการค้า ซึ่ง FTIR spectra จะแสดงหมู่ฟังค์ชั่นที่สำคัญของ CMC จะเห็นได้ว่า spectra ของ CMC ที่ได้จากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรด ปรากฏพีคของหมู่คาร์บอนิล (C=O) ที่ช่วงประมาณ 1600-1700 cm^{-1} พีคของหมู่ CH2 ของ CMC ที่ช่วง wavenumber 1400-1450 cm^{-1} และพีคของ ether (-O-) ที่ 1200-1000 cm^{-1} (Singh and Singh, 2013) เหมือน spectra CMC ทางการค้าทุกประการ ซึ่งเป็นเสมือน fingerprint ช่วยยืนยันว่าเกิด carboxymethylation เป็น CMC ขึ้นจริง (Bono et al., 2009) จากรูปที่ 5.14 พบว่าอุณหภูมิการสังเคราะห์ที่ต่างกันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง FTIR spectra ของ CMC จากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรด



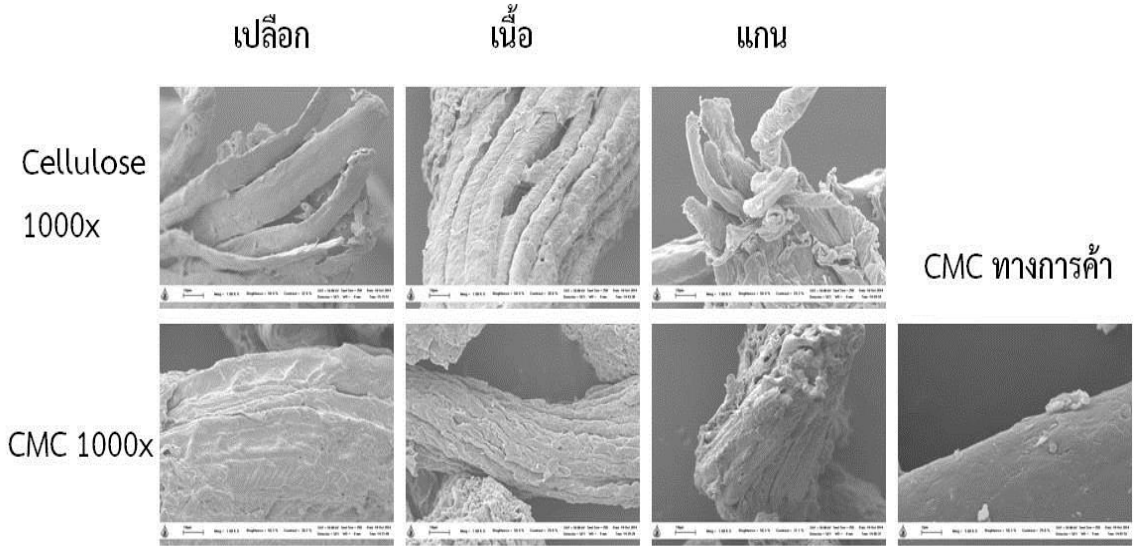
รูปที่ 5.13 ลักษณะ FTIR spectra ของ CMC จากเปลือก (peel) แกน (core) และเนื้อ (pulp) สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย เปรียบเทียบกับ CMC ทางการค้า (CMCc)



รูปที่ 5.14 ผลของอุณหภูมิในการสังเคราะห์ต่อลักษณะ FTIR spectra ของ CMC จากเปลือก (peel) แกน (core) และเนื้อ (pulp) สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย เปรียบเทียบกับ CMC ทางการค้า (CMCc)

5.5 ลักษณะสัณฐานวิทยา ของ CMC จากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรด

ลักษณะสัณฐานวิทยาของ เซลลูโลสและCMC จากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรด และ CMC ทางการค้าแสดงในรูปที่ 5.15 พบว่า ลักษณะของเซลลูโลสจากเปลือก เนื้อและแกนจะมีลักษณะเป็นเส้นใยที่เกาะกันเป็นกลุ่มและเมื่อสังเคราะห์เป็น CMC แล้ว ผิวของเส้นใยจะยิ่งขรุขระเป็นร่องเล็กๆ และชิดกันเป็นกลุ่มก้อนแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการแทนที่ไม่สามารถเข้าไปถึงแกนกลางของกลุ่มก้อนได้และไม่สม่ำเสมอ ในขณะที่ CMC ทางการค้าจะมีผิวที่เรียบและเป็นแท่งตรงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้อย่างทั่วถึง สม่ำเสมอ



รูปที่ 5.15 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเซลลูโลสและ CMC จากเปลือก (peel) เนื้อ (pulp) และแกน (core) สับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย เปรียบเทียบกับ CMC ทางการค้า (CMCc) **ที่กำลังขยาย 1000 เท่า (1000x)**

