รายงายวิจัยฉบับสมบูรณ์

อุปกรณ์ต้นแบบระดับอุตสาหกรรมเพื่อการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

(Industrial Prototype for Carboxymethylcellulose Synthesis)

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช บุญแสง

ดร. คมกฤษ จักษุคำ

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินทุนอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๒

มหาวิทยาลัยบูรพา

สัญญาเลขที่ ๕๑.๔/๒๕๖๒

รายงายวิจัยฉบับสมบูรณ์

อุปกรณ์ต้นแบบระดับอุตสาหกรรมเพื่อการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส
(Industrial Prototype for Carboxymethylcellulose Synthesis)

รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช บุญแสง

ดร. คมกฤษ จักษุคำ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มีนาคม ๒๕๖๓

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๒ มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ

เลขที่สัญญา ๕๑.๔/๒๕๖๒

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอการออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสระบบกึ่งอัตโนมัติ โดยการสังเคราะห์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี ได้แก่ อัลคาไลเซชัน และอีเทอริฟิเคชัน ในกระบวนการผลิตมีการปรับพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วรอบการปั่นกวน เวลา ขนาดอนุภาคผงเปลือกทุเรียนแห้ง ความเข้มข้น และปริมาณสารเคมี เป็นต้น เพื่อให้กระบวนการดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด การทดสอบความสามารถในการผลิตของเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน พบว่าผลิตภัณฑ์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 50 โดยน้ำหนักของผงเปลือกทุเรียนแห้ง ดังนั้นกระบวนการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่เป็นผลผลิตจากงานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางที่จะนำไปพัฒนาต่อยอดให้เป็นกระบวนการในระดับอุตสาหกรรมต่อไปได้ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (เปลือกทุเรียน) ช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส, เครื่องผลิตผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสระบบกึ่งอัตโนมัติ, การสังเคราะห์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน

ABSTRACT

This research project aims to design and develope a semi-automation carboxymethyl cellulose manufacturing prototype machine. In process, carboxymethyl cellulose from durian rind was synthesized using two important chemical reactions, e.g. alkalization and etherification. Various parameters such as reaction temperature, reaction time, stirring speed, particle size of dried durian rind powder, as well as concentration and amount of used chemicals were adjusted in order to obtain the highest manufacturing efficiency. With semi-automatic operation, the carboxymethyl cellulose manufacturing prototype machine showed a performance of 50% yield of carboxymethyl cellulose, with respect to dried durian rind powder. Therefore, the designed process and the semi-automation carboxymethyl cellulose manufacturing machine, developed in this present work, have shown their opportunity in industrial-scale development. Moreover, the results from this study have proven that agricultural waste (durian rind) can be turned from waste to wealth using our designed process and semi-automation carboxymethyl cellulose manufacturing machine.

Keywords: Carboxymethyl cellulose, Semi-automation carboxymethyl cellulose manufacturing machines, Synthesis of carboxymethyl cellulose from durian rind.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.3 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	6
2.2 กระบวนการสกัดสารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	11
บทที่ 3 การทดลอง	16
3.1 แนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC))	16
3.2 สารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์	19
3.3 ขั้นตอนในการสกัดสารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	21
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	25
4.1 การเตรียมการทดสอบเครื่องผลิตผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียน	25
4.2 การทดสอบเครื่องผลิตผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียน	27
4.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียน	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	47
เอกสารอ้างอิง	48
ผลผลิต	50
ประวัตินักวิจัย	51
ภาคผนวก	67

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบสมบัติของคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส	8
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน	10
3.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบเครื่องต้นแบบ	20
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณหาร้อยละของผลิตภัณฑ์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	46

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ปริมาณการใช้คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส carboxymethyl cellulose ในประเทศสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ปี 2014 - 2025	3
1.2 เปลือกทุเรียนที่เป็นของเหลือทิ้ง ณ ตลาดไท (จังหวัดปทุมธานี) ที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม	3
1.3 กรอบแนวคิดเกี่ยวกับเครื่องผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส	4
1.4 แนวคิดในการออกแบบเครื่องต้นแบบในการผลิตผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส	5
2.1 ปริมาณการใช้ carboxymethyl cellulose ของตลาดในแต่ละอุตสาหกรรมปี 2016	6
2.2 โครงสร้างโมเลกุลของคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส	7
2.3 ปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส	8
2.4 ลักษณะทางกายภาพของเปลือกทุเรียน	9
2.5 สมบัติที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานของคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส	10
2.6 กระบวนการสังเคราะห์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส	11
2.7 กระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส	12
2.8 เทคนิคและกระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส	12
2.9 โครงสร้างของกระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส	13
2.10 เครื่องสกัดคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) รุ่น MM-50 ที่ผลิตโดยประเทศจีน	14
2.11 โรงงานสกัดคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) ที่ผลิตโดยประเทศจีน	14
2.12 ผลิตภัณฑ์แบบแห้งของคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส	15
3.1 แนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบในการสังเคราะห์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส	16
3.2 แนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบในการสังเคราะห์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส	17
3.3 แผนภาพโครงสร้างเครื่องต้นแบบในการผลิตผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (ภายใน)	18
3.4 แผนภาพโครงสร้างเครื่องต้นแบบในการผลิตผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (ภายนอก)	18
3.5 กลไกการทำงานเครื่องต้นแบบในการผลิตผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส	19

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 ภาพ CAD ของเครื่องต้นแบบ	21
3.7 ผังงานกระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส	22
4.1 เครื่องต้นแบบในการผลิตผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส	25
4.2 ขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบที่สกัดจากเปลือกทุเรียน	26
4.3 เครื่องบดแห้งแบบละเอียด ให้ได้ขนาดอนุภาคที่ระดับ 50-300 Mesh	27
4.4 เปลือกทุเรียนที่ผ่านการบดละเอียด	28
4.5 ติดตั้งใบกวนในถังที่ 1 และเปิดเครื่อง	29
4.6 เติมน้ำลงไปในถังที่ 1 จำนวน 20 ลิตร	29
4.7 ใส่เปลือกทุเรียนที่บดแห้งละเอียดจำนวน 1 กิโลกรัม พร้อมค้นจนกระทั่งละลายเข้าด้วยกัน	30
4.8 เปิดการทำงานของมอเตอร์ที่ถังที่ 1 ในระดับความเร็วปานกลางจนของผสมเป็นเนื้อเดียวกัน	30
4.9 เติมสารโซดาไฟ 2 กิโลกรัม โดยที่จะต้องค่อยเติมสารเข้าไปทีละน้อย อย่างต่อเนื่องเพื่อป้องกันความร้อนที่มากเกินไปจากการการละลายของโซดาไฟในน้ำ	31
4.10 เปิดฮีตเตอร์ทำความร้อน (Heater) ในถังที่ 1 จนกระทั้งเพิ่มความร้อนเป็น 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ช.ม.	32
4.11 เพิ่มความร้อนเป็น 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ช.ม. จนเดือด ในขั้นตอนนี้ระดับของเหลวที่อยู่ในถังที่ 1 ต้องลดระดับลงกึ่งหนึ่งตามรูป	32
4.12 เพิ่มความร้อนเป็น 96-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ช.ม. สารละลายจะเดือดและมีความเข้นข้นสูง โดยสภาวะนี้จะต้องเปิดความเร็วมอเตอร์ที่ระดับสูง เนื่องจากมีความหนืดมาก โดยหากเกิดฟองขึ้นในระบบต้องลดระดับความร้อนลงและเพิ่มความเร็วมอเตอร์ประกอบ	33
4.13 ของเหลวในถังที่ 1 ที่ข้น และ มีตะกอนละเอียดสีดำ	33
4.14 ตะกอนละเอียดสีดำในถังที่ 1	34
4.15 ตะกอนสีดำที่ได้จากเปลือกทุเรียนซึ่งมีความหนืดสูง	34
4.16 ล้างด้วยน้ำเปล่าในถังที่ 2 พร้อมเปิดมอเตอร์ปั่นกวนสารละลาย	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ได้จากการล้างให้ได้ค่า ประมาณ 7	36
4.18 ของแข็งสีดำที่ล้างเรียบร้อยแล้ว	36
4.19 นำของแข็งสีดำที่ล้างแล้วใส่ในถังที่ 2	37
4.20 นำผงสารสกัดสีดำที่ล้างแล้วใส่ในถังที่ 2 ฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 50% 2 รอบ	38
4.21 ผลิตภัณฑ์เซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียนที่ฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์	38
4.22 นำเซลลูโลสที่ฟอกขาวแล้วใส่ลงในถังที่ 1 เติมน้ำเปล่า 3 ลิตร	39
4.23 เติมโซดาไฟ (NaOH) น้ำหนัก 0.9 กิโลกรัม กวนทิ้งไว้ 30 นาที	40
4.24 เติมกรดโมโนคลอโรอะซิติก 360 กรัม และเปิด ฮีตเตอร์ทำความร้อน ที่ 55 องศาเซลเซียส กวนให้เข้ากันทิ้งไว้ 2 ช.ม.	40
4.25 เปิดฮีตเตอร์ทำความร้อน ที่ 55 องศาเซลเซียส กวนที่ความเร็วปานกลางให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 2 ช.ม.	41
4.26 การกรอง CMC โดยใช้ตะแกรง 80 Mesh	41
4.27 ล้างผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) ด้วยเมทานอล 2 รอบ โดยแต่ละรอบใช้เมทานอลปริมาตร 6 ลิตร	42
4.28 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) หลังจากล้างด้วยเมทานอล	43
4.29 อบสารผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส	43
4.30 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) หลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง	44
4.31 การละลายของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) ในน้ำสะอาด	44
4.32 ผลิตภัณฑ์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) ที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในงานวิจัยนี้ เมื่อใช้น้ำหนักของเปลือกทุเรียนที่บดเป็นผงละเอียดแล้ว 1 กิโลกรัม	45

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันปรากฏการณ์โลกร้อนที่เกิดขึ้นจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการผลิตพลาสติกในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและขยะพลาสติกจากปิโตรเลียมที่ใช้งานทั่วไปซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ ก่อให้เกิดผลกระทบด้านลบอย่างรุนแรงต่อสภาพแวดล้อม ความเป็นอยู่ของมนุษย์ สังคม เศรษฐกิจ ตลอดจนการพัฒนาประเทศ ดังนั้นทั่วโลกจึงให้ความสนใจอย่างมากต่อการแก้ปัญหาสภาวะโลกร้อน ไม่ว่าจะเป็นการร่วมกันประหยัดและการใช้ทรัพยากรอย่างมีคุณค่า ตลอดจนลดการใช้พลาสติกจากปิโตรเลียม เนื่องจากพลาสติกจากปิโตรเลียมย่อยสลายช้ามากทำให้เกิด ปัญหาขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นทุกวัน เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวและทำให้เกิดการใช้พลาสติกชีวภาพมาทดแทน จากรายงานของ The European Bioinformatics Institute ระบุว่ากำลังการผลิตพลาสติกชีวภาพทั่วโลกมีแนวโน้มการเติบโตเพิ่มถึงร้อยละ 350 ภายในปี ค.ศ. 2019 โดยในปี ค.ศ. 2014 อุตสาหกรรมหลักที่ใช้พลาสติกชีวภาพมากที่สุด คือ อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ รองลงมาคือ เส้นใย และสินค้าอุปโภคบริโภคตามลำดับ

พลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธรรมชาติ การส่งเสริมการใช้พลาสติกชีวภาพที่ย่อยสลายได้ถือเป็นการช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกจากปิโตรเลียม ทั้งนี้ในงานบรรจุภัณฑ์อาหาร พอลิเมอร์ชีวภาพที่ใช้มากที่สุดในปัจจุบัน คือ เซลลูโลสในรูปของกระดาษและกระดานรอง และพอลิแลคติกแอซิด หรือ PLA ในรูปของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วทิ้ง [1] ดังนั้นการพัฒนาพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดอื่นเพื่อใช้ทดแทนพลาสติกจากปิโตรเลียมจึงเป็นงานที่ท้าทายและน่าสนใจอย่างยิ่งในการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากแหล่งวัตถุดิบที่หลากหลาย

สืบเนื่องจากราคาของวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตพอลิแลคติกแอซิด หรือ PLA ที่ใช้มากในงานบรรจุภัณฑ์อาหาร คือแป้ง น้ำตาล หรือกากน้ำตาล ซึ่งมีราคาสูง คณะผู้วิจัยจึงได้นำขยะเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีส่วนประกอบของเซลลูโลสอยู่ของเซลลูโลสที่สูง เช่น เปลือกทุเรียนอยู่กว่าร้อยละ 30 ใบสับปะรดร้อยละ 66.2 ซึ่งมีอยู่มากในภาคตะวันออกของประเทศ มาพัฒนาเป็นพลาสติกชีวภาพคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส และพบว่าสามารถพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของกระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในระดับห้องปฏิบัติการได้ [2-4] คณะผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะการพัฒนากระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้โดยวิธีทางชีวภาพ จากนั้นจะได้เลือกสภาวะของกระบวนการผลิตที่เหมาะสมที่สุดเพื่อขึ้นรูปและพัฒนาให้เป็นกระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อออกแบบกระบวนการและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนแบบกึ่งอัตโนมัติ
2. เพื่อออกแบบรูปแบบการปรับค่าพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการต้นแบบสำหรับผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน และ ทดสอบความสามารถในการผลิตของเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน
3. เพื่อนำองค์ความรู้ของกระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ได้จากเปลือกทุเรียน ไปต่อยอดในภาคอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ออกแบบกระบวนการและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน แบบกึ่งอัตโนมัติ

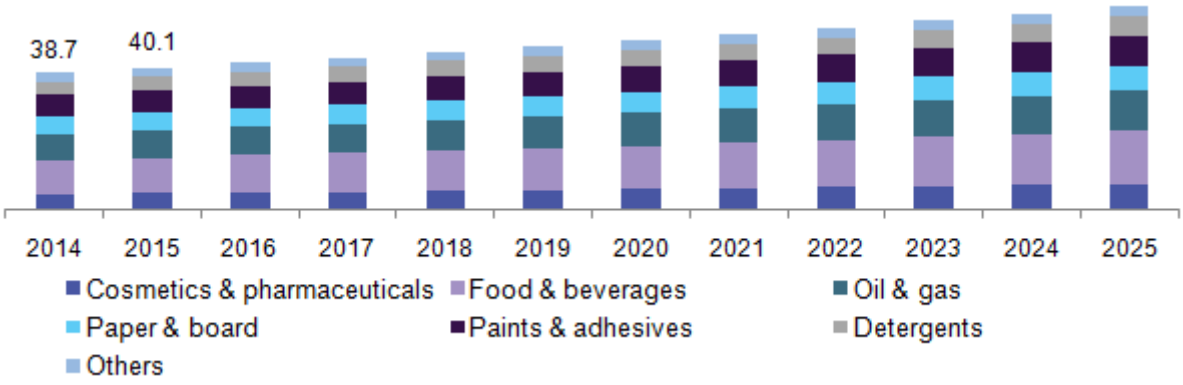
2. ศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ได้จากเปลือกทุเรียน

3. ทำการทดสอบ ปรับปรุง แก้ไข การทำงานของกระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ให้มีประสิทธิภาพที่สุด

4. ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.3 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

