

V419.127077

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และการเตรียม

ฟิล์มเซลลูโลสจากต้นธูปฤๅษีในดินเค็ม

นางสาวอรุณรัตน์ อุทัยคุณ



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

พ.ศ. 2561

สงวนสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม



ใบอนุมัติวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

เรื่อง : การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และการเตรียมฟิล์มเซลล์สุไลจากต้นธูปฤาษีในดินเค็ม

ผู้วิจัย : นางสาวอรุณรัตน์ อุทัยคุณ

ได้รับอนุมัติเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีศึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานิตย์ อัญญาโพธิ์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สนิท ทีเมืองชัย)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.นุกูล กุดแกลง)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อารีพร เป้าอุฬาล)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชราภรณ์ พิมพ์จันทร์)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.พรพิมล พลคำ)

ชื่อเรื่อง : การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และการเตรียมฟิล์มเซลลูโลส
จากธูปต้นธูปฤาษีในดินเค็ม

ผู้วิจัย : นางสาวอรุณรัตน์ อุทัยอุ

ปริญญา : วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมีศึกษา)
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรภรณ์ พิมพ์จันทร์
อาจารย์ ดร.พรพิมล พลคำ

ปีการศึกษา : 2561

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และการเตรียมฟิล์มเซลลูโลสของธูปฤาษีในดินเค็ม บริเวณหนองบ่อ อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม โดยใช้วิธีมาตรฐาน TAPPI ในการสกัดและวิเคราะห์ จากนั้นนำเซลลูโลสที่สกัดได้พิสูจน์เอกลักษณ์และทำการขึ้นรูปฟิล์ม

จากการศึกษาพบว่า ปริมาณความชื้น สารแทรก เถ้า ลิกนิน ไฮโดรเซลลูโลส และแอลฟาเซลลูโลสมีค่าเท่ากับ 2.90 8.50 11.98 11.42 52.52 และ 63.94 ตามลำดับ พิสูจน์เอกลักษณ์เพื่อยืนยันโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสด้วยเทคนิค FT-IR พบหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลส I และเซลลูโลส II อยู่ในโครงสร้างเดียวกัน ความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD และลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM พบเซลลูโลสรูปร่างทรงกลม มีความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 47.5 และ 7.82 ไมโครเมตร ตามลำดับ ในขั้นตอนการขึ้นรูปฟิล์มของเซลลูโลสใช้สารไอออนิก 2 ชนิด คือ $ZnCl_2$ และ [BMIM]Cl และขึ้นรูปฟิล์มคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส โดยใช้แป้งมัน แป้งข้าวโพด และกลีเซอรอลเป็นส่วนผสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของฟิล์ม โดยอัตราส่วนของคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (F) แป้งมัน (T) และคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (F) แป้งข้าวโพด (C) และกลีเซอรอล (G) ที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้คือ 1:1 และ 1:1:1 โดยมีความทนแรงดึงและร้อยละการยืดเฉลี่ย 15.54 และ 28.45 สำหรับ FT และ 0.459 และ 12.127 สำหรับ FCG1

สำคัญ: ธูปฤาษี เซลลูโลส ฟิล์มเซลลูโลส

ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Title : The Study of Chemical Composition and Preparation of film Cellulose from Cattail (*Typha angustifolia* L.) in Saline Soil

Author : Ms. A-roonrat Uthaiku

Degree : Master Degree of Science (Chemistry Education)
Rajabhat Maha Sarakham University

Advisors : Assistant Professor Dr.Patcharaporn Pimchan
Dr.Pornpimol Ponkham

Year : 2018

ABSTRACT

This major aim of the research was to analyze the chemical compositions and preparation of cellulose films from Cattail (*Typha angustifolia* L.) in saline soil, Nong Bo area, Borabue district, Maha Sarakham province, by using the TAPPI standard method for extracted and analysis. The extracted cellulose was analyzed of proving chemical composition and film forming.

The research results indicated that the amount of moisture content, extractive, ash, lignin, holocellulose and alpha-cellulose was 2.90, 8.50, 11.98, 11.42, 52.52 and 63.94 % respectively. The chemical structure of cellulose was identified by FT-IR technique, the findings showed that the functionalities of cellulose I and cellulose II were in the same structure. The crystallization was analyzed by XRD technique and morphology was analyzed by SEM technique. Cellulose was presented in a needle-shape nature, the average diameter and length of the cellulose were 47.5 and 7.82 μm , respectively. The film forming process of cellulose, two types of ionic compounds were ZnCl_2 and 1-butyl-3-methylimidazolium Chloride: [BMIM]Cl and carboxymethylcellulose films. Tapioca flour (T), corn starch (C) and glycerol (G) were used as the ingredients to enhance film performance. The ratio of carboxymethyl cellulose (F) flour or corn starch and glycerol with mechanical properties was 1:1 and 1: 1: 1 with tensile strength. The average elongation and the percentage of flexibility for FT were 15.54 and 28.45 %. The average elongation and the percentage of flexibility for FCG1 were 0.459 and 12.127 %.

Keywords: Cattail, Cellulose, Film Cellulose

Major Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรภรณ์ พิมพจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ดร.พรพิมล พลคำ อาจารย์ที่ปรึกษา ร่วม ดร.นุกูล กุดแถลง ประธานกรรมการสอบ และอาจารย์ ดร.อริพร เบ้าอุพาด ผู้ทรงคุณวุฒิ ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่สนับสนุนทุนการศึกษาในครั้งนี้ รวมทั้ง อาจารย์สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกท่าน ที่คอยให้คำแนะนำแนวทางในการ เรียนและการทำวิจัยจนสำเร็จ ขอขอบพระคุณหัวหน้าศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือในการทำวิจัย รวมทั้ง เจ้าหน้าที่ที่อำนวยความสะดวกทุกท่าน

ท้ายสุดขอขอบพระคุณบิดา และมารดา ที่ให้การเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ให้โอกาสทางการ ศึกษาและเป็นผู้ที่คอยชื่นชมในความสำเร็จของผู้วิจัยมาโดยตลอด

นางสาวอรุณรัตน์ อุทัยกู
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ

หัวเรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
ABSTRACT	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 สถานที่ทำการวิจัย	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ฐปถำม	4
2.2 องค้ประกอบทงเคมีของฐปถำม	6
2.3 การใช้ประโยชน์ของเซลลูลอสและอนุพันธ์ของเซลลูลอส.....	11
2.4 ฟิล์มเซลลูลอสและอนุพันธ์ของเซลลูลอส	14
2.5 ดินเค็ม	14
2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	22
3.1 สารเคมี	22
3.2 วัสดุอุปกรณ์	23
3.3 เครื่องมือ	23
3.4 วิธีการทดลอง	24

หัวข้อเรื่อง	หน้า
3.5 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลส	29
3.6 การเตรียมฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	32
บทที่ 4 ผลการทดลอง	37
4.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี	37
4.2 การเตรียมฟิล์มจากเซลลูโลส	39
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	56
5.1 องค์ประกอบทางเคมี	56
5.2 การสกัดเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษี	56
5.3 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสโดยใช้ $ZnCl_2$ และ $[BMIM]Cl$	57
5.4 การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	57
5.5 ข้อเสนอแนะ	58
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก ข้อมูลค่าแรงดึงและร้อยละการยึดแผ่นฟิล์มเซลลูโลสทั้งหมด	72
ภาคผนวก ข เอกสารมาตรฐาน TAPPI Test Methods	75
ภาคผนวก ค สูตรการคำนวณ	79
ภาคผนวก ง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	81
ผลงานวิจัย	84
ประวัติผู้วิจัย	85

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	อัตราส่วนต่าง ๆ ในการเพิ่มประสิทธิภาพฟิล์ม	33
4.1	องค์ประกอบทางเคมีจากธาตุปฏาธิในดินเค็ม	37
4.2	ค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของงหมู่ฟังก์ชันกต่าง ๆ ของเซลลูโลส	41
4.3	สัญลักษณ์ อัตราส่วนที่ต่างกันของสารเพื่อศึกษาและเพิ่มประสิทธิภาพ ของแผ่นฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	52
4.4	ค่าแรงดึงและค่าระยะยืดแผ่นฟิล์มเซลลูโลส	54
ก.1	ค่าความทนแรงดึง	73
ก.2	ค่าระยะการยืดที่จุดขาด	74



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 รูปถ่ายบริเวณหนองบ่อ	5
2.2 โครงสร้างของลิกนิน	7
2.3 โครงสร้างของเซลลูโลส	9
2.4 โครงสร้างโมเลกุลของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ระดับแทนที่เท่ากับ 1	13
3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี	35
3.2 ขั้นตอนการสกัดและขึ้นรูปฟิล์ม	36
4.1 เซลลูโลสจากรูปถ่าย	40
4.2 สเปกตรัมอินฟราเรดของเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็ม	41
4.3 XRD Patterns ของผลึกเซลลูโลส	43
4.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็มที่สกัดได้	44
4.5 ฟิล์มเซลลูโลส	46
4.6 ความสัมพันธ์ของหมู่เซลลูโลสปกติกับเซลลูโลสแกนเกลียว	47
4.7 กลไกการแตกเกิดพันธะของ β -O-4 glycosidic ด้วยสารไอออนิก	47
4.8 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สังเคราะห์จากเซลลูโลสรูปถ่ายในดินเค็ม	48
4.9 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็ม	49
4.10 เปรียบเทียบ XRD Patterns	50
4.11 FT-IR Spectrum	51
4.12 ฟิล์มที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเตรียมได้	53
ง.1 เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	82
ง.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	82
ง.3 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer, XRD)	83
ง.4 เครื่องทดสอบค่าการทนแรงดึง (Tensile Strength)	83

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เซลลูโลส เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช เป็นเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ โครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส (Glucose) ต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (Glycosidic Bond) ชนิดเบต้า (β)-1,4 เป็นสายยาวมากกว่า 2,000 หน่วย แต่ละสายของเซลลูโลสเรียงตัวขนานกัน จับกันอย่างหลวม ๆ เซลลูโลสมีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารด้วยคุณสมบัติดูดซับน้ำ หรือจับกับน้ำได้ดี เซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลสจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการให้ความสำคัญเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ทำให้อุตสาหกรรมต่าง ๆ หันมาให้ความสนใจกับผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายง่ายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลสจึงเป็นแนวทางใหม่ในการใช้ประโยชน์ ดังจะเห็นได้จากการใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ สี เครื่องสำอาง ยา (กฤษณา ศิริเลิศมุกด, 2554) และอาหาร ใช้เติมแก้ปรับปรุงเนื้อสัมผัสในเค้ก (จันทร์รัตน์ เลิศมนรัตน์ และคณะ, 2539) ลดการอมน้ำมันในอาหารทอด (สิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร, 2557) ยืดอายุการเก็บเกี่ยวชะลอการเหี่ยวของผัก ผลไม้ (สำเร็จ ช่างประเสริฐ และคณะ, 2556) เนื่องจากเป็นวัสดุธรรมชาติย่อยสลายง่ายและไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม จากการใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย ทำให้มีราคาแพง เนื่องจากนำเข้าจากต่างประเทศ (ณัฐฐิธวีดี จินาพันธ์ และคณะ, 2555) ถึงแม้ว่าเซลลูโลสจะพบในพืชทั่วไปแต่คุณภาพที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์รวมทั้งจุดคุ้มทุนในการสกัดเซลลูโลสขึ้นกับชนิดพืช แหล่งที่พบและวิธีการสกัด จึงทำให้ปัจจุบันต้องนำเข้าเซลลูโลสจากต่างประเทศมีมูลค่าสูงถึง 861,000,000 บาท (คุษฎี สุริยพรรณพงศ์ และคณะ, 2553) ทำให้ต้องหาแหล่งของเซลลูโลสใหม่ ๆ ที่มีสมบัติตามที่ต้องการ จากการศึกษาพบว่าพืชหลายชนิดเป็นแหล่งเซลลูโลสที่ดี

เช่น ปอกระเจาให้เซลลูโลส 61 เปอร์เซ็นต์ (Kabir et al., 2012) ฟางข้าว 49.42 เปอร์เซ็นต์ (ณัฐฐิธวีดี จินาพันธ์ และ คณะ, 2555) เปลือกในหม่อน 71.03 เปอร์เซ็นต์ (วิทยา ปั่นสุวรรณ, 2541) พืชที่มีการใช้ประโยชน์น้อยและเป็นแหล่งเซลลูโลสที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งคือธูปฤาษีซึ่งมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบถึง 74.4 เปอร์เซ็นต์ (นิตยา จอมทรัพย์ และคณะ, 2558)

รูปถ่ายเป็นพืชที่ทนความเค็มได้ แพร่กระจายและขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว เป็นแหล่งเส้นใย และเซลลูโลส แต่การใช้ประโยชน์จากรูปถ่ายยังมีน้อยมากเนื่องจากจัดเป็นวัชพืช และจากการศึกษาข้อมูลพบว่ารูปถ่ายนั้นมีฤทธิ์ทางยา เช่น รากใช้เป็นยาขับปัสสาวะ(นพพล เกตุประสาท, 2557) และลำต้นช่วยเพิ่มน้ำนมในสตรีหลังคลอดบุตรด้วย (มิ่งขวัญ วงษ์ชาญศรี, 2557) แสดงให้เห็นว่ารูปถ่ายเป็นพืชที่ไม่มีพิษ และในจังหวัดมหาสารคามซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นดินเค็มโดยเฉพาะบริเวณอ่างเก็บน้ำหนองบ่อ จากการสำรวจพบว่าพืชส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แต่พบรูปถ่ายสามารถเจริญเติบโตได้จำนวนมาก

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะใช้ประโยชน์จากรูปถ่าย ซึ่งเป็นวัชพืชที่เจริญเติบโตได้ดีแม้ในดินเค็ม มาเป็นแหล่งเซลลูโลสและศึกษาการขึ้นรูปฟิล์มเซลลูโลส เพื่อใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพิ่มการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบท้องถิ่น ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกทั้งยังสร้างรายได้ให้กับชุมชนอีกทาง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรูปถ่ายในดินเค็ม
- 1.2.2 เพื่อสกัดเซลลูโลสและขึ้นรูปฟิล์มเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็ม

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ตัวอย่างรูปถ่ายเก็บจากอ่างเก็บน้ำหนองบ่อ ศูนย์วิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม บ้านหนองโดน ตำบลหนองสิม อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม

1.3.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรูปถ่าย ได้แก่ สารแทรก ความชื้น เถ้า ดิกนิน แอลฟา-เซลลูโลส ไฮโดรเซลลูโลส จากรูปถ่ายในดินเค็ม โดยใช้วิธีมาตรฐาน จากนั้นสกัดเซลลูโลส และศึกษาวิธีการเตรียมฟิล์มเซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลส โดยใช้ตัวทำละลายและสารเติมในปริมาณต่าง ๆ เพื่อเสริมคุณลักษณะต่าง ๆ ของฟิล์มที่ได้

1.4 สถานที่ทำการวิจัย

1.4.1 ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

1.4.2 ศูนย์หนองบ่อ จังหวัดมหาสารคาม

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

รูปถ่าย หรือ ก้าง ชื่ออื่น ๆ คือ กกรูป หน้ำสลาบหลวง เพื่อ ปรีอ เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่เป็นไม้ล้มลุกชนิดหนึ่ง อายุหลายปี มีถิ่นกำเนิดในทวีปยุโรปและอเมริกา ต้นตรง สูง 1.5-3 เมตร เหง้ากลม แทงหน่อขึ้นเป็นระยะสั้น ๆ ใบเดี่ยวเรียงสลับระนาบเดียว ใบเป็นรูปแถบแบน กว้าง 1-2 เซนติเมตร ยาว 2 เมตร ใบแตกสลับกันเป็นสองแถวด้านข้าง มีกาบใบ แผ่นใบด้านบนโค้งเล็กน้อย ส่วนด้านล่างแบน ช่อดอกเป็นสีน้ำตาล ช่อดอกรูปทรงกระบอก แยกเพศบนก้านเดียวกัน

เซลลูโลส ($C_6H_{10}O_5$)_n เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดจากกลูโคสประมาณ 50,000 โมเลกุลมาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว แต่ละสายของเซลลูโลสเรียงขนานกันไป มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสาย ทำให้มีลักษณะเป็นเส้นใย สะสมไว้ในพืช ไม่พบในเซลล์สัตว์ เซลลูโลสไม่ละลายน้ำและร่างกายของมนุษย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ แต่ในกระเพาะของวัว ควาย ม้า และสัตว์ที่แทะมีกิบ มีแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายเซลลูโลสให้เป็นกลูโคสได้ ถึงแม้ว่าร่างกายของมนุษย์จะย่อยเซลลูโลสไม่ได้ แต่เซลลูโลสจะช่วยให้การกระตุ้นลำไส้ใหญ่ให้เคลื่อนไหว เส้นใยบางชนิดสามารถดูดซับน้ำได้ดี จึงทำให้อุจจาระอ่อนนุ่ม ขับถ่ายง่าย ท้องไม่ผูก ลดโอกาสการเกิดโรคริดสีดวงทวาร เซลลูโลสเมื่อถูกย่อยจะแตกตัวออก ให้น้ำตาลกลูโคสจำนวนมาก

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบปริมาณ ความชื้น สารแทรก ถ้ำ ลิกนิน ไฮโดรเซลลูโลส และแอลฟาเซลลูโลสของต้นรูปถ่ายในดินเค็ม

1.6.2 ได้ฟิล์มเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็ม

1.6.3 ทราบคุณสมบัติของฟิล์มเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็ม

บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่อง การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และการเตรียมฟิล์มเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษี ในดินเค็ม มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารแทรก ลิกนิน ไฮโดรเซลลูโลส และแอลฟาเซลลูโลส การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสจากต้นธูปฤาษีในดินเค็ม ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2.1 ธูปฤาษี

ธูปฤาษี ชื่อวิทยาศาสตร์ *Typha angustifolia* L. ชื่อสามัญ Cat-tail, Elephant grass, Lesser reedmace, Narrow-leaved Cat-tail ชื่ออื่น ๆ กกช้าง กกธูป เพื่อ ปรีอ หญ้าสลาบหลวง ถิ่นกำเนิด ทวีปยุโรป และอเมริกา

1. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ธูปฤาษีเป็นไม้ล้มลุกมีอายุหลายปี เหง้ากลม แทงหน่อขึ้นเป็นระยะสั้น ๆ ลำต้นตั้งตรงมีความสูงประมาณ 1.5-3 เมตร เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ชุ่มน้ำ ใบเป็นใบเดี่ยว มีกาบใบเรียงสลับในระนาบเดียวกัน ลักษณะใบเป็นรูปแถบ มีความกว้างประมาณ 1.2-1.8 เซนติเมตร และยาวประมาณ 50-120 เซนติเมตร แผ่นใบด้านบนมีลักษณะโค้งเล็กน้อยเพราะมีเซลล์หุ้มตัวคล้ายฟองน้ำหุ้มอยู่กลางใบ ส่วนด้านล่างของใบแบน ออกดอกเป็นช่อแบบเชิงกลลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ช่วดอกเพศผู้มีความยาวประมาณ 8-40 เซนติเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่อประมาณ 0.2-0.7 เซนติเมตร และมีใบประดับประมาณ 1-3 ใบ หลุดร่วงได้ ส่วนช่วดอกเพศเมียจะมีความยาวประมาณ 5-30 เซนติเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของช่อประมาณ 0.6-2 เซนติเมตร มักแยกออกจากส่วนดอกเพศผู้ด้วยส่วนของก้านช่อดอกที่เป็นหมันที่มีความยาวประมาณ 2.5-7 เซนติเมตร ดอกมีขนาดเล็ก ไม่มีกลีบเลี้ยงและกลีบดอก เกสรเพศผู้ส่วนมากแล้วจะมี 3 อัน มีขนขึ้นล้อมรอบ ก้านเกสรเพศผู้จะสั้น ผลมีขนาดเล็กมาก เมื่อแก่จะแตกตามยาว ลักษณะเป็นรูปปรี (นพพล เกตุประสาท, 2557)



ภาพที่ 2.1 ฐูปถาญีบริเวณหนองบ่อ

2. ประโยชน์ของต้นฐูปถาญี

2.1 ใบฐูปถาญีมีความยาวและเหนียวนิยมใช้ทำเครื่องจักสาน เช่น ตะกร้า เสื่อใช้มุงหลังคา และทำเชือก ดอกแก่จัดมีขนปุยนุ่มมีลักษณะคล้ายปุยขนุนจึงนิยมใช้แทนขนุน ในอินเดียเคยใช้ก้านช่อดอกทำปากกา เชื้อ (Pulp) ของต้นฐูปถาญีนำมาใช้ทำใยเทียม (Rayon) และกระดาษได้ เส้นใยมีสีขาวหรือน้ำตาลอ่อน นำมาทอเป็นผ้าใช้แทนฝ้ายหรือขนสัตว์ (จิติ หนูแก้ว, 2556)

2.2 ต้นฐูปถาญีสามารถช่วยบำบัดน้ำเสียตามแหล่งต่าง ๆ และสามารถเจริญเติบโตได้ดีแม้จะอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำเสียตามชุมชนหรือตามแหล่งน้ำจากโรงงานต่าง ๆ และยังทำให้น้ำเสียในบริเวณนั้นมีคุณภาพที่ดีขึ้น มีศักยภาพในการลดค่าความเป็นกรดต่างของน้ำ ช่วยปรับเปลี่ยนสีของน้ำที่ไม่พึงประสงค์ให้ต่ำลง และช่วยลดความเป็นพิษในน้ำได้ (สุมล นิลรัตน์นิศากร, 2551) ฐูปถาญีสามารถกำจัดไนโตรเจนจากน้ำเสียในที่ลุ่มต่อไร่ได้ถึง 400 กิโลกรัม ต่อปี และสามารถดูดเก็บโพแทสเซียมต่อไร่ได้ถึง 690 กิโลกรัม ต่อปี (ชูชาติ สุขมาก, 2560)

2.3 ดอกของต้นฐูปถาญีสามารถใช้กำจัดคราบน้ำมันได้เป็นอย่างดี โดยน้ำหนักของดอกต้นฐูปถาญี 100 กรัม สามารถช่วยกำจัดคราบน้ำมันได้มากกว่า 1 ลิตร

2.4 ลำต้นใต้ดิน และราก ใช้เป็นยาบำบัดโรคบางชนิด เช่น ขับปัสสาวะ ยกด่อนกินได้ ทั้งสดและทำให้สุก ช็อคโกบั้งกินได้ แป้งที่ได้จากลำต้นใต้ดินและรากใช้บริโภคได้เช่นกัน (จิตินหนูแก้ว, 2556)

2.5 ซากของรูปถ่ายสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุคลุมดินสำหรับไม้ยืนต้นตามสวนผลไม้ต่าง ๆ เพื่อลดการสูญเสียน้ำจากผิวดิน หรือลดการชะล้างหน้าดินจากน้ำฝนได้ ต้นรูปถ่ายมีระบบรากที่ดี จึงช่วยป้องกันการพังทลายของดินตามชายน้ำได้

การป้องกันกำจัดรูปถ่าย ควรทำก่อนออกดอกจะดีที่สุด เมล็ดมีการแพร่ระบาดได้ดีโดยลมและน้ำได้ง่าย จึงเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่จะมีบทบาทเป็นพืชเศรษฐกิจในอนาคต (สุเมธ นิลรัตน์ นิสากร, 2551)

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของรูปถ่าย

2.2.1 ความชื้น (Moisture)

ความชื้น หมายถึง ปริมาณน้ำในเชื้อ สามารถผันแปรได้ ตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศขณะนั้น (International Organization for Standardization, 1984) เส้นใยสิ่งทอทุกชนิดมีคุณสมบัติที่เรียกว่า Hygroscopic Material คือความสามารถในการดูดและคายความชื้นระหว่างเส้นใยกับบรรยากาศได้ ขึ้นอยู่กับว่าความชื้นในบรรยากาศนั้นมีมากหรือน้อยกว่า ผลของความชื้นในเส้นใยทำให้สมบัติทางกายภาพของเส้นใยเปลี่ยนแปลงไป เช่น สมบัติที่เกี่ยวกับน้ำหนัก การยืดหยุ่น และความแข็งแรง (Teeraprasert, 2014 Cited in Collier and Epps, 1998).