ตารางที่ 5.4 การประเมินราคาของ CMC

CMC	ราคา (บาท/ กก)
CMC food grade	350-400
CMC (Akso Nobel)	500
CMC จากสับปะรด - เปลือก -เนื้อ -แกน	 3000 3500 3500

หมายเหตุ ประเมินราคาโดยคิดจากราคาสารเคมีที่ใช้ซึ่งเป็น analytical grade

6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวีย คือ การต้มในหม้อความดันที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งจะให้เซลลูโลสจากเปลือก แกน และเนื้อ เท่ากับ 13, 8 และ 7 % w/w หากมีการฟอกสีในขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ CMC ที่มีสีขาวเหมือนทางการค้า

2. การสังเคราะห์ CMC จากเซลลูโลสจากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียด้วยวิธีในการทดลองนี้มีสภาวะที่เหมาะสมคือ การใช้สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 40% w/v เติมทีละหยด และใช้อัตราส่วน cellulose : monochloroacetic เท่ากับ 1:1.2 ใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ 50°C ซึ่งให้ % yield สูงสุดของการสังเคราะห์ CMC จากเปลือก แกน และเนื้อสับปะรด เท่ากับ 134, 136 และ 137 % w/w cellulose ตามลำดับ และ CMC ที่ได้มีค่า DS อยู่ในช่วง 0.68-0.70 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับทางการค้า (DS อยู่ในช่วง 0.5-1)

3. การฟอกสี (bleaching) จะช่วยเพิ่มความบริสุทธิ์ของเซลลูโลสซึ่งอาจจะช่วยพัฒนาคุณภาพของ CMC ที่สังเคราะห์ได้ทั้งในแง่ของสีและจะได้ CMC ที่มีค่า DS ใกล้เคียงกับ CMC ทางการค้ามากขึ้น ซึ่งจะต้องพัฒนาต่อไปเพื่อหาสภาวะและวิธีในการฟอกสีที่เหมาะสม

4. จากผลการทดลองที่ได้ทำให้เห็นว่า เราสามารถนำสภาวะที่ใช้ วิธีการ และแนวทางการแก้ปัญหาจากการศึกษาวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้กับการแยกเซลลูโลสจากวัสดุเศษเหลือทางการเกษตรชนิดอื่นๆ และพัฒนาสู่การสังเคราะห์อนุพันธุ์อื่นๆ ของเซลลูโลสที่ได้จากเศษเหลือทางการเกษตรต่อไป ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของเศษเหลือที่เป็นเปลือกและกากใยสับปะรดจากชุมชนและอุตสาหกรรมได้ จากเดิมที่ต้องกำจัดเศษเหลือดังกล่าวโดยการทิ้งให้เป็นปุ๋ยและกากจากโรงงานจะถูกจำหน่ายเพื่อเป็นอาหารสัตว์ในราคาประมาณ 3000 – 5000 บาท ต่อ 1 ตัน หากสามารถพัฒนานำมาผลิต CMC จะสามารถจำหน่ายได้ในราคา 300-500 บาท ต่อกิโลกรัม ซึ่งช่วยเพิ่มมูลค่าของเศษเหลือสับปะรดให้มากขึ้น และยังสามารถประยุกต์ใช้กับเศษเหลือทางการเกษตรชนิดอื่นๆ ได้ด้วย

5. เพื่อการผลิตในเชิงพาณิชย์ควรพัฒนาการเตรียมเซลลูโลสด้วยวิธีทางชีวภาพ และเพิ่มประสิทธิภาพการหมุนเวียนใช้ทรัพยากร (สารเคมี น้ำ พลังงาน) และนำกลับมาใช้ใหม่อย่างเต็มประสิทธิภาพ รวมไปถึงการเลือกใช้สารเคมีที่เป็น Food grade จะช่วยลดต้นทุนในการผลิตลงได้มากกว่า 50%

ปัญหาและอุปสรรค

ปัญหาเรื่องการทำแห้งตัวอย่างในปริมาณมาก ในช่วงฤดูฝนต้องใช้ตู้อบลมร้อนเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราของวัตถุดิบและเซลลูโลสที่สกัดไว้ มีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนตู้ต่อผู้ใช้ ข้อจำกัดของการขนส่งตัวอย่างกากเหลือสับปะรดจากโรงงานแปรรูปสับปะรดซึ่งเป็นกากเปียกและมักจะเกิดเชื้อราระหว่างการขนส่งทำให้ยากต่อการนำมาประยุกต์ใช้ในการทดลอง จึงต้องเริ่มทดลองจากวัตถุดิบสดที่มีขายในท้องถิ่น

