

การเตรียมฟิล์มเซลล์โพลีโอสที่มีรูพรุนระดับนาโนเมตรจากเศษฝ้ายเหลือทิ้ง



นางสาวสุจินต์ บัวทอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF NANOPOROUS CELLULOSE FILM FROM WASTE COTTON

Miss Sujinan Buathong



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Petrochemistry and Polymer Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมฟิล์มเซลล์โอสที่มีรูพรุนระดับนาโนเมตรจาก เศษฝ้ายเหลือทิ้ง
โดย	นางสาวสุจินันท์ บัวทอง
สาขาวิชา	ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกุลกิจ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกุลกิจ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร)

สุจินันท์ บัวทอง : การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสที่มีรูพรุนระดับนาโนเมตรจากเศษฝ้ายเหลือทิ้ง (PREPARATION OF NANOPOROUS CELLULOSE FILM FROM WASTE COTTON) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.กาวิ ศรีภูกลกิจ, 99 หน้า.

ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนระดับนาโนเมตรถูกเตรียมโดยใช้วัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน แล้วทำการตัดแปรพื้นผิวให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำด้วยน้ำมันมะพร้าว โดยเริ่มจากนำเศษฝ้ายเหลือทิ้งที่ผ่านการย่อยสลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกไปละลายในตัวทำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมยูเรีย จากนั้นนำสารละลายเซลลูโลสที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส มาขึ้นรูปในแม่พิมพ์ อะคริลิกและทิ้งไว้ให้ละลายที่อุณหภูมิห้องจะได้เซลลูโลสเจล แล้วทำการแลกเปลี่ยนตัวทำละลายด้วย น้ำหลายรอบได้เป็นฟิล์มเซลลูโลสเจล จากนั้นนำฟิล์มเซลลูโลสเจลที่ได้มาปรับสภาพด้วยสารละลาย กลีเซอรอลเพื่อป้องกันฟิล์มเปราะ สุดท้ายนำฟิล์มเซลลูโลสที่ปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลมาทำวัฏจักร แช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันหลายรอบ ก็จะได้ฟิล์มเซลลูโลสที่มีรูพรุนระดับนาโนเมตรแล้วทำการ ตัดแปรพื้นผิวด้วยน้ำมันมะพร้าว โครงสร้างรูพรุนระดับนาโนเมตรสามารถตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำตรวจสอบโดยใช้เทคนิคเอทีอาร์ฟูเรียร์-ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี แสดงให้เห็นฟังก์ชันที่ 1744 cm^{-1} ผลการทดลองพบว่า สามารถเตรียมฟิล์มเซลลูโลสที่มีรูพรุนระดับนาโนเมตรโดยใช้วัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันได้ สำเร็จ พบว่าเสถียรภาพทางรูปร่างของฟิล์ม (การหดตัว) ขนาดรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนระดับนาโนเมตรและการดูดซับคลอโรฟอร์มอินทรีย์ ขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายเซลลูโลส ความเข้มข้นของกลีเซอรอล และจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน จากผลการศึกษาพบว่า การดูดซับคลอโรฟอร์มอินทรีย์ที่เหมาะสมที่สุดสามารถพบในฟิล์มเซลลูโลสที่เตรียมจากสารละลายเซลลูโลสที่มีความเข้มข้นร้อยละ 7 ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอลร้อยละ 30 และทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันจำนวน 5 รอบ

สาขาวิชา ปีโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5772183023 : MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEYWORDS: CELLULOSE FILM / NANOPOROUS / CHOLESTEROL / FREEZE/THAW CYCLES

SUJINAN BUATHONG: PREPARATION OF NANOPOROUS CELLULOSE FILM FROM WASTE COTTON. ADVISOR: ASSOC. PROF. KAWEE SRIKULKIT, Ph.D., 99 pp.

Nanoporous cellulose films was prepared using multiple freeze/thaw cycles method and subsequent surface hydrophobicity modification by coconut oil. Firstly, HCl depolymerized cotton fiber waste was dissolved in NaOH/urea mixture solvent. Then, subzero-temperature cellulose solution was cast onto acrylic mold and thawed to room temperature to obtain cellulose gel. Solvent exchange with water was repeatedly carried out to obtain cellulose gel film. The resultant cellulose gel film was treated with a concentration of glycerol to prevent the film brittleness. Finally, glycerol treated cellulose film was subject to multiple freeze/thaw cycles to obtain nanoporous cellulose film and then the modification was carried out by coconut oil. Nanoporous structure was identified by SEM and surface hydrophobicity were determined using ATR-FTIR spectroscopy which revealed the strong fatty ester peak at 1744 cm^{-1} . In summary, cellulose films having the nanoporous structure was successfully prepared using multiple freeze/thaw cycles method. It was found that dimension stability (shrinkage), pore sizes of nanoporous cellulose films and cholesterol adsorption were dependent on concentrations of cellulose solution, concentrations of glycerol and a number of freeze/thaw cycles. The results indicated that the optimal adsorption was found with the nanoporous cellulose film prepared from 7 wt% cellulose solution, 30 wt% glycerol solution, and 5 freeze/thaw cycles.

Field of Study: Petrochemistry and
Polymer Science

Student's Signature

Advisor's Signature

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและคำแนะนำทางวิชาการ ตลอดจนความเอื้อเฟื้อในด้านเครื่องมือ วัสดุดิบ และสถานที่ในการทำงานวิจัย จากท่านผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน ผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณคณาจารย์ บุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องดังรายนามต่อไปนี้

1. รองศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ในการทำวิจัยอย่างดียิ่งตลอดการทำงานวิจัยนี้ และแนะแนวทางในการดำเนินงาน รวมถึงการแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดข้อผิดพลาด ในการทำวิจัยได้อย่างถูกต้อง รวมถึงการแนะนำแนวทางในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

2. รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช ที่สละเวลามาเป็นประธานกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์

3. รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์

4. รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์

5. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุน และเอื้อเฟื้อเพื่อดำเนินวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือทดสอบต่างๆ รวมไปถึงสถานที่ในการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดาและเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือต่างๆ ในระหว่างการทำงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วย ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 วารสารปริทรรศน์.....	4
2.1 เซลลูโลส (Cellulose).....	4
2.1.1 สมบัติของเซลลูโลส	6
2.2 ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส (Microcrystalline cellulose).....	8
2.2.1 การเตรียมไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส	9
2.3 ฝ้าย (Cotton)	11
2.3.1 โครงสร้างของเส้นใยฝ้าย	12
2.3.2 ลักษณะทางกายภาพ.....	12
2.3.3 สมบัติทางกายภาพ.....	15
2.3.4 สมบัติทางเคมี	17
2.4 แอโรเจล (Aerogel).....	18
2.4.1 สมบัติของแอโรเจล	20

2.4.2 ประเภทของแอโรเจล.....	20
2.5 เซลลูโลสแอโรเจล (Cellulose aerogel).....	23
2.5.1 การเตรียมเซลลูโลสแอโรเจล.....	24
2.6 วัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน (Freeze/Thaw Cycles).....	26
2.7 กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)	26
2.7.1 กลไกของกระบวนการดูดซับ.....	27
2.7.2 ประเภทของการดูดซับ.....	27
2.7.3 ขั้นตอนที่เกิดขึ้นในการดูดซับ.....	28
2.7.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	29
2.7.5 แรงของการดูดซับ (adsorption force).....	30
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	35
3.1 ขอบเขตของงานวิจัย.....	35
3.2 วัสดุและสารเคมี	36
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	37
3.4 การทดลอง.....	38
3.4.1 การเตรียมไมโครคริสตัลไลน์เซลลูโลสจากเศษฝ้ายเหลือทิ้ง.....	38
3.4.2 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน.....	39
3.4.3 การตัดแปรพื้นผิวฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำด้วยน้ำมันมะพร้าว.....	41
3.5 การทดสอบสมบัติของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่เตรียมได้	42
3.5.1 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM.....	42
3.5.2 การตรวจสอบค่าการหดตัวของชิ้นงาน.....	43
3.5.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน.....	43

3.5.4 การดูดซับคลอเรสเตอร์อลของฟิล์มเซลลูโลสรูปพรุน	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	45
4.1 กลไกการเกิดรูปพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูปพรุน	45
4.2 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสรูปพรุน	46
4.3 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยา.....	47
4.3.1 ผลของความเข้มข้นของเซลลูโลส	47
4.3.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายกลีเซอรอล	48
4.3.3 ผลของจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน	49
4.4 อิทธิพลที่มีผลต่อขนาดรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูปพรุน	51
4.4.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเซลลูโลส	51
4.4.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายกลีเซอรอล	51
4.4.3 ผลของจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน	52
4.5 อิทธิพลที่มีผลต่อการหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูปพรุน	53
4.5.1 ผลของจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน	53
4.5.2 ผลของการปรับสภาพด้วยกลีเซอรอล	54
4.5.3 ผลของความเข้มข้นของเซลลูโลส	54
4.6 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของฟิล์มเซลลูโลสรูปพรุน.....	55
4.7 การศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์มเซลลูโลสรูปพรุนต่อการดูดซับคลอเรสเตอร์อล	56
4.7.1 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายคลอเรสเตอร์อล.....	56
4.7.2 ผลของพื้นที่ผิวของฟิล์มเซลลูโลสรูปพรุน	57
4.7.3 อิทธิพลของเวลาที่มีผลต่อการดูดซับคลอเรสเตอร์อล	59
4.7.4 อิทธิพลของจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันที่มีผลต่อการดูดซับ คลอเรสเตอร์อล	61

4.7.5 อิทธิพลของสารละลายกลีเซอรอลที่มีผลต่อการดูดซับคลอเรสเตรอล	63
4.7.6 อิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของคลอเรสเตรอลที่มีต่อการดูดซับคลอเรสเตรอล.....	66
4.7.7 อิทธิพลของความเข้มข้นของเซลลูโลสที่มีผลต่อการดูดซับคลอเรสเตรอล	67
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	68
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	68
5.2 ข้อเสนอแนะ	70
รายการอ้างอิง	71
ภาคผนวก ก. ขนาดรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน	76
ภาคผนวก ข. ปริมาณการดูดซับของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน.....	83
ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์ด้วย FT-IR.....	85
ภาคผนวก ง. ความสามารถในการดูดซับและร้อยละการดูดซับคลอเรสเตรอลของ ฟิล์ม เซลลูโลสรูพรุน	86
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	99

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยฝ้าย	14
ตารางที่ 2.2	สมบัติทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย	17
ตารางที่ 2.3	ตารางเปรียบเทียบการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี	28
ตารางที่ 3.1	วัสดุและสารเคมี	36
ตารางที่ 3.2	เครื่องมือที่นำมาใช้ในการทดลอง	37
ตารางที่ 4.1	อิทธิพลของปริมาณความเข้มข้นของเซลลูโลสที่มีผลต่อขนาดรูพรุนของ ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน	51
ตารางที่ 4.2	อิทธิพลของปริมาณความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่มีผลต่อขนาดรูพรุนของ ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน	52
ตารางที่ 4.3	อิทธิพลของจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันที่มีผลต่อขนาด รูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน	52
ตารางที่ 4.4	อิทธิพลของจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันที่ส่งผลต่อปริมาณ การหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน	53
ตารางที่ 4.5	อิทธิพลของปริมาณความเข้มข้นของกลีเซอรอลต่อปริมาณการหดตัวของ ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน	54
ตารางที่ 4.6	อิทธิพลของปริมาณความเข้มข้นของเซลลูโลสต่อปริมาณการหดตัวของ ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน	55

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1	โครงสร้างของเซลลูโลส	4
รูปที่ 2.2	โมเลกุลของเซลลูโลสที่มีพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในโมเลกุลและระหว่างสายโซ่โมเลกุล	5
รูปที่ 2.3	การเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างผลึกของเซลลูโลสในรูปแบบต่างๆ	6
รูปที่ 2.4	การเตรียมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส	9
รูปที่ 2.5	การแตกหักสายโซ่เซลลูโลสบริเวณที่เป็นข้อสันฐาน	10
รูปที่ 2.6	ฝ้าย	12
รูปที่ 2.7	โครงสร้างเส้นใยฝ้าย	12
รูปที่ 2.8	ลักษณะเส้นใยฝ้าย	15
รูปที่ 2.9	ลักษณะภาคตัดขวางของเส้นใยฝ้าย	15
รูปที่ 2.10	แอโรเจล	18
รูปที่ 2.11	อัตราการเจริญเติบโตของแอโรเจล	19
รูปที่ 2.12	ซิลิกาแอโรเจล (silica aerogel)	21
รูปที่ 2.13	คาร์บอนแอโรเจล (carbon aerogel)	22
รูปที่ 2.14	เซลลูโลสแอโรเจล (cellulose aerogel)	23
รูปที่ 2.15	ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ	29
รูปที่ 3.1	ขั้นตอนการเตรียมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส	38
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน	40
รูปที่ 3.3	ขั้นตอนการตัดแปรพื้นผิวฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน	41
รูปที่ 3.4	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM 6400	42
รูปที่ 3.5	เครื่อง FT-IR รุ่น Nicolet 6700	43
รูปที่ 3.6	เครื่อง Ultraviolet-Visible spectroscopy รุ่น SPECORD S 100	44
รูปที่ 4.1	กลไกการเกิดรูพรุนภายในฟิล์มเซลลูโลส	45

รูปที่ 4.2	ฟิล์มเซลล์โลสรูพรุน (ก) ฟิล์มเซลล์โลสรูพรุนที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอล และ (ข) ฟิล์มเซลล์โลสที่ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร.....	46
รูปที่ 4.3	ฟิล์มเซลล์โลสรูพรุน.....	46
รูปที่ 4.4	ภาพ SEM ของฟิล์มเซลล์โลสรูพรุนที่เตรียมจากสารละลายเซลล์โลสความเข้มข้นร้อยละ 5 (ก), 6 (ข) และ 7 (ค) โดยน้ำหนัก.....	47
รูปที่ 4.5	ภาพ SEM ของฟิล์มเซลล์โลสรูพรุนที่ปรับสภาพในสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 0 (ก), 10 (ข), 20 (ค) และ 30 (ง) โดยปริมาตร	48
รูปที่ 4.6	ภาพ SEM ของฟิล์มเซลล์โลสรูพรุนที่มีจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน 0 (ก), 1 (ข), 2 (ค), 3 (ง), 4 (จ) และ 5 (ฉ) รอบ.....	50
รูปที่ 4.7	FT-IR สเปกตรัมของ (ก) ฟิล์มเซลล์โลสรูพรุน และ (ข) ฟิล์มเซลล์โลสรูพรุนดัดแปร.....	55
รูปที่ 4.8	กราฟมาตรฐานของสารละลายคลอเรสเตอรอล	57
รูปที่ 4.9	ความสามารถในการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลล์โลสรูพรุนก่อนการดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าว	58
รูปที่ 4.10	ความสามารถในการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลล์โลสรูพรุนหลังการดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าว	59
รูปที่ 4.11	ร้อยละการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลล์โลสรูพรุนดัดแปรที่เวลาในการดูดซับต่างๆ	60
รูปที่ 4.12	ร้อยละการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลล์โลสรูพรุนดัดแปรที่รอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันต่างๆ ที่ความเข้มข้นของสารละลายคลอเรสเตอรอล 30 (ก), 20 (ข) และ 10 (ค) ppm.....	62
รูปที่ 4.13	ร้อยละการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลล์โลสรูพรุนดัดแปรที่ปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นแตกต่างกันที่จำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันจำนวน 0 (ก), 1 (ข), 2 (ค), 3 (ง), 4 (จ) และ 5(ฉ) รอบ	65
รูปที่ 4.14	ร้อยละการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลล์โลสรูพรุนดัดแปรที่ความเข้มข้นของคลอเรสเตอรอลเริ่มต้นที่แตกต่างกัน	66

รูปที่ 4.15 ร้อยละการดูดซับคลอเรเตอร์อลของฟิล์มเซลลูโลสพรุณดัดแปรที่ความเข้มข้นของ เซลลูโลสที่ต่างกัน.....	67
---	----



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วัสดุรูพรุนระดับนาโนเมตร เป็นวัสดุที่มีลักษณะและสมบัติพิเศษที่ไม่พบในวัสดุรูพรุนระดับไมโครเมตร ตัวอย่างของวัสดุรูพรุนในระดับนาโนเมตร คือ ซีโอไลต์ (zeolite) มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) รวมทั้งเซลลูโลสจากแบคทีเรีย (bacterial cellulose) และเซลลูโลสแอโรเจล (cellulose aerogel) เป็นต้น เนื่องจากเซลลูโลสเป็นวัสดุพื้นฐานที่พบในพืชทุกชนิด สามารถพบในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยทั่วไปและเป็นวัสดุที่มีราคาถูก อย่างไรก็ตาม วัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ถูกนำมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้เกิดขึ้น จนไม่สามารถเรียกได้ว่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งแล้ว เซลลูโลสจัดเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่สามารถดัดแปรโครงสร้างได้หลากหลาย ทั้งดัดแปรโครงสร้างทางเคมี เช่น เซลลูโลสแอซีเตต (cellulose acetate) ไนโตรเซลลูโลส (nitrocellulose) และ เซลลูโลสเมทิลคาร์บอกซิเลต (cellulose methyl carboxylate) หรือดัดแปรโครงสร้างทางกายภาพ เช่น เส้นใยเรยอน (rayon) เส้นใยไลโอเซล (lyocel) กระดาษแก้วหรือฟิล์มเซลโลเฟน (cellophane) ไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส (microcrystalline cellulose) และเซลลูโลสเจล (cellulose gel) และอื่นๆอีกมากมาย เซลลูโลสแอโรเจลจัดเป็นเซลลูโลสที่มีความเป็นรูพรุนสูง และมีขนาดของรูพรุนตั้งแต่ระดับนาโนเมตรถึงระดับไมโครเมตรทำให้เซลลูโลสแอโรเจลมีศักยภาพสูงในการนำไปประยุกต์ใช้ด้านการแพทย์ (วัสดุควบคุมการปลดปล่อยยา, drug control release) ตัวนำส่งยาประเภทละลายน้ำต่ำ เช่น ยารักษามะเร็ง ด้วยสมบัติความเป็นรูพรุนที่มีขนาดระดับนาโนเมตร ทำให้ยาประเภทนี้จะละลายออกจากรูพรุนได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับรูปร่างอื่นที่ไม่มีรูพรุน เซลลูโลสแอโรเจลยังมีสมบัติพิเศษที่สามารถกักเก็บของเหลวได้สูงจึงเหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุดูดซับ บรรจุภัณฑ์รักษาความสดของผักและผลไม้ หรือแม้แต่ถูกใช้เป็นวัสดุพองสำหรับคะตะลิสต์ และทางด้านสิ่งแวดล้อม (วัสดุดูดซับประสิทธิภาพสูง) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับดูดซับโลหะหนักในอุตสาหกรรมชุบเคลือบโลหะ และดูดซับสารกำจัดศัตรูพืช (pesticide) รวมทั้งสารพิษจากเชื้อรา (toxin เช่น aflatoxin) ที่พบในอาหารสัตว์และผลิตภัณฑ์นม (dairy products)

แอโรเจล เป็นวัสดุของแข็งที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนสูง น้ำหนักเบา อากาศไหลผ่านได้ แอโรเจลเตรียมจากไฮโดรเจลโดยวิธีการดึงน้ำออกจากเจลโดยยังคงรักษาโครงสร้างของร่างแหไว้ให้เหมือนเดิม ทำให้มีลักษณะเป็นของแข็งที่มีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง และนำความร้อนได้ต่ำ จึงถูกนำไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น เป็นฉนวนความร้อน ตัวดักจับอนุภาค

วัสดุค้ำกรองอนุภาค และวัสดุรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst support) แอโรเจลสามารถเตรียมได้ทั้งจากสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ในช่วงที่ผ่านมากการเตรียมแอโรเจลจากเซลลูโลสค่อนข้างจะได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำไปใช้งานทางด้านตัวดูดซับ (adsorbent) วัสดุฉนวนความร้อน และเสียง และทางด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (tissue engineering)

เนื่องจากเซลลูโลสเป็นไบโอพอลิเมอร์ (biopolymer) ที่มีอยู่มากมายหลายชนิด มีอยู่ทั้งในไม้ ฝ้าย พางข้าว และพืชชนิดอื่น อีกทั้งเซลลูโลสยังมีสมบัติที่น่าสนใจ คือ สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ปลูกทดแทนได้ มีราคาถูก มีความแข็งแรงสูง มีความหนาแน่นต่ำ และมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพสูง แต่โดยปกติแล้วเซลลูโลสค่อนข้างที่จะละลายในน้ำหรือในตัวทำละลายทั่วไปได้ยาก เนื่องจากมีความยาวของสายโซ่โมเลกุลสูงและมีความเป็นผลึกสูง มีพันธะไฮโดรเจนแบบร่างแหทั้งภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุลที่มีความแข็งแรงมาก แต่ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการค้นพบตัวทำละลายที่สามารถละลายเซลลูโลสได้ เช่น ลิเทียมคลอไรด์/ไดเมทิลแอกเซตาไมด์, นอร์แมล-เมทิลมอร์โฟลีน-นอร์แมล-ออกไซด์และอัลคาไลน์ไฮดรอกไซด์/ยูเรีย จึงทำให้มีการนำเซลลูโลสไปใช้ประโยชน์ และพัฒนา รูปแบบ การนำไปใช้งานมากขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวทำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมยูเรีย เนื่องจากระบบนี้สามารถละลายเซลลูโลสได้ที่อุณหภูมิต่ำ ละลายเซลลูโลสที่มีความเป็นผลึกได้ อีกทั้งยังมีราคาถูกและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังสนใจนำเศษฝ้ายเหลือทิ้ง ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งในอุตสาหกรรมสิ่งทอมาใช้ในการเตรียมฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนเนื่องจากฝ้ายมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ มีมากถึงร้อยละ 94 โดยน้ำหนัก แต่ฝ้ายไม่สามารถละลายในระบบโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมยูเรียได้โดยตรง จึงต้องนำมาย่อยสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสให้สั้นลงด้วยกรดไฮโดรคลอริกให้อยู่ในรูปของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส ซึ่งสามารถละลายได้ในระบบที่กล่าวมาข้างต้น จากนั้นเตรียมฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนแล้วทำให้แห้งและสร้างรูพรุนที่ถาวรโดยใช้วัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันและตัดแปรพื้นผิวให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำด้วยน้ำมันมะพร้าวก่อนนำไปดูดซับคลอเรสเทอรอล

ในงานวิจัยนี้สนใจเตรียมฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนในระดับนาโนเมตรและศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของฟิล์มดังกล่าวจากเศษฝ้ายเหลือทิ้ง โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกคลอเรสเทอรอลเป็นสารดูดซับ โดยมีจุดประสงค์ในการนำฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ได้เป็นอาหารเสริมทดแทนเส้นใยอาหาร (dietary fiber) สำหรับดูดจับคลอเรสเทอรอลออกจากระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้ ยังศึกษา

อิทธิพลของกลีเซอรอลในการรักษาเสถียรภาพของโครงสร้างรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลส ซึ่งเสถียรภาพของรูพรุนจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับของฟิล์มต่อสารดูดซับ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เตรียมฟิล์มเซลลูโลสที่มีรูพรุนระดับนาโนเมตรจากเศษฝ้ายเหลือทิ้ง
2. ศึกษาการดูดซับคลอเรสเซอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ฟิล์มเซลลูโลสที่มีความเป็นรูพรุนระดับนาโนเมตรและมีสมบัติดูดซับคลอเรสเซอรอล

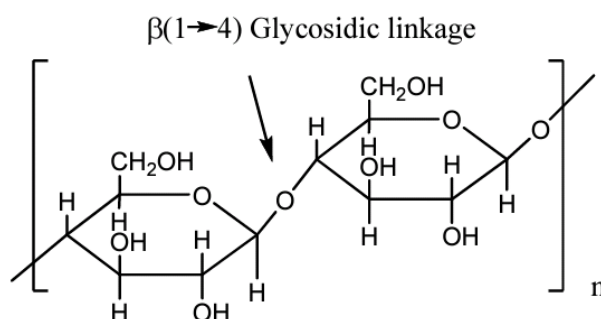


บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

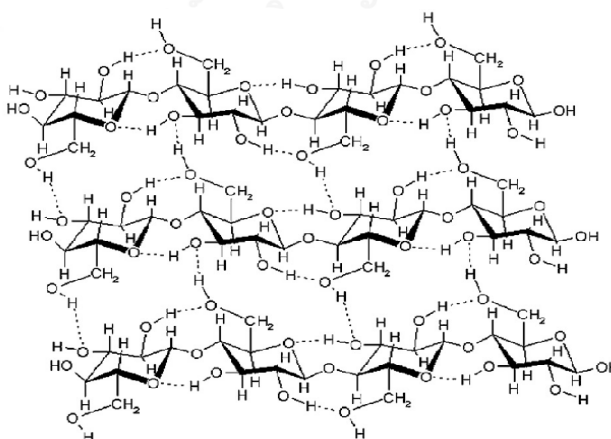
2.1 เซลลูโลส (Cellulose) [1-6]

เซลลูโลส (cellulose) เป็นพอลิเมอร์ที่พบได้ในธรรมชาติโดยทั่วไปในพืชทุกชนิด โดยเราพบเซลลูโลสได้มากที่บริเวณผนังเซลล์ของพืช เช่น ส่วนใบ ผล นอกจากนี้ยังสามารถพบได้บริเวณลำต้นของพืช โครงสร้างของเซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) จัดเป็นโฮโมพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์แอนไฮโดรกลูโคไพราโนส (anhydroglucopyranose) ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีธาตุหลัก คือ คาร์บอนร้อยละ 44 ออกซิเจนร้อยละ 49.4 และไฮโดรเจนร้อยละ 6.2 โดยมีสูตรทางเคมีคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ ซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อยของ D-glucose ในรูปของบีต้าดีกลูโคไพราโนส (β -D-glucopyranose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic linkage) ดังรูปที่ 2.1 แต่ละสายของสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสเรียงขนานกันไป มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลทำให้มีลักษณะเป็นเส้นใย ปริมาณเซลลูโลสของพืชต่างชนิดกันจะมีปริมาณที่ต่างกัน โดยตามธรรมชาติจะไม่พบเซลลูโลสบริสุทธิ์แต่จะมีการปะปนไปด้วยสารประกอบอื่นๆ เช่น ลิกนิน เพกทิน หรือซีลิ่งเซลลูโลสมีข้อดีหลายประการ เช่น เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถสร้างทดแทนใหม่ได้ มีราคาถูก มีการเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต มีความแข็งแรงสูงเนื่องจากมีความเป็นผลึกในโครงสร้างไม่ละลายในน้ำหรือกรดอ่อน และละลายได้ยากในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป เช่น คลอโรฟอร์ม แต่สามารถละลายได้เล็กน้อยในโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 5



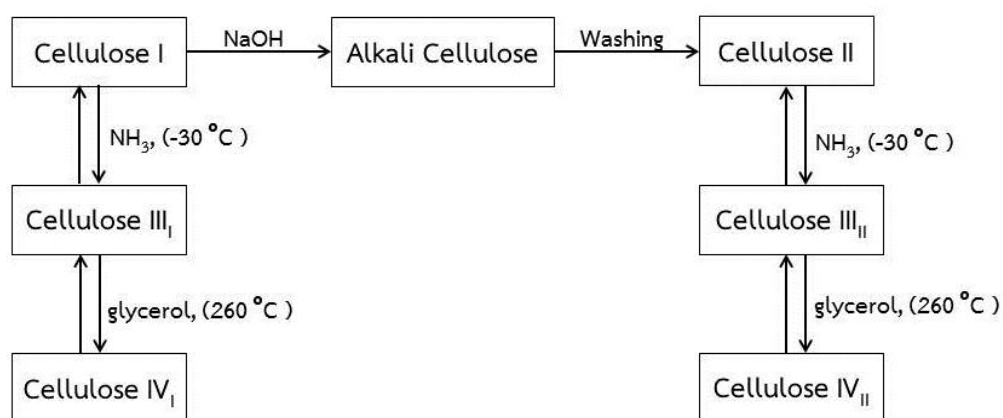
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลลูโลส [3]

โดยทั่วไปธรรมชาติกลูโคสยูนิตของเซลลูโลสหนึ่งหน่วย จะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี 3 หมู่ โดยต่ออยู่ที่คาร์บอนอะตอมที่ตำแหน่ง 2 3 และ 6 ตามลำดับ (เป็น primary group 1 หมู่ และ secondary group 2 หมู่) ซึ่งทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่สูงมาก เนื่องจากการมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในโมเลกุล และระหว่างสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสดังรูปที่ 2.2 ส่งผลให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก ทำให้เซลลูโลสมีสมบัติการละลายที่ต่ำหรือไม่ละลายในตัวทำละลายทั่วไป อาจเกิดเพียงการบวมตัวในตัวทำละลายบางชนิดและไม่สามารถนำไปขึ้นรูปได้ คุณสมบัติการหลอมเหลวของเซลลูโลสมีค่าสูงมากใกล้เคียงกับคุณสมบัติการสลายตัว เป็นผลทำให้จำเป็นต้องมีการตัดแปรรูปเซลลูโลสก่อนนำไปใช้งาน เพื่อให้ปริมาณพันธะไฮโดรเจนลดลง ซึ่งทำให้สามารถละลายในตัวทำละลายทั่วไปได้มากขึ้น โครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบในบริเวณที่เป็นผลึก (crystalline region) โดยโมเลกุลมีการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างกันมาก ทำให้ช่องว่างระหว่างโมเลกุลมีน้อย จึงมีความทนทานต่อตัวทำละลายเคมีที่ดี ในขณะที่ส่วนที่มีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบในบริเวณที่เป็นอสัณฐาน (amorphous region) มีการเรียงตัวกันอย่างระเกะระกะ ทำให้มีที่ว่างระหว่างโมเลกุลมากกว่าส่วนที่เป็นระเบียบ จึงสามารถถูกทำลายได้ด้วยกระบวนการไฮโดรลิซิส (hydrolysis) ได้ง่ายกว่าบริเวณที่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ



รูปที่ 2.2 โมเลกุลของเซลลูโลสที่มีพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในโมเลกุลและระหว่างสายโซ่โมเลกุล [4]

เซลลูโลสสามารถแบ่งรูปแบบโครงสร้างผลึกได้เป็น 4 รูปแบบ ดังนี้คือ เซลลูโลส I, เซลลูโลส II, เซลลูโลส III และ เซลลูโลส IV โดยที่เซลลูโลส I สามารถพบได้ตามธรรมชาติ ส่วนเซลลูโลส II สามารถเตรียมได้จากการนำเซลลูโลส I มาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นประมาณ 17-20% โดยกระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการเมอร์เซอร์เซชัน (mercerization process) หรือการซบมัน โดยเป็นกระบวนการที่ใช้เปลี่ยนรูปแบบของเซลลูโลส I ให้เป็นเซลลูโลส II การเปลี่ยนเซลลูโลส I หรือเซลลูโลส II ให้เป็นเซลลูโลส III ทำโดยการแช่เซลลูโลส I หรือเซลลูโลส II ในแอมโมเนียเหลว โดยในระบบต้องไม่มีน้ำอยู่จะได้เป็นเซลลูโลส III และการเปลี่ยนเซลลูโลส I หรือเซลลูโลส II ให้เป็นเซลลูโลส IV ทำได้โดยให้ความร้อนกับเซลลูโลส I หรือเซลลูโลส II ที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส ภายใต้น้ำและความดัน หรือเตรียมได้จากการให้ความร้อนกับเซลลูโลส I หรือเซลลูโลส III ในกลีเซอรอลที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส โดยกระบวนการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของเซลลูโลสแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างผลึกของเซลลูโลสในรูปแบบต่างๆ [7]

2.1.1 สมบัติของเซลลูโลส [1-8]

เซลลูโลสเป็นเส้นใยชนิดไม่ละลายน้ำ แต่สามารถดูดซับน้ำไว้ที่บริเวณผิวทำให้เกิดการพองตัว เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสมีทั้งโมเลกุลที่เรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันและทิศสวนทางกัน ทำให้เส้นใยแข็งแรง ไม่เปราะง่าย แต่มีบางส่วนที่มีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ ซึ่งส่วนนี้สามารถดูดซับน้ำได้จึงทำให้เกิดการพองตัว ความสามารถในการพองตัวในน้ำและในสารละลายจะแตกต่างกันโดยเรียง

จากตัวทำละลายอินทรีย์ น้ำ เกลือ กรด และด่าง ตามลำดับ พบว่าสารใดมีความเป็นขั้วสูงจะสามารถทำให้เซลลูโลสพองตัวได้มากกว่าสารที่ไม่มีขั้วหรือมีขั้วต่ำ

การละลายของเซลลูโลส [8, 9]

เซลลูโลสมีสมบัติไม่ละลายน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์ หรือด่างอ่อน แต่สามารถละลายในกรดแก่และด่างแก่ ดังนั้นจึงสามารถแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามลักษณะการละลายในกรดหรือด่างได้ 3 ชนิด ดังนี้

1. แอลฟาเซลลูโลส (α -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5%
2. เบต้าเซลลูโลส (β -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5%
3. แกมมาเซลลูโลส (γ -cellulose) เป็นเซลลูโลสที่สามารถละลายได้ดีทั้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5% และสารละลายกรดเจือจาง

ความหนืดของเซลลูโลส

ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญของสารละลายเซลลูโลส เมื่อเราเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลส ทำให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สมบัติกายภาพเพิ่มขึ้น

สมบัติการดูดซับ

ในเส้นใยเซลลูโลสมีส่วนที่มีการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบ มีน้ำแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลที่มีหมู่ไฮดรอกซิล ทำให้เซลลูโลสสามารถดูดซับน้ำได้ การดูดซับน้ำในเซลลูโลสมีความสำคัญต่อกระบวนการดูดซับ

การพองตัว

การพองตัวของเซลลูโลสด้วยน้ำหรือสารชนิดอื่น จะไปลดความเป็นผลึกและเพิ่มความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยาเคมีของเซลลูโลส การพองตัวของเซลลูโลสแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การพองตัวระหว่างผลึกและการพองตัวภายในผลึก การพองตัวระหว่างผลึกเกิดจากการแทรกตัวของส่วนอสัณฐานที่อยู่ระหว่างผลึก ส่วนการพองตัวภายในผลึกเกิดจากการแทรกตัวหรือการกระจายตัวของส่วนที่เป็นผลึกในโมเลกุลของเซลลูโลส

สารที่สามารถทำให้เซลลูโลสเกิดการพองตัว ได้แก่ สารอัลคาไลน์โดยเฉพาะสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดอนินทรีย์ต่างๆ เช่นกรดซัลฟิวริก กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอสฟอริก และสารละลายเกลือโลหะ

ความสามารถในการละลาย

เนื่องจากเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้ว อีกทั้งยังมีลักษณะโครงสร้างภายในเป็นผลึก ทำให้หาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการละลายเซลลูโลสได้ยาก

$$\Delta G_{\text{diss}} = \Delta H_{\text{diss}} - T \Delta S_{\text{diss}}$$

จากทฤษฎีเทอร์โมไดนามิกส์ ความสามารถในการละลายเกิดขึ้นได้เมื่อพลังงานอิสระ (Gibb free energy, ΔG_{diss}) ของสารละลายมีค่าเป็นลบ ถ้าหากค่า ΔG_{diss} มีค่าเป็นบวกหมายความว่าสารนั้นไม่สามารถละลายในตัวทำละลายนั้นได้ อย่างไรก็ตามในกรณีเซลลูโลสเมื่อละลายในน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์มีค่า ΔG_{diss} มีค่าเป็นบวก หมายความว่าเซลลูโลสไม่ละลายในน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ ถ้าต้องการให้สารสามารถละลายในตัวทำละลายได้ต้องทำให้มีค่าพลังงานอิสระเป็นลบ

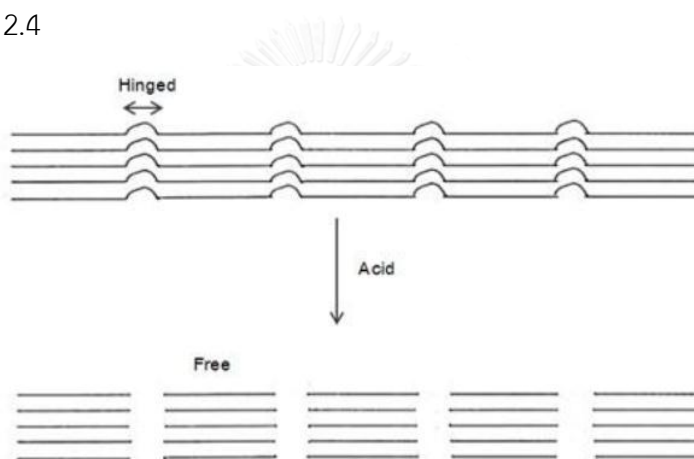
2.2 ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส (Microcrystalline cellulose) [7, 10]

ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส (microcrystalline cellulose, MCC) เป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติที่ไม่สามารถละลายได้ในน้ำ กรดอ่อนและตัวทำละลายอินทรีย์ โดยไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสสามารถผลิตได้จากกระบวนการลดขนาดอนุภาคของเซลลูโลส หรือกระบวนการเสื่อมสลายโดยการใช้สารละลายกรด ช่วงแรกๆนั้นยังไม่ค่อยมีการนำไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสมาใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามได้มีการนำเซลลูโลสมาใช้ประโยชน์ในทางการค้าเพิ่มมากขึ้น และเริ่มมีการใช้งานอย่างแพร่หลายและกว้างขวางมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไปแล้วเซลลูโลสจะประกอบด้วยมัดของเส้นใย (ไฟบริล) จำนวนมากมารวมตัวกัน แต่เมื่อทำการทำลายส่วนที่มีการจัดเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบจะได้ในส่วนที่เป็นผลึกอิสระขนาดเล็ก

ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสนั้นถูกนำไปใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ใช้ในการควบคุมการเจริญเติบโตของผลึกน้ำแข็งในกระบวนการแช่ผลไม้ และในทางอุตสาหกรรมยายินยอมให้ใช้ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสเพื่อสำหรับการขึ้นรูปเม็ดยา นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร เกษษกรรม เครื่องสำอาง

2.2.1 การเตรียมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส [10]

การเตรียมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส เป็นการย่อยสลายส่วนที่มีการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ (อสัณฐาน) ของเซลลูโลสออกจากเส้นใยเซลลูโลสให้เหลือแต่ส่วนที่เป็นไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเตรียมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส [7]

การเตรียมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสโดยทั่วไปนิยมใช้ 2 วิธี คือ

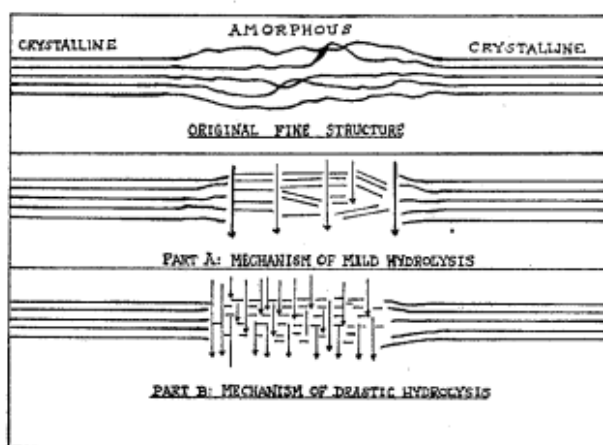
การไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ (enzymatic hydrolyze)

เป็นการย่อยสลายสารประกอบเซลลูโลสด้วยเอนไซม์ซึ่งส่วนใหญ่จะได้จากเชื้อราและแบคทีเรีย เนื่องจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่สภาวะไม่รุนแรง (อุณหภูมิห้องและความดันปกติ) จำเป็นต้องใช้เวลาในการย่อยสลายเป็นเวลาหลายชั่วโมงถึงหลายวันจึงจะได้ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส อย่างไรก็ตามการใช้เอนไซม์มีข้อดี คือเอนไซม์มีความเจาะจงในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารอื่นที่ไม่ใช่เซลลูโลส จึงทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ แต่การใช้เอนไซม์ต้องใช้ต้นทุนสูงจึงไม่ค่อยนิยมใช้

การไฮโดรไลซ์ด้วยสารเคมี (chemical hydrolyze)

เป็นการย่อยสลายสารประกอบเซลลูโลสด้วยกรด โดยการนำกรดไปไฮโดรไลซ์สายโซ่โมเลกุลเซลลูโลสให้สั้นลง เป็นวิธีที่นิยมใช้มากกว่า เนื่องจากทำให้ได้ไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสอย่างรวดเร็ว โดยกรดมีราคาไม่แพงและหาได้ง่าย เหมาะสมในทางอุตสาหกรรมมากกว่าการไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ ซึ่งการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดมีกลไกดังนี้

1. เกิดการแตกสลายในสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลส (cellulose depolymerization) โดยมีการแตกหักของพันธะที่อ่อนแอของหมู่ที่ถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายภายในโครงสร้างของเซลลูโลส
2. เกิดการแตกหักของพันธะ β -1,4 glycosidic บนสายโซ่เซลลูโลสในบริเวณที่มีการจัดเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบ (amorphous region) ทำให้เกิดเป็นสายสั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การแตกหักสายโซ่เซลลูโลสบริเวณที่เป็นอสัณฐาน [10]

3. เกิดการแตกหักของพันธะ β -1,4 glycosidic บนสายโซ่เซลลูโลสในบริเวณที่มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบ (crystalline region) จะเกิดขึ้นเมื่อขั้นที่ 2 เกิดเสร็จสมบูรณ์แล้ว

ปัจจัยที่มีผลต่อการไฮโดรไลซ์เซลลูโลสด้วยกรด ได้แก่

1. ชนิดของกรด : การไฮโดรไลซ์ด้วยกรดที่แรงจะทำให้พันธะ β -1,4 glycosidic บนสายโพลิเมอร์เซลลูโลสแตกออกเป็นสายที่สั้นมากๆ และใช้เวลาในการไฮโดรไลซ์น้อยกว่าการใช้กรดอ่อน
2. อุณหภูมิ : การใช้อุณหภูมิสูงทำให้การไฮโดรไลซ์เกิดง่ายขึ้น ได้สายโซ่เซลลูโลสที่สั้นมาก

2.3 ฝ้าย (Cotton) [9, 11-13]

ฝ้าย เป็นเส้นใยเซลลูโลสที่มีความสำคัญและมีการใช้งานกว้างขวางมากที่สุด สามารถใช้งานได้หลากหลายอาจใช้เป็นฝ้าย 100 % หรือนำฝ้ายผสมกับเส้นใยอื่นๆ แม้จะมีเส้นใยชนิดใหม่ๆ เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากแต่ฝ้ายก็ยังคงเป็นเส้นใยที่ถูกใช้กันมากที่สุด

ฝ้ายมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Gossypium* spp แต่ที่นำมาปลูกเพื่อการค้าคือ *G. herbaceum* L., *G. arboretum* และ *G. barbadenes* L. จัดเป็นไม้พุ่มหรือไม้ยืนต้นขนาดเล็ก มีความสูงของต้นประมาณ 1-3 เมตร ลำต้นมีลักษณะตั้งตรง มีขนละเอียดขึ้นหนาแน่น ผลเป็นผลแห้ง แตกออกได้ตามพูเป็น 3 ฝ้า ภายในมีเมล็ดมีขนยาวสีขาวห่อหุ้มอยู่ ดังรูปที่ 2.6 ฝ้ายเป็นเส้นใยสั้นที่มีความแข็งแรงทนทาน ดูดซึมความชื้นได้สูง จึงทำให้สวมใส่สบายรวมทั้งระบายอากาศและความร้อนได้ดี ทำให้ฝ้ายถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น เสื้อผ้า ผ้าเช็ดตัว เครื่องใช้ในบ้าน เป็นต้น ด้วยความที่ฝ้ายสามารถเจริญเติบโตได้ในหลายพื้นที่ของโลก ปัจจุบันประเทศที่ผลิตฝ้ายที่สำคัญ คือ สหรัฐอเมริกา สหภาพโซเวียต สาธารณรัฐประชาชนจีน อินเดีย ตุรกี ปากีสถาน บราซิล ในประเทศไทยมีการปลูกฝ้ายมากในจังหวัดเลย นครสวรรค์ ลพบุรี ปราจีนบุรี สุโขทัย จันทบุรี อุทัยธานี ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมากทั้งพันธุ์ฝ้าย สภาพภูมิอากาศ ทั้งสารอาหารในดิน ดังนั้น ฝ้ายจึงมีหลายชนิด โดยคุณภาพของเส้นใยฝ้ายขึ้นกับความยาว ความยาวของเส้นใย ความละเอียดตลอดจนความแข็งแรง

ฝ้ายมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ และมีมากถึงร้อยละ 94 โดยน้ำหนัก และส่วนประกอบอื่นๆ ในฝ้ายที่ไม่ใช่เซลลูโลสนั้นมีเพียงปริมาณเล็กน้อย เช่น ขี้ผึ้ง (wax) สารพวกเพกติน (pectin) และสารประกอบพวกไนโตรเจน



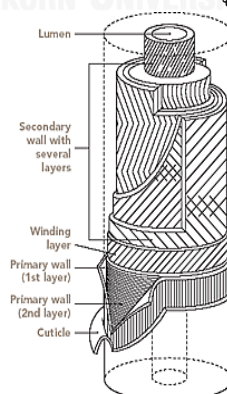
รูปที่ 2.6 ฝ้าย [14]

2.3.1 โครงสร้างของเส้นใยฝ้าย

โครงสร้างฝ้ายโดยทั่วไปพบว่ามีย่อตราส่วนของความเป็นผลึกต่อความเป็นอสัณฐานสูงถึงประมาณ 2 ต่อ 1 ทำให้ความสามารถในการยัดตัวดีและดูดซึมความชื้นสูง

2.3.2 ลักษณะทางกายภาพ

ฝ้ายเป็นเส้นใยสั้นมีลักษณะภายนอกที่หยาบเป็นหลอดแบน ขวั้นกันเป็นเกลียว และจากกล้องจุลทรรศน์ภาพภาคตัดขวางมีลักษณะคล้ายเม็ดถั่วที่มีช่องกลางกลวง เส้นใยฝ้ายจะเริ่มจากการสร้างผนังชั้นนอก (primary wall) จากนั้นมีการพัฒนาโครงสร้างภายในให้หนาขึ้นเป็นผนังชั้นที่ 2 (secondary wall) โดยส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส ซึ่งใช้ระยะเวลาหนึ่งกว่าเส้นใยจะโตเต็มที่ จากนั้นดอกฝ้ายจะแตกออกเห็นเป็นปุยฝ้าย เส้นใยจะมีรูตรงกลางกายเรียกว่า ลูเมน (lumen)



รูปที่ 2.7 โครงสร้างเส้นใยฝ้าย [13]

ผนังชั้นนอกของเส้นใยฝ้ายดังรูปที่ 2.7 ประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลสที่เคลือบด้วยผนังชั้นนอกสุดที่เป็นเพคติน โพรตีน แร่ธาตุและไขมัน ผนังชั้นที่ 2 เป็นชั้นที่สมบูรณ์ของเส้นใยฝ้าย ประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลสเล็กๆ (fibrils) เรียงตัวกันแบบเป็นเกลียวรอบแกนเส้นใย ทิศทางของเกลียวจะหมุนคนละทิศทางในแต่ละชั้นเหมือน S กับ Z โดยมุมของเกลียวเส้นใยแต่ละชั้นประมาณ 20 ถึง 35 องศา ในแต่ละเส้นใยเซลลูโลสเล็กๆ นี้ยังประกอบไปด้วย เส้นใยระดับไมโครเมตร (microfibrils) มัดรวมตัวกันอยู่อย่างมากมาย ดังนั้นเห็นได้ว่าโครงสร้างเหล่านี้มีผลทำให้เส้นใยฝ้ายดูดซับน้ำ สีย้อม หรือทำปฏิกิริยากับสารเคมีได้ดีมากน้อยแค่ไหนขึ้นกับระดับการเข้าถึงของสสารหรือในระดับไมโครเมตร

การบิดเป็นเกลียวของผนังชั้นที่ 2 นี้ มีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดีคือทำให้เส้นใยฝ้ายมีความสามารถในการยืดตัวได้ประมาณ 8% ตามแนวยาวของเส้นใย ในขณะที่เดียวกันบริเวณรอยต่อของการเปลี่ยนทิศทางเกลียวนี้เป็นจุดที่เปราะและเส้นใยขาดก่อนตำแหน่งอื่นๆ

ฝ้ายเป็นเซลลูโลสที่เกิดขึ้นในธรรมชาติมีโครงสร้างทางเคมี คือ poly (1,4- β -D-anhydroglucopyranose) ระดับการโพลีเมอไรเซชันของฝ้ายประมาณ 5,000 ขึ้นกับพันธุ์และสภาพแวดล้อม ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยฝ้ายแสดงดังตารางที่ 2.1 จากโครงสร้างจะเห็นว่า β -glycosidic ether linkages และ hydroxyl groups มีผลต่อสมบัติทางเคมีของเส้นใย การเกิดพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล (inter- and intra-molecular hydrogen bonds) และการบิดเป็นเกลียวที่แข็งแรงของเส้นใยฝ้ายจากโครงสร้าง กล่าวได้ว่าเส้นใยฝ้ายมีความเป็นผลึกสูง (high crystallinity)

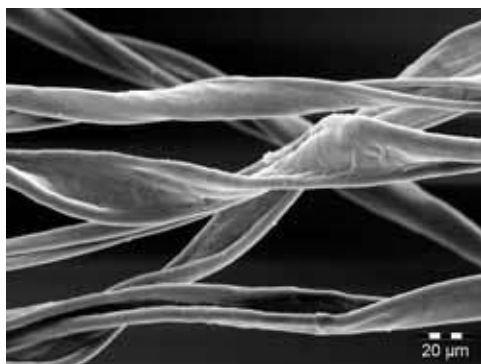
ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยฝ้าย [5]

ส่วนประกอบ	ส่วนประกอบเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง	
	ค่าจำเพาะ	ค่าที่เป็นช่วงขอบเขต
เซลลูโลส	94.0	88.0-96.0
โปรตีน (%N X 6.25) ^a	1.3	1.1-1.9
สารจำพวกเพกติน	1.2	0.7-1.2
เถ้า	1.2	0.7-1.6
ไขมัน	0.6	0.4-1.0
น้ำตาล	0.3	-
เม็ดสี	Trace	-
อื่นๆ	1.4	-

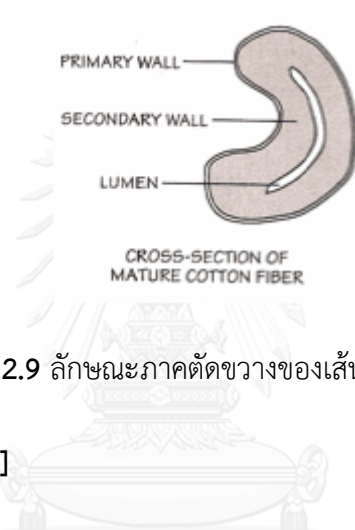
หมายเหตุ ^a มาตรฐานในการประมาณค่าร้อยละของโปรตีนของไนโตรเจน (%N)

เส้นใยฝ้ายมีลักษณะคล้ายริบบิ้นแบนๆ กว้างประมาณ 12 ถึง 20 ไมโครเมตรและบิดเป็นเกลียว ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งเกิดจากท่อตรงกลางเสีรูปร่างเมื่อฝ้ายแห้งตัว โครงสร้างทางกายภาพนี้สามารถเห็นได้ชัดเจนด้วยกล้องจุลทรรศน์

ลักษณะภาคตัดขวางของเส้นใยฝ้ายแสดงดังรูป 2.9 มีลักษณะคล้ายถั่วเรียกว่า bilateral structure ซึ่งบ่งบอกว่าระดับการเกาะตัวของเส้นใยเซลลูโลสภายในเส้นใยฝ้ายในแต่ละตำแหน่งนั้นมีไม่เท่ากัน นอกจากนี้ในเส้นใยฝ้ายอาจจะมีเส้นใยบางส่วนที่โตไม่เต็มที่หรือบางส่วนที่ตายแล้ว ซึ่งมีผนังบาง ดังนั้นการเข้าถึงของน้ำหรือสารเคมีบนเส้นใยฝ้ายดิบจะไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 2.8 ลักษณะเส้นใยฝ้าย [13]



รูปที่ 2.9 ลักษณะภาคตัดขวางของเส้นใยฝ้าย [9]

2.3.3 สมบัติทางกายภาพ [15]

ลักษณะภายนอก ฝ้ายจากธรรมชาติมีลักษณะคล้ายหลอดแบนบิดขั้วกันเป็นเกลียว พื้นทีหน้าตัดเป็นเมื่อดัดตรงกลางเป็นรูซึ่งเกิดจากท่อส่งน้ำตามแกนกลางของเส้นใย ผิวของเส้นใยไม่เรียบและทึบแสง

สี โดยทั่วไปฝ้ายดิบจะมีสีออกไปทางขาวนวล ขาวเหลือง และในบางชนิดอาจจะมีสีออกไปทางขาวน้ำตาลได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งเพาะปลูก สภาพภูมิอากาศ อาหาร และน้ำ ซึ่งคุณภาพของฝ้ายที่ดีจะขึ้นกับความขาวและความยาวของเส้นใยฝ้าย

ความยาวเส้นใย เส้นใยแต่ละเส้นมีความยาวอยู่ในช่วง $1/8 - 2 \frac{1}{2}$ นิ้ว (3-63 มม.) เส้นใยฝ้ายที่ยาวจะแสดงถึงคุณภาพของเส้นใยที่ดีด้วย ฝ้ายยาวจะมีความแข็งแรงมากกว่าฝ้ายสั้น

ความเงามัน โดยธรรมชาติฝ้ายจะมีความเงามันเพียงเล็กน้อย การสะท้อนแสงไม่ดีมาก ยกเว้นกรณีที่ผ่านการทำเมอร์เซอไรซ์หรือการชุบมันแล้ว เส้นใยจะพองกลม ทำให้มีความมันเงาเพิ่มขึ้น

ความแข็งแรง ฝ้ายเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงปานกลาง ความทนแรงดึง มีค่าประมาณ 3-5 จิกะปาสคาล เมื่อเปียกน้ำฝ้ายมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 10-20% ฝ้ายที่ผ่านกระบวนการทำเมอร์เซอไรซ์แล้วความแข็งแรงจะสูงขึ้น โดยทั่วไปความแข็งแรงของฝ้ายขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นใย เส้นใยยาวจะมีจุดสัมผัสและการเกาะกันของเส้นใยมากกว่าเส้นใยสั้น ทำให้เกิดแรงเสียดทานได้มากกว่า ส่งผลให้การทนต่อแรงดึงสูงขึ้น

การยืดตัว เป็นเส้นใยที่มีการยืดตัวดีกว่าลินิน แต่ต่ำกว่าไหมและขนสัตว์ เกลียวฝ้ายที่เกิดตามธรรมชาติทำให้มีการยืดตัวที่ดีและนำมาปั่นเป็นเส้นด้ายได้ง่าย สามารถยืดตัวได้ประมาณ 3-7%

การคืนตัวของแรงอัด ฝ้ายมีความสามารถในการคืนตัวหลังถูกกดทับได้ต่ำ เกิดการยับได้ง่าย ในปัจจุบันมีการตกแต่งสำเร็จหลายวิธีที่จะช่วยแก้ปัญหาการยับให้ลดลงในลักษณะที่เรียกว่า wrinkle-free

การดูดซึมความชื้น ที่ภาวะมาตรฐานอุณหภูมิ 70 องศาฟาเรนไฮต์ (21 องศาเซลเซียส) และความชื้นสัมพัทธ์ 65% ฝ้ายมีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้สูงถึง 7-10% และความแข็งแรงของฝ้ายสูงขึ้นเมื่อเปียก

ความร้อน ฝ้ายทนต่อความร้อนได้ดี อุณหภูมิในการรีดอาจสูงถึง 204-218 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาสั้นๆ ฝ้ายเริ่มไหม้และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่อุณหภูมิ 246 องศาเซลเซียสและถ้าสูงกว่านั้น อาจถูกทำลายได้ สามารถซักด้วยน้ำร้อนระดับ 100 องศาเซลเซียส และอบแห้งที่ 71-93 องศาเซลเซียส

ความถ่วงจำเพาะ 1.5

สมบัติทางกายภาพของเส้นใยฝ้ายสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย [1, 13]

สมบัติทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย	ค่าระดับ
ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยธรรมชาติ	16- 20 ไมโครเมตร
ความเหนียว (แห้ง)	3.5- 4.0 (กรัม/เดนิเยอร์)
ความเหนียว (เปียก)	4.5- 5.0 (กรัม/เดนิเยอร์)
การดูดความชื้น	7- 11%
เปอร์เซ็นต์การยืดได้มาตรฐานปกติ	3.7%
เปอร์เซ็นต์การยืดได้เมื่อเปียก	9.5%
เปอร์เซ็นต์ความสามารถหดกลับที่เดิมหลังจากจับยืดออก 2.5 %	75%
ความถ่วงจำเพาะ	1.50-1.55

2.3.4 สมบัติทางเคมี [15]

กรด กรดอินทรีย์ เช่น กรดแอสติคไม่ทำปฏิกิริยาต่อฝ้าย ไม่สามารถที่ละลายเส้นใยฝ้ายได้ แต่กรดกำมะถันหรือกรดไฮโดรคลอริก สามารถละลายเส้นใยฝ้ายได้ โดยจะไปละลายเส้นใยฝ้ายให้กลายเป็นลักษณะยางเหนียว และถ้าเป็นกรดไนตริก ทำปฏิกิริยาได้เซลลูโลสไนเตรตมีสมบัติเป็นวัตถุระเบิด

ด่าง ฝ้ายทนต่อสารละลายด่างได้ดี ด่างแก่ที่ใช้เป็นสบู่ในการซักล้างไม่มีผลต่อสมบัติของฝ้าย นอกจากนั้นแล้วด่างที่เป็นสารเคมีหลักในการทำเมอร์เซอร์ไรซ์กลับทำให้ฝ้ายมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

สารละลายอินทรีย์ ไม่สามารถละลายเส้นใยฝ้ายได้ ฝ้ายสามารถซักแห้งได้ เนื่องจากมีความคงทนต่อสารละลายอินทรีย์ได้ดีมาก

สารซักฟอก สารซักฟอกโดยทั่วไปสามารถใช้ซักฟอกฝ้ายได้ แต่ต้องระวังเรื่องความเข้มข้น และระยะเวลาประกอบกับภายหลังการซักฟอกแล้ว ควรล้างน้ำให้สะอาด สารซักฟอกประเภท

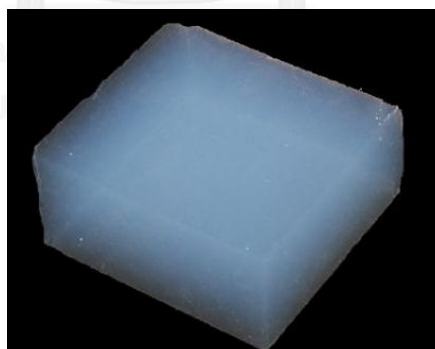
ออกไซด์ เช่น โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตและโซเดียมไฮโปคลอไรท์ มีผลทำให้ฝ้ายเกิดปฏิกิริยาทางเคมี กลายเป็นสภาพที่เรียกว่า ออกซีเซลลูโลส (oxycellulose) ที่มีสมบัติอ่อนแอกว่าฝ้ายปกติ ขาดง่าย เมื่อเปียกและเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

ราและแมลง ปกติผ้าฝ้ายเกิดราได้ง่าย เนื่องจากแบงก์ที่ตกค้างมาจากการลงแบงก์ทำให้เป็น ปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของรา ปัญหานี้ได้โดยการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายภายหลัง สำหรับแมลงก็ เช่นเดียวกันเนื่องจากแบงก์ที่ตกค้างในฝ้าย

แสง ฝ้ายถูกแสงแดดทำให้เกิดการออกซิไดส์เป็นออกซีเซลลูโลสเปลี่ยนเป็นเหลืองและเสื่อม คุณภาพลง ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้งานของฝ้ายไม่ให้ถูกแสงแดดโดยตรง

2.4 แอโรเจล (Aerogel) [16-19]

แอโรเจล (aerogel) คือวัสดุของแข็งที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนสูง มีลักษณะเป็นของแข็งกึ่ง โปร่งแสง ดังรูปที่ 2.10 เกิดจากการที่อากาศเข้าไปแทนที่ของเหลวภายในเจล ส่งผลให้แอโรเจลมีความหนาแน่นต่ำ มีน้ำหนักเบา มีความเป็นรูพรุนสูง มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง นำไฟฟ้าได้ต่ำ มีสมบัติเชิงกลสูง และนำความร้อนได้ต่ำ แอโรเจลจึงเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในงานได้หลากหลาย



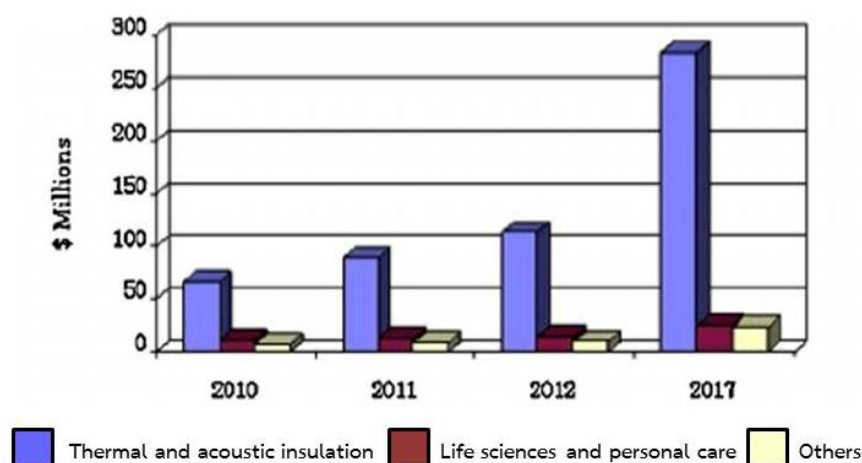
รูปที่ 2.10 แอโรเจล [18]

แอโรเจล เป็นวัสดุที่มีโครงสร้างรูพรุน มีน้ำหนักเบามากจนได้รับการบันทึกใน Guinness World Records ว่าเป็นของแข็งที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดในโลก เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุแก้วที่เป็นของแข็งที่ทำจากซิลิกอนเหมือนกันแล้ว แอโรเจลมีความหนาแน่นน้อยกว่าแก้วถึงพันเท่า นอกจากนี้แอโรเจลยังเป็นฉนวนความร้อนที่ดีที่สุดอีกด้วยสามารถทนความร้อนได้สูง ซึ่งมีความทนทานมากกว่าไฟเบอร์กลาสถึง 39 เท่า

แอร์เจลถูกค้นพบเมื่อปี ค.ศ.1931 โดย Dr. Samuel Steven Kistler เขาได้ตีพิมพ์ผลงานวิจัยนี้ในวารสาร Journal Nature และมีสิทธิบัตรของแอร์เจลตามมาอีกหลายฉบับ ต่อมาในช่วงต้นทศวรรษที่ 40 มีข้อตกลงทางการค้ากับบริษัท Monsanto เพื่อผลิตซิลิกาแอร์เจลภายใต้ชื่อทางการค้าว่า Santocel, Santocel-C, Santocel-54 และ Santocel-Z

แอร์เจลมีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนค่อนข้างโปร่งแสงแต่ไม่โปร่งใส มีส่วนประกอบที่เต็มไปด้วยอากาศมากถึง 50 – 99.5 % ซึ่งในทางทฤษฎีแล้ว สามารถรับแรงได้มากกว่าน้ำหนักของตัวเองถึง 500 - 4,000 เท่า นอกจากนี้แอร์เจลสามารถกำหนดขนาดและรูปร่างให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการได้อย่างหลากหลาย ทั้งในรูปของเม็ดบีดส์ แผ่น หรือแบบรูปทรงสี่เหลี่ยม

แอร์เจลจึงได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเห็นได้จากผลงานวิจัยของ BBC Research & Consulting ดังรูปที่ 2.11 พบว่าตลาดของแอร์เจลจะมีอัตราการเจริญเติบโตแบบก้าวกระโดดในอัตราร้อยละ 19 จากปี ค.ศ. 2012 ถึงปี ค.ศ. 2017 โดยเฉพาะในวัสดุก่อสร้าง เช่น ฉนวนกันความร้อนตามอาคารบ้านเรือนและวัสดุดูดซับเสียง



รูปที่ 2.11 อัตราการเจริญเติบโตของแอร์เจล [19]

แอร์เจลได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ไม่กี่ปีที่ผ่านมาเกิดงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับแอร์เจลเป็นจำนวนมากและได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในทุกๆปี

2.4.1 สมบัติของแอโรเจล [16]

การผลิตแอโรเจลเริ่มจากการสังเคราะห์ขึ้นโดยการแทนที่ของเหลวภายในเจลด้วยอากาศ คือ การทำให้เจลแห้งโดยที่โครงสร้างเดิมไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนัก ซึ่งส่งผลให้ภายในโครงสร้างของ silica aerogel ประกอบด้วยอากาศถึง 99% ทำให้แอโรเจลเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยมาก ความพรุนสูง มีพื้นที่ผิวสูง นอกจากนี้แอโรเจลยังมีสมบัติพิเศษอื่นๆอีก เช่น มีค่าดัชนีหักเหต่ำ เป็นตัวพาคลื่นเสียงที่ไม่ดี มีค่าการนำความร้อนต่ำ แต่สามารถลดความเร็วและจับอนุภาคฝุ่นที่มีความเร็วสูงได้ดี โดยไม่ทำให้เกิดความร้อน หรือมีผลกระทบต่อตัวโครงสร้าง แอโรเจลจัดว่าเป็นฉนวนความร้อนที่ดีที่สุดในโลก เนื่องจากสามารถเป็นฉนวนการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 รูปแบบ คือ การพาความร้อน (convection) การนำความร้อน (conduction) และการแผ่รังสีความร้อน (radiation) แอโรเจลเป็นฉนวนการพาความร้อนเนื่องจาก ภายในโครงสร้างของแอโรเจลมีอากาศที่ไม่สามารถแพร่ผ่านออกไปภายนอกได้

แอโรเจลนั้นไม่เหมือนกับวัสดุประเภทโฟมทั่วไป แต่เป็นวัสดุที่มีรูพรุนขนาดเล็กมาก หากเราได้สัมผัสกับแอโรเจล เราจะรู้สึกเหมือนได้สัมผัสกับสไตรโฟม เพราะแอโรเจลมีสีฟ้าใสจนบางครั้งถูกเรียกว่า blue smoke, frozen smoke หรือ solid smoke ซึ่งเกิดจากการกระเจิงแสงสีฟ้าของอนุภาคขนาดเล็กภายในแอโรเจล นักวิทยาศาสตร์จึงใช้วัสดุนี้เพื่อติดตามค้นหาอนุภาคขนาดเล็กๆ นอกจากนี้ แอโรเจลยังถูกนำมาใช้เป็นวัสดุโครงสร้างน้ำหนักเบา และใช้เป็นวัสดุฉนวนยิ่งยวดที่เป็นของแข็ง เนื่องจากมีพื้นที่ผิวภายในสูง

2.4.2 ประเภทของแอโรเจล [16, 20-25]

การจำแนกประเภทของแอโรเจลสามารถจำแนกได้หลายแบบ เช่น แบ่งตามส่วนประกอบของแอโรเจล แบ่งตามลักษณะที่ปรากฏ หรือแบ่งตามโครงสร้างรูพรุน แต่โดยทั่วไปแล้วมักจำแนกประเภทของแอโรเจลโดยใช้ส่วนประกอบของแอโรเจลเป็นเกณฑ์ ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ แอโรเจลที่เตรียมจากสารอินทรีย์ (organic aerogel) แอโรเจลที่เตรียมจากสารอนินทรีย์ (inorganic aerogel) และแอโรเจลที่เตรียมได้จากทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ผสมกัน

แอโรเจลที่เตรียมจากสารอนินทรีย์ได้รับความสนใจและศึกษาอย่างกว้างขวางมากที่สุดจากทั้งสามประเภท ส่วนมากแอโรเจลประเภทนี้ถูกเตรียมมาจากสารจำพวกอัลโคอกไซด์ (alkoxide)

และแอโรเจลที่มีโลหะออกไซด์เป็นส่วนประกอบ เช่น ซิลิกอน (silicon) อะลูมินา (alumina) เซอร์โคเนีย (zirconia) และไททาเนีย (titania) แอโรเจลที่เตรียมจากซิลิกอนหรือซิลิกาแอโรเจล (silica aerogel) เป็นแอโรเจลที่คิดค้นเป็นชนิดแรก

ตัวอย่างของแอโรเจลที่ใช้งานทั่วไป ได้แก่ ซิลิกาแอโรเจล (silica aerogels) คาร์บอนแอโรเจล (carbon aerogels) และเซลลูโลสแอโรเจล (cellulose aerogels)

ซิลิกาแอโรเจล (silica aerogels)

ซิลิกาแอโรเจล เป็นแอโรเจลที่รู้จักกันโดยทั่วไป และได้รับการศึกษาและประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง โดยมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน ลักษณะของซิลิกาแอโรเจลแสดงดังรูปที่ 2.12 ซิลิกาแอโรเจลเป็นของแข็งที่มีความหนาแน่นน้อย โดยการทำให้ซิลิกาแอโรเจลแห้งภายใต้อุณหภูมิและความดันวิกฤต ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงมาก ของเหลวภายในเจลจะถูกกำจัดออกไป โดยเจลจะไม่เสียขนาดและรูปร่าง



รูปที่ 2.12 ซิลิกาแอโรเจล (silica aerogel) [16, 23]

คาร์บอนแอโรเจล (Carbon aerogels)

คาร์บอนแอโรเจลมีลักษณะเป็นก้อนวัสดุสีดำที่มีน้ำหนักเบาแสดงดังรูปที่ 2.13 เป็นตัวนำไฟฟ้า ประกอบด้วยอนุภาคระดับนาโนเมตรที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) มีสมบัติความเป็นรูพรุนสูงกว่า 50 % ขนาดของรูพรุนเล็กกว่า 100 นาโนเมตร ด้วยสมบัติของการมีพื้นที่ผิวสูงจึงได้นำไปใช้เป็นส่วนประกอบของตัวเก็บประจุยิ่งยวด (supercapacitor) ที่ให้ค่าสูงในหลักพันฟารัด (farad) เนื่องจากคาร์บอนแอโรเจลมีสีดำ มีค่าการสะท้อน (reflecting) เพียง 0.3 %

(ของรังสีระหว่าง 250 นาโนเมตร ถึง 14.3 ไมโครเมตร) จึงสามารถใช้เป็นตัวกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ได้ และหากใช้ท่อคาร์บอนนาโนแทนการใช้แกรไฟต์จะสามารถช่วยเพิ่มสมบัติความยืดหยุ่นได้



รูปที่ 2.13 คาร์บอนแอโรเจล (carbon aerogel) [23]

แอโรเจลทั้ง 2 ชนิดเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี เนื่องจากซิลิกาเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี ส่วนคาร์บอนแอโรเจลเป็นฉนวนกันความร้อนที่มากจากการแผ่รังสีที่ดี เพราะคาร์บอนสามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนได้ ดังนั้น ฉนวนกันความร้อนที่ดีที่สุด จึงได้จากซิลิกาเจลผสมด้วยคาร์บอน

ปัจจุบันมีการนำแอโรเจลมาใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ใช้คาร์บอนแอโรเจลเป็นตัวกักเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ องค์การนาซ่าใช้ซิลิกาแอโรเจล เป็นตัวดักจับฝุ่นในโครงการ Stardust และยังเป็นฉนวนกันความร้อนจากการที่มีโครงสร้างเป็นเนื้อพรุน ทำให้มีพื้นที่ผิวสูงมาก จึงมีการใช้เป็นตัวดูดซับสารเคมีเพื่อทำความสะอาดในกรณีที่มีการหกของสารเคมีหรือเกิดเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหล ซิลิกาแอโรเจลที่โปร่งแสงสามารถประยุกต์ใช้เป็นฉนวนกันความร้อนของหน้าต่าง และเนื่องจากแอโรเจลมีพื้นที่ผิวสูงจึงถูกนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียง ในทางปฏิบัติสามารถเพิ่มสมบัติของแอโรเจลได้ โดยการเติมสารผสมเข้าไปในกระบวนการทำแอโรเจล เช่น การเติมเส้นใยเสริมแรงลงในแอโรเจล เพื่อปรับปรุงสมบัติเดิมของแอโรเจลที่เปราะให้มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เป็นต้น

2.5 เซลลูโลสแอโรเจล (Cellulose aerogel) [22]

เซลลูโลสแอโรเจล (cellulose aerogel) มีลักษณะดังรูปที่ 2.14 เป็นแอโรเจลที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถสังเคราะห์ได้จากเซลลูโลส ซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย มีราคาถูก มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพสูง มีความเป็นพิษต่ำ



รูปที่ 2.14 เซลลูโลสแอโรเจล (cellulose aerogel) [22]

เซลลูโลสแอโรเจลเป็นแอโรเจลที่สมบัติโดดเด่นคือ เป็นฉนวนกันความร้อนดีเยี่ยม วัสดุดูดซับเสียง มีศักยภาพในด้านการดูดซับของเหลว และสามารถใช้งานวิศวกรรมเนื้อเยื่อ เนื่องจากลักษณะเด่นของเซลลูโลส ไม่เพียงแต่มีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา มีความคงรูปสูง มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง และมีความเป็นรูพรุนสูงเหมือนกับแอโรเจลทั่วไปแล้วแต่ยังมีความยืดหยุ่น สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และเป็นวัสดุที่สามารถรีไซเคิลได้ เช่นกระดาษหนังสือพิมพ์ วัสดุสิ่งทอที่ใช้แล้ว โดยทั่วไปแล้ว การเตรียมเซลลูโลสแอโรเจลเริ่มจากการละลายเซลลูโลส แลกเปลี่ยนตัวทำละลายและการทำแห้งโดยการแช่เยือกแข็งหรือการทำแห้งวิกฤตยิ่งยวด เซลลูโลสแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างและสมบัติที่ต่างกันไป เช่น ปริมาณส่วนของผลึกและส่วนของอสัณฐาน ขนาดของผลึกและความแข็งแรงของโมเลกุล

การสร้างเซลลูโลสแอโรเจลในช่วงแรก Kistler (1931) และคณะได้ทำการเตรียมเซลลูโลสแอโรเจลจากเซลลูโลสและไนโตรเซลลูโลสที่ละลายในสารละลายอินทรีย์ทั่วไป พวกเขาเรียกสิ่งนี้เตรียมว่า “jellies” หลังจากนั้นได้ทำการแลกเปลี่ยนตัวทำละลาย (solvent exchange) และทำให้แห้งใน supercritical propane พบว่าการเตรียมด้วยวิธีนี้ไม่ทำให้โครงสร้างของรูพรุนยุบตัวหรือเสียหาย

2.5.1 การเตรียมเซลลูโลสแอโรเจล [26-30]

การเตรียมเซลลูโลสแอโรเจลโดยทั่วไปมีวิธีการหลักๆคือ การละลายเซลลูโลส การขึ้นรูป การแลกเปลี่ยนตัวทำละลาย (solvent exchange) และกระบวนการทำให้แห้ง ซึ่งก็จะทำให้ได้เซลลูโลสแอโรเจล

การละลายเซลลูโลส

เซลลูโลสประกอบไปด้วยพันธะไฮโดรเจนแบบร่างแหทั้งภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุลที่มีความแข็งแรงมาก มีความยาวของสายโซ่โมเลกุลสูงและมีความเป็นผลึกสูง ทำให้สามารถละลายในน้ำและตัวทำละลายทั่วไปได้ยาก ตัวทำละลายที่สามารถละลายเซลลูโลสได้ เช่น ลิเทียมคลอไรด์/ไดเมทิลแอสเตตาไมด์, นอร์แมล-เมทิลมอร์โฟลีน-นอร์แมล-ออกไซด์ (NMMO), ไอออนิกลิควิด, โซเดียมไฮดรอกไซด์/พอลิเอทิลีนไกลคอล และอัลคาไลน์ ไฮดรอกไซด์/ยูเรีย

การขึ้นรูป

การขึ้นรูปเซลลูโลสแอโรเจลสามารถขึ้นรูปได้หลากหลายรูปแบบ และหลายขนาด ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน โดยส่วนมากแล้วเซลลูโลสแอโรเจลจะมีลักษณะทรงกระบอก นอกจากนี้สามารถขึ้นรูปเป็นเม็บบีทขนาดต่างๆ ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มหรือแผ่นซีท เป็นต้น การขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มหรือแผ่นซีทสามารถกำหนดความกว้าง ความยาวและความหนาได้จากแม่แบบที่ใช้ในการขึ้นรูป การขึ้นรูปเป็นเม็บบีทสามารถทำได้โดยการหยดสารละลายเซลลูโลสลงในอ่างรีเจนเนอเรชัน หรือ ทำได้โดยการใช้เทคโนโลยีเจคคัตเตอร์ (Jet Cutter) ส่วนการขึ้นรูปเป็นเส้นใยสามารถทำได้โดยการฉีดผ่านหัวฉีดขนาดต่างๆ

การแลกเปลี่ยนตัวทำละลาย

การแลกเปลี่ยนตัวทำละลายเป็นการทำให้สารละลายเซลลูโลสที่เป็นของเหลวเกิดการแข็งตัวกลายเป็นเจล โดยในการแลกเปลี่ยนตัวทำละลายในครั้งแรก เรียกว่ากระบวนการรีเจนเนอเรชัน (regeneration) คือการรวมตัวกันเป็นโครงสร้างเซลลูโลสขึ้นมาใหม่หลังจากที่ทำการละลายเซลลูโลสด้วยตัวทำละลายต่างๆที่กล่าวมาในขั้นตอนการละลายเซลลูโลสข้างต้น ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้สารละลายเซลลูโลสแข็งตัวกลายเป็นเจล โดยอาศัยหลักการการแพร่ของสาร คือการเคลื่อนที่ของ

สารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารมากไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารน้อยโดยอาศัยพลังงานจลน์ของสาร

การทำให้แห้ง

โดยทั่วไปแล้วกระบวนการทำให้แห้งหรือการกำจัดของเหลวในไฮโดรเจลนิยมใช้เทคนิคการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) และการทำให้แห้งวิกฤตยิ่งยวด (supercritical drying) เพื่อช่วยกำจัดของเหลวและลดการยุบตัวของรูพรุนในแอโรเจล

การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง หมายถึง การทำให้แห้งด้วยการแช่เยือกแข็งโดยการทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งก่อน แล้วจึงลดความดันเพื่อให้ผลึกน้ำแข็งระเหิดเป็นไอ ด้วยการลดความดันให้ต่ำกว่าบรรยากาศปกติ ขณะควบคุมให้อุณหภูมิต่ำ (ที่อุณหภูมิต่ำกว่าหรือต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส น้ำแข็งระเหิดที่ความดันเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตรปรอทหรือต่ำกว่า)

ข้อดี ผลิตภัณฑ์มีความเสียหายต่ำ โครงสร้างผลิตภัณฑ์มีรูพรุนมาก ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สามารถคืนตัวได้อย่างรวดเร็ว

ข้อจำกัด เครื่องมือมีราคาแพงกว่าการทำแห้งชนิดอื่นๆ มีความสิ้นเปลืองเวลาและพลังงานในการดำเนินการมาก

การทำแห้งวิกฤตยิ่งยวด (supercritical drying) คือกระบวนการทำให้แห้งภายใต้อุณหภูมิและความดันที่สูง จึงจะทำให้ของเหลวภายในเจลจะถูกกำจัดออกไป โดยเจลไม่เสียรูปและขนาด ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีรูพรุน ทำให้แอโรเจลมีสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนและสามารถรับแรงกดได้มาก

จากสมบัติของเซลลูโลสแอโรเจลที่ดีเยี่ยม และวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์มีต้นทุนที่ไม่สูง ทำให้ในวงการวิทยาศาสตร์ปัจจุบันมีความสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาวัสดุเซลลูโลสแอโรเจลเพิ่มมากขึ้น

2.6 วัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน (Freeze/Thaw Cycles) [31]

วัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันเป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นในฤดูหนาวและฤดูใบไม้ผลิ เมื่อเกิดขึ้นหลายครั้งจะทำให้หินและวัสดุเกิดการผุกร่อน โดยปกติแล้ววัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายถูกใช้ทดสอบการผุกร่อนของวัสดุที่ใช้ภายนอก เช่น หินหรือวัสดุเซรามิก นอกจากนี้ยังใช้ทดสอบความคงตัวของผลิตภัณฑ์จำพวกครีม วัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันนี้เมื่อน้ำที่อยู่ในวัสดุเกิดการแข็งตัวเป็นของแข็งจะส่งผลให้น้ำขยายตัวเพิ่มขึ้น 9 % การขยายตัวของโมเลกุลของน้ำส่งผลให้แรงดันเกิดขึ้นภายในรูพรุนของวัสดุ และถ้าแรงดันเกินความสามารถในการขยายตัวของวัสดุแล้ว รูพรุนภายในวัสดุจะเกิดการขยายตัวทำให้วัสดุเกิดการแตกในที่สุด

2.7 กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)

การดูดซับ (sorption) เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สถานะ เช่น ของเหลวกับของแข็ง ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของเหลว ในกระบวนการดูดซับโมเลกุล อะตอม หรือไอออนในแก๊สหรือของเหลวจะแพร่เข้าไปยังพื้นผิวของของแข็ง พื้นระบบริเวณผิวหน้าของของแข็งจะเกิดแรงภายในโมเลกุลอ่อนๆ ความเข้มข้นของสารลดลงเนื่องจากอนุภาคของสารเดิมที่อยู่ภายในของเหลวถูกดูดติดบนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

ตัวดูดซับ (adsorbent) คือสารที่ทำหน้าที่ดูดซับสารเคมีเอาไว้ ขณะที่ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) คือสารประกอบในเฟสของเหลวซึ่งถูกแยกไปยังตัวดูดซับ ซึ่งในกระบวนการดูดซับในงานวิจัยนี้ใช้คลอไรด์เรเตอร์อลเป็นสารดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างของแข็งกับของเหลว

2.7.1 กลไกของกระบวนการดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) เป็นกระบวนการที่พวกสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะแบบ ของเหลว-ของแข็ง (liquid–solid interface)

ในการดูดซับผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับโดยในการเกาะติดจะมี Driving Force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

2.7.2 ประเภทของการดูดซับ [32-35]

ทฤษฎีที่ใช้ในการอธิบายการดูดซับสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท

1. การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) เป็นการดูดซับที่เกิดจากจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน เมื่อผลจากแรงดึงดูดของตัวดูดซับที่มีต่อโมเลกุลใดๆ มีค่ามากกว่าพลังงานจลน์ของโมเลกุลสารนั้น ทำให้โมเลกุลของสารที่อยู่ในของเหลวมาสัมผัสที่ผิวของของแข็งโดยโมเลกุลของสารในของเหลวจะเกาะติดกับโมเลกุลของของแข็งยึดกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เนื่องจากการแพร่ของตัวถูกดูดซับไปบนผิวของตัวดูดซับ ปฏิกิริยาการนี้เกิดไม่จำเพาะเจาะจงเฉพาะบริเวณใดบริเวณหนึ่งที่พื้นผิวของตัวดูดซับ สามารถเกิดได้ทั่วทั้งบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับ การดูดซับทางกายภาพเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้อย่างรวดเร็วรวมทั้งเกิดการดูดซับได้ทั้งแบบโมโนเลเยอร์และมัลติเลเยอร์ เมื่อแรงภายในโมเลกุลระหว่างโมเลกุลของสารภายในของเหลวและของแข็ง (ตัวดูดซับ) จะมีมากกว่าแรงระหว่างโมเลกุลของของเหลว สารจะถูกดูดซับไปยังบริเวณผิวหน้าของตัวดูดซับ

2. การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) เมื่อผ่านการยึดเกาะของโมเลกุลที่อยู่ในของเหลวเป็นขั้นๆ ในขั้นตอนการดูดซับทางกายภาพแล้วจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ซึ่งเป็นขั้นตอนการดูดซับทางเคมี เกิดการสร้างพันธะ

ทางเคมีระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ซึ่งเมื่อเกิดกระบวนการนี้แล้วจะเกิดการผันกลับได้ยากหรือไม่สามารถเปลี่ยนกลับไปแบบเดิมได้ และปรากฏการณ์นี้จะเกิดเฉพาะเจาะจงกับพื้นผิวที่เฉพาะบริเวณใดบริเวณหนึ่งเท่านั้น ในตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี [35]

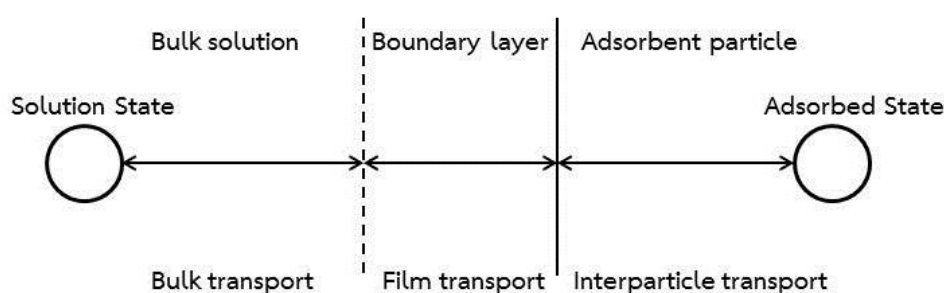
การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1. ไม่จำเพาะเจาะจงเฉพาะบริเวณใดบริเวณหนึ่งที่พื้นผิว	1. เกิดเฉพาะเจาะจงกับพื้นผิวบริเวณใดบริเวณหนึ่งเท่านั้น
2. เกิดการดูดซับได้ทั้งแบบโมโนเลเยอร์และมัลติเลเยอร์	2. เกิดการดูดซับแบบโมโนเลเยอร์เท่านั้น
3. ยึดกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์	3. ยึดกันด้วยพันธะเคมี
4. เกิดปฏิกิริยาผันกลับได้	4. เกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ยาก

2.7.3 ขั้นตอนที่เกิดขึ้นในการดูดซับ [34]

ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับดังรูปที่ 2.15 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการขนส่งอนุภาค (bulk transport) เป็นขั้นตอนที่เกิดอย่างรวดเร็ว โมเลกุลของตัวถูกดูดซับที่อยู่ภายในของเหลวเคลื่อนที่เข้าหาผิวของฟิล์มตัวดูดซับ โดยที่ของเหลวหรือน้ำหล่อหุ้มสารดูดซับไว้เคลือบบางๆที่บริเวณผิวของฟิล์ม
2. ขั้นตอนการขนส่งชั้นฟิล์ม (film diffusion) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่เข้ามาถึงตัวดูดซับโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะแพร่ผ่านฟิล์มและเข้าสู่ผิวตัวดูดซับ
3. ขั้นตอนการขนส่งภายในอนุภาค (pore diffusion) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับแทรกตัวผ่านฟิล์มที่เคลือบผิวตัวดูดซับได้แล้วจะพยายามแทรกตัวเข้าไปถึงช่องว่าง (pore) ที่อยู่ภายในตัวดูดซับเกิดการดูดซับขึ้นภายใน

4. ขั้นตอนการดูดซับ (adsorption) เมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเข้าถึงบริเวณที่เป็นผิวของตัวดูดซับจะเกิดการสร้างพันธะระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ กระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในกระบวนการดูดซับแบบกายภาพ (physical adsorption) เมื่อใดก็ตามที่ขั้นตอนการดูดซับเป็นการดูดซับแบบเคมี (chemical adsorption) ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางธรรมชาติของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาจะช้า ในขั้นตอนการดูดซับนี้ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดอัตราในการดูดซับโมเลกุลต่างๆออกจากสารละลาย



รูปที่ 2.15 ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไปยังตัวดูดซับ [34]

2.7.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ [33]

1. ธรรมชาติของตัวดูดซับ (nature of the adsorption)

พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ เมื่อพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมากขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น

ขนาดการกระจายตัวของรูพรุน คือ รูพรุนที่มีขนาดเล็ก (micropores) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนน้อยกว่า 2 อังสตรอม รูพรุนขนาดกลาง (mesopores) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนมากกว่า 2 อังสตรอม แต่น้อยกว่า 500 อังสตรอม และรูพรุนขนาดใหญ่ (macropores) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนมากกว่า 500 อังสตรอม

โครงสร้างของรูพรุน โครงสร้างของรูพรุนช่วยให้พื้นผิวสามารถดูดซับเพิ่มมากขึ้น กรณีที่ตัวดูดซับไม่มีรูพรุน เมื่อขนาดของตัวดูดซับลดลงส่งผลให้พื้นผิวเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น ขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับได้ ความสามารถในการดูดซับจะลดลง และถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับได้ การดูดซับก็จะเพิ่มขึ้น

2. ธรรมชาติของตัวถูกดูดซับ (nature of the adsorbate)

ความสามารถในการละลายของตัวถูกดูดซับมีผลต่อการดูดซับ ตัวถูกดูดซับที่มีความสามารถในการละลายสูง แนวโน้มของการดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับจะลดลง เนื่องจากก่อนเกิดกระบวนการดูดซับต้องมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อน

น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล เมื่อน้ำหนักและขนาดของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น

ความมีขั้วของโมเลกุล เมื่อมีความเป็นขั้วมากขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับลดลง

3. อุณหภูมิ (temperature)

ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับ ผลของอุณหภูมิขึ้นอยู่กับวัสดุดูดซับมีกระบวนการดูดซับแบบใด ถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพ อุณหภูมิจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหรือไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนการดูดซับทางเคมี อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนจะช่วยเร่งการสร้างพันธะเคมีให้เร็วขึ้น และเพิ่มโอกาสที่ตัวดูดซับจะเคลื่อนที่เข้าสัมผัสกับตำแหน่งดูดซับได้มากขึ้น

2.7.5 แรงของการดูดซับ (adsorption force) [32, 35]

ในกระบวนการดูดซับ จะเกิดการดูดซับด้วยแรงทางกายภาพ (physical force) และแรงทางเคมี (chemical force) แรงทางกายภาพ ได้แก่ แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waal's force) แรงไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic force) ส่วนแรงทางเคมีจะเป็นผลเนื่องมาจากการปฏิสัมพันธ์ (interaction) ในช่วงสั้นๆ รวมถึงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนบริเวณผิวด้านใน ซึ่งจะเกิดกลไกการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ (ligand exchange) พันธะโควาเลนต์ (covalent bonding) และพันธะไฮโดรเจน

1. แรงแวนเดอร์วาลส์ โมเลกุลที่ไม่มีสภาพขั้วหรืออะตอมที่อยู่อย่างอิสระ สามารถเกิดแรงดึงดูดอ่อนๆได้ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบภายในอะตอมหรือโมเลกุล ทำให้ความหนาแน่นของกลุ่มอิเล็กตรอนในแต่ละบริเวณภายในอะตอมหรือโมเลกุลไม่เท่ากัน ส่งผลให้เกิดสภาพขั้วขึ้น สามารถถูกดูดซับด้วยสารดูดซับได้ การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานในการดูดซับต่ำจะเป็นการเกาะจับกันด้วยแรงอ่อนๆเท่านั้น สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้

2. แรงไฟฟ้าสถิตย์ ขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 อย่างที่สำคัญ ได้แก่ การจัดเรียงตัวของโมเลกุล (molecular orientation), การแพร่ (dispersion) และการเหนี่ยวนำไฟฟ้า (induction)

2.1 แรงดึงดูดที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุล (การดูดซับระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว) เกิดจากการจัดเรียงโมเลกุลที่มีขั้ว 2 โมเลกุล คือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้ามที่เกิดจากขั้วลบของโมเลกุลหนึ่งกับขั้วบวกของอีกโมเลกุลหนึ่ง

2.2 การกระจายตัวของอิเล็กตรอนอย่างสม่ำเสมอ (การดูดซับระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว) เกิดจากผลของการกระจายตัว เป็นผลจากการที่โมเลกุลไม่มีขั้วสามารถเปลี่ยนเป็นไดโพลโมเลกุลได้เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมาก และเมื่อโมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะเช่นเดียวกันเข้ามา ก็จะทำให้เกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน และมักเป็นแรงที่อ่อน เช่น อินทรียสาร และถ่านกัมมันต์ ทั้งนี้เนื่องจากอินทรียสารส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว

2.3 แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลทำให้เกิดการเหนี่ยวนำ (การดูดซับระหว่างโมเลกุลที่มีขั้วและไม่มีขั้ว) เป็นผลเนื่องมาจากการเหนี่ยวนำ โดยโมเลกุลที่มีขั้วเข้ามาอยู่ใกล้โมเลกุลที่ไม่มีขั้วแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดประจุที่ตรงกันข้ามซึ่งจะทำให้เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกัน

3. แรงกระทำทางเคมี แรงทางเคมีเป็นการยึดเหนี่ยวกันระหว่างไอออนกับสารดูดซับเกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน การที่โลหะหนักสามารถดูดซับไว้ที่ผิวของสารดูดซับต่างๆ ที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับหมู่ฟังก์ชันที่ผิวของสารดูดซับได้ แรงทางเคมีมีลักษณะดังนี้

3.1 เป็นพันธะเคมีที่เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันหรือให้อิเล็กตรอน หรือเกิดจากการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนมีผลทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวมากกว่าแรงทางกายภาพ

3.2 ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ เพราะมีแรงยึดเหนี่ยวที่มากและมีการจับกันเป็นสารประกอบเคมี

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Gavillon และ Budtova [36] ได้ทำการศึกษาการเตรียมเซลลูโลสแอโรเจลด้วยตัวทำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยเริ่มจากการนำเซลลูโลสมากระจายตัวในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นทำการแลกเปลี่ยนตัวทำละลายและกำจัดน้ำออกโดยการทำให้แห้งแบบวิกฤตยิ่งยวดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์เหลว (supercritical CO₂) ได้เป็นเซลลูโลสแอโรเจล เมื่อนำเซลลูโลสแอโรเจลที่ได้ไปตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและทำการวัดพื้นที่ผิวสัมผัสและปริมาตรของรูพรุนด้วยเทคนิคการดูดซับและคายก๊าซไนโตรเจน พบว่า เซลลูโลสแอโรเจลที่ได้มีความเป็นรูพรุนสูงกว่าร้อยละ 95 มีขนาดของรูพรุนอยู่ระหว่าง 10 นาโนเมตร ถึง 10 ไมโครเมตร มีพื้นที่ผิวสัมผัสประมาณ 200-300 ตารางเมตรต่อกรัม และมีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.06 ถึง 0.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสมบัติของแอโรเจลจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ความยาวของสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสและความเข้มข้นของเซลลูโลส ซึ่งเมื่อความยาวของสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสมากขึ้นจะทำให้แอโรเจลมีพื้นที่ผิวสัมผัสและขนาดของรูพรุนที่มากขึ้น และเมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลสจาก 3-7 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.06-0.3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อความเข้มข้นของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นจะมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

Kwon และคณะ [37] ได้ศึกษาโครงสร้างและสมบัติการดูดซับของโฮโลเซลลูโลสแอโรเจล (holocellulose aerogel) ที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายในระบบตัวทำละลายอัลคาไลน์ไฮดรอกไซด์/ยูเรีย ผู้วิจัยได้นำต้นทิวลิปมาใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการเตรียมเซลลูโลสแอโรเจล โดยนำมาละลายในตัวทำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมกับยูเรีย ที่อุณหภูมิ -2, -4, -8 และ -10 องศาเซลเซียส แล้วนำไปปั่นแยกเพื่อกำจัดฟองอากาศออกจากสารละลาย ทำให้ได้สารละลายไฮโดรเจลสองชั้น จากนั้นนำสารละลายทั้งสองชั้นมาทำการแลกเปลี่ยนตัวทำละลายด้วยน้ำและกำจัดน้ำออกด้วยเทคโนโลยีการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง จากการวิเคราะห์วัดปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัสและปริมาณรูพรุนด้วยเทคนิคการดูดซับและคายก๊าซไนโตรเจน พบว่าแอโรเจลที่ได้จากสารละลายชั้นบนของสารละลายที่อุณหภูมิ -2, -4, -8 และ -10 องศาเซลเซียส มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 205.2, 232.7, 246.2 และ 285.1 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ แต่ในสารละลายชั้นล่างที่อุณหภูมิ -2, -4, -8 และ -10 องศาเซลเซียส มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 154.8, 155.2, 184.8 และ 209.8 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ

ปริมาณรูพรุนทั้งหมดของแอโรเจลที่ได้จากสารละลายชั้นบนมีปริมาณ 1.04-1.17 ลูกบาศก์เมตรต่อกรัมและแอโรเจลที่ได้จากสารละลายชั้นล่างมีปริมาณ 0.78-2.21 ลูกบาศก์เมตรต่อกรัมและแอโรเจลที่ได้ทั้งหมดมีขนาดของรูพรุนอยู่ในช่วง 73.0-285.1 อังสตรอม จากการศึกษาก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมบัติของแอโรเจลคืออุณหภูมิที่ใช้ในการละลายเซลล์โลสและความเข้มข้นของเซลล์โลส

Nguyen และคณะ [19] ได้สังเคราะห์แอโรเจลจากเศษกระดาษที่ใช้แล้วที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำหรือน้ำมัน และใช้เป็นฉนวนความร้อน โดยเริ่มจากการนำเอาเศษกระดาษที่ใช้แล้วไปกระจายตัวในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมยูเรีย แล้วนำมารีเจนเนอเรตเป็นเซลล์โลสด้วยเอทานอล จากนั้นนำมาแลกเปลี่ยนตัวทำละลายและทำให้แห้งด้วยเทคนิคการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง เมื่อนำแอโรเจลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเซลล์โลสแอโรเจลที่เตรียมได้มีโครงสร้างแบบร่างแห มีขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 40-200 ไมโครเมตร มีความหนาแน่นอยู่ที่ประมาณ 0.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความเป็นรูพรุนอยู่ที่ร้อยละ 94.8 เมื่อนำแอโรเจลไปทำการวิเคราะห์หาค่าการดูดซับ พบว่าแอโรเจลที่ได้มีสมบัติในการดูดซับที่ค่อนข้างสูง สามารถดูดซับได้ 18-20 เท่าของน้ำหนักแห้ง และสามารถทำการกำจัดน้ำออกจากแอโรเจลที่ทำการดูดซับน้ำโดยวิธีการบีบเอาน้ำออกได้ถึงร้อยละ 99.8 เมื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลโดยการทดสอบแรงดึงและแรงกดพบว่าแอโรเจลที่ได้มีความทนแรงดึง (tensile strength) ประมาณ 1470 ปาสคาล มีความทนแรงดึงที่จุดคราก (yield strength) ประมาณ 1080 ปาสคาล และมีมอดูลัส (Young's modulus) ประมาณ 11 กิโลปาสคาล จากนั้นนำแอโรเจลที่ได้บางส่วนไปทำการเคลือบด้วยสารเมทิลไตรเมทอกซีไซเลน (MTMS) เพื่อให้แอโรเจลมีลักษณะเป็นวัสดุไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ไปทดสอบการดูดซับน้ำมัน พบว่า แอโรเจลสามารถดูดซับน้ำมันเครื่องได้ประมาณ 18 เท่าของน้ำหนักแห้ง และสามารถดูดซับน้ำมันสำหรับทำอาหารได้ประมาณ 17.6 เท่าของน้ำหนักแห้ง และสุดท้ายนำไปทำการทดสอบการนำความร้อน พบว่าแอโรเจลที่ได้มีค่าการนำความร้อนเพียง 0.029-0.032 วัตต์/เมตรเคลวิน จากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าแอโรเจลที่เตรียมจากเศษกระดาษใช้แล้วมีความสามารถในการดูดซับสูงและเป็นฉนวนความร้อนที่ดี

Li และคณะ [38] ได้ศึกษาการละลายของเซลล์โลสจากวัตถุดิบที่แตกต่างกันคือ ไม้ ไม้ไผ่ และป่านรามิ ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมยูเรียที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าสามารถละลายเซลล์โลส

ได้ภายในเวลา 2 นาที ยืนยันผลได้จากการทดสอบจากกล้องจุลทรรศน์แบบเชิงแสง (optical microscope) फिल्मเซลลูโลสที่เตรียมได้มี รูพรุนขนาดไมโครเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน ในช่วง 100-300 นาโนเมตร फिल्मที่เตรียมได้มีสมบัติเชิงกลที่ดีและมีค่าการส่องผ่านแสงที่ดี เป็นผลมาจากโครงสร้างที่มีลักษณะเหมือนกัน นอกจากนี้ สมบัติเชิงกลที่แตกต่างกัน เป็นผลมาจากปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณผลึกของเซลลูโลส น้ำหนักโมเลกุล และโครงสร้างที่แตกต่างกันของวัตถุดิบ เซลลูโลสที่มา จากแหล่งที่มาต่างกันสามารถละลายได้ในระบบโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมยูเรีย

McIntosh และคณะ [39] ได้ศึกษาอิทธิพลของเส้นใยอาหารจาก 2 แหล่งวัตถุดิบ คือ ข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลีในการดูดซับไขมันและกลูโคสในเส้นเลือด โดยให้ผู้ชายที่มีภาวะไขมันในเลือดสูง ได้รับอาหารจากข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลี โดยให้ผู้ทดลองรับประทานอาหารประเภท ขนมปัง มูสลีสปาเกตตี้ และบิสกิต ที่ทำจากข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลี ซึ่งบาร์เลย์อุดมด้วยเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ คือ เบต้ากลูแคน (Beta-glucan) ในขณะที่ข้าวสาลีประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสซึ่งไม่ละลายน้ำ จากผลการศึกษาการบริโภคข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลี มีผลต่อการลดลงของคลอเรสเตอรอลในเลือดและไขมันชนิดร้าย ในขณะที่ไตรกลีเซอไรด์และความเข้มข้นของกลูโคสไม่เปลี่ยนแปลงและเส้นใยอาหารจากข้าวบาร์เลย์มีประสิทธิภาพในการลดคลอเรสเตอรอลที่ดีกว่าเส้นใยอาหารจากข้าวสาลี ทั้งนี้เนื่องจากเบต้ากลูแคนบวมตัวและเป็นเจลในกระเพาะอาหารจึงดูดซับคลอเรสเตอรอลได้ดี ในขณะที่ข้าวสาลีมีเส้นใยอาหารที่ไม่มีรูพรุนและไม่พองตัว มีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อยจึงดูดซับคลอเรสเตอรอลได้ต่ำกว่า

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 ขอบเขตของงานวิจัย

การทดลองแบ่งเป็น 5 ส่วน

ส่วนที่ 1 การเตรียมไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลสจากเศษผ้าฝ้ายเหลือทิ้ง

ส่วนที่ 2 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนด้วยวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันจากสารละลายเซลลูโลสที่เตรียมด้วยระบบโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมกับยูเรีย โดยศึกษาผลของความเข้มข้นของไมโครคริสตัลลีนเซลลูโลส, ความเข้มข้นของกลีเซอรอล และจำนวนรอบการทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน

ส่วนที่ 3 การดัดแปรพื้นผิวฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำด้วยน้ำมันมะพร้าว

ส่วนที่ 4 การทดสอบสมบัติของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน นำฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนมาวิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน โดยศึกษาสัญญาณวิทยาของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน ร้อยละการหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

ส่วนที่ 5 การทดสอบการดูดซับคลอโรฟอร์มของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปร

3.2 วัสดุและสารเคมี

วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้สรุปได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วัสดุและสารเคมี

วัสดุและสารเคมี	เกรดและบริษัทที่ผลิต	หมายเหตุ
กลีเซอริน (Glycerine, $C_3H_8O_3$)	เกรดทางการค้าจาก บริษัทรวมเคมี 1986 จำกัด	
กรดแอซีติก (Acetic acid, CH_3COOH)	เกรด AR จาก บริษัท QRëC ประเทศนิวซีแลนด์	
กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) ความเข้มข้นร้อยละ 37	เกรด AR จาก บริษัท QRëC ประเทศนิวซีแลนด์	
เอทานอล (Ethanol, C_2H_6O) ความเข้มข้นร้อยละ 99.9	เกรด AR จาก บริษัท QRëC ประเทศนิวซีแลนด์	
คลอเรสเตอรอล (Cholesterol)	เกรด AR จาก บริษัท Loba Chemie Pvt. Ltd.	
น้ำมันมะพร้าวสกัดเย็น (Coconut Oil)	บริษัท ทropicคอล นูทริชั่น จำกัด	
เศษผ้าฝ้ายที่ผ่านการฟอกขาว	ได้รับการอนุเคราะห์จาก บริษัท ราชาอุชิโน จำกัด	
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ชนิดเกล็ด	เกรดอุตสาหกรรม	
ยูเรีย (Urea, CH_4N_2O)	เกรดอุตสาหกรรม	

วัสดุและสารเคมี	เกรดและบริษัทที่ผลิต	หมายเหตุ
เมทานอล (Methanol, CH ₃ OH)	เกรดอุตสาหกรรม	
อะซิโตน (Acetone, C ₃ H ₆ O)	เกรดอุตสาหกรรม	

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่นำมาใช้ในงานวิจัยสรุปได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เครื่องมือที่นำมาใช้ในการทดลอง

ชื่อเครื่องมือ/อุปกรณ์	รุ่น/บริษัทผู้ผลิต
เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	
1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)	JSM 5410 LV/ JEOL., Ltd./ Japan
2. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Ultraviolet-visible spectroscopy)	SPECORD S 100/ Analytik Jena
3. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)	Nicolet 6700/ Thermo Fisher Scientific Inc./ United States of America

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

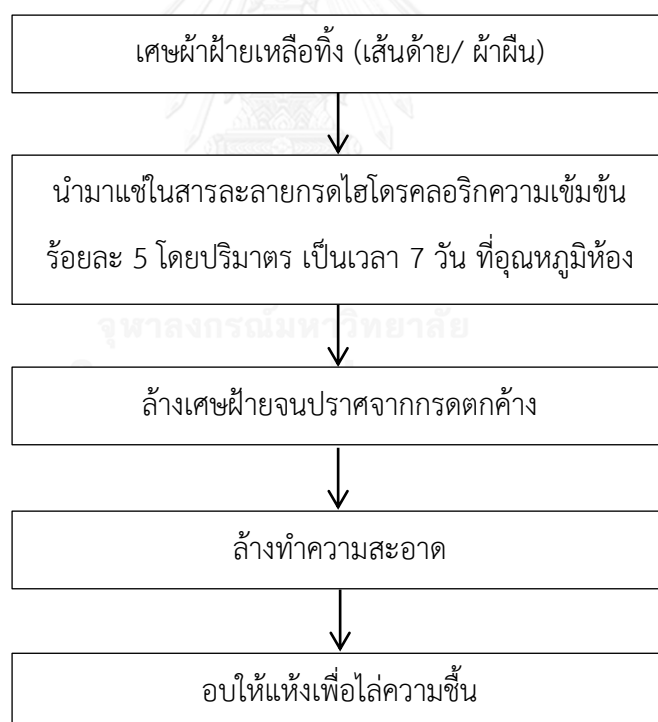
1. อุปกรณ์เครื่องแก้ว (ปิเกตอร์ กระบอกตวง ขวดปรับปริมาตร)
2. เครื่องชั่งทศนิยมสองตำแหน่ง
3. แม่แบบขึ้นรูปพลาสติก

4. กระดาษวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง
5. เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน (Hot plate Stirrer)
6. เครื่องแช่เยือกแข็ง (Freezer)

3.4 การทดลอง

3.4.1 การเตรียมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเศษฝ้ายเหลือทิ้ง

นำเศษผ้าฝ้ายเหลือทิ้งมาแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร เป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการย่อยสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสให้สั้นลงและกำจัดส่วนอสัณฐานในเซลลูโลสให้หมดไป จากนั้นทำการล้างเศษฝ้ายที่ผ่านการแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกแล้วจนปราศจากกรดตกค้าง จากนั้นทำการล้างทำความสะอาดแล้วอบให้แห้งเพื่อไล่ความชื้น ขั้นตอนการเตรียมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลสจากเศษผ้าฝ้ายเหลือทิ้งสามารถเตรียมได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส

3.4.2 การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสที่มีรูพรุนระดับนาโนเมตรจากสารละลายเซลลูโลสที่เตรียมด้วยระบบโซเดียมไฮดรอกไซด์ผสมกับยูเรีย โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษาดังต่อไปนี้

1. ความเข้มข้นของไมโครคริสตัลลินเซลลูโลส ได้แก่ 5, 6 และ 7 % โดยน้ำหนัก หากใช้เซลลูโลสน้อยกว่า 5% จะทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปฟิล์มได้ ในขณะที่ใช้มากกว่า 7% สารละลายที่ได้มีความหนืดมาก ทำให้เทลงแม่พิมพ์ได้ยากและฟิล์มมีผิวไม่สม่ำเสมอ
2. ความเข้มข้นของกลีเซอรอล ได้แก่ 0, 10, 20 และ 30 % โดยปริมาตร ถ้าใช้ความเข้มข้นของสารละลายกลีเซอรอลมากกว่า 30% ส่งผลให้ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ได้มีความมันและไม่แห้ง
3. จำนวนรอบการทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน ได้แก่ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 รอบ ถ้าใช้จำนวนรอบการทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันมากกว่า 5 รอบ ทำให้รูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้นและฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนแตกหักได้

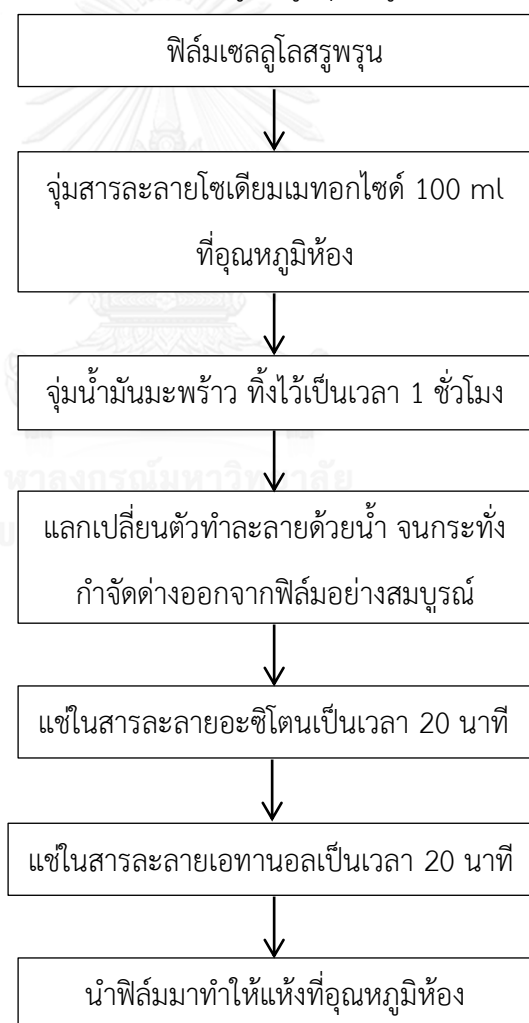
วิธีการเตรียมฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนเตรียมตั้งขึ้นตอนดังรูปที่ 3.2 โดยเริ่มจากการเตรียมสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ยูเรียความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก และน้ำร้อยละ 81 โดยน้ำหนัก [27, 29] จากนั้นนำเส้นใยเซลลูโลสที่ผ่านการแช่สารละลายกรดไฮโดรคลอริกไปกระจายตัวในสารละลายดังกล่าวข้างต้น ทำการผสมให้เข้ากัน แล้วนำของผสมไปลดอุณหภูมิในฟรีซเซอร์ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องจนละลาย แล้วนำของเหลวหนืดที่ได้เทลงในแม่พิมพ์ ทั้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ของเหลวหนืดกลายเป็นเจลแข็ง แล้วรีเจ็นเนอเรตและแลกเปลี่ยนตัวทำละลายด้วยน้ำจนกระทั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์และยูเรียถูกกำจัดออกจากฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนได้อย่างสมบูรณ์ นำฟิล์มเซลลูโลสเปียกที่ได้ไปแช่ในสารละลายกลีเซอรอลเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วนำฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ได้ไปทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันตามจำนวนรอบที่ต้องการศึกษา เพื่อให้ได้ฟิล์มเซลลูโลสที่มีรูพรุนระดับนาโนเมตร



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

3.4.3 การตัดแปรพื้นผิวฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำด้วยน้ำมันมะพร้าว

นำฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ได้จากข้อที่ 3.4.2 มาทำการตัดแปรพื้นผิวให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำโดยการนำฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนมาจุ่มในสารละลายโซเดียมเมทอกไซด์ (เมทานอล+โซเดียมไฮดรอกไซด์) 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาจุ่มน้ำมันมะพร้าวที่ผสมอะซิโตนเพื่อลดความหนืดของน้ำมันมะพร้าว ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ผ่านการตัดแปรแล้ว แลกเปลี่ยนตัวทำละลายด้วยน้ำจนกระทั่งกำจัดต่างออกจากฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนอย่างสมบูรณ์ นำฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ได้ไปแช่ในสารละลายอะซิโตนและสารละลายเอทานอลอย่างละ 20 นาที ตามลำดับ เพื่อกำจัดน้ำมันมะพร้าวที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน แล้วทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ตามขั้นตอนการตัดแปรพื้นผิวฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการตัดแปรพื้นผิวฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

3.5 การทดสอบสมบัติของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่เตรียมได้

3.5.1 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM

การตรวจสอบด้านสัณฐานวิทยาของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ JEOL รุ่น JSM-6400 ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เพื่อตรวจสอบพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน โดยตัดชิ้นงานขนาด 0.5×0.5 เซนติเมตร ไปติดกับแผ่นติดตัวอย่าง SEM เพื่อตรวจสอบสัณฐานวิทยาของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน โดยนำชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปทำการฉาบผิวด้วยทองคำด้วยเครื่อง sputter-coater ก่อนจะทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ใช้ศักย์ไฟฟ้า 10 กิโลโวลต์



รูปที่ 3.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM 6400

3.5.2 การตรวจสอบค่าการหดตัวของชิ้นงาน

การตรวจสอบค่าการหดตัวของชิ้นงานฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนด้วยการคำนวณหาร้อยละการหดตัวของชิ้นงาน จากพื้นที่ (กว้าง X ยาว) ของชิ้นงานก่อนนำไปทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันและหลังจากทิ้งไว้ให้แห้งหลังจากการทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันแล้ว ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

ร้อยละการหดตัวของชิ้นงาน

$$\frac{(\text{พื้นที่ก่อนทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน} - \text{พื้นที่หลังกระบวนการทำให้แห้ง}) \times 100}{\text{พื้นที่ก่อนทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน}}$$

พื้นที่ก่อนทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน

3.5.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนเปรียบเทียบกับฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าว โดยใช้เครื่อง FT-IR แสดงดังรูปที่ 3.5 ใช้โหมด Attenuated total reflectance spectroscopy (ATR) ตั้งแต่ wavenumber 400-4000 cm^{-1} มีจำนวนครั้งในการสแกน 32 ครั้ง



รูปที่ 3.5 เครื่อง FT-IR รุ่น Nicolet 6700

3.5.4 การดูดซับคลอเรสเทอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

การวิเคราะห์การดูดซับคลอเรสเทอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน โดยใช้เครื่อง Ultraviolet-visible spectroscopy ในการหาร้อยละการดูดซับคลอเรสเทอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน (% Adsorption) โดยทำการละลายสารคลอเรสเทอรอลที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน จากนั้นนำฟิล์มเซลลูโลสที่มีรูพรุน น้ำหนัก 0.25 กรัม มาแช่ในสารละลายคลอเรสเทอรอลที่เตรียมไว้ เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดให้นำฟิล์มออก แล้วเก็บตัวอย่างสารละลายก่อนและหลังการดูดซับคลอเรสเทอรอล แล้วนำตัวอย่างสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่ความยาวคลื่น 203.99 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุดของคลอเรสเทอรอล ด้วยเครื่อง Ultraviolet-visible spectroscopy ดังรูปที่ 3.6 แล้วสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายคลอเรสเทอรอล ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Abs) และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายคลอเรสเทอรอล จากนั้นหาร้อยละการดูดซับคลอเรสเทอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน (% Adsorption) สามารถคำนวณได้โดยอาศัยสมการที่

$$\% \text{ Adsorption} = 100 \times [1 - (C_t / C_{10})]$$

เมื่อ C_{10} คือ ค่าความเข้มข้นของสารละลายคลอเรสเทอรอลที่เก็บก่อนการดูดซับ

C_t คือ ค่าความเข้มข้นของสารละลายคลอเรสเทอรอลที่เก็บหลังการดูดซับที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 3.6 เครื่อง Ultraviolet-visible spectroscopy รุ่น SPECORD S 100

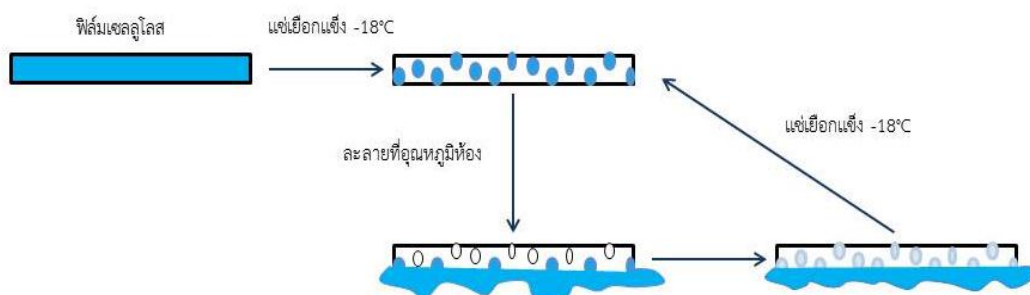
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ทำการเตรียมฟิล์มเซลล์โอสรูพรุนในระดับนาโนเมตร เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาความสามารถในการดูดซับคลอเรสเตอรอล ในการเตรียมเซลล์โอสรูพรุนในระดับนาโนเมตรได้อาศัยเทคนิควัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันซึ่งอิทธิพลของความเข้มข้นของเซลล์โอส ความเข้มข้นของกลีเซอรอล และจำนวนรอบของวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน เป็นอิทธิพลหลักที่มีผลต่อขนาดและเสถียรภาพรูพรุนของเซลล์โอส ซึ่งเสถียรภาพของรูพรุนจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลล์โอสรูพรุน

4.1 กลไกการเกิดรูพรุนของฟิล์มเซลล์โอสรูพรุน

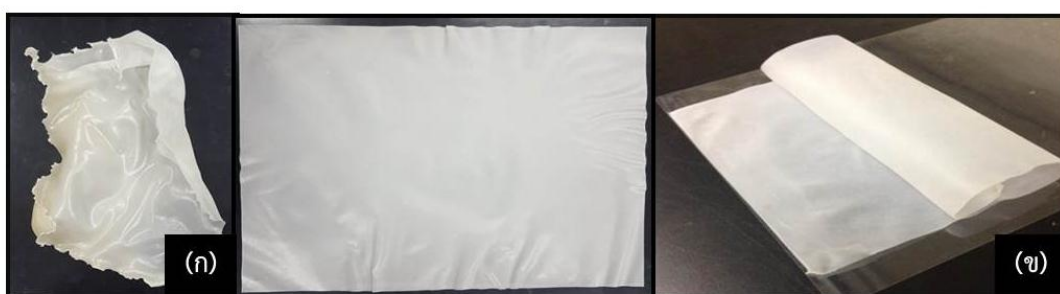
ในงานวิจัยนี้สร้างรูพรุนของฟิล์มเซลล์โอสรูพรุนดังรูปที่ 4.1 โดยใช้กลไกของวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน โดยเริ่มจากการนำฟิล์มเซลล์โอสไปแช่เยือกแข็ง ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้น้ำที่อยู่ภายในฟิล์มเกิดการแข็งตัวเป็นน้ำแข็ง จากนั้นนำมาทำให้ละลายที่อุณหภูมิห้อง ทำให้เกิดรูพรุนภายในฟิล์ม การทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันหลายๆรอบ ทำให้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในรูพรุนลดลงเรื่อยๆ



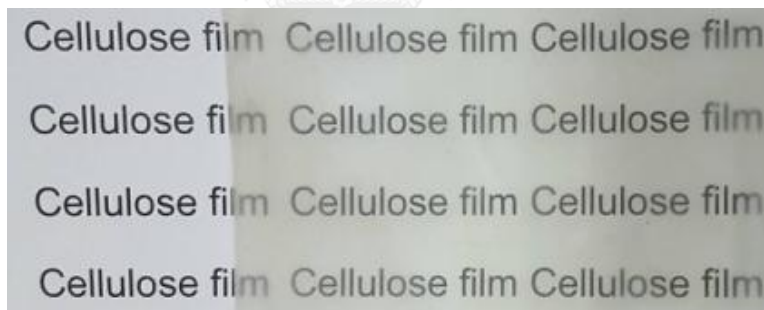
รูปที่ 4.1 กลไกการเกิดรูพรุนภายในฟิล์มเซลล์โอส

4.2 ลักษณะทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

รูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงลักษณะของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน ที่เตรียมจากสารละลายเซลลูโลส ความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์/ยูเรียและทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันจำนวน 5 รอบ รูปที่ 4.2 (ก) แสดงฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอลและ รูปที่ 4.2 (ข) แสดงฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอล ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร ที่ขึ้นรูปฟิล์มเซลลูโลสด้วยวิธีการหล่อ (casting) ที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 4.2 ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน (ก) ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอลและ (ข) ฟิล์มเซลลูโลสที่ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร



รูปที่ 4.3 ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

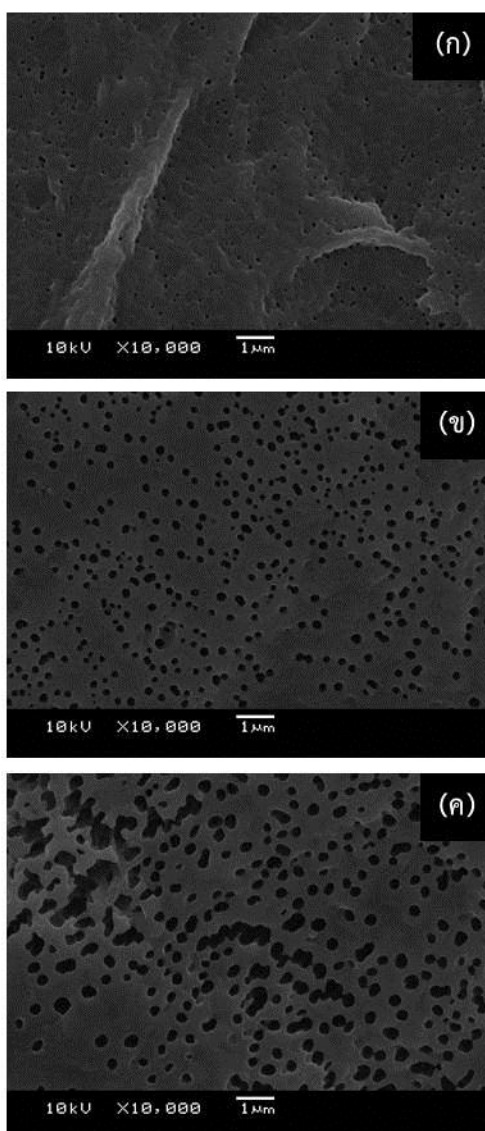
จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 พบว่า ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน (รูปที่ 4.3) มีลักษณะโปร่งแสงแบบขุ่น (translucent) เนื่องจากผลของกลีเซอรอลมีผลต่อความคงรูปของรูพรุนดังแสดงในรูป 4.3 ฟิล์มเซลลูโลสที่ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร ช่วยรักษาโครงสร้างของรูพรุน โดยที่กลีเซอรอลช่วยปรับปรุงความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและป้องกันการหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนหลังกระบวนการทำให้แห้ง ตรงกันข้ามกับฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอล ทำให้ฟิล์มเกิดการหดตัวและเปราะอย่างมาก เนื่องจากโครงสร้างรูพรุนเกิดการยุบตัวในขั้นตอนการระเหยออกของน้ำ

4.3 การตรวจสอบลักษณะพื้นฐานวิทยา

การตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มเซลล์โลสรูพรุนด้วยเทคนิค SEM

4.3.1 ผลของความเข้มข้นของเซลล์โลส

รูปที่ 4.4 แสดงสัณฐานวิทยาของฟิล์มเซลล์โลสรูพรุนที่เตรียมจากสารละลายเซลล์โลสที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ซึ่งตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดภายใต้กำลังขยาย 10,000 เท่า

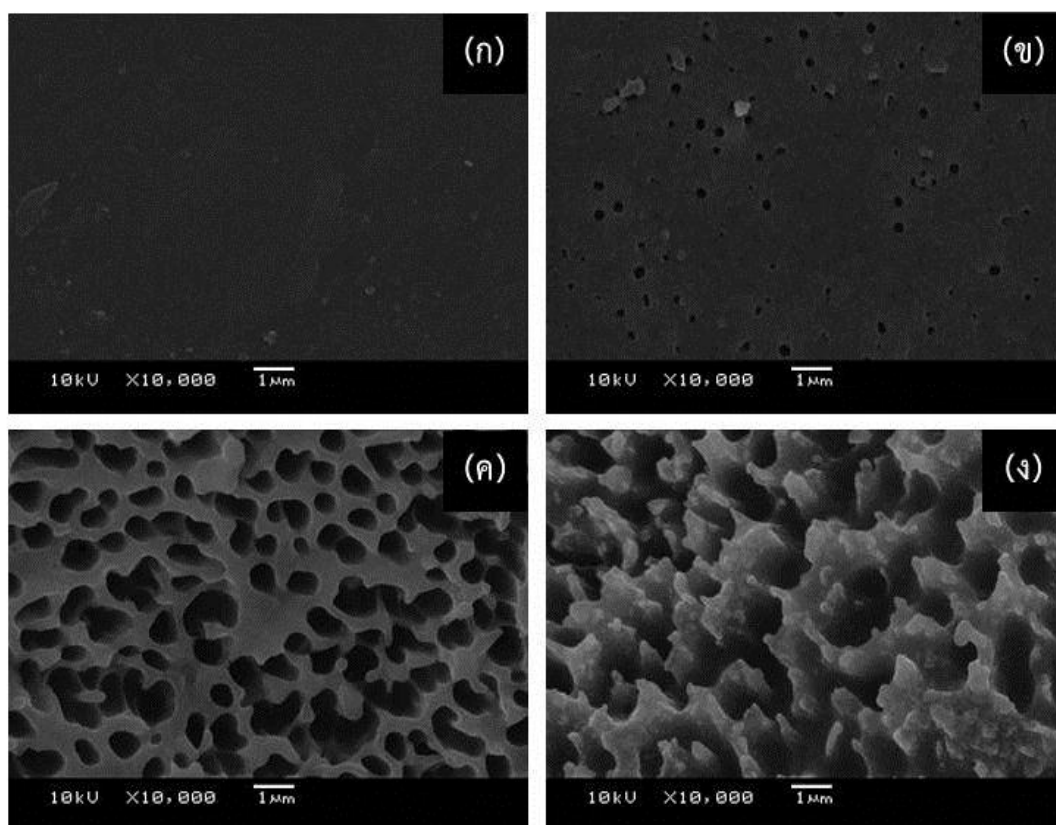


รูปที่ 4.4 ภาพ SEM ของฟิล์มเซลล์โลสรูพรุนที่เตรียมจากสารละลายเซลล์โลสความเข้มข้นร้อยละ 5 (ก), 6 (ข) และ 7 (ค) โดยน้ำหนัก

รูปที่ 4.4 แสดงภาพ SEM ของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่เตรียมจากสารละลายเซลลูโลสที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 5% (ก), 6% (ข) และ 7% (ค) โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยปริมาตร ทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันจำนวน 5 รอบ (รอบละ 30 นาที) ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ขนาดของรูพรุนและจำนวนรูพรุนเพิ่มขึ้น

4.3.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายกลีเซอรอล

รูปที่ 4.5 แสดงสัณฐานวิทยาของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ปรับสภาพในสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ซึ่งตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดภายใต้กำลังขยาย 10,000 เท่า

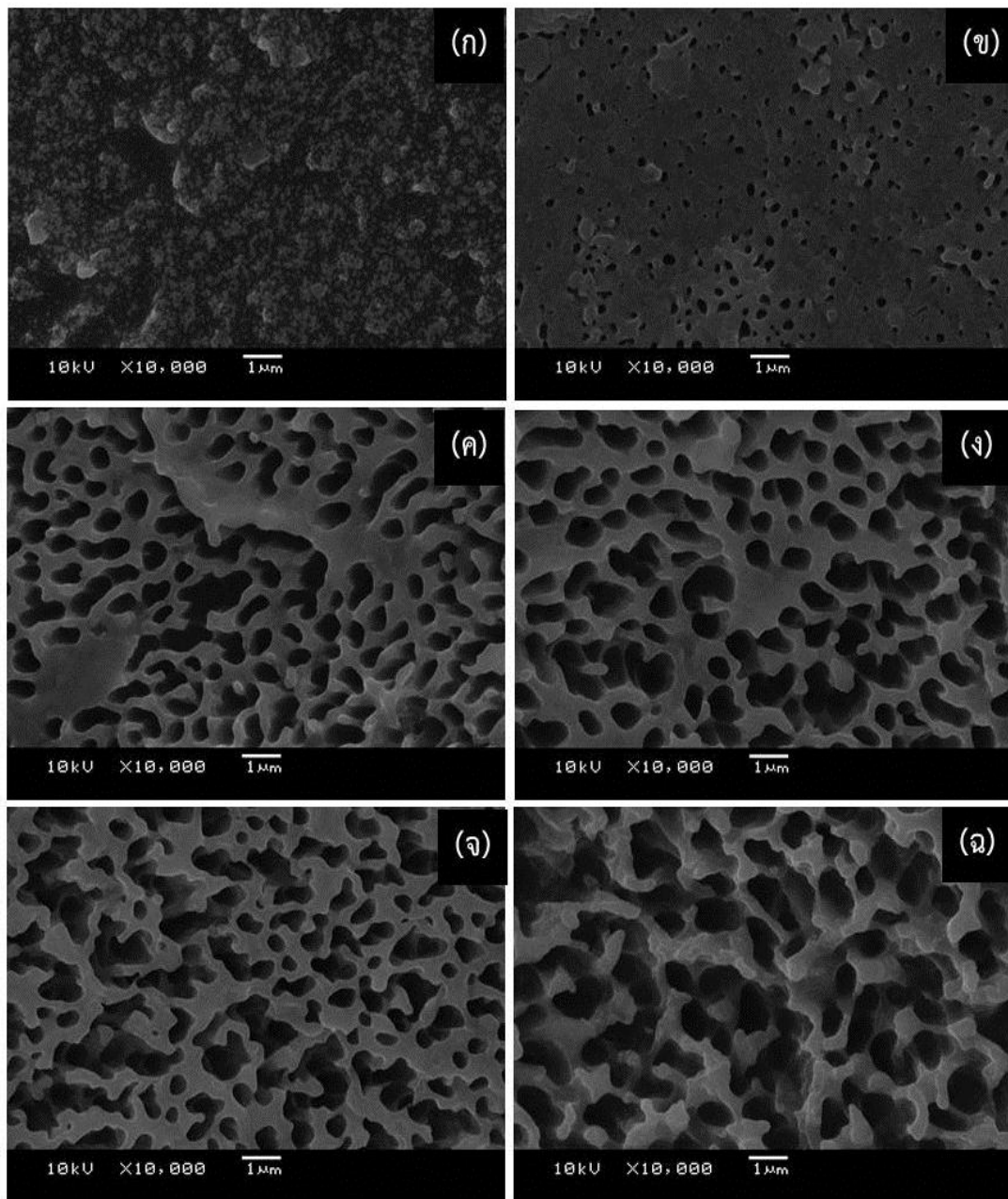


รูปที่ 4.5 ภาพ SEM ของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ปรับสภาพในสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 0 (ก), 10 (ข), 20 (ค) และ 30 (ง) โดยปริมาตร

จากรูปที่ 4.5 แสดงภาพ SEM ของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่เตรียมจากสารละลายเซลลูโลส ความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพในสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 0% (ก), 10% (ข), 20% (ค) และ 30% (ง) โดยปริมาตร ทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน จำนวน 3 รอบ (แช่เยือกแข็งรอบละ 30 นาที) พบว่า เมื่อปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอล ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น การยุบตัวของรูพรุนจะลดลง เนื่องจากกลีเซอรอลจะเข้าไปแทนที่น้ำบางส่วนในฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน และกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ไม่ระเหยออกจากฟิล์มเซลลูโลสเหมือนน้ำ จึงทำให้ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนไม่หดตัว และทำให้ฟิล์มมีความยืดหยุ่น ไม่เปราะหรือแตกหัก ในขณะที่ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอล ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนไม่มีรูพรุนปรากฏภายในฟิล์มเลย เกิดการยุบตัวของรูพรุนในขั้นตอนการระเหยออกของน้ำ

4.3.3 ผลของจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน

จากรูปที่ 4.6 แสดงสัณฐานวิทยาของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่เตรียมจากสารละลายเซลลูโลส ความเข้มข้น 7% โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้น 30% โดยปริมาตร ที่ทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันจำนวนรอบที่แตกต่างกัน 0 (ก), 1 (ข), 2 (ค), 3 (ง), 4 (จ) และ 5 (ฉ) รอบ ซึ่งตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดภายใต้กำลังขยาย 10,000 เท่า พบว่า การทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันจำนวนรอบที่มากขึ้นส่งผลให้รูพรุนภายในฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนมีขนาดใหญ่มากขึ้น เนื่องจากน้ำภายในฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน เมื่อนำไปแช่เยือกแข็ง น้ำเกิดการขยายตัวไปยังบริเวณที่ใกล้เคียงกันหรือน้ำที่ละลายไหลไปรวมกับบริเวณที่ยังไม่ละลาย เมื่อแช่แข็งอีกครั้ง รูพรุนจะเกิดการขยายและมีขนาดใหญ่ขึ้น



รูปที่ 4.6 ภาพ SEM ของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่มีจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน
0 (ก), 1 (ข), 2 (ค), 3 (ง), 4 (จ) และ 5 (ฉ) รอบ

4.4 อิทธิพลที่มีผลต่อขนาดรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

4.4.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายเซลลูโลส

ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน เมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารละลายเซลลูโลสแตกต่างกัน ความเข้มข้นของสารละลายเซลลูโลสร้อยละ 5%, 6% และ 7% โดยน้ำหนัก หลังจากปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยปริมาตร และทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันจำนวน 5 รอบ รอบละ 30 นาที พบว่าปริมาณความเข้มข้นของเซลลูโลสมากขึ้น ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนมีขนาดของรูพรุนเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1 อิทธิพลของปริมาณความเข้มข้นของเซลลูโลสที่มีผลต่อขนาดรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

ความเข้มข้นของเซลลูโลส (%)	ขนาดรูพรุน (nm)
5	86
6	151
7	209

4.4.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายกลีเซอรอล

ตารางที่ 4.2 แสดงขนาดรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนหลังจากปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ความเข้มข้นร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ที่มีความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 6 โดยน้ำหนักและจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันจำนวน 3 รอบ รอบละ 30 นาที พบว่าฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอล กลีเซอรอลจะเข้าไปแทนที่น้ำบางส่วนในฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนและไม่ระเหยออกจากฟิล์มเหมือนน้ำ เนื่องจากกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์เติมเพื่อปรับปรุงความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและป้องกันการยุบตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนหลังกระบวนการทำให้แห้ง รูพรุนจึงเกิดการคงรูป ในขณะที่ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอล เมื่อเกิดการระเหยของน้ำ ทำให้อุณหภูมิเกิดการยุบตัวจึงไม่ปรากฏรูพรุนภายในฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

ตารางที่ 4.2 อิทธิพลของปริมาณความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่มีผลต่อขนาดรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

ความเข้มข้นของกลีเซอรอล (%)	ขนาดรูพรุน (nm)
0	0
10	149
20	373
30	480

4.4.3 ผลของจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน

ตารางที่ 4.3 แสดงขนาดรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนหลังจากการทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันที่ความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 7 และปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 พบว่า ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนมีขนาดรูพรุนเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนรอบของวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันมากขึ้น เนื่องจากเมื่อนำไปแช่เยือกแข็ง น้ำเกิดการขยายตัวไปยังบริเวณที่ใกล้เคียงกันหรือน้ำที่ละลายไหลไปรวมกับบริเวณที่ยังไม่ละลาย เมื่อแช่แข็งอีกครั้ง ทำให้น้ำภายในรูพรุนเป็นน้ำแข็ง จึงเกิดการขยายตัวส่งผลให้รูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้น ขนาดของรูพรุนจึงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.3 อิทธิพลของจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันที่มีผลต่อขนาดรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

จำนวนรอบ freeze/thaw (รอบ)	ขนาดรูพรุน (nm)
0	0
1	147
2	366
3	410
4	431
5	674

4.5 อิทธิพลที่มีผลต่อการหดตัวของฟิล์มเซลล์โลสทรูพูน

การหดตัวของฟิล์มเซลล์โลสทรูพูน เกิดจากการระเหยของน้ำหรือความชื้นที่อยู่ภายในฟิล์ม ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำส่งผลให้เกิดแรงดึงดูดภายในรูพูน ทำให้ฟิล์มเกิดการหดตัว ปริมาตรของฟิล์มลดลง ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่หลังจากการทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันส่งผลต่อการหดตัวของฟิล์มเซลล์โลสทรูพูน

4.5.1 ผลของจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณการหดตัวของฟิล์มเซลล์โลสทรูพูนหลังจากการทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันที่ความเข้มข้นของเซลล์โลสทรูพูน 7 โดยน้ำหนัก และปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร พบว่า ฟิล์มเซลล์โลสทรูพูนมีปริมาณการหดตัวลดลงเมื่อจำนวนรอบของวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันมากขึ้น เนื่องมาจากการทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันมากขึ้น ทำให้มีการระเหยของน้ำและเกิดการสูญเสียน้ำ ปริมาณน้ำที่อยู่ภายในฟิล์มเซลล์โลสทรูพูนลดลง ทำให้เกิดรูพูนอย่างถาวร ปริมาณการหดตัวของฟิล์มเซลล์โลสทรูพูนลดลง ในขณะที่จำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันน้อย น้ำออกมาจากรูพูนไม่สมบูรณ์ ทำให้รูพูนภายในฟิล์มเซลล์โลสทรูพูนเกิดการยุบตัว ฟิล์มจึงเกิดการหดตัว

ตารางที่ 4.4 อิทธิพลของจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันที่ส่งผลต่อปริมาณการหดตัวของฟิล์มเซลล์โลสทรูพูน

จำนวนรอบ freeze/thaw (รอบ)	ปริมาณการหดตัว (%)
0	24.32 ± 2.45
1	24.10 ± 1.66
2	17.43 ± 1.54
3	13.98 ± 1.76
4	12.09 ± 3.89
5	9.74 ± 3.88

4.5.2 ผลของการปรับสภาพด้วยกลีเซอรอล

ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณการหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนหลังจากปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลที่มีความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก และรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันจำนวน 3 รอบ รอบละ 30 นาที พบว่า ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอล ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น การหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนลดลงและฟิล์มมีความยืดหยุ่น ไม่เปราะหรือแตกหัก เนื่องจากกลีเซอรอลทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์เติมเพื่อปรับปรุงความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและป้องกันการหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนหลังกระบวนการทำให้แห้ง กลีเซอรอลจะเข้าไปแทนที่น้ำบางส่วนในฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน ไม่ระเหยออกจากฟิล์มเซลลูโลสเหมือนน้ำ นอกจากนี้ยังมีสมบัติการดูดซับความชื้น ทำให้การหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนลดลง

ตารางที่ 4.5 อิทธิพลของปริมาณความเข้มข้นของกลีเซอรอลต่อปริมาณการหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

ความเข้มข้นของกลีเซอรอล (%)	ปริมาณการหดตัว (%)
0	62.11 ± 3.73
10	45.24 ± 1.06
20	39.90 ± 3.66
30	13.26 ± 3.69

4.5.3 ผลของความเข้มข้นของเซลลูโลส

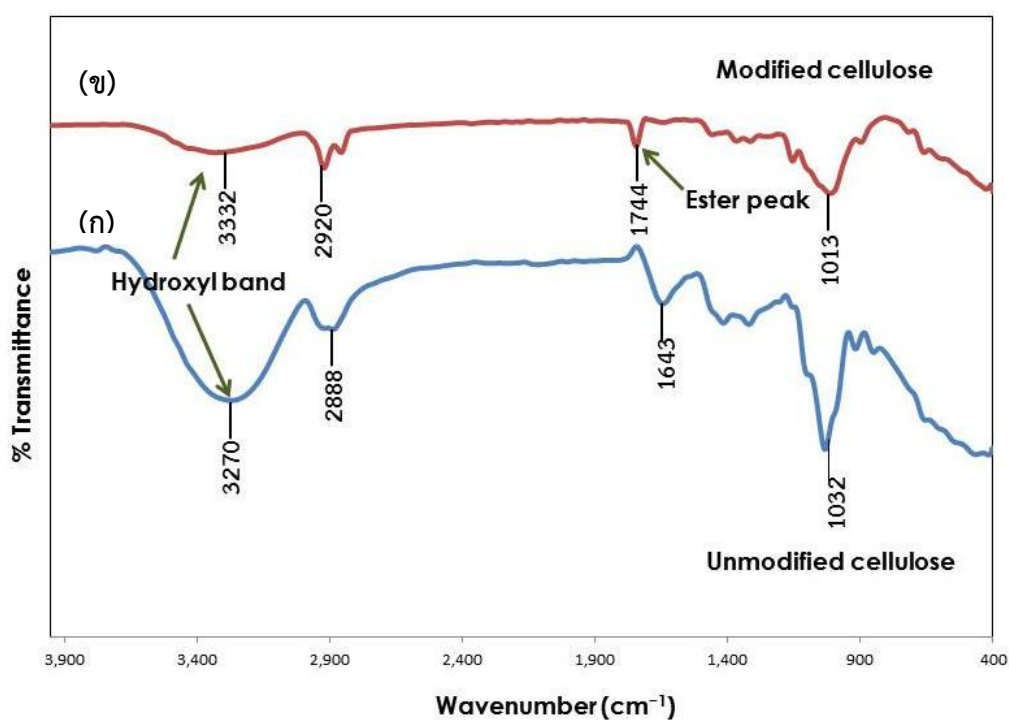
ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณการหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน เมื่อปริมาณความเข้มข้นของเซลลูโลสแตกต่างกัน หลังจากปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร และทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันจำนวน 3 รอบ รอบละ 30 นาที พบว่าปริมาณความเข้มข้นของเซลลูโลสมากขึ้น ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนมีปริมาณการหดตัวลดลง เนื่องจากมีปริมาณเซลลูโลสมากขึ้นจะเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลเซลลูโลสมากขึ้น ทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น การหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสลดลง

ตารางที่ 4.6 อิทธิพลของปริมาณความเข้มข้นของเซลลูโลสต่อปริมาณการหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

ความเข้มข้นของเซลลูโลส (%)	ปริมาณการหดตัว (%)
5	20.11 ± 3.05
6	19.23 ± 1.67
7	13.26 ± 3.69

4.6 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

รูปที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนและฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าวด้วยเทคนิค FT-IR



รูปที่ 4.7 FT-IR สเปกตรัมของ (ก) ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน และ (ข) ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปร

จากรูปที่ 4.7 (ก) แสดง FT-IR สเปกตรัมของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน ซึ่งแสดงพีกเอกลักษณ์ของ C-O-C, ที่เลขคลื่น 1032 cm^{-1} , C-H ที่เลขคลื่น 2888 cm^{-1} และพีกของหมู่ -OH บนผิวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่เลขคลื่น 3270 cm^{-1}

จากรูปที่ 4.7 (ข) แสดง FT-IR สเปกตรัมของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ดัดแปรพื้นผิวให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ด้วยน้ำมันมะพร้าว ซึ่งแสดงพีกเอกลักษณ์ของ C-O-C, C-H และ -OH ที่เลขคลื่น 1013, 2920 และ 3332 cm^{-1} ตามลำดับ นอกจากนี้ยังปรากฏพีกของเอสเทอร์ที่เลขคลื่น 1744 cm^{-1} เป็นการยืนยันการยึดติดของหมู่เอสเทอร์บนผิวฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนด้วยพันธะเคมี

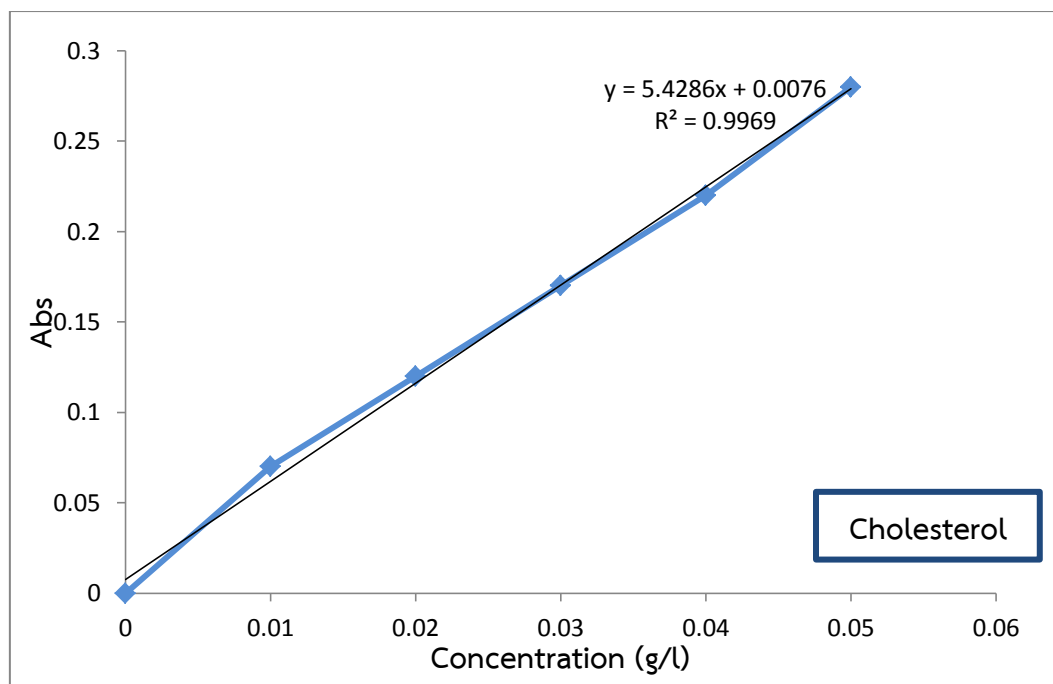
ในกรณีของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าวจะสังเกตเห็นว่าความเข้มของหมู่ไฮดรอกซิลลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ไม่ได้ดัดแปรพื้นผิว เนื่องจากพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรมีสภาพเปลี่ยนจากสมบัติไฮโดรฟิลิกเป็นสมบัติไฮโดรโฟบิกคือสมบัติไม่ชอบน้ำ ซึ่งจะปรากฏให้เห็นว่าหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวเซลลูโลสรูพรุนลดลงอันเนื่องจากการดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าว

4.7 การศึกษาประสิทธิภาพของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนต่อการดูดซับคลอเรสเทอรอล

การดูดซับของคลอเรสเทอรอลอาศัยเฉพาะแรงทางกายภาพแบบไฮโดรโฟบิก-ไฮโดรโฟบิก และพื้นที่ผิวสัมผัส ด้วยเหตุนี้เซลลูโลสรูพรุนที่ดัดแปรพื้นผิวให้มีสมบัติไฮโดรโฟบิกจึงคาดว่าจะสามารถมีประสิทธิภาพในการดูดซับคลอเรสเทอรอลได้ ในการทดลองนี้จึงได้ศึกษาผลของรูพรุนและการดัดแปรของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับดังนี้

4.7.1 การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายคลอเรสเทอรอล

กราฟมาตรฐานของสารละลายคลอเรสเทอรอล แสดงดังรูปที่ 4.8 ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Abs) และความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายคลอเรสเทอรอล คือ $y = 5.4286X + 0.0076$ โดยมีค่า $R^2 = 0.9969$

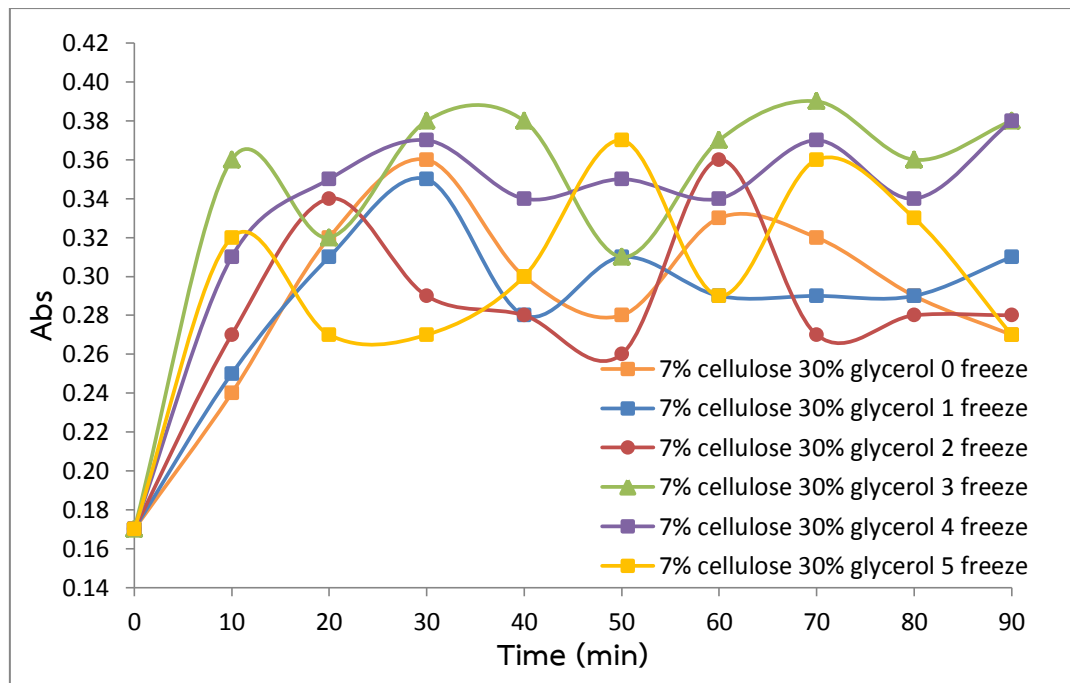


รูปที่ 4.8 กราฟมาตรฐานของสารละลายคอเลสเตอรอล ที่ความยาวคลื่น 203.99 นาโนเมตร

4.7.2 ผลของพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

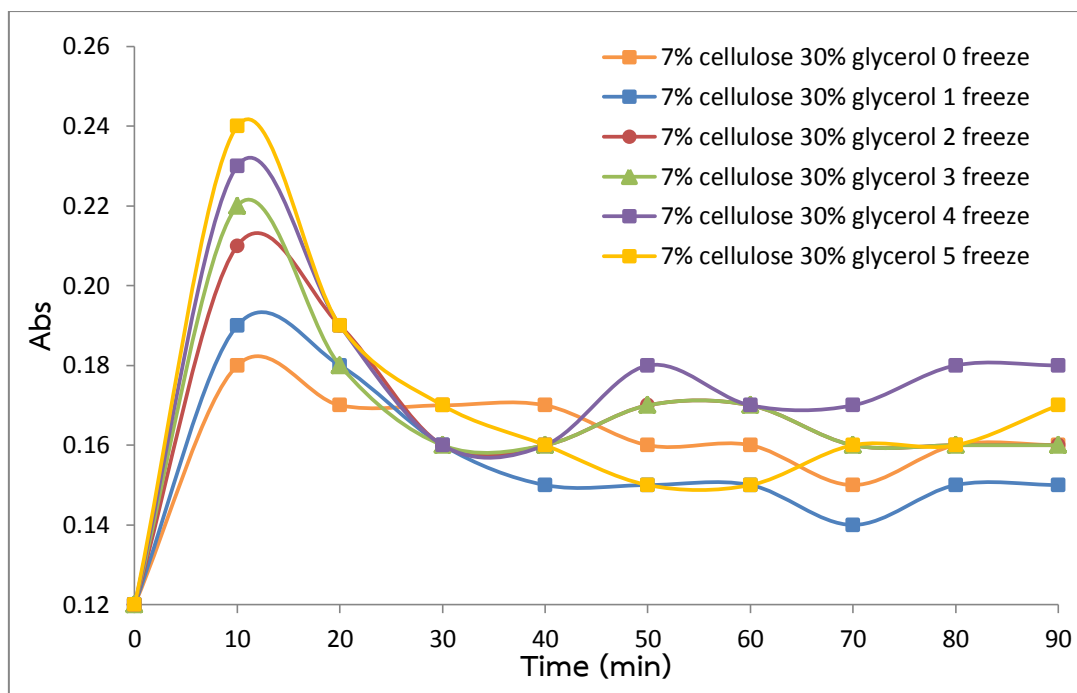
ความสามารถในการดูดซับคอเลสเตอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนก่อนการดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าวและหลังการดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าวดังรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10

ในกรณีของฟิล์มเซลลูโลสที่ไม่ได้ดัดแปรก่อนนำมาทดสอบหาร้อยละการดูดซับคอเลสเตอรอล จะทำการแช่เอทานอล 20 นาที ก่อนทำการดูดซับ เพื่อกำจัดกลีเซอรอลที่อยู่ในฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่อาจส่งผลกระทบต่อค่าการดูดกลืนแสง จากรูปที่ 4.9 ความสามารถในการดูดซับคอเลสเตอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่ไม่ได้ดัดแปรพื้นผิว จะมีการดูดซับและคายซับ เนื่องจากบริเวณพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนมีสมบัติไฮโดรฟิลิก ทำให้คอเลสเตอรอลไม่สามารถติดบนพื้นผิวฟิล์มได้ จึงไม่สามารถดูดซับคอเลสเตอรอลได้



รูปที่ 4.9 ความสามารถในการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลลูโลสสุพรรณก่อนการตัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าว

เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มเซลลูโลสสุพรรณที่ตัดแปรพื้นผิวด้วยน้ำมันมะพร้าว ดังแสดงรูปที่ 4.10 พบว่าฟิล์มเซลลูโลสสุพรรณตัดแปรมีประสิทธิภาพในการดูดซับคลอเรสเตอรอลได้ เนื่องจากพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสสุพรรณตัดแปรมีสภาพเปลี่ยนจากสมบัติไฮโดรฟิลิกเป็นสมบัติไฮโดรโฟบิกทำให้ฟิล์มเซลลูโลสสุพรรณสามารถยึดติดกับคลอเรสเตอรอลได้ด้วยแรงกายภาพ ในการทดลองนี้จึงทำการตัดแปรพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสสุพรรณด้วยน้ำมันมะพร้าวเพื่อให้ฟิล์มเซลลูโลสสุพรรณมีประสิทธิภาพในการดูดซับคลอเรสเตอรอลได้



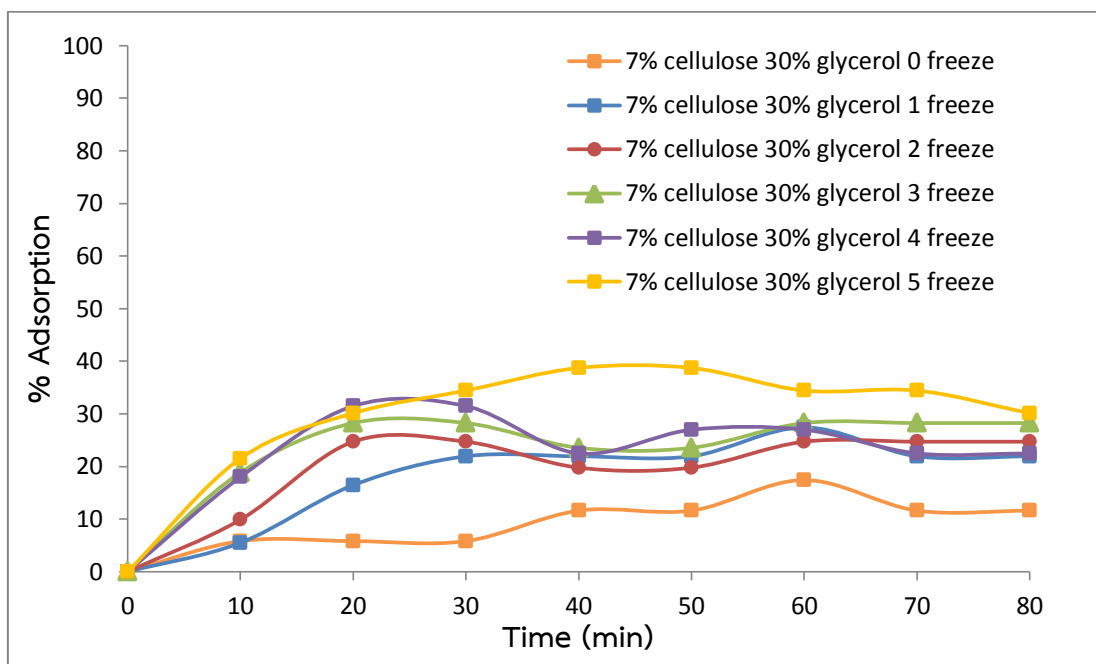
รูปที่ 4.10 ความสามารถในการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนหลังการดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าว

ในการหาค่าการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรจะนำค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 10 นาที (C_{10}) มาคำนวณเนื่องจากช่วงเวลาก่อนการดูดซับ (C_0) จนถึงเวลา 10 นาที เนื่องจากเมื่อเริ่มใส่ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปร เอทานอลในสารละลายคลอเรสเตอรอลจะเข้าไปบริเวณรูพรุนของฟิล์มทำให้ความเข้มข้นของสารละลายคลอเรสเตอรอลเวลาที่เวลา 10 นาทีมีค่าสูง จึงนำค่าความเข้มข้นของสารละลายคลอเรสเตอรอลที่เวลา 10 นาทีมาคำนวณเป็นค่าความเข้มข้นเริ่มต้นของการดูดซับ

4.7.3 อิทธิพลของเวลาที่มีผลต่อการดูดซับคลอเรสเตอรอล

การศึกษาอิทธิพลของเวลาที่มีผลต่อการดูดซับคลอเรสเตอรอลดังรูปที่ 4.11 โดยใช้ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรหนัก 0.25 กรัม ที่ความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในสารละลายคลอเรสเตอรอลความเข้มข้น 30 ppm ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เก็บตัวอย่างเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 และ 90 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 203.99 นาโนเมตร พบว่า การดูดซับในช่วงแรกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีมาก เกิดการแพร่ของคลอเรสเตอรอลจากสารละลายมายัง

พื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปร ทำให้คลอเรสเตอรอลเข้าไปอยู่ที่บริเวณพื้นผิวและรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรและในช่วงหลังการดูดซับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและเริ่มคงที่ เนื่องจากการแพร่ของคลอเรสเตอรอลจากผิวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรเข้าสู่รูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปร บางช่วงเวลาฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปร มีประสิทธิภาพการดูดซับลดลง เนื่องจากเกิดการคายซับของโมเลกุลคลอเรสเตอรอล เมื่อปริมาณคลอเรสเตอรอลบนตัวดูดซับมากกว่าความเข้มข้นของคลอเรสเตอรอลในสารละลายและเกิดการหลุดออกของคลอเรสเตอรอลที่ไม่ได้ติดบนผิวฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปร

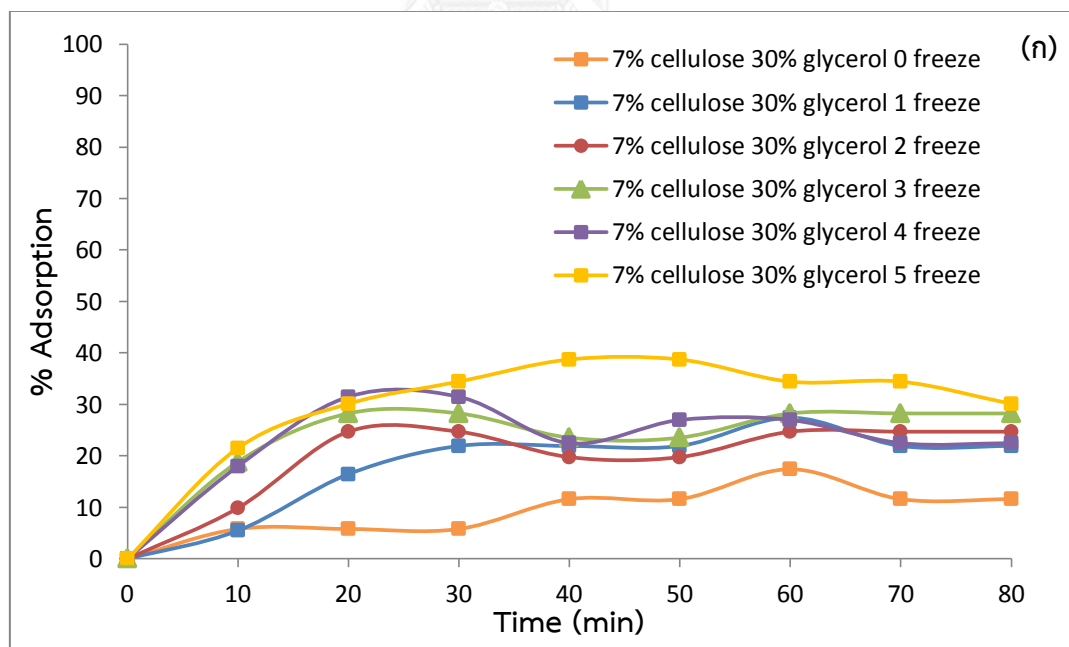


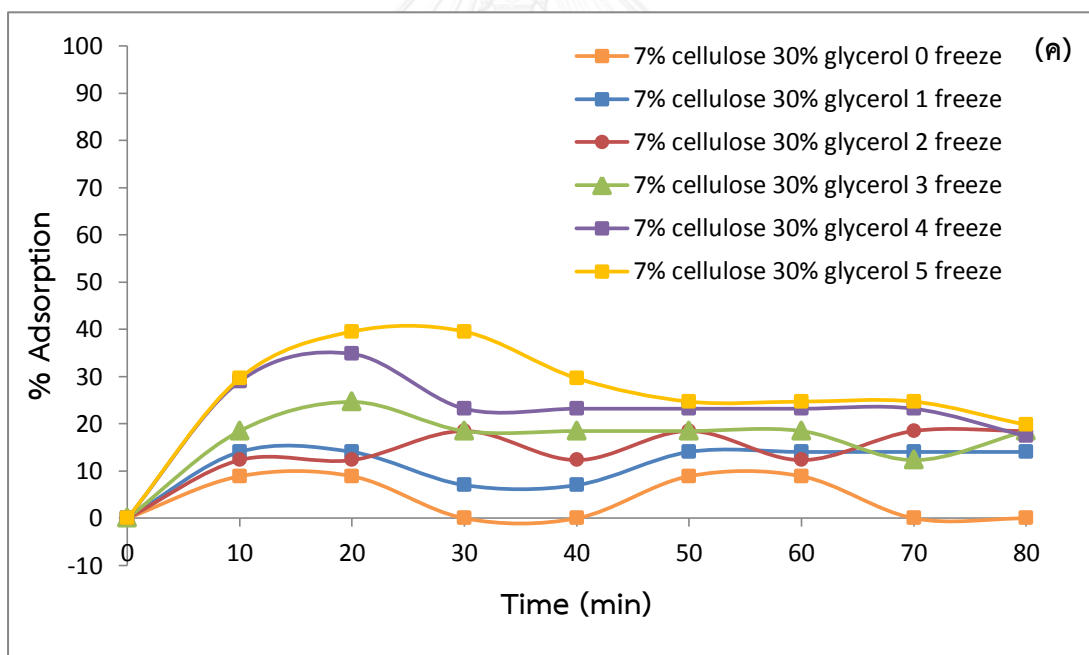
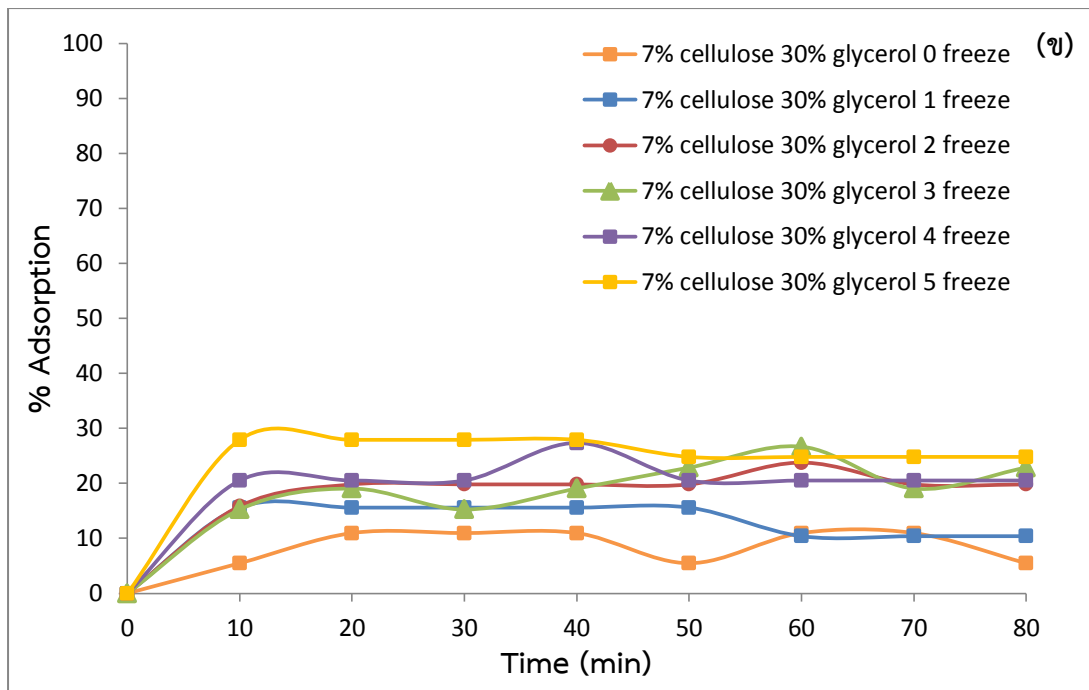
รูปที่ 4.11 ร้อยละการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรที่เวลาในการดูดซับต่างๆ

4.7.4 อิทธิพลของจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันที่มีผลต่อการดูดซับ

คลอเรสเตอรอล

การศึกษาอิทธิพลของจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันที่มีผลต่อการดูดซับคลอเรสเตอรอล โดยใช้ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าวหนัก 0.25 กรัม ที่ความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 7 ปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร ที่จำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันที่ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 รอบ ในสารละลายคลอเรสเตอรอลความเข้มข้น 30, 20 และ 10 ppm ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 203.99 นาโนเมตรแสดงดังรูปที่ 4.12 พบว่าฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรที่วัฏจักรแช่เยือกแข็งและละลายสลับกันที่จำนวน 5 รอบ มีการดูดซับคลอเรสเตอรอลที่ดีที่สุด สารละลายคลอเรสเตอรอลที่ความเข้มข้น 30, 20 และ 10 ppm สามารถดูดซับคลอเรสเตอรอลได้สูงสุดร้อยละ 33.1, 38.7 และ 39.5 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันที่จำนวนรอบอื่นๆ เนื่องจากการทำวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันที่จำนวน 5 รอบ ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนมีรูพรุนขนาดใหญ่และมีจำนวนรูพรุนมาก มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง ทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับคลอเรสเตอรอลได้มาก

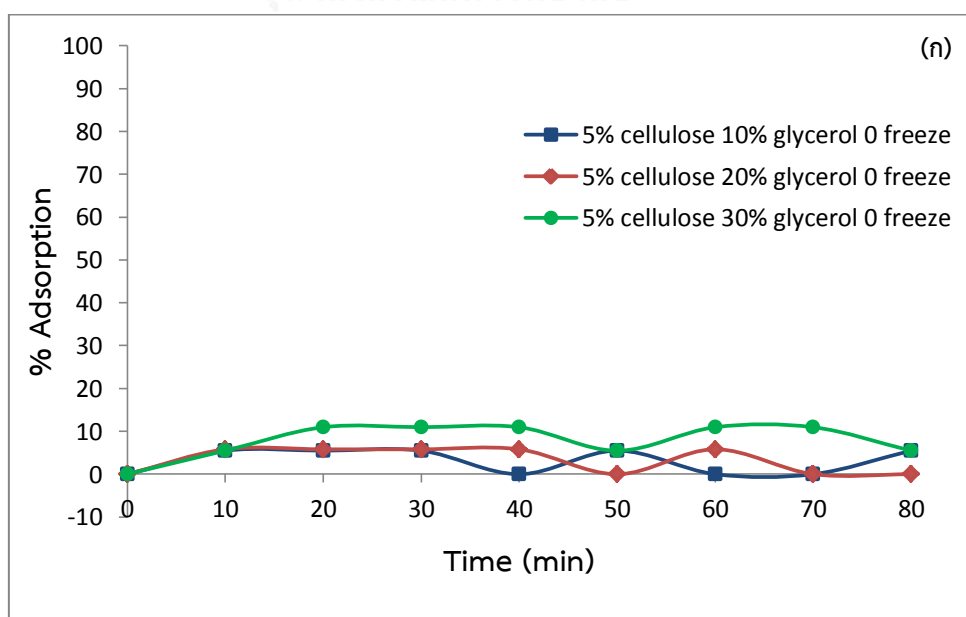


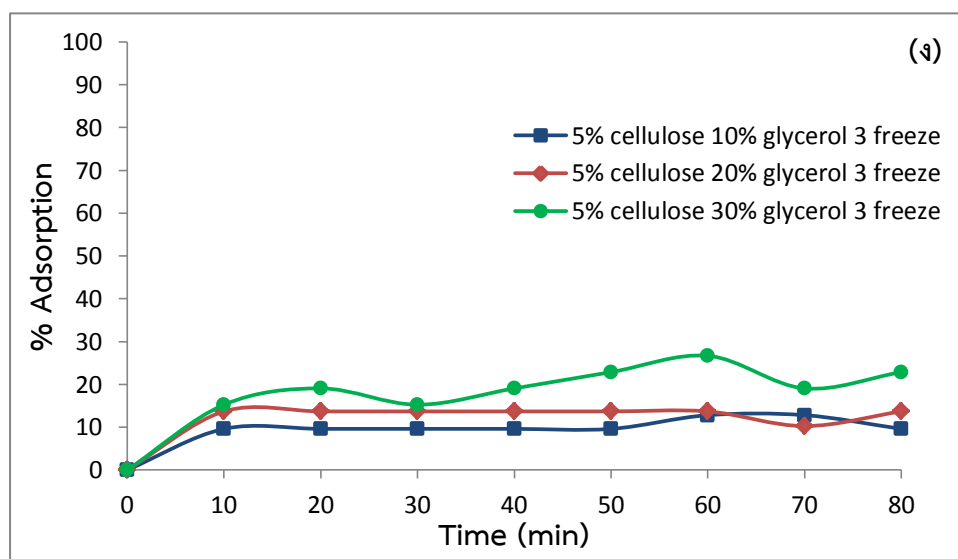
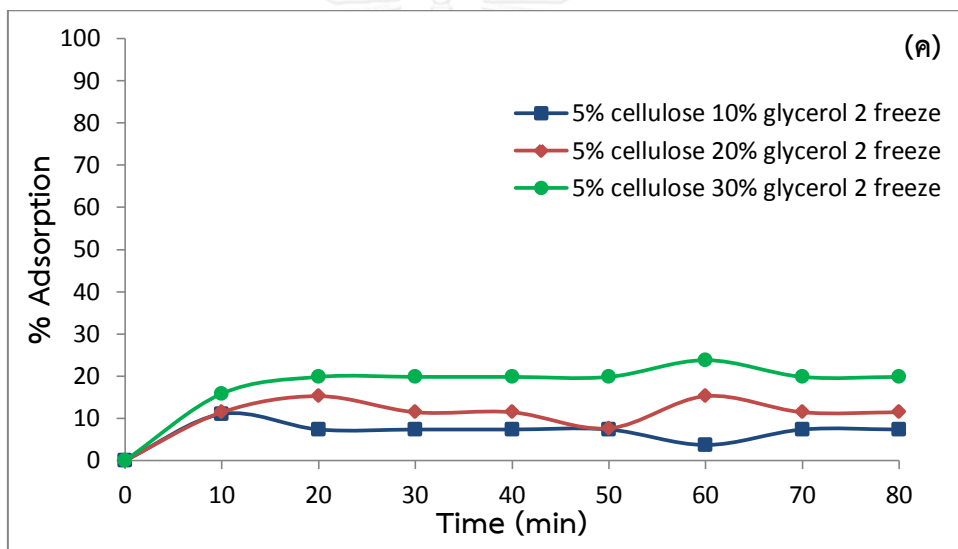
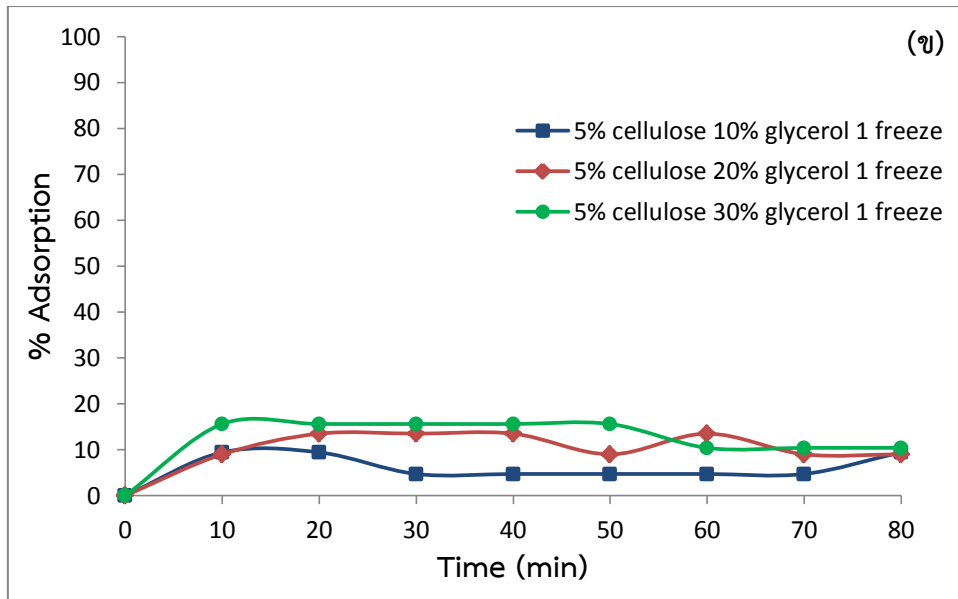


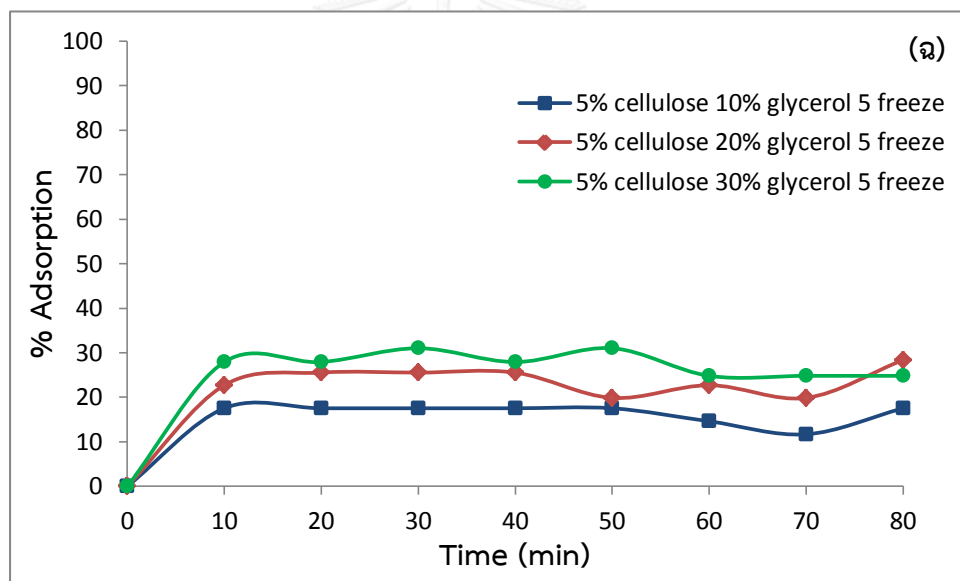
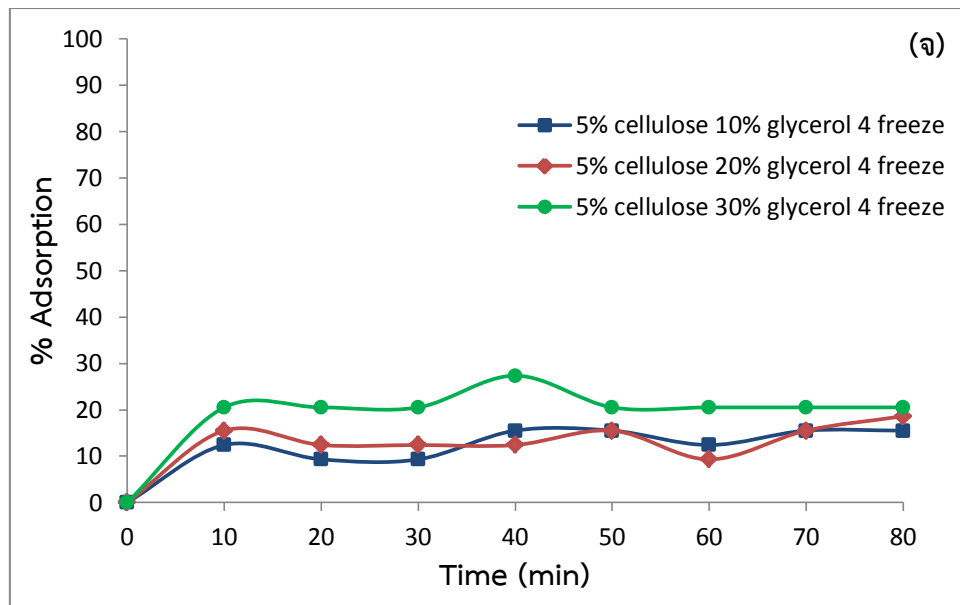
รูปที่ 4.12 ร้อยละการดูดซับคลอเรสเตรอลของฟิล์มเซลลูโลส-โกลีเซอรอลที่รอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันต่างๆ ที่ความเข้มข้นของสารละลายคลอเรสเตรอล 30 (ก), 20 (ข) และ 10 (ค) ppm

4.7.5 อิทธิพลของสารละลายกลีเซอรอลที่มีผลต่อการดูดซับคลอเรสเทอรอล

การศึกษาอิทธิพลของสารละลายกลีเซอรอลที่มีผลต่อการดูดซับคลอเรสเทอรอล ดังรูปที่ 4.13 โดยใช้ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าวหนัก 0.25 กรัม ที่ความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30, 20 และ 10 โดยปริมาตร ที่จำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันจำนวน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 รอบ ในสารละลายคลอเรสเทอรอลความเข้มข้น 30 ppm ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 203.99 นาโนเมตร พบว่า ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรที่ปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลกลีเซอรอลจะช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการยุบตัวของรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรที่ปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร มีการดูดซับคลอเรสเทอรอลที่ดีที่สุด ที่จำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันจำนวน 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 รอบ สามารถดูดซับคลอเรสเทอรอลได้สูงสุดร้อยละ 11, 15.6, 23.8, 26.7, 27.4 และ 27.9 ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรที่ปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 30 มีประสิทธิภาพการดูดซับคลอเรสเทอรอลดีที่สุด เนื่องจากฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนมีความคงรูป การยุบตัวของรูพรุนน้อย มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง ในขณะที่ปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีประสิทธิภาพการดูดซับคลอเรสเทอรอลน้อย เนื่องจากในขั้นตอนการระเหยออกของน้ำ ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนเกิดการหดตัวเกิดการยุบตัวของรูพรุน มีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อยจึงดูดซับคลอเรสเทอรอลได้น้อย



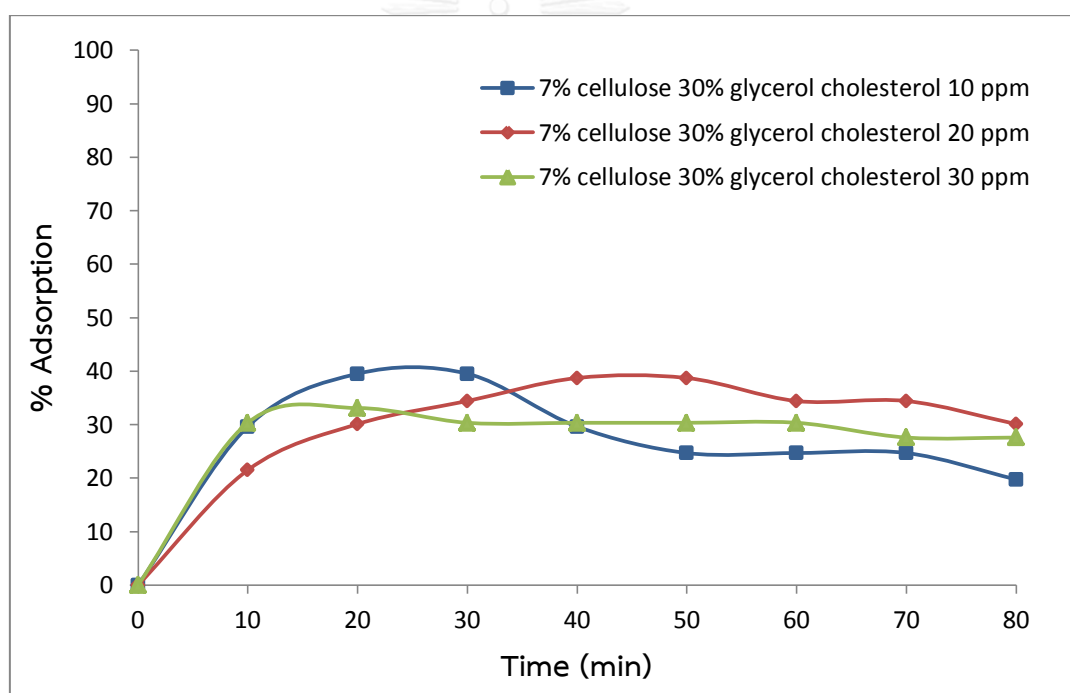




รูปที่ 4.13 ร้อยละการดูดซับคลอเรสเทอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนตัดแปรที่ปรับสภาพด้วย กลีเซอรอลที่ความเข้มข้นแตกต่างกันที่จำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน จำนวน 0 (ก), 1 (ข), 2 (ค), 3 (ง), 4 (จ) และ 5(ฉ) รอบ

4.7.6 อิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของคลอเรสเตอรอลที่มีต่อการดูดซับคลอเรสเตอรอล

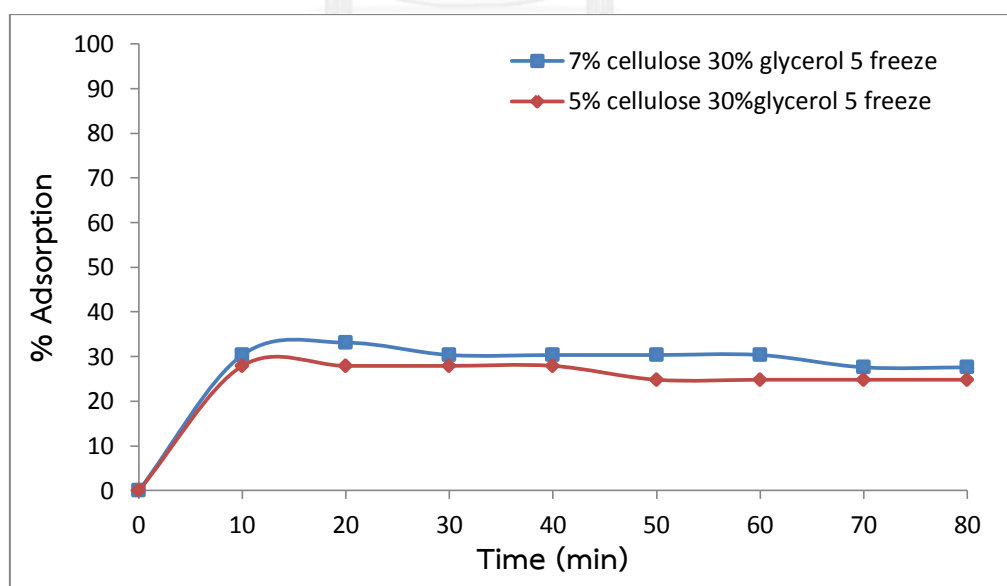
การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของคลอเรสเตอรอลที่มีต่อการดูดซับคลอเรสเตอรอล โดยใช้ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าวหนัก 0.25 กรัม ที่ความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร ที่จำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันจำนวน 5 รอบ โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของคลอเรสเตอรอลเริ่มต้นเป็น 30, 20 และ 10 ppm ตามลำดับ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 203.99 นาโนเมตร จากรูปที่ 4.14 พบว่า ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรสามารถดูดซับคลอเรสเตอรอลได้ถึงแม้ว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของคลอเรสเตอรอลเปลี่ยนแปลงไป แสดงว่าฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าวมีประสิทธิภาพในการดูดซับคลอเรสเตอรอล



รูปที่ 4.14 ร้อยละการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรที่ความเข้มข้นของคลอเรสเตอรอลเริ่มต้นที่แตกต่างกัน

4.7.7 อิทธิพลของความเข้มข้นของเซลลูโลสที่มีผลต่อการดูดซับคลอเรสเตอรอล

การศึกษาผลของความเข้มข้นของเซลลูโลสที่มีต่อการดูดซับคลอเรสเตอรอล โดยใช้ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนตัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าวหนัก 0.25 กรัม ที่ความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 5 และ 7 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร ที่จำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันจำนวน 5 รอบ ในสารละลายคลอเรสเตอรอลความเข้มข้น 30 ppm ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 203.99 นาโนเมตรแสดงดังรูปที่ 4.15 ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 5 และ 7 โดยน้ำหนัก เนื่องจากความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 5 มีขนาดรูพรุนเล็กและจำนวนรูพรุนน้อยเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 7 ที่มีขนาดของรูพรุนใหญ่และมีจำนวนรูพรุนมาก พบว่า ความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 5 สามารถดูดซับคลอเรสเตอรอลได้สูงสุดร้อยละ 27.9 ในขณะที่ความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 7 สามารถดูดซับคลอเรสเตอรอลได้สูงสุดร้อยละ 33.1 เมื่อความเข้มข้นของเซลลูโลสมากขึ้น ความสามารถในการดูดซับคลอเรสเตอรอลมากขึ้น ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่มีความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 7 มีประสิทธิภาพการดูดซับคลอเรสเตอรอลสูงที่สุด เนื่องจากปริมาณเซลลูโลสมากขึ้น ขนาดของรูพรุนมีขนาดใหญ่และมีจำนวนรูพรุนมาก การหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนน้อย ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง สามารถดูดซับคลอเรสเตอรอลได้ดีขึ้น



รูปที่ 4.15 ร้อยละการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนตัดแปรที่ความเข้มข้นของเซลลูโลสที่แตกต่างกัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดและเสถียรภาพของรูพรุนมีดังนี้

1. ความเข้มข้นของเซลลูโลสในสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์/ยูเรีย โดยพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ขนาดของรูพรุนและจำนวนรูพรุนเพิ่มขึ้น การหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนลดลง
2. ความเข้มข้นของสารละลายกลีเซอรอล โดยพบว่า เมื่อความเข้มข้นของกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น การยุบตัวของรูพรุนจะลดลง รูพรุนมีความคงรูป เนื่องจากกลีเซอรอลช่วยป้องกันการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง กลีเซอรอลเข้าไปแทนที่น้ำบางส่วนในฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนและไม่ระเหยออกจากฟิล์ม การหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนลดลง
3. จำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน โดยพบว่า เมื่อจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันมากขึ้น รูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากน้ำที่อยู่ภายในรูพรุนไม่ไหลออกจากฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน แต่ไหลไปรวมกับส่วนที่ยังไม่ละลาย เมื่อแช่แข็งอีกครั้งรูพรุนจะเกิดการขยายและมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อจำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันมากขึ้น ปริมาณน้ำที่อยู่ภายในฟิล์มจะค่อยๆลดลง เกิดรูพรุนถาวร การยุบตัวของรูพรุนจึงลดลง การหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนลดลง

การดูดซับคลอเรสเทอรอล โดยใช้ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนและฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าวเป็นตัวดูดซับ พบว่าฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนก่อนการดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าวไม่สามารถดูดซับคลอเรสเทอรอลได้และฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าวที่มีความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลร้อยละ 30 โดยปริมาตร จำนวนรอบวัฏจักรแช่เยือกแข็งและละลายสลับกันจำนวน 5 รอบ มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด ซึ่งขนาดรูพรุน จำนวนรูพรุนและการหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนมีผลต่อการดูดซับคลอเรสเทอรอล โดยสามารถสรุปผลของปัจจัยที่มีต่อการดูดซับคลอเรสเทอรอลดังนี้

1. เวลาในการดูดซับ โดยพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการดูดซับมากขึ้น ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก เนื่องจากความเข้มข้นของคลอเรสเทอรอลในสารละลายกับปริมาณคลอเรสเทอรอลบนตัวดูดซับแตกต่างกันจึงเกิดการแพร่ของสาร หลังจากนั้นมีความเข้มข้นเล็กน้อย เกิดการแพร่ของคลอเรสเทอรอลบนพื้นผิวเข้าสู่รูพรุน อย่างไรก็ตาม อาจเกิดการคายซับได้ เมื่อปริมาณคลอเรสเทอรอลบนตัวดูดซับมากกว่าความเข้มข้นของคลอเรสเทอรอลในสารละลายและเกิดการหลุดออกของคลอเรสเทอรอลที่ไม่ได้ติดกับผิวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปร
2. ความเข้มข้นของเซลลูโลส โดยพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลส ทำให้ร้อยละการดูดซับเพิ่มขึ้น ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรที่มีความเข้มข้นของเซลลูโลสร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก มีความสามารถในการดูดซับคลอเรสเทอรอลสูงที่สุด เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเซลลูโลส ทำให้อัตราส่วนของรูพรุนมีขนาดใหญ่และจำนวนรูพรุนมาก เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวดูดซับกับสารละลายมากขึ้น
3. ความเข้มข้นของสารละลายกลีเซอรอล โดยพบว่าการปรับสภาพด้วยกลีเซอรอลที่มีความเข้มข้นที่มากขึ้น ทำให้ร้อยละการดูดซับมากขึ้น ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรที่มีความเข้มข้นของสารละลายกลีเซอรอลร้อยละ 30 โดยปริมาตร มีความสามารถในการดูดซับคลอเรสเทอรอลสูงที่สุด เนื่องจากการเพิ่มปริมาณกลีเซอรอล ทำให้การยุบตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนลดลง การหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนลดลง ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง
4. จำนวนรอบของวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกัน โดยพบว่าเมื่อจำนวนรอบของวัฏจักรแช่เยือกแข็งและละลายสลับกันมากขึ้น ร้อยละการดูดซับมากขึ้น ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรที่มีจำนวนรอบของวัฏจักรแช่เยือกแข็ง/ละลายสลับกันจำนวน 5 รอบ มีความสามารถในการดูดซับคลอเรสเทอรอลสูงที่สุด เนื่องจากรูพรุนภายในฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนมีขนาดใหญ่ขึ้น มีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากขึ้น ทำให้ร้อยละการดูดซับคลอเรสเทอรอลเพิ่มขึ้น
5. ความเข้มข้นของสารละลายคลอเรสเทอรอลเริ่มต้น โดยพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายในขณะที่ปริมาณตัวดูดซับคงที่ ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรสามารถดูดซับคลอเรสเทอรอลได้ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายคลอเรสเทอรอลเปลี่ยนแปลงไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการละลายน้ำของน้ำแข็งภายในฟิล์มเซลล์โอสรูพรุน เพื่อควบคุมขนาดของรูพรุนให้มีขนาดใกล้เคียงกันและลดการเกิดรูพรุนขนาดใหญ่



รายการอ้างอิง

- [1] อภิชาติ สนธิสมบัติ. กระบวนการทางเคมีสิ่งทอ. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น; 2545.
- [2] บุญศรี คู่สุขธรรม. วิทยาศาสตร์เส้นใย. กรุงเทพมหานคร: สปีดเจ็ท; 2555.
- [3] อภิสรา ชายเชื้อ. โครงสร้างของเซลลูโลส [2016, April 23]. Available from: <http://biomolecule.myreadyweb.com/article/topic-42796.html>.
- [4] Wikiwand. เซลลูโลส [2016, April 23]. Available from: <http://www.wikiwand.com/th/เซลลูโลส>
- [5] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. วิทยาศาสตร์เส้นใย. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2542.
- [6] มณฑา จันท์เกตุเลียด. วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: สมาคมคหเศรษฐศาสตร์ประเทศไทย; 2541.
- [7] ขวัญชีวา แก้วอินทร์. ผลของโครงสร้างผ้าทอต่อสมบัติเชิงกลของผ้าฝ้าย/เซลลูโลสคอมพอสิต [ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]: ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2557.
- [8] จิราภรณ์ สอดจิตร์และคณะ. โครงการการสกัดและการใช้ประโยชน์ทางอาหารของใยอาหารและเซลลูโลสจากเปลือกกล้วย [2016, April 25]. Available from: <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/96>.
- [9] นวลแข ปาลิวนิช. ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น; 2542.
- [10] วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล. การผลิตอนุภาค Microcrystalline Cellulose จากเส้นใยฝ้ายเพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ [2016, March 6]. Available from: <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/13269>.
- [11] เบญจมาศ คล้ายเครือญาติ. การใช้เอนไซม์ซ้ำในกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกบนฝ้าย [ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]: ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2545.
- [12] ประสิทธิ์ พัฒนะนุวัฒน์. การเตรียมฟิล์มเซลลูโลสดัดแปรจากเศษผ้าฝ้ายภายใต้พลังงานไมโครเวฟ [ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]: ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2547.
- [13] เสธณี ศรีสุข. การปรับผิวผ้าฝ้ายเคลือบโคโตซานด้วยโซเดียมไนไตรต์เพื่อเพิ่มความสามารถในการย้อมสีรีแอกทีฟ [ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]: ภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2551.

- [14] นทีรัตน์ หลี ฝ้าย [2016, April 8]. Available from: http://www.thaibizchina.com/thaibizchina/th/china-economic-business/result.php?SECTION_ID=444&ID=5941.
- [15] อุษารัตน์ รัตน์คานวณ. วิทยาศาสตร์เส้นใยและผ้า [2016, May 14]. Available from: http://www.science.mju.ac.th/chemistry/download/u_ratanakamnuan/IC%20361%20วิทยาศาสตร์เส้นใยและผ้า1-57.pdf.
- [16] สุพรรณ ยอดยิ่งยง. ซิลิกาแอโรเจล [2016, April 28]. Available from: <http://medicaldevices.oie.go.th/Article.aspx?aid=124>.
- [17] LiamBean. AeroGel - The Perfect Home Insulation [2016, April 28]. Available from: <http://hubpages.com/living/AeroGel-The-Perfect-Home-Insulation>.
- [18] Prato Ld. Aerogel [2016, April 28]. Available from: http://www.risolazioni.com/index_en.php.
- [19] Nguyen ST., Feng J., Ng S.K., Wang J.P.W., Tan V.B.C. and Duong H.M. Advanced thermal insulation and adsorption properties of recycled cellulose aerogels. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspect*. 2014; 445: 128-134.
- [20] ภาคภูมิ ล่อใจ. การพัฒนาคาร์บอนที่มีรูพรุนในระดับอนุภาคนาโนเมตรและคาร์บอนโฟมจากพอลิเบนซอซซีนการพัฒนาคาร์บอนที่มีรูพรุนในระดับอนุภาคนาโนเมตรและคาร์บอนโฟมจากพอลิเบนซอซซีน [2016, April 29]. Available from: http://www.trf.or.th/index.php?option=com_content&view=article&id=238:2013-12-02-07-5626&catid=54&Itemid
- [21] พนิดา พันธุ์สมบัติและคณะ. การเตรียมวัสดุผสมคาร์บอน-ซิลิกาแอโรเจลด้วยวิธีการอย่างง่ายและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [2016, April 28]. Available from: http://www.journal.msu.ac.th/upload/articles/article105_51715.pdf.
- [22] Gizmodo. Scientists Can Make Aerogel From Waste Paper [2016, May 4]. Available from: <http://gizmodo.com/scientists-can-make-aerogel-from-waste-paper-1758220500>.
- [23] Huffington Post. Lightest Material On Earth: Carbon Aerogel Sets New Record [2016, April 29]. Available from: http://www.huffingtonpost.com/2013/04/02/lightest-material-earth-carbon-aerogel_n_2980978.html.
- [24] Kistler S.S. Coherent expanded aerogels. *The Journal of Physical Chemistry*. 1932; 36: 52-64.

- [25] Innerlohinger J., Weber H. K. and Kraft G. Aerocellulose: Aerogels and Aerogel-like Materials made from Cellulose. *Macromolecular Symposia*. 2009; 244: 126-135.
- [26] Isobe N., Kimura S., Wada M. and Kuga S. Mechanism of cellulose gelation from aqueous alkali-urea solution. *Carbohydrate Polymers*. 2012; 89: 1298-1300.
- [27] Lu A., Liu Y., Zhang L. and Potthast A. Investigation on metastable solution of cellulose dissolved in NaOH/urea aqueous system at low temperature. *The Journal of Physical Chemistry* 2011; 155: 12801-12808.
- [28] Cai J., Zhang L., Liu S., Xu X., Chen X., Chu B., Guo X., Xu J., Cheng H., Han C.C. and Kuga S. Dynamic self-assembly induced rapid dissolution of cellulose at low temperature. *Macromolecules*. 2008; 41: 9345-9351.
- [29] Li R., Wang S., Lu A. and Zhang L. Dissolution of cellulose from different sources in an NaOH/urea aqueous system at low temperature. *Cellulose*. 2015; 22: 339-349.
- [30] Cai J., Kimura S., Wada M., Kuga S. and Zhang L. Cellulose aerogel from aqueous alkali hydroxide-urea solution. *ChemSusChem*. 2008; 1: 149-154.
- [31] Manufacturers PAsC. Freeze-Thaw Resistance [2016, April 5]. Available from: <http://www.cement.org/for-concrete-books-learning/concrete-technology/durability/freeze-thaw-resistance> .
- [32] เฟื่องฟ้า อุ่นอบ. วัสดุและกระบวนการดูดซับสำหรับการบำบัดน้ำ. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ไอดีแอล ดิจิตอล พรินท์ จำกัด; 2559.
- [33] รัชณี ทรัพย์มากมี. การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อมละลายน้ำได้ด้วยไคโตซานชนิดดัดแปร [ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]: ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2548.
- [34] ปนัดดา โลหะสาร. การเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมบนถ่านกัมมันต์จากกากตะกอนเยื่อกระดาษด้วยการเคลือบไคโตซานและเติมอากาศ [ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2551.
- [35] นิธิมา แผงนคร. Interfacial phenomena [2016, April 12]. Available from: <http://www.slideshare.net/adriamycin/interfacial-phenomena-2555>.
- [36] Gavillon R. and Badtova T. Aerocellulose: new highly porous cellulose prepared from cellulose-NaOH aqueous solution. *Biomacromolecules*. 2008; 9: 269-277.

- [37] Kwon G., Kim D., Hwang J. and Kang J. Structural properties and adsorption capacity of holocellulose aerogels synthesized from an alkali hydroxide-urea solution. *Journal of the Korean Physical Society*. 2014; 64: 1470-1473.
- [38] Li R., Zhang L. and Xu M. Novel regenerated cellulose films prepared by coagulating with water: Structure and properties. *Carbohydrate Polymers*. 2012; 87: 95-100.
- [39] McIntosh G.H., Whyte J., McArthur R. and Nestal P.J. Influence on plasma cholesterol concentration in hypercholesterolemic men. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1991; 53: 1205-1209.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก.
ขนาดรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

ตารางที่ ก.1 อิทธิพลของปริมาณความเข้มข้นของเซลลูโลสที่มีผลต่อขนาดรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน ปรับสภาพในสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยปริมาตร และทำวัฏจักรเยือกแข็งและละลายสลับกันจำนวน 5 รอบ (แช่เยือกแข็งรอบละ 30 นาที)

No.	Pore size (nm)		
	5%	6%	7%
1	106	192	270
2	124	107	273
3	20	193	192
4	139	203	241
5	98	202	253
6	39	107	275
7	59	272	189
8	153	125	211
9	98	147	189
10	55	179	192
11	78	162	208
12	118	125	224
13	59	169	159
14	98	113	165
15	39	178	212
16	137	168	204
17	119	165	109
18	137	184	262
19	59	193	251
20	59	196	204

No.	Pore size (nm)		
	5%	6%	7%
21	78	136	139
22	59	129	241
23	71	196	231
24	88	107	154
25	132	143	238
26	98	214	313
27	39	136	172
28	59	130	177
29	81	125	241
30	111	107	204
31	98	235	159
32	81	161	235
33	20	96	219
34	98	179	173
35	88	101	181
36	59	74	154
37	39	114	288
38	78	139	232
39	124	130	224
40	59	151	115
41	111	144	241
42	44	177	275
43	88	120	258
44	169	114	163
45	124	91	224
46	71	178	172
47	100	176	96
48	98	91	198

No.	Pore size (nm)		
	5%	6%	7%
49	62	190	232
50	59	107	208
Avg.	86	151	209

ตารางที่ ก.2 อิทธิพลของปริมาณความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่มีผลต่อขนาดรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลส
รูพรุนเตรียมจากสารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก
ทำวัฏจักรเยือกแข็งและละลายสลับกันจำนวน 3 รอบ (แช่เยือกแข็งรอบละ 30 นาที)

No.	Pore size (nm)			
	0%	10%	20%	30%
1	0	85	634	634
2	0	280	559	462
3	0	150	272	430
4	0	226	518	422
5	0	255	430	559
6	0	67	462	275
7	0	128	348	294
8	0	191	423	518
9	0	128	422	411
10	0	135	427	348
11	0	136	304	225
12	0	171	262	262
13	0	234	525	425
14	0	196	241	365
15	0	214	430	370
16	0	183	586	294
17	0	255	370	304

No.	Pore size (nm)			
	0%	10%	20%	30%
18	0	149	471	404
19	0	229	275	525
20	0	128	365	427
21	0	162	225	430
22	0	210	560	560
23	0	115	411	365
24	0	135	425	568
25	0	153	294	241
26	0	171	404	471
27	0	106	365	423
28	0	280	206	272
29	0	166	295	404
30	0	124	313	513
31	0	124	310	661
32	0	190	323	737
33	0	120	389	693
34	0	43	318	510
35	0	128	336	360
36	0	64	318	572
37	0	128	323	668
38	0	149	308	479
39	0	129	212	470
40	0	153	377	642
41	0	89	419	466
42	0	86	479	463
43	0	184	298	474
44	0	123	312	834
45	0	75	345	588

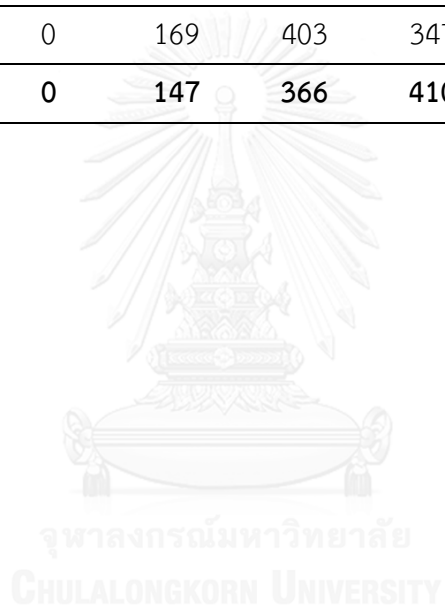
No.	Pore size (nm)			
	0%	10%	20%	30%
46	0	115	309	691
47	0	94	368	518
48	0	125	355	459
49	0	107	386	600
50	0	56	335	572
Avg.	0	149	373	480

ตารางที่ ก.3 อิทธิพลของจำนวนรอบวัฏจักรเยือกแข็งและละลายสลับกันที่มีผลต่อขนาดรูพรุนของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่เตรียมจากสารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพในสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร (แช่เยือกแข็งรอบละ 30 นาที)

No.	Pore size (nm)					
	0	1	2	3	4	5
1	0	139	333	327	367	753
2	0	119	324	342	460	410
3	0	20	369	572	246	1129
4	0	124	451	327	224	567
5	0	168	263	393	482	380
6	0	119	305	431	370	705
7	0	132	352	375	261	409
8	0	83	353	429	456	829
9	0	158	333	429	349	667
10	0	176	378	317	480	606
11	0	143	505	436	372	439
12	0	158	371	529	381	613
13	0	169	255	393	440	442
14	0	181	306	410	478	662

No.	Pore size (nm)					
	0	1	2	3	4	5
15	0	158	749	390	430	631
16	0	137	323	575	323	585
17	0	158	235	352	568	1024
18	0	98	433	551	525	718
19	0	88	411	376	363	854
20	0	202	428	536	536	700
21	0	246	471	356	576	536
22	0	132	255	351	440	569
23	0	71	409	429	592	1083
24	0	59	321	245	490	1134
25	0	78	499	278	385	1062
26	0	158	444	584	575	607
27	0	114	357	448	292	685
28	0	212	261	225	523	753
29	0	149	483	361	534	542
30	0	141	438	448	453	750
31	0	149	352	278	471	693
32	0	208	390	448	447	460
33	0	149	411	348	390	581
34	0	141	393	416	658	419
35	0	124	272	504	448	804
36	0	158	263	560	376	601
37	0	78	377	372	265	527
38	0	118	196	669	301	744
39	0	176	366	383	381	647
40	0	153	342	375	505	554
41	0	158	415	319	335	515
42	0	217	176	659	490	583

No.	Pore size (nm)					
	0	1	2	3	4	5
43	0	212	586	370	275	778
44	0	169	461	471	600	755
45	0	193	363	376	432	773
46	0	193	185	327	449	601
47	0	200	309	396	504	607
48	0	111	353	256	330	504
49	0	185	266	429	394	980
50	0	169	403	347	516	713
Avg.	0	147	366	410	431	674



ภาคผนวก ข.

ปริมาณการหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสสุพรรณ

ตารางที่ ข.1 อิทธิพลของปริมาณความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่ส่งผลต่อปริมาณการหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสสุพรรณเตรียมจากสารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ทำวัฏจักรเยือกแข็งและละลายสลับกันจำนวน 3 รอบ (แช่เยือกแข็งรอบละ 30 นาที)

Sample	Shrinkage (%)			
	0	10	20	30
1	64.06	51.02	43.75	17.88
2	66.31	41.92	42.81	20.13
3	67.84	48.38	43.75	16.75
4	66.95	47.50	45.61	21.25
5	61.91	45.63	39.95	24.53
Avg.	65.42	46.89	43.18	20.11
SD	2.41	3.39	2.07	3.05

ตารางที่ ข.2 อิทธิพลของปริมาณความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่ส่งผลต่อปริมาณการหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสสุพรรณเตรียมจากสารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก ทำวัฏจักรเยือกแข็งและละลายสลับกันจำนวน 3 รอบ (แช่เยือกแข็งรอบละ 30 นาที)

Sample	Shrinkage (%)			
	0	10	20	30
1	61.75	47.45	43.81	16.75
2	66.22	47.44	44.69	19.00
3	67.69	40.94	40.94	20.16
4	65.50	47.44	44.69	19.00
5	61.81	50.13	44.69	21.25
Avg.	64.59	46.68	43.76	19.23
SD	2.69	3.41	1.62	1.67

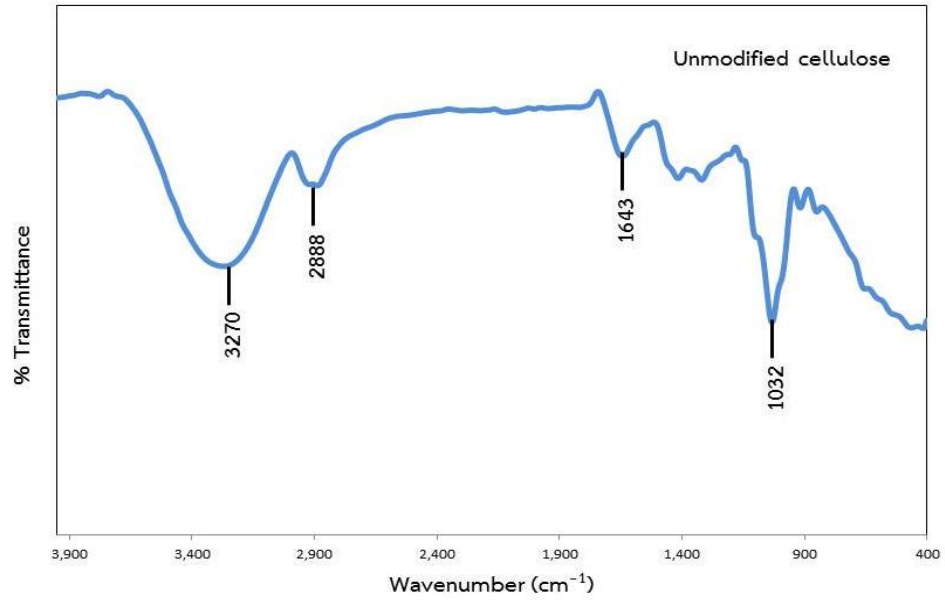
ตารางที่ ข.3 อิทธิพลของปริมาณความเข้มข้นของกลีเซอรอลที่ส่งผลต่อปริมาณการหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสสุพรรณเตรียมจากสารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ทำวัฏจักรเยือกแข็งและละลายสลับกันจำนวน 3 รอบ (แช่เยือกแข็งรอบละ 30 นาที)

Sample	Shrinkage (%)			
	0	10	20	30
1	66.22	46.53	43.75	8.56
2	64.00	45.63	39.94	13.28
3	64.02	43.75	39.94	15.63
4	58.56	44.69	34.00	10.94
5	57.75	45.63	41.88	17.88
Avg.	62.11	45.24	39.90	13.26
SD	3.73	1.06	3.66	3.69

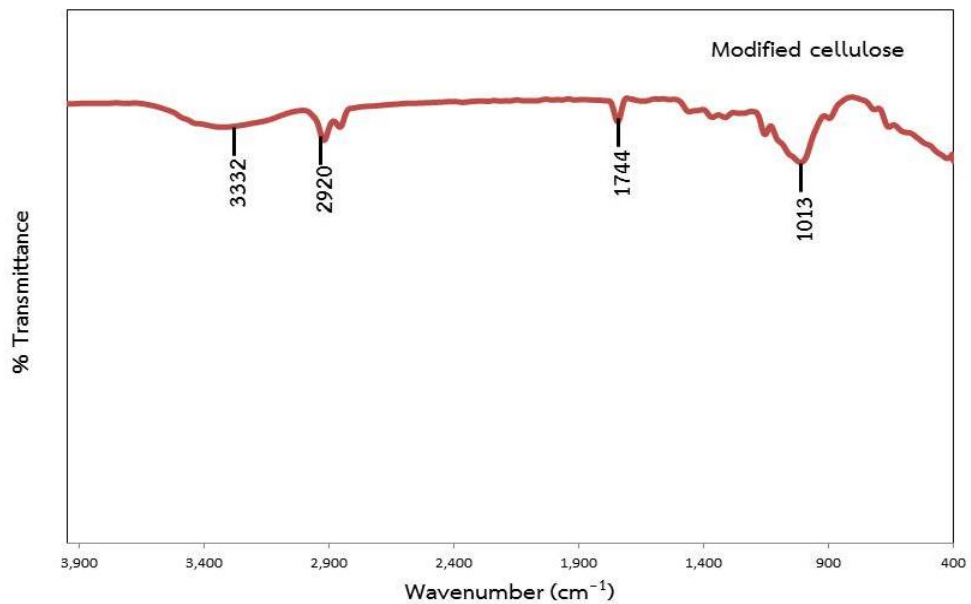
ตารางที่ ข.4 อิทธิพลของจำนวนรอบวัฏจักรเยือกแข็ง/ละลายสลับกันที่ส่งผลต่อปริมาณการหดตัวของฟิล์มเซลลูโลสสุพรรณที่เตรียมจากสารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพในสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร (แช่เยือกแข็งรอบละ 30 นาที)

Sample	Shrinkage (%)					
	0	1	2	3	4	5
1	25.63	25.63	15.59	12.13	15.59	9.81
2	23.44	24.53	19.06	12.11	7.38	14.50
3	23.50	21.25	16.75	15.59	15.59	9.75
4	27.75	24.56	19.00	15.63	13.28	3.72
5	21.30	24.53	16.75	14.44	8.59	10.94
Avg.	24.32	24.10	17.43	13.98	12.09	9.74
SD	2.45	1.66	1.54	1.76	3.89	3.88

ภาคผนวก ค.
การวิเคราะห์ด้วย FT-IR



รูปที่ ค.1 FT-IR สเปกตรัมของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนก่อนการดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าว



รูปที่ ค.2 FT-IR สเปกตรัมของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าว

ภาคผนวก ง.
ความสามารถในการดูดซับและร้อยละการดูดซับคลอเรสเตอรอลของ
ฟิล์มเซลลูโลสรูพรุน

ตารางที่ ง.1 ความสามารถในการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนที่เตรียมจากสารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 7 ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร ก่อนการตัดแปรด้วยน้ำมันมะพร้าว ในสารละลายคลอเรสเตอรอลความเข้มข้น 30 ppm

Time (min)	Abs					
	0	1	2	3	4	5
0	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
10	0.24	0.25	0.27	0.36	0.31	0.32
20	0.32	0.31	0.34	0.32	0.35	0.27
30	0.36	0.35	0.29	0.38	0.37	0.27
40	0.30	0.28	0.28	0.38	0.34	0.30
50	0.28	0.31	0.26	0.31	0.35	0.37
60	0.33	0.29	0.36	0.37	0.34	0.29
70	0.32	0.29	0.27	0.39	0.37	0.36
80	0.29	0.29	0.28	0.36	0.34	0.33
90	0.27	0.31	0.28	0.38	0.38	0.27

ตารางที่ ง.2 ความสามารถในการดูดซับคลอเรสเตอร์อลของฟิล์มเซลลูโลสพรุณดัดแปรที่เตรียมจาก สารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยสารละลาย กลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในสารละลายคลอเรสเตอร์อล ความเข้มข้น 30 ppm

Time (min)	Abs					
	0	1	2	3	4	5
0	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
10	0.24	0.27	0.29	0.31	0.36	0.37
20	0.23	0.26	0.28	0.28	0.33	0.26
30	0.23	0.24	0.25	0.27	0.29	0.25
40	0.23	0.24	0.24	0.26	0.28	0.26
50	0.23	0.25	0.24	0.25	0.28	0.26
60	0.23	0.25	0.24	0.25	0.28	0.25
70	0.23	0.25	0.24	0.25	0.28	0.26
80	0.23	0.26	0.24	0.26	0.28	0.27
90	0.23	0.26	0.24	0.25	0.28	0.27

ตารางที่ ง.3 ร้อยละการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูปทรงดัดแปรที่เตรียมจาก สารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยสารละลาย กลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในสารละลายคลอเรสเตอรอล ความเข้มข้น 30 ppm

Time (min)	%Adsorption					
	0	1	2	3	4	5
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	4.303	3.811	3.541	9.921	8.513	30.353
20	4.303	11.433	14.164	13.228	19.864	33.113
30	4.303	11.433	17.705	16.534	22.701	30.353
40	4.303	7.622	17.705	19.841	22.701	30.353
50	4.303	7.622	17.705	19.841	22.701	30.353
60	4.303	7.622	17.705	19.841	22.701	30.353
70	4.303	3.811	17.705	16.534	22.701	27.594
80	4.303	3.811	17.705	19.841	22.701	27.594

ตารางที่ ง.4 ความสามารถในการดูดซับคลอเรสเตอร์อลของฟิล์มเซลลูโลสรูปพูนดัดแปรที่เตรียมจาก สารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอล ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในสารละลายคลอเรสเตอร์อลความเข้มข้น 20 ppm

Time (min)	Abs					
	0	1	2	3	4	5
0	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
10	0.18	0.19	0.21	0.22	0.23	0.24
20	0.17	0.18	0.19	0.18	0.19	0.19
30	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17
40	0.17	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16
50	0.16	0.15	0.17	0.17	0.18	0.15
60	0.16	0.15	0.17	0.17	0.17	0.15
70	0.15	0.14	0.16	0.16	0.17	0.16
80	0.16	0.15	0.16	0.16	0.18	0.16
90	0.16	0.15	0.16	0.16	0.18	0.17

ตารางที่ ง.5 ร้อยละการดูดซับคลอเรสเทอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรที่เตรียมจากสารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในสารละลายคลอเรสเทอรอลความเข้มข้น 20 ppm

Time (min)	%Adsorption					
	0	1	2	3	4	5
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	5.800	5.482	9.881	18.832	17.986	21.515
20	5.800	16.447	24.704	28.249	31.475	30.120
30	5.800	21.930	24.704	28.249	31.475	34.423
40	11.601	21.930	19.763	23.540	22.482	38.726
50	11.601	21.930	19.763	23.540	26.978	38.726
60	17.401	27.412	24.704	28.249	26.978	34.423
70	11.601	21.930	24.704	28.249	22.482	34.423
80	11.601	21.930	24.704	28.249	22.482	30.120

ตารางที่ ง.6 ความสามารถในการดูดซับคลอเรสเตอร์ของฟิล์มเซลลูโลสรูปพ่นดัดแปรที่เตรียมจาก สารละลาย เซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยสารละลาย กลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในสารละลายคลอเรสเตอร์ ความเข้มข้น 10 ppm

Time (min)	Abs					
	0	1	2	3	4	5
0	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
10	0.12	0.15	0.17	0.17	0.18	0.21
20	0.11	0.13	0.15	0.14	0.13	0.15
30	0.11	0.13	0.15	0.13	0.12	0.13
40	0.12	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13
50	0.12	0.14	0.15	0.14	0.14	0.15
60	0.11	0.13	0.14	0.14	0.14	0.16
70	0.11	0.13	0.15	0.14	0.14	0.16
80	0.12	0.13	0.14	0.15	0.14	0.16
90	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.17

ตารางที่ ง.7 ร้อยละการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูปทรงแผ่นแปะที่เตรียมจาก สารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยสารละลาย กลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในสารละลายคลอเรสเตอรอล ความเข้มข้น 10 ppm

Time (min)	%Adsorption					
	0	1	2	3	4	5
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	8.897	14.045	12.315	18.473	29.002	29.644
20	8.897	14.045	12.315	24.631	34.803	39.526
30	0.000	7.022	18.473	18.473	23.202	39.526
40	0.000	7.022	12.315	18.473	23.202	29.644
50	8.897	14.045	18.473	18.473	23.202	24.704
60	8.897	14.045	12.315	18.473	23.202	24.704
70	0.000	14.045	18.473	12.315	23.202	24.704
80	0.000	14.045	18.473	18.473	17.401	19.763

ตารางที่ ง.8 ความสามารถในการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรที่เตรียมจาก สารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยสารละลาย กลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในสารละลายคลอเรสเตอรอล ความเข้มข้น 30 ppm

Time (min)	Abs					
	0	1	2	3	4	5
0	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
10	0.19	0.20	0.26	0.27	0.30	0.33
20	0.18	0.17	0.22	0.23	0.24	0.24
30	0.17	0.17	0.21	0.22	0.24	0.24
40	0.17	0.17	0.21	0.23	0.22	0.24
50	0.17	0.17	0.21	0.22	0.23	0.24
60	0.18	0.17	0.21	0.21	0.24	0.25
70	0.17	0.18	0.20	0.20	0.24	0.25
80	0.17	0.18	0.21	0.22	0.24	0.25
90	0.18	0.18	0.21	0.21	0.24	0.25

ตารางที่ ง.9 ร้อยละการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูพรุนดัดแปรที่เตรียมจาก สารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยสารละลาย กลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในสารละลายคลอเรสเตอรอล ความเข้มข้น 30 ppm

Time (min)	% Adsorption					
	0	1	2	3	4	5
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	5.482	15.593	15.848	15.244	20.520	27.916
20	10.965	15.593	19.810	19.055	20.520	27.916
30	10.965	15.593	19.810	15.244	20.520	27.916
40	10.965	15.593	19.810	19.055	27.359	27.916
50	5.482	15.593	19.810	22.866	20.520	24.814
60	10.965	10.395	23.772	26.677	20.520	24.814
70	10.965	10.395	19.810	19.055	20.520	24.814
80	5.482	10.395	19.810	22.866	20.520	24.814

ตารางที่ ง.10 ความสามารถในการดูดซับคลอเรสเตรอลของฟิล์มเซลลูโลสพรุณดัดแปรที่เตรียมจากสารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยปริมาตร ในสารละลายคลอเรสเตรอลความเข้มข้น 30 ppm

Time (min)	Abs					
	0	1	2	3	4	5
0	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
10	0.18	0.23	0.27	0.30	0.33	0.36
20	0.17	0.21	0.24	0.26	0.28	0.28
30	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29	0.27
40	0.17	0.20	0.24	0.26	0.29	0.27
50	0.17	0.20	0.24	0.26	0.29	0.27
60	0.18	0.21	0.25	0.26	0.28	0.29
70	0.17	0.20	0.23	0.26	0.30	0.28
80	0.18	0.21	0.24	0.27	0.28	0.29
90	0.18	0.21	0.24	0.26	0.27	0.26

ตารางที่ ง.11 ร้อยละการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูปทรงตัดแปดที่เตรียมจาก สารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยสารละลาย กลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยปริมาตร ในสารละลายคลอเรสเตอรอล ความเข้มข้น 30 ppm

Time (min)	%Adsorption					
	0	1	2	3	4	5
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	5.800	8.993	11.433	13.680	15.509	22.701
20	5.800	13.489	15.244	13.680	12.407	25.539
30	5.800	13.489	11.433	13.680	12.407	25.539
40	5.800	13.489	11.433	13.680	12.407	25.539
50	0.000	8.993	7.622	13.680	15.509	19.864
60	5.800	13.489	15.244	13.680	9.305	22.701
70	0.000	8.993	11.433	10.260	15.509	19.864
80	0.000	8.993	11.433	13.680	18.610	28.377

ตารางที่ ง.12 ความสามารถในการดูดซับคลอเรสเตรอลของฟิล์มเซลลูโลสพรุณดัดแปรที่เตรียมจากสารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยสารละลายกลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร ในสารละลายคลอเรสเตรอลความเข้มข้น 30 ppm

Time (min)	Abs					
	0	1	2	3	4	5
0	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
10	0.19	0.22	0.28	0.32	0.33	0.35
20	0.18	0.20	0.25	0.29	0.29	0.29
30	0.18	0.20	0.26	0.29	0.30	0.29
40	0.17	0.21	0.26	0.29	0.30	0.29
50	0.19	0.21	0.26	0.29	0.28	0.29
60	0.18	0.21	0.26	0.29	0.28	0.29
70	0.19	0.21	0.27	0.28	0.29	0.30
80	0.19	0.21	0.26	0.28	0.28	0.31
90	0.18	0.20	0.26	0.29	0.28	0.29

ตารางที่ ง.13 ร้อยละการดูดซับคลอเรสเตอรอลของฟิล์มเซลลูโลสรูปทรงแผ่นที่เตรียมจาก สารละลายเซลลูโลสความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปรับสภาพด้วยสารละลาย กลีเซอรอลความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร ในสารละลายคลอเรสเตอรอล ความเข้มข้น 30 ppm

Time (min)	%Adsorption					
	0	1	2	3	4	5
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	5.482	9.416	11.013	9.603	12.407	17.523
20	5.482	9.416	7.342	9.603	9.305	17.523
30	5.482	4.708	7.342	9.603	9.305	17.523
40	0.000	4.708	7.342	9.603	15.509	17.523
50	5.482	4.708	7.342	9.603	15.509	17.523
60	0.000	4.708	3.671	12.804	12.407	14.603
70	0.000	4.708	7.342	12.804	15.509	11.682
80	5.482	9.416	7.342	9.603	15.509	17.523

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุจินันท์ บัวทอง สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2556
และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิ-
เมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2557 จนสำเร็จการศึกษาในปี
2559

ประสบการณ์การนำเสนอผลงาน

1. นำเสนอผลงานวิจัยแบบโปสเตอร์ในหัวข้อ Novel Preparation Technique of cellulose Film from Cotton Fiber Waste จัดขึ้นโดย งาน The 10th International Symposium in Science and Technology 2015 วันที่ 31 สิงหาคม - 2 กันยายน พ.ศ. 2558 ที่อาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา (อาคารจามจุรี 10) กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
2. นำเสนอผลงานวิจัยแบบโปสเตอร์ในหัวข้อ Fatty Oil Modified Nanoporous Cellulose Film and its Cholesterol Affinity Investigation จัดขึ้นโดย The 7th Research Symposium on Petrochemical and Materials Technology and The 22nd PPC Symposium on Petroleum, Petrochemicals, and Polymers วันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2559 ที่อาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา (อาคารจามจุรี 10) กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย