

# การสกัดเซลล์โลสและการเตรียมฟิล์มเซลล์โลสจากแคโรท



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภา  
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุ  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2563

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# Cellulose Extraction and Preparation of Cellulose Film from Carrot



A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE  
DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
SCHOOL OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2020

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**SCHOOL OF ENGINEERING**

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การสกัดเซลลูโลสและการเตรียมฟิล์มเซลลูโลสจากแครอต  
โดย นายรัฐพงศ์ จงเจริญ  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อภินันท์ นัมคณิสร์ณ  
ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.อภินันท์ นัมคณิสร์ณ)



กรรมการ

(รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ)



กรรมการ

(ดร.นริศรา ทองบุญชู)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การสกัดเซลลูโลสและการเตรียมฟิล์มเซลลูโลสจากแครอต
โดย	นายณัฐพงศ์ จงเจริญ
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. อภินันท์ นัมคณิสสรณ์

## บทคัดย่อ

การศึกษาวัสดุทางเลือกที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติเป็นหนึ่งในแนวทางที่ช่วยในการลดปัญหาการจัดการขยะพลาสติกที่น่าสนใจ โดยผู้วิจัยทำการศึกษากการสกัดเซลลูโลสจากแครอต ซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรและนำมาขึ้นรูปฟิล์มเพื่อศึกษาสมบัติของฟิล์มที่เตรียมได้ในการศึกษานี้ ทำการสกัดเซลลูโลสจากแครอตโดยเริ่มต้นนำแครอตมาล้างด้วยน้ำร้อนเพื่อทำการขจัดสิ่งสกปรกตามด้วยขั้นตอนการปรับสภาพด้วยสารฟอกขาวและสารละลายอัลคาไลน์ตามลำดับ การปรับสภาพขั้นต้นทำเพื่อกำจัดส่วนที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกซึ่งประกอบด้วยลิกนินและเฮมิเซลลูโลส หลังจากนั้นนำมาสกัดเซลลูโลสโดยใช้วิธีการไฮโดรไลซิสด้วยกรด พบว่าเซลลูโลสที่สกัดได้มีร้อยละของผลได้เฉลี่ยเท่ากับ 37.63 หลังจากนั้นนำเซลลูโลสที่เตรียมได้จำนวน 5 กรัม มาเตรียมฟิล์ม พบว่าฟิล์มที่ได้มีสีขาวขุ่นลักษณะแห้ง ผิวขรุขระ และแตกหักได้ง่าย จากสมบัติข้างต้นฟิล์มที่ผลิตได้ยังไม่เหมาะสมแก่การใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ จึงควรปรับปรุงสมบัติของฟิล์มโดยการเติมกลีเซอรอลเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์ม ข้อเสนอแนะควรทดสอบสมบัติต่างๆ เพื่อการใช้งานต่อไปของฟิล์มเซลลูโลส ได้แก่ การศึกษาโครงสร้างด้วย FTIR ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วย SEM การทดสอบสมบัติเชิงกล และอัตราเร็วในการสลายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

<b>Project Title</b>	Cellulose Extraction and Preparation of Cellulose Film from Carrot
<b>By</b>	Mr. Natthapong Jongcharoen
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering
<b>Program</b>	Chemical Engineering
<b>Year</b>	2020
<b>Advisor</b>	Asst.Prof.Dr.Apinan Namkanisorn

## Abstract

Biodegradable material is an alternative way for plastic waste management. This work involved cellulose extraction from carrot, an agricultural product, then the cellulose solution was cast to make thin films. The carrots were initially washed with hot water to remove impurities, followed by pretreatment with bleach and alkaline solutions, respectively. The pretreatment removed the lignin and hemicellulose from the carrot. After the pretreatment, the cellulose was extracted from the carrots by acid hydrolysis. The percent yield of the extracted cellulose is 37.63. Five grams of the resulting cellulose was cast to make a cellulose film. The appearance of the film is dry, rough surface, and brittle. These properties imply that the film is not suitable for packaging application. To improve the ductility of the film, glycerol should be added into the solution before film casting. Recommendation of future study in using the film for packaging application, the film properties should be investigated, for example, cellulose structure by FTIR, film morphology by SEM, mechanical properties, and film biodegradability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and <sup>II</sup> cite the document when use.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปด้วยดีโดยได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. อภินันท์ นัมคณิสสรณ์ ที่คอยให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ จึงทำให้การทำงานวิจัยในครั้งนี้เป็นไปอย่างราบรื่นและสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ และ ดร.นริศรา ทองบุญชู คณะกรรมการตรวจปริญญาานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำในการสอบปริญญาานิพนธ์ และตรวจปริญญาานิพนธ์ทำให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณะอาจารย์ ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้คำปรึกษาคอยอบรมสั่งสอน และถ่ายทอดวิชาความรู้ทางวิศวกรรม

ขอขอบคุณ คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่วิจัยของภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือให้ คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์วิธีการใช้อุปกรณ์อีกทั้งยังช่วยเหลืองานช่างและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเคมี

ขอขอบคุณ คุณพิมพ์ใจ ภูชนะกิจ เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไปของภาควิชาวิศวกรรมเคมี ดำเนินงานด้านเอกสารต่างๆ เอกสารขอใช้เครื่องมือในการดำเนินงานปริญญาานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมอาจารย์ที่ปรึกษาและเพื่อนภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกคนที่เป็นกำลังใจ และคอยให้ความช่วยเหลือทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวที่คอยอบรมสั่งสอน สนับสนุนการศึกษา รวมถึงผู้เกี่ยวข้องที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

นัฐพงศ์ จงเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and <sup>III</sup> cite the document when use.

# สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 ลิเทียมเซลลูโลส.....	3
2.2 เซลลูโลส.....	3
2.3 นาโนเซลลูโลส.....	4
2.3.1 นาโนเซลลูโลสแบบผลึก.....	4
2.3.2 เส้นใยนาโนเซลลูโลส.....	5
2.3.3 นาโนเซลลูโลสจากแบคทีเรีย.....	5
2.4 การสกัดนาโนเซลลูโลส.....	5
2.4.1 การปรับสภาพโดยใช้สารละลายอัลคาไลน์.....	6
2.4.2 การปรับสภาพโดยใช้สารฟอกขาว.....	6
2.4.3 การสกัดนาโนเซลลูโลสโดยใช้กรดไฮโดรไลซิส.....	6
2.5 การนำนาโนเซลลูโลสไปใช้ประโยชน์.....	7
2.5.1 ฟิล์มจากเซลลูโลส.....	7
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
<b>บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....</b>	<b>11</b>
3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	11
3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในวงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ผู้ที่นำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	12
3.3.1 การสกัดเซลลูโลสจากแครอท.....	12
3.3.2 การเตรียมฟิล์มจากเซลลูโลสที่สกัดได้จากแครอท.....	13
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....</b>	<b>14</b>
4.1 การปรับสภาพและสกัดเซลลูโลสจากแครอท.....	14
4.1.1 การปรับสภาพแครอทด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	14
4.1.2 การปรับสภาพแครอทด้วยสารละลายอัลคาไลน์.....	14
4.1.3 การสกัดเซลลูโลสโดยใช้กรดไฮโดรไลซิส.....	15
4.2 ฟิล์มจากเซลลูโลสที่สกัดได้จากแครอท .....	16
4.3 ข้อเสนอแนะในการทดสอบสมบัติต่างๆของฟิล์ม.....	17
4.3.1 การยืนยันโครงสร้างเซลลูโลสด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์.....	17
4.3.2 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของฟิล์ม.....	18
4.3.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์ม.....	18
4.3.4 การวิเคราะห์การย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ.....	18
<b>บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>20</b>
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	20
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	20
บรรณานุกรม.....	21
ภาคผนวก.....	22
ภาคผนวก ก.....	24
ภาคผนวก ข.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของผนังเซลล์พืช .....	3
รูปที่ 2.2 โมเลกุลของเซลลูโลส .....	4
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสกัดนาโนเซลลูโลสจากลิกโนเซลลูโลส.....	6
รูปที่ 2.4 วิธีการสกัดนาโนเซลลูโลสผลึก .....	7
รูปที่ 2.5 ซองฟิล์มบรรจุภัณฑ์จากเซลลูโลส .....	8
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการปรับสภาพแคโรทด้วยสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ก) ของเหลวก่อนการปรับสภาพ (ข) ของเหลวหลังการปรับสภาพ (ค) ของแข็งหลังการปรับสภาพ .....	14
รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการปรับสภาพแคโรทด้วยสารไฮเดียมไฮดรอกไซด์ (ก) ของเหลวก่อนการปรับสภาพ (ข) ของเหลวหลังการปรับสภาพ (ค) ของแข็งหลังการปรับสภาพ .....	15
รูปที่ 4.3 การสกัดเซลลูโลสโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก (ก) ของเหลวก่อนการสกัด (ข) ของเหลวหลังการสกัด (ค) ผงเซลลูโลสที่ได้หลังจากการอบแห้ง .....	15
รูปที่ 4.4 ฟิล์มเซลลูโลสที่เตรียมได้ (ก) ฟิล์มเซลลูโลส (ข) ฟิล์มเซลลูโลสที่เกิดการแตกหัก.....	16
รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์โครงสร้างของเปลือกทุเรียนด้วยเทคนิค FTIR.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and <sup>VI</sup> cite the document when use.

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.1 ร้อยละผลได้ (Percent Yield).....	16
ตารางที่ 4.2 ลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทดลอง.....	16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and <sup>VII</sup> cite the document when use.

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ [1]

พอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Polymers) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี พอลิเมอร์สังเคราะห์เหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถพบได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น พลาสติกบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากการอุปโภคบริโภคของมนุษย์นี้เองทำให้เกิดปัญหาขยะที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมา สืบเนื่องจากพลาสติกส่วนใหญ่ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ จากเหตุผลข้างต้น การหาวัสดุทดแทนหรือการใช้พอลิเมอร์จากธรรมชาติ (Biopolymer) อาจจะช่วยลดปัญหาการสะสมของขยะพลาสติกได้ เนื่องจากพอลิเมอร์นี้สามารถย่อยสลายได้เองและพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ยกตัวอย่างเช่น เซลลูโลส เป็นต้น

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นพอลิเมอร์ที่สามารถพบได้และมีมากมายอย่างไม่จำกัดในธรรมชาติ ปัจจุบันมีการนำเซลลูโลสไปใช้ผลิตเป็นวัสดุหลายประเภท เช่น ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ ซึ่งได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีสมบัติที่น่าสนใจหลายประการ เช่น การย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ มีสมบัติเชิงกลที่ดี พบได้ง่ายในธรรมชาติ และราคาถูก เซลลูโลสสามารถพบได้หลายแหล่ง เช่น ไม้ ฝ้าย ผลผลิตทางการเกษตร ของเสียจากอาหาร และจากแบคทีเรียบางชนิด ส่วนใหญ่เซลลูโลสที่ใช้ในอุตสาหกรรมนั้นมาจากไม้และฝ้าย แต่เป็นที่ทราบกันว่าไม้เป็นทรัพยากรที่มีค่าและมีอยู่อย่างจำกัด ใช้ระยะเวลาในการปลูกค่อนข้างนาน ส่วนฝ้ายถูกใช้เป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ด้วยความสนใจที่มีต่อเซลลูโลสมากขึ้นทำให้มีการศึกษาวิธีการสกัดเซลลูโลสจากของเสียทางการเกษตรและของเสียจากอาหาร เช่น ชานอ้อย เปลือกทุเรียน และแครอท เป็นต้น

แครอทเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของด้านการเกษตรที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ ในหนึ่งปีแครอทถูกผลิตออกสู่ตลาดอยู่ที่ปริมาณ 37 ล้านตัน โดยส่วนใหญ่แครอทถูกใช้ในการผลิตน้ำผลไม้จากการผลิตดังกล่าวมีของเสียเป็นกากเยื่อแผ่น (Pulp) ซึ่งมีปริมาณมากและมักกลายเป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมต่อไป แต่ด้วยองค์ประกอบของแครอทมีเซลลูโลสในปริมาณมากจึงทำให้เป็นอีกหนึ่งแหล่งเซลลูโลสที่น่าสนใจ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แครอทเป็นวัตถุดิบหลักในการสกัดเซลลูโลส ซึ่งในการสกัดเซลลูโลสจากแครอทจะเริ่มจากการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกก่อน (Delignification) โดยการใช้วิธีการทางเคมีเพื่อให้ได้เซลลูโลส และนำเซลลูโลสดังกล่าวไปขึ้นรูปฟิล์ม

จากที่ทราบกันว่าบรรจุภัณฑ์พลาสติกส่วนใหญ่ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ผู้วิจัยจึงต้องการทำฟิล์มที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ โดยการนำเซลลูโลสที่สกัดจากแครอทมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตฟิล์มเซลลูโลส ในขั้นตอนการสกัดเซลลูโลสจากแครอทจึงต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ทำการกำจัดลิกนินและเอมิเซลลูโลสออกก่อน และนำเซลลูโลสที่สกัดได้มาเตรียมฟิล์มแล้วจึงตรวจสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่เตรียมได้ว่ามีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์หรือไม่

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อสกัดเซลลูโลสจากแครอท
- 1.2.2 ทดสอบสมบัติเบื้องต้นของฟิล์มที่เตรียมได้จากเซลลูโลสที่สกัดจากแครอท
- 1.2.3 ได้แนวทางในการนำของเสียทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่าและลดปัญหาการสะสมของขยะพลาสติก

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาการสกัดเซลลูโลสจากแครอท
- 1.3.2 ศึกษาสมบัติเบื้องต้นของฟิล์มที่เตรียมได้จากเซลลูโลสที่สกัดจากแครอท

## 1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

- 1.4.1 สามารถสกัดเซลลูโลสจากแครอทและหาแนวทางที่สามารถไปใช้ประโยชน์ต่อได้
- 1.4.2 สามารถนำเซลลูโลสที่สกัดจากแครอทมาขึ้นรูปฟิล์ม
- 1.4.3 ได้แนวทางในการตรวจสอบสมบัติของฟิล์ม
- 1.4.4 ได้แนวทางการเพิ่มมูลค่าของเสียจากภาคการเกษตรและลดปัญหาการจัดการขยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

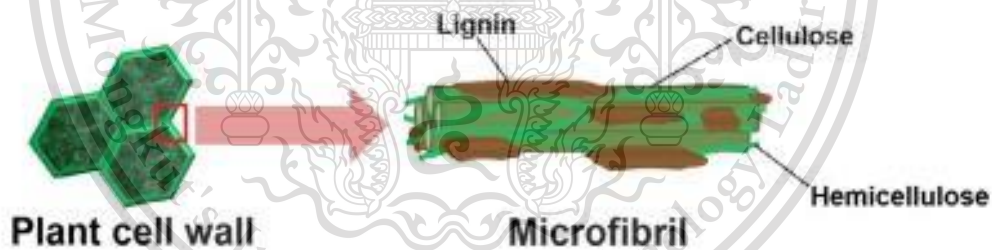
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ลิกโนเซลลูโลส [2]

ลิกโนเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของโครงสร้างผนังเซลล์พืช ซึ่งประกอบไปด้วยพอลิเมอร์หลัก 3 ชนิด ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งพืชแต่ละชนิดก็มีปริมาณของพอลิเมอร์ทั้งสามชนิดไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพืชชนิดนั้นๆ พอลิเมอร์ทั้งสามชนิดรวมกันอยู่และมีโครงสร้างที่ซับซ้อนอยู่ในลิกโนเซลลูโลส โดยที่เฮมิเซลลูโลสจะอยู่ล้อมรอบเส้นใยของเซลลูโลสและมีลิกนินแทรกตัวอยู่ระหว่างช่องว่างของเส้นใยเซลลูโลส ด้วยโครงสร้างที่ซับซ้อนนี้จึงกลายเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ยากต่อการแยกเซลลูโลสออกจากลิกนินและเฮมิเซลลูโลส โครงสร้างของลิกโนเซลลูโลสนี้มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ตามลำดับ พอลิเมอร์ทั้งสามชนิดนี้มีประโยชน์มากมายในอุตสาหกรรมเคมี เช่น ลิกนินสามารถนำไปต่อยอดผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ เฮมิเซลลูโลสถูกนำมาผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลหรือโมโนเมอร์ที่ถูกใช้ในอาหารหรือเครื่องสำอางได้โดยการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดหรือเอนไซม์ และเซลลูโลสถูกใช้เป็นสารเสริมแรง ใช้เป็นสารทดแทนพอลิเมอร์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี สิ่งทอ และกระดาษ เป็นต้น



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของผนังเซลล์พืช[1]

### 2.2 เซลลูโลส [1,2]

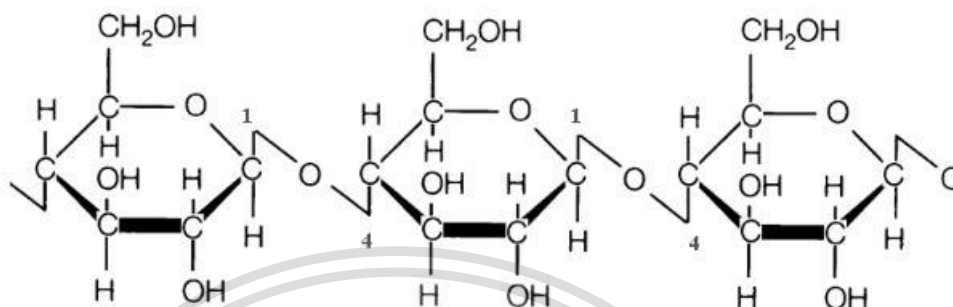
เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่สามารถพบได้ในพืชทั่วไป เนื่องจากเป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืชและมักจะรวมอยู่กับลิกนินและเฮมิเซลลูโลส โครงสร้างของเซลลูโลสประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl) และพันธะไฮโดรเจน (H Bond) เซลลูโลสจัดเป็นสารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ที่มีลักษณะเป็นโซ่ตรงของแอนไฮโดรกลูโคสสองวงต่อกัน โดยต่อกันที่พันธะโควาเลนต์ของออกซิเจนที่ตำแหน่ง C1 ของกลูโคสวงแรกกับ C4 ของกลูโคสวงที่สอง (1-4) หรือเรียกว่า  $\beta$ -1,4 พันธะไกลโคไซด์ (Glucosidic Bond) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 จากโครงสร้างดังกล่าวทำให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติที่ตีหลายประการ เช่น สมบัติเชิงกลที่ดี ง่ายต่อการดัดแปลงโครงสร้างทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหาโดยไม่ได้รับอนุญาต