บรรณานุกรม

กระทรวงพาณิชย์. 2552. "สับปะรดและผลิตภัณฑ์สับปะรด" (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: http://www.dft.go.th/Portals/0/ContentManagement/Document_Mod684/สับปะรดและผลิตภัณฑ์สับปะรด 54ไตรมาส4@25550524-0950052675.pdf [สืบค้น 14 มีนาคม 2556]

สำนักวิจัยเศรษฐิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2555. "สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2555" (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/bapp/download/gdp/AG_PRODUCT.pdf [สืบค้น 15 สิงหาคม 2555]

กรมปศุสัตว์.2547. ตารางคุณค่าทางโภชนะของวัตถุดิบอาหารสัตว์กรมปศุสัตว์กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ รหัสISBN 974-682-167-9

กฤษณา ศิรเลิศมุกุล. 2547. “เซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.material.chula.ac.th/RADIO47/September/radio9-4.htm (สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2556).

กฤษณเวช ทรงธนศักดิ์ และ วิทวัส จิรัฐพงศ์. 2554. “การศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ”. การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 21. วันที่ 10 – 11 พฤศจิกายน 2554, สงขลา.

จินดา สนิทวงศ์ฯ และปรัชญา ปรัชญลักษณ์. 2542.การใช้จุกสับปะรดเสริมอาหารหยาบสำหรับโครีดนมในฟาร์มเกษตรรายย่อย.รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2542. กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ รหัส 014-06-42 หน้า 133–142

นิธิยา รัตนาปนนท์ และ พิมพ์เพ็ญพรเฉลิมพงศ์. 2552.“carboxy methyl cellulose cmc.”[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/1439/CMC (สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2556).

ปราณี รัตนวลีดิโรจน์ ศรีไฉล ขุนทน และ โสภณ เริงสำราญ. 2542. การเตรียมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลสจากชานอ้อย. เอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37 สาขาวิทยาศาสตร์ สาขาวิศวกรรมศาสตร์ 3-5 กุมภาพันธ์ 2542. กรุงเทพฯ. หน้า 127-132.

รานี สุวรรณพฤกษ์ และ สุธาทิพย์ ศิริไพศาลพิพัฒน์. 2554.“การผลิตโซเดียมคาร์บอกซีเมทธิล เซลลูโลสจากผักตบชวา” สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (หน้า 471-478). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://anchan.lib.ku.ac.th/kukr/handle/003/11297?mode=full (สืบค้นเมื่อ 1 ธันวาคม 2556)

วรพงษ์ สุริยจันทราทอง และวิภา ตั้งนิพนธ์. 2528. ส่วนประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือใช้ยางอย่างจากโรงงานอาหารกระป๋องสำหรับใช้เป็นอาหารสัตว์. เอกสารเผยแพร่อัดสำเนา 13 หน้า

สุมน โพธิ์จันทร์. 2557. "การใช้ผลพลอยได้จากสับปะรดเป็นอาหารโคเนื้อ-โคนม" [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://expert.dld.go.th/attachments/article/166/pine_ap.pdf (สืบค้น เมื่อ 1 สิงหาคม 2557)

อังคณา คงคชวรรณ ตรี อินดราริณี เวียร์ยันโตโร และอภิรักษ์ เพียรมงคล. 2557. การสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกและแกนสับปะรด. เอกสารการประชุมเสนอผลงานบัณฑิตศึกษา. ขอนแก่น. หน้า 891-895.

Adinugraha, M.P., Marseno, D.W., Haryadi, (2005). Synthesis and characterization of sodium carboxymethylcellulose from cavendish banana pseudo stem (*Musa cavendishii* LAMBERT). Carbohydrate Polymers 62(2), 164-169.

Almasi, H., Ghanbarzadeh, B., Entezami, A.A., (2010). Physicochemical properties of starch-CMC-nanoclay biodegradable films. International Journal of Biological Macromolecules 46, 1-5.

Angle, M.N., Ferrando, F., Farriol, X., Salvado, J. (2001). Suitability of steam explodedresidual softwood for the production of binderless panels. Effect ofthe pre-treatment severity and lignin addition. Biomass and Bioenergy 21, 211-224.

Biswal, D.R., Singh, R.P., (2004). Characterisation of carboxymethyl cellulose and polyacrylamide graft copolymer. Carbohydrate Polymers 57(4), 379-387.

Bono, A., Ying, P.H., Yan, C.L., Muei, R., Sarbatly, R., Krishnaiah, D., (2009). Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose from palm kernel cake. Advances in Natural and Applied Sciences 3, 5-11.

Browning, B.L. 1963. Method in Wood Chemistry, Interscience Publishers, New York, London, pp.389-407.

Ganz, A.J., (1969). CMC and hydroxypropylcellulose-versatile gums for food use. Food Product Development 3, 65-74.

Ghanbarzadeh, B., Almasi, H., Entezami, A.A., (2011). Improving the barrier and mechanical properties of corn starch-based edible films: Effect of citric acid and carboxymethyl cellulose. Industrial Crops and Products in press.

Ismail, N.M., Bono, A., Valintinus, A.C.R., Nilus, S., Chng, L.M., (2010). Optimization of Reaction Conditions for Preparing Carboxymethylcellulose. Journal of Applied Sciences 10, 2530-2536.

Keller, J. (1984). Sodium carboxymethylcellulose (CMC) In *Proceedings of the Conference Name*|, Conference Location|.

Kim, S., Xu, J., Liu, S., (2010). Production of biopolymer composites by particle bonding. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 41(1), 146-153.

Ma, X., Chang, P.R., Yu, J., (2008). Properties of biodegradable thermoplastic pea starch/carboxymethyl cellulose and pea starch/microcrystalline cellulose composites. Carbohydrate Polymers 72, 369-375.

Muller, Z.O. (1974). Feasibility studies on the utilization of pineapple wastes. Singapore, Mimeographed report.

Muller, Z.O. (1975). Feed resources of weed Malaysia with special reference to cattle ration on Majuterna cattle farms. Berlin. Mimeographed report.

Muller, Z.O. (1978). Feeding protential of pineapple waste for cattle. World animal Review 25 : 25.

Perez, C.B. and C.T. Hsu. (1973). Farm by-products and beef production. Feed and Fertilizer Technology Center Ext. Bull. 32

Pushpamalar, V., Langford, S.J., Ahmad, M., Lim, Y.Y., (2006). Optimization of reaction conditions for preparing carboxymethyl cellulose from sago waste. Carbohydrate Polymers 64(2), 312-318.

Rachtanapun, P., (2008). Carboxymethyl Cellulose from Papaya Peel/Corn Starch Film Blends, Proceedings of 47th Kasetsart University Annual Conference, Bangkok, Thailand. , pp. 463-471.

Rachtanapun, P., Luangkamin, S., Tanprasert, K., Suriyatem, R., (2012). Carboxymethyl cellulose film from durian rind. LWT - Food Science and Technology 48(1), 52-58.

Rachtanapun, P., Rattanapanone, N., (2011). Synthesis and characterization of carboxymethyl cellulose powder and films from *Mimosa pigra*. Journal of Applied Polymer Science 122, 3218–3226.

Singh, R., Singh, A., (2013). Optimization of Reaction Conditions for Preparing Carboxymethyl Cellulose from Corn Cobic Agricultural Waste. Waste and Biomass Valorization 4(1), 129-137.

TAPPI T203 om-88. 1988. Alpha, beta, and grama cellulose in pulp.

Waring, M.J., Parsons, D., (2001). Physico-chemical characterisation of carboxymethylated spun cellulose fibres. Biomaterials 22(9), 903-912.

Wiwatwongwana, F., Pattana, S., (2010). Characterization on properties of modification gelatin films with carboxymethylcellulose, *The First TSME International Conference on Mechanical Engineering*, Ubonrachthani, Thailand.

คณะนักวิจัย

<u>หัวหน้าโครงการวิจัย</u>

1. ชื่อ - สกุล (ภาษาไทย) นางสาว วิรงรอง ทองดีสุนทร
   ชื่อ - สกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Wirongrong Tongdeesoontorn
2. รหัสบัตรประจำตัวประชาชน 3 5201 01519 xxx
3. ตำแหน่งปัจจุบัน หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail address

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
สถานที่ติดต่อ สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
333 หมู่ 1 ตำบลท่าสุด อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย
57100
โทรศัพท์ 0-5391-6749
โทรสาร 0-5391-6739
E-mail: wtongdee@hotmail.com, wtongdee@mfu.ac.th

<u>ผู้ร่วมโครงการวิจัย</u>

1. ชื่อ - สกุล (ภาษาไทย) นายภาณุพงษ์ ใจวุฒิ
   ชื่อ - สกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Phanuphong Chaiwut
2. รหัสบัตรประจำตัวประชาชน 3 5402 00393 xxx
3. ตำแหน่งปัจจุบัน หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail address

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
สถานที่ติดต่อ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
333 หมู่ 1 ตำบลท่าสุด อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย
57100
โทรศัพท์ 0-5391-6839
โทรสาร 0-5391-6**831**
E-mail: phanuphong@mfu.ac.th, phanuphong.cha@mfu.ac.th

<u>ที่ปรึกษาโครงการวิจัย</u>

1. ชื่อ - สกุล (ภาษาไทย) นายพรชัย ราชตนะพันธุ์
   ชื่อ - สกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Pornchai Rachtanapun
2. ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์

สถานที่ติดต่อ ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
155 หมู่ 2 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100
โทรศัพท์ 0-5394-8224
E-mail: pornchai.r@cmu.ac.th