2.2.2 เถ้า (Ash)

เถ้า เป็น ปริมาณเถ้าที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิสูง (500-600 องศาเซลเซียส) จนได้เถ้าสีขาว ในยาสมุนไพรวิธีนี้เหมาะกับตัวยาที่มีปริมาณ Calcium oxalate น้อยมาก และสมุนไพรที่มีสารอินทรีย์ชนิด Non-volatile เช่น Wax (กิตติศักดิ์ แคล้วจันทร์สุข, 2561)

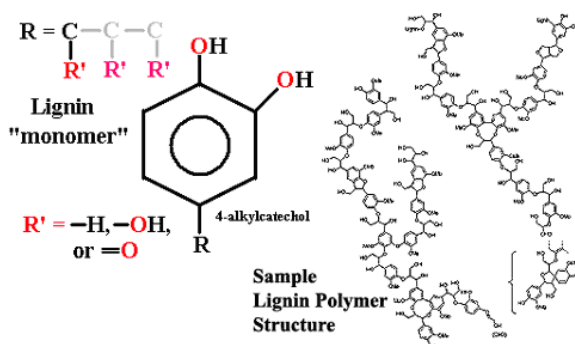
2.2.3 สารแทรก (Extractive)

สารแทรก คือ สารประกอบที่เป็นคุณสมบัติของพันธุ์ไม้แต่ละชนิด ไม่ใช่องค์ประกอบของโครงสร้างของผนังเซลล์ อาจเป็นกรดหรือเป็นกลางก็ได้ มีตั้งแต่สารไอโซพรีนเทอร์ปีนเฮดเตอโรไซคลิก กรดเรซิน อัลคาลอยด์ และสารโพลีฟีนอลต่าง ๆ เป็นต้น สารประกอบเหล่านี้จะทำให้พืชแต่ละชนิดมีสี กลิ่น รส และความแข็งแรงแตกต่างกันออกไป แบ่งเป็นสารแทรกที่ละลายน้ำได้กับที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ สารแทรกที่อยู่บนพืชจะเป็นพวกสารระเหย (Volatile Compounds) กรดไขมัน (Fatty Acid) ไข (Wax) Polysaccharide สารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวน

(Aromatic Compound) เช่น Flavonoid Stilbenes Tannins เป็นต้น (โสธญา สัมเจียวหวาน, 2557) สารแทรกมีประมาณ 5-30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งรวมไปถึงสารส่วนน้อย (Minor constituent) เป็นสารประกอบที่ก่อให้เกิดเถ้า เช่น สารประกอบแคลเซียม โปแทสเซียม ฟอสเฟตและซิลิกา สารส่วนนี้มีประมาณ 0.1-3 เปอร์เซ็นต์โดยมวล (บัญญัติ เจริญ, 2556) การใช้ประโยชน์ของสารแทรกขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีของสารนั้น เช่น สารแทรกพวกเทอร์ฟีนอาจใช้เป็นตัวทำละลาย ทำน้ำหอม ยา สบู่ กาว และใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ พวกโพลีฟีนอล ใช้ในการฟอกหนัง สังกะหรณ์ กาว ส่วนพวกอัลคาลอยด์ส่วนใหญ่ประโยชน์ทางเภสัชกรรม (โสธญา สัมเจียวหวาน, 2557)

2.2.4 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนิน เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีมวลโมเลกุลสูง อยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนินประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด ซึ่งเป็นสารอโรมาติก (ริกาญจน์ ฉัตรสกุลวิไล, มปป.) ลิกนินมีโครงสร้างที่แข็งแรง ไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เอทานอลที่ร้อน ลิกนินที่เกิดจากกระบวนการฟอกเชื้อใช้สภาวะต่างเข้มข้น ผ่านกระบวนการต้มที่มีอุณหภูมิสูงจะตกตะกอนโดยการปรับสภาวะด้วยสารละลายกรด (ลดาร์ตัน เลี่ยมปริษา, ภาสกร จุฑากฤษญา และชนิษฐา คำวิสัยศักดิ์, 2557, 2557, น. 21-26) ปกติ ลิกนิน จะอยู่ในส่วนผนังเซลล์พืช พบในปริมาณที่แตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ในธรรมชาติลิกนินเป็นส่วนป้องกันเซลลูโลสไม่ให้ถูกย่อยได้ง่ายโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ (รัชพล พะวงศรีรัตน์, 2558) ลิกนินในพืชใบแคบมีปริมาณ 26-32 เปอร์เซ็นต์ และพืชใบกว้างมีปริมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ ในพืชตระกูลหญ้ามีประมาณ 10-40 เปอร์เซ็นต์ (เกียรติพงษ์ สงพรหม, 2554)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของลิกนิน. ปรับปรุงจาก ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระดาษอย่างง่ายจากเปลือกกล้วยสดและจากผลผลิตเหลือทิ้งหลังการหมักเอทานอล โดย โสธญา สัมเจียวหวาน, 2557, สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

2.2.5 โฮโลเซลลูโลส (Holocellulose)

โฮโลเซลลูโลส เป็นส่วนของคาร์โบไฮเดรตหลักที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) มีส่วนของน้ำตาลต่าง ๆ อยู่เล็กน้อย เช่น แป้งและเพคติน (Pectin) โฮโลเซลลูโลสเป็นการรวมกันของเซลลูโลส (40-45 เปอร์เซ็นต์) และเฮมิเซลลูโลส (15-25 เปอร์เซ็นต์) โดยทั่วไปจะมีปริมาณโฮโลเซลลูโลส (65-70 เปอร์เซ็นต์) ของน้ำหนักแห้งซึ่งการเกิดพอลิเมอร์ (Polymer) ส่วนใหญ่เกิดจากน้ำตาล D-mannose, D-glucose, D-xylose D-galactose, L-arabinose, D-glucuronic acid และน้ำตาลอื่น ๆ อีกเล็กน้อย เช่น D-fucose และ L-rhamnose โดยที่พอลิเมอร์ดังกล่าวมีส่วนของ Hydroxyl Group ซึ่งสอดคล้องกับการจับตัวของความชื้นในพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bonding) (Rowell, 2005 อ้างถึงใน จวีวรรณ ลีลาธนาพิพัฒน์, 2553)

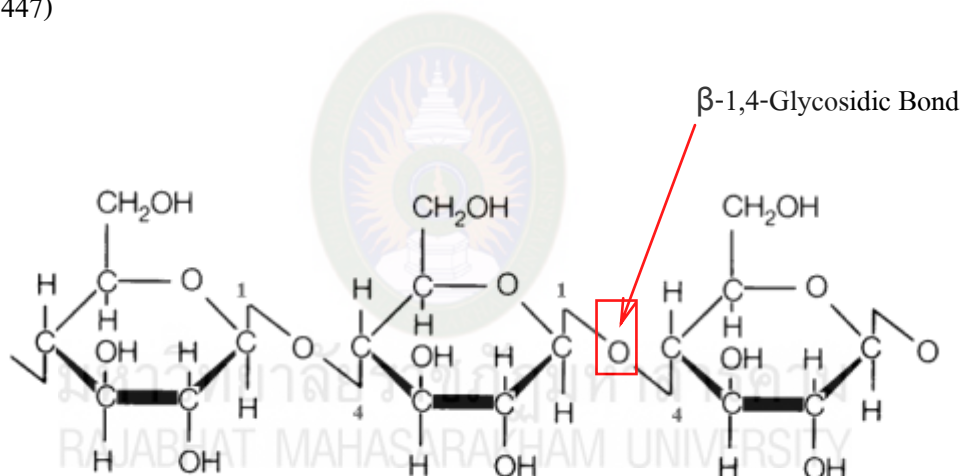
2.2.6 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลส เป็นส่วนประกอบหลักที่มีมากที่สุดในพืช พบได้ตามผนังเซลล์ของพืชทุกชนิดมีหน้าที่ช่วยทำให้พืชมีโครงสร้างแข็งแรง ในธรรมชาติจะไม่พบเซลลูโลสในรูปอิสระแต่มักจะพบรวมกับลิกนิน เฮมิเซลลูโลส กัมเพนโตแซน แทนนิน ไชมันและสารเกิดสีในพืช เป็นต้น

1. โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์เส้นตรง ประกอบด้วยโมเลกุลที่ต่อกันเป็นสายโซ่ยาวของกลูโคสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโครงสร้าง มีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ $(C_6H_{12}O_6)_n$ เมื่อ n คือจำนวนหน่วยกลูโคสทั้งหมดที่ประกอบกันเป็นโครงสร้าง ด้วยโมเลกุลของกลูโคส (D-glucose) ตั้งแต่ 15 - 40,000 หน่วย ต่อกันเป็นเส้นตรง (Linear Homopolymer) ด้วยพันธะเบต้า-ไกลโคซิด (หรือยูกอง สิงห์จานุสงค์ และคณะ, 2553) เซลลูโลสเป็นโฮโมโพลิเมอร์มีลักษณะเป็นเส้นตรง ไม่มีกิ่งก้าน ประกอบด้วยหน่วยย่อยคือ เบต้า-ดี-กลูโคไพราโนส (β -D-Glucopyranose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิก (β -1,4-Glycosidic Bond) เกิดเป็นโพลิเมอร์กลูแคน (Glucan) มีความยาวตามธรรมชาติประมาณ 10,000 หน่วย ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมี Cellobiose เป็นหน่วยพื้นฐาน โดยเซลลูโลสสามารถพิจารณาได้จาก Isotactic Polymer ของเซลลูโลส (Sixta, 2006) เซลลูโลสรวมกันเป็นส่วนที่มีโครงสร้างแบบผลึก (Crystalline) ซึ่งเป็นส่วนที่มีความเป็นระเบียบสูง และส่วนที่มีความเป็นผลึกต่ำ (Amorphous) โดยส่วนของ Crystalline จะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ยากกว่า Amorphous (Caffall, 2009 อ้างถึงใน เวสารัช สุนทรชัยบูรณ์ และรัชพล พะวงศรีรัตน์, 2556) มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 300,000 - 500,000 ดาลตัน จำนวนหน่วยย่อยของโมเลกุลเซลลูโลสมักจะแตกต่างกันออกไปอย่างกว้างขวางขึ้นกับชนิดของพืช นอกจากนี้ยังพบพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของหน่วยย่อย โดยที่พันธะไฮโดรเจนเกิดระหว่าง Hydroxyl Group ของคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 กับออกซิเจนในวงของโมเลกุลหน่วยย่อยถัดไปทำให้

สายโซ่ของเซลลูโลสขนานกันยึดเกาะเข้าด้วยกันมีผลทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสซับซ้อนและยากต่อการย่อยสลายมากยิ่งขึ้น (สุนิสา เสถียรนรเศรษฐ์, 2549) เซลลูโลสที่มีในธรรมชาติมีการจัดเรียงตัวหลายรูปแบบของเซลล์ เช่น โครงสร้างแบบโมโนคลินิก เป็นแบบขนาน มีอยู่ในเซลลูโลสพื้นฐาน (Monoclinic: ระบบผลึกที่มี 3 ด้านยาวไม่เท่ากัน มี 2 แกนทำมุมตั้งฉากกัน แกนที่ 3 ไม่ตั้งฉาก) สำหรับหน่วยเซลล์ (Unit cell) ของสารตั้งต้นคือเซลลูโลส I (Cellulose I Crystal Modification) สำหรับเซลลูโลสธรรมชาติทั่วไปการเลี้ยวเบนของแสงเอ็กซ์เรย์ที่สังเกตได้ พบว่ามีสามจุดของแถบการเลี้ยวเบนแสงที่มุมประมาณ 14°, 16° และจุดที่มีแถบการเลี้ยวเบนของแสงชัดเจนที่สุดคือที่มุม 22° ส่วนเซลลูโลสที่ประดิษฐ์จากสารพอลิเมอร์ธรรมชาติจัดเป็นเซลลูโลส II (Regenerated Cellulose II) ได้จากเซลลูโลสตั้งต้นถูกทำปฏิกิริยากับสารละลายต่างเข้มข้นหรือทำให้ตกตะกอนจากสารละลาย มีโครงสร้างแบบบิดเกลียว (Yueping, 2010, Yue et al., 2015, pp. 438-447)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างเซลลูโลส. ปรับปรุงจาก การผลิตไบโอเอทานอลจากต้นปาล์มน้ำมัน, โดย บัญญัติ เฉิดฉิม, 2556, สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

2. สมบัติของเซลลูโลส

2.1 การละลาย เซลลูโลสเป็นเส้นใยชนิดไม่ละลายน้ำ (Insoluble Dietary Fiber, IDF) ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ไม่ละลายในด่าง ไม่สามารถละลายน้ำได้แต่สามารถดูดซับน้ำไว้ที่บริเวณผิวจึงเกิดการพองตัว เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสจับตัวหนาที่บีบเป็นเส้นหยาบ มีทั้งโมเลกุลที่เรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันและสวนทางกัน ทำให้เส้นใยแข็งแรง ไม่เปราะง่าย จึงมีความแข็งแรงและไม่ละลายน้ำหรือสารอินทรีย์ใด ๆ แต่มีบางส่วนที่โมเลกุลเรียงตัวไม่เป็นระเบียบจับกันไม่แน่น ส่วนนี้เองที่สามารถดูดซับน้ำได้จึงเกิดการพองตัว ซึ่งความสามารถในการพองตัวทั้งในน้ำและสารละลาย

จะแตกต่างกันไป โดยเมื่อเรียงลำดับตามความสามารถ ในการพองตัวของเซลลูโลสในสารละลาย โดยเรียงลำดับ จากน้อยไปมากได้ดังนี้ ตัวทำละลายอินทรีย์ < น้ำ < เกลือ < กรด < ต่าง (จุฑารัตน์ พงษ์โนรี, 2557) เซลลูโลสสามารถแบ่งได้ตามการละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ 3 ชนิด คือ

2.1.1 แอลฟา-เซลลูโลส (α - Cellulose) เป็นส่วนที่ไม่ละลายในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ สำหรับปฏิกิริยา Alkalization โดยเป็นคาร์โบไฮเดรตที่เหลือหลังจากบำบัด เยื่อด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้อง (Sixta, 2006) แอลฟาเซลลูโลสทนต่อ การละลายได้ดี และมีความแข็งแรง (ประเทือง, 2548)

2.1.2 บีตา-เซลลูโลส (β - Cellulose) คือเซลลูโลสที่ละลายได้ในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้องแต่สามารถตกตะกอนได้ง่ายใน สารละลายที่มีสภาพเป็นกรด

2.1.3 แกมมา-เซลลูโลส (γ - Cellulose) คือเซลลูโลสที่ละลายได้ในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซ็นต์ และสารละลายกรด แต่สามารถตกตะกอนได้ด้วย แอลกอฮอล์ (เกียรติพงษ์ สงพรหม, 2554) ซึ่งอาจจะหมายถึงเฮมิเซลลูโลสที่มีขนาดเล็ก (ประเทือง, 2548)

นอกจากนี้เซลลูโลสยังประกอบด้วย 2 ส่วนในโมเลกุล คือ ด้านนอกของโมเลกุลจะมี ลูกโซ่ที่จับกันอย่างหลวม ๆ ตัวทำละลายสามารถแทรกเข้าไปได้ ดังนั้นการย่อยสลายหรือเกิดสาร อนุพันธ์จะเกิดที่ส่วนนี้ก่อน เรียกส่วนนี้ว่า Amorphous Region ด้านในโมเลกุล จะมีลูกโซ่ที่จับกัน แน่นมาก ด้วยแรงจากพันธะไฮโดรเจนและแรงอื่น ๆ ทำให้ตัวทำละลายแทรกเข้าไปในส่วนนี้ได้ ยาก เรียกส่วนนี้ว่า Crystalline Region ถ้ามีการย่อยสลายเฉพาะ Amorphous Region จนเหลือแต่ Crystalline Region จะได้ผลผลิตที่เรียกว่า Avicel ซึ่งเป็น Microcrystalline Cellulose ใช้เป็นสาร ช่วยตอกในยาเม็ด เซลลูโลสจะพองตัวในต่าง โดยเฉพาะสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ยิ่งความ เข้มข้นของสารละลายสูง การพองตัวก็จะมากขึ้นเซลลูโลสสามารถละลายได้ในสารละลายเข้มข้น ของกรดแรมและเกิดการย่อยสลายได้ในสารละลายกรดแรมที่อุณหภูมิห้องและยิ่งอุณหภูมิสูงจะเกิด การย่อยสลายได้เร็วขึ้น (จุฑารัตน์ พงษ์โนรี, 2557)

2.2 ความหนืด เป็นสมบัติที่สำคัญของเซลลูโลส ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลส ความหนืดก็จะเพิ่มขึ้นทำให้มีคุณสมบัติทางกายภาพดีขึ้น อุตสาหกรรมผงซักฟอก อาหาร การขูด เจาะ สิ่งทอ กระดาษ ยาและเวชภัณฑ์ สีทา เซรามิก กาว และมีแนวโน้มที่จะขยายตัว ในด้าน อุตสาหกรรมอาหาร โดยเฉพาะอาหารและเครื่องดื่ม ที่มีแคลอรีต่ำเพื่อการลดน้ำหนัก นอกจากนี้ยัง

ใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ อีก เช่น อุตสาหกรรมไม้อัด ซีเมนต์ ลวดเชื่อมไฟฟ้า ดินสอ วัตถุระเบิด บุหรี่ หนังสือ เครื่องสำอาง ของใช้ประจำบ้าน ได้แก่ ยาสีฟัน โฟมล้างหน้า โลชัน (ปราณี รัตนวดีศิริโรจน์ และคณะ, 2542)

2.3 การดูดซับความชื้น เซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีการดูดซับหรือคายไอน้ำหรือของเหลวอื่น ๆ ในบรรยากาศรอบตัวของมัน จนกระทั่งถึงจุดสมดุลโดยสมดุลของความชื้นของเซลลูโลสจะแปรเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศนั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ เช่น เกิดความชื้นสูงขึ้นค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น

2.4 ค่าความหนาแน่นของเซลลูโลส เซลลูโลสเป็นเส้นใยเดี่ยวจะไม่มีค่าความหนาแน่นที่แน่นอน ค่าความหนาแน่นจะแปรเปลี่ยนไปตามแหล่งที่มาหรืออาจเปลี่ยนไปเนื่องจากการปรับปรุงทางเคมี

2.3 การใช้ประโยชน์ของเซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลส

2.3.1 ประโยชน์ของเซลลูโลส

เซลลูโลส มีความสำคัญทางด้านอุตสาหกรรม เช่น อาหาร ยา เครื่องสำอาง ผงซักฟอก กาว พอลิเมอร์ น้ำมัน เป็นต้น (คุษฎี สุริยพรรณพงศ์ และคณะ, 2557) ใช้ทำเครื่องนุ่งห่ม ทำกระดาษ ทำพลาสติก (สุชัยพรรณ เข้มแก้ว, 2559)

2.3.2 อนุพันธ์ของเซลลูโลส

เซลลูโลสไม่ละลายน้ำสามารถดัดแปรโครงสร้างให้เป็นอนุพันธ์เซลลูโลสที่ละลายน้ำได้โดยแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลอิสระที่อยู่บนเซลลูโลส ให้เป็นหมู่อื่น ๆ เช่น Hydroxyethyl Cellulose: HEC, Carboxymethyl Cellulose: CMC, Highsubstituted Hydroxy Propylmethyl Cellulose Phthalate: HPMCP, Methylcellulose: MC, Microcrystalline cellulose: MCC, Ethyl Cellulose: EC, Hydroxy propyl Cellulose: H-HPC, Hydroxypropylmethyl Cellulose: HPMC อนุพันธ์เซลลูโลสสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านบรรจุภัณฑ์โดยนำไปเป็นฟิล์ม หรือสารเคลือบบริโภคได้หรือสามารถย่อยสลายได้ (สุมิตรา ภูมิสะอาด, 2523, พรชัย ราชชนะพันธุ์, 2550, น. 790-799) อนุพันธ์ของเซลลูโลสจะมีความหลากหลายในเรื่องของขนาดอนุภาค และความชื้น ทำให้มีสมบัติและการนำไปใช้ที่แตกต่างกัน เช่น เป็นสารดูดซับ (Absorbant) สารช่วยไหล (Glidant) สารช่วยเจือจาง (Tablet and Capsule Diluent) สารช่วยแตกตัว (Disintegrant) ในยาเม็ด หรือสารช่วยกระจายตัว (Suspending Sgent) ในยาน้ำ นอกจากนี้ยังมีลักษณะเป็นฟู (Fluffy) มีความพรุน และการไหลที่ไม่

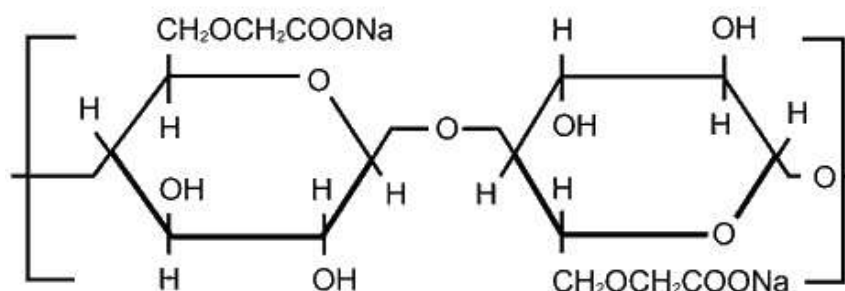
ดี แต่มีสมบัติในการตอกอัดจึงสามารถนำมาใช้เป็นสารเพิ่มปริมาณสำหรับตอกอัดโดยตรง (Direct Compression Filler)

1. Microcrystalline Cellulose: MCC เกิดจากกระบวนการ Depolymerization ของเซลลูโลสทำให้พอลิเมอร์มีขนาดเล็กลง หรือที่เรียกว่า “Partially Depolymerized Cellulose” Microcrystalline Cellulose มีสูตรโมเลกุลเช่นเดียวกับเซลลูโลสแต่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า n ประมาณ 220) น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 36,000 คาลตันลักษณะเป็น Crystalline Powder ซึ่งเป็นผงสีขาวละเอียด ไม่มีกลิ่น และรส โมเลกุลมีความหลากหลายในเรื่องของขนาดอนุภาคและความชื้น ทำให้มีสมบัติและการนำไปใช้ที่แตกต่างกับ เช่นเดียวกับ Powdered Cellulose (คุชฎี สุริยพรรณ พงศ์ และคณะ, 2553)

2. Carboxymethyl Cellulose: CMC คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสได้ผลิตขึ้นครั้งแรกในประเทศเยอรมันในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 เพื่อใช้แทน Gelatin มีขั้นตอนการผลิต คือ ครั้งแรกจะใส่โซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปในเซลลูโลสบริสุทธิ์ เพื่อให้เส้นใยพองตัว จากนั้นให้ทำปฏิกิริยากับโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตท ดังสมการ (เกรียงศักดิ์ ศรีวิจิตรกมล, 2543)



คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสชนิดหนึ่งซึ่งเกิดการแทนที่ของหมู่ $-\text{CH}_2\text{COOH}$ (Carboxymethyl Groups) บนหมู่ $-\text{OH}$ (Hydroxyl Group) 3 หมู่ของหน่วยย่อยของเซลลูโลส เกิดเป็น Ether Linkage ขึ้น การแทนที่ของหมู่ $-\text{CH}_2\text{COOH}$ (สุนิสา เติษยนรเศรษฐ์, 2549) โดยที่โครงสร้างของ Anhydroglucose Unit ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) ในโมเลกุลของเซลลูโลสจะมี Hydroxyl Groups ทั้งสามกลุ่มถูกแทนที่หมด หรือมีองศาการแทนที่ (Degree of substitution: D.S.) เท่ากับ 3 สภาพที่เหมาะสมสำหรับการละลายและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่ต้องการนั้นจะได้จาก CMC ที่มี Degree of Substitution ต่ำ ชนิดที่ผลิตเป็นการค้าทั่วไปมี Degree of substitution 0.4 -1.2 ส่วนชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีไม่เกิน 0.9 นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์เซลลูโลสที่มี Degree of Polymerization: D.P. สูง จะมีคุณสมบัติเป็น Film-strong ดีกว่าชนิดที่มี D.P. ต่ำ เนื่องจากคุณสมบัติของ CMC ทั้งทางฟิสิกส์และทางเคมี เช่น Degree of Solubility, Degree of Polymerization และ Uniformity of Substitution ขนาดของอนุภาค รูปร่าง ความถ่วงจำเพาะจึงทำให้มีการผลิต ซีเอ็มซี หลายชนิดเพื่อจุดประสงค์ในการใช้ที่แตกต่างกันออกไป (เกรียงศักดิ์ ศรีวิจิตรกมล, 2543)



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 1. ปรับปรุงจาก *Carboxymethyl cellulose: cmc*, โดย นิธิยา รัตนาปนนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, <http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/1439/CMC>.

2.3.3 คุณสมบัติของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

2.3.3.1 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสส่วนใหญ่เป็นสารสีขาวตามสีของเซลลูโลสเมื่อละลายน้ำจะใส ไม่มีสี ไม่มีอันตราย

2.3.3.2 คงตัวในสภาพที่มีความเป็นกรด-ด่างประมาณ 2.0-10.0 (pH 2.0-10.0)

2.3.3.3 น้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 2,100-500,000

2.3.3.4 ละลายในน้ำ ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายในสารละลายผสมระหว่างน้ำกับตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายน้ำ เช่น เอทานอล หรือ อะซิโตน

2.3.3.5 มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.5-8.0

2.3.3.6 เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายที่มีความหนืดต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่างและค่าความยาวโซ่เฉลี่ยของ Macromolecule

2.3.3.7 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีองศาการแทนที่ต่ำกว่า 0.1 จะไม่ละลายน้ำ และไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ถ้าองศาการแทนที่สูงกว่า 0.2 จะละลายน้ำแต่ยังไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

2.3.4 ประโยชน์และการนำไปใช้งานของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ขายกัน โดยทั่วไปอยู่รูปของเกลือโซเดียม คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีหลายเกรดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองศาการแทนที่ ความสม่ำเสมอของหมู่แทนที่ และองศาความบริสุทธิ์ สามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น วัสดุชักฟอก สี สารหล่อลื่นในการขุดเจาะน้ำมัน กระจกยา เซรามิกส์ กาว (สุนิสา เสถียรนรเศรษฐ์, 2549) อาหาร เครื่องสำอาง สิ่งทอ ยา สารฆ่าแมลง (คุษฎี สุริยพรรณพงศ์ และคณะ, 2553)

2.4 พิล์มเซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลส

คือ วัสดุแผ่นบางที่สามารถนำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ได้ เพื่อช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา ป้องกันการซึมผ่านเข้า-ออกของไอน้ำ ความชื้น ก๊าซชนิดต่าง ๆ (เช่น ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์) น้ำมัน ไขมัน หรือสารที่สามารถถูกละลายได้ง่าย รวมทั้งช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย การใช้ฟิล์มย่อยสลายได้จะมีข้อจำกัดในการใช้งานมากกว่า และมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านเข้าออกของไอน้ำ ความชื้นได้น้อยกว่า เมื่อเทียบกับฟิล์มพลาสติก จึงทำให้ไม่อาจใช้ฟิล์มย่อยสลายได้แทนฟิล์มพลาสติกได้ แต่สามารถใช้ฟิล์มย่อยสลายได้เป็นส่วนประกอบในการปรับปรุงคุณภาพของอาหาร หรือยืดอายุการเก็บรักษา หรือช่วยลดปริมาณการใช้ฟิล์มพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ง่าย ต้องใช้เวลาในการทำลายที่ยาก ย่อยสลายได้ยาวนาน เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย (มยุรา ปรารธนาเปลี่ยน, 2547) แผ่นฟิล์มย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นพลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติและสามารถย่อยสลายได้ด้วย กระบวนการทางชีวภาพ วัสดุธรรมชาติที่นำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพมีหลายชนิดส่วนใหญ่จะได้มา จากพืช เช่น เซลลูโลส (Cellulose) คอลลาเจน (Collagen) เคซีน (Casein) พอลิเอสเทอร์ (Polyester) แป้ง (Starch) และโปรตีนจากถั่ว (Soy protein) เป็นต้น เนื่องจากปัจจุบันพลาสติก ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อนำไปฝังดินจะย่อยสลายยาก และใช้เวลานานทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ หรือถ้านำไปเผาทำลายจะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ และมลสารที่ปนเปื้อนในอากาศนี้อาจเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย (วิลาศ รัตนานุกุล, 2554)

2.5 ดินเค็ม (Saline Soil)

ดินเค็ม หมายถึง ดินที่มีปริมาณเกลือที่ละลายอยู่ในสารละลายดินมากเกินไป มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชซึ่งอาจรุนแรงถึงทำให้พืชตายได้ เนื่องจากทำให้เกิดการขาดน้ำ และมีการสะสมไอออนที่เป็นพิษมากเกินไป อีกทั้งทำให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารในพืช (ประณีต ร้อยบาง และคณะ, 2556)

2.5.1 สาเหตุของดินเค็ม

เนื่องจากโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีชั้นเกลือหินรองรับ ชั้นบาดาลบางแห่งอยู่ไม่ลึกจากผิวดินมากนัก ประกอบกับกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น การทำนาเกลือ การสร้างอ่างเก็บน้ำบนพื้นที่ดินเค็ม การตัดไม้ทำลายป่ามาทำฟืนต้มเกลือ หรือเพื่อกิจกรรมอื่น ๆ ทำให้เกิดการยกระดับของน้ำเค็มขึ้นมาใกล้ผิวดิน (นิตยา แซ่ซิม, 2542) แหล่งเกลือเกิดจากตะกอนน้ำกร่อย/หินเกลือใต้ดิน น้ำ

ใต้ดินเค็ม หินดินดานที่อมเกลืออยู่ หรือเค็มที่ทับถมมานานหรือเกิดจากน้ำใต้ดินเค็มทั้งที่อยู่ลึกและอยู่ตื้น เมื่อน้ำใต้ดินไหลผ่านแหล่งเกลือแล้วไปโผล่ที่ดินไม่เค็มที่อยู่ต่ำกว่าทำให้ดินบริเวณที่ต่ำกว่านั้นกลายเป็นดินเค็มทั้งนี้ขึ้นกับภูมิประเทศแต่ละแห่งสาเหตุการเกิดแพร่กระจายออกมามาก ส่วนใหญ่เกิดจากมนุษย์โดยการสูบน้ำไปใช้มากเกินไป เกิดการทะลักของน้ำเค็มเข้าไป

2.5.2 การจำแนกพื้นที่ดินเค็ม

ในการจำแนกดินเค็มเพื่อทำแผนที่ดินเค็ม ได้จำแนกการกระจายคราบเกลือบนผิวในช่วงหน้าแล้งสังเกตได้ในภาคสนามดังนี้