ปัญหาสิ่งแวดล้อมและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในกระบวนการผลิตพลาสติกจากปิโตรเลียม และขยะพลาสติกจากปิโตรเลียมที่ใช้งานทั่วไปซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมมากมาย เกือบทุกประเทศทั่วโลกจึงหันมาให้ความสนใจที่จะลดการใช้พลาสติกจากปิโตรเลียม โดยใช้พลาสติกชีวภาพทดแทน จากรายงาน Industry Report ของการวิเคราะห์การเติบโตของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในต่างประเทศที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ ค.ศ. 2018 - 2025 และมีความต้องใช้งานในปี 2015 ถึง 40.1 ตัน (สหรัฐอเมริกา) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 โดยในปี ค.ศ. 2014 อุตสาหกรรมหลักที่ใช้พลาสติกชีวภาพมากที่สุด คือ อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ รองลงมาคือ เส้นใย และสินค้าอุปโภคบริโภคตามลำดับ สืบเนื่องจากราคาของวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตพอลิแลคติกแอซิด หรือ PLA ที่ใช้มากในงานบรรจุภัณฑ์อาหาร คือแป้ง น้ำตาล หรือกากน้ำตาล ซึ่งมีราคาสูง



รูปที่ 1.1 ปริมาณการใช้คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสในประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี 2014 - 2025 (Tons) [5]

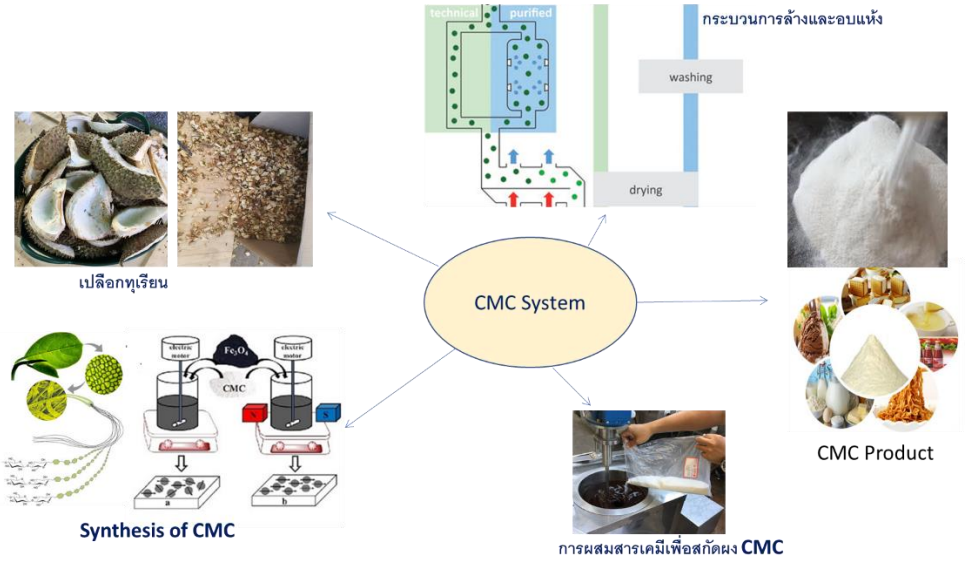
ในปัจุบันประเทศไทยได้ตระหนักถึงผลเสียของขยะพลาสติกอย่างมาก ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม จึงมีการรณรงค์ลด เลิก การใช้ถุงพลาสติก เพื่อช่วยลดภาวะมลพิษ และขยะพลาสติกที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมาก

รูปที่ 1.2 เปลือกทุเรียนที่เป็นของเหลือทิ้ง ณ ตลาดไท (จังหวัดปทุมธานี) ที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อม

ดังนั้นพลาสติกชีวภาพจึงเป็นทางเลือกที่ส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถย่อยสลายเองได้จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะสิ่งแวดล้อม จากการสำรวจในท้องตลาดพบว่าขยะเปลือกทุเรียนถูกทิ้งและเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างต่อเนื่องและส่งผลต่อสภาวะแวดล้อมอย่างมาก ดังแสดงในรูป 1.2 กลุ่มผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการนำขยะเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีส่วนประกอบของเซลลูโลสอยู่กว่าร้อยละ 30 เช่น เปลือกทุเรียน ซึ่งมีอยู่มากในภาคตะวันออกของ

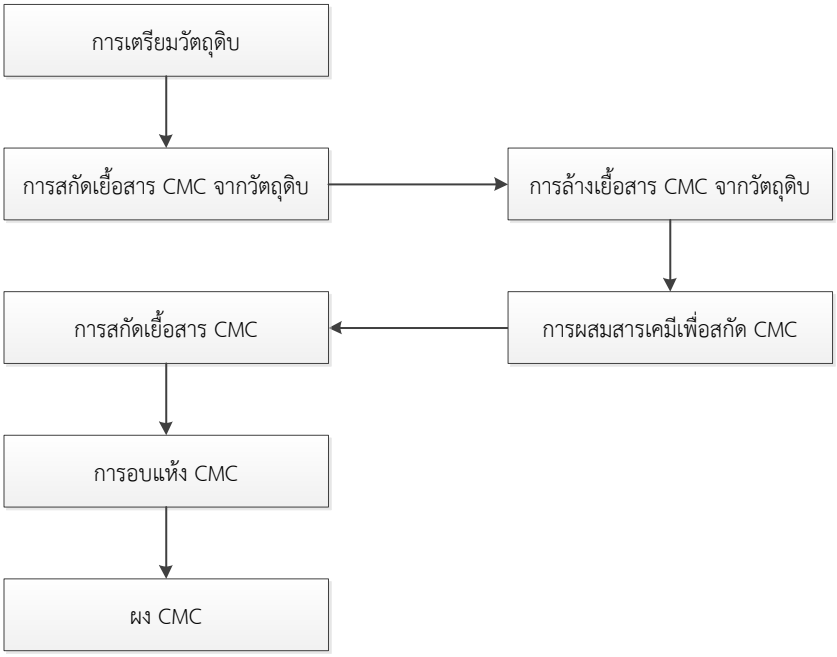
ประเทศ มาพัฒนาเป็นพลาสติกชีวภาพคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส และพบว่าสามารถพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของฟิล์มคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสในระดับห้องปฏิบัติการได้ [2-3]

กรอบแนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) สกัดจากเปลือกทุเรียนที่มีเซลลูโลสด้วยการสังเคราะห์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose, CMC) ดังแสดงในรูป 1.3



รูปที่ 1.3 กรอบแนวคิดเกี่ยวกับเครื่องผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส

จากแนวคิดของกระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose CMC) ที่มีเซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียนเป็นสารตั้งต้น มีขั้นตอนการผลิตประกอบด้วย การเตรียมเปลือกทุเรียนที่อบแห้งและบดละเอียด, การสกัดเยื่อเซลลูโลสจากวัตถุดิบ, การล้างเยื่อเยื่อเซลลูโลส, การทำปฏิกิริยาเคมีเพื่อสังเคราะห์ CMC การล้างให้บริสุทธิ์ และขั้นตอนสุดท้ายคือการนำผง CMC ที่ได้ไปอบแห้งเพื่อให้ได้ผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose CMC) พร้อมใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 แนวคิดในการออกแบบเครื่องต้นแบบในการผลิตผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส

จากแนวคิดในการออกแบบกระบวนการและสร้างเครื่องผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส จากเปลือกทุเรียนดังกล่าว คณะผู้วิจัยเห็นว่านอกจากสามารถนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาขยะจากเปลือกทุเรียนที่เป็นของเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรแล้ว ยังจะช่วยลดการนำเข้าเครื่องจักรผลิตผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสที่มีราคาสูงจากต่างประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนากระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้โดยวิธีทางชีวภาพอีกทางหนึ่ง รวมไปถึงการต่อยอดนำไปสู่การผลิตในภาคอุตสาหกรรมต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้กระบวนการ และเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน

2. ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน

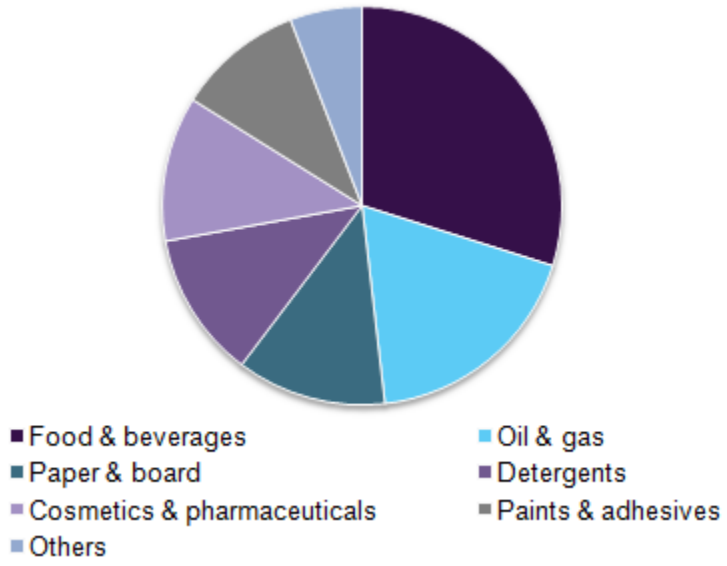
3. กระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสที่ได้จากเปลือกทุเรียน สามารถนำไปต่อยอดในระดับอุตสาหกรรมได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส

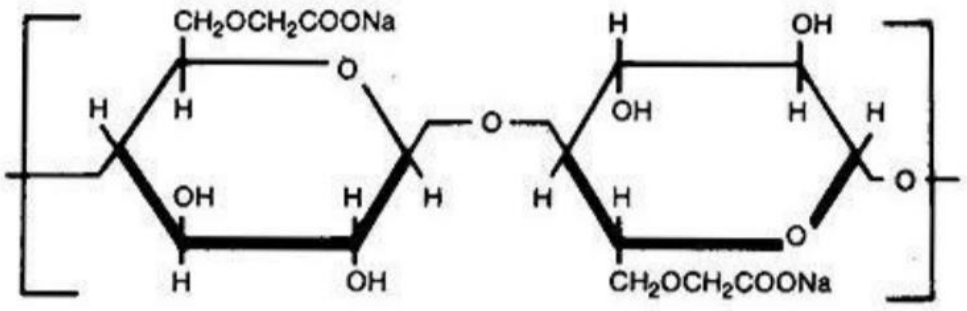
ปัจจุบันพลาสติกชีวภาพได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร [6] คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสมีศักยภาพที่จะพัฒนาให้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้ เนื่องจากไม่เป็นพิษ และใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องสำอางอย่างแพร่หลายมาเป็นเวลานาน ในปัจจุบันพบว่ามีการนำคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ มากมาย โดยมีการนำเอาคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสไปใช้งานอย่างแพร่หลายมาเป็นเวลานาน [5] ใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหาร เครื่องดื่มที่มีแคลลอรี่ต่ำ ตลอดจนเครื่องสำอาง ของใช้ประจำบ้านได้แก่ ยาสีฟัน โฟมล้างหน้า โลชั่น เป็นต้น และปริมาณการใช้งานคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสในอุตสาหกรรมต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปริมาณการใช้ carboxymethyl cellulose ของตลาดในแต่ละอุตสาหกรรมปี 2016 [5]

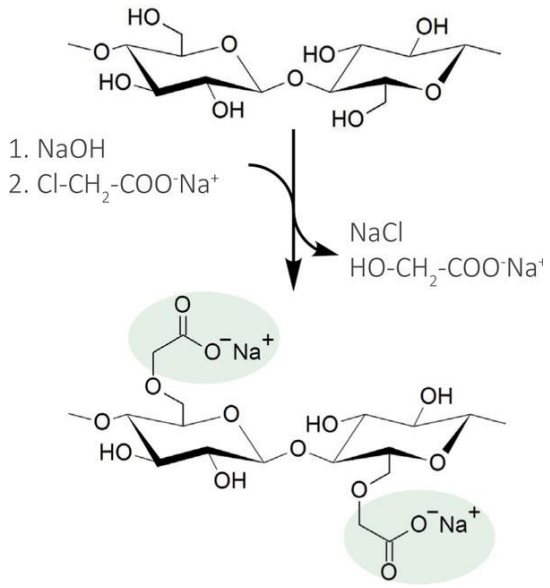
มีนักวิจัยหลายกลุ่มได้ศึกษากระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสจากวัตถุดิบหลากชนิด เช่น ผักตบชวา [7] เปลือกมะละกอ [8] เยื่อฟางข้าว [9] ต้นกล้วย [10] เปลือกไมยราบยักษ์ [11] เป็นต้น นอกจากนี้ ในปีค.ศ. 2009 Su และคณะ ได้เตรียมกระบวนการผลิตรับประทานได้จากคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสและโปรตีนจากถั่วเหลือง [12] และ ในปี ค.ศ. 2014 Shekarabi และคณะ [13] ยังสามารถเตรียมคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสรับประทานได้จากยางพาราได้สำเร็จในระดับห้องปฏิบัติการอีกด้วย

โดยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสนั้นหรือซีเอ็มซี (carboxymethyl cellulose, CMC) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) [14] คือพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำที่เป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสนั้นเองที่ได้จากการปรับคุณสมบัติของเซลลูโลสจากผนังเซลล์พืชทำให้เกิดรูปแบบการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมธิลและหมู่คาร์บอกซิเมทิล ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลของคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) ที่สามารถสกัดจากสารอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่ได้จากวัตถุดิบที่ได้ทางชีวภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (15)

คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) มีคุณสมบัติที่หลากหลาย อาทิเช่น ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี ไม่เป็นอันตรายจึงถูกใช้ในอุตสาหกรรมประเภทอาหารและยา อย่างเพิ่มมากขึ้น กระบวนการที่ทำให้คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) มีความบริสุทธิ์สูง จะต้องทำให้มีความเป็นกลางด้วยกรด โดยใช้โซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไกลคอเลตที่นอยู่เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงด้วยการผสมเมทานอลและกรดอะซิติกสกัดแยกเกลือโซเดียมทั้งสองชนิด ซึ่งผลที่ได้ทำให้คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส CMC บริสุทธิ์สูง ไม่มีผลต่อพิษต่อชีวิตและสภาวะแวดล้อม ทั้งนี้กระบวนการสังเคราะห์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose, CMC) ในระดับโมเลกุล ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส [16]

เนื่องจากคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) ที่บริสุทธิ์สูงจะมี BOD (Biochemical Oxygen Demand) ที่ต่ำ ซึ่ง BOD จะบ่งบอกถึงปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์มีปริมาณที่ต่ำทำให้ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถย่อยสลายของสารได้ ทั้งนี้คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) มีหลากหลายชนิดขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์และน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกัน โดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติของคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) ดังแสดงตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบสมบัติของคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) [16]

Values	Technical	Purified
Moisture Content [%]	4 - 8 %	5 - 10%
Active Substance [%]	55 - 75 %	> 98 %
Natrium Chloride [%]	15 - 25 %	< 1 %
Natrium Glycolate [%]	5 - 12 %	< 1 %
Viscosity [mPas] Low min High max	 100 (10 %) 5 000 (2%)	 50 (5%) 1 500 (1%)
pH	6 - 10.5	6 - 8
DS	0.6 - 1.0	0.75 - 1.0

จากข้อมูลในตารางที่ 2.1 พบว่าคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) มีสมบัติการดูดความชื้นคงตัวในช่วงความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 6–1.5 มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 2,100-500,000 และสามารถละลายน้ำจะได้สารแขวนลอยอยู่ในน้ำ โดยจับกับโมเลกุลของน้ำ (Hydrate) ได้ดี มีลักษณะข้นเหลว ไม่ละลายในอินทรีย์ สามารถละลายในตัวละลายผสมระหว่างน้ำกับตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายน้ำ โดยเมื่อนำคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) 1 ส่วนละลายน้ำ 100 ส่วนจะได้สารละลายที่มีความหนืด 5-6000 centipoise

รูปที่ 2.4 ลักษณะทางกายภาพของเปลือกทุเรียน

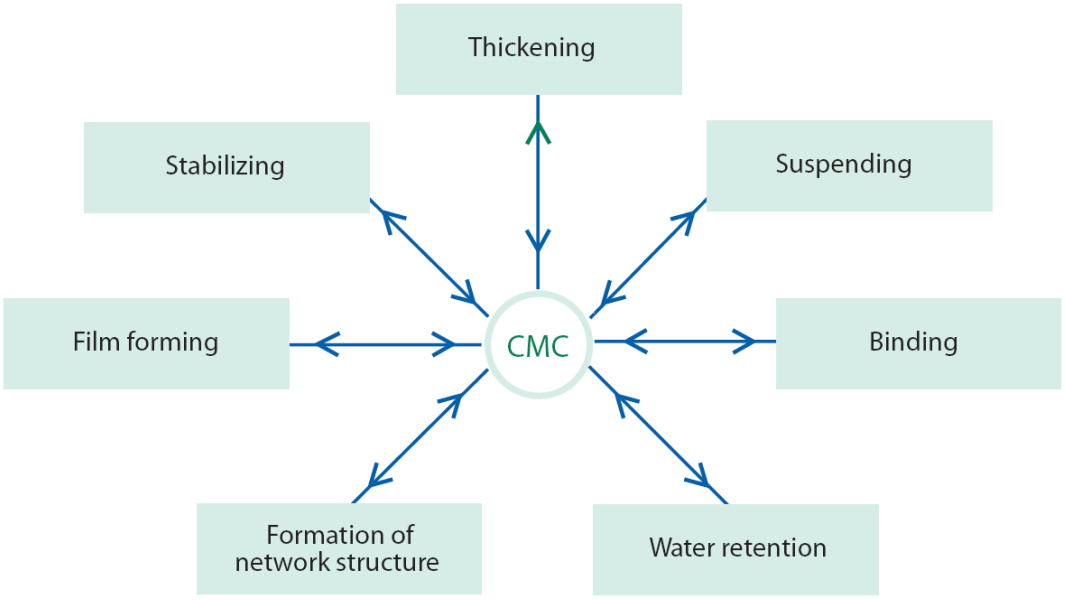
จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [3, 7–9] พบว่าการพัฒนากระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียน (รูปที่ 2.4) เพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้โดยวิธีทางชีวภาพนั้น เกณฑ์ขั้นต่ำของคุณภาพทางเคมีสำหรับวัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้เตรียมเซลลูโลสคุณภาพสูง จะต้องมีแอลฟาเซลลูโลสไม่ต่ำกว่าร้อยละ 29 ,มีลิกนินไม่เกินร้อยละ 22 มีเถ้าไม่เกินร้อยละ 9 และมีเพนโตแซน (pentosans) ไม่เกินร้อยละ 32 [17] และในเปลือกทุเรียน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 มีส่วนที่เป็นพอลิแซคคาไรด์ประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเซลลูโลสสูง

ถึงร้อยละ 30 จึงมีความเป็นไปได้อย่างมากที่เปลือกทุเรียนนั้นมีคุณภาพทางเคมีที่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำมาใช้เตรียมเยื่อเซลลูโลสคุณภาพสูงได้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน [18]

Composition	Value (%)
Holocellulose	55.3 ± 0.7
Alpha-cellulose	34.9 ± 0.9
Ash	6.1 ± 0.04
Lignin	19.3 ± 0.5
Pentosan	10.6 ± 0.1

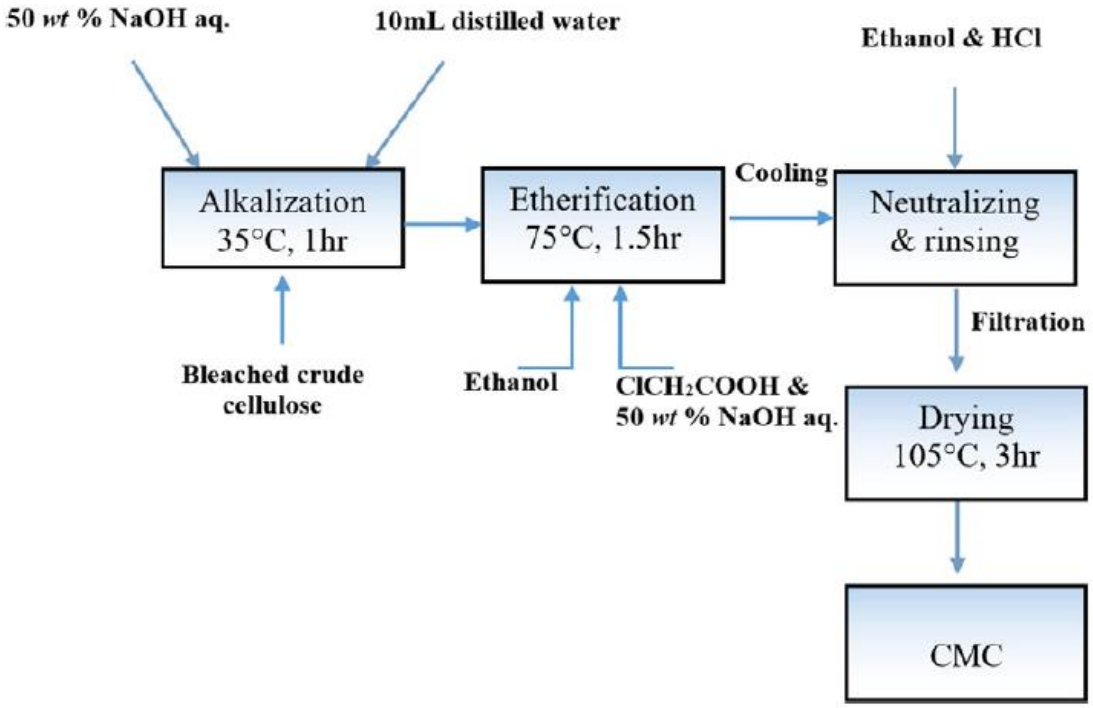
นอกจากนี้คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสยังมีสมบัติดีหลายประการดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งเหมาะแก่การนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ในหลายอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบว่ามีนักวิจัยกลุ่มใดพัฒนากระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนในระดับอุตสาหกรรมได้



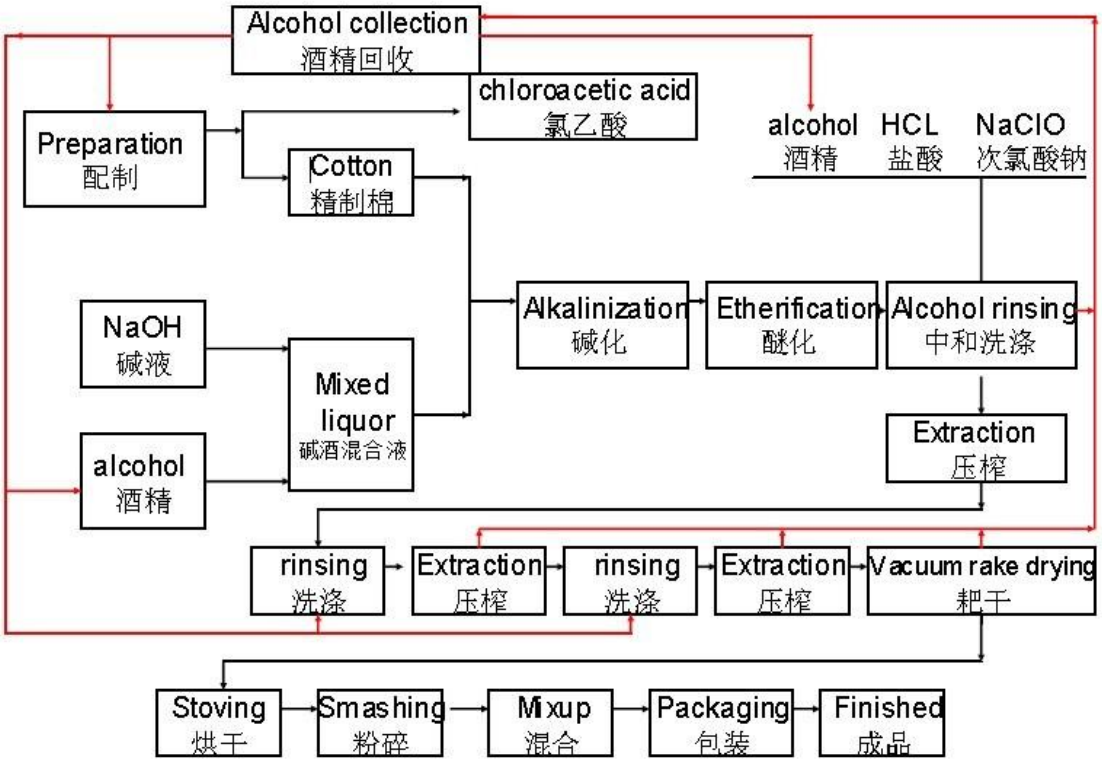
รูปที่ 2.5 สมบัติที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานของคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส [19]

2.2 กระบวนการสกัดสารคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส

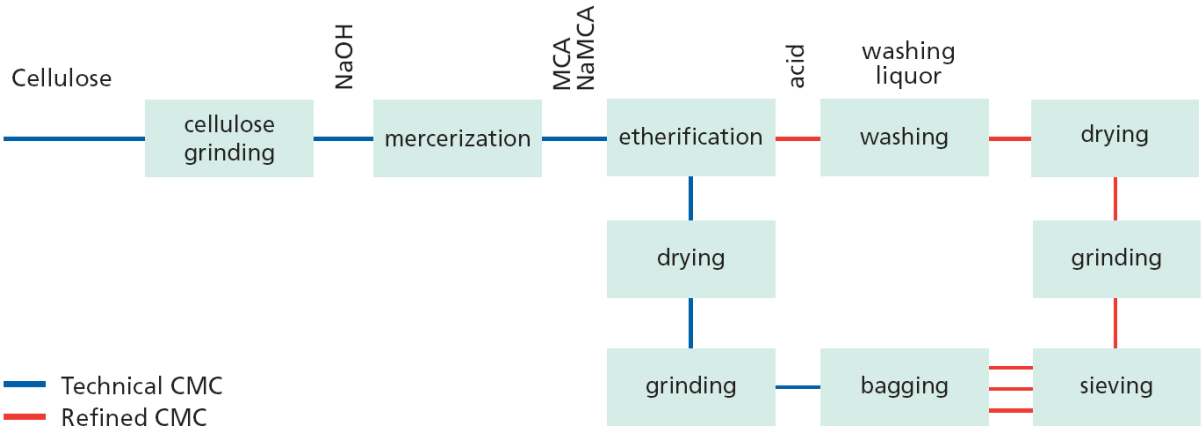
กระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนที่ออกแบบขึ้นในงานวิจัยนี้ ใช้แนวคิดจากกระบวนการผลิตจากปฏิกิริยาโซเดียมคลอโรอะซิเตตแบบแห้ง (Dry sodium chloroacetate) [20] กับเซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียนโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนได้เป็นผลิตภัณฑ์โซเดียมคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (Sodium carboxymethyl cellulose) และอาจมีโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) เป็นผลิตผลพลอยได้ จากนั้นล้างให้หมดกรดโดยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) โดยผลิตภัณฑ์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสมีค่าความคงตัวสูง ความหนืดสูง และช่วยยึดจับในอาหาร เครื่องสำอาง และยา กระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสมีกรรมวิธีและขั้นตอนในการทำงานแตกต่างกันไปตามที่ถูกออกแบบกระบวนการโดยนักเทคโนโลยี ดังรูปที่ 2.6–2.8



รูปที่ 2.6 กระบวนการสังเคราะห์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส [20]



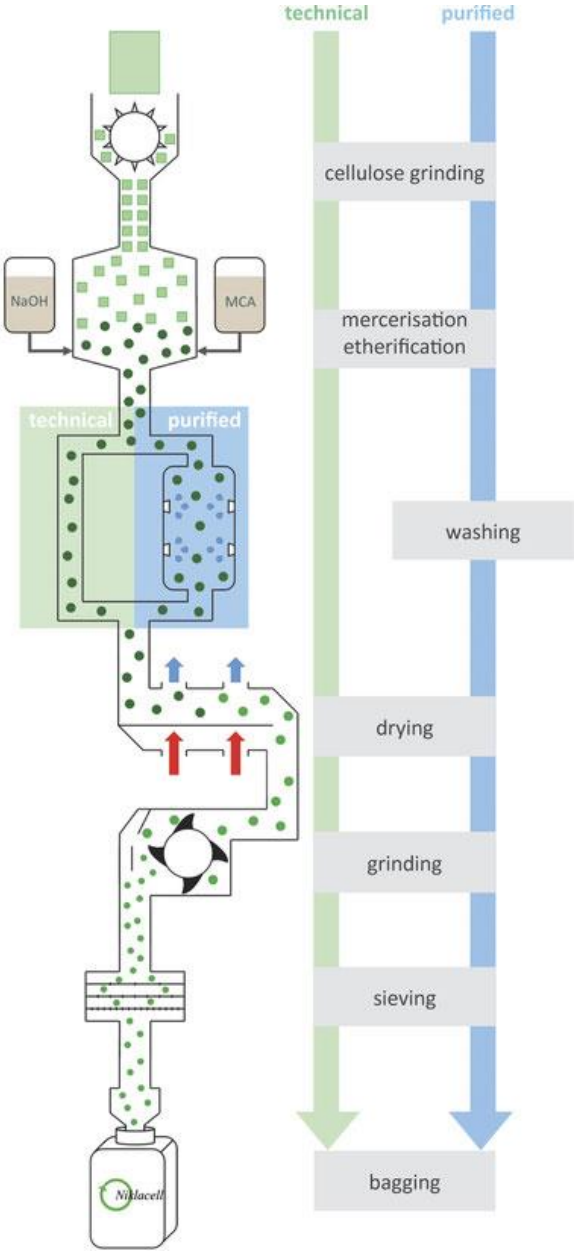
รูปที่ 2.7 กระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส [21]



รูปที่ 2.8 เทคนิคและกระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส [22]

โดยหลักการสังเคราะห์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) โดยทั่วไปจะมีสองขั้นตอนคือ

- ปฏิกิริยา Alkalization ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ทำให้เกิดการแตกตัวของผนังเซลล์
- ปฏิกิริยา Etherification ระหว่างเซลลูโลสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ กับโซเดียมคลอไรอะโรซีเตรต โซเดียมโมโนคลอโรอะซิติกกรด ($Cl\text{-}CH_2\text{-}COOH$) ทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสแบบด่าง ซึ่งจะได้สารโซเดียมคาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส (NaCMC) หรือคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) โดยกระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) ในอุตสาหกรรมอาศัยปฏิกิริยา etherification ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของกระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส [23]

โดยทั่วไปเครื่องผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส [19] จะมีใบกวนที่มีความเร็วรอบการหมุนที่แตกต่างกัน เพื่อให้เกิดการตัดแรงบีบและกวน เพื่อให้วัสดุที่มีความหนืดผสมกันอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ และมีชุดควบคุมอุณหภูมิ โดยมีขนาดตั้งแต่ 350 มิลลิลิตร ถึง 3000 ลิตร ที่ผลิตโดยประเทศจีนแต่มีราคาสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.10 - 2.11

รูปที่ 2.10 เครื่องสกัดคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) รุ่น MM-50 ที่ผลิตโดยประเทศจีน [24]

รูปที่ 2.11 โรงงานสกัดคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) ที่ผลิตโดยประเทศจีน [24]

กระบวนการในการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส เป็นการสกัดเอาเนื้อเยื่อเซลลูโลสออกด้วยหม้อต้มอัดความดันในช่วงเวลาที่เหมาะสมแล้วค่อยนำมาปั่น แล้วรีดให้เป็นแผ่นบางๆ จึงค่อยใส่สารเคมีผสมลงไป จากนั้นทำการบดจนละเอียด หลังจากนั้นจึงนำมาขึ้นรูปโดยมีสองวิธีคือ