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ และไม่มีอันตรายทางชีวภาพ ทั้งนี้เซลลูโลสไม่สามารถละลายในน้ำได้ แต่จะละลายในสารละลายบางชนิดเท่านั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้งานในด้านต่างๆ เช่น สารเสริมประสิทธิภาพ (Reinforcing Agent) และฟิล์ม เป็นต้น



รูปที่ 2.2 โมเลกุลของเซลลูโลส[3]

### 2.3 นาโนเซลลูโลส [2,3]

นาโนเซลลูโลส (Nanocellulose, NC) เป็นเซลลูโลสที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวอยู่ในระดับนาโน ที่สามารถแยกตามลักษณะหลักได้ก็คือในรูปแบบของเส้นใยและผลึก โดยสามารถจัดประเภทได้ 3 ประเภท ตามวิธีการสกัดนาโนเซลลูโลสได้ดังนี้ นาโนเซลลูโลสแบบผลึก (Nanocrystalline Cellulose) เส้นใยนาโนเซลลูโลส (Nanofibrillated Cellulose) และนาโนเซลลูโลสจากแบคทีเรีย (Bacterial Nanocellulose) ทั้ง 3 ประเภทจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมือนกันแต่แตกต่างกันที่สัณฐานวิทยา (Morphology) ขนาดอนุภาค (Particle Size) ความเป็นผลึก (Crystallinity) และสมบัติพิเศษบางอย่าง ซึ่งความแตกต่างเหล่านี้เกิดจากแหล่งที่มาของเซลลูโลสและวิธีการสกัดนาโนเซลลูโลสที่ต่างกัน ปกติแล้วเซลลูโลสจะมีลิกนินและเฮมิเซลลูโลสอยู่ด้วย แต่ในนาโนเซลลูโลสจะไม่มีองค์ประกอบดังกล่าว ซึ่งเกิดจากการขจัดองค์ประกอบดังกล่าวออกก่อนโดยการใช้วิธีสกัดแบบต่างๆ เช่น วิธีเชิงกล (Mechanical) วิธีเคมีเชิงกล (Chemo-Mechanical) และเทคนิคเอนไซม์ (Enzymatic Techniques) เป็นต้น ในปัจจุบันนาโนเซลลูโลสเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากมีคุณสมบัติที่น่าสนใจ เช่น สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ สมบัติเชิงกลที่ยืดหยุ่น น้ำหนักเบา และมีความโปร่งใส โดยเฉพาะด้านความแข็งแรงซึ่งจะมีความแข็งแรงสูงกว่าไฟเบอร์เคพลาร์และมีค่าความแข็งแรงทางแรงดึง (Tensile Strength) มากกว่าเหล็ก ด้วยสมบัติข้างต้นทำให้นาโนเซลลูโลสจึงเหมาะกับการนำไปใช้เป็นตัวเสริมหรือเป็นวัสดุเสริมแรงผลิตภัณฑ์อื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2.3.1 นาโนเซลลูโลสแบบผลึก [4] การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเอกสารนี้สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้นไปใช้

หนึ่งที่มีความแข็งแรงสูง ซึ่งสามารถเตรียมได้โดยการไฮโดรไลซิสเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose Fibrils)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ด้วยกรด (Acid Hydrolysis) เช่น กรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) เป็นต้น กรดจะทำหน้าที่ในการตัดสายโซ่ของเส้นใยเซลลูโลสและส่วนที่เป็นโครงสร้างอสัณฐาน (Amorphous) จะถูกขจัดออกไปโดยการใช้กรดไฮโดรไลซิส แต่ส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline Regions) จะยังคงอยู่ ซึ่งนาโนเซลลูโลสประเภทนี้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-20 นาโนเมตร และมีความยาว 100-500 นาโนเมตร

### 2.3.2 เส้นใยนาโนเซลลูโลส [4]

เส้นใยนาโนเซลลูโลส (Nanofibrillated Cellulose) เป็นนาโนเซลลูโลสที่สามารถเตรียมได้จากเส้นใยเซลลูโลส โดยการใช้วิธีเชิงกลทำให้เกิดการแตกหักระหว่างส่วนที่เป็นผลึกกับส่วนที่เป็นผลึกและมีความยาวเท่ากับ 1-100 นาโนเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 500-2000 นาโนเมตร นาโนเซลลูโลสประเภทนี้มีความยืดหยุ่นสูง (Flexible) และมีส่วนโครงสร้างทั้งที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นโครงสร้างอสัณฐาน เส้นใยนาโนเซลลูโลส เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างนาโนเซลลูโลสแบบผลึกกับเส้นใยนาโนเซลลูโลส เส้นใยนาโนเซลลูโลสมีความยาวมากกว่า มีพื้นที่ผิวสูงกว่า และมีหมู่ไฮดรอกซิลมากกว่า

### 2.3.3 นาโนเซลลูโลสจากแบคทีเรีย [2,4]

นาโนเซลลูโลสจากแบคทีเรีย (Bacterial Nanocellulose) เป็นนาโนเซลลูโลสที่ได้จากการสร้างน้ำตาลที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยการใช้แบคทีเรีย ที่ชื่อว่า *Gluconacetobacter xylinus* ซึ่งวิธีนี้จะต่างกับนาโนเซลลูโลสแบบผลึกและเส้นใยนาโนเซลลูโลสที่ได้วัสดุที่เป็นลิกโนเซลลูโลส

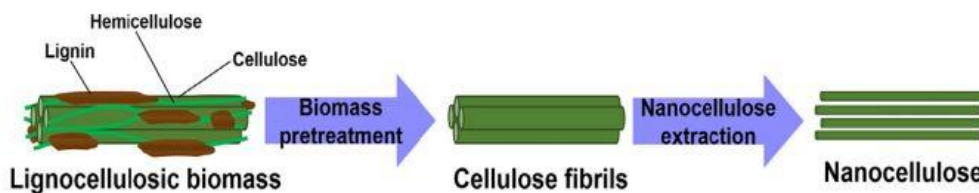
## 2.4 การสกัดนาโนเซลลูโลส [2,4]

ในปัจจุบันนาโนเซลลูโลสเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากจึงทำให้เกิดความต้องการของตลาดมากขึ้นและเป็นที่ทราบกันดีว่าเซลลูโลสเป็นสารประกอบที่พบได้ทั้งในผนังเซลล์ของพืชทั่วไป แต่ทั้งนี้ก็ยังมีการประกอบอื่นๆที่ไม่ต้องการอยู่ด้วย เช่น ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และสารประกอบอื่นๆ จึงต้องมีการกำจัดส่วนที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกไปก่อน ในการสกัดนาโนเซลลูโลสจะประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ กำจัดส่วนที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกและสกัดนาโนเซลลูโลสที่เหลืออยู่ออกมา ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งในปัจจุบันได้มีการศึกษาวิธีการสกัดนาโนเซลลูโลสด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธีการทางเคมี วิธีการเชิงกล และวิธีการทางเอนไซม์ แต่ละวิธีการก็จะทำให้ได้นาโนเซลลูโลสที่สมบัติต่างกันออกไป การสกัดนาโนเซลลูโลสด้วยวิธีการทางเคมีเป็นวิธีอีกหนึ่งวิธีหลักที่ใช้ในการสกัดเซลลูโลสเนื่องจากสามารถกำจัดส่วนประกอบอื่นที่ไม่ต้องการและยังคงเหลือส่วนที่เป็นเซลลูโลสไว้ได้ วิธีการที่นำมาใช้ในการขจัดหรือปรับสภาพวัสดุที่ต้องการสกัดมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การปรับสภาพโดยใช้สารละลายอัลคาไลน์ (Alkaline Treatment) การปรับสภาพโดยใช้สารฟอกขาว (Bleaching) และการสกัดนาโนเซลลูโลสโดยใช้กรดไฮโดรไลซิส (Acid Hydrolysis) การสกัดด้วยวิธีนี้เซลลูโลสที่ได้จะมีลักษณะเป็นแบบผลึก การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสกัดนาโนเซลลูโลสจากลิกโนเซลลูโลส[1]

#### 2.4.1 การปรับสภาพโดยใช้สารละลายอัลคาไลน์ [4]

การปรับสภาพโดยใช้สารละลายอัลคาไลน์เป็นวิธีการที่นำมาใช้ในการกำจัดส่วนที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกไปก่อนที่จะทำการสกัดนาโนเซลลูโลส การปรับสภาพนี้จะใช้สารละลายอัลคาไลน์ เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 4-20 โดยน้ำหนัก กระบวนการนี้จะเป็นการไปรบกวนลิกนินที่อยู่ในโครงสร้างของกากแครอท โดยการเกิดปฏิกิริยาซาฟอนนิฟิเคชัน (Saponification) ที่พันธะเอสเทอร์ที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลของลิกนินและเฮมิเซลลูโลส หลังจากเกิดปฏิกิริยาทำให้หมู่เอสเทอร์ดังกล่าวจะถูกแทนที่ด้วยเกลืออัลคาไลน์ (Alkaline Salt) เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น ต่อมาเกลืออัลคาไลน์นี้จะทำให้เกิดเกลือคาร์บอกซิลิก (Carboxylic Salt) และแอลกอฮอล์ (Alcohol) ในกระบวนการนี้จะทำให้ลิกนินที่เหมือนเคยเป็นเกราะป้องกันจะถูกขจัดออกทำให้สามารถสกัดนาโนเซลลูโลสได้และทำให้สัดส่วนของเซลลูโลสในโครงสร้างมีมากขึ้น

#### 2.4.2 การปรับสภาพโดยใช้สารฟอกขาว [4]

กระบวนการปรับสภาพโดยใช้สารฟอกขาวเป็นอีกหนึ่งวิธีการที่นำมาใช้ในการปรับสภาพ โดยใช้สารเคมีที่เป็นตัวออกซิไดซ์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการไปกระตุ้นให้เกิดการกำจัดลิกนิน (Delignification) โดยการกำจัดหรือรบกวนโครงสร้างของลิกนิน ปกติแล้วขั้นตอนนี้ถูกนำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการปรับสภาพโดยใช้สารละลายอัลคาไลน์ ปกติแล้วสภาวะที่ค่า pH มากกว่า 12 โมเลกุลของออกซิเจนจะอยู่ในรูป ( $-O_2^{\cdot}$ ) โดยวงจะถูกเปิดออกแล้วถูกแทนที่ด้วยสารที่ชอบนิวเคลียสซึ่งส่วนมากจะเป็นสารที่มีประจุลบ ในกระบวนการนี้มีประสิทธิภาพที่จะสามารถออกซิไดซ์วงอะโรมาติกของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสบางส่วนให้กลายเป็นสารประกอบของกรดคาร์บอกซิลิก เช่น กรดฟอร์มิกและกรดอะซิติก ขั้นตอนนี้เหมาะกับการแยกเซลลูโลสเนื่องจากสารที่เป็นตัวออกซิไดซ์จะส่งผลกับส่วนที่เป็นลิกนินเป็นส่วนใหญ่และมีผลกับส่วนที่เฮมิเซลลูโลสบ้างบางส่วน ในขณะที่เซลลูโลสแทบจะไม่สูญเสียไปเลยภายใต้สภาวะนี้

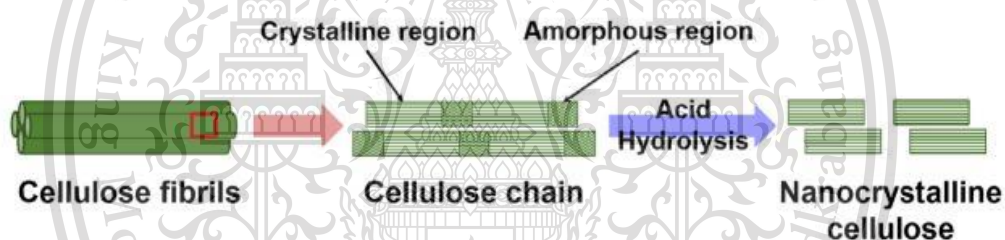
#### 2.4.3 การสกัดนาโนเซลลูโลสโดยใช้กรดไฮโดรไลซิส [4,5]

กระบวนการสกัดนาโนเซลลูโลสโดยใช้กรด เป็นกระบวนการที่ใช้กรดเข้าไปทำลายโครงสร้างที่คงรูปของลิกโนเซลลูโลส โดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 50-72 โดยน้ำหนักดังแสดงในรูปที่ 2.4 วิธีการนี้เป็นวิธีการสกัดนาโนเซลลูโลสที่มีประสิทธิภาพ และใช้พลังงานต่ำกระบวนการนี้จะเข้าไปทำลายพันธะที่  $\beta$ -1,4 ไกลโคไซด์ในเซลลูโลสโดยไฮโดร

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เนียมไอออนจะทำให้พันธะขององค์ประกอบที่เชื่อมต่อกันอยู่ในลิกโนเซลลูโลสขาดออก ส่วนที่เป็นโครงสร้างออสถุฐานจะไวต่อการทำปฏิกิริยามากกว่าส่วนที่เป็นโครงสร้างผลึก ทำให้โครงสร้างส่วนที่เป็นผลึกยังคงอยู่ กระบวนการสกัดนาโนเซลลูโลสนี้มีปัจจัยหลายอย่างที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพและคุณสมบัติของนาโนเซลลูโลส ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิ และความเข้มข้นของกรด ในกระบวนการนี้มีกลไกในการตัดสายโซ่ คือ กรดจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยการส่งโปรตอนไปที่อะตอมของออกซิเจนที่อยู่ในพันธะไกลโคไซด์ทำให้ประจุบวกของออกซิเจนเกิดความไม่เสถียร และหลุดออกจากสายโซ่ของพอลิเมอร์แต่จะถูกแทนที่ด้วยหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำทำให้สายโซ่ขาดออก ในกระบวนการนี้ยังมีการเกิดเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) ระหว่างกรดซัลฟิวริกกับหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งจะส่งผลตามมาคือเกิดการกระจายเป็นคอลลอยด์ของนาโนเซลลูโลสในสารละลายและบนพื้นผิวของผลึกเซลลูโลสจะมีประจุลบเกิดขึ้น ในกระบวนการนี้อาจเกิดการย่อยสลายที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งทำให้เกิดน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) โดยต่อมาอาจจะการกลายเป็นกรดและแอลกอฮอล์ หลังจากกระบวนการนี้จะมีของเสียเป็นกรดที่มีความเข้มข้นสูงซึ่งเป็นอันตราย มีพิษ และกัดกร่อน ดังนั้นการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องทำให้เป็นกลางและต้องจัดการกรดที่เป็นของเสียอย่างถูกวิธี เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.4 วิธีการสกัดนาโนเซลลูโลสผลึก[1]

## 2.5 การนำนาโนเซลลูโลสไปใช้ประโยชน์ [5]

ในปัจจุบันนาโนเซลลูโลสเป็นสารที่ได้รับความสนใจมากยิ่งขึ้น เนื่องจากมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่น่าสนใจหลายอย่าง เช่น การย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ คุณสมบัติเชิงกลที่ดี หาได้ง่าย มีความโปร่งใส สามารถปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีได้ และไม่มีอันตรายทางชีวภาพ จึงมีการนำนาโนเซลลูโลสไปใช้ประโยชน์เป็นวัสดุนาโนคอมโพสิต (Nanocomposite Material) เป็นจำนวนมากเพื่อใช้เสริมแรงหรือเพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ด้วยเหตุผลเหล่านี้ นาโนเซลลูโลสจึงเป็นวัสดุทางเลือกที่เหมาะสมจะใช้ทำฟิล์มบรรจุภัณฑ์

### 2.5.1 ฟิล์มจากเซลลูโลส [6]

ฟิล์มจากเซลลูโลสถือเป็นฟิล์มที่มีความน่าสนใจเป็นอย่างมากเพราะสามารถนำไปใช้บรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรมได้หลายชนิด เช่น อาหาร ยา และเครื่องสำอาง แต่กระบวนการผลิตจะมีความยุ่งยากบางอย่างนั่นคือ เซลลูโลสมีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำแต่จะละลายในตัวทำละลายบางชนิด ซึ่งทำให้การผลิตจะมีความซับซ้อนบ้างเมื่อเทียบกับฟิล์มที่ผลิตอุตสาหกรรมโอเลฟินส์ (Olefins)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แต่ในปัจจุบันก็ได้มีการศึกษาวิธีในการละลายเซลลูโลสเพื่อนำไปใช้ผลิตเป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์ดังแสดงในรูปที่ 2.5 สารละลายที่ใช้ในการละลายเซลลูโลส ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับยูเรีย สารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์กับยูเรีย เป็นต้น ซึ่งฟิล์มที่ได้จากการตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิดสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติที่อุณหภูมิ 30 °C ภายในระยะเวลาประมาณหนึ่งเดือนซึ่งเร็วกว่าฟิล์มจาก PET และ PP มาก



รูปที่ 2.5 ของฟิล์มบรรจุภัณฑ์จากเซลลูโลส[3]

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Guili Zhao และคณะ[3] ศึกษาความเป็นไปได้ในการสกัดไมโครเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนที่เป็นของเหลือจากภาคการเกษตร เพื่อนำไปใช้ทำฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ทำการทดลองโดยการนำเปลือกทุเรียนมาลดขนาดด้วยเครื่องบดผลไม้และเครื่องบดแบบลูกบอล (Ball Milling) แล้วนำมาทำการสกัดไมโครเซลลูโลสโดยใช้วิธีการทางเคมี ได้แก่ การปรับสภาพโดยใช้สารละลายอัลคาไลน์ที่อุณหภูมิ 65 °C การใช้สารฟอกขาวปรับสภาพ และการใช้กรดทำปฏิกิริยาไฮโรไลซิส หลังจากนั้นนำผงเซลลูโลสที่ได้ไปสร้างฟิล์มโดยใช้ตัวทำละลาย ได้แก่ สารละลายลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) และไดเมทิลเอซิเตอเมาย (DMAc) หลังจากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงนำสารละลายที่ได้ไปทำการขึ้นฟิล์มบนแผ่นกระจก ฟิล์มที่ได้จะนำไปวิเคราะห์ด้านต่างๆ ได้แก่ การวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้เครื่อง SEM พบว่าฟิล์มจากทุเรียนมีความหนาอยู่ที่ 18 ไมโครเมตร ทดสอบการทะลุผ่านของแสงโดยใช้เครื่องยูวีวิสสเปคโตรโฟโตมิเตอร์พบว่าฟิล์มทุเรียนมีการทะลุผ่านของแสงน้อยกว่ากระดาษเซลโลเฟนเพียงเล็กน้อย ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลพบว่าฟิล์มทุเรียนมีค่าสูงกว่าฟิล์มจากกระดาษเซลโลเฟน ทดสอบการย่อยสลายตามธรรมชาติพบว่าฟิล์มที่ผลิตได้สามารถย่อยสลายโดยการฝังดินได้ภายในระยะเวลา 1 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
Csiszar และคณะ[5] สกัดนาโนเซลลูโลสแบบผลึกจากฝ้ายและต้นปอ แล้วนำมาทำการขึ้นรูป  
ไม่ว่ากรณีใดต้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ฟิล์มร่วมกับกลีเซอรอลและซอร์บิทอลเปรียบเทียบกับปริมาณเซลลูโลสที่ได้หลังจากการทดลองและ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ทดสอบสมบัติของฟิล์มของตัวอย่างแต่ละชนิด ในการทดลองจะนำฟิล์มทั้งสองชนิดมาทำการกำจัดส่วนที่เป็นเซลลูโลสออกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตามลำดับ หลังจากนั้นนำมาสกัดนาโนเซลลูโลสแบบผลึกด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 64 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 45 °C เป็นเวลา 25 นาที หลังจากนั้นนำสารละลายไปทำให้เป็นกลางแล้วนำมาขึ้นรูปฟิล์มพบว่าฟิล์มที่ได้มีความเปราะไม่สามารถลอกออกจากแบบได้ จึงทำการทดลองเติมพลาสติกไซเซอร์ลงไปเพื่อลดความเปราะที่ความเข้มข้น 5 10 15 20 และ 25 โดยน้ำหนักของสารละลายแล้วนำไปขึ้นรูปฟิล์ม ผลการทดลองของฟิล์มตัวอย่างที่ได้พบว่าฟิล์มมีความเปราะน้อยลงสามารถหักงอได้ แต่ฟิล์มที่เติมซอร์บิทอลจะมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลและฟิล์มที่เติมกลีเซอรอลที่มีความเข้มข้นร้อยละ 25 จะมีความเหนียวมากที่สุดจากฟิล์มตัวอย่างทั้งหมด

Haisong Qic และคณะ[6] ศึกษาวิธีการละลายเซลลูโลสที่มีประสิทธิภาพและมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อนำไปผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ แต่เนื่องจากวิธีการผลิตกระดาษเซลโลเฟน (Cellophane) นั้นทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ยูเรีย และน้ำ (NaOH/Urea/Water) ที่มีอัตราส่วน 7:12:81 โดยน้ำหนัก ในงานวิจัยนี้ทำการเตรียมสารละลายดังกล่าวที่อุณหภูมิ -12 °C หลังจากนั้นเติมเซลลูโลสประมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักสารละลาย แล้วจึงนำไปคนเป็นเวลา 2 นาที หลังจากนั้นจะนำไปปั่นเหวี่ยงในเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จนได้สารละลายใสและนำสารละลายไปเทหล่อบนแผ่นกระจกแล้วแช่ในกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 25 °C เพื่อให้เกิดการแข็งตัวและทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า การใช้สารละลายดังกล่าวสามารถละลายเซลลูโลสได้ รวมถึงมีความปลอดภัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ฟิล์มที่ได้จากกระบวนการนี้เมื่อนำไปวิเคราะห์สัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องสแกนกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy) พบว่าฟิล์มที่ได้มีความหนา 21 ไมโครเมตร และทดสอบการทะลุผ่านของแสงได้โดยใช้ยูวีวิสสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Uv-Vis Spectrophotometer) พบว่ามีค่าการทะลุผ่านของแสงมากกว่ากระดาษเซลโลเฟน

Malladi Rajin และคณะ[7] ศึกษาการสกัดนาโนเซลลูโลสจากแครอทเพื่อนำไปผลิตฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่มีความโปร่งใส ในการวิจัยนี้ได้นำแครอทที่ไม่ผ่านเกณฑ์หรือไม่สามารถนำไปจำหน่ายได้มาสกัดนาโนเซลลูโลส 2 ชนิด ได้แก่ เส้นใยนาโนเซลลูโลสและนาโนเซลลูโลสแบบผลึก ซึ่งใช้วิธีในการสกัดต่างกันโดยใช้เครื่องบดแบบลูกบอลและวิธีการทางเคมีโดยใช้สารละลายอัลคาไลน์ สารฟอกขาวและกรด วิธีแบบเชิงกลจะได้เส้นใยนาโนเซลลูโลส ในการใช้วิธีเชิงกลนี้จะเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการบดและวิธีการใช้สารเคมีจะได้นาโนเซลลูโลสแบบผลึก นาโนเซลลูโลสทั้งสองชนิดจะนำมาใช้ผลิตฟิล์ม หลังจากนั้นจะนำมาทดสอบความเป็นผลึกด้วยเครื่องการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction) พบว่านาโนเซลลูโลสจากแครอทที่ใช้วิธีการทางเคมีมีความเป็นผลึก 78% ซึ่งสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่นำมาเพื่อตีพิมพ์ลงในสื่อ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นาโนเซลลูโลสที่ใช้วิธีการเชิงกลและทดสอบการทะลุผ่านของแสงโดยเครื่องยูวีวิสสเปคโตรโฟโตมิเตอร์พบว่าฟิล์มที่ทำจากนาโนเซลลูโลสแบบผลึกมีค่าสูงมากที่สุด

Haisang Qi และคณะ[8] ศึกษาผลกระทบของเซลลูโลส กลีเซอรอล และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol) ที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ สมบัติเชิงกล การดูดซับน้ำ การป้องกันแสง และความโปร่งใส ในการศึกษาจะนำไมโครเซลลูโลสแบบผลึกปริมาณ 23 กรัม มาทำการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ยูเรีย และน้ำ ในอัตราส่วน 7:14:79 ปริมาณ 570 กรัม หลังจากนั้นนำไปคนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ -20 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาละลายที่อุณหภูมิห้องและคนจนได้สารละลายใส นำสารละลายดังกล่าวเติมกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 2 และ 5 โดยน้ำหนัก คนจนสารละลายมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน นำสารละลายประมาณ 30 มิลลิลิตร เทลงในจานเพาะเชื้อและนำจานเพาะเชื้อไปแช่ในกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร แล้วจึงนำไปแช่ในสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นโดย 2 5 และ 10 ตามลำดับ หลังจากนั้นนำฟิล์มที่ได้มาทำให้เกิดการระเหยที่อุณหภูมิห้อง ฟิล์มที่ได้จะนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะทำให้ฟิล์มมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นและความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีขึ้น แต่หากเพิ่มปริมาณของกลีเซอรอลจะทำให้ฟิล์มมีสมบัติในการป้องกันแสงยูวีดีขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 3

### วิธีการทดลอง

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. ปีกเกอร์ (Beaker)
2. เครื่องกวนสารให้ความร้อน (Hot Plate Stirrer)
3. แท่งกวนแม่เหล็ก (Magnetic Bar)
4. ปั๊มดูดสุญญากาศ (Vacuum Pump)
5. ขวดลดความดัน (Vacuum Flask)
6. ช้อนตักสาร (Spatula)
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก (Weighing Scale)
8. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Machine)
9. หลอดเหวี่ยงแยก (Centrifuge Tube)
10. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
11. ปิเปต (Pipette)
12. ลูกยางสำหรับปิเปต (Pipette Bulb)
13. ตะแกรงกรอง (Sieve)
14. แท่งแก้วกวนสาร (Stirring Rod)
15. ชุดขาตั้งและแคลมป์จับ (Stand & Clamp)
16. ตู้อบ (Oven)

#### 3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. กรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ )
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
3. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ )
4. ยูเรีย ( $CH_4N_2O$ )
5. น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)
6. แครอทอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น

ส่วนที่ 1 การสกัดเซลลูโลสจากแครอท

ส่วนที่ 2 การเตรียมฟิล์มจากเซลลูโลสที่สกัดได้จากแครอท

#### 3.3.1 การสกัดเซลลูโลสจากแครอท

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำแครอทที่เตรียมมาทำความสะอาดโดยการล้างน้ำและทำการป็นโดยเครื่องปั่นผลไม้ เก็บกากแครอทที่ได้ไปล้างน้ำร้อน

2. เตรียมน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 °C ในปิกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตรและชั่งกากแครอทอบแห้งแล้วนำมาต้มในน้ำร้อนเพื่อทำความสะอาดสิ่งเจือปน

3. นำกากแครอทที่ได้มากรองและให้ความร้อนในตูบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้กากที่ได้แห้งและมีน้ำอยู่ในกากน้อยที่สุด

4. เตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำหนักแครอทต่อสารละลายเท่ากับ 1:20 กรัม

5. นำกากแครอทอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งในข้อ 3 มาชั่งน้ำหนัก แล้วเทลงสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมไว้ในข้อ 4 หลังจากนั้นนำไปให้ความร้อนที่ 80 °C และคนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

6. หลังจากนั้นรอให้สารละลายจากข้อ 5 เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง กรองกากแครอทที่อยู่ในสารละลายออก แล้วล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนเพียงเล็กน้อย เก็บใส่ปิกเกอร์แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

7. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำหนักต่อสารละลายเท่ากับ 1:20 กรัม

8. นำกากแครอทจากข้อ 6 มาละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้ แล้วนำสารละลายมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

9. นำกากแครอทที่ได้จากข้อ 8 มาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน เพื่อขจัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่ทำปฏิกิริยา

10. นำไปอบในตูบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

11. เตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 64 โดยน้ำหนักในปิกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายกับกากแครอทเท่ากับ 8.75 มล./ก แล้วเทลงในสารละลาย หลังจากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3.2 การเตรียมฟิล์มจากเซลลูโลสที่สกัดได้จากแครอท

- 1.เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และยูเรีย อัตราส่วน 7:14:79 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 570 กรัม
- 2.ชั่งเซลลูโลสที่สกัดจากแครอทจากขั้นตอนแรก 5 กรัม หรือประมาณร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของสารละลาย หลังจากนั้นเติมลงในสารละลายจากข้อ 1 คนให้สารผสมกันประมาณ 5 นาที
- 3.นำสารละลายจากข้อ 2 ไปปั่นเหวี่ยงในเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำสารละลายที่ได้เติมกลีเซอรอลตั้งแต่ 2-5 % โดยน้ำหนักสารละลาย
- 4.หลังจากนั้นนำสารละลายประมาณ 30 มิลลิลิตร ไปเทลงบนแผ่นงานเพาะเชื้อ หลังจากนั้นนำลงไปแช่ในกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 5 นาที
- 5.หลังจากนั้นนำแผ่นงานเพาะเชื้อที่มีชั้นเจลมาล้างด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนและปล่อยให้ฟิล์มแห้งที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ได้ฟิล์ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 การปรับสภาพและสกัดเซลล์จากแครอต

การสกัดเซลล์จากแครอตประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้ 1.การปรับสภาพแครอตด้วยสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 2.การปรับสภาพแครอตด้วยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ 3.การสกัดเซลล์โดยใช้กรดไฮโดรไลซิส

##### 4.1.1 การปรับสภาพแครอตด้วยสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การนำแครอตมาปรับสภาพด้วยสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ดังรูปที่ 4.1 พบว่าสีของของเหลวเปลี่ยนสีจากสีส้มเป็นสีขาว เมื่อทำการกรองของแข็งออกจากของเหลวและนำไปอบแห้งพบว่าของแข็งที่ได้มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวและมีขนาดเล็ก



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการปรับสภาพแครอตด้วยสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

(ก) ของเหลวก่อนการปรับสภาพ (ข) ของเหลวหลังการปรับสภาพ (ค) ของแข็งหลังการปรับสภาพ

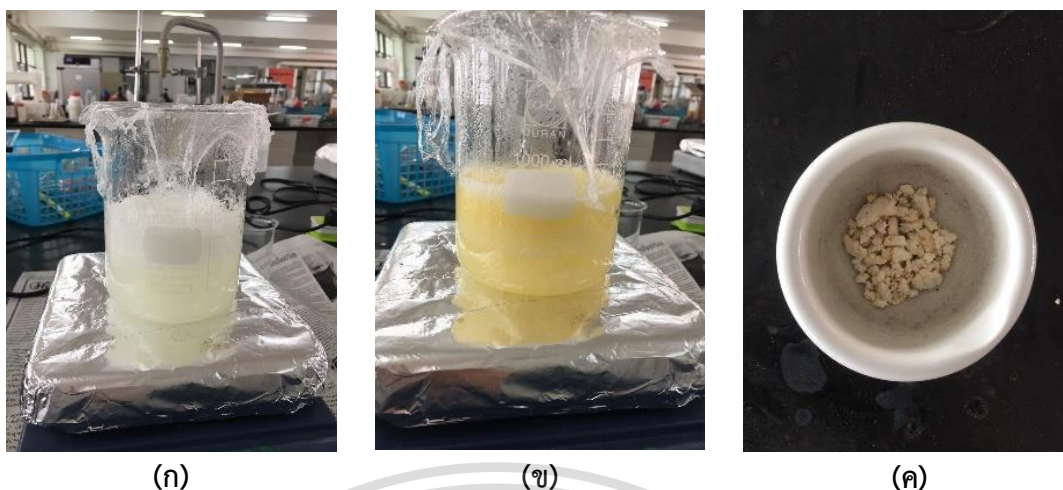
##### 4.1.2 การปรับสภาพแครอตด้วยสารอัลคาไลน์

การนำแครอตที่ปรับสภาพด้วยสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แล้วมาปรับสภาพต่อการอัลคาไลน์โดยใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ดังรูปที่ 4.2 พบว่าสีของของเหลวเปลี่ยนจากสีขาวกลายเป็นสีเหลือง เมื่อทำการกรองของแข็งออกจากของเหลวและนำไปอบแห้งพบว่าของแข็งที่ได้มีสีเหลืองอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก)

(ข)

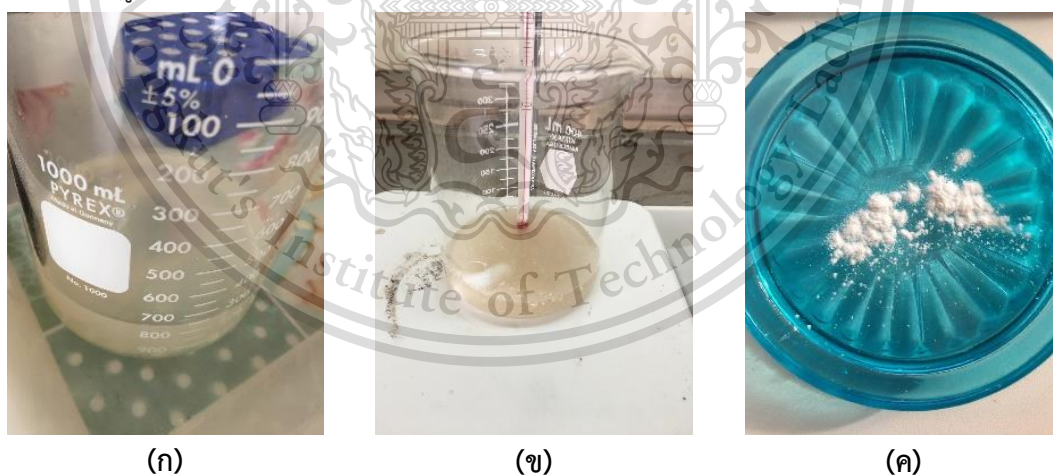
(ค)

#### รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการปรับสภาพแคโรทด้วยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์

(ก) ของเหลวก่อนการปรับสภาพ (ข) ของเหลวหลังการปรับสภาพ (ค) ของแข็งหลังการปรับสภาพ

#### 4.1.3 การสกัดเซลลูโลสโดยใช้กรดไฮโดรไลซิส

นำของแข็งที่ได้จากหัวข้อ 4.1.2 มาสกัดเซลลูโลสด้วยกรดซัลฟิวริกดังรูปที่ 4.3 พบว่ากากแคโรทที่ใส่ลงไปในสารละลายนั้นเกิดการแตกตัวกลายเป็นชิ้นเล็กลง สารละลายมีความขุ่น และสีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล หลังจากทำการอบแห้งจะได้ผงเซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว การสกัดเซลลูโลส 3 ครั้ง มีร้อยละผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 37.63 ดังตารางที่ 4.1



(ก)

(ข)

(ค)

#### รูปที่ 4.3 การสกัดเซลลูโลสโดยใช้กรดไฮโดรไลซิส

(ก) ของเหลวก่อนการสกัด (ข) ของเหลวหลังการสกัด (ค) ผงเซลลูโลสที่ได้หลังจากการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

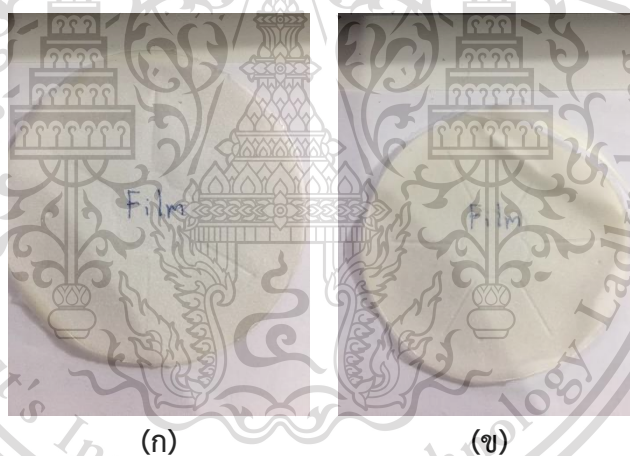
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.1 ร้อยละผลผลิต (Percent Yield)

น้ำหนักแคโรทแท่ง ก่อนการสกัด (กรัม)	น้ำหนักแคโรทแท่ง หลังการสกัด (กรัม)	ร้อยละผลผลิต
13.22	5.10	38.5
15.31	5.81	37.9
10.42	3.81	36.5
ค่าเฉลี่ยร้อยละของผลผลิต		37.63

#### 4.2 फिल्मจากเซลลูโลสที่สกัดได้จากแคโรท

ฟิล์มเซลลูโลสที่สกัดได้จากแคโรทที่นำมาขึ้นรูปบนแผ่นงานเพาะเชื้อดังรูปที่ 4.4 เมื่อทำการสังเกตลักษณะทางกายภาพของฟิล์มพบว่า ฟิล์มมีสีขาวขุ่น เนื้อผิวขรุขระ และแตกหักได้ง่าย ทำให้เมื่อทำการลอกฟิล์มออกจากภาชนะขึ้นรูป พบว่าฟิล์มลอกออกได้ยากและเกิดการแตกหักบริเวณขอบฟิล์มเซลลูโลสที่เตรียมได้มีความหนาเท่ากับ 0.412 มิลลิเมตรดังตารางที่ 4.2



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.4 ฟิล์มเซลลูโลสที่เตรียมได้

(ก) ฟิล์มเซลลูโลส (ข) ฟิล์มเซลลูโลสที่เกิดการแตกหัก

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทดลอง

ตัวอย่าง	ลักษณะของฟิล์ม	ความหนา (มม.)
ฟิล์มเซลลูโลส	ฟิล์มมีสีขาวขุ่น แข็ง เปราะ ไม่สามารถหักงอได้	0.412

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

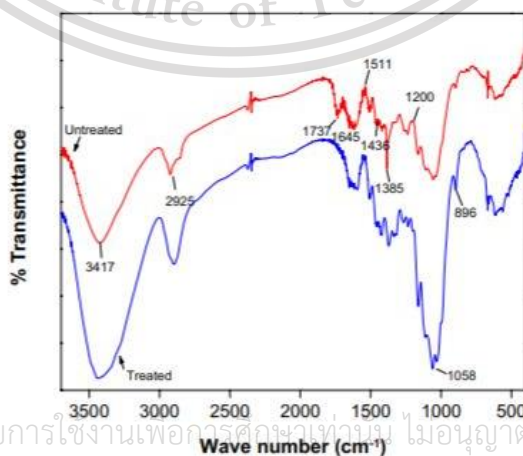
### 4.3 ข้อเสนอแนะในการทดสอบสมบัติต่างๆของฟิล์ม

จากผลการทดลองการสกัดเซลลูโลสจากแครอทและนำเซลลูโลสที่สกัดได้ไปขึ้นรูปเป็นฟิล์ม ได้ผลการทดลองตามหัวข้อที่ 4.1. - 4.2 แต่เนื่องด้วยสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19 ทำให้ไม่สามารถทำการทดลองในขั้นตอนต่อไปได้ จึงทำให้ไม่สามารถนำฟิล์มที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยเทคนิคต่างๆตามที่ได้วางแผนไว้ ผู้ทำการทดลองจึงขอเสนอแนวทางในการปรับปรุงสมบัติของฟิล์มให้เหมาะสมในการใช้เป็นฟิล์มสำหรับบรรจุภัณฑ์ โดยทำการวิเคราะห์สมบัติดังต่อไปนี้

#### 4.3.1 การยืนยันโครงสร้างเซลลูโลสด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

การวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ เป็นเทคนิคที่สามารถทำให้ทราบถึงหมู่ฟังก์ชันของสารตัวอย่างได้ ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงผลในรูปแบบของกราฟที่มีพีคต่างกันออกไป พีคของกราฟเหล่านี้แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันชนิดต่างๆที่พบในสารตัวอย่าง ในการวิเคราะห์นี้จะสามารถตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรดเพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์ที่ออกมาเป็นเซลลูโลส

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ที่ผู้ทดลองคาดว่าจะเกิดขึ้นนั้น คือ พีคที่แสดงพันธะที่มีในลิกนิน เช่น พันธะ C=C นั้นต้องลดลงหรือหายไป ผลการวิเคราะห์ข้างต้นสามารถอ้างอิงงานวิจัยของ Guili Zhao และคณะ[3] ที่ได้ทำการสกัดไมโครเซลลูโลสแบบผลึกออกจากเปลือกทุเรียน ซึ่งกราฟจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 4.12 สามารถบ่งบอกถึงหมู่ฟังก์ชันของสารตัวอย่างได้ดังนี้ พีคที่ 3400 เซนติเมตร<sup>-1</sup> บ่งบอกถึงพันธะ O-H พีคที่ 2900 เซนติเมตร<sup>-1</sup> บ่งบอกถึงพันธะ C-H พีคที่ 1745 เซนติเมตร<sup>-1</sup> บ่งบอกถึง C=O และ พีคที่ 1636 เซนติเมตร<sup>-1</sup> บ่งบอกถึงพันธะ C=C จากผลของงานวิจัยพบว่าความสูงของพีคที่ 1745 และ 1636 เซนติเมตร<sup>-1</sup> ได้ลดลง เนื่องจากเอมิเซลลูโลสและลิกนินได้ถูกกำจัดออกหลังจากการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยกรด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์โครงสร้างของเปลือกทุเรียนด้วยเทคนิค FTIR[3]

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.3.2 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของฟิล์ม

ในการตรวจสอบสมบัติเชิงกลควรทำการตรวจสอบและวิเคราะห์สมบัติเชิงกล 3 ประเภท ได้แก่ ค่าทนต่อแรงดึง ค่าการยืดตัว ณ จุดฉีกขาด และความต้านทานแรงดันทะลุ การตรวจสอบนี้มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มที่เตรียมได้ว่ามีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นฟิล์มบรรจุภัณฑ์หรือไม่

การสังเกตฟิล์มจากเซลลูโลสซึ่งสกัดจากแครอทที่เตรียมได้ พบว่าฟิล์มที่ได้นั้นมีลักษณะและสมบัติเชิงกลที่ไม่เหมาะสมกับการใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ ความเปราะ ไม่สามารถหักงอได้ และมีผิวขรุขระ ซึ่งคาดว่าเกิดจากสมบัติเฉพาะตัวของเซลลูโลสที่มีความเป็นผลึก ดังนั้นจึงควรปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้ฟิล์มมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นบรรจุภัณฑ์มากขึ้นโดยการเติมกลีเซอรอลซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ ซึ่งเมื่อเติมกลีเซอรอลลงในฟิล์มคาดว่าฟิล์มจะมีความเปราะน้อยลง สามารถหักงอได้ และมีพื้นผิวที่เรียบมากขึ้น แต่จะทำให้สมบัติเชิงกลด้านค่าทนต่อแรงดึงและความต้านทานแรงดันทะลุจะมีค่าน้อยลง ยกเว้นค่าการยืดตัว ณ จุดฉีกขาดจะมีค่ามากขึ้น ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถอ้างอิงข้อมูลได้จากงานวิจัยของ Csiszar และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการเติมพลาสติกไซเซอร์สองชนิดตั้งแต่ 2-5% โดยน้ำหนักที่มีผลต่อลักษณะและสมบัติเชิงกลของฟิล์ม ผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของพลาสติกไซเซอร์มากขึ้นจะทำให้ฟิล์มมีความเปราะน้อยลงและหักงอได้ เมื่อวัดค่าการทนต่อแรงดึงและค่าการยืด ณ จุดฉีกขาดพบว่าค่าการทนต่อแรงดึงน้อยลงแต่ค่าการยืดตัว ณ จุดฉีกขาดมีมากขึ้น

#### 4.3.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์ม

การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษา ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของตัวอย่าง จากผลการทดลองฟิล์มเตรียมจากเซลลูโลสที่สกัดจากแครอท พบว่า ฟิล์มที่ได้นั้นมีพื้นผิวที่ค่อนข้างขรุขระไม่เรียบเนียน โดยสมบัติดังกล่าวทำให้ฟิล์มที่เตรียมได้นั้นไม่เหมาะสมเป็นบรรจุภัณฑ์ แต่หากมีการเติมกลีเซอรอลลงไป คาดว่าจะช่วยทำให้พื้นผิวของฟิล์มมีความเรียบมากขึ้น ผลการวิเคราะห์ผลกระทบที่ขึ้นเกิดจากการเติมพลาสติกไซเซอร์ สามารถอ้างอิงข้อมูลได้จาก Muhammed L. Sanyang และคณะ [9] ทำการศึกษาผลกระทบของชนิดและความเข้มข้นของ พลาสติกไซเซอร์สองชนิดที่มีผลต่อสมบัติด้านต่างๆของฟิล์ม โดยการเติมกลีเซอรอลและซอร์บิทอลที่ความเข้มข้นของแต่ละพลาสติกไซเซอร์ตั้งแต่ 0 15 30 และ 45% โดยน้ำหนัก จากข้อมูลการทดลองพบว่าลักษณะของพื้นผิวของฟิล์มที่ไม่มีพลาสติกไซเซอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มที่มีพลาสติกไซเซอร์นั้น ฟิล์มที่มีพลาสติกไซเซอร์จะมีความขรุขระน้อยกว่าและเมื่อความเข้มข้นของพลาสติกไซเซอร์มีมากขึ้นลักษณะพื้นผิวของฟิล์มจะมีความเรียบมากขึ้นด้วย

#### 4.3.4 การวิเคราะห์การย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

การย่อยสลายตามธรรมชาติสามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยการนำฟิล์มตัวอย่างไปฝังกลบในดินและสังเกตการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของฟิล์ม เซลลูโลสเป็นวัสดุตามธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้เองซึ่งคาดว่าจะเกิดขึ้นคือฟิล์มที่เตรียมจากเซลลูโลสจะสามารถย่อยสลายได้เอง

ซึ่งสามารถอ้างอิงข้อมูลได้จาก Guili Zhao และคณะ[3] ได้ทำการศึกษาสกัดไมโครเซลลูโลสแบบผลึกจากเปลือกทุเรียนและนำมาใช้ขึ้นรูปฟิล์ม ในการศึกษานี้ได้มีการทดลองหาเวลาที่ฟิล์มตัวอย่างจะสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งผลที่ออกมาคือฟิล์มที่เตรียมจากไมโครเซลลูโลสแบบผลึกจากเปลือกทุเรียนสามารถย่อยสลายได้เองภายในระยะเวลาหนึ่งเดือนโดยวิธีการฝังกลบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในการศึกษาการสกัดเซลลูโลสและการเตรียมฟิล์มเซลลูโลสจากแครอต เริ่มต้นจากการนำแครอตมาปรับสภาพด้วยสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 7.5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 80 °C และสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 80 °C หลังจากสิ้นสุดขั้นตอนการปรับสภาพทำการสกัดเซลลูโลสโดยการไฮโดรไลซิสด้วยกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 64 โดยน้ำหนัก หลังจากนั้นทำให้เป็นกลางและอบแห้งพบว่าจะได้ผงเซลลูโลสที่มีลักษณะเป็นผงสีขาว การสกัดเซลลูโลสจะได้ค่าร้อยละผลผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 37.63 และจากการขึ้นรูปฟิล์มจากเซลลูโลสด้วยวิธีการขึ้นรูปในแผ่นงานเพาะเชื้อ พบว่าฟิล์มที่ได้นั้นมีสมบัติไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ เนื่องจากเมื่อทำการสังเกตด้วยตาเปล่าฟิล์มที่ได้มีลักษณะขุ่น เปราะ ผิวขรุขระ และไม่สามารถหักงอได้ อันเนื่องมาจากเซลลูโลสที่สกัดได้จากแครอตมีความเป็นผลึกสูง มีลักษณะเฉพาะตัวคือมีค่าทนต่อแรงดึงที่ดีแต่ไม่มีความสามารถในการยืดหยุ่น ซึ่งผู้ทดลองคาดว่าหากต้องการทำให้ฟิล์มที่เตรียมได้จากเซลลูโลสนั้นมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์มากขึ้นจะต้องทำการเติมกลีเซอรอลลงไป เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของฟิล์มที่เตรียมได้

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. หากต้องการเตรียมฟิล์มจากเซลลูโลสชนิดผลึกควรปรับคุณสมบัติของฟิล์มให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นโดยการเติมสารเติมแต่งประเภทพลาสติกไซเซอร์ซึ่งจะช่วยให้ฟิล์มที่เตรียมได้นั้นมีความยืดหยุ่นสูงขึ้นและเหมาะสมสำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ รวมถึงการเปรียบเทียบผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับสมบัติของฟิล์มเซลลูโลสเมื่อใช้พลาสติกไซเซอร์ต่างชนิดกัน

2. เซลลูโลสชนิดผลึกมีสมบัติเชิงกลที่ดีด้านค่าทนต่อแรงดึงและความต้านทานแรงดันทะลุซึ่งสามารถใช้เป็นตัวเสริมแรงในการเตรียมฟิล์มชนิดอื่นได้ เช่น ฟิล์มที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งจะช่วยให้สมบัติของฟิล์มที่เตรียมได้มีสมบัติเชิงกลทั้งสองด้านดีขึ้น

3. เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถพบได้ในพืชทั่วไป ควรมีการศึกษาการสกัดเซลลูโลสจากพืชชนิดอื่นต่อไปเพื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นผลึก ร้อยละผลผลิตของเซลลูโลสที่สกัดได้ สมบัติเชิงกล ความเสถียรทางความร้อน และระยะเวลาในการย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บรรณานุกรม

- [1] F. Ghaemi, et al., 2019. **Lignocellulose structure and the effect on nanocellulose production.** Elsevier Inc.
- [2] P.Phanthong, et al., 2018. “Nanocellulose: Extraction and Application.” **Carbon Resources Conversion.** 2018(1) : 32-43.
- [3] G.Zhao, et al., 2018. “Biodegradable and transparent cellulose film prepared eco-friendly from durian rind for packaging application.” **Food Packagaing and Shelf Life.** 2019(21) : 100345.
- [4] H. Lee, et al., 2014. “Conversion of lignocellulosic biomass to nanocellulose: Structure and chemical process.” **Sci. World J.**
- [5] E. Csiszár and S. Nagy. 2017. “A comparative study on cellulose nanocrystals extracted from bleached cotton and flax and used for casting films with glycerol and sorbitol plasticisers.” **Carbohydr. Polym.** : 740-749.
- [6] H. Qi, et al., 2009. “Properties and applications of biodegradable transparent and photoluminescent cellulose films prepared via a green process.” **Green Chem.** 2009(11) : 177–184.
- [7] M. Rajinipriya, et al., 2018. “Homogenous and transparent nanocellulosic films from carrot.” **Ind. Crops Prod.** 2018(18) : 53-64.
- [8] P. Cazón, et al., 2018. “Cellulose-glycerol-polyvinyl alcohol composite films for food packaging: Evaluation of water adsorption, mechanical properties, light-barrier properties and transparency.” **Carbohydr. Polym.** : 432-443.
- [9] M. L. Sanyang, et al., 2016. “Effect of plasticizer type and concentration on physical properties of biodegradable films based on sugar palm (arenga pinnata) starch for food packaging.” **J. Food Sci. Technol.** : 326–336.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาคผนวก ก.

การศึกษาคุณลักษณะของเซลล์โอสและฟิล์มเซลล์โอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ภาคผนวก ก

ศึกษาคูณลักษณะของเซลล์โลสและฟิล์มเซลล์โลสที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค ต่างๆ

### 1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการกราดลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงไปบนพื้นผิวตัวอย่างที่ทดสอบ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์พื้นผิวของวัตถุ องค์ประกอบของพื้นผิว องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติอื่นๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้นำมาศึกษาพื้นผิวของฟิล์ม

### 2. เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier-Transformed Infrared Spectrophotometry, FT-IR)

เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในโมเลกุลของนาโนเซลล์โลส รวมไปถึงวัสดุคอมโพสิตที่สังเคราะห์ได้ในสภาวะต่างๆ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง คือไม่มีการเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างหลังการวัด

### 3. คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties)

การตรวจคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มตัวอย่างทำโดยใช้ เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Meter) ที่ใช้โหลด 10 N ในการทดสอบชิ้นฟิล์มตัวอย่าง

### 4. ทดสอบการย่อยสลายตามธรรมชาติ

เตรียมภาดหลุมใส่ดินแล้วนำตัวอย่างฟิล์มขนาด 2x2 ซม<sup>2</sup> มาฝังไว้แล้วทำการตรวจสอบน้ำหนักที่หายไปในแต่ละสัปดาห์เป็นเวลา 1 เดือน หรือ 4 สัปดาห์ โดยนำน้ำหนักที่ชั่งได้หลังจากผ่านไปแต่ละสัปดาห์มาหักลบกับน้ำหนักเริ่มต้นของฟิล์ม คำนวณน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของเซลล์โลสในแต่ละสัปดาห์มาเป็นเปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ภาคผนวก ข

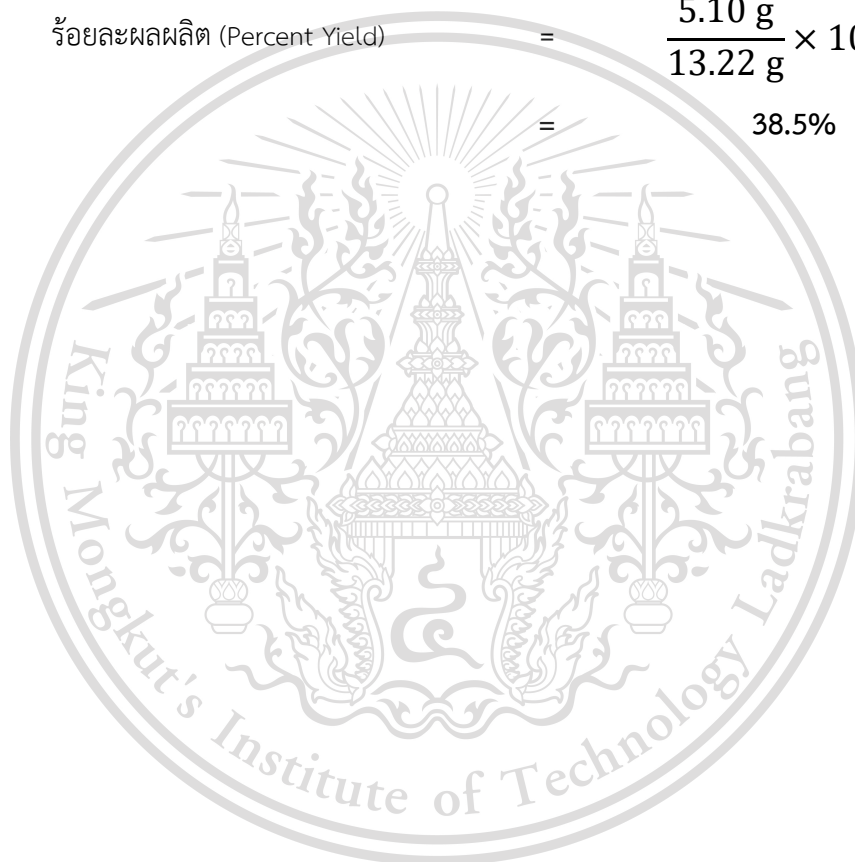
## คำนวณร้อยละผลผลิต (Percent Yield)

$$\text{ร้อยละผลผลิต (Percent Yield)} = \frac{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์}}{\text{น้ำหนักสารตั้งต้น}} \times 100\%$$

## ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ร้อยละผลผลิต (Percent Yield)} = \frac{\text{น้ำหนักของผลิตภัณฑ์}}{\text{น้ำหนักสารตั้งต้น}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละผลผลิต (Percent Yield)} &= \frac{5.10 \text{ g}}{13.22 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 38.5\% \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.