2.5.2.1 ดินเค็มจัด (Highly Salt Affected Areas) เป็นบริเวณที่มีผลกระทบจากความเค็มมาก ซึ่งหมายถึงบริเวณที่พบคราบเกลือตามผิวดินกระจายอยู่ทั่วไป บริเวณมากกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ เป็นบริเวณที่นำไปใช้ปลูกพืชไม่ค่อยได้ผล จึงถูกปล่อยไว้ว่างเปล่า ทำการเกษตรไม่ได้มีวัชพืชที่มีหนาม เช่น หนามพุงคอก หนามพรม

2.5.2.2 ดินเค็มปานกลาง (Moderately Salt Affected Areas) หรือบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มปานกลาง หมายถึง บริเวณที่พบคราบเกลือกระจายตามผิวดินเป็นร้อยละ 10 – 50 ของพื้นที่ พื้นที่เหล่านี้พอปลูกพืชได้แต่ผลผลิตต่ำถ้ามีการปรับปรุงดินหรือปรับปรุงให้ดีคาดว่าการให้ผลผลิตดีพอสมควร

2.5.2.3 ดินเค็มน้อย (Slightly Salt Affected Areas) หรือบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความเค็มน้อยพบปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 10 ของพื้นที่ น้ำใต้ดินเป็นน้ำกร่อย หรือเป็นน้ำเค็ม บริเวณเหล่านี้ถ้ามีการใช้ที่ดินอย่างเหมาะสม เกลือจากน้ำใต้ดินมีโอกาสที่จะแทรกกระจาย ทำให้ดินแปรสภาพไปเป็นดินเค็มปานกลางหรือเค็มมากได้ (พิชัย วิชัยดิษฐ์, 2540)

ด้วยคุณสมบัติและประโยชน์ที่หลากหลายของเซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลส ได้มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาดังวิธีการสกัดเซลลูโลสสำหรับวัสดุและการนำไปใช้ประโยชน์ ดังนี้

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยในประเทศ

ฐิตา พูเผ่า และคณะ (2556) ศึกษาวิธีการสกัดเซลลูโลส 2 วิธี ได้แก่ การสกัดเบื้องต้นด้วยน้ำร้อน หรือเอนไซม์ร่วมกับวิธีการสกัดด้วยด่าง หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารสกัดเซลลูโลสจากเมล็ดมะรุม ผลการศึกษาพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของกากเมล็ดมะรุมประกอบด้วยปริมาณเส้นใยสูงถึง 31.03 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง และวิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม คือการสกัดเบื้องต้นด้วยน้ำร้อนร่วมกับวิธีการสกัดด้วยด่าง

โดยใช้อุณหภูมิฟรีไฮโดรไลซิสที่ 70 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ได้ปริมาณเซลลูโลสจากสารสกัดกากเมล็ดมะรุมอยู่ที่ 96.54 เปอร์เซ็นต์ และเซลลูโลสที่ได้มีความสามารถในการพองตัว 8.79 กรัมต่อกรัมตัวอย่าง สารสกัดเซลลูโลสที่ได้มีความสามารถในการอุ้มน้ำและอุ้มน้ำมันที่ดีกว่าสารสกัดเซลลูโลสจากวิธีการสกัดด้วยเอนไซม์ สารสกัดเซลลูโลสที่ได้มีปริมาณเส้นใยสูงถึง 70.74 เปอร์เซ็นต์ และเส้นใยที่มีความยาวประมาณ 30-60 ไมโครเมตร ดังนั้นกากเมล็ดมะรุมจึงเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่เหมาะสมในการนำมาสกัดเซลลูโลส และเซลลูโลสที่สกัดได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบแต่งอาหารได้ในอนาคต

พรชัย ราชชนะพันธุ์ และคณะ (2550) ศึกษาการผลิตฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) จากเปลือกมะละกอและศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มเซลลูโลสสกัดโดย NaOH แล้วเซลลูโลสถูกดัดแปรโดยทำปฏิกิริยากับกรดคลอโรอะซิติก (Chloroacetic Acid) ได้เป็น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอินฟราเรดสเปกตรัม (IR) ใช้ในการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลส และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอ (CMCp) เทียบกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในทางการค้า (CMCc) ผลของฟิล์มผสมระหว่าง CMCp: CMCc (0:100 25:75 50:50 75:25 และ 100:0) ต่อคุณสมบัติทางกลคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มผสม CMCp: CMCc (25:75) คล้ายกับคุณสมบัติของฟิล์ม CMCc การเติมกลีเซอรอลลงใน CMC ฟิล์มทำให้ค่าการต้านทานแรงดึงลดลงแต่ เปอร์เซ็นต์การยืดเพิ่มขึ้น

วัชรพงษ์ เตวียะ (2556) ศึกษาการเตรียมแผ่นฟิล์มคอมพอสิตของพอลิแอลแลคติกแอซิดที่มีสมบัติต้านเชื้อจุลินทรีย์สำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยวิธีการระเหยตัวทำละลาย โดยใช้เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ผสมเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล โดยทำการเตรียมแผ่นฟิล์มพอลิแอลแลคติกแอซิดผสมอนุภาคนาโนเงินที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 56.2 นาโนเมตร โดยใช้อิมัลชัน 150 สารลดแรงตึงผิว และสารที่เพิ่มความยืดหยุ่นคือกลีเซอรอล

กุลนิภา ชนรุ่งรังสี และคณะ (2557, น. 1-4) ศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกข้าวพองคัพระกอบทางเคมีหลัก คือ กากใยหยาบร้อยละ 47.24 น้ำหนักแห้ง เปลือกข้าวได้ถูกนำมาปรับสภาวะเบื้องต้นด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 นอร์มัล และกำจัดลิกนินด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 น้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดที่ความเข้มข้น 2 นอร์มัล 4 นอร์มัล และ 6 นอร์มัล ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ของแข็งที่ได้ถูกแยกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น ร้อยละ 4 น้ำหนักต่อปริมาตร และส่วนที่สองไม่ผ่านการฟอกสีพบว่าเส้นใยอาหารที่ได้จากการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 6 นอร์มัล และผ่านการฟอกสีมี

ปริมาณมากที่สุด (เส้นใยอาหารทั้งหมดเท่ากับ 61.09 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง) ค่าความสว่าง (L^*) ของ เส้นใยอาหารเพิ่มขึ้นจากเปลือกข้าว 6.83 เปอร์เซ็นต์

พัชราภรณ์ พิมพ์จันทร์ (2558, น. 55-64) ได้ศึกษาการเพิ่มการติดสีและความคงทนของสี สำหรับเส้นกกที่ย้อมด้วยขมิ้นและฝาง โดยใช้โพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตและการหมักโคลน จากธรรมชาติ สารสกัดสีที่เตรียมจากขมิ้นและฝางให้สีเหลืองและสีแดง ทำการวิเคราะห์เม็ดสีก หลังย้อมด้วย Chroma meter Konica Minolta CR-400 พบว่ากกที่ย้อมด้วยขมิ้นและฝางให้เม็ดสี เหลืองและแดง ตามลำดับ การย้อมร่วมกับ โพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตและการหมัก โคลนจะให้ สีเข้มขึ้น ให้ค่า L^* ลดลง และให้ค่า a^* หรือ b^* สูงขึ้นเมื่อเทียบกับการย้อมด้วยขมิ้น หรือฝางเพียง อย่างเดียว (ค่า L^* a^* และ b^* เท่ากับ 60.29 5.42 และ 36.07 สำหรับการย้อมด้วยขมิ้นและ 65.04 6.01 และ 18.41 สำหรับการย้อมด้วยฝาง) แสดงว่าโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตและโคลนสามารถเพิ่ม การยึดเกาะและความเข้มของสีให้กับสีย้อมธรรมชาติได้โดยโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตจะ สร้างพันธะ โคออร์ดิเนต โควาเลนต์ระหว่าง โมเลกุลสีกับหมู่ -OH ของเส้นใยกก ในขณะที่โคลน สามารถเพิ่มความเข้มสีหลังย้อมได้โดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะหรือไอออนบวก กับ โมเลกุลของสีและหมู่-OH ของเส้นใยกกสอดคล้องกับการศึกษาความคงทนของสีต่อแสงแดด ซึ่งพบว่าเส้นใยกกที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติร่วมกับโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตและการหมัก โคลน อยู่ในระดับดี เมื่อทำการตากแดด 20 วันพบว่าให้ค่า L^* a^* และ b^* ใกล้เคียงกับเริ่มต้น โดยค่าการ เปลี่ยนแปลงสีของเส้นกกที่ย้อมด้วยขมิ้นร่วมกับการหมักโคลนมีค่า 5.35 และย้อมฝางร่วมกับการ หมักโคลนมีค่า 2.82 ซึ่งต่ำกว่าการย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติเพียงอย่างเดียวแสดงว่าเส้นใยธรรมชาติ ที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติสามารถเพิ่มความคงทนการติดสีด้วยโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตและ โคลนได้

ศุภชัยพรณ เข้มแก้ว (2559) ได้ทำการสังเคราะห์คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส (CMC) จาก เซลลูโลสของเปลือกเหลือทิ้งของทุเรียน สายพันธุ์หมอนทอง ด้วยปฏิกิริยาการบอซิเมทิลเลชัน ยืนยันโครงสร้างทางเคมีของคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสเปรียบเทียบกับ โครงสร้างของเซลลูโลส ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีและศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (WAXD) เตรียมฟิล์มคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนโดยวิธีการหล่อด้วย ตัวทำละลาย (Solvent Casting) ศึกษาผลของสารเติมแต่ง 2 ชนิด คือกลีเซอรอล และเพค-10 ไดมethyl โคนที่ความ เข้มข้นร้อยละ 10 20 และ 30 โดยมวล ที่มีผลต่อความแข็งแรง สมบัติเชิงกลอัตราการซึมผ่านของไอน้ำ และโครงสร้างของแผ่นฟิล์มซีเอ็มซี ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เมื่อเติมกลีเซอรอล ที่ความ เข้มข้นร้อยละ 30 โดยมวลระดับ ค่าความแข็งแรงของแผ่นฟิล์มซีเอ็มซีจากเปลือกทุเรียนมีค่าสูงที่สุดคือ ระดับ 3H ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด มีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 46 แต่ค่าแรงเค้น สูงสุด ค่า

มอดูลัสของยังและค่าแรงเค้น ณ จุดขาด มีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 320 ± 4.90 กรัม ต่อวันต่อตารางเมตร นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมสารเติมแต่งไม่ส่งผลให้ฟิล์ม มีความเป็นผลึกน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ

วาสนา พิทักษ์พล และคณะ (2559, น. 880-886) ศึกษาผลสารเคลือบผิวคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวาต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวขององุ่น เพื่อศึกษาผลของสารเคลือบผิวคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวาต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาขององุ่น วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ มี 5 กรรมวิธี ได้แก่ เคลือบผิวด้วย คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวา ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์ และชุดควบคุมไม่เคลือบผิว โดยใช้กล่องที่เก็บเกี่ยวจากสวนในจังหวัดอุดรธานี ทำการคัดเลือกผลที่มีขนาด สีสันใกล้เคียงกัน และไม่มีโรคและรอยตำหนิ จากนั้นนำมาเคลือบผิว ฝั่่งให้แห้ง บรรจุลงในกล่องพลาสติกหุ้มด้วยฟิล์มยืด นำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 ± 2 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาพบว่า การเคลือบผิวด้วยคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวา ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ช่วยชะลอการสูญเสีย น้ำหนัก การร่วงของผลขององุ่น การเกิดโรค การเกิดสีน้ำตาลของผิวเปลือก ด้านนอก และช่วยรักษาคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยว โดยทำให้มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด 16 วัน ขณะที่ชุดควบคุมที่ไม่ได้ เคลือบผิวมีอายุ เก็บรักษา 12 วัน

จุฑามาส เรืองยศจันทนา และรัชฎา บุญเต็ม (2560) ได้ทำการศึกษาการสกัดเซลลูโลสและการทำกระดาษจากเปลือกข่อย โดยสกัดเยื่อข่อยด้วยเบส 3 ชนิดคือ แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียม ไฮดรอกไซด์ แล้วนำเยื่อที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นกระดาษโดยปรับจากวิธีโบราณ เยื่อก่อนและหลังการสกัดด้วยเบส นำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์และการวิเคราะห์เชิงความร้อน สเปกตรัมอินฟราเรด ของเยื่อก่อนการสกัดแสดงพีกของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสที่ 1733 และ 1522 cm^{-1} เยื่อที่สกัดด้วยแคลเซียม คาร์บอเนตยังปรากฏพีกของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสที่ 1743 และ 1522 cm^{-1} XRD ของกระดาษข่อยที่ผ่านการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเป็นผลึกสูงที่สุด จากข้อมูล TGA ความเสถียรของเซลลูโลสมากขึ้นเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัด เนื่องจากสายของเซลลูโลสเข้ามาใกล้กันมากขึ้นเมื่อเยื่อปราศจากลิกนินและเฮมิ เซลลูโลส

2.6.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Espino et al. (2014, pp. 552-559) ศึกษาการแยกและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลลูโลสที่สกัดได้จากวัสดุเหลือทิ้ง Agave Tequilana และข้าวบาเล่จากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าขั้นตอนการสกัดเซลลูโลสสามารถกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินได้ ยืนยันผลการวิเคราะห์ด้วย FTIR และสามารถแยกเซลลูโลสของ Agave Tequilana มีความยาวเท่ากับ 322 ± 112 และข้าว

บวกลบ 329 ± 123 นาโนเมตร ผลการเตรียมเซลลูโลสอยู่ในระดับนาโนมีความยาว 218 ± 56 นาโนเมตร สามารถทนความร้อนได้ดีและนาโนเซลลูโลสที่สกัดได้สามารถเป็นวัสดุเสริมแรงได้

Larissa A.S. et al. (2015, pp. 287-294) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากซังข้าวโพด ซึ่งเป็นแหล่งที่มาของวัตถุดิบสำหรับการผลิตเซลลูโลสฟลิกนาโน โดยนำซังข้าวโพดมาสกัดด้วยสารเคมีและฟอกสีแล้วแยกออกเป็นฟลิกนาโนโดยการย่อยสลายด้วยกรด วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะเซลลูโลสของซังข้าวโพดก่อนและหลังการทำให้บริสุทธิ์ ตามวิธีมาตรฐาน TAPPI และวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสาร โดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (TGA) และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของโครงสร้างนาโนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) พบว่ามีเซลลูโลส 4.45 เปอร์เซ็นต์ เซมิเซลลูโลส 27.6 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 6.8 เปอร์เซ็นต์ และมีความเป็นผลึก 25.3 เปอร์เซ็นต์ หลังการย่อยสลายด้วยกรดมีค่าสูงขึ้น 43 เปอร์เซ็นต์ พบการเปลี่ยนแปลงพีคสูงสุดของสเปกตรัม FT-IR ที่ 1731 1556 และ 1224 cm^{-1} ซึ่งชี้ให้เห็นว่ากระบวนการบางส่วน of เซมิเซลลูโลสและลิกนิน ถูกกำจัดออกจากพื้นผิวเส้นใยซังข้าวโพดด้วยเบส และเซลลูโลสจากซังข้าวโพดมีเสถียรภาพทางความร้อนดีกว่าเซลลูโลสที่ผ่านกระบวนการฟอกสี และฟลิกนาโนสามารถเตรียมได้ด้วยการย่อยสลายด้วยกรด ผลการศึกษาด้วย TEM ชี้ให้เห็นว่าฟลิกนาโน มีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวเฉลี่ย 6.9 nm และ 356 nm ตามลำดับ โดยมีอัตราโดยประมาณเท่ากับ 54.7 ดังนั้นการผลิตฟลิกนาโนจากซังข้าวโพดจึงเป็นประโยชน์ เช่น เป็นสารเสริมสร้างความแข็งแรงในนาโนคอมโพสิต

Fatma et al. (2016, pp. 287-296) ศึกษาการแยกและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของนาโนเซลลูโลส ที่สกัดได้จากซังกระเทียม โดยนำมาย่อยด้วยด่างและโซเดียมคลอไรด์เพื่อกำจัดสิ่งที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกไป พบว่ามีปริมาณของนาโนเซลลูโลสสูง รูปร่างเป็นเส้นกลม มีความเป็นผลึก 68.8 เปอร์เซ็นต์ ทนความร้อนได้ดีถึง ประมาณ 200 องศาเซลเซียส ความยาวประมาณ 480 นาโนเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นาโนเมตร มีความวาว มีศักยภาพสามารถเตรียมเป็นวัสดุเสริมแรงได้

Petteri Piltonen and Nils C. Hildebrandt (2016, pp. 153-158) เซลลูโลสคอมโพสิต (ACC) ทำจากเยื่อเส้นใยที่ละลายซัลไฟด์โดยใช้วิธีการละลายบางส่วนกับโซเดียมไฮดรอกไซด์และยูเรียที่อุณหภูมิต่ำ โดยผลของเซลลูโลสคอมโพสิตจะนำไปเปรียบเทียบกับแผ่นเซลลูโลสที่ใช้ทำการทดลอง การสลายที่เวลา 2 30 60 120 และ 240 วินาที นำไปตรวจสอบเชิงกลด้วยเครื่อง XRD, FESEM โดยโครงสร้างเส้นใยจะเปลี่ยนเป็นสารคอมโพสิต หลังจากการละลาย 30 วินาที พบว่าความต้านทานแรงดึงของเซลลูโลสคอมโพสิตจะสูงกว่าแผ่นเซลลูโลส 14 เท่า ความไม่เป็นผลึกใน

คอมโพสิตเซลลูโลสจะเพิ่มมากขึ้นและผลึกเส้นใยจะลดลงอย่างชัดเจน จนถึงเวลา 30 วินาที ความ เป็นผลึกและคุณสมบัติเชิงกลจะไม่เปลี่ยนแปลง

Qin Xu et al. (2016, pp. 247-281) ศึกษาแนวทางในการเตรียมฟิล์ม โดยใช้ละลายเกลือ ZnCl₂ ละลายเซลลูโลส ด้วยคุณสมบัติของเซลลูโลสจะไม่ละลายน้ำ รวมไปถึงในสารละลายอินทรีย์ และสารละลายอนินทรีย์ แต่สามารถย่อยขนาดลงให้เหมาะสมได้ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ใน รูปแบบการใช้แทนวัสดุปิโตรเลียมที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งมีความจำเป็นอย่าง ยิ่งสำหรับการละลายเซลลูโลส จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของสารละลาย ZnCl₂ ที่ความเข้มข้น 64-72 เปอร์เซ็นต์สามารถละลายเซลลูโลสได้ จากการศึกษาด้วยเทคนิค FT-IR ซึ่งให้เห็นว่าไอออนของ Zn²⁺ จะเกิดพันธะ Zn²⁺ · O₃H⁻ ซึ่งในทางกลับกัน จะทำให้พันธะ O₃H⁻ · O₅ ลดลง ซึ่งพันธะไฮโดรเจน มีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของเซลลูโลส นอกจากนี้ไอออน Ca²⁺ ยังเพิ่มความแข็งแรงของพันธะระหว่าง Zn-cellulose ที่นำไปสู่การเกิด Nanofibrils ความต้านทาน แรงดึงของ Ca²⁺ ที่ถูกเพิ่มเข้าไปในฟิล์ม Zn-cellulose เพิ่มขึ้นประมาณ 250 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับ Zn-cellulose โดยสรุปแล้วการใช้ประโยชน์จากสารละลายเกลือ เพื่อละลายและสร้างพันธะของ เซลลูโลสมีความคุ้มค่าเนื่องจากวิธีนี้ได้ และเห็นผลได้ชัดว่าดีกว่าวิธีการอื่น ๆ ที่สำคัญ กระบวนการไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เป็นแนวทางของโอกาสสำหรับการใช้เซลลูโลสในทางชีว การแพทย์ เกษษกรรม อาหาร การใช้งานอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับอาหาร

Shankar et al. (2016, pp. 18-26) ศึกษาการเตรียมนาโนเซลลูโลสจากไมโครเซลลูโลส โดยใช้ไซเคิลไฮดรอกไซด์และยูเรียในขั้นตอนการสกัดเพื่อกำจัดลิกนิน นาโนเซลลูโลสที่เตรียม ได้มีความยาวประมาณ 100 – 500 นาโนเมตร ความเป็นผลึกลดลงจาก 0.81 เหลือ 0.71 จากนั้นนำ นาโนเซลลูโลสที่สกัดได้มาผสมกับวุ้นเตรียมเป็นฟิล์มชีวภาพ อัตราส่วนนาโนเซลลูโลส 1, 3, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ต่อผงวุ้น 1 กรัม ทดสอบคุณสมบัติของฟิล์ม พบว่าประสิทธิภาพ ของฟิล์ม Agar-based ที่เตรียมได้ย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์และเป็นชีวภาพที่มีศักยภาพสูงที่จะใช้ สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหารที่ย่อยสลายได้หรือใช้ในทางการแพทย์

Sung Won et al. (2018, pp. 531-539) พัฒนา Cellulose I และ Cellulose II จาก *Capsosi Phon Fulvescens* เป็น Bioactive Cellulose Nanocrystals สำหรับการใช้งานด้านชีวการแพทย์ โดย ทำการสกัด Cellulose I และ Cellulose II ตามวิธีมาตรฐาน หลังจากสกัดวิเคราะห์ดัชนีความเป็น ผลึกของ Cellulose I และ Cellulose II เท่ากับ 81.3 และ 63.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากนั้นทำการ ไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริก 60 เปอร์เซ็นต์ 10 มิลลิลิตร ต่อตัวอย่าง 1 กรัม ใช้อุณหภูมิ 55 องศา เซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง ผลการศึกษาทางสัณฐานวิทยาของเซลลูโลสที่ได้มีลักษณะทรงกระบอก เส้นใยบวมและนุ่มนวล ซึ่ง Cellulose I มีความหนาและความยาวเฉลี่ย 12.67 ± 2.69 และ 92.31 ±

21.31 นาโนเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เซลลูโลส Cellulose II มีความหนาและความยาวเฉลี่ย 15.58 ± 2.85 และ 78.09 ± 18.22 นาโนเมตร ตามลำดับ โครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลสที่เตรียมได้สามารถนำไปใช้กับวัสดุผสมทางชีวภาพและย่อยสลายทางชีวภาพสำหรับงานด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อและงานด้านชีวการแพทย์อื่น ๆ ได้

จากการใช้ประโยชน์จากเซลลูโลสที่หลากหลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่า อุตสาหกรรมเซลลูโลสกำลังขยายและเติบโตเรื่อย ๆ ทำให้แหล่งเซลลูโลสที่มีอยู่เดิมอาจไม่เพียงพอหรือมีต้นทุนการผลิตสูง ดังนั้นการหาแหล่งเซลลูโลสที่มีคุณภาพดี ราคาประหยัด เพื่อทดแทนหรือเพิ่มเติมจึงมีความสำคัญมาก และหากสามารถขึ้นรูปฟิล์มเซลลูโลสด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและลดการใช้สารเคมี จะเป็นการส่งเสริมการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากเซลลูโลสได้เป็นอย่างดี

จากการศึกษาพบว่ารูปถ่ายมีถือเป็นพืชที่มีปริมาณเซลลูโลสสูง เหมาะแก่การนำมาผลิตเซลลูโลสโดยเฉพาะรูปถ่ายจากแหล่งดินเค็มจะส่งผลต่อสมบัติบางประการของเซลลูโลส เช่น การทนเชื้อรา การทนแรงดึงและปริมาณเปอร์เซ็นต์เซลลูโลสที่ได้ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรูปถ่ายในดินเค็มเพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเปรียบเทียบกับรูปถ่ายในดินทั่วไป รวมทั้งเป็นข้อมูลในการเลือกวิธีการสกัดเซลลูโลส ให้เหมาะสมเพื่อลดปริมาณการใช้สารเคมีให้น้อยที่สุด และทำการศึกษากระบวนการขึ้นรูปฟิล์มเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็ม เพื่อใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร เกษษกรรม หรือเครื่องสำอางต่อไปดังวิธีการทดลองตามลำดับในบทที่ 3

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และการเตรียมฟิล์มเซลล์โอสจากต้นชูปถามิ ในดินเค็ม ได้ทำการศึกษาปริมาณสารแทรก และทำการศึกษาวิธีการขึ้นรูปฟิล์มเซลล์โอสและ อนุพันธ์ของเซลล์โอส มีอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีการทดลองตามลำดับดังนี้

3.1 สารเคมี

- 3.1.1 กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)
- 3.1.2 กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
- 3.1.3 กรดแอซิติค (CH_3COOH)
- 3.1.4 โซเดียมไฮโปคลอไรท์ ($NaClO$)
- 3.1.5 กลีเซอรอล ($C_3H_8O_3$)
- 3.1.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 3.1.7 เมทานอล (CH_3OH)
- 3.1.8 เบนซีน (C_6H_6)
- 3.1.9 เอทานอล (C_2H_5OH)
- 3.1.10 น้ำกลั่น (H_2O)
- 3.1.11 ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (C_3H_8O)
- 3.1.12 อะซีโตน (C_3H_6O)
- 3.1.13 ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$)
- 3.1.14 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)
- 3.1.15 1-butyl-3-methylimidazolium Chloride: [BMIM]Cl

3.2 วัสดุอุปกรณ์

- 3.2.1 กรวยกรอง (Filtering funnel)
- 3.2.2 กระจกนาฬิกา (Watch glass)
- 3.2.3 กระดาษกรองเบอร์ 1 (Filtering paper No.1)
- 3.2.4 แผ่นฟอยล์อะลูมิเนียม (Aluminium foil)
- 3.2.5 กระบอกตวง (Cylinder)
- 3.2.6 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
- 3.2.7 ขวดรูปหม้อ (Erlenmeyer flask)
- 3.2.8 ครุฑชิล (Sinter glass Crucible)
- 3.2.9 ถ้วยสำหรับเผาเถ้า (Crucible Porcelain)
- 3.2.10 ก้อนกวนแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)
- 3.2.11 ถ้วยชั่งตัวอย่างพร้อมฝาปิด (Weighing bottle)
- 3.2.12 บีกเกอร์ (Beaker)
- 3.2.13 ที่คีบ (Tong)
- 3.2.14 แท่งแก้ว (Stirring rod)
- 3.2.15 กรวยแยก (Separatory funnel)
- 3.2.16 ขวดก้นแบน (Boiling flask)
- 3.2.17 กระดาษลิตมัส (Lismut)
- 3.2.18 จานเพาะเชื้อ (Petri dish)
- 3.2.19 เตาให้ความร้อน (Hotplate)

3.3 เครื่องมือ

- 3.3.1 เครื่องสกัดไขมัน (Extraction unit)
- 3.3.2 เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator)
- 3.3.3 เครื่องกรองระบบสุญญากาศ (Suction)
- 3.3.4 เครื่องชั่งสาร 2 และ 4 ตำแหน่ง (Analytical balance)
- 3.3.5 เครื่องทำน้ำเย็น (Cooling)
- 3.3.6 เครื่องปั่น (Blender)

- 3.3.7 เตาเผา (Muffle furnace)
- 3.3.8 เตาไฟฟ้า (Hotplate)
- 3.3.9 โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 3.3.10 ตะแกรงร่อนขนาด 45 และ 60 มิลลิเมตร (Sieve)
- 3.3.11 ตู้อบ (Oven)
- 3.3.12 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- 3.3.13 เครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze dryer)
- 3.3.14 เครื่อง X-ray Diffractometer (XRD)
- 3.3.15 เครื่อง Fourier transform infrared (FTIR)
- 3.3.16 เครื่อง Scanning electron microscopy (SEM)
- 3.3.17 เครื่องทำความสะอาดความถี่สูง (Ultrasonic bath)
- 3.3.18 นาฬิกาจับเวลา (Stopwatch)
- 3.3.10 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมตัวอย่างรูปถ่าย