- แบบการฉีดพ่นผงเซลลูโลสด้วยกรดคลอโรอะซิติก (Chloroacetic acid) ซึ่งเซลลูโลสที่เป็นของแข็งจะร่วงลงในถังที่หมุนแล้วจึงจะแห้ง โดยมากจะถูกนำไปใช้งานในภาคอุตสาหกรรมและอยู่ในรูปแบบแห้งที่มีความชื้น 5-6 %RH
- แบบการอบแห้งด้วยเตาอบ โดยโซเดียมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสชนิดเปียก จะถูกเก็บอยู่ในเครื่องอบหลังจากอายุ 8-10 ชั่วโมง หลังจากนั้นก็จะแห้งได้ ซึ่งเป็นโซเดียมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสเป็นผงสีขาวที่ละลายน้ำได้หรือสามารถละลายได้ในน้ำ เป็นผงไม่มีกลิ่น รสจืด มีความหนืดสูง ถูกนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมการแพทย์ เช่น เครื่องสำอางและยา เป็นต้น

ดังนั้นกระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน เพื่อพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร ได้ศึกษาหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบ กรรมวิธีการผลิต ระยะเวลา รวมถึงสารเคมีประกอบ เพื่อปรับค่าให้เหมาะสมกับปริมาณสารสกัดที่ต้องการได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.12

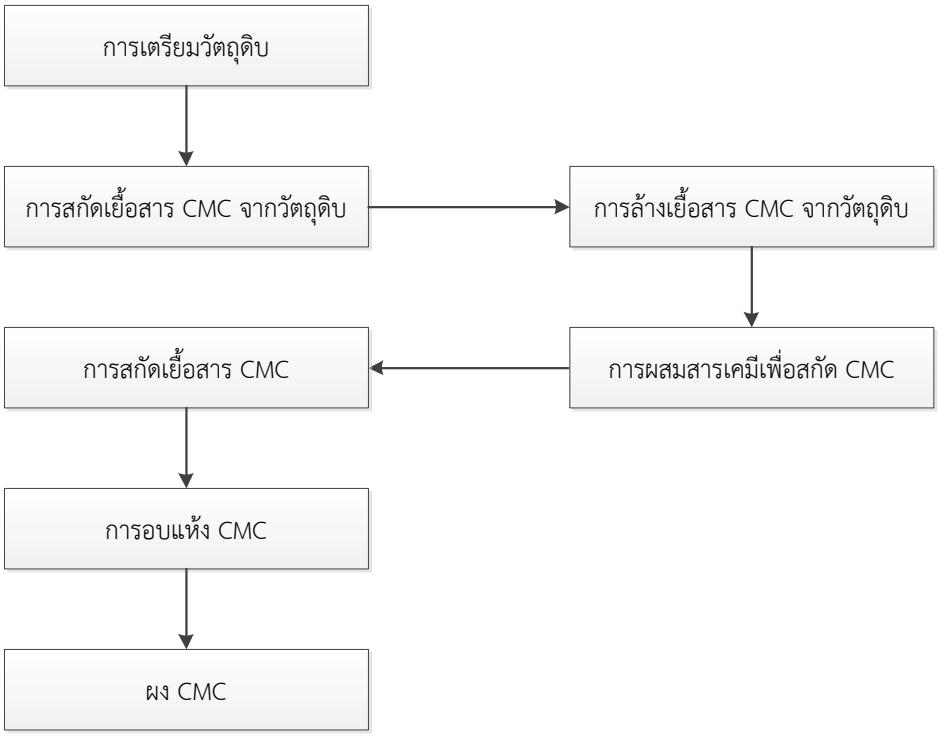
รูปที่ 2.12 ผลิตภัณฑ์แบบแห้งของคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส [19]

บทที่ 3

การทดลอง

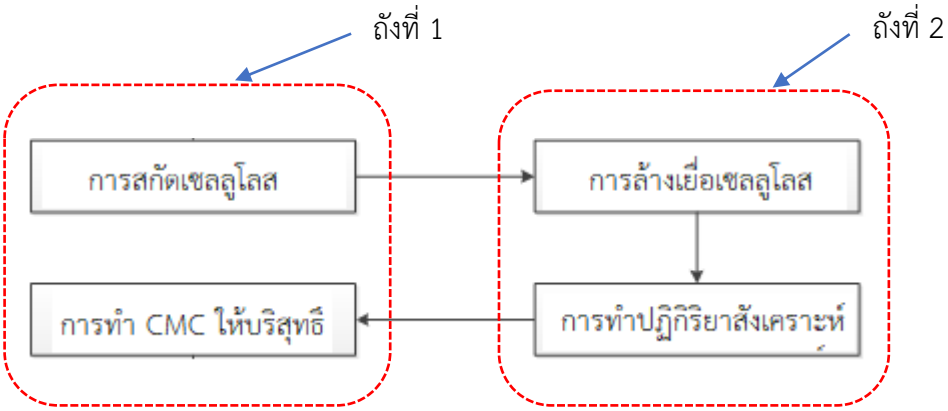
3.1 แนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส

แนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส สกัดจากเปลือกทุเรียนที่มีเซลลูโลสด้วยการสังเคราะห์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose, CMC) ซึ่งมีขั้นตอนการสกัดสารประกอบด้วย การเตรียมเปลือกทุเรียนที่อบแห้งและบดละเอียด, การสกัดเยื้อสารจากวัตถุดิบ, การล้างเยื้อสาร CMC ที่ได้จากวัตถุดิบ, การผสมสารเคมีเพื่อสกัดผง CMC ให้ตกตะกอน และขั้นตอนสุดท้ายคือการนำผง CMC ที่ได้ไปอบแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบในการสังเคราะห์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส

จากแนวคิดของเครื่องสกัดคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสต้นแบบ ได้แนวทางในการออกแบบโครงสร้างเครื่องด้วยสองกระบวนการหลัก และพิจารณาถึงฟังก์ชันการทำงานที่ต้องมีใบกวนที่มีความเร็วรอบการหมุนที่แตกต่างกันเพื่อให้เกิดการตัดแรงบีบและกวน ด้วยสองส่วนหลักคือถังผสมสารชุดที่ 1 และถังผสมสารชุดที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบในการสังเคราะห์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส

องค์ประกอบของเครื่อง สามารถแบ่งตามหน้าที่การทำงานดังนี้

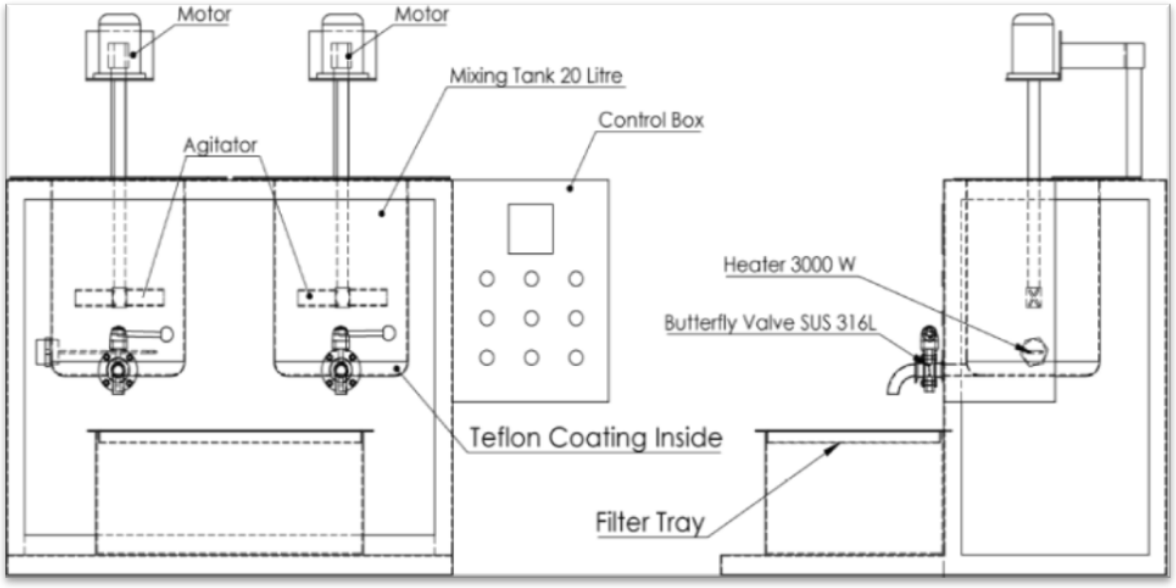
(1) ถังชุดแรก ทำหน้าที่สกัดสารและสกัดเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนด้วยความร้อนและการปั่นที่ความเร็วที่แตกต่างกันได้

(2) ถังชุดสอง ทำหน้าที่ล้างเยื่อเซลลูโลสและสังเคราะห์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส มีการให้ความร้อนและการปั่นที่ความเร็วที่แตกต่างกันได้

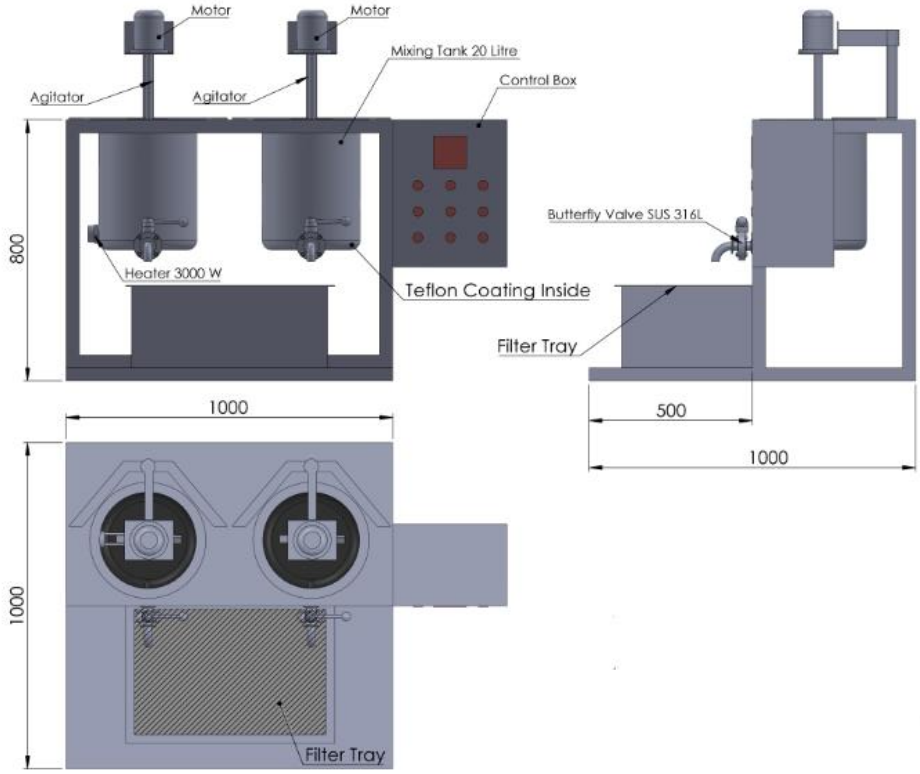
(3) ชุดกรองและดักจับสารสารละลาย

(4) ชุดอบคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส

กลุ่มผู้วิจัยได้มีการออกแบบโครงสร้างของเครื่องสกัดผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส กึ่งอัตโนมัติจะทำจากวัสดุสเตนเลสเป็นหลัก แล้วเคลือบด้วยเทปลอนเนื่องจากทนต่อการกัดกร่อนและทนความร้อนที่สูงได้ ซึ่งโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบทางแมคคานิกส์ คือ Solidwork 2016 ดังแสดงในรูปที่ 3.3 – 3.4



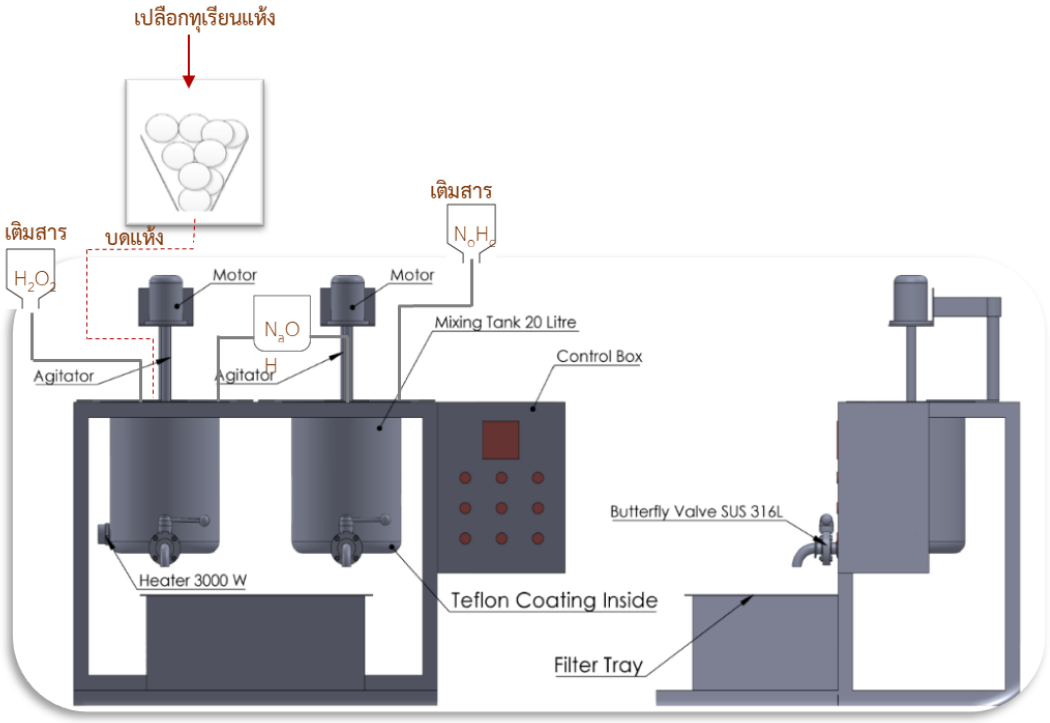
รูปที่ 3.3 แผนภาพโครงสร้างเครื่องต้นแบบในการผลิตผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (ภายใน)



รูปที่ 3.4 แผนภาพโครงสร้างเครื่องต้นแบบในการผลิตผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (ภายนอก)

จากแนวคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) จากเปลือกทุเรียนกึ่งอัตโนมัติ ที่ได้สร้างขึ้น โดยชุดอุปกรณ์ประกอบของเครื่องผลิตคาร์บอกซี่เมทิล

เซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) จากเปลือกทุเรียน ซึ่งประกอบด้วยถังผสมสารละลายที่ 1 สำหรับการสกัดสารจากเปลือกทุเรียน โดยเคลือบสารป้องกันการกัดกร่อนและทนความร้อนได้ ขนาด 25 ลิตร พร้อมติดตั้งชุดทำความร้อนและควบคุมอุณหภูมิ จำนวน 1 ชุดและในถังผสมสารละลายที่ 1 ติดตั้งมอเตอร์สำหรับการกวนสารละลายเข้าด้วยกันและชุดควบคุมความเร็วในการทำงาน จำนวน 1 ชุด และถังผสมสารละลายที่ 2 สำหรับการผสม ฟอก และล้าง ผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียนขนาด 25 ลิตร พร้อมติดตั้งมอเตอร์สำหรับการกวนสารละลายเข้าด้วยกันและชุดการปั่นและควบคุมความเร็ว



รูปที่ 3.5 กลไกการทำงานเครื่องต้นแบบในการผลิตผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส

3.2 สารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์

3.2.1 สารเคมี

1. เปลือกทุเรียนบดละเอียด
2. โซดาไฟ (NaoH)
3. แมลทิลแอลกอฮออล์ (Methanol)
4. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Iso Propyl Alcohol, IPA)
5. กรดโมโนคลอโรอะซิติก (Chloroacetic acid)
6. ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 50% (Hydrogen Peroxide 50%)

7. แอลทานอล

8. น้ำเปล่า

3.2.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์

3.2.1 ถังสำหรับการสกัดสารที่ 1 ที่เคลือบสารป้องกันการกัดกร่อนและทนความร้อนได้ ขนาด 25 ลิตร

3.2.1.1 ฮีตเตอร์ทำความร้อน (Heater) ขนาด 3000 วัตต์ พร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิจำนวน 1 ชุด

3.2.1.2 มอเตอร์สำหรับการกวนสารละลายเข้าด้วยกันพร้อมชุดควบคุมความเร็วในการทำงาน จำนวน 1 ชุด

3.2.1.3 ถังสำหรับกรองสารละลาย พร้อมติดตั้งแผ่นกรองสารละลายขนาด 80 Mesh จำนวน 2 แผ่น

3.2.2 ถังสำหรับการสกัดสารที่ 2 ที่เคลือบสารป้องกันการกัดกร่อนและทนความร้อนได้ ขนาด 25 ลิตร

3.2.2.1 มอเตอร์สำหรับการกวนสารละลายเข้าด้วยกันและชุดควบคุมความเร็วในการทำงาน จำนวน 1 ชุด

3.2.2.2 ถังสำหรับกรองสารละลาย พร้อมติดตั้งแผ่นกรองสารละลายขนาด 80 Mesh จำนวน 2 แผ่น

3.2.3 ตู้อบสารละลาย

3.2.4 เครื่องบดขนาด 1 กิโลกรัม ขนาดความละเอียด 50-300 Mesh

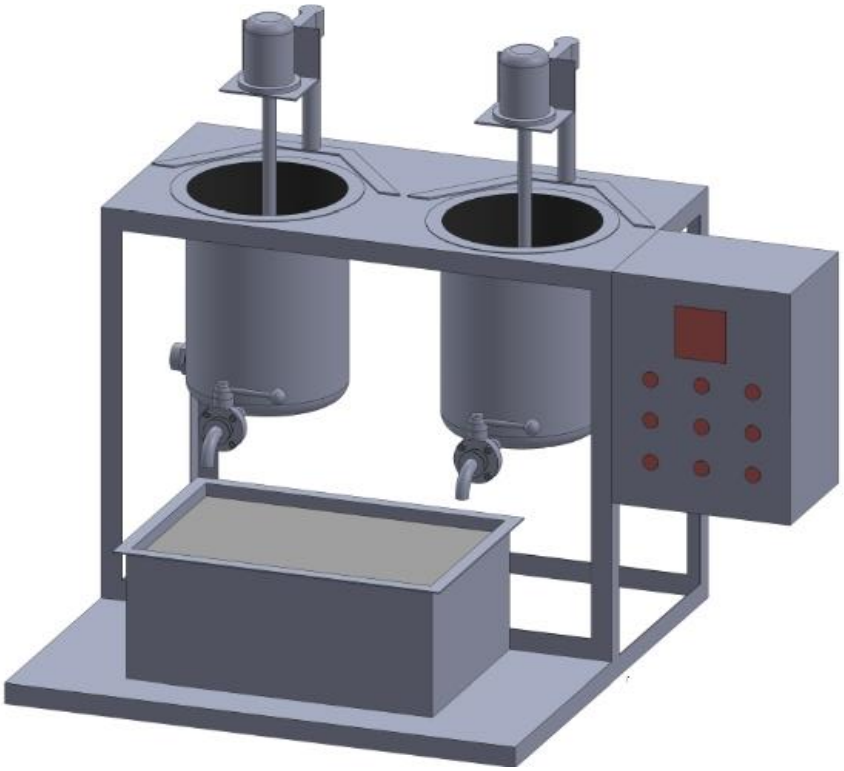
3.2.5 เครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในน้ำ

3.2.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบเครื่องต้นแบบ

ชนิดของสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ในการทดสอบต่อรอบการผลิต
1. เปลือกทุเรียนบดละเอียด	1 กิโลกรัม
2. โซดาไฟ (NaoH)	3 กิโลกรัม
3. แมลทิลแอลกอฮออล์ (Methanol)	2 ลิตร
4. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (Iso Propyl Alcohol, IPA)	9 ลิตร
5. กรดโมโนคลอโรอะซิติก (Chloroacetic acid)	360 กรัม
6. ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 50% (Hydrogen Peroxide 50%)	20 ลิตร
7. แอลทานอล	6 ลิตร

โดยถังต้มมีลักษณะเป็นภาชนะใส่ของเหลวภายในผลิตจากสเตนเลสเคลือบด้วยเทปล่อนทนต่อการกัดกร่อนและทนความร้อนสูง ภายในถังมีใบพัดสำหรับกวนสารละลายให้เข้ากันต่อเข้ากับชุดเกรียร์และมอเตอร์ขนาด 1 เฟส โดยมีชุดควบคุมความเร็วและแสดงผลภายในส่วนล่างสุดของถังต้มสำหรับการสกัดผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนยังมีชุดทำความร้อนชนิดที่จุ่มลงไปในน้ำ เชื่อมต่อกับชุดควบคุมอุณหภูมิและแสดงผลส่วนภายนอกถังประกอบด้วยก๊อกน้ำสำหรับการเดรนสารละลายที่แล้วเสร็จในแต่ละกระบวนการลงไปในถังกรองและดักจับสารสารละลายภายในถังดักสารละลายมีตะแกรงกรองสารละลายขนาด 80 Mesh ดังแสดงในรูปที่ 3.6

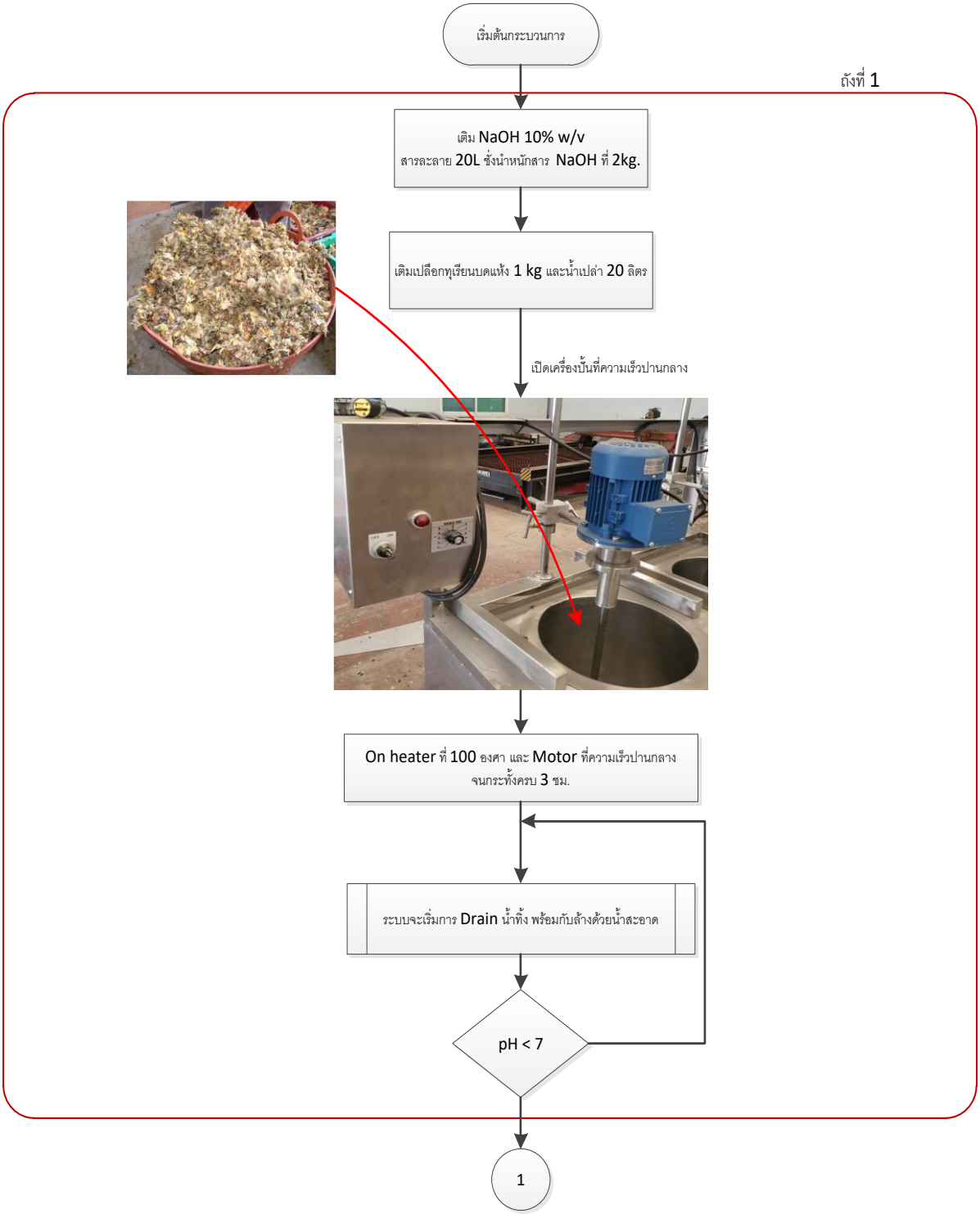


รูปที่ 3.6 ภาพ CAD ของเครื่องต้นแบบ

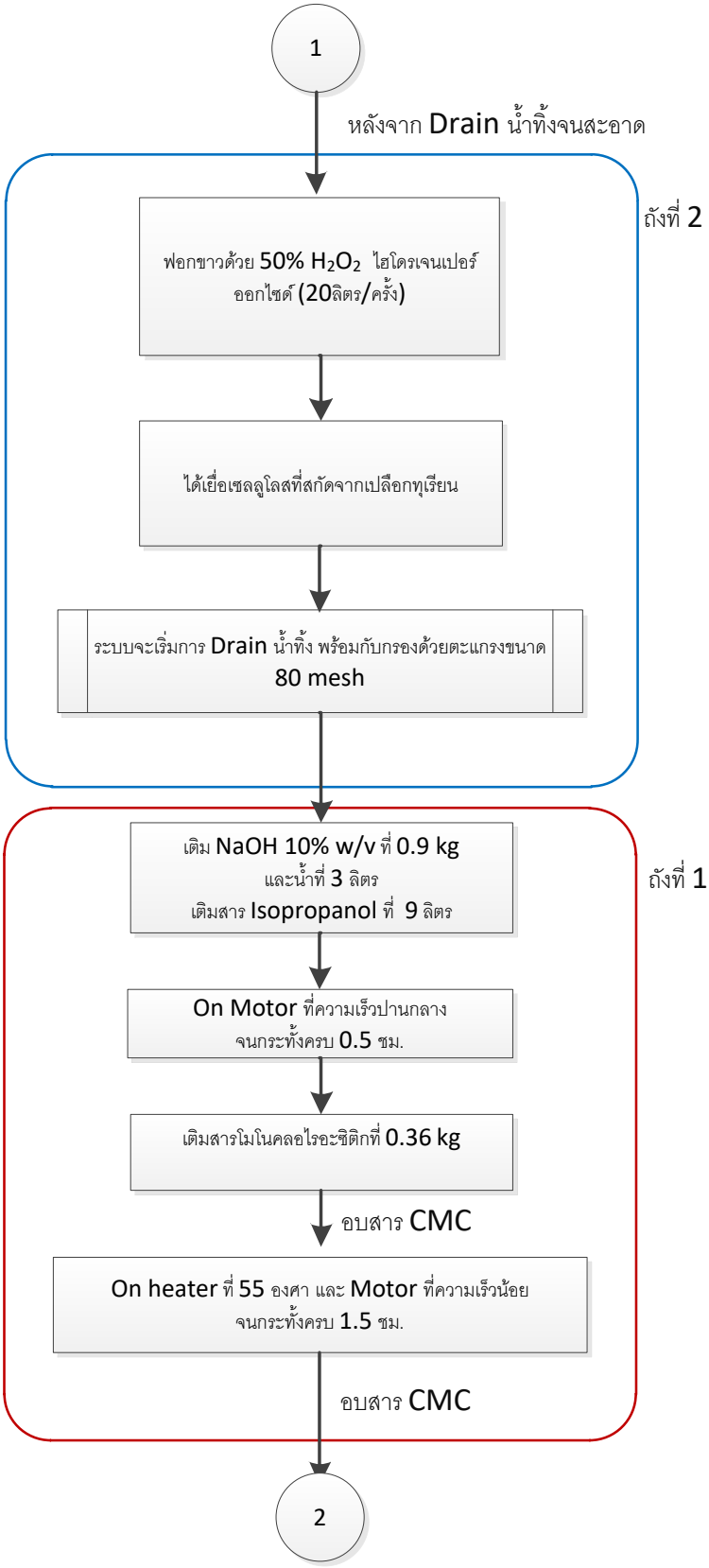
3.3 ขั้นตอนในการสกัดสารคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส

ขั้นตอนในการทำงานงานของเครื่องสกัดคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนที่มีเซลลูโลสด้วยกระบวนการสังเคราะห์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) โดยสามารถแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนหลักดังนี้ (1) ขั้นตอนการเตรียมการ : ตากแห้งทุเรียนหลังจากนั้นย่อยเป็นผงละเอียดขนาด 30 – 100 mesh (เครื่องบดขนาด 1 กิโลกรัม) (2) ขั้นตอนการสกัด: สกัดสารคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) แล้วทำการ Reflax เปลือกทุเรียน และเติมน้ำและต้มน้ำที่ระดับอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยทำการกวนด้วยมอเตอร์ขนาด 750 วัตต์ (3) ขั้นตอนการกรองสาร: เดรนน้ำทิ้งด้วยฟิลเตอร์ขนาด 80 mesh (4) ขั้นตอนการล้าง: ล้างการ

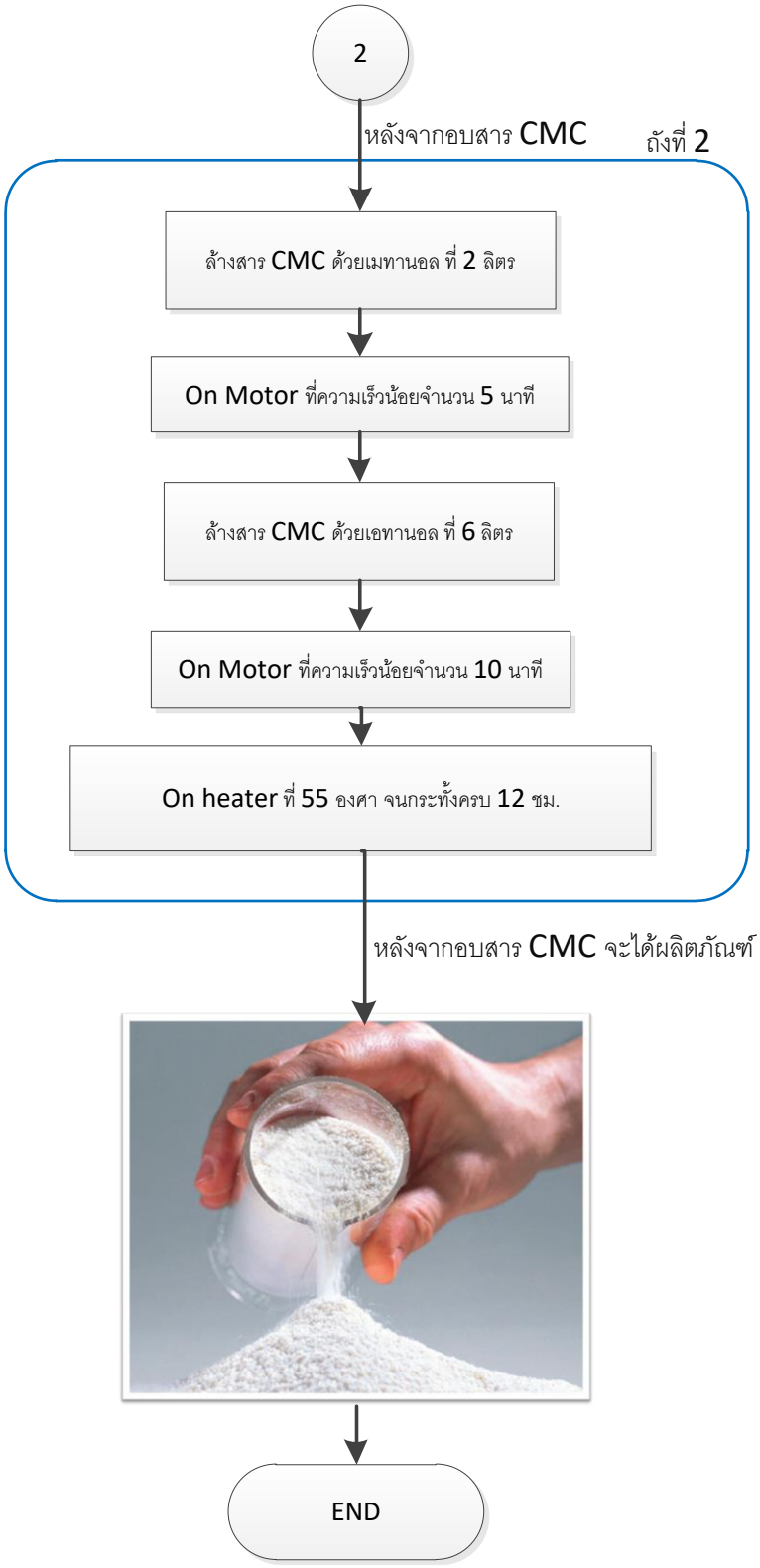
กรองด้วยน้ำและเติมน้ำกวนไปคล้ายการซักผ้า (5) ขั้นตอนการอบแห้งคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (CMC) ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ผังงานกระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส



รูปที่ 3.7 ผังงานกระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (ต่อ)



รูปที่ 3.7 ผังงานกระบวนการผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (ต่อ)

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การเตรียมการทดสอบเครื่องผลิตผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียน

ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของเครื่องผลิตผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) จากเปลือกทุเรียนกึ่งอัตโนมัติ ที่ได้สร้างขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 เครื่องต้นแบบในการผลิตผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

จากรูปที่ 4.1 ล้างเปลือกทุเรียนด้วยน้ำสะอาดและหั่นให้ได้ขนาด 10x3 เซนติเมตร^2 ก่อนนำไปตากแห้งจนแห้งสนิท หลังจากนั้นอบที่ 55 องศาทิ้งไว้ 12 ชม. นำไปปั่นด้วยเครื่องบดผงละเอียดในระดับ 30-200 meash ซึ่งจะได้ผงละเอียด จากนั้นเริ่มกระบวนรีฟลักซ์การสกัดเซลลูโลส โดยเติมน้ำสะอาดจำนวน 20 ลิตรลงไปในหม้อต้มขนาด 25 ลิตร เติมผงทุเรียนที่บดละเอียดแล้วจำนวน 1 กิโลกรัมเข้าไปแล้วต่อด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 %w/v ที่อุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียส ซึ่งจะได้ของเหลวหนืดสีดำ ที่มีเยื่อเลลูโลสแขวนลอยอยู่ จะกรองด้วยแผ่นกรองสเตรนเลสขนาด 80 mesh จะได้เยื่อเซลลูโลสของเปลือกทุเรียน นำเยื่อแขวนลอยที่ได้ไปล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆ รอบ ทั้งนี้กระบวนการสกัดเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน จะเริ่มจากขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบในการสกัดจากเปลือกทุเรียนด้วยการย่อยเป็นชิ้นเล็กๆ และตาก/อบแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.2 ขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบที่สกัดจากเปลือกทุเรียน

ในการทำบดละเอียดนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้สามารถสกัดเซลลูโลสให้ได้มากที่สุด จากการทดสอบพบว่าเปลือกทุเรียนเปียกที่มีน้ำหนัก 30 กิโลกรัม เมื่อผ่านการบดละเอียดแล้ว (50-300 Mesh) จะได้น้ำหนักแห้งเพียง 3 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.3 กล่าวคือในเปลือกทุเรียนสดมีน้ำเป็นองค์ประกอบมากถึงร้อยละ 90

รูปที่ 4.3 เครื่องบดแห้งแบบละเอียด ให้ได้ขนาดอนุภาคที่ระดับ 50-300 Mesh

4.2 การทดสอบเครื่องผลิตผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียน

เครื่องผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) จากเปลือกทุเรียนที่ซึ่งออกแบบมาให้มีลักษณะทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ ด้วยการสกัดเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน ก่อนนำเซลลูโลสที่ได้มาสังเคราะห์เป็นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน แบ่งเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : เริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบในการสกัดเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน ต้องทำการบดละเอียด (เพื่อทำให้สามารถสกัดเซลลูโลสให้ได้มากที่สุด) ด้วยเครื่องบดแห้งแบบละเอียดที่ระดับ 50-300 Mesh เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการบดแห้ง จะร่อนด้วยตะแกรงขนาด 200 Mesh ดังแสดงในรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.4 เปลือกทุเรียนที่ผ่านการบดละเอียด

ขั้นตอนที่ 2 : เปิดเครื่องสกัดผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในถังผสมสารละลายที่ 1 และเติมน้ำลงไปในถังผสมสารละลายที่ 1 จำนวน 20 ลิตร แล้วจึงใส่เปลือกทุเรียนที่บดแห้งละเอียดจำนวน 1 กิโลกรัม พร้อมคนให้เข้ากันจนกระทั้งเข้าที่ เปิดการทำงานของชุดการปั่นและควบคุมความเร็วที่ถังผสมสารละลายที่ 1 ในระดับความเร็วปานกลางจนสารละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน จึงเติมทยอยเติมโซดาไฟ (NaOH) เข้าไปทีละน้อยอย่างต่อเนื่อง จนครบน้ำหนัก 2 กิโลกรัม เมื่อเติมสารโซดาไฟ (NaOH) เสร็จ ให้กวนสารผสมที่ความเร็วรอบต่ำ แล้วจึงเปิดชุดทำความร้อนและชุดควบคุมอุณหภูมิ ในถังผสมสารละลายที่ 1 โดยเริ่มจากการตั้งค่าความร้อนที่ระดับ 1 ที่ 55-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วเพิ่มระดับความร้อนที่ 2 เป็น 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะเริ่มมีไอน้ำ จากนั้นเพิ่มความร้อนเป็น 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เปิดความเร็วของชุดการปั่นและควบคุมความเร็ว ที่ระดับสูง เนื่องจากของผสมจะมีความหนืดมาก โดยหากเกิดฟองขึ้นในระบบ ต้องลดระดับความร้อนลงและเพิ่มความเร็วของชุดการปั่นและควบคุมความเร็ว เมื่อของเหลวในถังผสมสารละลายที่ 1 เริ่มตกตะกอนเป็นสีดำละเอียด ให้ลดความเร็วรอบของชุดการปั่นและควบคุมความเร็ว ที่ความเร็วรอบ 10-20 รอบต่อนาที หลังจากนั้นทำการกรองเพื่อนำสารละลายทิ้ง ด้วยตะแกรงขนาด 80 Mesh เพื่อคัดแยกส่วนที่เป็นเซลลูโลสออกไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสต่อไป ถ้าสารละลายมีความเข้มข้นสูงให้ล้างด้วยน้ำเปล่า โดยของเหลวในถังผสมสารละลายที่ 1 จะตกตะกอนเป็นสีดำละเอียด และผงสารสกัดสีดำที่ได้จากเปลือกทุเรียนจะความหนืดสูง

รูปที่ 4.5 ติดตั้งใบกวนในถังที่ 1 และเปิดเครื่อง

รูปที่ 4.6 เติมน้ำลงไปในถังที่ 1 จำนวน 20 ลิตร

รูปที่ 4.7 ใส่เปลือกทุเรียนที่บดแห้งละเอียดจำนวน 1 กิโลกรัม พร้อมค้นให้เข้ากันจนกระทั้งเข้าที่

รูปที่ 4.8 เปิดการทำงานของมอเตอร์ที่ถังที่ 1 ในระดัความเร็วปานกลางจนของผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

รูปที่ 4.9 เติมสารโซดาไฟ 2 กิโลกรัม โดยที่จะต้องค่อยเติมสารเข้าไปทีละน้อย อย่างต่อเนื่องเพื่อป้องกันความร้อนที่มากเกินไปจากการการละลายของโซดาไฟในน้ำ

เมื่อเติมสารโซดาไฟ (NaOH) พร้อมกวนที่ความเร็วต่ำ ตามรูปที่ 4.10 แล้วจึงเปิด ฮีตเตอร์ทำความร้อน (Heater) ในถังที่ 1 โดยเริ่มจากการตั้งค่าความร้อนที่ระดับ 1 ที่ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5 ช.ม. แล้วเพิ่มระดับความร้อนที่ 2 เป็น 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5 ช.ม.

รูปที่ 4.10 เปิดฮีตเตอร์ทำความร้อน (Heater) ในถังที่ 1 จนกระทั้งเพิ่มความร้อนเป็น 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ช.ม.

รูปที่ 4.11 เพิ่มความร้อนเป็น 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ช.ม. จนเดือด ในขั้นตอนนี้ระดับของเหลวที่อยู่ในถังที่ 1 ต้องลดระดับลงกึ่งหนึ่งตามรูป

รูปที่ 4.12 เพิ่มความร้อนเป็น 96-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ช.ม. สารละลายจะเดือดและมีความเข้นข้นสูง โดยสภาวะนี้จะต้องเปิดความเร็วมอเตอร์ที่ระดับสูง เนื่องจากมีความหนืดมาก โดยหากเกิดฟองขึ้นในระบบต้องลดระดับความร้อนลงและเพิ่มความเร็วมอเตอร์ประกอบ

รูปที่ 4.13 ของเหลวในถังที่ 1 ที่ข้น และ มีตะกอนละเอียดสีดำ

- ปิดฮีตเตอร์ทำความร้อน (Heater) รอกระทั้งสารสะลายลดความร้อนลง โดยยังเปิดมอเตอร์ที่ความเร็วน้อยมาก หลังจากนั้นทำการนำถาดกรองสารละลายที่ระดับ 80 Mesh เพื่อคัดแยกส่วนที่เป็นของแข็ง ถ้าสารละลายมีความเข้มข้นสูงให้ล้างด้วยน้ำเปล่า ดังแสดงในรูปที่ 4.14 - 4.15

รูปที่ 4.14 ตะกอนละเอียดสีดำในถังที่ 1

รูปที่ 4.15 ตะกอนสีดำที่ได้จากเปลือกทุเรียนซึ่งมีความหนืดสูง

ขั้นตอนที่ 3 : นำสารแขวนลอยสีดำที่ได้ไปล้างด้วยน้ำเปล่าในถังผสมสารละลายที่ 2 เปิดชุดการปั่นและควบคุมความเร็ว ที่ความเร็วสูง หลังจากนั้นทำการนำถาดกรองสารละลายที่ระดับ 80 Mesh เพื่อคัดแยกส่วนที่เป็นของแข็งออกมา และทำซ้ำจนครบ 10 รอบ ล้างด้วยน้ำเปล่าในถังผสมสารละลายที่ 2 พร้อมเปิดชุดการปั่นและควบคุมความเร็วล้างสารละลาย โดยมีวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำที่ได้จากการล้างของข้งสีดำให้ได้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 7 ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับน้ำสะอาด เมื่อล้างด้วยน้ำเปล่าในถังผสมสารละลายที่ 2 จะได้ผงสารสกัดสีดำที่ล้างเรียบร้อยแล้ว ดังรูปที่ 4.16–4.18

รูปที่ 4.16 ล้างด้วยน้ำเปล่าในถังที่ 2 พร้อมเปิดมอเตอร์ปั่นกวนสารละลาย

รูปที่ 4.17 วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำที่ได้จากการล้างให้ได้ค่า ประมาณ 7

รูปที่ 4.18 ของแข็งสีดำที่ล้างเรียบร้อยแล้ว

ขั้นตอนที่ 4 : เริ่มกระบวนการฟอกขาวเซลลูโลสด้วยสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 50% (Hydrogen Peroxide 50%) โดยใช้สารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 17.5 กิโลกรัมต่อรอบ จำนวน 2 รอบ เริ่มกระบวนการฟอกขาวโดยนำของแข็งสีดำที่ล้างเรียบร้อยแล้ว ใส่ในถังผสมสารละลายที่ 2 แล้วเติมสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ หนัก 17.5 กิโลกรัม ปั่นกวนเบาๆ เป็นเวลา 30 นาที จึงไขน้ำทิ้ง จากนั้นเติมสารละลายไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์หนัก 17.5 กิโลกรัม อีกครั้ง ปั่นกวนเบาๆ เป็นเวลา 30 นาที จึงไขน้ำทิ้ง และกรองผลิตภัณฑ์ที่ฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ซึ่งก็คือเซลลูโลสที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน

รูปที่ 4.19 นำของแข็งสีดำที่ล้างแล้วใส่ในถังที่ 2

(a) รอบที่ 1 (b) รอบที่ 2

รูปที่ 4.20 นำผงสารสกัดสีดำที่ล้างแล้วใส่ในถังที่ 2 ฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ 50% 2 รอบ

รูปที่ 4.21 ผลิตภัณฑ์เซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียนที่ฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์

ขั้นตอนที่ 5 : เริ่มกระบวนการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) ซึ่งทำในถังผสมสารละลายที่ 1 โดยนำเซลลูโลสที่ฟอกขาวแล้วใส่ลงในถังผสมสารละลายที่ 1 ใส่น้ำเปล่า 3 ลิตร แล้วคนให้เข้าด้วยกัน หลังจากนั้นเปิดชุดการปั่นกวนและควบคุมความเร็ว ที่ความเร็วระดับปานกลางแล้วทิ้งไว้ 30 นาที แล้วจึงเติมโซดาไฟ (NaOH) จำนวน 0.9 กิโลกรัม ปั่นกวนทิ้งไว้ 30 นาที จนโซดาไฟละลายหมด จึงเติมกรดโมโนคลอโรอะซิติก (Chloroacetic acid) หนัก 360 กรัม และเปิดชุดทำความร้อนและควบคุมอุณหภูมิ ที่ 55 องศาเซลเซียส กวนให้เข้ากันที่ความเร็วปานกลาง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

รูปที่ 4.22 นำเซลลูโลสที่ฟอกขาวแล้วใส่ลงในถังที่ 1 เติมน้ำเปล่า 3 ลิตร

รูปที่ 4.23 เติมโซดาไฟ (NaOH) น้ำหนัก 0.9 กิโลกรัม กวนทิ้งไว้ 30 นาที

1. หลังจากนั้นเติมกรดโมโนคลอโรอะซิติกขนาด 360 กรัม และเปิด ฮีตเตอร์ทำความร้อน (Heater) ที่ 55 องศาเซลเซียส กวนให้เข้ากันทิ้งไว้ 2 ช.ม.

รูปที่ 4.24 เติมกรดโมโนคลอโรอะซิติก 360 กรัม และเปิด ฮีตเตอร์ทำความร้อน
ที่ 55 องศาเซลเซียส กวนให้เข้ากันทิ้งไว้ 2 ช.ม.

รูปที่ 4.25 เปิดฮีตเตอร์ทำความร้อน ที่ 55 องศาเซลเซียส กวนที่ความเร็วปานกลางให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 2 ช.ม.

รูปที่ 4.26 การกรอง CMC โดยใช้ตะแกรง 80 Mesh

ขั้นตอนที่ 6 : กรองผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) ที่สกัดจากเปลือกทุเรียนออกจากสารละลายโซดาไฟ ด้วยตะแกรงร่อนขนาด 80 Mesh หลังจากนั้นล้างสารผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) ด้วยเมทานอล หรือ แมลทิลแอลกอฮออล์ (Methanol) ปริมาตร 6 ลิตร 2 ครั้ง แล้วกรอง และนำผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะแห้งสนิท

รูปที่ 4.27 ล้างผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) ด้วยเมทานอล 2 รอบ โดยแต่ละรอบใช้เมทานอลปริมาตร 6 ลิตร

รูปที่ 4.28 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) หลังจากล้างด้วยเมทานอล

รูปที่ 4.29 อบสารผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.30 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) หลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

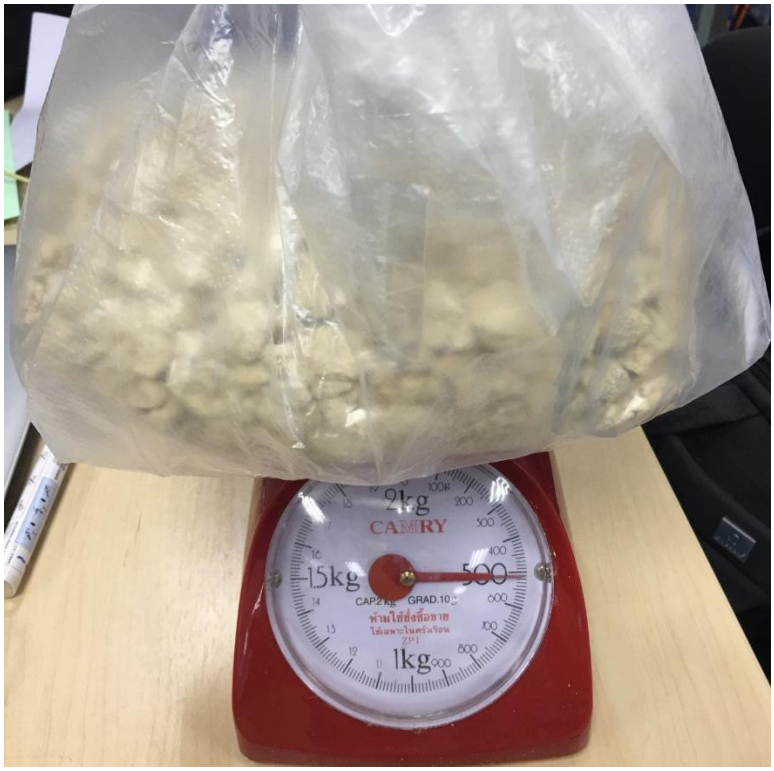
รูปที่ 4.31 การละลายของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) ในน้ำสะอาด

4.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียน

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียน คำนวณหาร้อยละของผลิตภัณฑ์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยใช้สมการที่ 4.1

$$Yield\ of\ CMC(\%) = \frac{Weight\ of\ CMC\ (g) x100}{Weight\ of\ durian\ rind(g)} \quad (4.1)$$

โดยที่ Weight of CMC หมายถึง น้ำหนักของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สกัดจากเปลือกทุเรียนหลังจากอบแห้งแล้ว (ดังแสดงในรูป 4.32) และ Weight of durian rind หมายถึง น้ำหนักของเปลือกทุเรียนที่บดเป็นผงละเอียดแล้ว



รูปที่ 4.32 ผลิตภัณฑ์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) ที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในงานวิจัยนี้ เมื่อใช้น้ำหนักของเปลือกทุเรียนที่บดเป็นผงละเอียดแล้ว 1 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณหาร้อยละของผลิตภัณฑ์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

รายการที่นำมาใช้ในการคำนวณ	ผลการทดสอบที่ได้
น้ำหนักของเปลือกทุเรียนแห้งบดละเอียด (Weight of Cellulose)	1 กิโลกรัม
น้ำหนักคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Weight of Carboxymethyl Cellulose (CMC))	0.5 กิโลกรัม
ประสิทธิภาพของการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนแห้ง	50%

บทที่ 5

สรุป

5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบกระบวนการและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนแบบกึ่งอัตโนมัติ ด้วยกระบวนการสังเคราะห์คาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนซึ่งอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีได้แก่ Alkalization และ Etherification ในการทดลองผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน พบว่าต้องมีการปรับค่าพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการต้นแบบ อาทิ อุณหภูมิ ความเร็วรอบการปั่นกวน เวลา ขนาดอนุภาคผงเปลือกทุเรียนแห้ง ความเข้มข้น และปริมาณสารเคมี เป็นต้น สุดท้ายได้ทำการทดสอบความสามารถในการผลิตของเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน พบว่าผลิตภัณฑ์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ได้มีค่าเท่ากับร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ของผงเปลือกทุเรียนแห้ง ดังนั้นกระบวนการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และเครื่องต้นแบบสำหรับผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่เป็นผลผลิตจากงานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางที่จะนำไปพัฒนาต่อยอดให้เป็นกระบวนการในระดับอุตสาหกรรมต่อไปได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากแนวทางในการพัฒนาดังกล่าว กลุ่มผู้วิจัยมีมุมมองในการพัฒนาองค์ความรู้ที่ได้จากการสร้าง การทดสอบ และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบ ซึ่งพบว่ามีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อความสามารถและข้อจำกัดประสิทธิภาพในระดับอุตสาหกรรมต่อไป อาทิเช่น กลไกการทำงานเครื่องต้องเป็นระบบปิด (Closed loop control) และทำงานแบบอัตโนมัติ ตั้งแต่กระบวนการล้าง การสกัด การผสมสารเคมีต่างๆ รวมถึงกระบวนการอบผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ซึ่งทำให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดีเพิ่มขึ้น เป็นต้น จากการทดสอบยังชี้ให้เห็นถึงขั้นตอนต่างๆ ที่ต้องมีการปรับค่าพารามิเตอร์ เช่น พารามิเตอร์เกี่ยวกับปริมาณ และความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ตลอดจนการทำผลิตภัณฑ์ให้บริสุทธิ์ ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งาน เพื่อให้กระบวนการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

เอกสารอ้างอิง

1. Holm, V.K. (2010) “Shelf life of foods in biobased packaging” In Food Packaging and Shelf Life: A Practical Guide, Edited by G. L. Robertson, CRC Press, Florida.
2. Khemkaew, S. and Kaewpirom, S. (2016) “Effects of Glycerol and PEG-10 dimethicone on Properties of Biofilm from Durian rind” Journal of Industrial Technology, 12, 11-21.
3. สุปราณี แก้วภิรมย์. การสังเคราะห์ฟิล์มชีวภาพจากเปลือกทุเรียน: ผลของสารเติมแต่งบางชนิดต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล. รายงานฉบับสมบูรณ์ ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยจากมหาวิทยาลัยบูรพา ประเภทงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) 2559 (เพิ่มเติม) มหาวิทยาลัยบูรพา.
4. Kamthai, S. Magaraphan, R. (2017) “Mechanical and barrier properties of spray dried carboxymethyl cellulose (CMC) film from bleached bagasse pulp” Industrial Crops and Products, 109, 753-761.
5. www.grandviewresearch.com (carboxymethyl-cellulose-cmc-market)
6. Zhang, X., Xiao, G., Wang, Y., Zhao, Y., Su, H. and Tan, T. (2017) “Preparation of chitosan-TiO2 composite film with efficient antimicrobial activities under visible light for food packaging applications” Carbohydrate Polymers, 169, 101-107.
7. รานี สุวรรณพฤกษ์ และสุธาทิพย์ ศิริไพศาลพิพัฒน์. (2529). การผลิตโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวา. ใน การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 24 (หน้า 471-478). กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
8. พรชัย ราชตนะพันธุ์, สุพัฒน์ คำไทย, นรีวิชญ์ ยากี และรัญชิดา อุทัยยศ. (2550). การผลิตฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากจากเปลือกมะละกอและคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์ม. ใน การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 45 (หน้า 790-799). กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
9. ณัฏฐ์ธวดี จินาพันธุ์, เจิมขวัญ สังข์สุวรรณ, สุทธิรา สุทธสุภา และสุฐพัศ คำไทย. (2555). คุณสมบัติของฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเยื่อฟางข้าว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 43(3), 616-620.
10. Adinugraha, M.P., Marseno, D.W., and Haryadi, (2005) “Synthesis and characterization of sodium carboxymethylcellulose from Cavendish banana pseudo stem (Musa cavendishii LAMBERT) ,” Carbohydrate Polymers, 62, 164-169.
11. Rachatanapun, P. and Rattanapanone, N. (2011) “Synthesis and characterization of carboxymethylcellulose powder and films from mimosa pigra. Journal of Applied Polymer Science, 122, 3218-3226.
12. Su, J.F., Yuan, X.Y., Wanga, X.Y., and Li, M. (2009) “Structure and properties of carboxymethylcellulose/soy protein isolated blend edible films crosslinked by Millard reactions. Carbohydrate Polymers, 79, 145-153.

13. Shekarabi, A.S. Oromiehie, A.R. ,Vaziri, A., Ardjmand, M. and Safekordi, A.A. (2014) “Effect of Glycerol Concentration on Physical Properties of Composite Edible Films Prepares from Plums Gum and Carboxymethycellulose”, Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences 4, 1241-1248.
14. ปิยพร ร่มแสง, มัตติกา ไชยลังกา, รังสรรค์ กุนสะนา, วิชชากร กันทรัญ, อนุวัฒน์ โรจน์สินทรัพย์, และนพพล เล็กสวัสดิ์ (2555). CMC biopolymer. สาขาวิศวกรรมกระบวนการอาหาร, สำนักวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
15. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิติยา รัตนาปนนท์ (2555), เซลลูโลส วันที่สืบค้นข้อมูล 16 มกราคม 2561. เข้าถึงได้จาก www.foodnetworksolution.com/wiki/work/0612/cellulose-เซลลูโลส
16. www.niklacell.com
17. ศิริพร เต็งรัง (2558). วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์. กรมวิชาการเกษตร.
18. Rizal, S. Rizal, M., Halim, M.M. (2017). “Effects of beating on the characteristics of malaysian durian (Durio zibethinus murr.) rind chemi-mechanical (CMP) pulp and paper”, Jurnal Teknologi, 80(2), 9–17.
19. www.cpkelco.com
20. Shui, T., Feng, S., Chen, G., Li, A., Yuan, Z., Shui, H., Kuboki, T., Xu, C. (2017). “Synthesis of sodium carboxymethyl cellulose using bleached crude cellulose fractionated from cornstalk” Biomass and Bioenergy 105, 51-58.
21. https://celluloseether.com/manufacturing-process-of-carboxymethylcellulose/
22. https://celluloseether.com/standards-for-sodium-carboxymethylcellulose-polyanionic-cellulose/
23. Svetlov, S.A. Design of Sodium Carboxymethyl Cellulose Processing Hardware. Chem Petrol Eng 55, 439–443 (2019). https://doi.org/10.1007/s10556-019-00643-4
24. www.chinasigmamixer.com

ผลผลิต (Output)

ผลงานเชิงประจักษ์

- เครื่องต้นแบบผลิตผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) จากเปลือกทุเรียน
- กระบวนการและวิธีการผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) จากเปลือกทุเรียนที่สามารถนำไปต่อยอดเชิงอุตสาหกรรม
- ร่างคำขอจดสิทธิบัตรการประดิษฐ์ เรื่อง เครื่องผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) จากเปลือกทุเรียน (อยู่ระหว่างดำเนินการเขียนร่างคำขอจดจดสิทธิบัตรการประดิษฐ์ร่วมกับหน่วยทรัพย์สินทางปัญญา สำนักบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยบูรพา)

ภาคผนวก

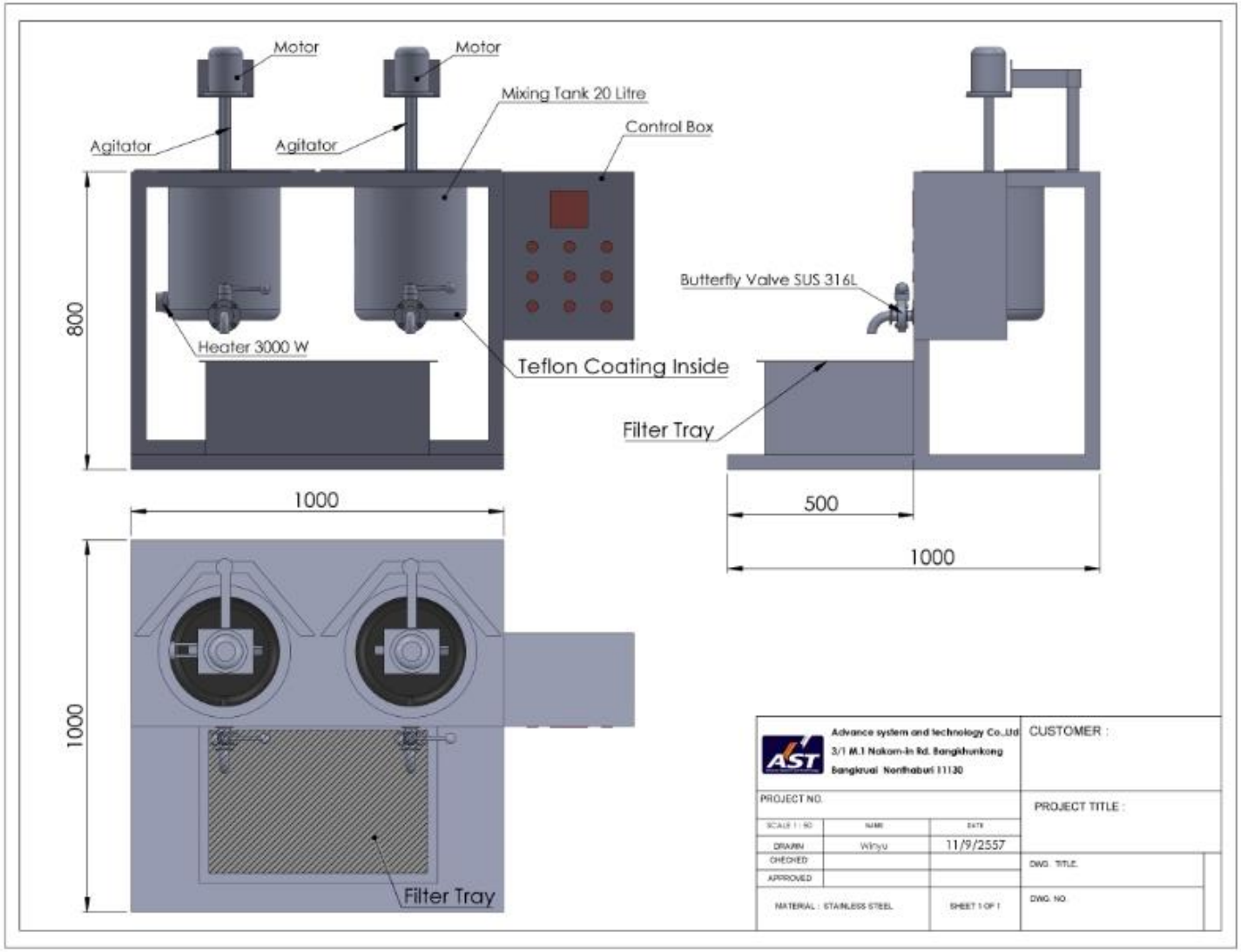
ก. การออกแบบเครื่องต้นแบบผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) จากเปลือกทุเรียน

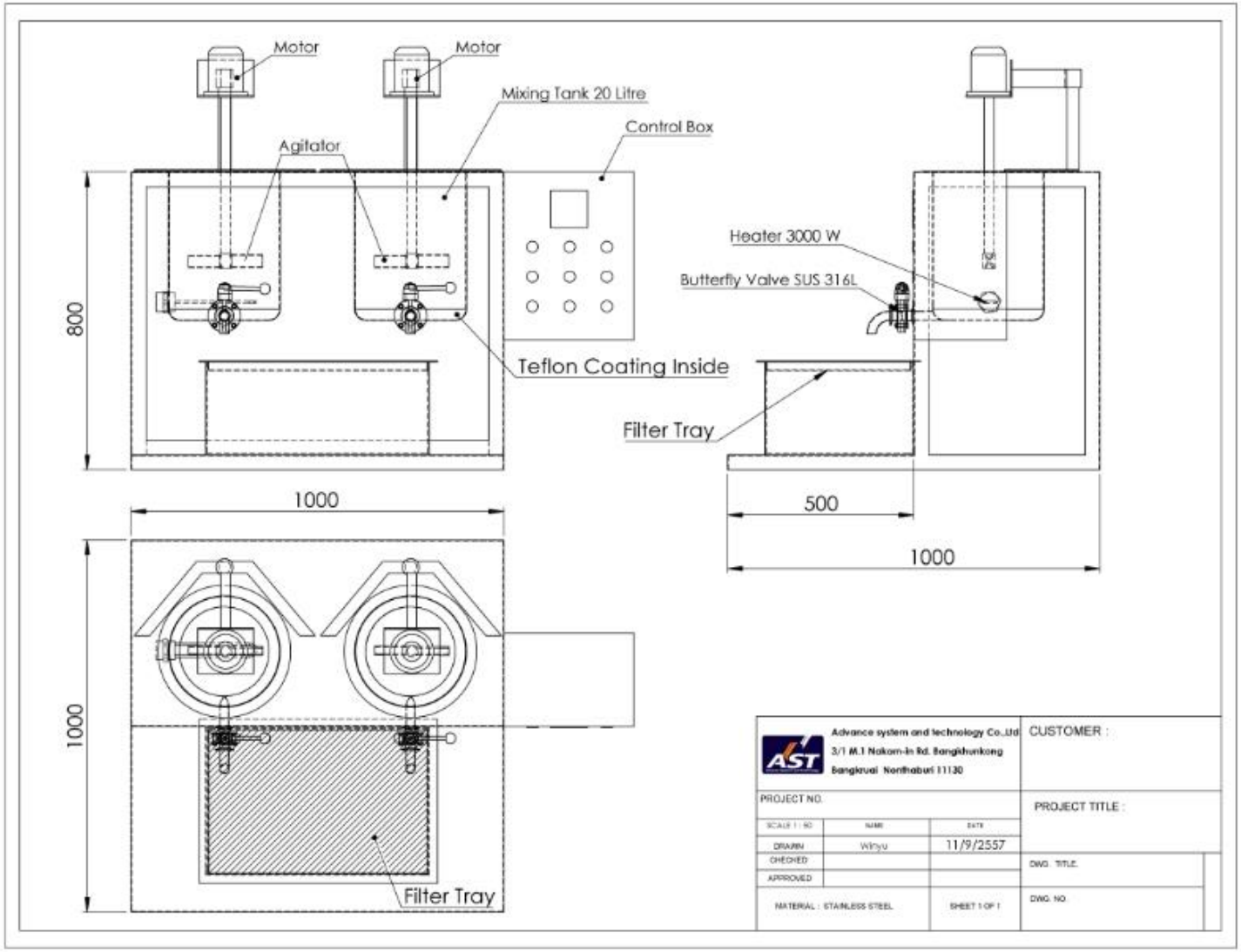
ข. ส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) จากเปลือกทุเรียน

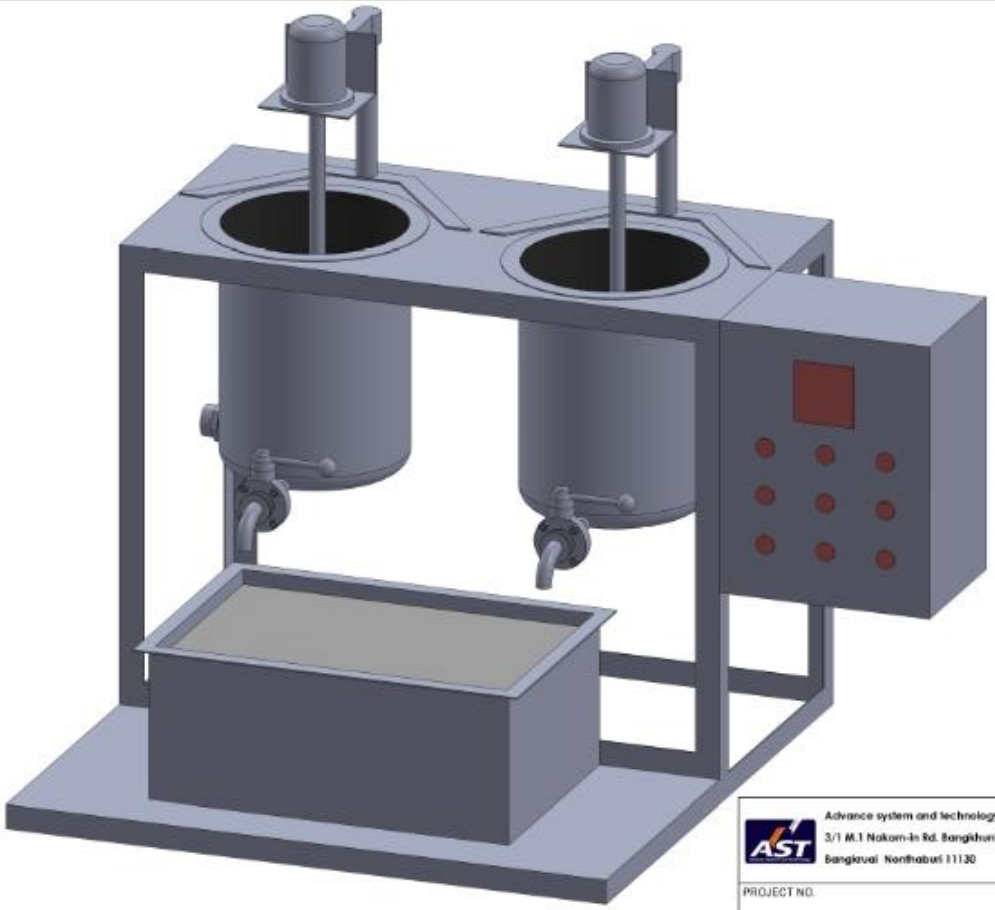
ค. การถ่ายทอดเทคโนโลยีผ่านการอบรมสัมมนา

ภาคผนวก ก

การออกแบบเครื่องต้นแบบผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) จากเปลือกทุเรียน


Motor
Motor
Mixing Tank 20 Litre
Control Box
Agitator
Agitator
800
Heater 3000 W
Teflon Coating Inside
Butterfly Valve SUS 316L
Filter Tray
500
1000
1000
1000
Filter Tray
Advance system and technology Co.,Ltd
3/1 M.1 Nakorn-in Rd. Bangkhunkong
Bangkruai Nonthaburi 11130
CUSTOMER :
PROJECT NO.
PROJECT TITLE :
SCALE 1 : 10
NAME
DATE
DRAWN
Winyu
11/9/2557
CHECKED
APPROVED
DWG. TITLE
MATERIAL : STAINLESS STEEL
SHEET 1 OF 1
DWG. NO.


Motor
Motor
Mixing Tank 20 Litre
Control Box
Agitator
800
Teflon Coating Inside
Heater 3000 W
Butterfly Valve SUS 316L
Filter Tray
500
1000
1000
1000
Filter Tray
Advance system and technology Co.,Ltd
3/1 M.1 Nakorn-In Rd. Bangkhunkong
Bangkruai Nonthaburi 11130
CUSTOMER :
PROJECT NO.
PROJECT TITLE :
SCALE 1 : NO
NAME
DATE
DRAWN
Winyu
11/9/2557
CHECKED
APPROVED
DWG. TITLE.
MATERIAL : STAINLESS STEEL
SHEET 1 OF 1
DWG. NO.



Advance system and technology Co.,Ltd 3/1 M.1 Nakorn-in Rd. Bangkhunkong Bangkruai Nonthaburi 11130			CUSTOMER :
PROJECT NO.			PROJECT TITLE :
SCALE 1 : NO	NAME	DATE	
DRAWN	Winyu	11/9/2557	
CHECKED			DWG. TITLE.
APPROVED			
MATERIAL : STAINLESS STEEL		SHEET 1 OF 1	DWG. NO.

ภาคผนวก ข

ส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบผลิตคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) จากเปลือกทุเรียน

เครื่องต้นแบบในการผลิตผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose (CMC)) จากเปลือกทุเรียนที่ได้สร้างขึ้น

รายการส่วนประกอบของเครื่อง

1. เครื่องต้นแบบในการผลิตผงคาร์บอกซี่เมทิลเซลลูโลส ประกอบด้วย
   1.1 ถังสำหรับการสกัดสารที่ 1 ที่เคลือบสารป้องกันการกัดกร่อนและทนความร้อนได้ ขนาด 25 ลิตร
      1.1.1 ฮีตเตอร์ทำความร้อน (Heater) จำนวน 1 ตัว

      1.1.2 มอเตอร์สำหรับการกวนสารละลายเข้าด้วยกันและชุดควบคุมความเร็วในการทำงาน จำนวน 1 ตัว

1.1.3 ชุดควบคุมอุณหภูมิของระบบ

1.1.4 ตะแกรงกรองสารละลาย

1.1.5 ถังสำหรับกรองสารละลาย พร้อมติดตั้งแผ่นกรองสารละลายขนาด 80 Mesh จำนวน 2 แผ่น

1.2 เครื่องบด ที่ขนาดละเอียด 50-300 Mesh

1.3 ถังสำหรับการสกัดสารที่ 1 ที่เคลือบสารป้องกันการกัดกร่อนและทนความร้อนได้ ขนาด 25 ลิตร

1.3.1 มอเตอร์สำหรับการกวนสารละลายเข้าด้วยกันและชุดควบคุมความเร็วในการทำงาน จำนวน 1 ตัว

1.3.2 ตะแกรงกรองสารละลาย

1.3.3 ถังสำหรับกรองสารละลาย พร้อมติดตั้งแผ่นกรองสารละลายขนาด 80 Mesh จำนวน 2 แผ่น

1.4 ตู้อบ

1.3 เครื่องมือวัดค่า pH ในน้ำแบบจุ่ม

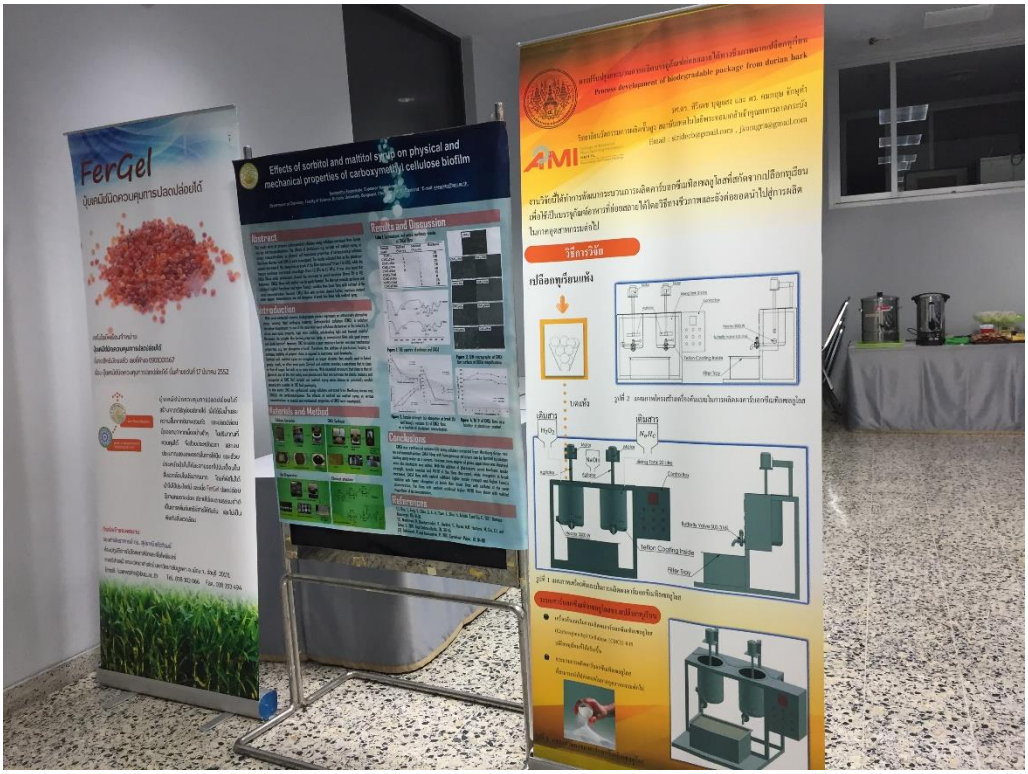
1.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก

ภาคผนวก ค

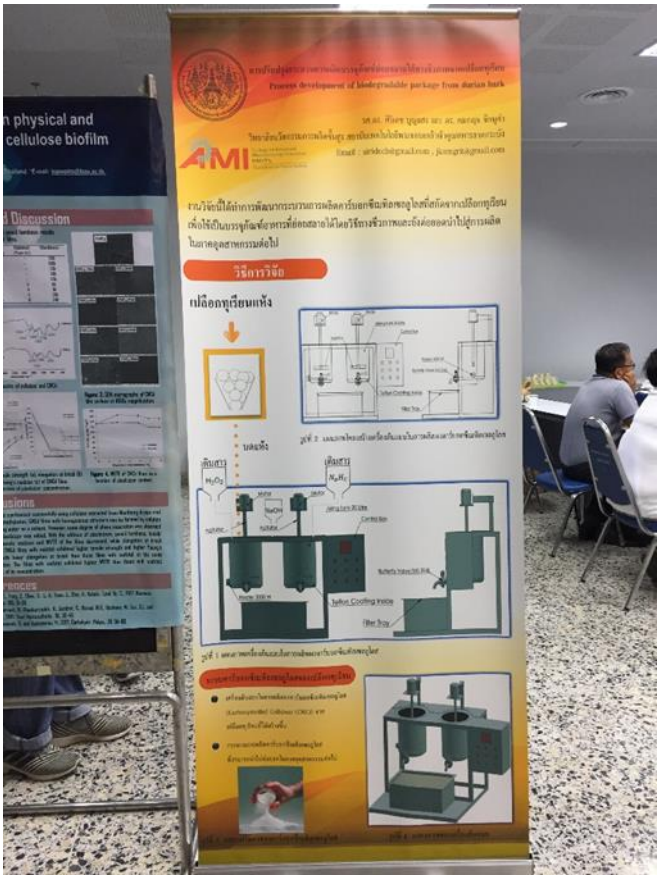
การถ่ายทอดเทคโนโลยีผ่านการอบรมสัมมนา

ภาพบรรยากาศในงานอบรม/สัมมนา ไบโอพลาสติก...จากต้นน้ำสู่ปลายน้ำ วันศุกร์ ที่ ๑๙ กรกฎาคม ๒๕๖๒ เวลา ๘.๓๐ ถึง ๑๖.๓๐ น. ณ ห้อง CL-203 อาคารปฏิบัติการพื้นฐานและศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ. ชลบุรี

ไบโอพลาสติก จากต้นน้ำ.....สู่ปลายน้ำ
วันศุกร์ ที่ 19 กรกฎาคม 2562 เวลา 8.30 - 16.30 น.
ณ ห้อง CL-203 อาคารปฏิบัติการพื้นฐานและศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา


FerGel
Effects of sorbitol and maltitol syrup on physical and mechanical properties of carboxymethyl cellulose biofilm
Abstract
Introduction
Materials and Method
Results and Discussion
References
Process development of biodegradable package from durian bark
AMI
วิธีการวิจัย
เปลือกทุเรียนแห้ง

AMI
วิธีการวิจัย
เปลือกทุเรียนแห้ง


physical and
cellulose biofilm
Discussion
AMI
วิธีการวิจัย
เปลือกทุเรียนแห้ง

BioPot