3.4.1.1 ทำการเก็บตัวอย่างรูปถ่ายเลือกต้นที่ออกดอกสีน้ำตาล ตัดโดยวัดจากโคนต้นขึ้นมาสูง 15 เซนติเมตร

3.4.1.2 ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำและล้างด้วยน้ำกลั่นครั้งสุดท้าย จากนั้นหั่นเป็นชิ้นขนาดเล็กขนาด 1x1 เซนติเมตร ฝึกลงในที่อากาศถ่ายเทสะดวกแล้วพลิกกลับด้านของตัวอย่างรูปถ่ายทุก ๆ 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.4.1.3 นำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่

3.4.1.4 บดตัวอย่างให้ละเอียดโดยเครื่องบด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 45 มิลลิเมตร

3.4.1.5 เก็บส่วนที่ร่อนใส่ถุงซิปล็อคเก็บที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติและสกัดเซลล์โลสต่อไป

3.4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.4.2.1 ชั่งตัวอย่างที่ปราศจากสารแทรก 1.0000 กรัม ใส่ในถ้วยอบตัวอย่างพร้อมฝาปิดที่อบ ชั่ง และทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว

3.4.2.2 นำเข้าเตาอบตั้งอุณหภูมิที่ 100 ± 5 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง นำออกไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้น รอให้เย็นชั่งน้ำหนัก

3.4.2.3 อบซ้ำอีกครั้งละประมาณ 30 นาที และทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนัก 2 ครั้งติดต่อกัน ไม่เกิน 1-2 กรัม

3.4.2.4 คำนวณปริมาณความชื้นจากสูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(W_1 - W_2)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักถ้วยอบ + น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักถ้วยอบ + น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

3.4.3 การหาปริมาณเถ้า (TAPPI T211 Om-85) มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.4.3.1 เตา Crucible เปลา่ พร้อมฝาปิดในเตาที่อุณหภูมิ 575 ± 25 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วนำ Crucible ออกจากเตาเผาทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนัก

3.4.3.2 ชั่งตัวอย่างใส่ลงในถ้วยที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้วประมาณ 1.0000 กรัม แล้วนำเผาตัวอย่างจนไม่มีควัน ด้วย Hot Plate ในตู้ดูดควันและนำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 575 ± 25 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง

3.4.3.3 นำออกมาจากทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักรวมของ Crucible กับเถ้า

3.4.3.4 คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสูตร

$$\text{ปริมาณเถ้าทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(A \times 100)}{B}$$

เมื่อ A คือน้ำหนักของเถ้า (กรัม)

B คือน้ำหนักที่แห้งของสารตัวอย่าง (กรัม)

3.4.4 การหาปริมาณสารแทรกในตัวอย่างละลายอินทรีย์เอทานอล-เบนซีน (TAPPI T204 Om-88) มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.4.4.1 ชั่งน้ำหนักรูปถ่ายที่ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 45 มิลลิเมตร 3.xxxx กรัม แล้วใส่ลงไปใน Extraction thimble

3.4.4.2 ตวงสารละลายผสมระหว่างเอทานอล (C_2H_6O) : เบนซีน (C_6H_6) (อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร) จำนวน 200 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์รองรับสารละลาย

3.4.4.3 จัดชุดสกัด Soxhlet Apparatus ควบคุมอุณหภูมิและจุดเดือดของตัวทำละลาย ใช้เวลาในการสกัด 4 ชั่วโมง

3.4.4.4 นำสารละลายที่ได้จากการสกัดไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่อง Rotary Evaporation ให้เหลือสารละลายประมาณ 20 – 25 มิลลิลิตร เทใส่ในบีกเกอร์ที่รู้น้ำหนักแล้วนำเข้าไประเหยในเตาอบ ซึ่งตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 100 ± 5 องศาเซลเซียส จนกระทั่งแห้ง แล้วนำออกมาทำให้เย็นลงใน โถดูดความชื้นชั่งน้ำหนักของสารที่เหลือรวมกับน้ำหนักของบีกเกอร์

3.4.4.5 ทำ Blank โดยการนำตัวทำละลายเอทานอล : เบนซีน (อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร) จำนวน 200 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์รองรับสารละลาย ไประเหยให้แห้งโดยทำการทดลองต่าง ๆ เหมือนกับการทดลองข้อ 3.4.4.4

3.4.4.6 คำนวณหาปริมาณสารแทรกที่ละลายในตัวอย่างละลายจากสูตร

$$\text{ปริมาณสารแทรก (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(W_c - W_b) \times 100}{W_p}$$

เมื่อ W_c คือ น้ำหนักแห้งของสารที่ถูกสกัด (กรัม)

W_b คือ น้ำหนักแห้งของ Blank (กรัม)

W_p คือ น้ำหนักแห้งของตัวอย่างรูปถ่ายที่ใช้ทดลอง (กรัม)

3.4.5 การเตรียมตัวอย่างรูปถ่ายที่ปราศจากสารแทรก (TAPPI T264 Om-88) มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.4.5.1 จัดชุดสกัด Soxhlet Extraction

3.4.5.2 ชั่งตัวอย่างรูปถ่ายที่ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 45 มิลลิเมตร 10.xxxx กรัม

3.4.5.3 ตวงสารละลายผสมระหว่างเอทานอล : เบนซีน (อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร) จำนวน 200 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์รองรับสารละลาย สกัดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3.4.5.4 นำรูปถ่ายไปสแกนใหม่โดยใช้ 95 เปอร์เซ็นต์เอทานอลในการสแกนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3.4.5.5 กรองตัวอย่างรูปถ่ายผ่าน Buchner funnel และกำจัดตัวทำละลายที่มากเกินไป ต้มตัวอย่างรูปในน้ำกลั่น 1000 มิลลิลิตร ให้เดือดโดยเติมน้ำกลั่นเรื่อย ๆ เพื่อรักษาระดับ ต้มนาน 1 ชั่วโมง กรองขณะร้อนผ่าน Buchner Funnel และล้างด้วยน้ำกลั่นที่ต้มเดือด ผึ่งตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง

3.4.5.6 เก็บตัวอย่างรูปถ่ายไว้ในภาชนะที่มีดัด เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ต่อไป

3.4.6 ปริมาณลิกนิน (TAPPI T222 Om-88) มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.4.6.1 ชั่งตัวอย่างที่ปราศจากสารแทรก 1.00 ± 0.1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4 72 เปอร์เซ็นต์ (v/v) ที่แช่เย็นไว้แล้ว ปริมาตร 15 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้วให้เส้นใยกระจาย ปิดด้วยกระจกนาฬิกา

3.4.6.2 วางบีกเกอร์ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง โดยคนสารตัวอย่างสม่ำเสมอทุก ๆ 15 นาที

3.4.6.3 เทสารละลายใส่ขวดรูปชมพู่ 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรโดยเติมน้ำกลั่น 575 มิลลิลิตร ปิดเพื่อทำเครื่องหมายของระดับน้ำไว้

3.4.6.4 นำไปต้มให้เดือดนาน 4 ชั่วโมง รักษาระดับน้ำให้คงที่ โดยเติมน้ำกลั่นเป็นระยะ ๆ จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 1 คืน ให้ลิกนินตกตะกอนลงมา

3.4.6.5 กรองผ่านครุชีเบลเบอร์ 3 (ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว) ล้างด้วยน้ำกลั่นที่ร้อน 500 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง แล้วนำออกมาใส่โถดูดความชื้น หลังจากนั้นจึงชั่งน้ำหนักรวมของครุชีเบล และลิกนิน (จนได้น้ำหนักคงที่)

3.4.6.6 คำนวณปริมาณของลิกนินดังสูตร

$$\text{ปริมาณลิกนิน (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(W_3 - W_2) \times 100}{W_1}$$

เมื่อ W_1 คือน้ำหนักตัวอย่างที่เตรียมหาปริมาณลิกนิน (กรัม)

W_2 คือน้ำหนัก Sinter Glass Crucible เปล่า (กรัม)

W_3 คือน้ำหนัก Sinter Glass Crucible + ตัวอย่างที่ผ่านอบจนน้ำหนักคงที่ (กรัม)

3.4.7 การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Browning, 1963) มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.4.7.1 ชั่งตัวอย่างที่ปราศจากสารแทรก 0.7 ± 0.05 กรัม ใส่ในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร

3.4.7.2 เติมสารละลายกรดแอซติก (CH_3COOH) 0.6 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.02 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaClO) 20 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระจกนาฬิกา

3.4.7.3 แก้วเป็นวงไปมาสม่ำเสมอทุก ๆ 15 นาที ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 70 ± 2 องศาเซลเซียส โดยทุก ๆ 1 ชั่วโมง ให้เติมสารละลาย NaClO อีก 1 มิลลิลิตร แก้วสม่ำเสมอเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ เมื่อครบเวลานำขวดก้นกลมออกมาวางในอ่างน้ำแข็งจนสารละลายอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส

3.4.7.4 นำสารตัวอย่างมากรองผ่านครุชีเบล เบอร์ 3 ล้างด้วยสารละลายกรดแอซติก 0.6 เปอร์เซ็นต์ (w/v) 100 มิลลิลิตร ไม่ใช้ suction และล้างด้วยอะซีโตนปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วกรองสารละลายด้วย Suction นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่

3.4.7.5 การคำนวณปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ดังสูตร

$$\text{ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(W_3 - W_2) \times 100}{W_1}$$

เมื่อ W_1 คือน้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_2 คือน้ำหนัก Sinter Glass Crucible เปล่า (กรัม)

W_3 คือน้ำหนัก Sinter Glass Crucible + ตัวอย่างที่ผ่านอบจนน้ำหนักคงที่ (กรัม)

3.4.8 การหาปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (TAPPI T203 Om-88) มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.4.8.1 ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แล้ว 1.5 ± 0.1 กรัม ใส่ลงใน Sinter Glass Crucible ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนวางลงใน Dish ที่มีน้ำสูง 1 เซนติเมตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซ็นต์ (w/w) หรือ 5.21 N ปริมาตร 3 มิลลิลิตรคนด้วยแท่งแก้ว นาน 5 นาที

3.4.8.2 เติมน้ำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซ็นต์ (w/w) หรือ 5.21 นอร์มอล ปริมาตร 3 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้ว และตั้งทิ้งไว้ นาน 35 นาที ต่อมาเติมน้ำกลั่น 6 มิลลิลิตร แล้วต่อด้วย Sinter glass crucible เข้ากับ Suction เติมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร ตามด้วย อะซีโตน 10 มิลลิลิตร

3.4.8.3 นำตัวอย่างที่อยู่ใน Sinter Glass Crucible ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ (ทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ) จำนวนดังสมการ

$$\text{ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (เปอร์เซ็นต์)} = \frac{(W_3 - W_2) \times 100}{W_1}$$

เมื่อ W_1 คือตัวอย่างที่ผ่านอบจนน้ำหนักคงที่ จากการหา Holocellulose (กรัม)

W_2 คือน้ำหนัก Sinter Glass Crucible เปล่า (กรัม)

W_3 คือน้ำหนัก Sinter Glass Crucible + ตัวอย่างที่ผ่านอบจนน้ำหนักคงที่ (กรัม)

3.5 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลส

3.5.1 การเตรียมไมโครเซลลูโลส (Microcrystalline Cellulose: MCC) (ปรับปรุงจาก Kentaro, 2007)

1. ขั้นตอนการสกัด

1.1 ฐูบยาที่ผ่านการสกัดสารแทรกแล้วอบอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส บด ร่อน ผ่านตะแกรงขนาด 60 มิลลิเมตร

1.2 ชั่งฐูบยาที่ปราศจากสารแทรก 10 กรัม ลงในบีกเกอร์แล้วเติมน้ำตาลละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ (w/v) จนท่วมฐูบยา ปิดด้วยกระดาษฟิวส์ แช่ทิ้งไว้ 1 วัน (24 ชั่วโมง)

1.3 นำมาต้มบนเตาให้ความร้อน ใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

1.4 รอให้เย็นนำมาล้าง โดยการเติมน้ำกลั่นคนด้วยแท่งแก้ว จากนั้นรอให้ตกตะกอนแล้วรินสารละลายสีน้ำตาลเข้มส่วนที่อยู่ข้างบนทิ้ง แล้วเติมน้ำกลั่นใหม่ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนได้สารละลายใส

1.5 กรองตัวอย่างรูปด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ ใช้กระดาษกรองเบอร์ 1

1.6 นำส่วนที่อยู่บนกระดาษกรองใส่บีกเกอร์ แล้วเติมน้ำตาลละลายโพแทสเซียม-

ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ (w/v) จนท่วม แล้วนำไปต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

1.7 รอให้เย็นแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น โดยการเติมน้ำกลั่นคนด้วยแท่งแก้ว จากนั้นรอให้ตกตะกอนแล้วรินสารละลายสีน้ำตาลเข้มส่วนที่อยู่ข้างบนทิ้ง แล้วเติมน้ำกลั่นใหม่ ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนได้สารละลายใส

1.8) กรองตัวอย่างรูปด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ ใช้กระดาษกรองเบอร์ 1

2. ขั้นตอนการฟอกสี

2.1 นำส่วนที่อยู่บนกระดาษกรองข้อ 8 ในขั้นตอนการสกัดใส่ลงในบีกเกอร์ เติมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ (w/v) จนท่วม ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พร้อมกับใช้แท่งแก้วกวนเป็นระยะ ๆ จนรูปถ้ำขาว จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปเพิ่ม

2.2 ยกกลงแล้วรอให้เย็นและตกตะกอน รินสารละลายส่วนที่ใสทิ้ง แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น คนด้วยแท่งแก้วรอให้ตกตะกอนแล้วรินสารละลายส่วนบนทิ้งทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนได้สารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 7

2.3 นำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกเอาน้ำกลั่นออก เอาเฉพาะตะกอน เก็บตะกอนฝั่งไว้ อุณหภูมิห้อง

3. ขั้นตอนการสกัดด้วยกรดซัลฟูริก

3.1 นำตะกอนจากข้อ 3 ในขั้นตอนฟอกสีที่แห้งเติมกรดซัลฟูริก 3 เปอร์เซ็นต์ (w/v) 20 มิลลิลิตร ต่อตัวอย่าง 1 กรัม (1: 20) ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พร้อมกับคนด้วยแท่งแก้วเป็นระยะ เป็นเวลา 30 นาที

3.2 ล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งพีเอชเท่ากับ 7 แล้วทำให้ตัวอย่างกระจายโดยนำไป Sonicate อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

3.3 เทส่วนที่เป็นสารละลายทิ้ง เก็บส่วนที่เป็นตะกอนใส่ภาชนะสำหรับฟรีซดราย (Freeze-dryer) นำไปแช่ในตู้เย็น 20 องศาเซลเซียส ทำแห้งด้วยเทคนิค ฟรีซดราย

3.4 จากนั้นนำตัวอย่างที่ทำแห้งทั้งหมดรวมกันแล้วชั่งน้ำหนักที่ได้ เพื่อหาผลผลิต ร้อยละ (เปอร์เซ็นต์ Yield) ของผงเซลลูโลส นำผงเซลลูโลสที่ได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค FT-IR SEM XRD และขึ้นรูปฟิล์มต่อไป

3.5.2 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสโดยใช้ $ZnCl_2$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Qin Xu et al., 2016)

3.5.2.1 ชั่งตัวอย่างเซลลูโลสจากขั้นตอนการสกัดและฟอกสี 0.5 กรัมใส่ในบีกเกอร์

3.5.2.2 เติมสารละลาย $ZnCl_2$ 68 เปอร์เซ็นต์ (w/v) 20 มิลลิลิตร

3.5.2.3 ให้ความร้อนพร้อมกับกวนสารละลาย อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิถึง 90 องศาเซลเซียส จับเวลา 10 นาที แล้วยกลง

3.5.2.4 จากนั้นกวนต่อโดยใช้อุณหภูมิห้องจนเซลล์ูโลสละลายหมด

3.5.2.5 ตวงสารละลาย 10 มิลลิลิตร แล้วเทลงจานเพาะเชื้อ เกลี่ยให้เสมอกับจานเพาะเชื้อ ไว้ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ 14 วัน นำแผ่นจานเพาะเชื้อ มาล้างน้ำเพื่อแกะเอาฟิล์มออก

3.5.2.6 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนจากซังเซลล์ูโลส 0.5 กรัมเป็น 0.8 และ 1 กรัม จากนั้นทำตามข้อ 3.5.2.2 จนถึงข้อ 3.5.2.5

3.5.3 การเตรียมฟิล์มจากเซลล์ูโลสโดยใช้ CaCl_2

3.5.3.1 ซังตัวอย่างเซลล์ูโลสจากขั้นตอนการสกัดและฟอกสี 0.5 กรัมใส่ในบีกเกอร์

3.5.3.2 เติมสารละลาย ZnCl_2 68 เปอร์เซ็นต์ (w/v) 20 มิลลิลิตร

3.5.3.3 ให้ความร้อนพร้อมกับกวนสารละลาย อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิถึง 90 องศาเซลเซียส จับเวลา 10 นาที แล้วยกลง

3.5.3.4 เติมสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 68 เปอร์เซ็นต์ (w/v) 10 มิลลิลิตร คนสารละลายขณะเทด้วยแท่งแก้ว กวนเรื่อย ๆ จนสารละลายเป็นแผ่น

3.5.4 การเตรียมฟิล์มเซลล์ูโลสจากการย่อยสลายด้วย 1-butyl-3-methylimidazolium

Chloride: [BMIM]Cl (Yuan et al., 2016)

3.5.4.1 ซังตัวอย่างเซลล์ูโลสจากรูปถ่าย 0.1 กรัมใส่ในบีกเกอร์

3.5.4.2 ซัง 1-Butyl-3-Methylimidazolium Chloride 2 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีเซลล์ูโลส

3.5.4.3 กวนและให้ความร้อนไปเรื่อย ๆ จนถึง อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จับเวลา 10 นาที ยกกลงแล้วเทสารละลายใส่ในจานเพาะเชื้อ เกลี่ยให้เสมอ

3.5.4.4 ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วแกะเอาฟิล์มออก

3.5.4.5 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนจากซังเซลล์ูโลส 0.1 กรัมเป็น 0.15 และ 0.2 กรัม จากนั้นทำตามข้อ 3.5.4.2 จนถึงข้อ 3.5.4.4

3.6 การเตรียมฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose: CMC)

3.6.1 การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (พรชัย ราชตะนะพันธุ์ และคณะ, 2551)

การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนหมู่คาร์บอนิลที่ไม่ละลายน้ำของเซลลูโลสให้เป็นหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซีเมทิลที่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งสามารถสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสได้จากเซลลูโลส มีวิธีการ ดังนี้

1. นำผงเซลลูโลสที่สกัดได้มาปั่นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 มิลลิเมตร
2. ชั่งผงเซลลูโลส 7.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร สารละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 225 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยให้ความร้อนพร้อมกับกวนสารละลาย 30 นาที
3. เติมคลอโรอะซิติก 9 กรัม กวนสารละลาย 30 นาที จากนั้นปิดด้วยกระดาษฟอยล์นำไปอบอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.5 ชั่วโมง
4. เทของเหลวออกนำส่วนที่มีลักษณะหนืดคล้ายเจลไว้ในบีกเกอร์ เติมน้ำตาลละลายเมทานอล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
5. ปรับให้สารละลายเป็นกลางโดยการเติมน้ำตาลละลาย 90 เปอร์เซ็นต์ของกรดอะซิติกแอซิด (v/v) ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส แล้วกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ
6. เติมน้ำตาลละลายเมทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ (v/v) ปริมาตร 150 มิลลิลิตร แช่ไว้ 10 นาที จึงกรองเอาส่วนที่เป็นเจล ทำเช่นนี้ 5 ครั้ง
7. กรองเอาส่วนที่เป็นเจล ล้างเจลด้วยเมทานอล 300 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 1 คืน จะได้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethyl Cellulose: CMC) จากธาตุปฏิกิริยา จากนั้นนำไปหาผลผลิตร้อยละ (เปอร์เซ็นต์ Yield) ของผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และนำไปวิเคราะห์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค FTIR SEM XRD และขึ้นรูปฟิล์มต่อไป

3.6.2 การเตรียมฟิล์มชีวภาพจากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (วิฑูวิท จิริฐพงษ์และกษณุณ เวช ทรงชนศักดิ์, 2554)

3.6.2.1 ชั่งตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส มา 1.0000 กรัม เติมน้ำกลั่น 33.33 มิลลิลิตร สตอร์ พร้อมให้ความร้อนอุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

3.6.2.2 ตั้งไว้ให้สารละลายมีอุณหภูมิลดลงเหลือที่อุณหภูมิห้อง

3.6.2.3 ตวงสารละลายที่ได้ 10 มิลลิลิตร เทใส่จานเพาะเชื้อ เคลือบให้ทั่วตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน

3.6.2.4 แกะเอาฟิล์มที่ได้ไปทดสอบค่าการทนแรงดึง (Tensile strength)

3.6.3 การเพิ่มประสิทธิภาพแผ่นฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส การเพิ่มประสิทธิภาพแผ่นฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ทำได้โดยการเติมแป้งมันหรือแป้งข้าวโพด ทำให้เสริมความแข็งแรง ยืดระยะเวลาในการละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม ความสามารถในการละลายลดลง และการเติมกลีเซอรอลเพื่อให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่น ทนต่อแรงดึง ไม่เปราะและฉีกขาดง่าย มีวิธีการ ดังนี้

3.6.3.1 ชั่งตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส มา 1 กรัม ใส่บีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 33.33 มิลลิลิตร พร้อมให้ความร้อนสารละลายพร้อมกวน ที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จนกว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะละลาย

3.6.3.2 ลดอุณหภูมิลง รอให้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เติมแป้งมันลงไป 1 กรัม กวนจนกว่าแป้งจะละลาย

3.6.3.3 เมื่อแป้งละลายรวมกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสแล้ว ให้เติมกลีเซอรอล ปริมาตร 0.5, 1, 2 และ 3 มิลลิลิตร

3.6.3.4 กวนและให้ความร้อนจนกว่าแป้งจะสุกดี

3.6.3.5 ลดอุณหภูมิลง ตวงสารละลาย 10 มิลลิลิตร เทใส่จานเพาะเชื้อ เกลี่ยให้ทั่ว ตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน

3.6.3.6 แกะเอาฟิล์มที่ได้ไปทดสอบค่าการทนแรงดึง (Tensile Strength)

3.6.3.7 ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 6 แต่เปลี่ยนจากแป้งมันในข้อ 2 เป็นแป้งข้าวโพด (ใช้ตัวแปรควบคุมคือ แป้งมัน+น้ำ, แป้งข้าวโพด+น้ำ, CMC + แป้งมัน + น้ำ, CMC + แป้งข้าวโพด + น้ำ, CMC+น้ำ + กลีเซอรอล)

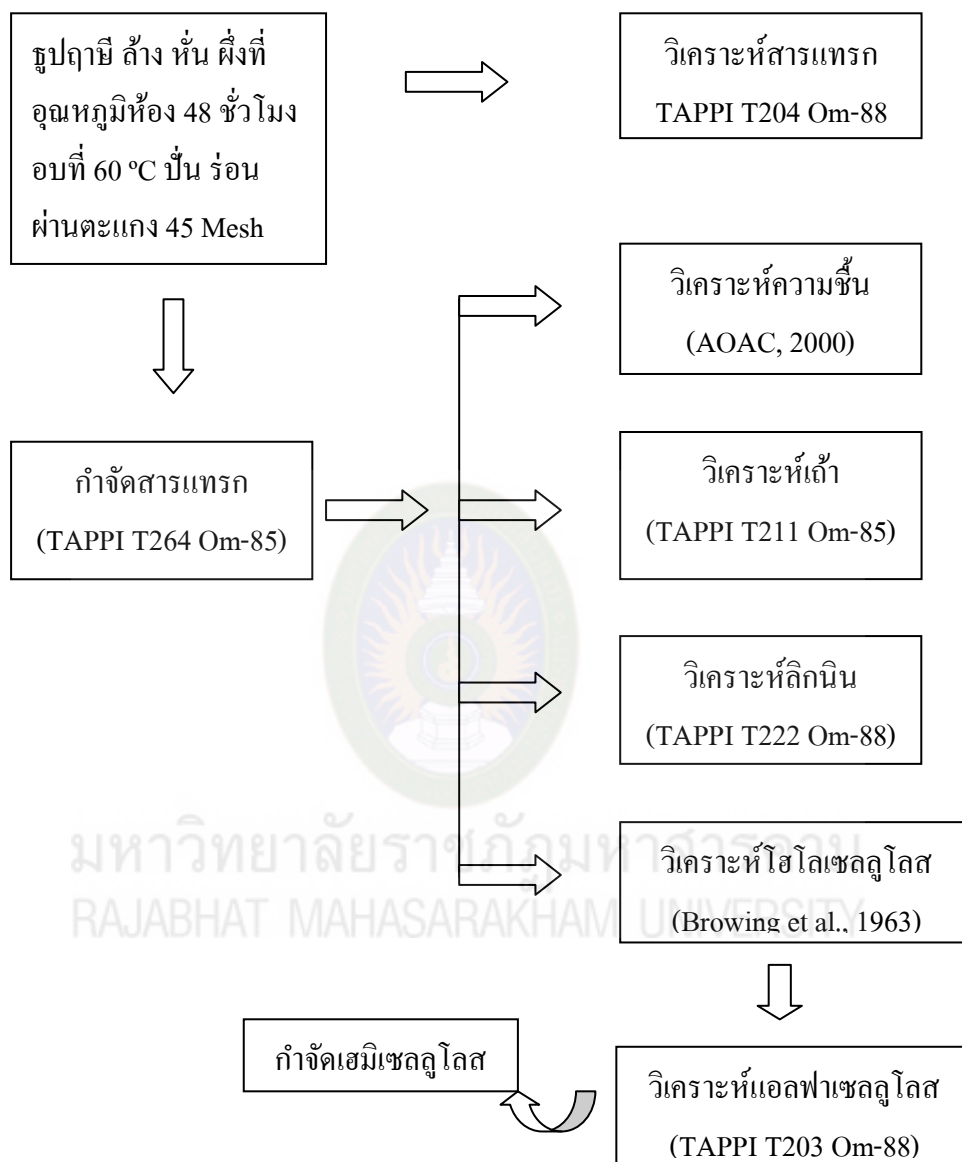
ตารางที่ 3.1

อัตราส่วนต่าง ๆ ในการเพิ่มประสิทธิภาพฟิล์ม

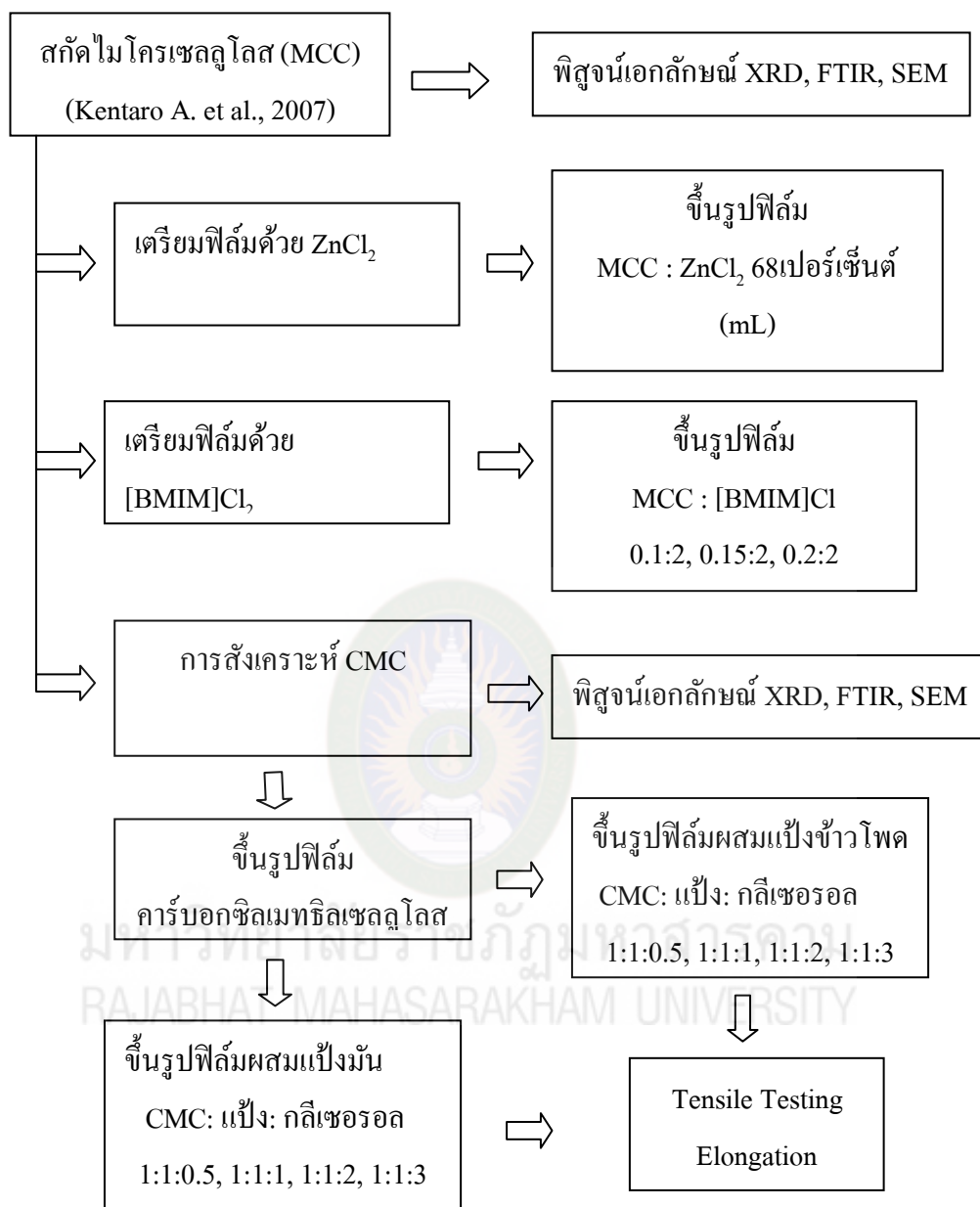
อัตราส่วนในการเพิ่มประสิทธิภาพฟิล์ม	สัญลักษณ์
แป้งข้าวโพด (Corn Flour): น้ำ 1 กรัม : 1 มิลลิลิตร	CW
แป้งมัน (Tapioca Flour) : น้ำ 1 กรัม : 1 มิลลิลิตร	TW
แป้งมัน : กลีเซอรอล : น้ำ 1 กรัม : 0.5 มิลลิลิตร : 33 มิลลิลิตร	TG0.5
แป้งข้าวโพด : กลีเซอรอล : น้ำ 1 กรัม : 1 มิลลิลิตร : 33 มิลลิลิตร	CG0.5

อัตราส่วนในการเพิ่มประสิทธิภาพฟิล์ม	สัญลักษณ์
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส : แป้งมัน : น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 33 มิลลิลิตร	FT
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส : แป้งข้าวโพด : น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 33 มิลลิลิตร	FC
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส : แป้งข้าวโพด : กลิเซอรอล : น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 0.5 มิลลิลิตร : 33 มิลลิลิตร	FCG 0.5
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส : แป้งข้าวโพด : กลิเซอรอล : น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 1 มิลลิลิตร : 33 มิลลิลิตร	FCG 1
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส : แป้งข้าวโพด : กลิเซอรอล : น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 2 มิลลิลิตร : 33 มิลลิลิตร	FCG 2
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส : แป้งข้าวโพด : กลิเซอรอล : น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 3 มิลลิลิตร : 33 มิลลิลิตร	FCG 3
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส : แป้งมัน : กลิเซอรอล : น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 0.5 มิลลิลิตร : 33 มิลลิลิตร	FTG 0.5
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส : แป้งมัน : กลิเซอรอล : น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 1 มิลลิลิตร : 33 มิลลิลิตร	FTG 1
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส : แป้งมัน : กลิเซอรอล : น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 2 มิลลิลิตร : 33 มิลลิลิตร	FTG 2
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส : แป้งมัน : กลิเซอรอล : น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 3 มิลลิลิตร : 33 มิลลิลิตร	FTG 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการสกัด และขึ้นรูปฟิล์ม

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษองค์ประกอบทางเคมีของต้นรูปถั่วในดินเค็ม และศึกษากระบวนการขึ้นรูปฟิล์ม โดยเก็บตัวอย่างต้นรูปถั่ว จากบริเวณดินเค็ม ตำบลหนองสิม อำเภอบรบือ จังหวัดมหาสารคาม ผลการศึกษาเสนอตามลำดับต่อไปนี้

4.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของต้นรูปถั่วในดินเค็มที่ทำการศึกษา คือ ความชื้น เถ้า สารแทรก ตามวิธีมาตรฐาน AOAC, 2000, TAPPI T211 Om-85 แล้วนำตัวอย่างที่ปราศจากสารแทรกไปหาปริมาณลิกนินตามวิธีมาตรฐาน TAPPI T222 Om-88 ปริมาณไฮโดรเจนคลอไรด์ ตามวิธีของ Browing, 1963 และแอลฟาเซลลูโลสตามวิธีการมาตรฐาน TAPPI T204 Om-88 ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

องค์ประกอบทางเคมีจากรูปถั่วในดินเค็ม

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์ (เปอร์เซ็นต์)
ความชื้น	2.90
เถ้า	8.50
สารแทรก (เอทานอล : เบนซีน)	11.98
ลิกนิน	11.42
ไฮโดรเจนคลอไรด์	52.52
แอลฟาเซลลูโลส	63.94

จากการศึกษาพบว่า องค์ประกอบทางเคมีของรูปถั่วในดินเค็มมีปริมาณความชื้น 2.90 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นถือว่าเป็นตัวแปรในสภาพการเก็บรักษาที่มีความสำคัญเป็นอันดับแรก โดยทั่วไปเส้นใยจะมีน้ำแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลตรงหมู่ไฮดรอกซิล (OH) และมีการจัดตัวแบบไม่เป็นระเบียบ ซึ่งทำให้เกิดความสามารถในการดูดความชื้นไว้ได้ (วิโรจน์ แก้วเรือง และศศิพิมพ์

ลิ้มฉิม, 2554) ในพืชสมุนไพรปริมาณความชื้นต้องไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ หากมีปริมาณมาก อาจเกิดการเปลี่ยนแปลง หรือสลายตัวได้ (ปิยพร พัทธพรม, 2558, น. 1-7) ในอุตสาหกรรมกระชาย ความชื้นต้องไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ เพราะความชื้นมีอิทธิพลต่อการยืดหดตัวของกระชาย ส่งผลต่อคุณภาพงานพิมพ์ เนื่องจากเส้นใยเยื่อเป็นมวลสารที่เข้ากันได้ค้ำกับน้ำ ถ้าความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น เส้นใยก็จะดูดซับความชื้นมาไว้กับตัว เกิดการคลายตัวทำให้กระชายยืดตัว ความแข็งแรงของกระชายลดลง หากความชื้นในอากาศลดลงเส้นใยก็จะคายความชื้นออกมา กระชายก็จะหดตัวทำให้ค่าความแข็งแรงบางค่าลดลง (ราชกิจจานุเบกษา, 2552) ซึ่งปริมาณความชื้นของรูปถ่ายในดินเค็มที่ได้ อยู่ในเกณฑ์ของความชื้น ในพืชสมุนไพรและอุตสาหกรรมกระชายที่กำหนด

รูปถ่ายในดินเค็มมีปริมาณเถ้า 8.50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเถ้าเกี่ยวข้องกับปริมาณแร่ธาตุ และ สารอนินทรีย์ในตัวอย่าง ถ้ามีปริมาณเถ้ามากแสดงถึงการปนเปื้อนของสารอนินทรีย์และแร่ธาตุสูงด้วย มีผลต่อการผลิตเยื่อ (เพ็ญศรี อติวรรณพัฒน์ และคณะ, 2551) หรือการสกัดสารให้บริสุทธิ์ ดังนั้นพืชสมุนไพรต่าง ๆ จึงต้องการให้มีปริมาณเถ้าไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ (ปิยพร พัทธพรม, 2558, น. 1-7) จากการศึกษาพบว่าในฟางข้าวมีเถ้า 16.93 เปอร์เซ็นต์ (วิทยา บัณฑิตสุวรรณ, 2541) ปลายน้ำมันมีเถ้า 2.3 เปอร์เซ็นต์ (เกียรติพงษ์ สงพรหม, 2554) แสดงให้เห็นว่ารูปถ่ายในดินเค็มมีปริมาณเถ้าในระดับต่ำ มีความเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ในการผลิตเยื่อได้ และมีปริมาณเถ้าเหมาะสมเทียบเท่าพืชสมุนไพรจึงมีสารเจือปนในระดับที่ไม่อันตราย

รูปถ่ายในดินเค็มมีปริมาณสารแทรก 11.98 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณสารแทรกที่ได้ คือ สารประกอบที่ทำให้พืชมีสี กลิ่น และรส แตกต่างกัน (วิทยา บัณฑิตสุวรรณ, 2541) ดังนั้น สารแทรกหลักที่พบอยู่ในพืชจะเป็นพวก กรดไขมัน สารระเหย ไขมัน และสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวน (โสธญา สัมเจิวหวาน, 2557) ในการใช้ประโยชน์ของพืชเส้นใย ควรจะมีสารแทรกไม่เกิน 5-10 เปอร์เซ็นต์เพื่ออำนวยความสะดวก จากการศึกษาปริมาณสารแทรกในใบสับปะรดพบ 11.23 เปอร์เซ็นต์ และเปลือกกล้วย 10.34 เปอร์เซ็นต์ (วิทยา บัณฑิตสุวรรณ, 2541) พืชทั้งสองชนิดมีการใช้ประโยชน์ของเส้นใยและปริมาณสารแทรกใกล้เคียงกับรูปถ่ายในดินเค็ม แสดงให้เห็นว่ารูปถ่ายมีปริมาณสารแทรกไม่สูงมากสามารถนำมาสกัดใช้ประโยชน์เส้นใยต่อไปได้

รูปถ่ายในดินเค็มมีปริมาณลิกนิน 11.42 เปอร์เซ็นต์ ลิกนินในพืชทำหน้าที่เชื่อมเส้นใยให้ยึดติดกันกัน เส้นใยที่มีปริมาณลิกนินมากจะมีความแข็งแรง ลิกนินมีสีน้ำตาลในอุตสาหกรรมกระชาย จึงต้องกำจัดออกในขั้นตอนการฟอกเยื่อ เพื่อไม่ให้กระชายมีสีคล้ำ (ลดารัตน์ เลี่ยมปรีชา และคณะ, 2557, น. 21-26, โสธญา สัมเจิวหวาน, 2557) เนื่องจากลิกนินมีสัณฐานที่ซับซ้อน สามารถเปลี่ยนรูปทางเคมี และนำไปใช้ในงานด้านการแพทย์ สารเติมเต็มในอุตสาหกรรมเคมีได้ (Cao et al., 2013, pp. 41-47) จากการศึกษาปริมาณลิกนินในฝ้ายมี 17 เปอร์เซ็นต์ ปอแก้ว 15.12 เปอร์เซ็นต์ ทะลาย

ปาล์ม 9.33 เปอร์เซ็นต์ (ลดาร์ตัน เลี่ยมปรีชา และคณะ, 2557, น. 21-26) เส้นใยพืชที่ดีจะต้องมี ลิกนินไม่เกิน 20-30 เปอร์เซ็นต์ (วิทยา ปั่นสุวรรณ, 2541) ปริมาณลิกนินที่สกัดจากรูปถ่ายในดิน เค็ม มีปริมาณค่อนข้างน้อยสามารถกำจัดออกได้ง่าย

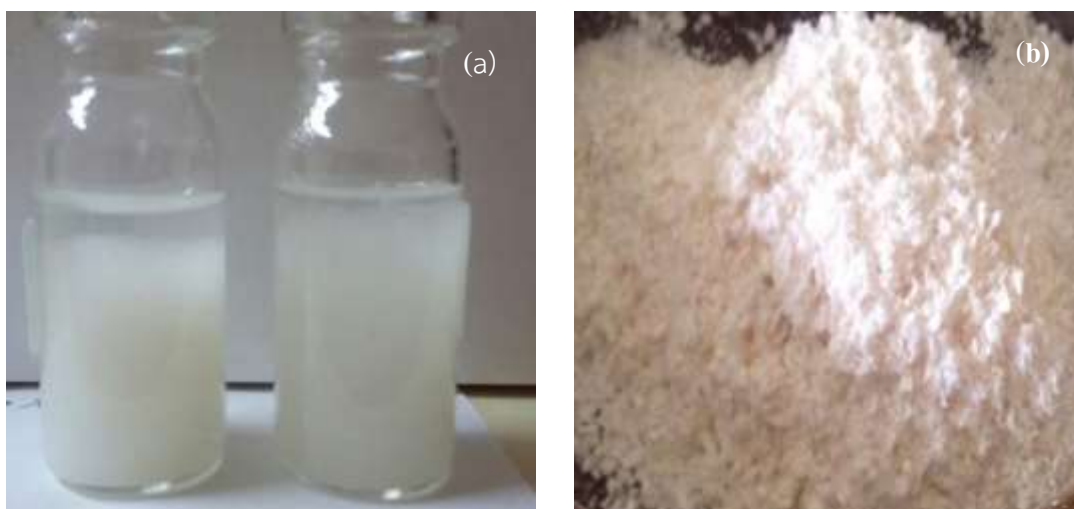
รูปถ่ายในดินเค็มมีปริมาณ ไฮโดรเซลลูโลส 52.52 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ ไฮโดรเซลลูโลสเกี่ยวข้องกับ ส่วนของคาร์โบไฮเดรต เช่น แป้งและเพคตินในพืช และยังเป็น การรวมกันของเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ถ้ามีปริมาณมากก็จะเป็นแหล่งเซลลูโลสที่ดี (Rowell, 2005 อ้างถึงใน จวีวรรณ ลีลาธนา พิพัฒน์, 2553) จากการศึกษาปริมาณ ไฮโดรเซลลูโลสของฟางข้าว และขานอ้อยมี 64-71 เปอร์เซ็นต์ (วิทยา ปั่นสุวรรณ, 2541) ต้นปาล์มน้ำมัน 77.77 เปอร์เซ็นต์ (บัญญัติ เนิตฉิม, 2556) เปลือกไมยราบ ยักษ์ 85.65 เปอร์เซ็นต์ (สมชาย วงศ์ศิริศักดิ์, วิชชุดา อินคำ และสิรินภา กองมณี, 2559) ปริมาณ ไฮโดรเซลลูโลสในรูปถ่าย พบว่ามีปริมาณปานกลางสามารถเป็นพืชทางเลือกเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์

รูปถ่ายในดินเค็มมีปริมาณแอลฟาเซลลูโลส 63.94 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาปริมาณเซลลูโลส ที่สกัดได้จากเมล็ดมะรุ่ม 96.54 เปอร์เซ็นต์ (จิตา พู่เผ่า, อัจฉรา พรหมแสง, พัชรา อ้นโต และวิระ พุ่ม เกิด, 2557) ปอกระเจา 61 เปอร์เซ็นต์ (Kabir et al., 2012, pp. 3276-3278) ต้นกก 37.276 เปอร์เซ็นต์ ฟางข้าว 37.704 เปอร์เซ็นต์ และหญ้านวลจันทร์ 26.476 เปอร์เซ็นต์ (กฤษณเวช และวิทวัส จิรัฐพงศ์, 2554, น. 1-4) จากรายงานวิจัยที่กล่าวมาแล้ว ปริมาณเซลลูโลสที่สกัดได้นั้นอาจเกิดจากความแตกต่าง ของวิธีการสกัด สภาพที่ใช้ในการสกัด วัตถุดิบที่นำมาเตรียม เซลลูโลสที่สกัดได้จึงมีคุณสมบัติ แตกต่างกัน (จุฑารัตน์ พงษ์โนรี และธีรพร กงบังเกิด, 2549, น. 191-199) ซึ่งแอลฟาเซลลูโลสจาก รูปถ่ายในดินเค็มที่สกัดได้มีปริมาณมาก รูปถ่ายจึงเป็นพืชที่น่าสนใจที่จะนำมาเป็นทางเลือกในการ ใช้ประโยชน์จากเซลลูโลสได้

4.2 การเตรียมฟิล์มจากเซลลูโลส

4.2.1 การสกัดไมโครเซลลูโลส

ทำการสกัดเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็มโดยนำมากำจัดสารแทรก ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส ออก ฟอกสีด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ แล้วไฮโดรไลต์ด้วยกรดซัลฟิวริก จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น กระทั่ง pH เท่ากับ 7 จะได้ตัวอย่างมีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาวขม่น้ำดังภาพ 4.1(a) แล้วทำให้แห้ง ด้วยเทคนิคฟรีซดราย (Freeze Dry) นำไปประเหิดน้ำออกได้เซลลูโลสลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว นำนม (Yue et al., 2015, pp. 438-447) ดังภาพ 4.1 (b) ร้อยละการได้กลับคืนเท่ากับ 52.16 เปอร์เซ็นต์ นำเซลลูโลสที่สกัดได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ต่อไป



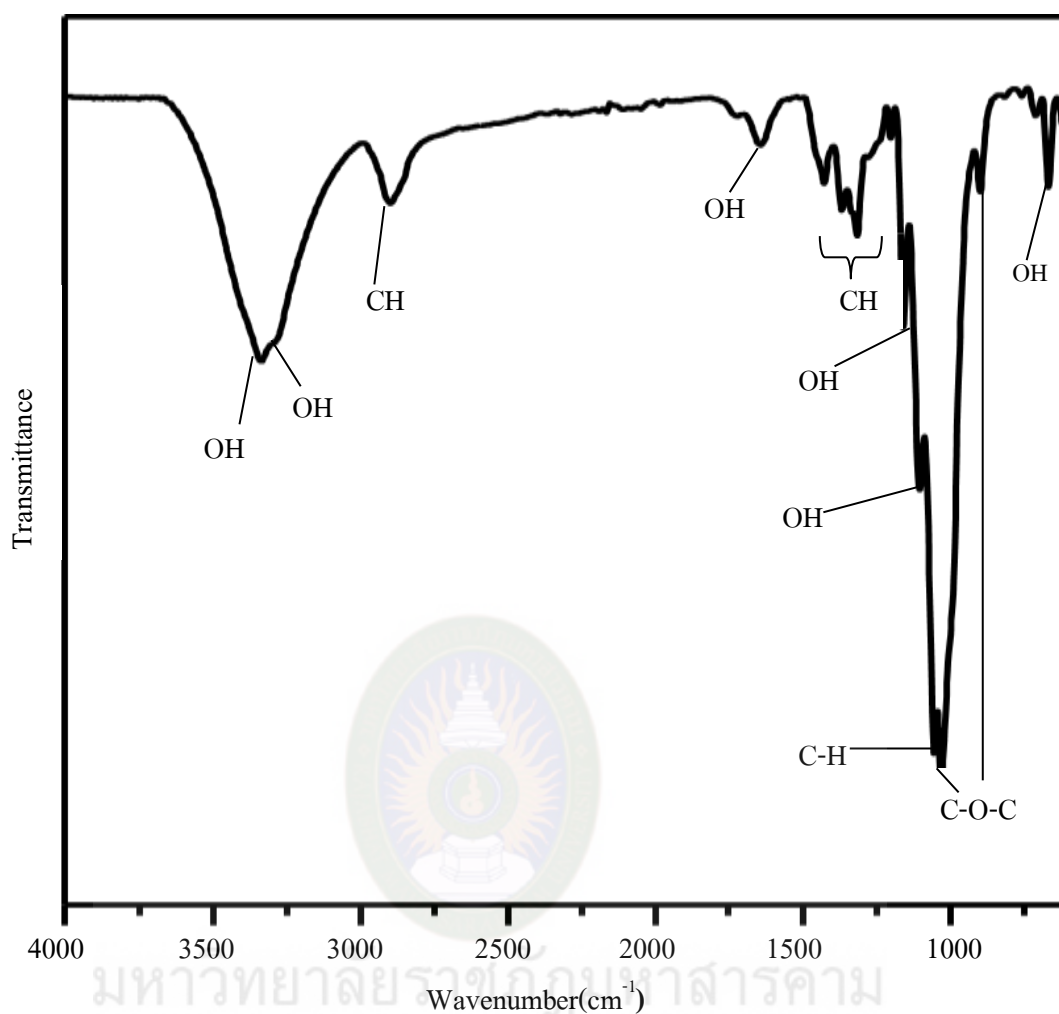
ภาพที่ 4.1 เซลลูโลสจากรูปถาญี (a) เซลลูโลสหลังล้างจนได้ pH 7 (b) เซลลูโลสหลังทำแห้ง

4.2.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์เซลลูโลสที่สกัดได้

ทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ของเซลลูโลสที่สกัดได้ก่อนทำการขึ้นรูปฟิล์มด้วยเทคนิค FT-IR XRD และ SEM ตามลำดับดังนี้

4.2.2.1 วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วย FT-IR

ในการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสที่สกัดได้จากต้นรูปถาญี ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างทางเคมีของสารตัวอย่าง ใช้หลักการที่หมู่ฟังก์ชันของสารแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นแตกต่างกันและมีลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งอินฟราเรดสเปกตรัมของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดจะอยู่ในช่วง $4000-500\text{ cm}^{-1}$ โดยการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ของเซลลูโลสที่สกัดได้จากต้นรูปถาญีในดินเค็มแสดงได้ดังภาพที่ 4.2 และตารางที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 สเปกตรัมอินฟราเรดของเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็ม

ตารางที่ 4.2

ค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ของเซลลูโลส

เลขคลื่น (cm ⁻¹)	พันธะที่สั้น	รายการอ้างอิง
Wavenumbers	(Band Assignments)	(References)
3329,3288	Vibration of intra H-bond	Yue et al., 2015, pp. 438-447
2893	C-H Stretching of CH ₂	อุษารัตน์, 2557, จิรัชญา, 2557
1645	OH Stretching	จุฑามาส และรัชญา, 2560
1427	C-H Wagging (In-plane-bending)	นันทรัตน์ และคณะ, 2558

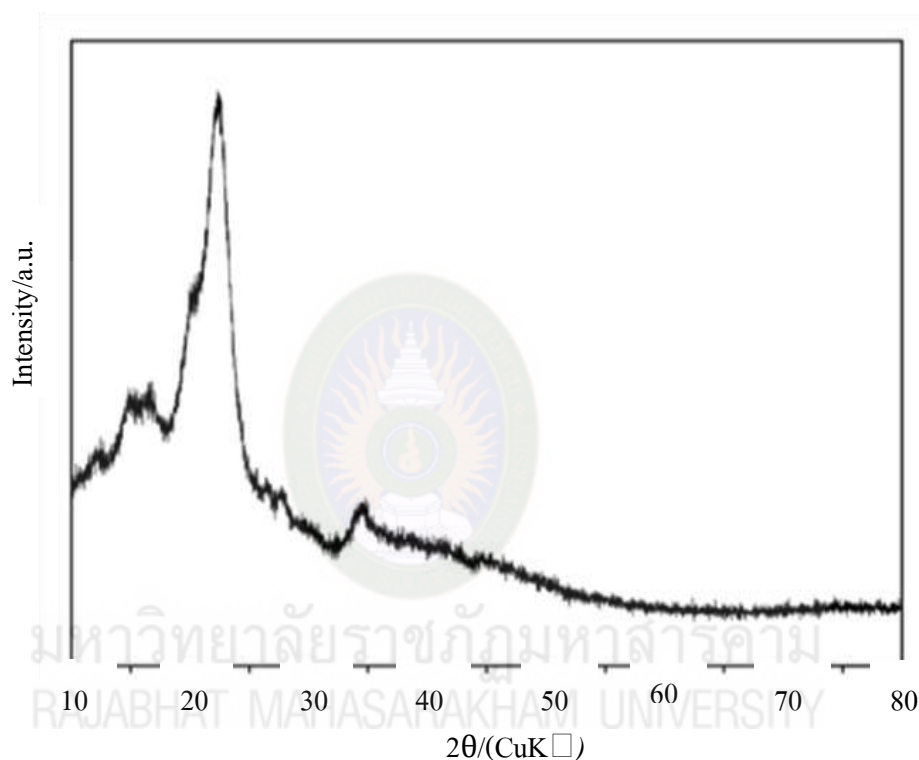
ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

เลขคลื่น (cm ⁻¹)	พันธะที่สั่น	รายการอ้างอิง
Wavenumbers	(Band Assignments)	(References)
1370	CH Wagging	อุษารัตน์, 2557
1362	CH-Bending	Phinichka, 2018, pp. 55-65
1318	CH ₂ - Wagging	Yue et al., 2015, pp. 438-447
1200	C-O-C Stretching	จิรัชญา, 2557
1160	Anti-Symmetric Bridge C-O-C Stretch	Célino, 2014, pp. 163-170
1109	Anti- Symmetric In-Plane Ring Stretch	Maiti et al., 2013, pp. 562-567 Yue et al., 2015, pp. 438-447
1040	C-O Stretching	Shankar, 2016, pp.18-26
1030	C-O-C pyranose ring skeletal vibration	Yue et al., 2015, pp. 438-447
894	C-O-C stretching at the β-(1→4)-glycosidic linkages	Maiti et al., 2013, pp.562-567, Yue et al., 2015, pp. 438-447
663	O-H Out of Plane Bending	อุษารัตน์, 2557

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลลูโลสจากภาพที่ 4.2 และค่าการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ของเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็มดังตารางที่ 4.2 พบอินฟราเรดสเปกตรัมของเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็ม พิกที่เด่นชัดคือที่ตำแหน่ง 2893 cm⁻¹ เป็นการสั่นแบบยืดของพันธะ C-H ของหมู่เมทิล (CH₂) ตำแหน่งที่ 1645 cm⁻¹ เป็นการสั่นแบบยืดของพันธะ OH ตำแหน่งที่ 1200-1000 cm⁻¹ แสดงถึงองค์ประกอบของวงแหวนอะโรมาติก (C-O-C Stretching) ส่วนตำแหน่ง 894 - 1170 cm⁻¹ จะเป็นการสั่นแบบ Stretching ของ O-H ซึ่งเป็นหมู่ C-O-C และ C-O ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเซลลูโลส ลิกนิน และพันธะไกลโคซิดิก (Maiti et al., 2013, pp.562-567) และตำแหน่ง 1370-1318 cm⁻¹ แสดงถึงการสั่นแบบงอของ C-H Wagging (Yue, et al., 2015, pp. 438-447) นอกจากนี้ยังพบพิกที่ตำแหน่ง 3329, 3288 cm⁻¹ ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) ระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลส II สามารถยืนยันได้ว่าสารที่สกัดได้จากรูปถ่ายในดินเค็มคือเซลลูโลส และมีเซลลูโลส II อยู่ในโครงสร้างนี้ด้วย (Lu and Hsieh, 2012, pp. 2546-2553)

4.2.2.2 ศึกษาความเป็นผลึกของเซลลูโลส

โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer: XRD) XRD เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์วัสดุต่าง ๆ โดยสามารถวิเคราะห์ทดสอบชนิด ปริมาณ คุณภาพ ของสารประกอบแบบผลึกต่าง ๆ ในชิ้นงาน อาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เมื่อลำรังสีตกกระทบวัสดุหรืออนุภาค จะเกิดการหักเหของลำรังสีสะท้อนออกมาทำมุมกับระนาบ ของอนุภาคเท่ากับมุมของลำรังสีตกกระทบผลดังกล่าวที่ 4.3



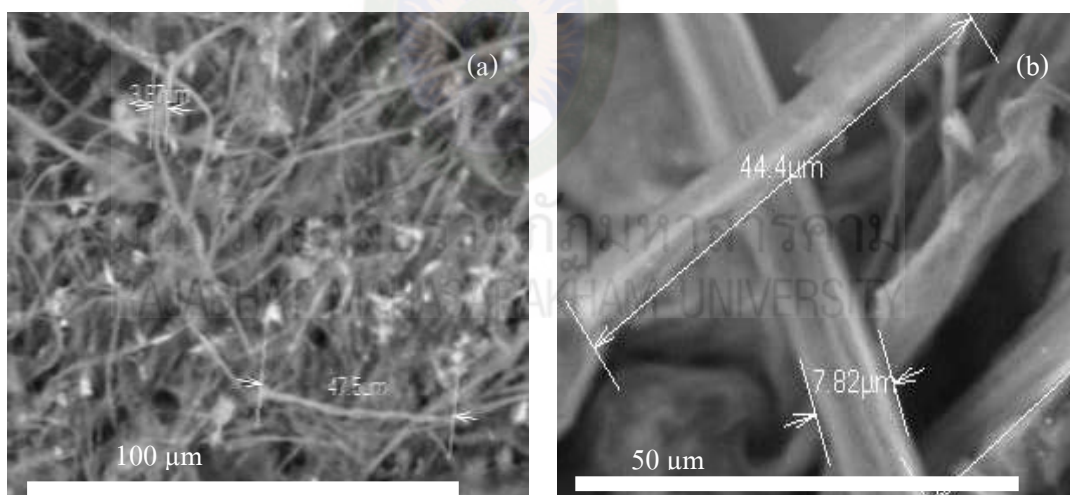
ภาพที่ 4.3 XRD Patterns ของผลึกเซลลูโลส

จากภาพที่ 4.3 การวิเคราะห์ความเป็นผลึกของเซลลูโลสที่สกัดได้จากต้นธูปฤาษีในดินเค็ม พบว่าเซลลูโลสที่สกัดได้ให้พิกของโครงสร้างผลึกที่ 2θ ประมาณ 15.83° , 16.49° , 22.6° และ 34.5° ในระนาบ 110 110 200 และ 004 ตามลำดับ (Yu et al., 2014, pp. 12-15) เป็นลักษณะเฉพาะของผลึกเซลลูโลสแบบเซลลูโลส I คือ เซลลูโลสที่มีโครงสร้างแบบขนาน ขณะเดียวกันยังพบพิกที่ตำแหน่ง 2θ 12.8° ซึ่งเป็นเซลลูโลสแบบเซลลูโลส II คือมีโครงสร้างแบบบิดเกลียว ซึ่งลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกัน เกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลที่เกิดในโครงสร้างทำให้เซลลูโลส II มีความแข็งแรงและใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางกว่า (Yue et al., 2015, Phinichka and Kaenthog, 2018, pp. 55-56) ในการสกัดเซลลูโลสตามวิธีนี้

ได้เซลล์โลสผสมระหว่าง เซลล์โลส I และ เซลล์โลส II ซึ่งมีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ด้าน เกษษกรรมและความงาม (Yue et al., 2015)

4.2.2.3 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์โลส

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ Electron เป็นแหล่งกำเนิดแสง ใช้ศึกษาลักษณะสัณฐานของวัสดุในระดับจุลภาค อาศัยหลักการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนใน สนามแม่เหล็กทำให้ลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิวิ่งเข้ามากระทบกับชิ้นงาน เกิดอันตรกิริยาของ อิเล็กตรอนต่อชิ้นงาน ทำให้อิเล็กตรอนในระดับชั้นโคจรต่าง ๆ ได้รับพลังงานมากพอจนหลุดออก จากวงโคจร แล้วอิเล็กตรอนจากชั้นโคจรถัดไปเข้ามาแทนที่ อิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากชั้นแถบการนำ (Conduction band) หรือแถบพลังงาน เวเลนซ์ (Valance band) ซึ่งไม่ต้องใช้พลังงานสูงสามารถหลุดออกจากผิวชิ้นงานได้ง่าย เรียกว่า อิเล็กตรอนอิสระ อิเล็กตรอนชนิดนี้จะใช้ในการสร้างภาพที่บริเวณพื้นผิวของชิ้นงานดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์โลสจากชูปถาญีในดินเค็มที่สกัดได้ (a) กำลังขยาย 100 นาโนเมตร (b) กำลังขยาย 50 นาโนเมตร

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์โลสจากชูปถาญีในดินเค็ม มีรูปร่างทรงกลม ความยาวเท่ากับ 47.5 ไมโครเมตร (μm) และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 7.82 ไมโครเมตร (μm) ยืนยันขนาดของเซลล์โลสที่เตรียมได้ในระดับไมโคร ขนาดของเส้นใยมีความแตกต่างกัน คือเส้นใยสั้นประมาณ 1-2 มิลลิเมตร ส่วนเส้นใยยาวมีความยาวของเส้นใยประมาณ 3-5 มิลลิเมตร ในด้านของ

การผลิตกระดาษส่งผลให้สมบัติของกระดาษที่ผลิตได้ต่างกัน คือ เส้นใยสั้นจะให้กระดาษเรียกว่า เส้นใยยาว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติการทนแรงดึง กระดาษที่ผลิตจากเส้นใยยาวมีสมบัติต้านทานแรงดึงสูงกว่า เนื่องจากความยาวของเส้นใยมีผลต่อการสร้างพันธะของเส้นใยภายในเนื้อกระดาษ (สมชาย วงศ์ศิริศักดิ์, 2559) ซึ่งขนาด รูปร่าง ความถ่วงจำเพาะ ของเซลลูโลสมีคุณสมบัติและการนำไปใช้ที่แตกต่างกัน เช่น ทำให้มีการผลิตเพื่อจุดประสงค์ในการใช้งานแตกต่างกันออกไป (เกรียงศักดิ์ ศรีวิจิตรกมล, 2543) เช่น เส้นใยที่มีมีความยาว 218 ± 56 นาโนเมตร สามารถทนความร้อนได้ดีและสามารถเป็นวัสดุเสริมแรงได้ (Espino et al., 2014) ความหนา 12.67-15.58 นาโนเมตร และความยาว 92.31- 78.09 นาโนเมตร สามารถนำไปใช้กับวัสดุผสมทางชีวภาพ งานทางด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ และงานด้านชีวการแพทย์อื่น ๆ (Sung Won et al., 2018) เป็นต้น จะเห็นว่าขนาดของเส้นใยมีผลต่อการขึ้นรูปและความเรียบเนียน ดังนั้นในการประยุกต์ใช้เซลลูโลสทางด้านฟิล์มขนาดจึงมีความสำคัญต่อลักษณะฟิล์มการทำให้เซลลูโลสมีขนาดในระดับนาโนจึงทำให้มีโอกาสได้ฟิล์มที่ดีกว่าเส้นใยขนาดใหญ่ ดังนั้นจากขนาดเซลลูโลสที่เตรียมได้จึงมีความเหมาะสมในการเตรียมฟิล์ม

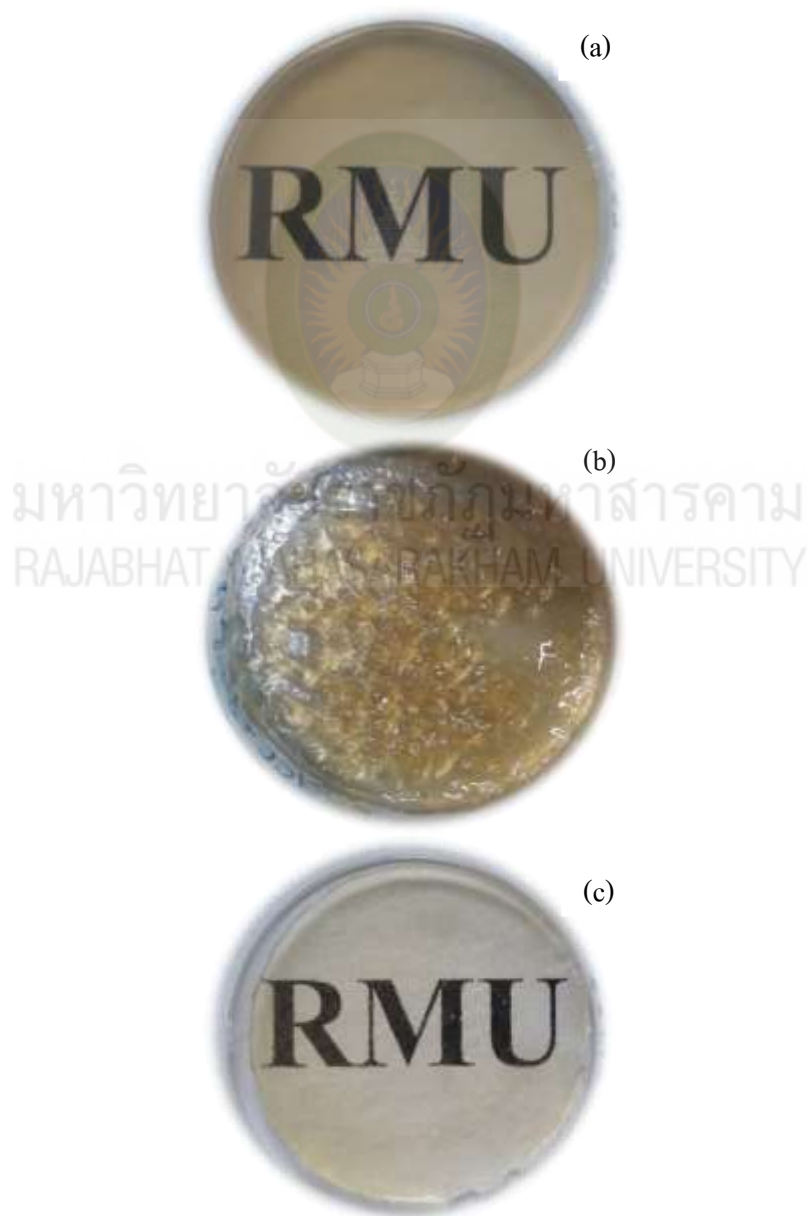
4.2.3 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลส

จากการสกัดเซลลูโลสและพิสูจน์เอกลักษณ์พบว่า เซลลูโลสที่เตรียมได้เป็นโครงสร้างแบบ I และแบบ II ผสมกันซึ่งเซลลูโลสเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นการขึ้นรูปฟิล์มจึงต้องเลือกสารที่สามารถละลายเซลลูโลส หรือทำลายพันธะไฮโดรเจน ระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสได้ ในการทดลองนี้เลือกใช้สารไอออนิก 2 ชนิด ที่สามารถละลายเซลลูโลสได้ และเมื่อระเหยแล้วบ่มเพื่อให้เกิดฟิล์มเซลลูโลสได้ คือ $ZnCl_2$ และ [BMIM]Cl จากการทดลองพบว่า เซลลูโลสใน $ZnCl_2$ สามารถเตรียมฟิล์มได้โดยฟิล์มมีสีน้ำตาลเข้ม โปร่งแสงดังภาพที่ 4.5(a) ในขณะที่เซลลูโลสใน $ZnCl_2$ เมื่อผสมกับ $CaCl_2$ เซลลูโลสไม่สามารถจับกันเป็นฟิล์มได้ จึงได้เจลเซลลูโลสสีน้ำตาลอ่อนดังภาพที่ 4.5(b) แสดงให้เห็นว่า $ZnCl_2$ สามารถละลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลสายโซ่ของเซลลูโลสได้ โดย Zn^{2+} เกิดพันธะกับ $-OH$ กระจายในโมเลกุลของเซลลูโลสระหว่างสายโซ่ ทำให้เซลลูโลสมี

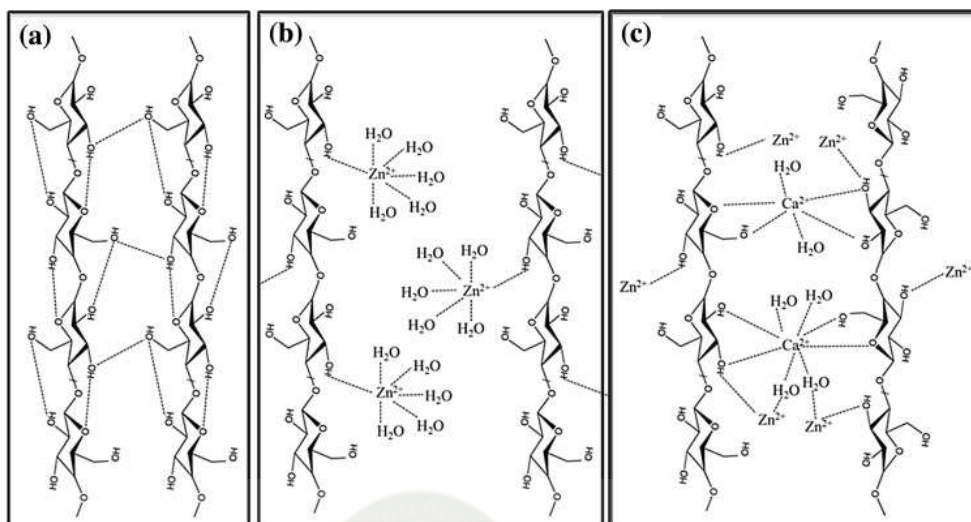
โครงสร้างขนาดเล็กจึงละลายได้ และสามารถบ่มให้โมเลกุลจับกันเป็นแผ่นฟิล์มได้ ในขณะที่เมื่อเติม $CaCl_2$ เพิ่มนั้น Ca^{2+} จะเกิดพันธะทำให้พันธะไฮโดรเจนถูกทำลายทั้ง ส่วนระหว่างและภายในสายโซ่จึงทำให้เซลลูโลสมีขนาดเล็กกว่า ดูดความชื้นจากภายนอกได้มากจึงอยู่ในลักษณะเจล (Sung Won et al., 2018) กลไกการละลายพันธะไฮโดรเจนของ $ZnCl_2$ และ $ZnCl_2$ ร่วมกับ $CaCl_2$ ดังแสดงในภาพที่ 4.6 ภาพที่ 4.6(a) เป็นลักษณะของเซลลูโลสจะเห็นว่า มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลที่

แข็งแรง เมื่อเติม $ZnCl_2$ ลงไปพบว่าโมเลกุล Zn^{2+} บางส่วนเกิดพันธะกับหมู่ OH ของเซลลูโลส ทำให้พันธะหายไปบางส่วนดังภาพ 4.6(b) และเมื่อเติม $CaCl_2$ ร่วมกับ $ZnCl_2$ พบว่า Ca^{2+} เกิดพันธะบางส่วนกับ OH ของหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลสร่วมกับ Zn^{2+} ทำให้ไม่มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสดังภาพที่ 4.6(c)

เมื่อใช้ [BMIM]Cl เป็นสารไอออนิกในการเตรียมเซลลูโลส พบว่าได้ฟิล์มสีน้ำตาลอ่อนมีความโปร่งแสงสูง ดังภาพ 4.5(C) แสดงว่า [BMIM]Cl สามารถละลายเซลลูโลสได้และบ่มขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้ โดยสารไอออนิก [BMIM]Cl สามารถสลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโซ่ของเซลลูโลสบางส่วนได้ โดย [BMIM]Cl เกิดพันธะกับ -OH เซลลูโลส ดังภาพที่ 4.7

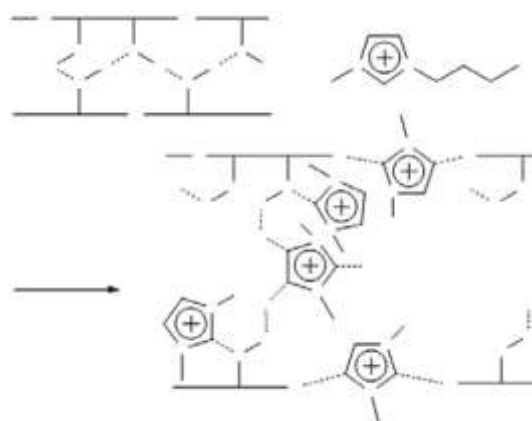


ภาพที่ 4.5 ฟิล์มเซลลูโลส (a) เตรียมจาก $ZnCl_2$ 68 เปอร์เซ็นต์ (b) เตรียมจาก $ZnCl_2$ ร่วมกับ $CaCl_2$ และ (c) เตรียมจาก [BMIM]Cl



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของกลุ่มเซลลูโลสปกติกับเซลลูโลสแกนเกลียว (a) ในเซลลูโลสพื้นเมืองโซ่ยึดประสานกันผ่านการเชื่อมต่อของไฮโดรเจน (b) ไอออน Zn^{2+} จะทำลายพันธะ O_3H และโซ่ของเซลลูโลสจะมีความยืดหยุ่น และโมเลกุลของน้ำ (H_2O) สามารถเจาะเข้าไปในพันธะนำไปสู่การละลายเซลลูโลสได้ (c) ภายหลังการเติม Ca^{2+} ปรากฏไอออนของ Ca^{2+} เชื่อมโยงโซ่ Zn-cellulose โดยอาศัยปฏิสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มไฮดรอกซิล, Zn^{2+} ไอออนและโมเลกุลของน้ำซึ่งเป็นผลให้เกิดการสร้างเส้นใยภายหลัง.

ปรับปรุงจาก “A facile route to prepare cellulose-based films (pp. 274-271), โดย Qin Xu, Chen Chen, Katelyn Rossworn, Tianming Yao and Srinivas Jannaswamy”, 2016, *Journal of Carbohydrate Polymers*, 149, DOI: org/10.1016/j.carbpol.2016.04.114



ภาพที่ 4.7 กลไกการแตกเกิดพันธะของ β -O-4 glucosidic ด้วยสารไอออนิก. ปรับปรุงจาก Pretreatment of softwood dissolving pulp with ionic liquids (pp. 935-943), โดย Dongfang Li, Olena Sevastyanova, and Monica Ek, 2012, *Journal of Holzforschung*, 66. DOI: 10.1515/hf-2011.0180

4.2.4 การสังเคราะห์ฟิล์มคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส (Carboxymethylcellulose: CMC)

4.2.4.1 การสังเคราะห์คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส

เซลลูโลสเป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ ไม่ละลายน้ำ จึงมีข้อจำกัดในการขึ้นรูปฟิล์มที่ต้องใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม ดังนั้นการเตรียมเป็นคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส โดยการเปลี่ยนหมู่คาร์บอนิลของเซลลูโลสให้เป็นหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิเมทิล ทำให้ได้อนุพันธ์เซลลูโลสที่สามารถละลายน้ำได้ เพิ่มแนวทางในการใช้ประโยชน์ ง่ายต่อการขึ้นรูปเป็นฟิล์มและพัฒนาสู่การใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย

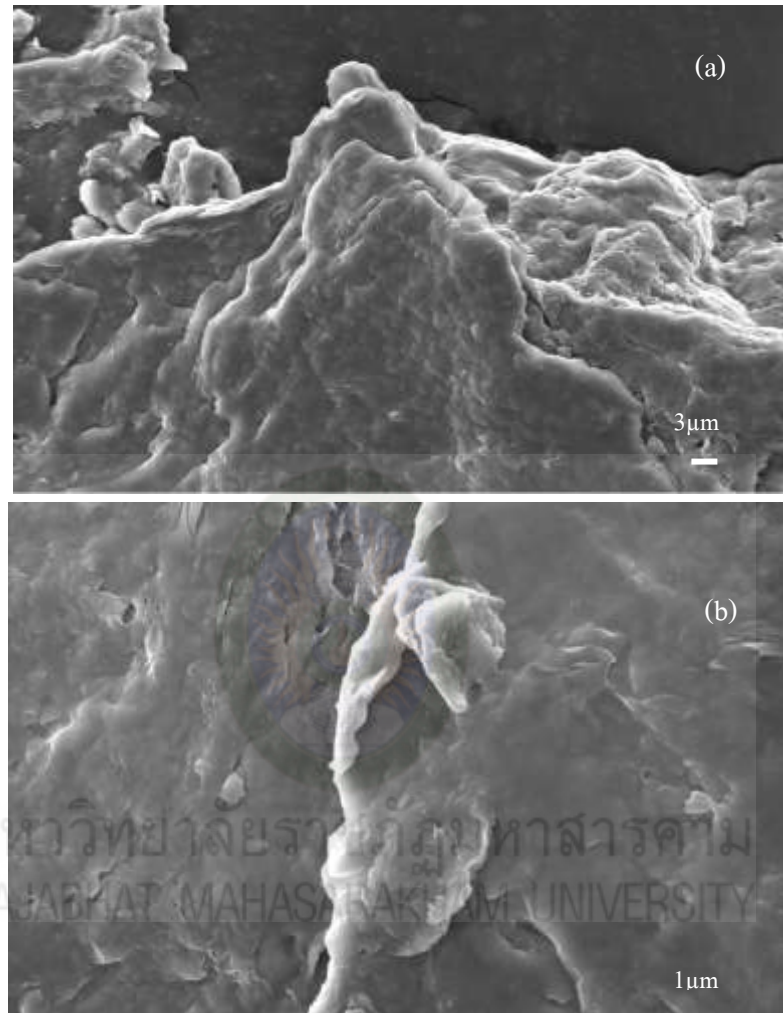


ภาพที่ 4.8 คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่สังเคราะห์จากเซลลูโลสรูปถุณีในดินเค็ม

จากการทดลอง พบว่าสามารถเตรียมคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส 6.0446 กรัม ที่สังเคราะห์จากเซลลูโลส 4.5012 กรัม มีร้อยละการได้กลับคืนเท่ากับ 74.43 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน คล้ายกับที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกทุเรียน (ศิริพร เต็งรัง และคณะ, 2558) และส่วนที่เหนียวจับกันเป็นก้อนดังภาพที่ 4.8 ร้อยละการได้กลับคืนมีค่าสูงขึ้นเกิดจากการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซิเมทิลบนสายเซลลูโลส เป็นผลให้น้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น (สุชัยพรรณ เข้มแก้ว และสุปราณี แก้วภิรมย์, 2559, น. 11-21)

4.2.4.2 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) ดังภาพที่ 4.7



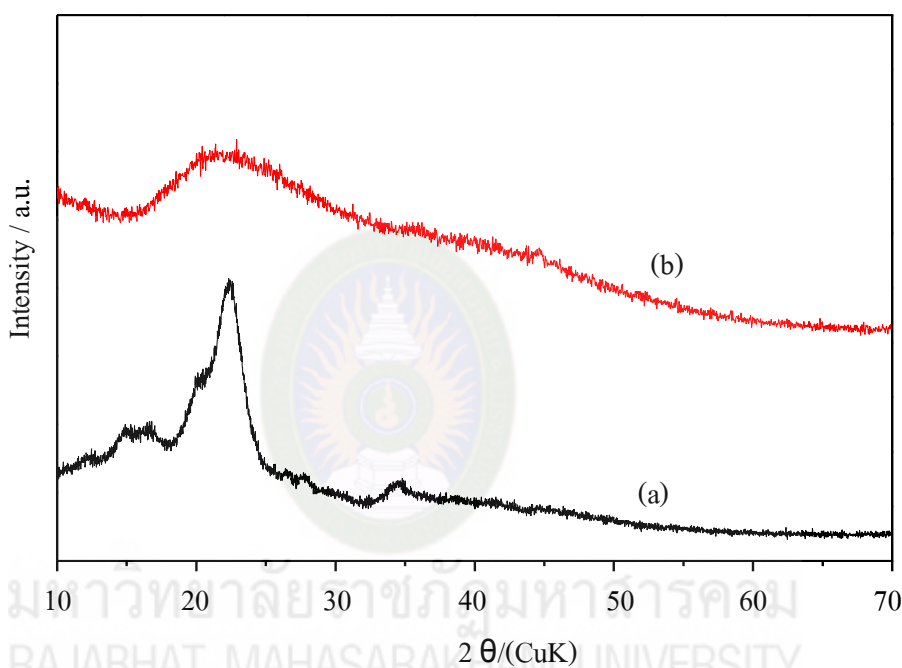
ภาพที่ 4.9 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็ม
(a) กำลังขยาย 3 นาโนเมตร (b) กำลังขยาย 1 นาโนเมตร

จากภาพที่ 4.9 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็มพบว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สกัดได้จับกันเป็นแผ่นหนา มีผิวขรุขระ ลักษณะเช่นนี้เกี่ยวข้องกับระดับการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิล ถ้าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีระดับการแทนที่ได้มาก ความสามารถในการละลายก็มากด้วยเช่นกัน สามารถดูดน้ำและเกิดการพองตัวอัตราการซึมผ่านไอน้ำสูง ซึ่งระดับการแทนที่จะได้มากที่สุดเป็น 3 หมู่ต่อแอนไฮโดรกลูโคส 1 หน่วย (wirngong

ทองดีสุนทร และภาณุพงษ์ ใจวุฒิ, 2559, สุจิตพรธรรม เข้มแก้ว, 2559) จากลักษณะคาร์บอกแสดงให้ เห็นว่าปฏิกิริยาการแทนที่สามารถเข้าถึงการแทนที่ของกลุ่มก่อนได้สมำเสมอ (วิรงรอง ทองดีสุนทร และภาณุพงษ์ ใจวุฒิ, 2559)

4.2.4.3 ศึกษาความเป็นผลึก

การวิเคราะห์ความเป็นผลึกของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยใช้เครื่อง X-ray Diffractometer: XRD ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ได้ผลดังรูปที่ 4.8



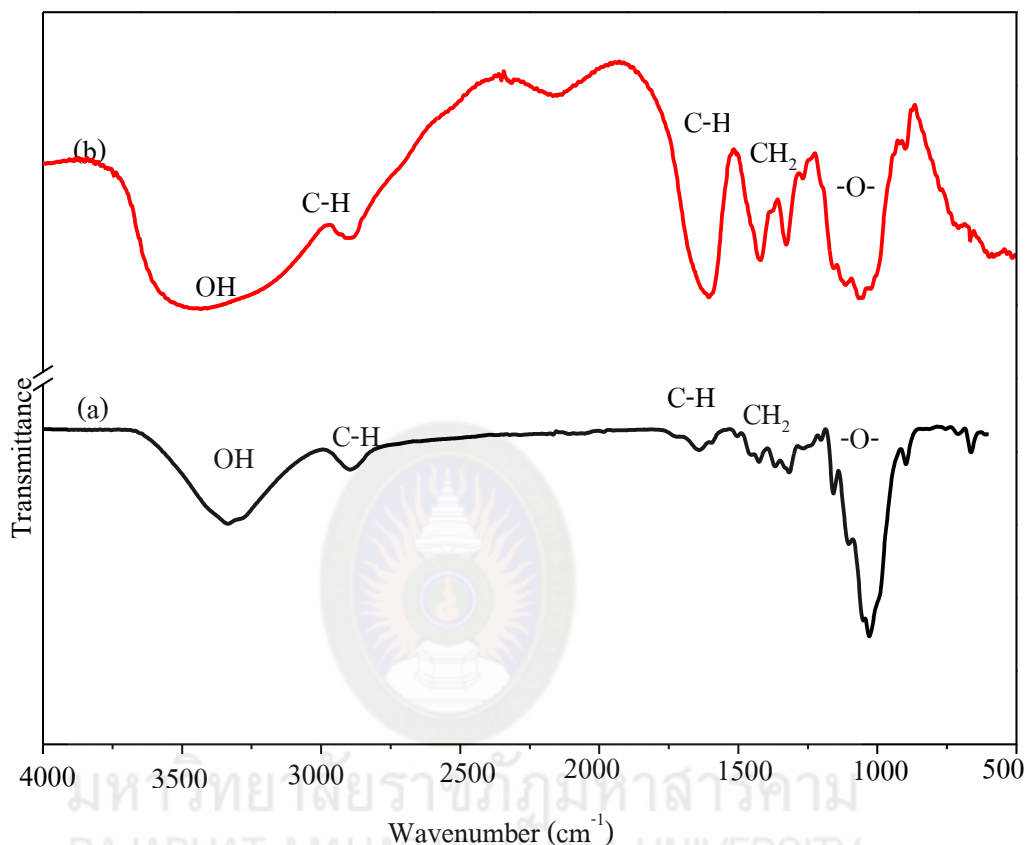
ภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบ XRD Patterns (a) ผลึกของเซลลูโลส (b) ผลึกของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

การวิเคราะห์ความเป็นผลึกของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สังเคราะห์จากเซลลูโลสของต้น กล้วยในดินเค็ม พบว่าเซลลูโลสที่สกัดได้ให้พิกของโครงสร้างผลึกที่ 2θ ประมาณ 22.6° ในระนาบ 200 จากภาพที่ 4.10 (b) เห็นถึงค่าความเข้มแสงที่ต่ำลง เมื่อเทียบกับภาพที่ 4.10 (a) ซึ่งเป็นผลึกของ เซลลูโลสแสดงให้เห็นว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีความเป็นผลึกต่ำ เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนใน โมเลกุลของเซลลูโลสถูกทำลายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยาคาร์บอกซีเมทิลเลชัน (สุจิตพรธรรม เข้มแก้ว และสุปราณี แก้วภิรมย์, 2559, Adinugraha et al., 2005, pp.164-169)

4.2.4.4 วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ที่สกัดจาก เซลลูโลสของกล้วยในดินเค็ม ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier

Transform Infrared Spectroscopy: FT-IR) การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดสเปกตรัมของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดจะอยู่ในช่วง $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ โดยการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.11 FT-IR Spectrum (a) โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส (MCC) (b) โครงสร้างทางเคมีของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC)

อินฟราเรดสเปกตรัมของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็มพบพีกของการสั่นแบบยืดของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH Stretching) ที่ตำแหน่ง 3456 cm^{-1} การสั่นแบบยืดของหมู่เมทิล (C-H Stretching) ที่ตำแหน่ง 2911 cm^{-1} การสั่นแบบยืดของหมู่คาร์บอกซิลิก (C=O Stretching) ที่ตำแหน่ง 1608 cm^{-1} การสั่นแบบยืด (-O-Stretching) ของหมู่อีเทอร์ ที่ตำแหน่ง $1300 - 1000 \text{ cm}^{-1}$ นอกจากนี้พบการสั่นแบบขยับเข้าหากันและแยกกันแบบกรรไกรของหมู่เมทิลีน (-CH₂ Scissoring) ที่พีกประมาณ 1411 cm^{-1} (สุจิตพรณ เข้มแก้ว, 2559, Rachtanapun, 2009, pp. 259-266) ดังภาพที่ 4.11 (b) และเมื่อเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของเซลลูโลสที่เป็นสารตั้งต้นพบว่าพีกการสั่นของหมู่คาร์บอกซิลิกมีการเลื่อนตำแหน่งมายังเลขคลื่นต่ำ ซึ่งอินฟราเรดสเปกตรัมของคาร์บอกซีเมทิล

เซลลูโลสที่ได้มีเส้นกราฟคล้ายกับอินฟราเรดสเปกตรัมของเซลลูโลสภาพที่ 4.11 (a) คือมีหมู่ฟังก์ชันหลักเหมือนกับเซลลูโลส ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล ไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนิล และอีเทอร์ แต่สูตรโครงสร้างทางเคมีของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างจากเซลลูโลส คือ หมู่คาร์บอกซีเมทิล ซึ่งประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันเมทิล (CH_3) และคาร์บอกซิล (COOH) ดังนั้นลักษณะพิกของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในช่วงตำแหน่งที่ $2900\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ และ 3600 cm^{-1} ที่แสดงถึงหมู่ไฮโดรคาร์บอน (C-H) คาร์บอนิล (C=O) และไฮดรอกซิล (OH) จึงมีพื้นที่ได้กราฟมากกว่าเซลลูโลสตรงจุดนี้แสดงให้เห็นว่าเซลลูโลสเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสแล้วจึงทำให้ปริมาณหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลเพิ่มขึ้น (พรชัย ราชตะนะพันธ์, 2550, น. 790-799, สุวิชา โสติดิสกุล, 2553, Bono et al., 2009, pp. 5-11) เป็นการยืนยันหมู่ฟังก์ชันจากเซลลูโลสเป็นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสได้สำเร็จ


4.2.4.5 การเพิ่มประสิทธิภาพแผ่นฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สังเคราะห์ได้นำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มโดยการเติมแป้งมัน แป้งข้าวโพด อัตราส่วนของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร (Meash) และแป้งแต่ละชนิดลงที่คืออย่างละ 1 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 33 มิลลิลิตร แล้วเติมกลีเซอรอลในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังตาราง 4.3

ตารางที่ 4.3

สัญลักษณ์ อัตราส่วนที่ต่าง ๆ ในการเพิ่มประสิทธิภาพของแผ่นฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

อัตราส่วนในการเพิ่มประสิทธิภาพฟิล์ม	สัญลักษณ์	ภาพฟิล์ม
CMC : แป้งมัน : น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 33 มิลลิลิตร	FT	
CMC: แป้งมัน : กลีเซอรอล: น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 1 มิลลิลิตร: 33 มิลลิลิตร	FTG 1	
CMC: แป้งมัน : กลีเซอรอล: น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 2 มิลลิลิตร: 33 มิลลิลิตร	FTG 2	

อัตราส่วนในการเพิ่มประสิทธิภาพฟิล์ม	สัญลักษณ์	ภาพฟิล์ม
CMC: แป้งมัน : กลีเซอรอล: น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 3 มิลลิลิตร: 33 มิลลิลิตร	FTG 3	

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

อัตราส่วนในการเพิ่มประสิทธิภาพฟิล์ม	สัญลักษณ์	ภาพฟิล์ม
CMC: แป้งข้าวโพด: น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม: 33 มิลลิลิตร	FC	
CMC: แป้งข้าวโพด: กลีเซอรอล: น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 1 มิลลิลิตร: 33 มิลลิลิตร	FCG 1	
CMC: แป้งข้าวโพด : กลีเซอรอล : น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 2 มิลลิลิตร : 33 มิลลิลิตร	FCG 2	
CMC: แป้งข้าวโพด: กลีเซอรอล: น้ำ 1 กรัม : 1 กรัม : 3 มิลลิลิตร : 33 มิลลิลิตร	FCG 3	



FT



FCG1

ภาพที่ 4.12 फिल्मที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเตรียมได้จาก (a) CMC กับแป้งมัน (FT) (b) CMC กับแป้งข้าวโพดเติมกลีเซอรอล 1 มิลลิลิตร (FCG1)

จากภาพที่ 4.12 เตรียมฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สังเคราะห์จากรูปถ่ายในดินเค็ม โดยละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในน้ำพร้อมกับให้ความร้อน เมื่อคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสละลายแล้วลดความร้อนเหลือ 50 องศาเซลเซียส เติมแป้งลงไปคนให้ละลาย แล้วเติมกลีเซอรอลปริมาณต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.3 พบว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสามารถละลายน้ำได้และเตรียมฟิล์มได้ดังภาพที่ 4.12 โดยการละลายของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเกี่ยวข้องกับค่าระดับการแทนที่ (Degree of Substitution: DS) ของหมู่คาร์บอกซีเมทิลในโครงสร้างของเซลลูโลส ถ้าค่าระดับการแทนที่ต่ำกว่า 0.3 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ได้จะพองตัวแต่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายในด่าง ถ้าสูงกว่า 0.4 ขึ้นไปจะสามารถละลายน้ำได้ (ณัฐชวดี จินาพันธ์ และคณะ, 2555, น. 616-620, สุจินต์ พราวพันธุ์, 2550) ดังนั้นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากรูปถ่ายที่สังเคราะห์ได้สามารถละลายน้ำได้ดี แสดงว่ามีค่าระดับการแทนที่มากกว่า 0.4 (โศรดา กนกพานนท์ และคณะ, 2560 อ้างถึงใน Heinze and Koschella, 2005, pp. 13-40) และทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็มอัตราส่วนต่าง ๆ ที่เตรียมขึ้น ขนาด 0.8 x 7.5 เซนติเมตร ที่ความหนาเฉลี่ย 0.2794 มิลลิเมตร โดยใช้ระยะห่างระหว่างตัวจับขึ้นทดสอบ 5 เซนติเมตร ทำการดึงด้วยความเร็ว 5 มิลลิเมตรต่อนาที จนกระทั่งฟิล์มขาดจากกัน ทำให้ทราบค่าความทนแรงดึง (Tensile Strength) ค่าร้อยละการยืดที่จุดขาด (% Elongation at Break)

ตารางที่ 4.4

ค่าแรงดึงและค่าร้อยละยืด แผ่นฟิล์มเซลลูโลส

ชนิดของฟิล์ม	ค่าความทนแรงดึงเฉลี่ย Tensile Strength (N/m ²)	ร้อยละการยืดของแผ่นฟิล์มเฉลี่ย ที่จุดขาด (เปอร์เซ็นต์ Elongation at Break)
FT	15.541	28.446
FTG1	3.068	4.108
FTG2	3.007	1.800

FTG3	2.735	0.866
FC	39.440	10.986
FCG1	0.459	12.127
FCG2	0.358	8.591
FCG3	0.342	1.588

ลักษณะของฟิล์มที่เตรียมได้มีผิวเรียบ โดยฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแป้งมัน (FT) มีลักษณะเรียบ เมื่อสัมผัสผิวของฟิล์มจะนิ่ม มีค่าความทนแรงดึงเฉลี่ย 15.541 N/m^2 และร้อยละการยืดที่จุดขาด 28.446 เปอร์เซ็นต์ หลังเติมกลีเซอรอลผิวของฟิล์มราบเรียบ โดยมีค่าความทนแรงดึงและร้อยละการยืดที่จุดขาดลดลง เมื่อเติมกลีเซอรอลเพิ่มขึ้นดังตาราง 4.4 และฟิล์ม FTG1 FTG 2 และ FTG 3 มีร้อยละการยืดลดลง แสดงว่าการเติมแป้งมันช่วยเพิ่มความสามารถทนแรงดึงได้ แต่การเติมปริมาณกลีเซอรอลที่อัตราส่วนต่าง ๆ ไม่สามารถเพิ่มร้อยละการยืดได้ ดังนั้นการเตรียมฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแป้งมัน (FT) จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม

การเพิ่มประสิทธิภาพฟิล์มด้วยแป้งมันพบว่าฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแป้งข้าวโพด (FC) ฟิล์มมีลักษณะเรียบ โปร่งแสง ขาดง่าย เมื่อสัมผัสผิวของแผ่นฟิล์มเนื้อด้าน มีค่าความทนแรงดึงเฉลี่ย 39.441 N/m^2 และร้อยละการยืดที่จุดขาด 10.986 เปอร์เซ็นต์ หลังเติมกลีเซอรอลฟิล์มมีลักษณะราบเรียบ เมื่อกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น มีร้อยละการยืดสูงขึ้น แต่ FCG 2 และ FCG 3 ร้อยละการยืดลดลง แสดงว่าการเติมแป้งข้าวโพดช่วยเพิ่มความสามารถทนแรงดึงได้ และกลีเซอรอลที่อัตราส่วนต่าง ๆ จะเพิ่มเปอร์เซ็นต์ยืดได้ แต่ที่อัตราส่วนมากกว่า 1:1 จะไม่สามารถเพิ่มความทนแรงดึงและเปอร์เซ็นต์ยืดได้ ดังนั้นการเตรียมฟิล์ม โดยเติมแป้งข้าวโพดและกลีเซอรอลที่ FCG 1 จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม

แสดงให้เห็นว่าจากการเตรียมฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยใช้แป้งมันและแป้งข้าวโพดเป็นส่วนผสมสามารถช่วยเพิ่มความสามารถทนแรงดึง การเติมกลีเซอรอลสามารถเพิ่มร้อยละการยืดที่จุดขาดได้เฉพาะแป้งข้าวโพด

บทที่ 5

สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ

รายงานวิจัยนี้ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรูปถ่ายในดินเค็มและการเตรียมฟิล์มจากเซลลูโลสที่สกัดได้ จากการศึกษาสรุปได้ดังนี้

5.1 องค์ประกอบทางเคมี

จากการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเซลลูโลสจากต้นรูปถ่าย พบว่ามีปริมาณความชื้น เถ้าสารแทรก (เอทานอล : เบนซีน) ดิกนิน โซโลเซลลูโลส และแอลฟาเซลลูโลส 2.90 8.50 11.9 11.41 52.52 และ 163.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

5.2 การสกัดเซลลูโลสจากต้นรูปถ่าย

เซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็มที่สกัดได้มีคุณสมบัติเป็นเซลลูโลส ยืนยันคุณลักษณะได้จาก

5.2.1 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส

ศึกษาคุณลักษณะทางเคมีของเซลลูโลสที่สกัดได้จากต้นรูปถ่ายแสดง FTIR Spectra ปรากฏพีกที่ระบุได้ว่ามีหมู่ฟังก์ชันของหมู่ไฮดรอกซิล (OH Stretching) ที่ตำแหน่ง 3329 cm^{-1} และ 3328 cm^{-1} การสั่นแบบยืดของพันธะ (C-H stretching) พีกที่ตำแหน่ง 2893 cm^{-1} แสดงถึงองค์ประกอบของวงแหวนอะโรมาติก (C-O-C Stretching) การสั่นแบบ Stretching ที่ตำแหน่ง $1060\text{--}1170\text{ cm}^{-1}$ เป็นหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของเซลลูโลส และยังเป็นโมเลกุลของเซลลูโลส I และมีเซลลูโลส II อยู่ในโครงสร้างนี้ด้วย ซึ่งโครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลสที่เตรียมได้เป็นทางเลือกในการนำไปใช้ทางชีวภาพและงานด้านชีวการแพทย์อื่น ๆ

5.2.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของเซลลูโลส

จากการศึกษาความเป็นผลึกของเซลลูโลสที่สกัดได้จากต้นรูปถ่าย XRD Patterns ของผลึกเซลลูโลสที่สกัดได้ ให้พีกของโครงสร้างผลึกที่ 2 θ ประมาณ 15.83° , 16.49° , 22.6° และ 34.5° ในระนาบ 110, 110 200 และ 004 เป็นลักษณะเฉพาะของผลึกเซลลูโลสแบบ Cellulose I คือ

เซลลูโลสที่มีโครงสร้างแบบขนาน ขณะเดียวกันยังพบฟีกที่ตำแหน่ง 2θ 12.8° ซึ่งเป็นเซลลูโลสแบบ Cellulose II คือมีโครงสร้างแบบปิดเกลียว

5.2.3 การศึกษาทางสัณฐานวิทยา

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่าเซลลูโลสที่ได้มีรูปร่างทรงกลม มีความยาวเท่ากับ 47.5 ไมโครเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 7.82 ไมโครเมตร เซลลูโลสที่สกัดได้อยู่ในระดับไมโครเซลลูโลส

5.3 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสโดยใช้ $ZnCl_2$ และ [BMIM]Cl

ฟิล์มเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็มที่ละลายด้วย $ZnCl_2$ 68 เปอร์เซ็นต์ จะได้ฟิล์มเป็นสีน้ำตาล มีผิวเรียบ เมื่อดึงจะขาดง่าย ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าพันธะของไฮโดรเจนในโครงสร้างของเซลลูโลสจะถูกทำลายด้วยไอออนของ Zn^{2+} ทำให้เซลลูโลสละลายได้ ในขณะเดียวกันเมื่อเซลลูโลสละลายแล้วเติม $CaCl_2$ ลงไป จะทำให้สารละลายที่ได้มีลักษณะเป็นเจล ส่วนฟิล์มเซลลูโลสที่ละลายด้วย [BMIM]Cl ได้ฟิล์มที่ใสลักษณะผิวขรุขระ เมื่อดึงแล้วจะขาดยากกว่าฟิล์มที่ละลายด้วย $ZnCl_2$ เนื่องจาก [BMIM]Cl มีความหนืดสูงซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการปรับเปลี่ยนเซลลูโลส จึงทำให้ไม่สามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนเซลลูโลสได้หมด ฟิล์มที่เตรียมได้ผิวจึงไม่เรียบ การละลายเซลลูโลสด้วย [BMIM]Cl แล้วขึ้นรูปเป็นฟิล์มเป็นทางเลือกในการนำไปใช้งานทางด้านคอสเมติกได้

5.4 การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส คลอโรอะซิติกสามารถเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสให้กลายเป็นหมู่เมทิลและหมู่คาร์บอกซีเมทิล คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากรูปถ่ายในดินเค็มที่สังเคราะห์ได้มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ ยืนยันได้จาก

5.4.1 โครงสร้างทางเคมีของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

จากการศึกษาคุณลักษณะ โครงสร้างทางเคมีของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเซลลูโลสของต้นรูปถ่ายในดินเค็ม ที่สังเคราะห์ได้ พบว่า หมู่ฟังก์ชันที่ตำแหน่งพบว่าฟีกการสั้นของหมู่คาร์บอกซิลิกมีการเลื่อนตำแหน่งมายังเลขคลื่นต่ำ คือมีหมู่ฟังก์ชันหลักเหมือนกับเซลลูโลส แต่มีหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างจากเซลลูโลส คือ หมู่คาร์บอกซีเมทิล ซึ่งประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันเมทิล (CH_3) และ

คาร์บอกซิล (COOH) ดังนั้นลักษณะพีกของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในช่วงตำแหน่งที่ 2900-1700 cm^{-1} และ 3600 cm^{-1} ที่แสดงถึงหมู่ไฮโดรคาร์บอน (C-H) คาร์บอนิล (C=O) และไฮดรอกซิล (OH) จึงมีพื้นที่ใต้กราฟมากกว่าเซลลูโลส ตรงจุดนี้แสดงให้เห็นว่าเซลลูโลสเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสแล้วจึงทำให้ปริมาณหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลเพิ่มขึ้น

5.4.2 ความเป็นผลึกของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่สังเคราะห์ให้พีกของโครงสร้างผลึกที่ 2 θ ประมาณ 22.6° ในระนาบ 200 แสดงให้เห็นถึงค่าความเข้มแสงที่ต่ำลง เมื่อเทียบกับความเป็นผลึกของเซลลูโลส

5.4.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลสจากธูปฤาษีในดินเค็ม พบว่าคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลสที่สกัดได้จับกันเป็นแผ่นหนา มีผิวขรุขระเป็นร่องเล็ก ๆ ซิดกันเป็นกลุ่มก้อนซึ่งต่างจากเซลลูโลส ที่มีลักษณะทรงกลม ผิวเรียบ ลักษณะเช่นนั้นแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการแทนที่สามารถเข้าถึงการแทนที่ของกลุ่มได้สม่ำเสมอ

5.4.3 การเพิ่มประสิทธิภาพแผ่นฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

จากสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส พบว่า การใช้ การเตรียมฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแป้งมัน (FT) จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม ส่วนแป้งข้าวโพด และเติมกลีเซอรอลอย่างละ 1 มิลลิลิตร เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมฟิล์มในครั้งนี้ ทำให้เสริมความแข็งแรงยืดระยะเวลาในการละลายน้ำของแผ่นฟิล์ม แผ่นฟิล์มมีความสามารถในการละลายลดลง และการเติมกลีเซอรอลเพื่อให้แผ่นฟิล์มมีความยืดหยุ่น ทนต่อแรงดึง ไม่ให้แผ่นฟิล์มมีความเปราะและฉีกขาดง่าย ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสร่วมกับแป้งข้าวโพดและกลีเซอรอลที่มีประสิทธิภาพ ที่อัตราส่วนเดียวกัน คือ 1:1:1

5.5 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยในครั้งนี้มีข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

5.5.1 เซลลูโลสที่สกัดได้จากพืชแต่ละชนิดให้ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ส่วนที่นำมาใช้งาน พื้นที่ที่ปลูก

5.5.2 ขั้นตอนการสกัดเซลลูโลสมีหลายวิธีควรเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมกับตัวอย่างที่นำมาสกัด เพื่อให้ได้เซลลูโลสมีความบริสุทธิ์มากขึ้น

5.5.3 การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ควรใช้เซลลูโลสที่มีขนาดเล็กจะทำให้ละลายได้หมด และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

5.5.4 การเพิ่มประสิทธิภาพของแผ่นฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส จำเป็นต้องใช้สารเติมแต่งที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อเสริมความแข็งแรงของแผ่นฟิล์ม ยืดระยะเวลาการละลายเมื่อแผ่นฟิล์มสัมผัสกับน้ำ

5.5.5 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแผ่นฟิล์ม โดยการใช้สารเติมแต่งตัวอื่นแทนกลีเซอรอล เพื่อให้แผ่นฟิล์มที่ได้มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



บรรณานุกรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

- กฤษณเวช ทรงชนศักดิ์ และวิทวัส จิรัฐพงศ์. (2554). การศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจากของเหลือทิ้งจากพืชเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกชีวภาพ. ใน *การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21* (1-4). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- กลุ่มนักวิจัยวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม. (2557). *การใช้ประโยชน์จากต้นถั่วฝักยาว*. สืบค้นจาก <http://articlescool.org/tag>
- กิตติศักดิ์ แคล้วจันทร์สุข. (2561). *การประเมินคุณภาพยาสมุนไพร*. สืบค้นจาก http://www.teacher.ssru.ac.th/kittisak_ja/pluginfile.php/98/block_html/content/2
- กุลนิภา ชนรุ่งรังสี และคณะ. (2557). ศึกษาการสกัดเส้นใยอาหารจากเปลือกข้าว. *วารสารวิทย์เกษตร*, 45(2), 1-4.
- เกรียงศักดิ์ ศรีวิจิตรกมล. (2543). *การเตรียมและศึกษาสมบัติบางประการของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส* (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เกียรติพงษ์ สงพรหม. (2554). *การผลิตไบโอเอทานอลจากลำต้นปาล์มน้ำมันที่ผ่านพรีทรีตเมนต์โดยวิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จันทร์รัตน์ เลิศมนรัตน์ และคณะ. (2539). *การใช้เซลลูโลสที่สกัดได้จากกากอ้อยในผลิตภัณฑ์เค้กช็อกโกแลตเคลือบน้ำตาล* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จารุวรรณ อัมพฤกษ์. (2555). *การวิเคราะห์เส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยสังเคราะห์ในงานทางนิติวิทยาศาสตร์ โดย Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)* (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- จิตติ หนูแก้ว. (2556). *ต้นรูปถั่วฝักยาวกำจัดคราบไขมัน*. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร.
- จิรัชญา ปรีดาสกุล. (2557). *การศึกษาสมบัติเชิงความร้อน เชิงกล และทางกายภาพของวัสดุเสริมองค์ประกอบพอลิแลกติกแอซิดเสริมแรงด้วยเส้นใยรูปถั่วฝักยาว* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร.

- จุฑามาส เรื่องยศจันทนา และรัชฎา บุญเต็ม. (2560). การสกัดเซลลูโลสและการทำกระดาษจากเปลือกกล้วย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 4(3), 50-59.
- จุฑารัตน์ พงษ์โนรี. (2547). การสกัดเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย. สืบค้นจาก:
<http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files>.
- ฉวีวรรณ ลีลาธนาพิพัฒน์. (2552). การศึกษาการระเบิดเยื่อด้วยไอน้ำของชานอ้อย (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ชมพูนุท เวชชานุกุลม และคณะ. (2559). ผลของแอลกอฮอล์และสารก่อฟิล์มร่วมต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของตำรับมาร์กหน้า. *วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน*, 11, 25-32.
- ชูชาติ สุขมาก. (2560, 28 ตุลาคม). สรรพคุณรูปถ่าย. *ข่าวเกษตรน่ารู้*. สืบค้นจาก
http://region4.prd.go.th/ewt_news.php?nid=86145
- ฐานข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานภาครัฐด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561).
http://stdb.most.go.th/research_detail.aspx?ResearchId=79403
- จิตา พู่เผ่า และคณะ (2557). ผลของวิธีการสกัดต่อคุณสมบัติของสารสกัดเซลลูโลสจากกากเมล็ดมะรุม (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.
- ณัฐฐิธวดี จินาพันธ์และคณะ. (2555). คุณสมบัติของฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเชื้อฟางข้าว. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 43(3), 616-620.
- ศุภฤดี สุริยพรรณพงศ์, ศุภิมน ตันวิเชียร, จิตติมา มานะกิจ และดวงรัตน์ ชูวิสิฐกุล. (2553). การสกัดและประเมินคุณลักษณะของเซลลูโลสจากชานอ้อย ผักตบชวา และรูปถ่าย (วิทยานิพนธ์ปริญญาเภสัชศาสตรมหาบัณฑิต). นครปฐม: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ทีมข่าวเศรษฐกิจ (2556, 3 สิงหาคม). สดล. ค้นพบ ดอกของต้นรูปถ่ายเก็บน้ำมันได้ดี. *กรุงเทพธุรกิจ*. สืบค้นจาก <http://www.bangkokbiznews.com/news/detail/521173>
- นพพล เกตุประสาท. (2557). รูปถ่าย. *ศูนย์ปฏิบัติการพืชวิจัยสืบค้นจากและเรือนปลูกพืชทดลอง* สืบค้นจาก <http://clgc.agri.kps.ku.ac.th/index.php/linkweed/88-typha>.
- นันท์รัตน์ พงษ์พิทักษ์ และคณะ. (2558). การผลิตเซลลูโลสจากน้ำคั้นยอดปาล์มน้ำมันโคนทิ้งเพื่อการปลูกใหม่โดยเชื้อ *Acetobacter xylinum TISTR 086* (รายงานผลการวิจัยวิจัย). สงขลา: มหาวิทยาลัยทักษิณ.

- นิตยา จอมทรัพย์, ศัญญาพร สุดแสนฉุน และอรณี แคนอรุณ. (2558). *การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกเส้นใยจากต้นรูปถ่ายที่เกิดในดินเค็มสำหรับวัตถุดิบทางสิ่งทอ* (รายงานผลการวิจัย). มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- นิตยา แซ่ซิ้ม. (2542). *การศึกษาความผันแปรความเค็มและแร่ธาตุต่างๆ ของดินในพื้นที่แปลง P-2 บริเวณอ่างเก็บน้ำหนองบ่อ* (รายงานผลการวิจัย). มหาสารคาม: สถาบันราชภัฏมหาสารคาม.
- นิตยา รัตนปพนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2552). *Carboxy methyl cellulose cmc*. สืบค้นจาก: <http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/1439/CMC>
- บัญญัติ เฉลิม. (2556). *การผลิตไบโอเอทานอลจากต้นปาล์มน้ำมัน* (รายงานผลการวิจัย). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ประณีต ร้อยบาง, อติชาติ สุรินทร์คำ และวุฒิกันต์ สุขเสริม. (2556). *โครงการพัฒนาพื้นที่ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ระยะที่ 2: ขยายผล) จังหวัดอุดรธานี* (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพมหานคร: สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี.
- ประเทือง พุดซ้อน. (2548). *เคมีของไม้*. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปราณี รัตนวลิตโรจน์, ศรีไฉล ชุนทน และโสภณ เริงสำราญ. (2542). *การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากชานอ้อย*. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37* (127-132). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปิยพร พษ์พรม. (2558). *การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์สมุนไพรไทย*. *วารสารองค์การเภสัชกรรม*, 22(4), 1-7.
- ปิยะนุช เป็ยคง. (2557). *การศึกษาการผลิตไซโลสจากทะเลลายปาล์มเปล่า* (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พรชัย ราชตะนะพันธุ์ และคณะ. (2550). *การผลิตฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอและคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์ม*. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์ สาขาอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 45* (790-799). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรชัย ราชตะนะพันธุ์ และคณะ. (2011). *การสังเคราะห์และการตรวจลักษณะของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน*. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 49* (98-106). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- พัชรภรณ์ พิมพ์จันทร์. (2558). การเพิ่มการติดสีและความคงทนของสีย้อมธรรมชาติสำหรับเส้นใยจากกก. *วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาร*, 37(2), 55-64.
- พิชัย วิชัยดิษฐ์. (2540). การอ่านและการใช้แผนที่ดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. เอกสารคู่มือเจ้าหน้าที่ของรัฐเรื่องดิน กลุ่มปรับปรุงดินเค็ม, กองอนุรักษ์ดินและน้ำ, กรมพัฒนาที่ดิน.
- เพ็ญศรี อติวรรณพัฒน์ และคณะ. (2551). การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไม้ *Acacia crassicaarpa*. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46*. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มยุรา ประรณานิเปลี่ยน. (2547). Biobased food packaging. *วารสารสถาบันอาหาร*, 6(34), 11-15.
- มิ่งขวัญ วงษ์ชาญศิริ. (2557). การศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการผลิตจากต้นรูปถั่วเขียวเพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ในที่พักอาศัย (วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- รัชพล พะวงศรีรัตน์. (2558). กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส. *วารสารสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 2, 143-157.
- ราชกิจจานุเบกษา. (2552). *มาตรฐานอุตสาหกรรมกระดาษถ่ายเอกสาร* มอก.1054-2552.
- ริกาญจน์ ฉัตรสกุลวิไล. (มปป.). *ลิกนิน-แทนนิน*. กรมโรงงานอุตสาหกรรม ค้นเมื่อจาก <http://www2.diw.go.th/research>
- รุ่งทิพย์ ลุยเลา. (2560). *เส้นใยไผ่ (Bamboo fibres)*. สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. สืบค้นจาก <http://www.thaitextile.org/index.php/blog/2016/08/59plant13>
- ลดารัตน์ เลี่ยมปรีชา, ภาสกร จุฑาทกฤษฏา และชนิษฐา คำวิไลศักดิ์. (2557). การศึกษาคุณลักษณะของลิกนินที่เตรียมได้จากน้ำยางดำ. ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ครั้งที่ 1* (21-26). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วรรณมน คิธิตา และสาธิต ไชยบุญเรือง. (2550). ผลของฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอ/แป้งข้าวโพดต่อคุณสมบัติทางกล และค่าการซึมผ่านของไอน้ำ. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วัชรพงษ์ เตวียะ. (2556). *การเตรียมแผ่นฟิล์มต้านเชื้อจุลินทรีย์ของพอลิเอทิลีนแลคติกแอซิด/เซลลูโลสสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี.
- วาสนา พิทักษ์พล และคณะ (2559). ผลสารเคลือบผิวคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวาต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวขององุ่น. *วารสารแก่นเกษตร* 44, 880-886.

- วิทยา ปั่นสุวรรณ. (2541). การวิเคราะห์หอนกประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้สำหรับอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36* (น. 1-6). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิรงรอง ทองดีสุนทร และ ภาณุพงษ์ ใจวุฒิ. (2559). การเตรียมและวิเคราะห์สมบัติของคาร์บอนซีเมธิลเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อสับปะรด (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- วิโรจน์ แก้วเรือง และศศิพิมพ์ ลิ้มมณี. (2554). บัว เส้นใยจากสายน้ำ ศูนย์นวัตกรรมสิ่งทอสีเขียว. สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. เข้าถึงได้จาก <http://www.thaitextile.org/index.php/blog/2014/10/fgfgfg>
- วิลาส รัตนานุกูล. (2554). พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic). สืบค้นจาก <http://biology.ipst.ac.th/?p=927>
- เวสารัช สุนทรชัยบูรณ์ และรัชพล พะวงศ์รัตน์. (2556). การใช้ประโยชน์วัสดุพุงจากขยะธรรมชาติสำหรับการ ตรีงเซลล์และประยุกต์ใช้ในการผลิตเอทานอล. *Veridian E-Journal, SU, 6*, 795-807.
- ศิริพร เต็งรัง และคณะ (2558). *วิจัยและพัฒนาบรรจุภัณฑ์* (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพมหานคร: กรมวิชาการเกษตร.
- สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. (2561). เส้นใยพืช (Plant fibres). เข้าถึงได้จาก <http://www.thaitextile.org/index.php/blog/2016/05/eco.plant1>
- สมชาย วงศ์ศิริศักดิ์, วิชชุดา อินคำ และสิรินภา กองมณี. (2559). การพัฒนากระดาษจากเปลือกไมยราบยักษ์ (รายงานผลการวิจัยวิจัย). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. *สารานุกรมพืช, “รูปถ่าย”*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: web3.dnp.go.th.
- สำเร็จ ช่างประเสริฐ และคณะ. (2556). พัฒนาเทคโนโลยีการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเงาะผลสด (รายงานผลการวิจัย). จันทบุรี: ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี.
- สิริมา ชินสาร และกฤษณะ ชินสาร. (2557). การสกัดและใช้ประโยชน์เส้นใยอาหารและเซลลูโลสจากกากมะพร้าวเพื่อ สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและการสร้างตัวแบบเพื่อการ พยากรณ์การถ่ายเทมวลสารระหว่างการทอด (รายงานผลการวิจัย). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.

- สุชัยพรรณ เข้มแก้ว. (2559). *ผลของกลีเซอรอล และเพค-10 ไคเมธิโคนต่อสมบัติของฟิล์มชีวภาพจากเปลือกทุเรียน พันธุ์หอมทอง* (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.
- สุจินต์ พราวพันธุ์. (2550). *การใช้สาร CMC ในงานเซรามิก*. วศ. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. กรุงเทพมหานคร: กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
- สุนิสา เสถียรนรเศรษฐ์. (2549). *การสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากผักตบชวาและใยมะพร้าว* (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.
- ศุภมล นิลรัตน์นิศากร และไพฑิพย์ ชีรเวชญาณ. (2551). *การบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมโดยต้นทุปถาญี* (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุมิตร คุณเจตน์. (2557). *อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยบูรพา*. (4 เมษายน 2557). สัมภาษณ์.
- สุมิตรา ภูมิสะอาด. (2523). *การแยกเซลลูโลสจากพืชบางชนิดและการสังเคราะห์อนุพันธ์ของเซลลูโลส* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุวศรี เตชะภาส. (2557). *มาตรฐาน TAPPI Test Methods กั้นเถอะ*. กรุงเทพมหานคร: สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ. สืบค้นจาก <http://www.dss.go.th/images/st-article/sti-5-2557-TAPPI.pdf>
- สุวิชา โสทธิสกุล. (2553). *การศึกษาการเตรียมฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากเศษเปลือกข้าวโพด* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- โสธรรญา สัมเขียวหวาน. (2557). *ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระดาษอย่างง่ายจากเปลือกกล้วยสดและจากผลผลิตเหลือทิ้งหลังการหมักเอทานอล* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เหรียญทอง สิงห์จามุสงค์ และคณะ. (2553). *การสกัดและการใช้ประโยชน์ทางอาหารของใยอาหารและเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย*. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.). สืบค้นจาก <http://rir.nrct.go.th/rir/>.
- อุษารัตน์ รัตนกานวน. (2557). *การเตรียมเซลลูโลสตัดแปรที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรภายใต้พลังงานไมโครเวฟ* (รายงานผลการวิจัย). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

- Adinugraha, Mario P., Marseno, Djagal W. and Hayadi. (2005). Synthesis and characterization of sodium carboxymethyl cellulose from Cavendish banana pseudo stem (*Musa cavendishii* LAMBERT). *Journal of Carbohydrate Polymers*, 62, 164-169.
- Ahmed A., Oun and Jong W., Rhim (2015). Effect of post-treatments and concentration of cotton lintercellulose nanocrystals on the properties of agar-based nanocomposite films. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 134, 20-29.
- Ang, J.F. (1991). Water retention capacity and viscosity effect of powdered cellulose. *Journal of Food Science*, 56, 1682-1684.
- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis. *The Association of Official Analytical Chemists*. Washington D.C., 298.
- Bastawde, K.B. (1992). Xylan structure, microbial xylanases and their mode of action. *World J. of Microbiol and Biotechnol*, 8, 355-368.
- Biswal, D.R. and Singh, R.P., (2004). Characterisation of carboxymethyl cellulose polyacrylamide graft copolymer. *Journal of Carbohydrate Polymers* 57(4), 379-387.
- Bono Awang, Sarbatly Rosalam, Krishnaiah Duduku and Muei, C.L and Yan, Farm Yan and Ying,
P.H Ying and Farm Yan, Yan, (2009). Synthesis and Characterization of Carboxymethyl Cellulose from Palm Kernel Cake. *Journal of Advances in Natural and Applied Science*, 3, 5-11. Retrieved from <http://www.aensiweb.com/old/anas/2009/5-11.pdf>
- Browning, B.L.. (1963). Chlorite holocellulose. *Handbook of wood chemistry and Wood Composite*. New York: Interscience Publishers.
- Céline Amandine, Fréour Sylvain, Jacquemin Frédéric and Fréour Sylvain. (2014). Qualitative and quantitative assessment of water sorption in natural fibres using ATR-FTIR spectroscopy. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 101, 163-170.
- Collier Billie J., and Helen H., Epps. (1998). *Textile Testing and Analysis*. N.P.
- Dongfang Li, Olena Sevastyanova and Monica Ek. (2012). Pretreatment of softwood dissolving pulp with ionic liquids. *Journal of Holzforschung*, 66, 935-943.
- Eero Sjostrom. (1981). *Wood chemistry fundamentals and applications*. London:

Academicpress Inc.,

- Espino, E., Cakir, M., Domemek, S., Román-Gutiérrez, A. D., Belgacem, N., and Bras, J.. (2014). Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from industrial by products of Agave tequilana and barley. *Journal of Industrial Crops and Products*, 62, 552–559.
- Fatma Kallel, Bettaieb Fedia, Ramzi Khiari, Araceli García, Julien Bras and Semia Ellouz Chaabouni. (2016). Isolation and structural characterization of cellulose nanocrystals extracted from garlic straw residues. *Journal of Industrial Crops and Products*, 87, 287–296.
- Heinze Thomas and Koschella Andreas. (2005). Carboxymethyl Ethers of Cellulose and Starch – A Review. *International Conference on Advanced Materials*, 223, 13-40.
- Hua Zhao, Cecil L. Jones, Gary A. Baker, Shuqian Xia, Olarongbe Olubajo and Vernecia N. Person. (2009). Regenerating cellulose from ionic liquids for an accelerated enzymatic hydrolysis. *Journal of Biotechnology*, 139(1), 47-54.
- Jun Cao, Gang Xiao, Xiao Xu, Dekui Shen and Baosheng Jin, . (2013). Study on carbonization of lignin by TG-FTIR and high-temperature carbonization reactor. *Journal of Fuel Processing Technology*, 106, 41-47.
- Kentaro Abe, Shinichiro Iwamoto and Hiroyuki Yano. (2007). Obtaining cellulose nano fibers with a uniform width of 15 nm from wood. *Biomacromolecules*, 8, 3276-3278.
- Larissa A.S., Costa, Ananda F. Fonsêca, Fabiano V. Pereira and Janice I. Druzian. (2015). Extraction and characterization of nanocrystals from corn stover. *Cellulose Chemistry Technology* 49(2), 287-294.
- Lu Ping and Hsieh You-Lo. (2012). Cellulose isolation and core-shell nanostructures of cellulose nanocrystals from chardonnay grape skins. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 87, 2546–2553.
- Maiti Sonakshi, Jayaramudu J., Das Kunal, Reddy Siva Mohan, Sadiku Rotimi, Ray Suprakas Sinha and Liu Dagang. (2013). Preparation and characterization of nano-cellulose with new shape from different precursor. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 98, 562-567.
- Petteri Piltonen, Nils C. Hildebrandt. (2016). Green and efficient method for preparing all-cellulose composites with NaOH/urea solvent. *Composites Science and Technology* 135, 153-158.

- Phinichka Natthapong and Kaenthog Sirinun. (2018). Regenerated cellulose from high alpha cellulose pulp of steam-exploded sugarcane bagasse. *Journal of Materials Research and Technology*, 7, 55-65.
- Qin Xu, Chen Chen, Katelyn Rossworn, Tianming Yao and Srinivas Jannaswamy. (2016). A facile route to prepare cellulose-based films. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 149, 274-281.
- Rachtanapun Pornchai. (2009). Blended Films of Carboxymethyl Cellulose from Papaya Peel (CMCp) and Corn Starch. *Kasetsart Journal : Natural Science*, 43(5), 259-266.
- Roger, M. Rowell. (2005). *Handbook of wood chemistry and wood composites*. America: CRC press.
- Shankar Shiv, Rhim JongWhan. (2016). Preparation of nanocellulose from micro-crystalline cellulose: The effect on the performance and properties of agar-based composite films. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 135, 18–26.
- Singh, R., Singh, A., (2013). Optimization of Reaction Conditions for Preparing Carboxymethyl Cellulose from Corn Cob Agricultural Waste. *Waste and Biomass Valorization* 4(1), 129-137.
- Sixta, H. (2006). *Handbook of pulp*. Germany: Wiley-VCH.
- Sung Won, Ko, Juan Paolo E., Soriano, Afeesh Raian, Unnithan, Chan Hee, Park, Lee, Ji Yeon, Cheol Sang, Kim. (2018). Development of bioactive cellulose nanocrystals derived from dominant cellulose polymorphs I and II from *Capsosiphon Fulvescens* for biomedical applications. *Journal of International Journal of Biological Macromolecules*, 110, 531-539.
- TAPPI T203om-88. Alpha, Beta and Gamma cellulose in pulp
- TAPPI T204om-88. Solvent extractive of wood and pulp
- TAPPI T211om-85. Ash in wood and pulp
- TAPPI T222om-88. Acid-insoluble lignin in wood and pulp
- TAPPI T264om-85. Preparation of wood for chemical analysis
- Thomas Heinze and Andreas Koschella. (2005). Carboxymethyl ethers of cellulose and starch- A review. *Macromolecular Symposia* 223, 13-40.

- Yue Yiyi, Han Jingquan, Han Guangping, Zhang Quanguo, Alfred D. French and Wu Qinglin Wu. (2015). Characterization of cellulose I/II hybrid fibers isolation from energycane bagasse during the delignification process: Morphology, crystallinity and percentage estimation. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 133, 438-447.
- Yuguo Yuan, Jingyun Wang, Nihong Fu and Shuliang Zang. (2016). Hydrolysis of cellulose in 1-allyl-3-methylimidazolium chloride catalyzed by methyltrioxorhenium. *Journal of Catalysis Communications*, 76, 46-49.
- Xiaoxiang Wen, Huihui Wang, Yi Wei, Xiaoying Wang and Chuanfu Liu. (2017). Preparation and characterization of cellulose laurate ester by catalyzed transesterification. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 168, 247-254.



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาคผนวก ก

ข้อมูลค่าแรงดึงและร้อยระการยึดแผ่นฟิล์มเซลลูลอสทั้งหมด

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ก.1 ค่าความทนแรงดึง

Sample	ข้อมูลฟิล์ม CMC				ค่าเฉลี่ย
	Code	Tensile Strength (Nm ²)			
		1	2	3	
CMC+ แป้งข้าวโพด	FC	39.401	39.5	39.42	39.440
CMC + แป้งข้าวโพด+ กลีเซอรอล 1 ml	FCG1	0.511	0.471	0.396	0.459
CMC + แป้งข้าวโพด+ กลีเซอรอล 2 ml	FCG2	0.375	0.351	0.348	0.358
CMC + แป้งข้าวโพด+ กลีเซอรอล 3 ml	FCG3	0.333	0.341	0.352	0.342
CMC + แป้งมัน	FT	15.4956	16.0273	15.0998	15.541
CMC + แป้งมัน+ กลีเซอรอล 1 ml	FTG1	3.2442	3.198	2.761	3.068
น้ำ+รูป + แป้งมัน+กลีเซอรอล 2 ml	FTG2	2.930	2.5703	3.5203	3.007
น้ำ+รูป + แป้งมัน+ กลีเซอรอล 3 ml	FTG3	2.3957	3.3036	2.5048	2.735

ตารางที่ ก.2 ค่าระยะการยืดที่จุดขาด

Sample	ข้อมูลฟิล์ม CMC				ค่าเฉลี่ย
	Code	Elongation (%)			
		1	2	3	
CMC+ แป้งข้าวโพด	FC	11.107	10.97	10.882	10.986
CMC + แป้งข้าวโพด+ กลีเซอรอล 1 ml	FCG1	12.126	12.17	12.085	12.127
CMC + แป้งข้าวโพด+ กลีเซอรอล 2 ml	FCG2	8.586	8.63	8.558	8.591
CMC + แป้งข้าวโพด+ กลีเซอรอล 3 ml	FCG3	1.577	1.583	1.604	1.588
CMC + แป้งมัน	FT	28.4725	28.4408	28.4234	28.446
CMC + แป้งมัน+ กลีเซอรอล 1 ml	FTG1	4.107	4.11	4.108	4.108
CMC + แป้งมัน+ กลีเซอรอล 2 ml	FTG2	1.771	1.82	1.81	1.800
CMC + แป้งมัน+ กลีเซอรอล 3 ml	FTG3	0.868	0.902	0.828	0.866



ภาคผนวก ข

เอกสารมาตรฐาน TAPPI Test Methods

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เอกสารมาตรฐาน TAPPI Test Methods

ในการพัฒนาอุตสาหกรรมกระดาษจำเป็นต้องมีแหล่งข้อมูลสำหรับเป็นแหล่งอ้างอิงและใช้ศึกษาค้นคว้าเพื่อเพิ่มพูนความรู้ด้านนี้ และเอกสารมาตรฐานของ TAPPI ถือได้ว่าเป็นแหล่งข้อมูลที่สำคัญแหล่งหนึ่งของผู้ประกอบการที่อยู่ในอุตสาหกรรมกระดาษ TAPPI ย่อมาจาก Technical Association of Pulp and Paper Industry เป็นหน่วยงานระหว่างประเทศที่กำหนดมาตรฐานและมีผลงานที่มีชื่อเสียงมาอย่างยาวนานเกือบ 100 ปี เป็นที่ยอมรับกันทั่วโลกด้านอุตสาหกรรมกระดาษ เยื่อกระดาษ บรรจุภัณฑ์ รวมถึงอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกัน TAPPI Test Methods เป็นเอกสารมาตรฐานของ TAPPI ที่ระบุขั้นตอนการทดสอบ (Testing procedures) วิธีปฏิบัติ (Practices) ข้อกำหนด (Specifications) คำแนะนำ (Guidelines) และนิยามศัพท์ (Glossaries) ที่ใช้ในการวัด การประเมิน การบอกคุณลักษณะสำหรับผลิตภัณฑ์กระดาษ เยื่อกระดาษ ภาชนะบรรจุ หมึกพิมพ์ ฯลฯ ตลอดจนวัสดุดิบ/เคมีภัณฑ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ซึ่งพัฒนาและทบทวนโดยคณะทำงานวิชาการที่เรียกว่า Standard-Specific Interest Groups (SSIGs) และผ่านการรับรองสุดท้ายโดยคณะที่ปรึกษาทบทวนมาตรฐาน หรือ Standard Advisory Review Groups (SARG) เมื่อออกเป็นมาตรฐานแล้วจะมีการทบทวนทุก 5 ปี หรือทุก 10 ปี แล้วแต่กลุ่มเอกสาร ส่วนประกอบต่าง ๆ ของหมายเลขในเอกสาร TAPPI Test Methods มีความหมายดังนี้

1. ตัวอักษร T (ตัวที่ใหญ่) หมายถึงเอกสาร TAPPI Test Methods
2. ตัวเลข หมายถึงกลุ่มหัวข้อตามการจัดของ TAPPI Test Methods

1-200	เรื่อง	Fibrous Materials and Pulp Testing
400-500	เรื่อง	Paper and Paperboard Testing
600-700	เรื่อง	Nonfibrous Materials Testing
800	เรื่อง	Container Testing
1000	เรื่อง	Structural Materials Testing
1200	เรื่อง	Testing Practices
1500	เรื่อง	Specifications, Glossaries, and Guidelines
3. อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็ก 2 ตัว หมายถึงกลุ่มเอกสารดังนี้

om = Official Method หมายถึงวิธีทดสอบมาตรฐาน

pm = Provisional Method หมายถึงวิธีชั่วคราวซึ่งเป็นวิธีทดสอบที่เหมือนวิธีมาตรฐานเพียงแต่ยังไม่มีการนำไปใช้อย่างกว้างขวาง โดยจะมีสถานะอยู่ในกลุ่มนี้ไม่เกิน 5 ปี ในระหว่าง 5 ปี นั้นจะต้องทบทวนเพื่อยกระดับให้เป็นวิธีมาตรฐาน เช่น om, sp หรือยกเลิกไป

sp = Standard Practice หมายถึงวิธีปฏิบัติมาตรฐานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ

cm = Classical Method หมายถึงวิธีทดสอบแบบดั้งเดิม ส่วนใหญ่จะเคยเป็นเอกสารกลุ่ม om แต่ปัจจุบันไม่ได้ใช้กันทั่วไปเนื่องจากมีเทคโนโลยีขั้นสูงมาใช้แทนแล้ว แต่วิธีทดสอบเหล่านี้ยังถูกอ้างอิงในงานวิชาการต่าง ๆ

wd = Withdrawn Method หมายถึง วิธีที่ยกเลิกแล้ว โดยจะไม่มี การนำหมายเลขที่ยกเลิกมาใช้ใหม่ เว้นแต่จะมีการนำกลับมาใช้ใหม่

ตัวอักษรที่ใช้เฉพาะกลุ่มหัวเรื่องหมายเลข 1500

ss = Standard Specification หมายถึง ข้อกำหนด

gl = Standard Glossary หมายถึง นิยามศัพท์

sg = Standard Guideline หมายถึง คำแนะนำ

4. ตัวเลข 2 ตัว หมายถึง ปี ค.ศ. ที่ประกาศใช้ โดยจะแสดง 2 หลักสุดท้ายของปี ค.ศ. การเขียนหมายเลขในเอกสาร TAPPI Test Methods จะเริ่มด้วยตัวอักษรที่ใหญ่ ตามด้วยช่องว่าง 1 ช่อง ตัวเลข ช่องว่าง 1 ช่อง ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็ก 2 ตัว เครื่องหมายยัติภังค์ (Hyphen) และตัวเลข 2 ตัว ดังภาพที่ 2 ตัวอย่าง TAPPI Test Methods หมายเลข T 222 om-11 ซึ่งหมายถึงวิธีทดสอบมาตรฐานตามเอกสาร TAPPI Test Methods ที่เกี่ยวกับการทดสอบวัสดุที่เป็นเส้นใยและเยื่อกระดาษประกาศใช้ในปี ค.ศ. 2011 (สุวศรี เตชะภาส, 2557)



ภาคผนวก ค

สูตรการคำนวณ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

1. สูตรการคำนวณหาปริมาณสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลาย

$$\text{ปริมาณสารแทรก (\%)} = \frac{(W_c - W_b) \times 100}{W_p}$$

เมื่อ W_c คือน้ำหนักแห้งของสารที่ถูกสกัด (กรัม)

W_b คือน้ำหนักแห้งของ Blank (กรัม)

W_p คือน้ำหนักแห้งของตัวอย่างรูปถ่ายที่ใช้ทดลอง (กรัม)

2. สูตรการคำนวณปริมาณของลิกนิน

$$\text{ปริมาณลิกนิน (\%)} = \frac{(W_3 - W_2) \times 100}{W_1}$$

เมื่อ W_1 คือน้ำหนักตัวอย่างที่เตรียมหาปริมาณลิกนิน (กรัม)

W_2 คือน้ำหนัก Sinter Glass Crucible เปล่า (กรัม)

W_3 คือน้ำหนัก Sinter Glass Crucible + ตัวอย่างที่ผ่านอบจนน้ำหนักคงที่ (กรัม)

3. สูตรการคำนวณปริมาณไฮโดรเซลลูโลส

$$\text{ปริมาณไฮโดรเซลลูโลส (\%)} = \frac{(W_3 - W_2) \times 100}{W_1}$$

เมื่อ W_1 คือน้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

W_2 คือน้ำหนัก Sinter Glass Crucible เปล่า (กรัม)

W_3 คือน้ำหนัก Sinter Glass Crucible + ตัวอย่างที่ผ่านอบจนน้ำหนักคงที่ (กรัม)

4. สูตรการคำนวณปริมาณแอลฟาเซลลูโลส

$$\text{ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (\%)} = \frac{(W_3 - W_2) \times 100}{W_1}$$

เมื่อ W_1 คือตัวอย่างที่ผ่านอบจนน้ำหนักคงที่ จากการหา Holocellulose (กรัม)

W_2 คือน้ำหนัก Sinter Glass Crucible เปล่า (กรัม)

W_3 คือน้ำหนัก Sinter Glass Crucible + ตัวอย่างที่ผ่านอบจนน้ำหนักคงที่ (กรัม)

5. การคำนวณหาผลผลิตร้อยละ (% yield)

$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = \frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100$$

เมื่อ

ผลผลิตจริง คือ ผลិតภัณฑ์ที่ได้จากการทดลอง

ผลผลิตตามทฤษฎี คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคำนวณตามสมการเคมี เกิดจากปฏิกิริยาที่

สมบูรณ์ ผลผลิตร้อยละจะได้ไม่ถึงร้อยเปอร์เซ็นต์เนื่องจากทำการทดลองจะเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง อาจจะทำให้เกิดสารชนิดอื่น ๆ ได้นอกจากนี้สารตั้งต้นอาจจะมีสารชนิดอื่นปนอยู่ด้วย



ภาคผนวก ง

ภาพเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ ง.1 เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี



ภาพที่ ง.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



ภาพที่ ง.3 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer, XRD)



ภาพที่ ง.4 เครื่องทดสอบค่าการทนแรงดึง (Tensile Strength)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ สกุล	นางสาวอรุณรัตน์ อุทัยคุณ
วัน เกิด	29 มีนาคม 2524
ที่อยู่ปัจจุบัน	45 หมู่ที่ 5 ตำบล หนองปลิง อำเภอ เมือง จังหวัด มหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44000
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2546	หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
พ.ศ. 2561	หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ผลงานวิจัย

A-roonrat Uthaiku and Patcharaporn Pimchan. (2016). Preparation of Micro-crystalline cellulose from. *Congress on Science and Technology of Thailand*, 42.

A-roonrat Uthaiku, Pornpimol Ponkham and Patcharaporn Pimchan. (2017). Flim Cellulose from Cattail (*Typha Angustifolia* L.) In Saline Soil. *International Conference on Sciences and Social Sciences*,7, 667-677.



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY