


การพัฒนาเยื่อแผ่นเซลลูโลสจากกุ่มมะพร้าวสำหรับการแยกสาร



นางสาววันวิสา แสงรุ่งเรืองโรจน์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4495-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF CELLULOSE MEMBRANE FROM NATA-DE-COCO FOR MATERIAL SEPARATION



Miss Wunwisa Sangrungrajroj

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4495-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาเยื่อแผ่นเซลลูโลสจากวุ้นมะพร้าวสำหรับการแยกสาร
โดย นางสาววันวิสา แสงรุ่งเรืองโรจน์
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์)

..... กรรมการ
(คุณ ปราโมทย์ ธรรมรัตน์)

วันวิสา แสงรุ่งเรืองโรจน์ : การพัฒนาเยื่อแผ่นเซลลูโลสจากวุ้นมะพร้าวสำหรับการแยกสาร (Development of Cellulose Membrane from Nata de coco for Material Separation) อ.ที่ปรึกษา : ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์ , 142 หน้า ISBN 974-17-4495-1

วุ้นมะพร้าวเป็นผลิตภัณฑ์จากการหมักน้ำมะพร้าวกับเชื้อแบคทีเรีย Acetobacter โดยวุ้นมะพร้าวมีองค์ประกอบเป็นเป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์และมีสมบัติที่เป็นประโยชน์หลายอย่าง ปัจจุบันวุ้นมะพร้าวได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ในหลายด้าน ได้แก่ อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมสิ่งทอ กระบวนการบำบัดของเสีย อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมอาหาร ใช้ในทางการแพทย์ และใช้ในกระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่น

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการพัฒนาการขึ้นรูปเยื่อแผ่นเซลลูโลสจากวุ้นมะพร้าว และทำการทดสอบวิเคราะห์ โครงสร้าง ความสามารถในการให้สารแพร่ผ่านและสมบัติอื่นๆ โดยพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนของเยื่อแผ่นมีค่าประมาณ 0.2 ไมครอน การทดสอบค่าการแพร่ผ่าน ทำโดยใช้สารละลายในน้ำของสารไม่มีประจุ (แซคคาไรด์ ที่ขนาดโมเลกุลต่างๆ) และเกลือ (โซเดียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์) พบว่าสัมประสิทธิ์การกักกันเท่ากับ 0-0.1, 0-0.2 และ 0.1-0.99 สำหรับการแยกเกลือ, น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหรือคู่ และน้ำตาลหลายโมเลกุลตามลำดับ โดยค่าการกักกันจะเพิ่มขึ้นและอัตราเร็วในการแพร่ผ่านจะลดลงเมื่อขนาดโมเลกุลของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้นหรือความหนาของเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของฟิล์มที่ความหนา 0.0402 มิลลิเมตร เท่ากับ 4252.07 นิวตันต่อเมตร และค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของฟิล์มที่ความหนา 0.1212 มิลลิเมตร เท่ากับ 5208.97 นิวตันต่อตารางเมตร

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2546.....

4370487921 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : DEVELOPMENT OF CELLULOSE MEMBRANE FROM NATA-DE-COCO
FOR MATERIAL SEPARATION. THESIS ADVISOR : DR. MUENDUEN
PHISALAPONG. 142 pp. ISBN 974-17-4495-1

Nata-de-coco is product from fermentation of coconut water with Acetobacter bacteria. It composed of pure cellulose and displays many useful properties. The attractiveness of nata de coco has increased recently due to the possibilities to use in many applications such as cosmetics, textile industry, sewage purification, paper industry, food industry, medicine and membrane separation.

In this research study, the procedures for cellulose membrane fabrication from nata-de-coco has been developed, and membrane's structure, permeability and some other properties were determined. The pore diameter of membrane was estimated to 0.2 micrometer. Permeability experiments of aqueous solutions of neutral solutes (saccharides with different molecular weights) and salts (sodium chloride and calcium chloride) were carried out. The rejection coefficients of 0-0.1, 0-0.2 and 0-0.99 were observed in the separation of salts, mono and di saccharides and dextrans respectively. Rejection increased and permeate flux decreased when molecular weight of solute increased or the thickness of membrane increased. Average tensile strength of 0.0402 mm. film thickness was 4252.07 N/m and average tensile strength of 0.1212 mm. film thickness was 5208.97 N/m

Department.....Chemical Engineering.....Student's signature.....

Field of study..... Chemical EngineeringAdvisor's signature.....

Academic year.....2003.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดีจากหลายๆ ท่าน ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับ ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำวิธีการทำงานตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล ที่เป็นประธานการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.สุทธิชัย อัสสะบำรุงรัตน์ คุณปราโมทย์ ธรรมรัตน์ ที่เป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์

ขอบคุณ ผศ.ดร.ศิริพร ดำรงค์ศักดิ์กุล ที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการวิเคราะห์หาความต้านทานแรงดึง

ขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิเคราะห์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทดลองวิจัย

ขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิเคราะห์ คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทดลองวิจัย

ขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้อีกาสทางการศึกษา

ขอบคุณนาย กิจชัย กาญจนประภากุล ที่ช่วยซ่อมอุปกรณ์การทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและขอบคุณทุกคนในครอบครัว เพื่อนๆ ที่คอยเป็นกำลังใจตลอดมาจนงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในห้องวิจัยวิศวกรรมชีวเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้การช่วยเหลือและคำแนะนำต่างๆ จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

| | |
|---|----|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฅ |
| สารบัญรูป..... | ญ |
| สัญลักษณ์..... | ฒ |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ..... | 1 |
| 1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... | 2 |
| 1.2 ขอบเขตของงานวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| 1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย..... | 3 |
| 2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 เซลลูโลส..... | 4 |
| 2.2 เซลลูโลสจากแบคทีเรีย..... | 10 |
| 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการแยกสารโดยใช้กระบวนการเยื่อแผ่น..... | 21 |
| 3. ทฤษฎี..... | 36 |
| 3.1 ประเภทของเยื่อแผ่น..... | 26 |
| 3.2 การเคลื่อนที่ของสารผ่านเยื่อแผ่น..... | 27 |
| 3.3 การผลิตเยื่อแผ่นประเภทอินทรีย์..... | 27 |
| 3.4 ข้อดีของกระบวนการเยื่อแผ่น..... | 30 |
| 3.5 ข้อจำกัดของกระบวนการเยื่อแผ่น..... | 30 |
| 3.6 กระบวนการแยกสารโดยใช้เยื่อแผ่น..... | 32 |
| 3.7 การบอกคุณลักษณะของเยื่อแผ่น..... | 39 |
| 3.8 ปฏิกริยาของเซลลูโลส..... | 42 |
| 3.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในโมเลกุลของเซลลูโลสเมื่อ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์, คาร์บอนไดออกไซด์ และ กรดซัลฟูริก..... | 43 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 4. อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย..... | 44 |
| 4.1 สารเคมี..... | 44 |
| 4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง..... | 45 |
| 4.3 วิธีการทดลอง..... | 49 |
| 5. ผลการทดลอง วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง..... | 57 |
| 5.1 ลักษณะของวุ้นมะพร้าว..... | 57 |
| 5.2 การวิเคราะห์หาความชื้นของวุ้นมะพร้าว..... | 57 |
| 5.3 ผลของความสามารถในการละลายได้ของวุ้นมะพร้าว..... | 59 |
| 5.4 ผลของการไฮโดรไลซ์เพื่อดูลักษณะของวุ้นมะพร้าวที่ได้..... | 60 |
| 5.5 ผลของการปรับสภาพวุ้นมะพร้าวและทำการขึ้นรูปฟิล์ม..... | 63 |
| 5.6 คุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์ม..... | 75 |
| 5.7 ผลของการทดสอบคุณสมบัติทางการแยกสารของฟิล์มเสมือนเป็นเยื่อแผ่น..... | 98 |
| สรุปผลการทดลอง..... | 110 |
| ข้อเสนอแนะ..... | 112 |
| รายการอ้างอิง..... | 113 |
| ภาคผนวก | |
| ภาคผนวก ก. ตัวอย่างกราฟและข้อมูลที่ได้จากการทดลอง | 118 |
| ภาคผนวก ข. เส้นกราฟมาตรฐาน..... | 123 |
| ภาคผนวก ค. ข้อมูลการทดลอง..... | 132 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 142 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|----------|---|
| 2.1 | องค์ประกอบทางเคมีของวุ้นน้ำมะพร้าว.....12 |
| 2.2 | ความสามารถในการละลายของวุ้น เซลลูโลสของฝ้าย และเด็กแทนในตัวทำละลายต่างๆ.....15 |
| 2.3 | คุณสมบัติทางกลของฟิล์มแบบที่เรียเซลล์ูโลสที่ได้จากการเตรียมในสภาวะต่างๆ.....16 |
| 2.4 | การประยุกต์เซลล์ูโลสจากแบคทีเรียเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ.....18 |
| 5.1 | ความสามารถในการละลายของวุ้นมะพร้าวในสารละลายต่างๆที่อุณหภูมิห้อง.....59 |
| 5.2 | ผลการทดลองการไฮโดรไลซ์วุ้นมะพร้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริก.....61 |
| 5.3 | ผลการทดลองการไฮโดรไลซ์วุ้นมะพร้าวด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์.....62 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส..... | 4 |
| 2.2 ตำแหน่งของพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นภายในโมเลกุลเซลลูโลส..... | 5 |
| 2.3 โครงสร้างระดับซูเปอร์โมเลกุลาร์ของเซลลูโลส..... | 6 |
| 2.4 โครงสร้างของหน่วยเซลลูโลส..... | 7 |
| 2.5 พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลภายใต้ 002-lattice planes ของเซลลูโลส I | 8 |
| 2.6 โครงร่างตาข่ายที่เกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างระนาบของเซลลูโลส II | 9 |
| 2.7 กลไกการแตกกิ่งก้านของไฟบริลเซลลูโลสจากแบคทีเรีย..... | 11 |
| 2.8 โครงสร้างของสารโพลีเซคคาไรด์ AM-2..... | 14 |
| 3.1 แสดงการเกิดคอนเซนเทรชันโพลาริเซชัน..... | 31 |
| 3.2 แสดงระบบการกรองแบบนาโนฟิลเตรชัน..... | 34 |
| 3.3 แสดงกลไกการแยกอนุภาคที่มีประจุของเยื่อแผ่นประจุลบ..... | 34 |
| 3.4 แสดงระบบการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน..... | 36 |
| 3.5 แสดงระบบการกรองแบบไมโครฟิลเตรชัน..... | 37 |
| 3.6 แสดงการเปรียบเทียบการกรองแบบ dead-end และการกรองแบบไหลขวาง..... | 38 |
| 4.1 ไดอะแกรมแสดงระบบการกรอง..... | 46 |
| 4.2 แสดงโมดูลของเยื่อแผ่น..... | 47 |
| 4.3 แสดงชุดการกรอง..... | 48 |
| 4.4 แสดงโมดูลของเยื่อแผ่น..... | 48 |
| 5.1 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์ตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์..... | 63 |
| 5.2 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์ตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์..... | 63 |
| 5.3 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่น ตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ต่างเป็นกลาง..... | 65 |
| 5.4 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่น ตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริก..... | 65 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 5.5 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธี ที่ 4.3.2.1 โดยไม่ผ่านการปรับสภาพของวุ้นมะพร้าว..... | 66 |
| 5.6 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่น ไฮดรอกไซด์ ตามวิธีที่ 4.3.2.2 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก..... | 66 |
| 5.7 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการต้ม ตามวิธีที่ 4.3.2.3 แล้วปรับสภาพด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริก..... | 67 |
| 5.8 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการต้ม ตามวิธีที่ 4.3.2.3 แล้วปรับสภาพด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริก..... | 68 |
| 5.9 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่น ตามวิธี ที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก..... | 69 |
| 5.10 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการล้างด้วยน้ำกลั่น ตามวิธี ที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก..... | 70 |
| 5.11 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่น ตามวิธี ที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก..... | 71 |
| 5.12 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่น ตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก..... | 72 |
| 5.13 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธีการวางบนแผ่นเรียบ..... | 73 |
| 5.14 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการตากบนแผ่นเรียบ (ไม่ได้ทำการปั่นและปรับสภาพ)..... | 77 |
| 5.15 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรีย..... | 78 |
| 5.16 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรีย..... | 78 |
| 5.17 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรีย..... | 79 |
| 5.18 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรีย..... | 79 |
| 5.19 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรีย..... | 80 |
| 5.20 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรีย..... | 80 |
| 5.21 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรีย..... | 81 |
| 5.22 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรีย..... | 81 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 5.62 แสดงค่าการกักกันและพหุมิเอทฟลักซ์ของตัวถูกละลาย ของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0314 มิลลิเมตร..... | 104 |
| 5.63 แสดงค่าการกักกันและพหุมิเอทฟลักซ์ของตัวถูกละลาย ของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0402 มิลลิเมตร..... | 105 |
| 5.64 แสดงค่าการกักกันและพหุมิเอทฟลักซ์ของตัวถูกละลาย ของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.1212 มิลลิเมตร..... | 105 |
| 5.65 แสดงค่าการกักกันและพหุมิเอทฟลักซ์ของตัวถูกละลายของฟิล์มที่ได้ จากการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0594 มิลลิเมตร..... | 106 |
| 5.66 แสดงค่าการกักกันและพหุมิเอทฟลักซ์ของตัวถูกละลายของฟิล์มที่ได้ จากการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0500 มิลลิเมตร..... | 106 |
| 5.67 เปรียบเทียบค่าการกักกันของสารที่มีความหนาต่างๆ ของเยื่อแผ่น โดยกระบวนการกรองแยกสาร..... | 107 |
| 5.68 เปรียบเทียบค่าพหุมิเอทฟลักซ์ของสารที่มีความหนาต่างๆ ของเยื่อแผ่น โดยกระบวนการกรองแยกสาร..... | 108 |

สัญลักษณ์

C_p คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเฟอมีเอท

C_R คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในรีเทนเทท

J คือ ฟลักซ์

ΔP คือ ความดัน

R คือ ค่าการกักกัน

r_p คือ รัศมีรูพรุน

γ คือ แรงตึงผิวระหว่างของเหลวต่างๆ และอากาศ

μ คือ ความหนืดของของเหลว

θ คือ มุมสัมผัส

ε คือ ความพรุนของผิวเยื่อแผ่น

χ คือ ตัวประกอบความคดเคี้ยวของรูพรุน

δ_m คือ ความหนาของเยื่อแผ่น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญมากชนิดหนึ่งทั้งนี้ก็เพราะแทบจะทุกส่วนของมะพร้าว ตั้งแต่รากไปจนถึงยอดล้วนแต่มีประโยชน์ทั้งสิ้น มะพร้าวเป็นพืชที่ให้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งในด้านการบริโภคและเป็นวัตถุดิบเพื่อการอุตสาหกรรม (เกษตร สุนทรเสรี) และจากอุตสาหกรรมเหล่านี้จะมีน้ำมะพร้าวซึ่งเป็นส่วนที่เหลือทิ้งอยู่มากมาย โดยทั่วไปแล้วน้ำมะพร้าวประกอบด้วย น้ำ 93% ไขมัน 1% โปรตีน 1% เกลือแร่ 1% คาร์โบไฮเดรต 5% ซึ่งเมื่อประมาณ 15 ปีที่ผ่านมา น้ำมะพร้าวที่เหลือใช้นี้ได้ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตวุ้นมะพร้าว (*nata-de-coco*) ซึ่งเป็นอาหารและของหวานพื้นเมืองของชาวเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ การผลิตจะทำการหมักน้ำมะพร้าวด้วยเชื้อ *Acetobacter xylinum* 20% ถ้าต้องการให้วุ้นมีความหนาเพิ่มขึ้นในเวลาอันรวดเร็วจะต้องเติมสารอาหารลงไปในน้ำมะพร้าว ดังนี้ น้ำตาลทรายขาว 5% ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (*di-ammonium hydrogenphosphate*) 0.5% หัวน้ำส้ม 1-3% ปรับความเป็นกรดเป็นด่างให้อยู่ระหว่าง 4.0 – 5.0 นำไปหมักในโหลแก้วปากกว้างแล้วปิดฝาไว้ ประมาณ 8-10 วันก็ได้วุ้นมะพร้าวที่มีความหนาประมาณ 0.7-1.0 เซนติเมตร มีสีขาวเนื้อแน่น และน้ำที่เหลือในโหลแก้วก็ยังสามารถหมักเป็นน้ำส้มต่อไป (ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย) ซึ่งในระหว่างการหมัก *Acetobacter xylinum* จะผลิตโมเลกุลเซลลูโลสขึ้นภายในเซลล์และเซลลูโลสที่ถูกสร้างขึ้นมานั้นจะถูกขับออกมาภายนอกเซลล์โดยจะสังเกตได้จากฝ้าบางๆ สีขาวที่ลอยอยู่ที่ผิวด้านบน และจะค่อยๆเพิ่มความหนาขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งวุ้นมะพร้าวเกือบจะประกอบด้วยเซลลูโลสบริสุทธิ์ ไม่มีลิกนิน และ วัตถุเจือปนอื่นๆ ลักษณะโดยทั่วไปของวุ้นมะพร้าว ความนุ่มชื้น เป็นเจลและบวมน้ำ เป็นเส้นใยเซลลูโลสที่เกือบจะบริสุทธิ์ มีความแข็งแรงสูง มีคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและทางชีวเคมีที่มีประสิทธิภาพสูง วุ้นมะพร้าวยังสามารถนำมาประยุกต์เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมายหลายอย่าง เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพิ่มประสิทธิภาพของกระดาษที่ใช้ทำแผ่นป้องกันเสียงสะท้อนในลำโพงวิทยุและหูฟัง เซลลูโลสจากแบคทีเรียนี้ยังได้ถูกนำมาทดลองใช้เป็นวัตถุดิบในการทำแผ่นฟิล์มคาร์บอน ซึ่งถูกพบว่ามีคุณสมบัติดีมากแม้ว่ายังอยู่ในขั้นการทดลองในห้องปฏิบัติการก็ตาม (K. YOSHINO และคณะ , 1991) ทางด้านกระดาษ Mitsubishi Paper Mills Co. ได้นำเซลลูโลสจากแบคทีเรียมาใช้ทำการวิจัยเพื่อเป็นส่วนประกอบในการผลิตกระดาษที่มีความคงทนและโค้งงอได้สำหรับใช้ทำเป็นธนบัตร หรือกระดาษที่มีคุณ

ภาพสูงอื่นๆ และยังมีการศึกษาเพื่อนำเอาเซลลูโลสจากแบคทีเรียมาทำเป็นแผ่นฟิล์ม เพื่อนำมาทำเป็นผิวหนังชั่วคราวสำหรับการรักษาทางการแพทย์ (J.D. FONTANA และคณะ , 1990) และนำมาใช้ในกระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่น โดยเยื่อแผ่นของแบคทีเรียเซลลูโลสนั้นได้มาจากการหมักด้วยเชื้อ acetobacter แล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติเสมือนเป็นเยื่อแผ่นไดอะไลซิส (dialysis membrane) ซึ่งเยื่อแผ่นที่ได้มีความแข็งแรงสูง และมีความบางมากกว่าเยื่อแผ่นไดอะไลซิสทั่วไป ดังนั้นจึงให้ค่าเพอมีเอทฟลักซ์สูงกว่า และสามารถทนความร้อนได้ (H. SHIBAZAKI และคณะ , 1993) ซึ่งในปัจจุบันได้มีการสังเคราะห์และปรับปรุงเซลลูโลสเพื่อนำมาประยุกต์เป็นเยื่อแผ่นหลายชนิด เช่น เยื่อแผ่นที่ใช้ในการฟอกไต โดยหน่วยของกลูโคสจะถูกปรับปรุงโดยการแทนที่บางส่วนหรือทั้งหมดของหมู่ไฮดรอกซิลด้วย diethylaminoethyl (Hemophan™), acetate (cellulose acetate), triacetate (cellulose triacetate), 2,5 acetate (Diaphan™) หรือ benzyl groups (Synthetically modified cellulose, SMC) พบว่าในการปรับปรุงหน่วยของกลูโคสมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตเยื่อแผ่นซึ่งมีความเข้ากันได้ดีกับองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตและยังมีความคล้ายคลึงกับเยื่อแผ่นที่ผลิตจากโคโพลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พวกลิโพลิซัลโฟน (polysulphone)

1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

พัฒนาเยื่อแผ่นเซลลูโลสจากวุ้นมะพร้าวสำหรับใช้ในกระบวนการแยกสาร

1.2 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาวิธีการย่อยแผ่นเซลลูโลสจากแบคทีเรียโดย
 - ย่อยด้วยกรดไฮโดรคลอริก
 - ย่อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
- 1.2.2 ศึกษาวิธีการขึ้นรูปเยื่อแผ่นที่เหมาะสม
- 1.2.3 ศึกษาคุณสมบัติของเยื่อแผ่นที่ได้
 - ความหนา
 - โครงสร้างของเยื่อแผ่น โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope)
 - ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุน โดยเครื่อง Nitrogen Adsorption
 - ความต้านแรงดึง (tensile strength)

1.2.4 ศึกษาประสิทธิภาพในการกรองของเยื่อแผ่นที่ได้

- เพอเมียมิตซ์
- ค่ารีเจคชัน (R)

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

พัฒนาเยื่อแผ่นเซลลูโลสจากวุ้นมะพร้าวเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการแยกสารด้วยเยื่อแผ่น

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 รวบรวมเอกสารและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 ทำการทดลองย่อยเซลลูโลสจากแบคทีเรียด้วยกรดไฮโดรคลอริก , โซเดียมไฮดรอกไซด์
- 1.4.3 ทำการขึ้นรูปเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ผ่านการย่อยแล้วด้วยวิธีการกดระหว่างแผ่นพลาสติก 2 แผ่นและวิธีการกดอัด แล้วตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง
- 1.4.4 ทำการขึ้นรูปเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ไม่ได้ผ่านการย่อยด้วยวิธีการวางบนแผ่นเรียบแล้วตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง
- 1.4.5 ทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพรวมถึงคุณสมบัติในการกรองของเยื่อแผ่น
- 1.4.6 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลอง
- 1.4.7 จัดทำวิทยานิพนธ์

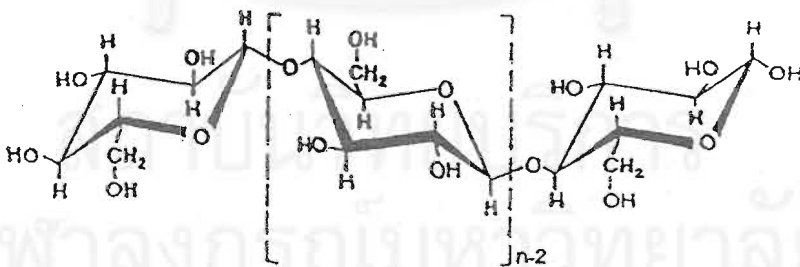
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลลูโลส

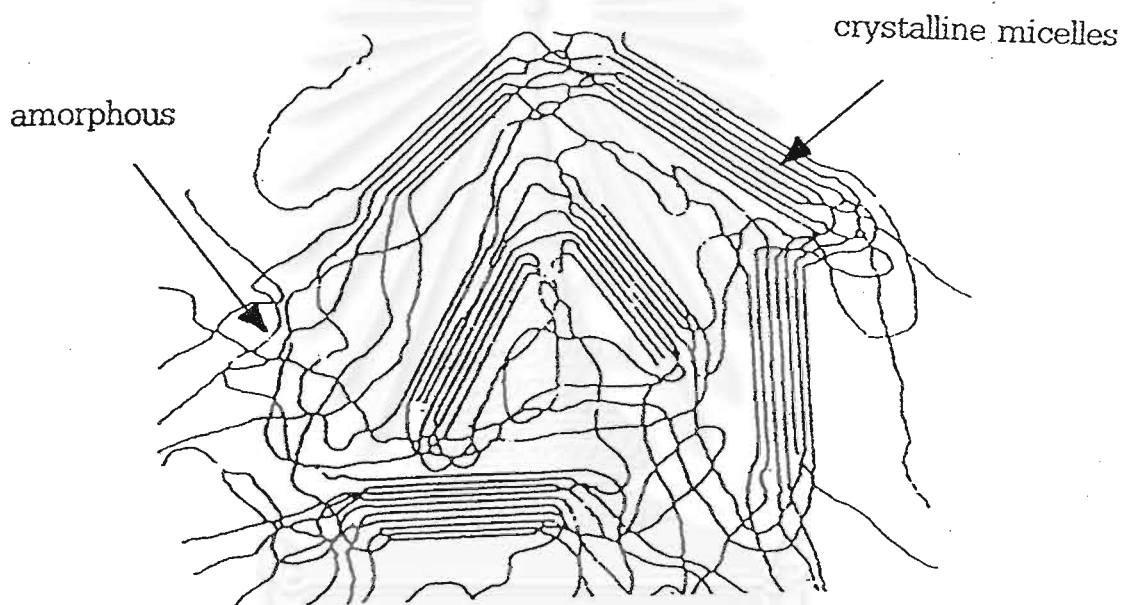
เซลลูโลสมีความสำคัญทางการค้าและทางชีวเคมี พบได้ในพืชเนื่องจากเป็นส่วนประกอบสำคัญทางโครงสร้างของผนังเซลล์ เซลลูโลสในไม้จะผสมด้วยโพลีเมอร์ตัวอื่นๆ เช่น เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน นอกจากนี้ อมیبา ราเมือก สาหร่ายทะเล และแบคทีเรีย *Acetobacter* ก็ยังสามารถผลิตเซลลูโลสได้ ไมโครไฟบริลของเซลลูโลสที่พบจากแหล่งต่างๆ มีขนาดต่างกัน ไมโครไฟบริลที่พบในพืชและแบคทีเรียมีขนาดประมาณ 10 นาโนเมตร ส่วนที่พบในสาหร่ายทะเลมีขนาดยาวถึง 25-30 นาโนเมตร (กองการวิจัย, 2513 ; Colvin, 1972 ; Preston, 1974)

เซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีสูตรโมเลกุลเป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ และมีชื่อทางเคมีว่า 1,4- β -D-polyanhydroglucopyranose โครงสร้างของเซลลูโลสประกอบด้วยกลูโคส 15-40,000 หน่วย ต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ β -(1-4) glycosidic ดังรูปที่ 2.1 (Cowling and Kirk, 1976) น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบของเซลลูโลส ซึ่งมีค่าประมาณ 1,500,000 ดาลตัน (Brown, 1983)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส (Cowling and Kirk, 1976)

พันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลนี้เป็นสาเหตุให้สายโซ่ยึดตรงและแข็ง และทำให้สายโซ่มีการจัดเรียงตัวแบบขนาน (parallel) ซึ่งมีผลทำให้เกิดผลึก (crystalline micelles) และการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เกิดโครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลสในระดับซูเปอร์โมเลกุลาร์ (supermolecular structure) คือ มีโครงสร้างผลึกที่มีการจัดเรียงโมเลกุลของเซลลูโลสอย่างเป็นระเบียบล้อมรอบด้วยส่วนของสายโซ่ที่เป็นอสัณฐาน คือ สายโซ่ที่มีการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบ (antiparallel) ดังรูปที่ 2.3 (Mark,1940 ; Krassig,1985)

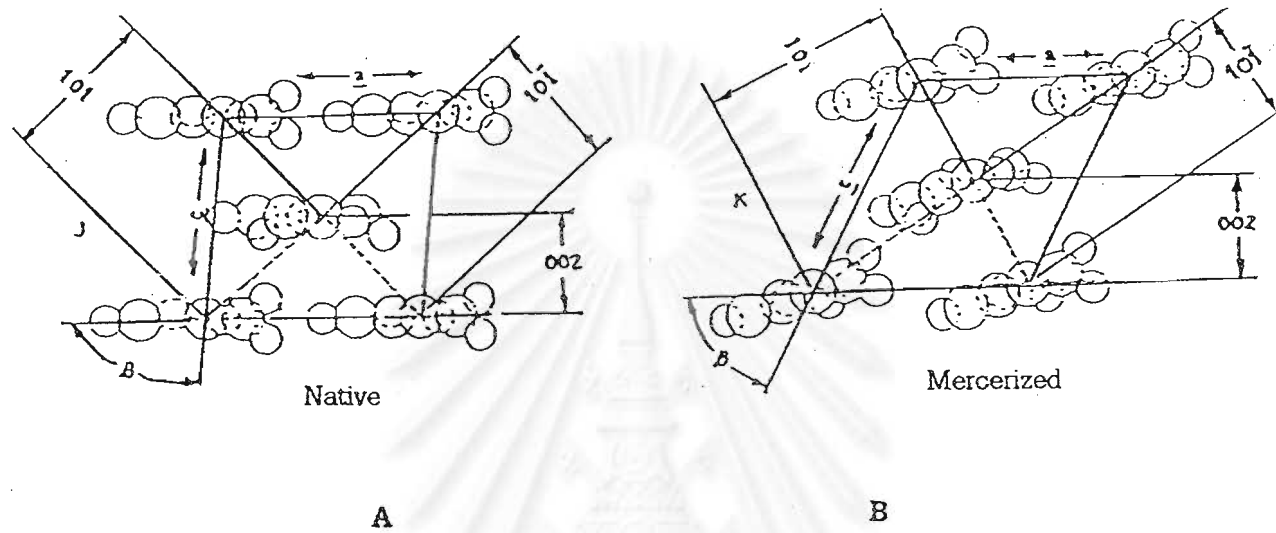


รูปที่ 2.3 โครงสร้างระดับซูเปอร์โมเลกุลาร์ของเซลลูโลส (Mark,1940)

จากการศึกษาโครงสร้างผลึกของเซลลูโลสด้วยวิธีเอกซเรย์ดิฟแฟกชัน พบว่าการจัดเรียงตัวของผลึกเซลลูโลสมี 4 แบบ คือ เซลลูโลส I II III และ IV ซึ่งมีการจัดเรียงตัวในหน่วยเซลล์ต่างกันตามชนิดและขนาด (ความยาวแกนและมุม) ของหน่วยเซลล์

เซลลูโลส I เป็นรูปแบบของเซลลูโลสทั้งหมดในธรรมชาติ มีการจัดเรียงตัวของไมโครไฟบริลแบบขนาน และไม่เสถียรตามหลักเทอร์โมไดนามิกส์ เมื่อนำเซลลูโลส I มาละลายน้ำแล้วตกตะกอนหรือนำมาทำให้พองตัวในน้ำ เซลลูโลส I จะเปลี่ยนไปเป็นเซลลูโลส II ซึ่งมีการเรียง

ตัวของสายโซ่เป็นแบบไม่ขนาน และมีความเสถียรมากกว่า ตัวอย่างของเซลลูโลส ๖ คือ รีเจนเนอเรทเซลลูโลส (regenerated cellulose) เช่น เรยอน (rayon) เซลโลเฟน (cellophane) และเมอร์ซิไรซ์เซลลูโลส (mercerized cellulose) (Delmer, 1983 ; Krassig, 1985) การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส (แบบขนาน) และเซลลูโลส ๖ (แบบไม่ขนาน) แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของหน่วยเซลลูโลส (Krassig, 1985)

A: เซลลูโลส ๖ ตามโมเดลโครงร่างผลึกของ Maryer-Mark-Misch

B: เซลลูโลส ๖ ตามโมเดลโครงร่างผลึกของ Andress

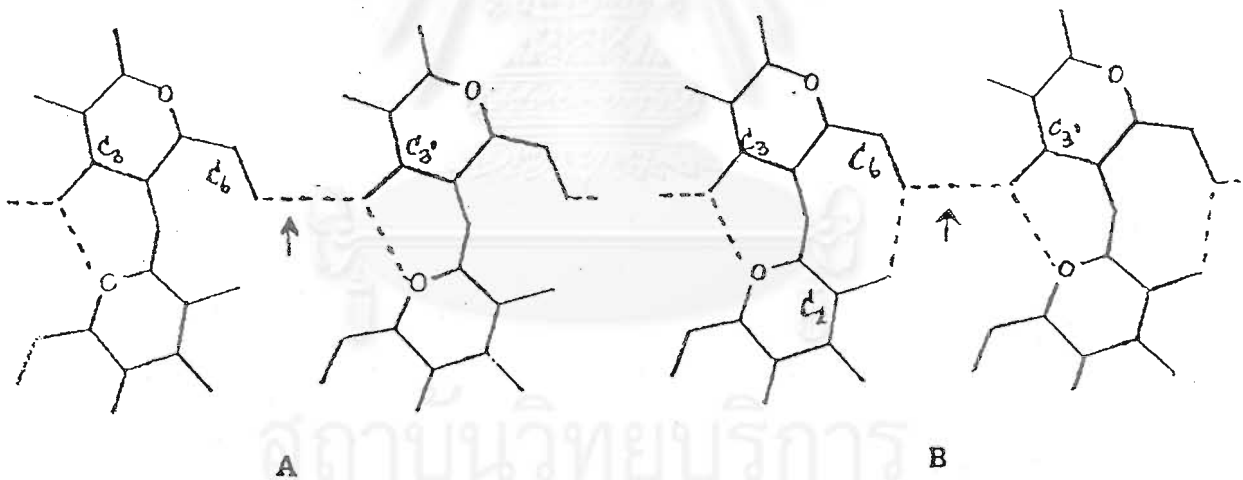
จากตำแหน่งของสายโซ่เซลลูโลสที่อยู่ติดกันภายในหน่วยเซลล์ของเซลลูโลส ๖ ทำให้เกิดพันธะเวเลนซ์อันดับที่สอง (secondary valence) และแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waals) ระหว่างสายโซ่ที่อยู่ติดกันในระนาบผลึก (lattice plane) เดียวกัน ดังรูป 2.4A แสดงให้เห็นถึงโมเลกุลเซลลูโลสที่อยู่ติดกันภายในระนาบผลึกที่ 002 (002-lattice layer) จับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลบนคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของสายหนึ่งกับหมู่ไฮดรอกซิลบนคาร์บอนตำแหน่งที่ 3' ของอีกสายหนึ่ง (Liang and Marchessault, 1959; Blackwell และคณะ, 1977) ดังรูปที่ 2.5 สำหรับโครงสร้างของเซลลูโลส ๖ หมู่ไฮดรอกซิลทุกกลุ่มอยู่ในตำแหน่งที่สามารถทำให้เกิดพันธะได้ทั้งพันธะไฮโดรเจนภายในและระหว่างโมเลกุล โดยที่การเกิดพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลเป็นเช่นเดียวกันกับที่เกิดขึ้นในเซลลูโลส ๖ ดังรูป 2.5B สำหรับพันธะระหว่างโมเลกุลของสายโซ่เซลลูโลสระหว่างระนาบ (interplanar bonding) คาดว่ามีพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้น 3 สาย ดังนี้

- พันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของสายโซ่หนึ่งกับหมู่ไฮดรอกซิลของคาร์บอนตำแหน่งที่ 3" ของอีกสายโซ่โมเลกุลที่อยู่ตรงกลางของระนาบที่ 002 (002-plane) ตามทิศทาง 'ลง' ดังรูปที่ 2.6A

- พันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของสายโซ่หนึ่งกับหมู่ไฮดรอกซิลของคาร์บอนตำแหน่งที่ 2" ของอีกสายโซ่โมเลกุลที่อยู่ตรงมุมของระนาบที่ 002 (002-plane) ตามทิศทาง 'ขึ้น' ดังรูปที่ 2.6B

- พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่โมเลกุลที่จัดเรียงแบบไม่ขนาน (antiparallel) ในระนาบ 101 (101-plane) ดังรูปที่ 2.4B ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของสายหนึ่งกับหมู่ไฮดรอกซิลของคาร์บอนตำแหน่งที่ 2" จากแต่ละหน่วยกิโลไซทอสของอีกสายโซ่หนึ่งที่เกิดตรงใจกลางตามทิศทาง 'ลง' และสายโซ่ที่เกิดตรงมุมตามทิศทาง 'ขึ้น' ดังรูป 2.6C

การมีพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุลดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นนี้ ทำให้โครงสร้างผลึกของเซลลูโลส II มีโครงสร้างที่อัดแน่นมากกว่าโครงร่างผลึกของเซลลูโลส I (Krassig, 1985)

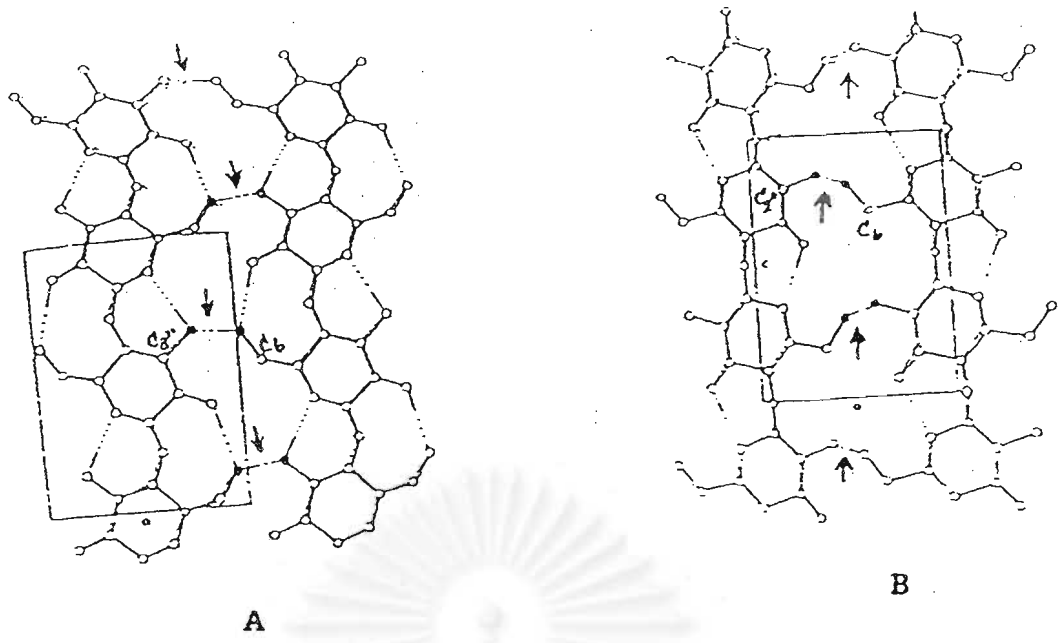


รูปที่ 2.5 พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลภายใน 002-lattice planes ของเซลลูโลส I

(Krassig, 1985)

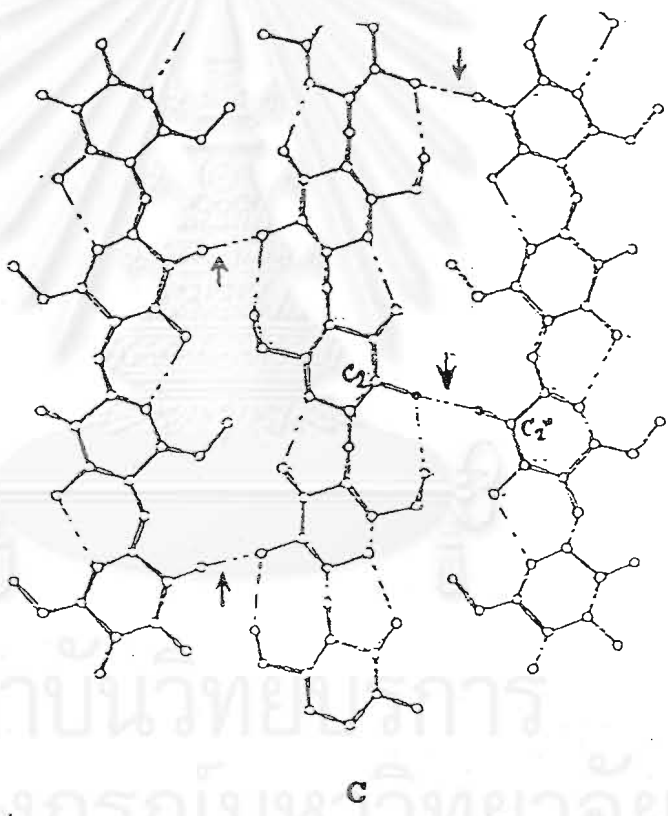
A: ตามโมเดลของ Liang and Marchessault

B: ตามโมเดลของ Blackwell และคณะ



A

B



C

รูปที่ 2.6 โครงร่างตาข่ายที่เกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างระนาบของเซลลูโลส //

(Krassig, 1985)

- A: พันธะไฮโดรเจนที่เกิดกับสายโซ่ที่อยู่ตรงกลางของระนาบ 002 ตามทิศทาง 'ลง'
- B: พันธะไฮโดรเจนที่เกิดกับสายโซ่ที่อยู่ตรงมุมของระนาบ 002 ตามทิศทาง 'ขึ้น'
- C: พันธะไฮโดรเจนระหว่างระนาบที่เกิดระหว่างสายโซ่ที่มีการจัดเรียงตัวแบบไม่ขนานในระนาบ 101

เซลลูโลสวุ้นน้ำมะพร้าวมีลักษณะดังนี้ คือ 1. ไม่มีเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพกติน เจือปนทำให้ง่ายต่อการทำให้เซลลูโลสบริสุทธิ์ 2. มีความเป็น hydrophilic สูง เนื่องจากการมีพื้นที่ผิวในโครงสร้างมากจึงสามารถอุ้มน้ำ (water holding capacity) สูงถึง 60-700 เท่าของน้ำหนักแห้ง 3. ทนต่อแรงดึงได้สูงกว่าไฟเบอร์สังเคราะห์ต่างๆ โดยมีค่ายังส์โมดูลัสประมาณ 300 เมกะปาสคาล ซึ่งสูงกว่า organic fiber ถึง 4 เท่า (Nichi et al.,1990) และค่าความต้านแรงดึงมีค่าสูงกว่าฟิล์มโพลีเอทิลีน (polyethylene) หรือไวนิลคลอไรด์ (vinyl chloride) ถึง 5 เท่า 4. ใน การสังเคราะห์เส้นใยเซลลูโลสสามารถเลือกสารตั้งต้นซึ่งมีราคาถูก หาได้ง่ายในท้องถิ่น ทำให้ ต้นทุนในการผลิตวุ้นน้ำมะพร้าวมีราคาต่ำ และ 5. ในการสร้างเซลลูโลสวุ้นน้ำมะพร้าวในช่วงที่ไม่โครไฟบริลเริ่มเกาะกันเป็นสายจนเป็น amorphous cellulose สามารถควบคุมให้มีสมบัติทางกายภาพตามที่ต้องการ โดยจัดการเกี่ยวกับความหนาแน่นของเซลล์ สภาพการหมัก ลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ในการหมัก และองค์ประกอบของอาหารที่ใช้เลี้ยง ซึ่งทำให้สามารถควบคุมคุณสมบัติเกี่ยวกับความขาวสว่าง ความแข็งแรง และความยืดหยุ่นของเซลลูโลสจากแบคทีเรียได้ (White and Brown,1989)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวุ้นน้ำมะพร้าว แสดงในตารางที่ 2.1 พบว่ามีคาร์โบไฮเดรตและเส้นใยมากถึงร้อยละ 53.57-59.26 และร้อยละ 19.64-21.30 ตามลำดับ (เมื่อคิดจากน้ำหนักแห้ง)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของวุ้นน้ำมะพร้าว (สมคิด ธรรมรัตน์,2531)

| องค์ประกอบทางเคมี | ผลการวิเคราะห์โดย (ร้อยละ) | |
|-------------------|------------------------------|--------------|
| | กรมวิทยาศาสตร์บริการ | กองเกษตรเคมี |
| น้ำ | 94.40 | 94.60 |
| ไขมัน | 0.05 | 0.06 |
| เส้นใย | 1.10 | 1.15 |
| โปรตีน | 0.68 | 0.84 |
| เถ้า | 0.77 | 0.10 |
| คาร์โบไฮเดรต | 3.00 | 3.20 |

L.S.Dimaguila(1967) ได้ทำการศึกษารวมชาติทางเคมีและคุณสมบัติของเซลลูโลสจากแบคทีเรียหรือที่เรียกว่าวุ้นน้ำมะพร้าว พบว่าวุ้นมีลักษณะเป็นเจลและเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำซึ่งเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของการหมักน้ำมะพร้าวและน้ำผลไม้ เนื่องมาจากการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะผลิตสารโพลีแซคคาไรด์ขึ้น ในการทดลองจะทำความสะอาดวุ้นน้ำมะพร้าวก่อนเพื่อกำจัดเซลล์ที่หลงเหลืออยู่และเพื่อให้วุ้นน้ำมะพร้าวที่จะนำมาทดสอบมีค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง พบว่า

- มีความชื้น (moisture) เป็นองค์ประกอบร้อยละ 98.55 โดยน้ำหนัก

- การทดสอบการละลาย (solubility test) โดยนำวุ้นน้ำมะพร้าวที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว นำมาทดสอบในตัวทำละลายอินทรีย์และอนินทรีย์ โดยใช้ฝ้ายและเด็กแทน (dextran) เป็นตัวเปรียบเทียบ พบว่าฝ้าย และวุ้นน้ำมะพร้าวแสดงค่าการละลายที่เท่าๆกันในตัวทำละลายเดียวกัน ส่วนเด็กแทนแสดงค่าการละลายและให้ค่าการละลายที่แตกต่างออกไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวุ้นน้ำมะพร้าวไม่ใช่เด็กแทนดังแสดงในตารางที่ 2.2

- ปฏิกริยาการเกิดสี (color reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่ใช้ทดสอบเซลลูโลส พบว่าวุ้นน้ำมะพร้าวและฝ้ายสามารถเกิดปฏิกิริยาและให้สีน้ำเงินเข้มซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีเป็นเซลลูโลส แต่เด็กแทนเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างออกไป

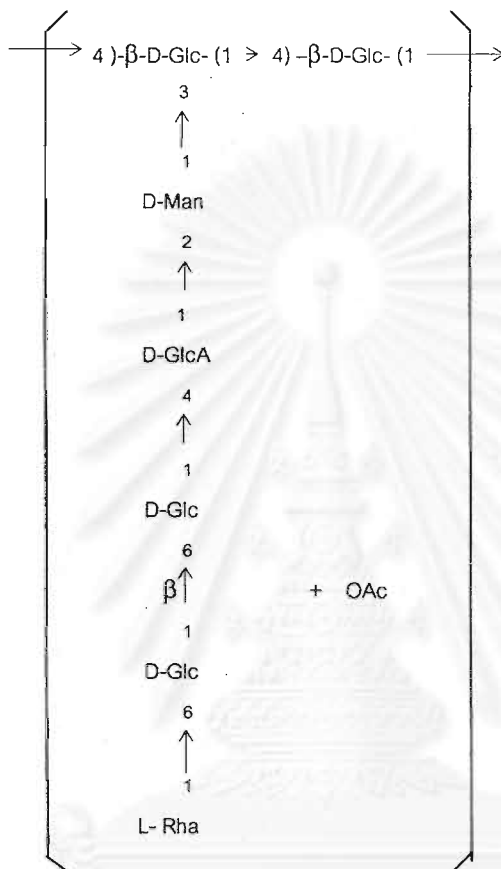
- การย่อยสลายด้วยกรด (acid hydrolysis) แล้วทำการทดสอบหาการเกิดน้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) ด้วย Fehling's solution พบว่ามีน้ำตาลรีดิวซิงเกิดขึ้นและจากการหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง โดยanthrone test พบว่าวุ้นน้ำมะพร้าวประกอบด้วยกลูโคสร้อยละ 81.9

- การย่อยสลายด้วยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่าหลังจากการย่อย 2 วัน ยังสามารถมองเห็นวุ้นน้ำมะพร้าวได้ และจากการทดสอบพบว่า เป็นเจลนุ่มและทำให้แตกกลายเป็นเศษเล็กๆ ได้ด้วยมือ และจากการทดสอบหาการเกิดน้ำตาลรีดิวซิงด้วย Fehling's solution พบว่ามีน้ำตาลรีดิวซิงเกิดขึ้นและจากการหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซิงโดย anthrone test พบว่าวุ้นน้ำมะพร้าวประกอบด้วยกลูโคสร้อยละ 95.9 และจากการที่วุ้นน้ำมะพร้าวสามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และให้ร้อยละของกลูโคสที่สูงนั้นแสดงให้เห็นว่าวุ้นน้ำมะพร้าวมีลักษณะทางเคมีเหมือนเซลลูโลส

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดด้วยกำลังขยาย 20,000 เท่า พบว่าวุ้นน้ำมะพร้าวอยู่ในรูปแบบเส้นใยที่คล้ายคลึงกับเส้นใยเซลลูโลสที่ได้รับจากผนังเซลล์ของพืช

Kenji Tayama และคณะ(1984) ได้ทำการศึกษาโครงสร้างของสารโพลีแซคคาไรด์ที่ผลิตออกมาภายนอกเซลล์ของเชื้อแบคทีเรีย *Acetobacter aceti* subsp. *Xylinum* พบว่าโพลีแซคคาไรด์ (AM-2) ประกอบไปด้วย D-glucose, L-rhamnose, D-mannose, D-glucuronic acid และ O-acetyl ในอัตราส่วนโมล 4 : 1 : 1 : 1 : 1 โดยมีโครงสร้างเป็นแบบกิ่งซึ่งมี β -(1 \rightarrow 4)-

linked glucose เป็นโซ่หลัก และมี L-rhamnosyl-(1 → 6)- β -D-glucosyl-(1 → 6)-D-glucosyl-(1 → 4)-D-glucuronosyl-(1 → 2)-D-mannose เป็นโซ่กิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของสารโพลีแซคคาไรด์ AM-2 (Tayama และคณะ, 1984)

Hideki Shibazaki และคณะ(1995) ได้ทำการศึกษาการย่อยแผ่นเยื่อของเซลลูโลส (microbial cellulose II) โดยใช้สารละลายกรด พบว่า *Acetobacter xylinum* ที่ถูกเปลี่ยนแปลงพันธุกรรม จะผลิตเซลลูโลสในรูปแบบของแถบที่เปลี่ยนไป จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟกชัน แสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบนี้เป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ และมีโครงสร้างเป็นแบบโซ่พับ (folded-chain) ซึ่งจากการวิเคราะห์ทาง stereochemistry โดย Rees และ Yathindra แสดงให้เห็นว่าแถบนี้มีความเสถียรที่แตกต่างไปจาก glycosidic linkage แบบปกติ ซึ่งเป็นผลให้เซลลูโลสสายตรงกลายเป็นวงที่ประกอบด้วยกลูแคน (glucan) 3 หรือ 4 หน่วยต่อกัน และจากการศึกษาพฤติกรรมของการย่อยโดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มอล ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่าดีกรีของการโพลีเมอไรเซชัน (degree of

polymerization) จะลดลงอย่างรวดเร็วจาก 322 เป็น 18.3 ซึ่งเป็นการยืนยันว่ามันมีโครงสร้างเป็นแบบโซ่พัวเพราะแถบเซลลูโลสถูกเลือกย่อยที่ปลายของส่วนที่พัวก่อน

ตารางที่ 2.2 ความสามารถในการละลายของวุ้น, เซลลูโลสของฝ้าย, และเด็กซ์แทรน
ในตัวทำละลายต่างๆ (L.S.Dimaguila, 1967)

| ตัวทำละลาย | วุ้น | เซลลูโลส ของฝ้าย | เด็กซ์แทรน |
|--|------|---------------------|------------|
| น้ำ | - | - | ** |
| กรดไนตริกเข้มข้น | - | - | ** |
| กรดไนตริก 1 นอร์มอล | - | - | ** |
| กรดซัลฟูริก 72% , เย็น | ** | ** | ** |
| กรดซัลฟูริกเข้มข้น | ** | ** | ** |
| กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น , เย็น | * | * | ** |
| กรดไฮโดรคลอริก 42 % | - | - | ** |
| กรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล | - | - | ** |
| ไฮโดรเจนฟอสเฟตเข้มข้น | - | * | ** |
| โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 นอร์มอล | - | - | ** |
| โซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% , ร้อน | - | - | ** |
| โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.5 นอร์มอล | - | - | ** |
| โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 5 นอร์มอล | - | - | ** |
| Cupra-ammonium solution (Schweitzer's Reagent) | * | * | - |
| แอลกอฮอล์ | - | - | - |
| อะซิโตน | - | - | - |
| คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | - | - | - |
| อะซิติกแอนไฮไดรด์ , ไม่มีตัวเร่ง | - | - | - |

** ละลายได้อย่างสมบูรณ์

* ถูกกระทำให้หายไปหลัง 48 ชั่วโมง

- ไม่ละลาย

M.Iguchi และคณะ(1988) ; S.Yamanaka และคณะ(1989) ; Y.Nishi และคณะ(1990) ; M.Iguchi และคณะ(1991) ได้ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของแบคทีเรียเซลลูโลส โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าประกอบด้วยการเรียงตัวแบบกระจายของเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 อังสตรอม เมื่อวัด stress-strain พบว่ามีค่ายังส์โมดูลัส (Young's modulus) 16-18 จิกกะปาสคาล ซึ่งคงที่ตลอดแนวขวางของผิวหน้า และอาจจะมากขึ้นถึง 30 จิกกะปาสคาล ทั้งนี้เนื่องจากความแข็งแรง (strength) เกิดจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างเส้นใย (M.Iguchi และคณะ,2000)

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกลของฟิล์มแบคทีเรียเซลลูโลสที่ได้จากการเตรียมในสภาวะต่างๆ (M.Iguchi และคณะ,2000)

| เวลา ในการหมัก (วัน) | วิธีการ เตรียม | อุณหภูมิ (°C) | ความดัน kPa | ความหนา ฟิล์ม (μm) | ยังส์ โมดูลัส (GPa) | ความต้าน แรงดึง (MPa) | ความยืด ความยืด (%) |
|----------------------------|-------------------|------------------|----------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 7 | Air-dry | 20 | 0 | - | 16.9 | 256 | 1.7 |
| 7 | Heat-press | 150 | 49 | - | 17.4 | 224 | 1.8 |
| 7 | Heat-press | 150 | 49 | - | 18 | 231 | 1.8 |
| 7 | Heat-press | 200 | 49 | - | 16.4 | 243 | 1.9 |
| 7 | Heat-press | 150 | 49 | - | 16.9 | 260 | 2.1 |
| 7 | Heat-press | 150 | 196 | - | 16.7 | 216 | 1.7 |
| 7 | Heat-press | 150 | 490 | - | 17.5 | 155 | 1.4 |
| 7 | Heat-press | 150 | 980 | - | 17 | 129 | 0.9 |
| 7 | Heat-press | 150 | 1470 | - | 16.6 | 102 | 0.8 |
| 7 | Heat-press | 150 | 1960 | - | 18.1 | 91 | 0.8 |
| 7 | Heat-press | 150 | 49 | - | 16.1 | 221 | 1.9 |
| 7 | Heat-press | 150 | 49 | - | 15.9 | 205 | 1.8 |
| 5 | Heat-press | 150 | 49 | 14 | 16.5 | 246 | 1.9 |
| 7 | Heat-press | 150 | 49 | 37 | 16.1 | 217 | 1.7 |
| 14 | Heat-press | 150 | 49 | 63 | 16.2 | 255 | 2 |
| 28 | Heat-press | 150 | 49 | 159 | 15.1 | 199 | 1.7 |

จากการที่แบคทีเรียเซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นเครือข่ายเส้นใยเซลลูโลสที่มีความบริสุทธิ์สูง มีค่าความแข็งแรงทางกลสูง มีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูง มีความเป็นผลึกและความละเอียดสูง สามารถทนแรงดึงได้สูงกว่าไฟเบอร์สังเคราะห์ต่างๆ มีความเสถียรทางเคมี มีความเป็นพิษต่ำ ทนความร้อนได้สูง และยังสามารถควบคุมให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการได้ มันจึงถูกคาดหวังว่าจะเป็นสิ่งที่มีประโยชน์ทางชีวเคมีตัวใหม่สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ได้ ในหลายๆ ทาง (แสดงในตารางที่ 2.4) เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร, เพิ่มประสิทธิภาพของกระดาษที่ใช้ป้องกันเสียงสะท้อนในลำโพงวิทยุและหูฟัง, ใช้ทำกระดาษที่มีความแข็งแรงสูง, ประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ เช่น ตกแต่งบาดแผลและเป็นผิวหนังชั่วคราว (BioFill มีการจดสิทธิบัตรแล้ว) ซึ่งในบางครั้งดูเหมือนว่ามันมีส่วนช่วยในการเติบโตของเซลล์ผิวหนังของมนุษย์ด้วย และ optical fibre matrix ซึ่งยังทำการศึกษาอยู่, ทดลองใช้เป็นวัสดุดิบในการทำแผ่นฟิล์มคาร์บอน ซึ่งพบว่ามีคุณสมบัติดีมาก (K.Yoshini และคณะ,1991), ในด้านกระดาษ Mitsubishi Paper Mills Co. ได้นำเซลลูโลสจากแบคทีเรียมาใช้ในการวิจัยเพื่อเป็นส่วนประกอบในการผลิตกระดาษที่มีความคงทนและโค้งงอได้สำหรับใช้ทำธนบัตร หรือกระดาษที่มีคุณภาพสูงอื่นๆ, เป็นกระดาษที่เหนียวเป็นพิเศษ, เป็นเส้นใยตาข่ายสำหรับใช้เป็นตัวเคลือบ, เป็นของที่ใช้ผูก, ใช้ในกระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่น

J.D.Fontana และคณะ(1990) ได้ทำการทดลองเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย *Acetobacter xylinum* ในระบบที่ไม่มีการปั่นกววนเพื่อให้ได้เซลลูโลสที่ลอยอยู่บนผิวน้ำที่มีความหนา และเรียบคล้ายคลึงกับผิวหนังมนุษย์ เป็นเส้นใยเซลลูโลสที่เกือบจะบริสุทธิ์ และมีคุณสมบัติทางกายภาพทางเคมีและทางชีวเคมีที่มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นมันจึงถูกนำมาประยุกต์เป็นสิ่งที่แทนผิวหนังชั่วคราวในการรักษาบาดแผลที่ผิวหนัง เช่น basak cell carcinoma / การผ่าตัดผิวหนัง, การไหม้อย่างรุนแรงของร่างกาย, การลอกของผิวหนัง, รอยเย็บแผล, บาดแผลที่ผิวหนังและ second degree burns, แผลเปื่อยเรื้อรัง, แผลติดเชื้อและตำแหน่งที่รับและให้ผิวหนังของแผลผ่าตัด ฟิล์มนี้เหมือนเป็นผิวหนังชั่วคราวและเป็นสิ่งที่ใช้ตกแต่งบาดแผล มันจะบรรเทาอาการเจ็บปวดในทันที, สามารถติตรอบบริเวณรอยแผลได้สนิท, ช่วยลดอาการระคายเคืองของแผลหลังการผ่าตัด (ลดอัตราการติดเชื้อ), เนื่องจากมีความโปร่งแสงจึงง่ายต่อการตรวจสอบบาดแผล, ทำให้แผลหายได้เร็วขึ้น, ช่วยกักกันการไหลซึมออกของน้ำ, อิเล็กโตรไลต์และโปรตีน, ทำให้ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการรักษา

ตารางที่ 2.4 การประยุกต์เซลล์โลสจากแบคทีเรียเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

(A.Krystynowicz, S.Bielecki)

| อุตสาหกรรม | การนำไปประยุกต์ใช้ |
|------------------------------|--|
| เครื่องสำอาง | เป็นตัวเพิ่มความเสถียรของของเหลวสองชนิดที่ไม่ละลาย เข้ากัน เช่น ครีม โทนิค เป็นตัวทำให้เล็บมีความมันวาว และคอนดิชันเนอร์ ส่วนประกอบของเล็บปลอม |
| อุตสาหกรรมสิ่งทอ | หนังเทียม สิ่งทอ สารที่มีค่าการดูดซับสูง |
| การทอเย็บและกีฬา | เสื้อผ้ากีฬา เตินท์ อุปกรณ์แคมป์ปิ้ง |
| การทำเหมืองและการกลั่นน้ำมัน | ฟองน้ำดูดซับน้ำมันที่หกออกมา วัสดุสำหรับการดูดซับสารพิษ |
| กระบวนการบำบัดของเสีย | ใช้ในกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของแร่ธาตุและน้ำมัน ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียให้บริสุทธิ์ การกรองน้ำ |
| เครื่องเสียง | แผ่นบางที่ใช้เป็นตัวรับความไวสำหรับไมโครโฟนและหูฟัง |
| ไม้ | ไม้เทียม ไม้อัดหลายชั้น บรรจุภัณฑ์สำหรับของหนัก |
| อุตสาหกรรมกระดาษ | กระดาษแบบพิเศษ ตัวซ่อมเอกสาร ธนบัตรที่มีความคงทนกว่าเดิม ผ้าอ้อม ผ้าอนามัย |
| อุตสาหกรรมเครื่องจักรกล | ส่วนของตัวถังรถ ส่วนของเครื่องบิน ตัวเชื่อมรอยแตกในปลอกของจรวด |
| การผลิตทางอาหาร | เซลล์โลสที่สามารถกินได้ |
| ยารักษาโรค | ผิวหนังชั่วคราวในการรักษาแผลจากการเผาไหม้ และแผลพุพอง เป็นส่วนประกอบของสิ่งที่ปลูกแทรกเข้าไปทางทันตวิทยา |
| ห้องปฏิบัติการ | เป็นตัวหยุดการเคลื่อนที่ของโปรตีน เซลล์ ตัวกลางทางโครมาโตกราฟี เป็นตัวกลางสำหรับการทำเยื่อ |

Hideki Shibasaki และคณะ(1993) ได้ทำการทดสอบสภาพการทำงานเป็นเยื่อแผ่นไดอะไลซิส (dialysis membrane) ของเยื่อแผ่นเซลลูโลสแบบบางจากแบคทีเรีย *Acetobacter xylinum* ในสารละลายน้ำ พบว่าเยื่อแผ่นที่ได้มีความแข็งแรงทางกลที่สูงกว่าเยื่อแผ่นที่ใช้ในกระบวนการไดอะไลซิส และยังมีความบางมากกว่า ดังนั้นจึงสามารถให้ค่าความอัตราน้ำในการซึมผ่าน (permeation rate) ที่สูงกว่า

Nicholas A. Hoenich และคณะ(1997) ได้ทำการสังเคราะห์ปรับปรุงเซลลูโลสเพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นเยื่อแผ่นที่ใช้ในการฟอกไต โดยหน่วยของกลูโคส (cellobiosic unit) จะถูกปรับปรุงโดยการแทนที่บางส่วนหรือทั้งหมดของหมู่ไฮดรอกซิลด้วย diethylaminoethyl (HemophanTM), acetate (cellulose acetate), triacetate (cellulose triacetate), 2,5 acetate (DiaphanTM) หรือ benzyl groups (Synthetically modified cellulose , SMC) พบว่าในการปรับปรุงหน่วยของกลูโคสมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตเยื่อแผ่นซึ่งมีความเข้ากันได้ทางชีวเคมีและยังมีความคล้ายคลึงกับเยื่อแผ่นที่ผลิตจากโคโพลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิซัลโฟน (polysulphone)

รังสิมา ชลคุป(2538) ได้ทำการศึกษาผลของการทำเยื่ออุ่นมะพร้าวให้บริสุทธิ์ด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และผลของการปรับสภาพเยื่ออุ่นน้ำมะพร้าว (ภายหลังการทำให้บริสุทธิ์) โดยใช้กรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.25-5 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หรือใช้ไอน้ำที่ความดัน 586 กิโลปาสคาล ที่เวลา 1-5 ชั่วโมง ต่อสมบัติทางกายภาพของฟิล์ม นอกจากนี้ยังศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มจากเยื่อผสมระหว่างอุ่นน้ำมะพร้าว (ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการทำให้บริสุทธิ์) กับเยื่อใยยาวที่ปริมาณร้อยละ 30-100 ของเยื่อใยยาว พบว่าฟิล์มจากอุ่นน้ำมะพร้าวที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์มีความหนาแน่นเฉลี่ย 912.33 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, ค่ายังส์โมดูลัส 8040.34 เมกกะนิวตันต่อตารางเมตร, ความยืดร้อยละ 2.33 ดัชนีความต้านแรงดึง 56.31 กิโลนิวตัน.เมตรต่อกิโลกรัม, ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด 1.98 นิวตัน.ตารางเมตรต่อกิโลกรัม, ดัชนีความต้านแรงดันทะลุ 4.25 เมกกะนิวตันต่อกิโลกรัม และความขาวสว่างร้อยละ 41.53 การทำเยื่ออุ่นน้ำมะพร้าวให้บริสุทธิ์ด้วยด่างทำให้ฟิล์มมีค่าดัชนีความต้านแรงดันทะลุเพิ่มขึ้นร้อยละ 34 และความขาวสว่างเพิ่มขึ้นร้อยละ 24 การปรับสภาพเยื่อด้วยกรดซัลฟูริกทำให้ฟิล์มมีค่ายังส์โมดูลัส ความยืด ดัชนีความต้านแรงดึง ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด และดัชนีความต้านแรงดันทะลุน้อยกว่าของฟิล์มที่ไม่ได้ผ่านการปรับ

สภาพด้วยกรดอยู่ร้อยละ 37,46,45,58 และ 57 ตามลำดับ การปรับสภาพเยื่อด้วยไอน้ำไม่มีผลต่อสมบัติทางเชิงกลของฟิล์ม แต่ทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและความขาวสว่างลดลง ส่วนฟิล์มผสมระหว่างเยื่อใยยาวกับเยื่อวุ้นน้ำมะพร้าว (ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการทำให้บริสุทธิ์) มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและยังสโมคูลัสลดลง ขณะที่ค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด ความขาวสว่าง และความสามารถในการซึมผ่านได้ของไอน้ำและก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเยื่อใยยาวเพิ่มขึ้น ฟิล์มของเยื่อผสมมีค่าความยืด ดัชนีความต้านแรงดึง และดัชนีความต้านแรงดันทะลุน้อยกว่าฟิล์มของเยื่อวุ้นน้ำมะพร้าวและฟิล์มของเยื่อใยยาว ซึ่งฟิล์มของเยื่อวุ้นน้ำมะพร้าวมีค่าดัชนีความต้านแรงดึงสูงกว่าฟิล์มของเยื่อใยยาว

ทิพวัลย์ วัชรอาภากร(2543) ได้ทำการศึกษาการผลิตฟิล์มและการศึกษาสมบัติทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรีย-โคโตแซน ซึ่งจากการศึกษาโดยกำหนดน้ำหนักมาตรฐานของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรีย-โคโตแซนคงที่ 30 กรัมต่อตารางเมตร และแปรปริมาณโคโตแซนในสารแขวนลอยผสมระหว่างโคโตแซนและเซลลูโลสจากแบคทีเรียในช่วยร้อยละ 0 ถึง 30 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง และค่าความเป็นกรด-ด่างของสารแขวนลอยผสม 4.5 , 7.0 และ 10.0 พบว่าที่ระดับการผสมโคโตแซนร้อยละ 10 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง และค่าความเป็นกรด-ด่าง 10.0 ให้สมบัติทางกายภาพโดยรวมของฟิล์มดีที่สุด โดยจากการขึ้นฟิล์มในสภาวะนี้ ดัชนีความต้านแรงดึงของฟิล์มเพิ่มขึ้นร้อยละ 27 ดัชนีความต้านแรงดันทะลุของฟิล์มเพิ่มขึ้นร้อยละ 42 ความยืดของฟิล์มเพิ่มขึ้นร้อยละ 35 และการซึมผ่านได้ของไอน้ำของฟิล์มเพิ่มขึ้นร้อยละ 18 แต่ดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของฟิล์มลดลงร้อยละ 32 เมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มที่ไม่ได้รับการเติมโคโตแซน พบว่าดัชนีความต้านแรงดึงของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียมีค่าประมาณ 85 กิโลนิวตัน.เมตรต่อกิโลกรัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการแยกสารโดยการให้กระบวนการเยื่อแผ่น

ปัจจุบันกระบวนการใช้เยื่อแผ่นเพื่อแยกสาร ทำให้บริสุทธิ์ขึ้นหรือเพิ่มความเข้มข้นได้ถูกพัฒนาและนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงและใช้พลังงานต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแยกสารด้วยกระบวนการอื่นๆ เช่น การกลั่นหรือการระเหย กระบวนการแยกโดยเยื่อแผ่นไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนในการทำให้สารเปลี่ยนสถานะ จึงเหมาะในการนำไปใช้กับสารที่ไม่เสถียรที่อุณหภูมิสูง เช่น ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มและยา

Yasuhiro Matsubara และคณะ(1996) ได้ประยุกต์ใช้กระบวนการออสโมซิสแบบผันกลับและนาโนฟิลเตรชันในการแยกโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) ซึ่งประกอบด้วย สตาคิโอส ราฟิโนส และซูโครส ที่อยู่ในน้ำเสียที่ได้จากการต้มถั่วเหลืองในอุตสาหกรรมผลิตเต้าหู้ โดยใช้อัลตราฟิวเตรชันกรองน้ำเสียเพื่อนำส่วนเพอมีเอทซึ่งมีปริมาณโปรตีนลดลงผ่านกระบวนการออสโมซิสผันกลับ พบว่าเมื่อความดันคร่อมเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น ค่าเพอมีเอทฟลักซ์เพิ่มขึ้นและมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง แต่ความเร็วของสายป้อนมีผลในการเพิ่มค่าเพอมีเอทฟลักซ์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนค่าการกักกันโอลิโกแซคคาไรด์และไซเดียมคลอไรด์ของกระบวนการออสโมซิสผันกลับ เป็น 1.0 และ 0.967-0.995 ตามลำดับ ในการทดลองเลือกใช้ค่าความดันคร่อมเยื่อแผ่นที่ 5.0 เมกกะปาสคาลและความเร็วของสายป้อนเป็น 0.117 เมตรต่อวินาทีเพื่อให้ได้ค่าเพอมีเอทฟลักซ์สูงสุด ความสัมพันธ์ของค่าคอนเซนเทรชันแฟคเตอร์, CF(concentration factor) ซึ่งเป็นอัตราส่วนปริมาตรของสายป้อนต่อปริมาตรของคอนเซนเทรท โดยค่าเพอมีเอทฟลักซ์ จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อค่า CF เพิ่มขึ้นและความเข้มข้นของโอลิโกแซคคาไรด์จะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง โดยค่า COD ลดลงจาก 8,400 เป็น 27 ppm

สำหรับกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน ผลของความดันคร่อมเยื่อแผ่นและความเร็วสายป้อนต่อค่าเพอมีเอทฟลักซ์เป็นไปในลักษณะเดียวกับกระบวนการออสโมซิสผันกลับ โดยมีค่าการกักกันของโอลิโกแซคคาไรด์เท่ากับ 1 และไซเดียมไรด์เท่ากับ 0.28-0.64 ซึ่งเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความดันคร่อมเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น แต่ค่าการกักกันเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอัตราการไหลช่วง 0.078-0.195 เมตรต่อวินาที สภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าเพอมีเอทฟลักซ์สูงสุดคือค่าความดันคร่อมเยื่อแผ่นที่ 3.0 เมกกะปาสคาลและความเร็วของสายป้อน 0.117 เมตรต่อวินาที ค่า COD ของเพอมีเอทที่ได้จากนาโนฟิลเตรชันมีค่าลดลงจาก 8,700 เป็น 160 ppm ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เกินค่าของน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ตามกฎหมายของประเทศญี่ปุ่น โดยส่วนคอนเซนเทรทที่ได้จากกระบวนการนา

ในฟิลเตรชันมีสัดส่วนของโพลิโกลายโคแคโรได์ใกล้เคียงกับโพลิโกลายโคแคโรได์ในผลิตภัณฑ์ที่ขายในทางการค้า

Xiao-Lin Wang และคณะ(1997) ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (electrostatic and steric-hindrance model) เพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายที่มีประจุผ่านเยื่อแผ่นนาโนฟิลเตรชัน โดยทำการทดลองหาสภาพการซึมผ่านของสารละลายน้ำที่มีตัวถูกละลายเป็นกลาง (กลูโคส แซคคาไรส ราฟฟิโนสและ อัลฟาไซโคเดกซ์ทริน) และโซเดียมคลอไรด์ เพื่อนำมาใช้ในการหาตัวแปรทางโครงสร้าง (รัศมีรูพรุน สัดส่วนความพรุนตัวของเยื่อแผ่นต่อความหนาของเยื่อแผ่น) และความหนาแน่นของประจุของเยื่อแผ่นนาโนฟิลเตรชัน จากนั้นใช้สารละลายน้ำที่มีตัวถูกละลายมีประจุ (sodium benzenesulfonate , sodium naphthalenesulfonate และ sodium tetraphenyl-borate) และโซเดียมคลอไรด์ เพื่อพิสูจน์ ES model ในการทดลองจะใช้เยื่อแผ่นนาโนฟิลเตรชันที่มีประจุเป็นลบ ที่ทำจาก polyamide หรือ sulfonated polysulfone โดยในการทดลองเยื่อแผ่นที่ใช้มีพื้นที่ 35.3 ตารางเซนติเมตร ความเข้มข้นของสายป้อนถูกรักษาให้ต่ำกว่า 100 ppm (เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์เนื่องจาก osmotic pressure) ความดันข้ามเยื่อแผ่นที่ใช้อยู่ในช่วง 0.3-0.8 เมกกะปาสคาล ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส พบว่าการทำนายโดย ES model ให้ผลที่ตรงกันเป็นอย่างดีกับผลที่ได้จากการทดลอง

Eiji Iritani และคณะ (1997) ได้ทำการทดลองแยกโปรตีนผสมสองชนิดโดยใช้อัลตราฟิลเตรชัน สารละลายผสมของโปรตีนที่ใช้คือสารผสมของ bovine serum albumin(BSA) (มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 67,000 ดาลตัน และ isoelectric point เท่ากับ 4.9) และ egg white lysozyme (มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 14,300 ดาลตัน และ isoelectric point เท่ากับ 11.0) ถูกแยกในระบบที่ไม่มีการปั่นกววนโดยใช้เยื่อแผ่นซึ่งมีพื้นที่ 12.6 ตารางเซนติเมตรและเป็นเยื่อแผ่นที่เกือบจะกักกัน BSA ได้อย่างสมบูรณ์ แต่ lysozyme สามารถผ่านได้ จากการทดลองพบว่าอัตราการแยกและการปลดปล่อย lysozyme มีอิทธิพลโดยตรงจากสภาวะแวดล้อมของสารละลายและพลังงานในการเคลื่อนที่ของของเหลวเหนือเยื่อแผ่น และจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการมีปฏิริยาต่อกันทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างโมเลกุลที่แตกต่างกันอาจจะควบคุมอัตราการแยกและการปลดปล่อยตัวของถูกละลายในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันของโปรตีนผสมสองชนิด

การเกิดปฏิริยาต่อกันของโปรตีนสองชนิดในสารละลายโดยการเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมของสารละลายอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการกักกันและอัตราการแยกในระบบอัลตรา

ฟิลเตรชัน และยังพบว่า การเพิ่มแรงเฉือนที่กระทำบนผิวของเยื่อแผ่นเป็นผลให้ได้รับอัตราการแยกที่สูงขึ้น เพราะมีเซนนั้นจะเกิดการกีดขวางการผ่านของ lysozyme ตลอดเยื่อแผ่น

S.Laborie และคณะ (1997) ได้ศึกษาการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ของการกรองโดยการฉีดก๊าซอย่างต่อเนื่องในระบบอัลตราฟิลเตรชันแบบท่อ (ultrafiltration hollow fibers) สำหรับการผลิตน้ำดื่ม โดยในการทดลองจะใช้เยื่อแผ่นที่ทำจากเซลลูโลสอะซิเตทที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูเฉลี่ยเท่ากับ 0.01 ไมโครเมตร และมีพื้นที่เท่ากับ 0.0526 ตารางเมตร พบว่าการลดการเกิดฟาวลิงของเยื่อแผ่นทำได้โดยการฉีดอากาศเข้าไปในสายป้อน ซึ่งจะทำให้เกิด gas/liquid two-phase ไหลผ่านบนผิวของเยื่อแผ่น การฉีดอากาศทำให้เกิดการฟอรั่มตัวของช่องอากาศในแผ่นเยื่อ ทำให้เกิดแรงเฉือนและการไม่สม่ำเสมอของการไหล ซึ่งช่วยลดการเกาะติดของอนุภาคที่ผิวแผ่นเยื่อ ทำให้ช่วยเพิ่มฟลักซ์ในการกรอง ฟลักซ์สามารถเพิ่มขึ้นถึง 155 เปอร์เซ็นต์เมื่อใช้ความเร็วก๊าซวิกฤต แต่ถ้ามากกว่าค่าวิกฤตฟลักซ์จะไม่เพิ่มขึ้น

Nihal และคณะ (1998) ประยุกต์ใช้กระบวนการนาโนฟิลเตรชันในการแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักและการเอาสารตั้งต้นกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสารที่ใช้ศึกษาคือ น้ำตาล โดยอัตราการไหลของสายป้อนจะมีผลกับคอนเซนเทรชันโพลาริเซชัน เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสายป้อนเพอมีเอทฟลักซ์จะมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งเกิดจากการลดลงของคอนเซนเทรชันโพลาริเซชัน แต่อัตราการเพิ่มของเพอมีเอทฟลักซ์จะเพิ่มสูงในช่วงแรกและคงที่ต่อมาในช่วง 18.9-29.7 มิลลิลิตรต่อวินาที เมื่ออัตราการไหลของสายป้อนมากกว่าช่วงนี้จะไม่มีผลของคอนเซนเทรชันโพลาริเซชันและทำให้เพิ่มค่าการกักกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยค่าอัตราการไหลที่เหมาะสมที่สุดคือ 29.7 มิลลิลิตรต่อวินาที ผลของความดันกับเพอมีเอทฟลักซ์ของเยื่อแผ่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลคัตออฟ 500 มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงจนถึงความดัน 30 บรรยากาศ ที่ค่าความดันมากกว่าค่านี้การเพิ่มความดันไม่มีผลต่อเพอมีเอทฟลักซ์และเมื่อความเข้มข้นสายป้อนเพิ่มขึ้นทำให้เพอมีเอทฟลักซ์ลดลง ค่าการกักกันจะเพิ่มขึ้นในช่วงความเข้มข้นต่ำและคงที่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ที่ระดับความเข้มข้นของกลูโคสและซูโครสมากกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ ผลของความเข้มข้นจะลดลงเนื่องจากเกิดขึ้นของตัวถูกละลายที่สะสมที่ผิวหน้าเยื่อแผ่นมากขึ้นทำให้การเพิ่มความเข้มข้นไม่มีผลต่อการแยก สำหรับเยื่อแผ่นที่รูพรุนมีขนาดเล็กกว่าจะมีค่าการกักกันสูงกว่าและค่าเพอมีเอทฟลักซ์ต่ำกว่าเยื่อแผ่นที่มีขนาดรูพรุนใหญ่และความดันจะมีผลต่อค่าการกักกันมากกว่าความเข้มข้นของสายป้อน ส่วนแบบจำลองที่ใช้ในการทดลองจะเป็นแบบ statistical-mechanical theory จากการเปรียบเทียบ

ค่าพหุมิเอทพลั๊กซ์ที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองคณิตศาสตร์ ค่าการกักกันมีความแตกต่างกันประมาณ 1.7-3.0 เปอร์เซ็นต์และค่าพหุมิเอทพลั๊กซ์แตกต่างกันประมาณ 2.7-23.0 เปอร์เซ็นต์

Johan และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาค่าการกักกันของสารละลายเกลือ NaCl , Na_2SO_4 , MgCl_2 , MgSO_4 และ LaCl_3 โดยใช้เยื่อแผ่นนาโนฟิลเตรชัน 4 ชนิด โดยใช้เยื่อแผ่น NTR 7450 ซึ่งเป็นเยื่อแผ่นที่ทำด้วย sulfonated polyethersulfone ซึ่งมีประจุเป็นลบที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง เนื่องจากการแตกตัวของกลุ่ม sulfonic acid ค่าการกักกันของเกลือจะสูงสำหรับ Na_2SO_4 และค่าการกักกันของ MgCl_2 จะมีค่าต่ำ จากทฤษฎี Donnan exclusion แสดงให้เห็นค่าความหนาแน่นของประจุที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของเกลือและความเข้มข้นของเกลือ ซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกันเมื่อใช้เยื่อแผ่นชนิด NR40, UTC20 และ CA30 โดยอธิบายได้จากแรงกระทำของประจุในสารละลายกับประจุบนเยื่อแผ่น โดยเกิดการดูดซับกันระหว่างประจุในสารละลายกับประจุบนเยื่อแผ่น

สำหรับเยื่อแผ่นที่มีขนาดรัศมีรูพรุนขนาดเล็ก เช่น (ชนิด NR40 มีขนาดรูพรุน 0.42 นาโนเมตร และชนิด UTC20 มีขนาดรูพรุน 0.41 นาโนเมตร) ค่าการกักกันของเกลือชนิด Na_2SO_4 , MgCl_2 , MgSO_4 และ LaCl_3 มีค่าสูง ส่วนเยื่อแผ่นที่มีขนาดกลาง เช่นชนิด CA30 และชนิด NTR 7450 ค่าการกักกันของเกลือจะมีค่าต่ำกว่าและมีผลของประจุมาเกี่ยวข้องด้วย โดยค่าการกักกันของ LaCl_3 จะสูงกว่า MgCl_2 เนื่องจากประจุบนเยื่อแผ่นเมื่อดูจากความหนาแน่นของประจุจะเป็นประจุบวกมากกว่า MgCl_2 และความหนาแน่นของประจุบนเยื่อแผ่นคำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน โดยใช้แบบจำลอง Donnan and steric partitioning pore model (DSPM) ซึ่งอ้างอิงจากการขยายสมการของ Planck ในการอธิบายการถ่ายเทมวลของตัวถูกละลายผ่านเยื่อแผ่นนาโนฟิลเตรชันและมีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการทดลอง

Mohd Zaki Sulaiman และคณะ (2001) ได้ศึกษาระบบอัลตราฟิลเตรชันของสารละลายเพกติน (น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเท่ากับ 70,000 ดาลตัน), กลูโคส (น้ำหนักโมเลกุลของกลูโคสเท่ากับ 180) และสารผสมของสารทั้งสอง โดยในการทดลองจะใช้อัตราการไหลผ่านหน่วยของเยื่อแผ่นเป็น 500 ลิตรต่อชั่วโมง เยื่อแผ่นที่ใช้เป็นเยื่อแผ่น polyethersulfone ที่มีน้ำหนักโมเลกุลคัตออฟ 25,000 และมีพื้นที่ 0.9 ตารางเมตร พบว่าความสัมพันธ์ของพหุมิเอทพลั๊กซ์กับความดันข้ามเยื่อแผ่นของกลูโคสเป็นเส้นตรง ซึ่งมีค่าความชันแตกต่างกันเมื่อมีความเข้มข้นของกลูโคสต่างกันทั้งนี้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารละลาย ส่วนพหุมิเอทพลั๊กซ์ที่ได้

จากการแยกของสารละลายเพกตินในตอนแรกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความดันข้ามเยื่อแผ่นและจะลดลงเมื่อความดันเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากการไหลของเพอมีเอทที่ความดันข้ามเยื่อแผ่นสูงๆ จะถูกควบคุมโดยการเกิดชั้นเจลบนผิวของเยื่อแผ่น และในการเติมเกลือลงในสารละลายของเพกตินจะทำให้เพอมีเอทฟลักซ์ลดลงที่ทุกจุดของความดันข้ามเยื่อแผ่น ทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคซึ่งถูกกำหนดโดยแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ระหว่างเพกตินและเกลือทำให้จับตัวกันเป็นก้อนและทำให้เกิดชั้นเจลที่มีความเสถียร

Anne Osmond และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษาการทำให้เข้มข้นของเจลในอุตสาหกรรมอาหาร โดยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ซึ่งจุดประสงค์คือเปรียบเทียบระหว่างเยื่อแผ่นอินทรีย์แบบแผ่นเรียบ และ แบบท่อ (ceramic) สำหรับการทำให้เข้มข้นของ lambda และ kappa carrageenans และเพกติน ในเทอมของเพอมีเอทฟลักซ์ จากการทดลองพบว่าโดยทั่วไปเครื่องกรองแบบท่อ (ceramic) ให้ค่าเพอมีเอทฟลักซ์ที่สูงกว่าแบบแผ่นกรองอินทรีย์ แต่ในกรณีของเครื่องกรองแบบท่อเพอมีเอทฟลักซ์ของ lambda และ kappa carrageenans ให้ค่าเกือบจะเท่ากัน แต่เยื่อแผ่นแบบแผ่นกรองอินทรีย์ ให้ค่าเพอมีเอทฟลักซ์ของ kappa carrageenan ที่สูงกว่า ในแง่ของมวลโมเลกุลพบว่า lambda carrageenan เปลี่ยนแปลงไปบางส่วนโดยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน แต่ kappa carrageenan และเพกตินไม่เปลี่ยนแปลง

O.Bayat และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้การตกตะกอนในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันในการกำจัดแบคทีเรีย (*Desulfovibrio desulfuricans*) จากน้ำ โดยจะทำการบำบัดน้ำที่ใช้ในการหล่อเย็นในกระบวนการผลิตแก้วซึ่งมีแบคทีเรียแขวนลอยอยู่ด้วยการทำให้รวมตัวเป็นก้อนและตกตะกอน (coagulation/flocculation) และใช้อัลตราฟิลเตรชัน โดยตัวอย่างจะถูกเก็บจากน้ำภายในหน่วยบำบัดของโรงงาน ตัวอย่างจะถูกเก็บในตู้เย็นเพื่อป้องกันกิจกรรมทางชีวเคมี โดยใช้สารช่วยจับตัว คือ สารละลายของ alum ($Al_2(SO_4)_3$; มวลโมเลกุล 342.15) และ ferric chloride ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$; มวลโมเลกุล 270.3) และสารช่วยตกตะกอน คือ Superfloc A110, Magnafloc 1011 และ Magnafloc352 เยื่อแผ่นที่ใช้เส้นผ่านศูนย์กลางของรูเท่ากับ 0.45 ไมครอน และพื้นที่ของเยื่อแผ่นที่ใช้มีค่าเท่ากับ 1000 ตารางเซนติเมตร พบว่าเมื่อเติม 0.01 กรัมต่อลิตรของ polyacrylamide (Magnafloc 1011 เพื่อให้เกิดการตกตะกอน สามารถขจัดแบคทีเรียจากน้ำได้ 65.22 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ใช้วิธีการตกตะกอนร่วมกับอัลตราฟิลเตรชันจะสามารถขจัดแบคทีเรียได้ 89.85 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

ทฤษฎี

กระบวนการเยื่อแผ่นสังเคราะห์เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อแผ่นเพื่อแยกสาร หรือทำให้บริสุทธิ์ขึ้นหรือเพื่อเพิ่มความเข้มข้นสำหรับสารละลายหรือก๊าซผสม โดยหลักการสำคัญของกระบวนการเยื่อแผ่นสังเคราะห์ คือ ต้องมีแรงขับเคลื่อนที่ทำให้ของผสมหรือสารละลายไหลผ่านและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความดัน หรือผลต่างของความเข้มข้น สารละลายส่วนที่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้ คือ เพอมีเอท (permeate) และส่วนที่ไม่สามารถผ่านได้ คือ รีเทนเนท (retentate หรือ concentrate)

เยื่อแผ่น คือ ตัวกลางซึ่งอาจจะเป็นฟิล์มบางๆ หรือหยดขนาดเล็กๆ ที่เป็นตัวกั้นระหว่างสองวัฏภาค โดยทำหน้าที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนมวลสารระหว่างสองวัฏภาคนั้น สำหรับกระบวนการแยกสารโดยเยื่อแผ่นนั้นวัฏภาคทั้งสองจะประกอบด้วยสารผสม ซึ่งสารแต่ละตัวมีความสามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อแผ่นแตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะที่สำคัญที่สุดของเยื่อแผ่น คือ มีคุณสมบัติในการเลือกผ่านสารหนึ่งมากกว่าสารอื่นเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมีหรือทางกายภาพ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากการตั้งดูตักันระหว่างเยื่อแผ่นกับสารนั้นๆหรือจากขนาดของรูพรุนหรือจากการมีประจุของเยื่อแผ่นเป็นต้น ดังนั้นจึงส่งผลให้สารในวัฏภาคหนึ่งมีความเข้มข้นของสารนั้นสูงในขณะที่อีกวัฏภาคหนึ่งจะมีความเข้มข้นของสารนั้นต่ำ

3.1 ประเภทของเยื่อแผ่น

เยื่อแผ่นสามารถแบ่งออกได้โดยอาศัยหลักเกณฑ์ที่แตกต่างกัน เช่น ถ้าแบ่งตามโครงสร้างของเยื่อแผ่นสามารถแบ่งได้เป็นเยื่อแผ่นแบบเนื้อเดียว (Homogeneous) และเยื่อแผ่นแบบเนื้อผสม (Heterogeneous) หรือเป็นเยื่อแผ่นแบบสมมาตร (Symmetric) และไม่สมมาตร (Asymmetric) หรือเป็นเยื่อแผ่นแบบมีรูพรุน (Porous) และไม่มีรูพรุน (Non-porous) สำหรับการแบ่งชนิดของเยื่อแผ่นโดยอาศัยลักษณะทางกายภาพนั้นสามารถแบ่งเยื่อแผ่นออกได้เป็น 3 ชนิด คือ เยื่อแผ่นที่เป็นของแข็ง เยื่อแผ่นที่เป็นของเหลว และเยื่อแผ่นที่เป็นก๊าซ

3.2 การเคลื่อนที่ของสารผ่านเยื่อแผ่น

การถ่ายโอนมวลสารผ่านเยื่อแผ่นเกิดขึ้นได้เนื่องจากมีแรงขับ (driving force) ระหว่างสองภูมิภาค เช่น ความแตกต่างของศักย์ทางเคมี (chemical potential) ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากความแตกต่างของความเข้มข้น ความดัน หรืออุณหภูมิเป็นต้น และความแตกต่างของศักย์ทางไฟฟ้า (electrical potential)

การแยกสารของกระบวนการที่ใช้เยื่อแผ่นเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอัตราการถ่ายโอนมวลสารผ่านเยื่อแผ่นของแต่ละสาร สำหรับกระบวนการแยกสารทั่วไปที่ใช้ในปัจจุบันมักอาศัยความแตกต่างของความเข้มข้นที่เกิดขึ้นระหว่างสองภูมิภาคที่สภาวะสมดุลในการแยกสาร ค่าความเร็วในการถ่ายโอนมวลสารมักถูกแสดงโดยใช้เทอมของ “ฟลักซ์” ซึ่งเท่ากับอัตราการขนถ่ายมวลสารต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของเยื่อแผ่น นอกจากนี้ยังมีการใช้เทอม “เพอเมอบิลิตี” ซึ่งเป็นค่าฟลักซ์ต่อหนึ่งหน่วยของแรงขับ จากการศึกษาพบว่าค่าฟลักซ์ขึ้นอยู่กับค่าแรงขับและความสามารถในการเคลื่อนที่ โดยค่าความสามารถในการเคลื่อนที่นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น โครงสร้างของสาร ขนาดของสาร โครงสร้างของเยื่อแผ่น และแรงกระทำระหว่างสารและเยื่อแผ่น ซึ่งอัตราการขนถ่ายมวลสารผ่านเยื่อแผ่นนั้นสามารถแสดงได้โดยกฎของฟิกส์

$$\text{ฟลักซ์} = \text{สัมประสิทธิ์การแพร่} \times \text{แรงขับ}$$

3.3 การผลิตเยื่อแผ่นประเภทอินทรีย์

เยื่อแผ่นที่ใช้งานกันอยู่ทั่วไปมากกว่า 90 % ผลิตจากโพลีเมอร์อินทรีย์ โพลีเมอร์เป็นวัสดุดีสำหรับผลิตเยื่อแผ่นที่มีความหลากหลาย และให้การเลือกผ่านที่ดี โดยทั่วไปแล้วการเตรียมเยื่อแผ่นประเภทอินทรีย์สามารถแบ่งออกเป็น การเตรียมเยื่อแผ่นแบบสมมาตรและเยื่อแผ่นแบบไม่สมมาตร ซึ่งเยื่อแผ่นที่สมมาตร คือ เยื่อแผ่นที่มีคุณสมบัติเหมือนกันตลอดทั้งความหนาของเยื่อแผ่น ส่วนเยื่อแผ่นแบบไม่สมมาตร คือ เยื่อแผ่นที่มีคุณสมบัติไม่เหมือนกันตลอดความหนาของเยื่อแผ่น

3.3.1 การผลิตเยื่อแผ่นแบบสมมาตร

3.3.1.1 การผลิตเยื่อแผ่นที่ไม่มีรูพรุน

3.3.1.1.1 วิธีการหล่อสารละลาย

ทำโดยการละลายโพลีเมอร์ในตัวทำละลายจากนั้นจึงเทสารละลายและใช้ใบมีดปาดบนพื้นผิวที่เรียบแล้วรอให้แห้ง ดังนั้นสารละลายที่เตรียมต้องมีความหนืด ที่เหมาะสมเพื่อสามารถปาดเป็นชั้นบางได้

3.3.1.1.2 วิธีการหลอม

วิธีนี้ส่วนใหญ่ใช้เตรียมเยื่อแผ่นที่โพลีเมอร์ไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลาย ซึ่งสามารถทำได้โดยการอัดโพลีเมอร์ระหว่างแบบที่ร้อนด้วยความดันสูง แต่อุณหภูมิที่ใช้ต้องเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของโพลีเมอร์

3.3.1.2 การผลิตเยื่อแผ่นที่มีรูพรุน

3.3.1.2.1 วิธีการกดรอย

เป็นวิธีการผลิตที่ทำให้ได้รูพรุนที่มีลักษณะทรงกระบอกที่มีขนาดเท่า ๆ กัน วิธีการเตรียมสามารถแบ่งออกได้เป็นสองขั้นตอน คือ

1). ขั้นตอนการทำแทรก

ทำโดยผ่านฟิล์มของเยื่อแผ่นที่มีความหนาประมาณ 10-15 ไมครอนเข้าไปในเครื่องแผ่รังสี แล้วปล่อยให้อนุภาคกัมมันตภาพรังสีที่มีพลังงานสูงไปชนฟิล์มของเยื่อแผ่นเพื่อทำลายพันธะเคมีในสายหลักของโพลีเมอร์

2). ขั้นตอนการกัด

ทำโดยแช่แผ่นฟิล์มที่ผ่านการทำแทรกลงในอ่างบรรจุสารเคมี (กรดหรือด่าง) เพื่อกัดเนื้อโพลีเมอร์ที่ถูกทำลายพันธะให้หลุดออก เกิดเป็นรูพรุนที่เป็นรูปทรงกระบอก และขนาดของรูพรุนขึ้นอยู่กับเวลาที่ถูกละลายมาชนและพลังงานของอนุภาค

3.3.1.2.2 วิธีการยัด

ทำโดยการฉีดเยื่อแผ่นโดยใช้อุณหภูมิใกล้เคียงจุดหลอมเหลวและจึงยัดตามแนวยาวให้โพลีเมอร์เกิดการเรียงตัวตามทิศทางที่ยัด หลังจากการทำให้ เย็นลงและอบอ่อนเยื่อแผ่นจะถูกยัดในแนวขวางทำให้เกิดช่องว่างระหว่างสายโพลีเมอร์ การควบคุมขนาดของรูทำได้โดยการควบคุมอัตราและปริมาณการยัดตัวในแนวขวาง เยื่อแผ่นที่ได้มีขนาดของรูที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ และมีความพรุนสูง นิยมใช้ในกระบวนการไมโครฟิวเตรชัน

3.3.2 การผลิตเยื่อแผ่นแบบไม่สมมาตร

3.3.2.1 วิธีการเปลี่ยนเฟส

เป็นวิธีการที่นิยมใช้มากที่สุดในการผลิตเยื่อแผ่นทางการค้า ซึ่งทำโดยการละลาย โพลีเมอร์ในตัวทำละลายที่เหมาะสมจากนั้นจึงทำการเปลี่ยนเฟสโพลีเมอร์ การเปลี่ยนเฟส หมายถึงการทำให้สารละลายโพลีเมอร์เปลี่ยนจากสารละลายเนื้อเดียว ไปเป็นสารละลายเนื้อผสมและเปลี่ยนไปเป็นเจลโดยระหว่างการเปลี่ยนแปลง จะเกิดชั้นผิวและรูพรุนภายในชั้นเจลที่ได้ ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการผลิตเยื่อแผ่น ด้วยวิธีนี้ คือ คุณสมบัติของระบบ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของแต่ละสารใน ของผสม ค่าความหนืดของสารละลาย และค่าความแตกต่างของศักย์ทางเคมี ของแต่ละองค์ประกอบในของผสม นอกจากนี้สภาวะในการเปลี่ยนเฟสหรือ สภาวะในการเปลี่ยนเฟส หรือสภาวะในการขึ้นรูป เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ก็มีความสำคัญ สารละลายสำหรับผลิตเยื่อแผ่นโดยทั่วไปประกอบด้วย โพลีเมอร์ ตัวทำละลาย ตัวไม่ทำละลาย และสารพอง ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนปริมาณ องค์ประกอบต่างๆ และจะมีผลต่อคุณสมบัติของเยื่อแผ่นที่ได้ สำหรับการแยกโพลี เมอร์ออกจากสารละลายสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเติมสารที่ไม่ใช่ตัวทำละลาย เข้าไปในสารละลาย การลดอุณหภูมิของสารละลายโพลีเมอร์ และการระเหย ตัวทำละลายออกจากสารละลายโพลีเมอร์

3.3.2.2 วิธีการโพลีเมอร์ไรเซชันที่ผิวหน้า

หลักการ คือ การทำปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันที่ผิวหน้าของเยื่อแผ่นเพื่อเกิดเป็นฟิล์ม บางที่ให้ค่าการเลือกผ่านและค่าฟลักซ์ที่สูง การเตรียมด้วยวิธีนี้เป็นที่นิยมมากโดย เฉพาะเยื่อแผ่นที่ใช้ในกระบวนการออสโมซิสแบบผันกลับ

3.3.2.3 วิธีการเคลือบบนตัวรองรับ

หลักการ คือ การเคลือบฟิล์มบางของเยื่อแผ่นที่มีความหนาประมาณ 0.5 – 2.0 ไมครอนลงบนตัวรองรับที่เหมาะสม ทำได้โดยการกระจายสารละลายโพลีเมอร์ ในตัวทำละลายที่ไม่ละลายน้ำลงบนผิวหน้าของน้ำ แล้วจึงนำฟิล์มของโพลีเมอร์ที่ ได้ไปวางไว้บนตัวรองรับ ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่มีปัญหามากเนื่องจากฟิล์มมี ความบางและเสียหายง่าย (รัตน จีระรัตนานนท์ , 2543; RICHARD W. BAKER และคณะ , 2000)

3.4 ข้อดีของกระบวนการเยื่อแผ่น

กระบวนการเยื่อแผ่นมีข้อได้เปรียบกระบวนการแยกอื่นๆ ตัวอย่างเช่น

1. เป็นการแยกตามขนาดของโมเลกุล (หรือรูปร่างหรือชนิดของประจุ) ทำให้สามารถดำเนินการที่อุณหภูมิต่ำ จึงเหมาะสำหรับแยกสารที่อาจเสื่อมสภาพเพราะความร้อน
2. กระบวนการเยื่อแผ่นส่วนใหญ่ใช้พลังงานในการแยกค่อนข้างต่ำเพราะสามารถแยกได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนเฟส
3. ไม่ก่อให้เกิดของเหลือทิ้งเพราะกระบวนการเยื่อแผ่นทำให้สามารถแยกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งเพอเมอเทคและรีเทนเทค
4. สามารถขยายขนาดจากระดับต้นแบบให้เป็นระดับอุตสาหกรรมได้
5. สามารถดำเนินการแบบกะ (batch) หรือแบบต่อเนื่อง (continuous) ตลอดจนถึงติดตั้งระบบควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติได้ไม่ยาก
6. มีขนาดกะทัดรัดไม่เปลืองพื้นที่

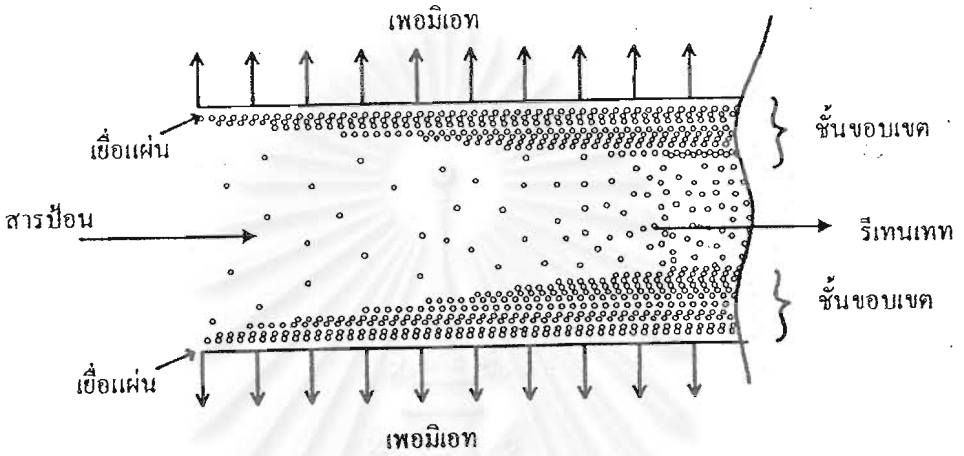
3.5 ข้อจำกัดของกระบวนการเยื่อแผ่น

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการแยกสูงและประหยัดพลังงาน แต่กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นก็มีข้อจำกัดหรือข้อเสียเช่นเดียวกับกระบวนการอื่นๆ

1. การเกิดคอนเซนเทรชันโพลาไรเซชัน (concentration polarization, CP) หมายถึง การสะสมของโมเลกุล/อนุภาคของตัวถูกละลายที่ไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้ทำให้ความเข้มข้นบริเวณผิวหน้าเยื่อแผ่นสูงกว่าใน bulk solution (บริเวณที่อยู่ห่างออกไป) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งลดสมรรถนะของการแยกทั้งในแง่ของฟลักซ์และการกักกัน เพราะส่งผลให้เกิดต่อเนื่องให้เกิดฟาวริง (fouling) การลดคอนเซนเทรชันโพลาไรเซชันในระดับหนึ่งทำได้โดยการออกแบบอุปกรณ์ให้มีการปั่นสารผ่านเยื่อแผ่นแบบไหลขวางและที่ความเร็วสูงซึ่งจะช่วยให้ตัวถูกละลายที่สะสมเกิดการแพร่กลับไปในสารละลาย
2. ฟาวริง (fouling) หมายถึง การสะสม/อุดตันของตัวถูกละลายทั้งบนผิวหน้าเยื่อแผ่นและภายในรูพรุน ซึ่งทำให้ฟลักซ์ลดลงและการกักกันโมเลกุลเปลี่ยนแปลง (อาจลดหรือเพิ่มขึ้น) ฟาวริงเกิดขึ้นด้วยกลไกที่ซับซ้อนขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของเยื่อแผ่นและ

สารละลาย สิ่งสะสมและอุดตันจะไม่สามารถล้างออกด้วยน้ำได้ต้องล้างทำความสะอาดด้วยสารเคมีที่เหมาะสม

- 3. ความคงตัวของเยื่อแผ่น เยื่อแผ่นที่ใช้อยู่ส่วนใหญ่ผลิตจากโพลีเมอร์จึงมีความคงตัวจำกัด



รูปที่ 3.1 แสดงการเกิดคอนเซนเทรชันโพลาไรเซชัน

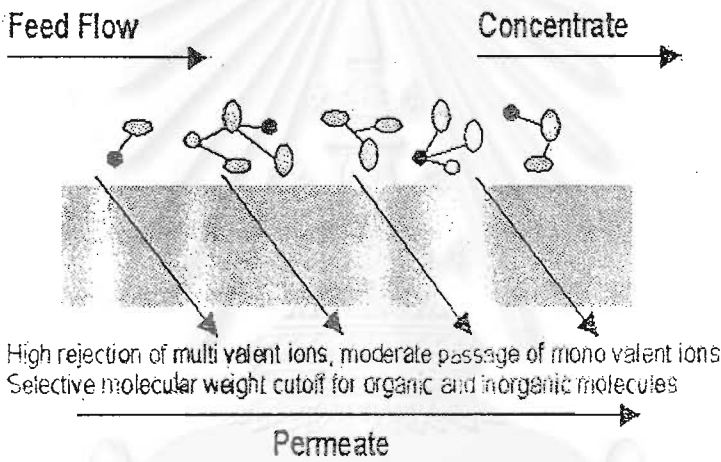
3.6 กระบวนการแยกสารโดยใช้เยื่อแผ่น (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543)

| กระบวนการ | ขนาดรูพรุนของเยื่อแผ่น | แรงขับเคลื่อน | การประยุกต์ใช้งาน | สารที่ผ่าน | สารที่ถูกกักกัน |
|--------------------|------------------------|-----------------------------|--|--|---|
| ไดอะไลซิส | 15 – 100 อังสตรอม | ผลต่างความเข้มข้น | <ul style="list-style-type: none"> - แยกเกลือและตัวถูกละลายขนาดเล็กออกจากโปรตีนและวัคซีน - ทำให้เลือดบริสุทธิ์ | <ul style="list-style-type: none"> - ตัวถูกละลายที่เป็นไอออน - โมเลกุลขนาดเล็ก | <ul style="list-style-type: none"> - สารแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่หรือมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 1000 |
| อิเล็กโตรไดอะไลซิส | | ความต่างศักย์ | <ul style="list-style-type: none"> - การผลิตน้ำดื่มจากน้ำกร่อยหรือน้ำทะเล - การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเกลือ - การบำบัดน้ำเสีย | ไอออนบวกหรือลบ | <ul style="list-style-type: none"> - สารที่ไม่ใช่ไอออน - สารโมเลกุลใหญ่ |
| ออสโมซิสผันกลับ | ไม่มีรูพรุน | ผลต่างความดัน 1 – 10 MPa | <ul style="list-style-type: none"> - การแยกเกลือจากน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลเพื่อผลิตน้ำจืด - การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้ - การบำบัดน้ำเสีย | ตัวทำละลาย | <ul style="list-style-type: none"> - สารที่ละลายน้ำ - สารแขวนลอย |
| นาโนฟิลเตรชัน | 2 นาโนเมตร | ผลต่างความดัน 1 – 2 MPa | <ul style="list-style-type: none"> - การกำจัดเกลือจากน้ำกร่อย - การลดความกระด้างของน้ำ - การแยกสารให้สีจากน้ำล้างสีย้อมในอุตสาหกรรมสิ่งทอ | <ul style="list-style-type: none"> - น้ำ - สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ | <ul style="list-style-type: none"> - สารโมเลกุลใหญ่ - สารที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 200 - คอลลอยด์ |

| | | | | | |
|------------------|------------------------------|-----------------------------------|---|--|--|
| อัลตราฟิลเตรชัน | 2 – 20 นาโนเมตร | ผลต่างความดัน 100 – 800 kPa | - แยกหรือเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีน , คอลลอยด์ - การบำบัดน้ำทิ้งและการทำน้ำให้บริสุทธิ์ - การทำให้น้ำผลไม้ใส | น้ำและสารโมเลกุลเล็กที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 1000 | สารโมเลกุลใหญ่และคอลลอยด์ |
| ไมโครฟิลเตรชัน | 0.1 – 10 ไมโครเมตร | ผลต่างความดัน 100 – 500 kPa | - บำบัดน้ำทิ้ง - ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม - แยกเซลล์จากผลิตภัณฑ์ | น้ำและโมเลกุลที่ละลายน้ำได้ | - สารแขวนลอย - อนุภาคเล็กๆ - คอลลอยด์บางชนิด |
| การแยกก๊าซ | ไม่มีรูพรุน / รูพรุนขนาดเล็ก | ผลต่างความดัน / ผลต่างความเข้มข้น | การแยกฮีเลียม ไฮโดรเจน หรือ คาร์บอนไดออกไซด์ จากก๊าซผสม | ก๊าซหรือไอที่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้ | ก๊าซหรือไอที่ไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้ |
| เพอแอมฟอเรชัน | ไม่มีรูพรุน | ผลต่างความดัน / ผลต่างความเข้มข้น | - แยกน้ำเพื่อผลิตสารอินทรีย์ - เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายอินทรีย์ที่เจือจาง | น้ำหรือสารอินทรีย์ (ขึ้นกับชนิดของเยื่อแผ่น) | น้ำหรือสารอินทรีย์ (ขึ้นกับชนิดของเยื่อแผ่น) |
| เยื่อแผ่นของเหลว | | ผลต่างความเข้มข้น | - แยกโลหะจากน้ำทิ้ง - แยกสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์บางตัวเช่น ฟีนอล | - ไอออนบวกหรือไอออนลบ - สารโมเลกุลเล็ก | ไม่สามารถระบุได้ |

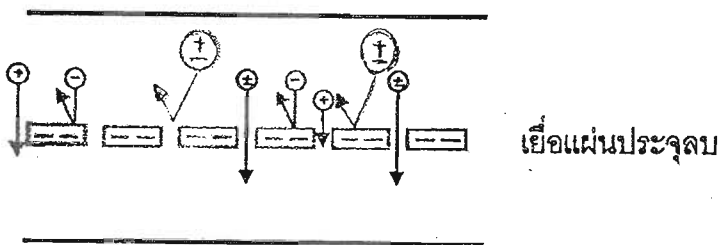
3.6.1 นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration, NF)

เป็นกระบวนการแยกโดยใช้เยื่อแผ่นและใช้ความดันเป็นแรงขับเคลื่อนในการแยกตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 1000 ออกจากสารละลาย ตัวอย่างเช่น น้ำตาล สารอินทรีย์ น้ำหนักโมเลกุลต่ำ เกลืออนินทรีย์และสารอินทรีย์ที่เจือปนในน้ำทิ้ง โดยความดันที่ใช้อยู่ในช่วง 1-2 เมกกะปาสคาล (10-20 บรรยากาศ) เยื่อแผ่นมีขนาดรูพรุนประมาณ 1-10 นาโนเมตร เยื่อแผ่นนาโนฟิลเตรชันส่วนมากเป็นเยื่อแผ่นเชิงประกอบ คือประกอบด้วยชั้นผิวที่มีโครงสร้างแน่นและมีขนาดรูพรุนของชั้นผิวประมาณ 2 นาโนเมตร อยู่บนชั้นรองรับที่มีรูพรุนใหญ่กว่า ลักษณะการกรองโดยใช้นาโนฟิลเตรชันแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงระบบการกรองแบบนาโนฟิลเตรชัน

สำหรับกลไกการแยกของกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน คือ กลไกการคัดขนาดและกลไกของประจุ ดังนั้นตัวแปรสำคัญของตัวถูกละลายไม่ได้ขึ้นกับความแตกต่างของขนาดตัวถูกละลายกับขนาดของเยื่อแผ่นเท่านั้นยังขึ้นกับความแรงของประจุของเยื่อแผ่นและตัวละลายด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงกลไกการแยกอนุภาคที่มีประจุของเยื่อแผ่นประจุลบ

แรงขับเคลื่อนให้สารละลายไหลผ่านเยื่อแผ่นของนาโนฟิลเตรชันใช้ความแตกต่างคร่อมระหว่างเยื่อแผ่นเช่นเดียวกับอัลตราฟิลเตรชัน ในการแยกสารโดยใช้นาโนฟิลเตรชันอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเยื่อแผ่นจะถูกกักไว้ในขณะที่อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูพรุนจะสามารถผ่านเยื่อแผ่นได้ นอกจากนี้ถ้าเป็นสารที่มีประจุจะมีผลกระทบของแรงทางไฟฟ้าของสารละลายกับเยื่อแผ่นที่มีประจุซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า *Donna equilibrium* เมื่อเยื่อแผ่นเป็นประจุลบจะเกิดแรงดึงดูดกับไอออนบวกและเกิดแรงผลักกับไอออนลบ (Toshinori และคณะ, 1994)

ข้อดีของกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน

เยื่อแผ่นนาโนฟิลเตรชันมีโครงสร้างที่เปิดกว่าเยื่อแผ่นออสโมซิสผันทกลับ อาจพิจารณาว่านาโนฟิลเตรชัน คือ ออสโมซิสผันทกลับแบบความดันต่ำ (low pressure reverse osmosis, LPRO) เพราะความดันในการดำเนินการประมาณ 10-20 บรรยากาศ สูงกว่าอัลตราฟิลเตรชัน (2-10 บรรยากาศ) และต่ำกว่าออสโมซิสผันทกลับมาก ดังนั้นจึงมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อยกว่ากระบวนการออสโมซิสผันทกลับที่อัตราการไหลผ่านเดียวกัน (รัตน จิระรัตนานนท์, 2543 ; Gaubert และคณะ, 1997)

การประยุกต์ใช้กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน

1. กำจัดเกลือจากน้ำทะเลและน้ำกร่อย เพื่อผลิตน้ำดื่มและน้ำสะอาดสำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรม (Erikson, 1988)
2. การบำบัดน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน การลดความกระด้างของน้ำ (softening) แยกสารอินทรีย์
3. การบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ และจากชุมชนที่ปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ที่เป็นพิษ (Yazhen และคณะ, 1999)
4. การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร คือ ในอุตสาหกรรมนมซึ่งได้แก่การเพิ่มประสิทธิภาพการตกผลึกแลคโตสจากหางนม (Guu และ Zall, 1992)
5. การประยุกต์ใช้ในการนำสารที่อยู่ในน้ำหมัก เช่น โปรตีนและน้ำตาลกลูโคส กลับมาใช้ประโยชน์ (Nihal A., 1998)

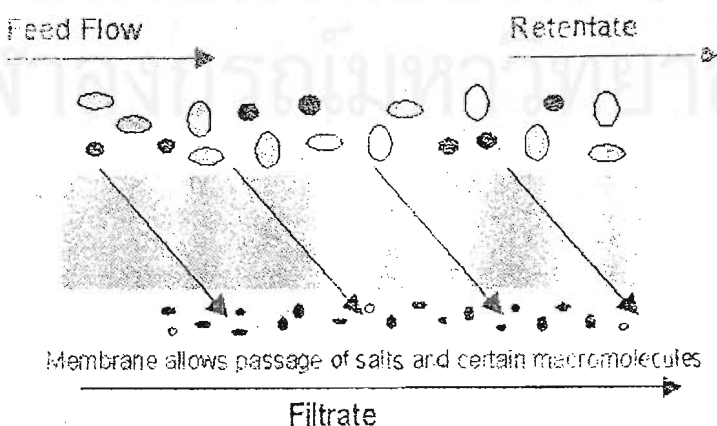
3.6.2 อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration, UF)

เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อแผ่นที่มีรูพรุนขนาดเล็กสำหรับแยกสารโมเลกุลใหญ่ คอลลอยด์ ออกจากน้ำและสารโมเลกุลเล็กโดยอาศัยความสามารถในการผ่านเยื่อแผ่นของสารซึ่งมีขนาดไม่เท่ากันหรือเรียกว่าใช้กลไกการคัดขนาดและใช้ความดันเป็นแรงขับเคลื่อนในการแยก ซึ่งสารที่มีขนาดเล็กกว่าจะสามารถผ่านเยื่อแผ่นได้และสารที่มีขนาดใหญ่กว่าจะถูกกักเก็บไว้ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยความดันที่ใช้อยู่ในช่วง 200-1,000 กิโลปาสคาล (2-10 บรรยากาศ) เยื่อแผ่นมีขนาดรูพรุนประมาณ 2-20 นาโนเมตร (20-200 อังสตรอม) หรือเทียบเป็นน้ำหนักโมเลกุลคัตออฟ 500-300,000 เยื่อแผ่นที่ใช้เป็นเยื่อแผ่นที่ไม่สมมาตรที่มีชั้นผิวหนา 0.1-2 ไมโครเมตร

การประยุกต์ใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน

กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันมีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง โดยการใช้งานหลักๆ คือ

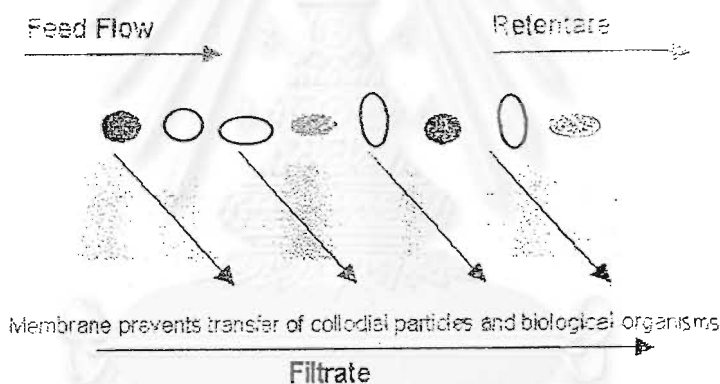
1. ใช้ในอุตสาหกรรมนม ใช้เพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนในหางนม
2. การทำน้ำผลไม้และไวน์ให้ใส
3. การบำบัดน้ำทิ้งและการทำน้ำให้สะอาด เช่นน้ำทิ้งที่มีน้ำมันที่ละลายน้ำได้จากอุตสาหกรรมที่มีการตัดโลหะ ชิ้นส่วนรถยนต์ และยังใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษเพื่อควบคุมคุณภาพของน้ำทิ้งและเพื่อแยกกลับคืนองค์ประกอบที่มีราคาจากกระบวนการย่อยสลายไม้เพื่อผลิตเยื่อ นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งและของเสียต่างๆ ร่วมกับกระบวนการบำบัดอื่นๆ
4. อุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพ ใช้แยก/เพิ่มความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักหรือทำให้บริสุทธิ์



รูปที่ 3.4 แสดงระบบการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน

3.6.3 ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration, MF)

เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อแผ่นที่มีรูพรุนขนาดค่อนข้างใหญ่สำหรับแยกสารโมเลกุลใหญ่ๆ หรือสารแขวนลอยหรืออนุภาคเล็กๆออกจากของเหลวตั้งรูปที่ 3.5 และใช้ความดันเป็นแรงขับเคลื่อนในการแยก โดยความดันที่ใช้อยู่ในช่วง 100-500 กิโลปาสกาล (1-5 บรรยากาศ) เยื่อแผ่นมีขนาดรูพรุนประมาณ 0.1-10 ไมโครเมตร หรือเทียบเป็นน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 300,000 ขึ้นไป เยื่อแผ่นที่ใช้เป็นเยื่อแผ่นที่ไม่สมมาตรที่มีชั้นผิวหนา 0.1-2 ไมโครเมตร ตัวอย่างการใช้งานงานหลักคือ การบำบัดน้ำทิ้ง แต่การใช้งานในกระบวนการไมโครฟิลเตรชันมีข้อจำกัด คือ การลดลงของเพอมีอเทฟลักซ์เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากเกิดการอุดตันที่รูพรุนของเยื่อแผ่นหรือเกิดเป็นชั้นของสารแขวนลอยที่เยื่อแผ่นโดยความดันมีผลทำให้ค่าความต้านทานต่อการไหลผ่านของสารผ่านเยื่อแผ่นสูงขึ้น

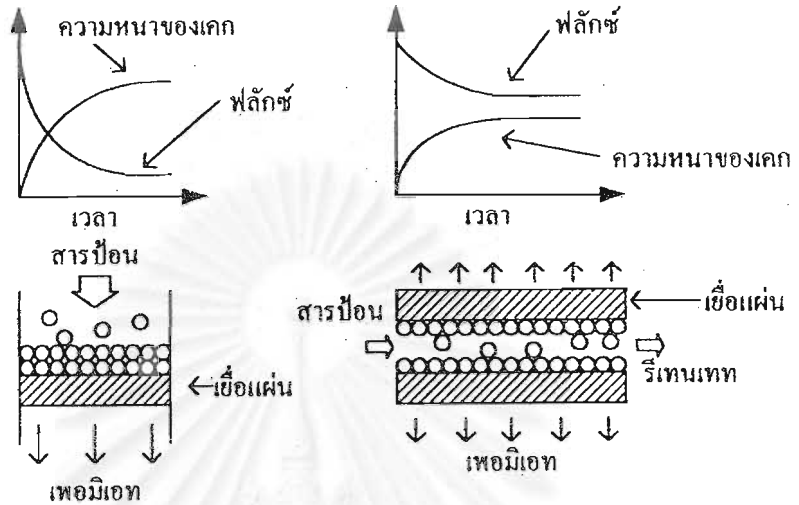


รูปที่ 3.5 แสดงระบบการกรองแบบไมโครฟิลเตรชัน

ไมโครฟิลเตรชันแบบ dead-end ดังแสดงในรูปที่ 3.6A เป็นการป้อนสารละลายในทิศทางที่ตั้งฉากกับเยื่อแผ่น ทำให้เกิดการสะสมของอนุภาคบนผิวเยื่อแผ่น ที่เรียกว่า เคก (cake) การสะสมของเคกทำให้ความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้น และฟลักซ์ลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องหยุดการกรองเพื่อกำจัดเคกที่เกิดขึ้น ดังนั้นการกรองในลักษณะนี้ควรใช้เมื่อสารละลายประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กและมีความเข้มข้นต่ำ และดำเนินงานแบบกะ

ไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวาง (crossflow microfiltration) ดังแสดงในรูปที่ 3.6B เป็นการป้อนสารละลายขนานกับเยื่อแผ่นหรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลของเพอมีอเท การป้อนสารละลายในลักษณะนี้มีผลของแรงเฉือน ทำให้สารละลายกวาดอนุภาคออกจากผิวหน้าเยื่อแผ่น ดังนั้นจึงลดการเกิดคอนเซนเทรชันโพลาไรเซชัน จึงมีการสะสมของเคกเพียงบางๆเท่านั้น การ

ลดลงของฟลักซ์ไม่มากเท่ากับการกรองแบบ dead-end จึงเหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง



A การกรองแบบ dead-end

B การกรองแบบไหลขวาง

รูปที่ 3.6 แสดงการเปรียบเทียบการกรองแบบ dead-end และ การกรองแบบไหลขวาง

ฟาวริงและเจลที่เกิดขึ้นในไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวาง อาจเกิดจากการดูดซับของตัวถูกละลาย (โปรตีน, ไขมัน) บนผิวหน้าเยื่อแผ่นและบนผนังรูพรุน เนื่องจากแรงกระทำ เช่น พันธะไฮโดรเจน หรือ การเกิดคอนเซนเทรชันโพลาไรเซชัน หรือ การอุดตัน การบดบังรูพรุน สำหรับไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวาง ฟาวริงมักมีความหมายเฉพาะการสะสมอุดตันเฉพาะภายในรูพรุน และฟาวริงเกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทำระหว่างโมเลกุลกับเยื่อแผ่นไม่สามารถผันกลับได้ การกำจัดฟาวริงจึงต้องล้างด้วยสารเคมี โดยฟาวริงแบ่งออกเป็นสองลักษณะ คือ ฟาวริงภายนอกซึ่งเกิดที่ผิวหน้าของเยื่อแผ่นและฟาวริงภายในซึ่งเกิดที่ผิวหน้าภายในของรูพรุน (Nakamura และคณะ, 1998)

ในขณะที่เจลเกิดได้สองกรณี คือ กรณีแรกสารนั้นมีความเข้มข้นสูงถึงขีดจำกัดของการละลาย เจลที่เกิดขึ้นเป็นเจลของตะกอนสามารถล้างออกได้ด้วยน้ำ แต่ถ้าสารนั้นเป็นพวกดินสามารถเกิดเจลได้ในสภาวะที่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดเจลที่ไม่ผันกลับและอาจมีฟาวริงบางส่วนที่ผันกลับได้ เมื่อกล่าวถึงการกรองความแตกต่างระหว่างเค้กและเจล คือ เจลเป็นการสะสมของสารโมเลกุลใหญ่ ส่วนเค้กเป็นการสะสมเป็นชั้นของอนุภาคหรือสารแขวนลอยและเจลมีความหนาอยู่ในระดับหน่วยไมครอนในขณะที่ความหนาของเค้กอาจวัดได้หลายมิลลิเมตร ดังนั้น

ในอัลตราฟิลเตรชันจึงเรียกชั้นสะสมว่าเจล ส่วนในไมโครฟิลเตรชันแบบไหลขวางเรียกชั้นดังกล่าวว่าเค้ก

การประยุกต์ใช้กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน

เนื่องจากกระบวนการไมโครฟิลเตรชันใช้แยกคอลลอยด์ หรือ สารแขวนลอยที่มีขนาด 0.1-1.0 ไมโครเมตร และมีเยื่อแผ่นให้เลือกหลายชนิด ได้เพอเมอที่ไฮ แต่มีราคาดำเนินการต่ำ และดูแลรักษาง่าย แต่มีข้อเสียตรงที่ราคาลงทุนสูง ต้องทำความสะอาดเยื่อแผ่นเป็นระยะๆ และสารละลายต้องมีปริมาณของแข็งไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน และมีขอบเขตการประยุกต์ใช้ใกล้เคียงกับอัลตราฟิลเตรชัน

1. อุตสาหกรรมน้ำผลไม้และเครื่องดื่มเพื่อการทำให้ใส
2. อุตสาหกรรมนมและอาหาร
3. การบำบัดน้ำและการบำบัดน้ำทิ้ง
4. เทคโนโลยีชีวภาพ

3.7 การบอกคุณลักษณะของเยื่อแผ่น

คุณลักษณะของเยื่อแผ่น หมายถึง ลักษณะเกี่ยวกับโครงสร้าง ขนาดรูพรุน และความสามารถในการซึมผ่านและกักกันสารของเยื่อแผ่น

3.7.1 การบอกคุณลักษณะของเยื่อแผ่นรูพรุน

เยื่อแผ่นไมโครฟิลเตรชันมีขนาดรูพรุนใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร และเยื่อแผ่นอัลตราฟิลเตรชัน มีขนาดรูพรุน 2-20 นาโนเมตร สำหรับเยื่อแผ่นทั้งสองแบบนี้ขนาดรูพรุนมีผลต่อการกักกันสารมากกว่าคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ผลิตเยื่อแผ่น

- 1). เยื่อแผ่นไมโครฟิลเตรชัน มีวิธีที่ใช้กันมากอยู่ 4 วิธี
 - ก. การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนภาพ (scanning electron microscope-SEM)

ข. วิธี bubble point

$$r_p = 2\gamma \cos \theta / \Delta P$$

โดย r_p คือ รัศมีรูพรุน (m)

γ คือ แรงตึงผิวระหว่างของเหลวนั้นๆ และอากาศ (N/m)

θ คือ มุมสัมผัส

ΔP คือ ความดัน (bar หรือ N/m²)

ค. วิธี mercury intrusion

$$r_p = -2\gamma \cos \theta / \Delta P$$

ง. การวัดสภาพการซึมผ่าน

$$J = \varepsilon r_p^2 \Delta P / 8\mu\chi\delta_m$$

โดย J คือ ฟลักซ์ (m³/m².s)

μ คือ ความหนืดของของเหลว (Pa.s)

ΔP คือ ความดัน (N/ m²หรือ Pa)

ε คือ ($n\pi r_p^2$ / พื้นที่เยื่อแผ่น) หรือความพรุนของผิวเยื่อแผ่น (surface porosity) เมื่อ n เป็นจำนวนรู

χ คือ ตัวประกอบความคดเคี้ยวของรูพรุน

δ_m คือ ความหนาของเยื่อแผ่น (m)

2). เยื่อแผ่นอัลตราฟิลเตรชั่น

ก. การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนภาพ (scanning electron microscope-SEM)

ข. วิธีการดูดซับและคายออก (gas adsorption – desorption)

ค. การวัดการกักกันตัวถูกละลาย (solute rejection)

$$R = 1 - \frac{C_P}{C_R}$$

โดย R คือ ค่าการกักกัน (เป็นเศษส่วนหรือเปอร์เซ็นต์)

C_P คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเฟอมีเอท

C_R คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในรีเทนเทท

3.7.2 การบอกคุณลักษณะของเยื่อแผ่นแบบแน่น

เยื่อแผ่นที่ใช้ในกระบวนการออสโมซิสผันกลับ เพอแวกพอเรชัน การแยกก๊าซ เยื่อแผ่นเหล่านี้เป็นเยื่อแผ่นแบบแน่น เนื่องจากการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อแผ่นสามารถอธิบายได้ด้วยกลไกการละลาย-การแพร่ ดังนั้นวิธีหาขนาดรูพรุนจึงต้องแตกต่างจากเยื่อแผ่นที่มีรูพรุนเพราะคุณสมบัติของตัวถูกละลาย และ affinity เป็นตัวควบคุมความสามารถในการแยก ดังนั้นการวัดสภาพการซึมผ่านในรูปของฟลักซ์หรือการกักกัน จึงเป็นวิธีที่สะดวกและนิยมมากกว่า

ก. เยื่อแผ่นออสโมซิสผันกลับและนาโนฟิวเตรชัน นิยมบอกเป็นค่าการกักกันของเกลือ

ข. เยื่อแผ่นสำหรับแยกก๊าซ บอกเป็นค่าของสภาพการซึมผ่านของก๊าซ

ค. เยื่อแผ่นเพอแวกพอเรชัน เนื่องจากเยื่อแผ่นชนิดนี้แบ่งเป็นแบบชอบน้ำและไม่ชอบน้ำจึงสามารถทดสอบกับสารละลายนั้นๆได้โดย ตรงและพิจารณาจากค่าการกักกัน (รัตนา จิระรัตนานนท์ , 2543)

3.8 ปฏิกริยาของเซลลูโลส

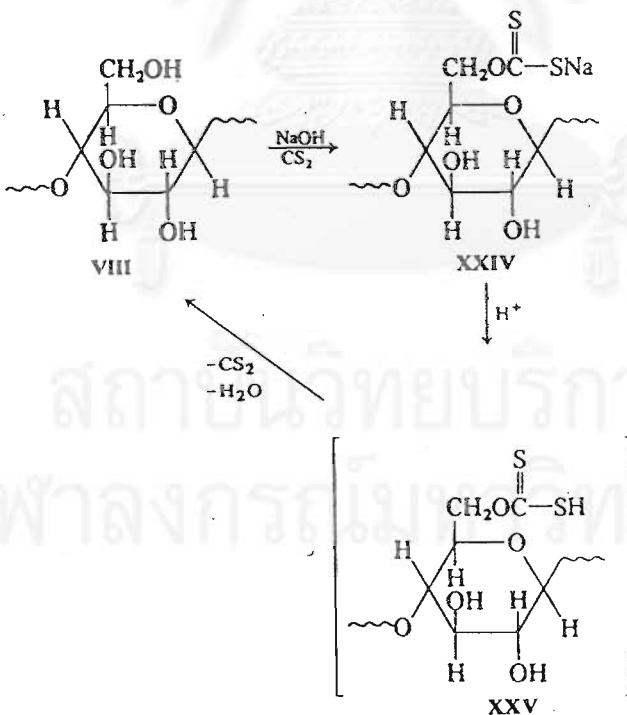
3.8.1 การละลายเซลลูโลส

การทำเส้นใยหรือฟิล์มเซลลูโลสทำได้โดยการใช้ปฏิกริยาเคมีในการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเป็นรูปสารละลายกลุ่มอนุพันธ์แซนเทรท (xanthate derivative) โดยการละลายเซลลูโลสด้วย 18-20 เปอร์เซ็นต์ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 25-30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5-1 ชั่วโมง โซเดียมไฮดรอกไซด์จะถูกดูดซับในเส้นใยพอลิเมอร์ที่พองตัวและฟอร์มตัวเป็นเซลลูโลสอัลคาไลน์ อัลคาไลส์ส่วนที่เหลือจะถูกบีบออกจากเยื่อเซลลูโลสและเมื่อทิ้งให้เกิดปฏิกริยาต่อไปเส้นใยพอลิเมอร์จะถูกสลายให้เล็กจนกระทั่งได้เส้นใยพอลิเมอร์ที่มีขนาดตามที่ต้องการ จากนั้นจึงเติมคาร์บอนไดออกไซด์และความคุมอุณหภูมิที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียสก็จะเกิดการฟอร์มตัวเป็นกลุ่มอนุพันธ์โซเดียมแซนเทรท โดยปกติในการผลิตในระดับอุตสาหกรรมจะทำปฏิกริยาให้ได้ดีกรีความเป็นแซนเทรทประมาณ 0.5 ต่อหน่วยซ้ำเพื่อทำให้เซลลูโลสละลายได้ดี จากนั้นจึงทำการขึ้นรูปเซลลูโลสแบบเส้นใยหรือฟิล์มโดยการปั่นหรือหล่อในอ่างจับตัวที่มี 10% กรดซัลฟูริกที่ 35-40 องศาเซลเซียส โดยกรดจะทำหน้าที่ย่อยและเปลี่ยนอนุพันธ์โซเดียมแซนเทรทเป็นกรดแซนตริก (xanthic acid) ซึ่งไม่เสถียรและอาจถูกย่อยสลายต่อ กรดแซนตริกที่ได้ไม่ละลายน้ำจึงสามารถถูกฟอร์มเป็นเส้นใยหรือฟิล์มเซลลูโลสในอ่างซึ่งเรียกว่าเส้นใยเรยอนเหนียว (viscous rayon) หรือแผ่นเซลโลเฟน (cellophane) ตามลำดับ เส้นใยเรยอนเหนียวจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าเส้นใยฝ้ายธรรมชาติเนื่องจากมีความเป็นผลึกและมีน้ำหนักโมเลกุลที่ลดลงซึ่งเกิดจากการถูกย่อยสลายในระหว่างกระบวนการ ปัจจุบันแผ่นเซลโลเฟนถูกใช้กันแพร่หลายเป็นบรรจุภัณฑ์ในการห่ออาหารหรือห่อยาสูบ เป็นต้น

กรรมวิธีที่ใช้ละลายอีกวิธีคือกระบวนการ cuprammonium โดยการเติม cupric oxide ในสารละลายแอมโมเนีย ก่อให้เกิดการละลายจากการฟอร์มตัวของ cupric ion, แอมโมเนียและกลุ่มไฮดรอกไซด์ของเซลลูโลสจากนั้นจึงนำไปขึ้นรูปในสารละลายกรด กรรมวิธีนี้ถูกใช้ในการทำแผ่นฟิล์มหรือท่อกลวงเพื่อใช้เป็นแผ่นกรอง เนื่องจากวิธีนี้ให้แผ่นกรองที่มีคุณสมบัติให้สารไหลผ่านที่เหมาะสมกว่า และยังมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้กับสารชีวภาพดีกว่าแผ่นฟิล์มเซลลูโลสที่ได้โดยวิธีการเปลี่ยนเป็นกลุ่มอนุพันธ์แซนเทรทในกระบวนการข้างต้น (George Odian, 1991)

3.8.2 การย่อยด้วยกรด

โดยทั่วไปพันธะกลูโคสในเซลลูโลสหรือสารประเภทคาร์โบไฮเดรตสามารถถูกย่อยสลายโดยใช้กรดเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำตาล โดยกระบวนการย่อยสลายนี้เกิดจากการแตกตัวของโปรตอน(H^+) ในสารละลายน้ำ(hydrolysis) หรือสารละลายอื่นเช่นแอลกอฮอล์(alcoholysis) โดยการย่อยสลายในแอลกอฮอล์จะเกิดขึ้นได้ดีกว่าในน้ำเนื่องจากโปรตอน(H^+) ละลายได้น้อยลง และเนื่องจากในสารละลายน้ำ น้ำส่วนหนึ่งจะถูกดูดซับกับกรดในรูปสารละลายกรดอิมิตัวทำให้เกิดการย่อยสลายลดลง โดยทั่วไปในกรณีตัวกลางที่กรดไม่เกิดการแตกตัวของโปรตอน(H^+) กรดจะไม่ทำปฏิกิริยาการย่อยสลายสารเช่นในไอของกรดไฮโดรคลอริก(HCl) แห่งจะไม่เกิดการย่อยสลายพันธะกลูโคส ยกเว้นแต่ในกรณีกรดฟลูออริกแห่ง(HF) ซึ่งไม่เสถียรสามารถย่อยสลายพันธะกลูโคสทำให้เกิดสารโอลิโกแซคคาไรด์(oligosaccharide) ที่มีดีกรีโพลิเมอร์ไอเซชันอยู่ในช่วง 14-18 การย่อยสลายด้วยกรดในตัวกลางที่ไม่มีการแตกตัวของโปรตอนเช่นในสารประเภทกรดอินทรีย์ เช่นการย่อยสลายของเซลลูโลสโดยกรดไฮโดรคลอริกในเบนซีนเกิดขึ้นเนื่องจากการแตกตัวของโปรตอนในน้ำที่ถูกดูดซับในกรดอินทรีย์โดยพบว่าจุดที่ถูกย่อยสลายจะมีความแตกต่างไปจากการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายในสารละลายน้ำ (Nicolas Abatzoglou and Esteban Chornet)



รูปที่ 3.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในโมเลกุลของเซลลูโลสเมื่อเติมสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์, คาร์บอนไดซัลไฟด์ และ กรดซัลฟูริก

บทที่ 4

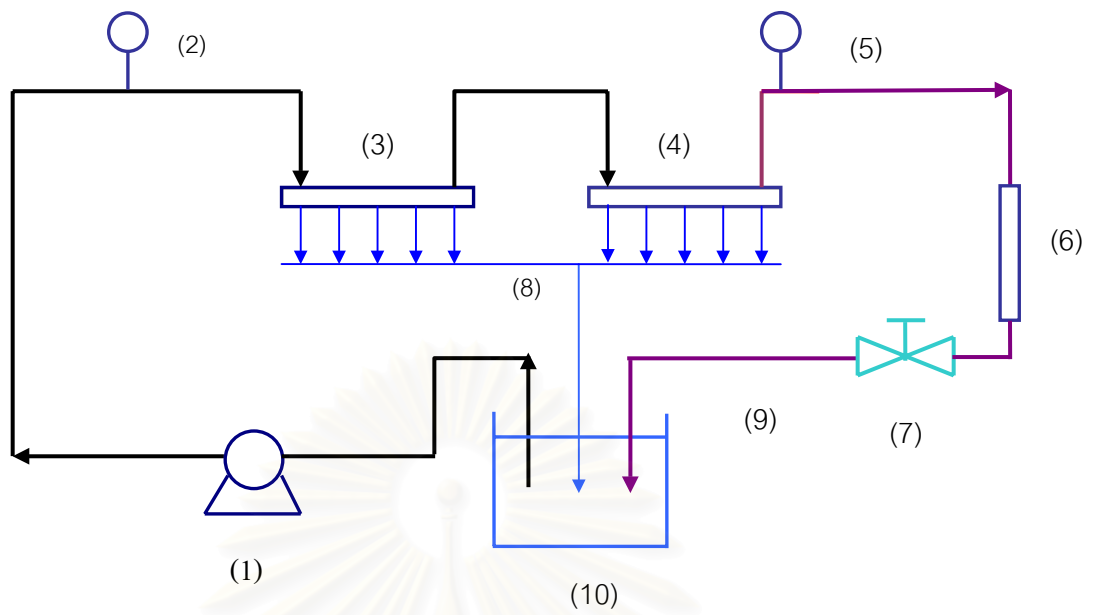
อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

4.1 สารเคมี

1. กุ้งมะพร้าว
2. น้ำตาลทรายมิตรผล
3. แอมโมเนียมซัลเฟต
4. น้ำส้มสายชู
5. เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตร
6. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37 เปอร์เซ็นต์
7. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1-10 นอร์มอล
8. โซเดียมไฮดรอกไซด์
9. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
10. กลีเซอรอล
11. ไอโซออกเทน
12. กรดไนตริก
13. กรดบอริก
14. กรดไนตริกเข้มข้น 65 เปอร์เซ็นต์
15. คาร์บอนไดออกไซด์
16. เด็กแทรน
17. บลูเด็กแทรน
18. D(+) glucose monohydrate
19. โซเดียมคลอไรด์
20. แคลเซียมคลอไรด์

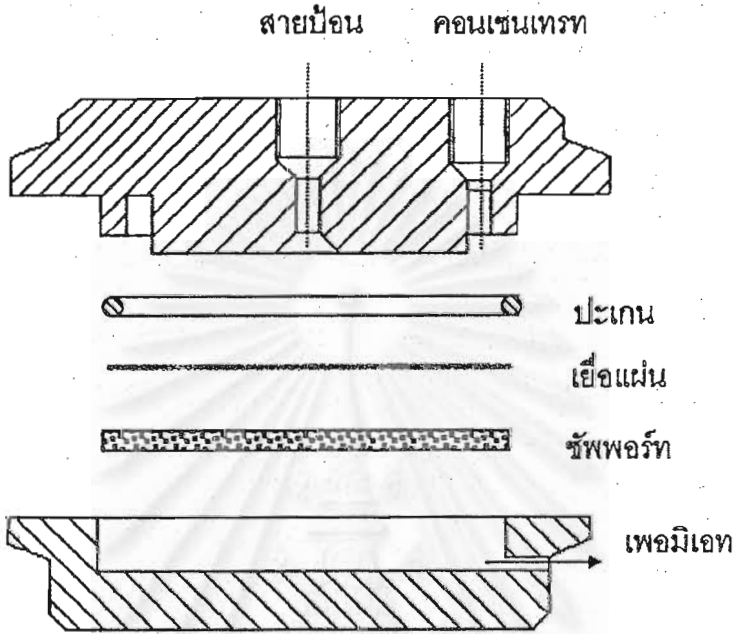
4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องวัดความต้านแรงดึง (tensile stress) LLOYD, L2000R
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM) รุ่น JEOL JSM-5410LV scanning microscope
3. Nitrogen Adsorption รุ่น ASAP 2000 micromeritics.
4. เครื่องวัดความหนา peacock,dial thickness guage 0.01 มิลลิเมตร
5. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) รุ่น Spectronic 20 Genesys ของบริษัท Spectronic Instruments, USA.
6. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (4-digits balance) ของบริษัท Mettler Toledo, Switzerland.
7. เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ของบริษัท scientific promotion co., Ltd
8. vortex รุ่น model K.550-GE ของบริษัท scientific industries
9. เครื่องกวนแบบมีแม่เหล็ก (magnetic stirrer / hot plate) รุ่น RCT basic ของบริษัท Ika labortechnik, Germany
10. ตู้อบลมร้อน รุ่น memmert GmbH+CO.KG, model 500
11. เครื่องปั่น Philips Cucina
12. เครื่องกดอัด
13. ชุดการกรอง



รูปที่ 4.1 ไดอะแกรมแสดงระบบการกรอง

1. ปั๊มหมุนเวียน
2. เกจความดันขาเข้า
3. ไมโครนาโนฟิลเตรชัน
4. ไมโครนาโนฟิลเตรชัน
5. เกจความดันขาออก
6. ลูกถ้วยวัดอัตราการไหลของสาร
7. วาล์วขาออก
8. สายเพอมีเอท
9. สายคอนเซนเทรท
10. ถังสารป้อน



รูปที่ 4.2 แสดงโมดูลของเยื่อแผ่น

โมดูลของเยื่อแผ่นมีช่องสำหรับใส่เยื่อแผ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร ซึ่งมีพื้นที่ผิว 0.0044 ตารางเมตร ซึ่งโมดูลได้ถูกออกแบบเพื่อทำให้เกิดการไหลขวางเพื่อลดคอนเซนเทรชันโฟลาไรเซชันและฟาวลิงของเยื่อแผ่น โดยที่สายป้อนจะเข้ามาทางช่องตรงกลางของส่วนบนของเยื่อแผ่นแล้วแพร่กระจายไปในแนวรัศมีและออกจากโมดูลที่ช่องด้านข้าง ความดันปรับโดยวาล์วที่อยู่ที่สายออกของโมดูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 แสดงชุดเครื่อง



รูปที่ 4.4 แสดงโมดูลของเยื่อแผ่น

4.3 วิธีการทดลอง

4.3.1 วิธีการหมักวุ้นมะพร้าว

1. นำน้ำมะพร้าวแก่ 20 ลิตร ที่สดและใหม่ ต้มเดือดนาน 5 นาที แล้วปิดไฟ
2. เติมน้ำตาลทราย 1 กิโลกรัม (5 เปอร์เซ็นต์) แล้วคนให้เข้ากัน
3. เติมน้ำปู๋ย (แอมโมเนียมซัลเฟต) 100 กรัม (0.5 เปอร์เซ็นต์) แล้วคนให้เข้ากัน
4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
5. เติมหั้วน้ำส้มสายชู (กรดอะซิติก) 200 มิลลิลิตร (1 เปอร์เซ็นต์) แล้วคนให้เข้ากัน
6. เติมหั้วเชื้อแบคทีเรีย *Acetobacter xylinum* 1 ลิตร (5 เปอร์เซ็นต์) แล้วคนให้เข้ากัน
7. ตักใส่ถาดพลาสติกที่ลวกด้วยน้ำร้อนหรือผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ให้ได้ระดับน้ำสูง 1 นิ้ว
8. ปิดด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์ที่หนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว
9. ตั้งหมักที่อุณหภูมิห้อง โดยห้ามกระทบกระเทือน

4.3.2 วิธีการทำวุ้นมะพร้าวให้บริสุทธิ์

4.3.2.1 ล้างด้วยน้ำกลั่น

นำแผ่นวุ้นมะพร้าวล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้งจนปลอดกลิ่น จากนั้นนำวุ้นมะพร้าวที่ได้มาผสมกับน้ำในอัตราส่วนวุ้นมะพร้าวต่อน้ำเป็น 1:2 (โดยน้ำหนัก) แล้วนำไปกระจายเยื่อด้วยเครื่องปั่น เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปกรองแยกวุ้นมะพร้าวออกจากน้ำ จากนั้นนำวุ้นมะพร้าวที่ได้มาทำการล้างจนกระทั่งวุ้นที่ได้ปลอดกลิ่น และน้ำที่ได้จากการล้างมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นกลาง

4.3.2.2 วิธีการล้างด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (L.S.Dimaguila, 1967)

1. นำแผ่นวุ้นมะพร้าวล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง
2. แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดเซลล์แบคทีเรีย
3. เทสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกแล้วใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ลงไปใหม่ แล้วแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

4. ล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง
5. แช่ในสารละลายกรดอะซิติกเย็นที่เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดอัลคาไลน์
6. ล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง จนน้ำที่ได้จากการล้างมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นกลาง
7. นำวุ้นมะพร้าวที่ได้มาผสมกับน้ำในอัตราส่วนวุ้นมะพร้าวต่อน้ำเป็น 1:2 (โดยน้ำหนัก) แล้วนำไปกระจายเยื่อด้วยเครื่องปั่น เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำวุ้นมะพร้าวที่ได้มาทำการล้างจนกระทั่งวุ้นที่ได้ปลอดกลิ่น และน้ำที่ได้จากการล้างมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นกลาง

4.3.2.3 วิธีการต้ม

1. นำแผ่นวุ้นมะพร้าวล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง
2. นำแผ่นวุ้นมะพร้าวต้มในน้ำเดือดโดยใช้อัตราส่วนวุ้นมะพร้าวต่อน้ำเป็น 1:1 (โดยน้ำหนัก) นาน 30 นาที (อย่างต่ำ 2 ครั้ง) จนกระทั่งน้ำที่ได้จากการต้มมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นกลาง
8. นำวุ้นมะพร้าวที่ได้มาผสมกับน้ำในอัตราส่วนวุ้นมะพร้าวต่อน้ำเป็น 1:2 (โดยน้ำหนัก) แล้วนำไปกระจายเยื่อด้วยเครื่องปั่นเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำวุ้นมะพร้าวที่ได้มาทำการล้างจนกระทั่งวุ้นที่ได้ปลอดกลิ่น และน้ำที่ได้จากการล้างมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นกลาง

4.3.3 การวิเคราะห์ความชื้นของวุ้นมะพร้าว

1. อบถ้วยที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยที่อบแห้ง
3. นำตัวอย่างเข้าอบหาความชื้นในตู้อบลมร้อน ซึ่งควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก
4. อบตัวอย่างจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักที่คงที่ของตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

4.3.4 วิธีการทดลองความสามารถในการละลายได้ของวุ้นมะพร้าว

นำวุ้นมะพร้าวที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นดังแสดงในวิธี 4.3.2.1 ปริมาณ 3 กรัม ละลายใน 10 มิลลิลิตร ของสารละลายต่างๆ ดังนี้

- กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น
- กรดไนตริกเข้มข้น
- กรดบอริกเข้มข้น
- กลีเซอรอล
- ไอโซออกเทน
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 นอร์มอล
- น้ำ

4.3.5 วิธีการทดลองการไฮโดรไลซ์

4.3.5.1 การไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก

1. นำวุ้นมะพร้าวที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นดังแสดงในวิธี 4.3.2.1 ปริมาณ 3 กรัม ใส่ในหลอดทดลองจำนวน 10 หลอด
2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 10 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้น 1-10 โมลาร์ ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด
3. ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องกวนแบบมีแม่เหล็ก เป็นเวลา 15 ชั่วโมง
4. สังเกตลักษณะของวุ้นที่ได้

4.3.5.2 การไฮโดรไลซ์ด้วยไซโตียมไฮดรอกไซด์

1. นำวุ้นมะพร้าวที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นดังแสดงในวิธี 4.3.2.1 ปริมาณ 3 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองจำนวน 6 หลอด
2. เติมสารละลายไซโตียมไฮดรอกไซด์ 10 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้น 1,2,3,5,7 และ 9 โมลาร์ ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด
3. ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องกวนแบบมีแม่เหล็ก เป็นเวลา 15 ชั่วโมง
4. สังเกตลักษณะของวุ้นที่ได้

4.3.6 วิธีการปรับสภาพวุ้นมะพร้าวและทำการขึ้นรูปฟิล์ม

4.3.6.1 วิธีการละลายเซลลูโลส

1. นำวุ้นมะพร้าวที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นดังแสดงในวิธี 4.3.2.1 จำนวน 15 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ จำนวน 2 ใบ
2. ใส่สารละลายไซโตียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 , 2 เปอร์เซนต์ ลงในบีกเกอร์ทั้งสองใบ จำนวน 30 มิลลิลิตร
3. ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนแบบมีแม่เหล็ก เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. เทเอาสารละลายไซโตียมไฮดรอกไซด์ออกให้หมด
5. เติมคาร์บอนไดออกไซด์ 10 มิลลิลิตร
6. นำวุ้นมะพร้าวที่ได้ออกมาบางส่วนแล้วนำไปทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดรหว่างแผ่นพลาสติก 2 แผ่น
7. เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 % (โดยปริมาตรต่อปริมาตร) 20 มิลลิลิตร
8. นำไปกรองแยกเอาวุ้นมะพร้าวที่ผ่านการ regenerate และล้างจนกระทั่งน้ำที่ได้จากการล้างมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นกลาง
9. นำวุ้นมะพร้าวที่ได้ไปทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดรหว่างแผ่นพลาสติก 2 แผ่น แล้วตากไว้ที่อุณหภูมิห้อง

4.3.6.2 วิธีไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก

1. นำวุ้นมะพร้าวที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ตามวิธี 4.3.2.1 , 4.3.2.2 และ 4.3.2.3 แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 1 , 3 , 5 และ 7 โมลาร์ โดยใช้อัตราส่วนของวุ้นมะพร้าวต่อกรดไฮโดรคลอริกเป็น 1:1 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร, กรัมต่อมิลลิลิตร)
2. ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนแบบมีแม่เหล็ก เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ทั้งแบบให้ความร้อน (68 องศาเซลเซียส) และแบบไม่ให้ความร้อน
3. นำวุ้นที่ได้มาทำการขึ้นรูปโดยวิธีการกดระหว่างแผ่นพลาสติก 2 แผ่น และวิธีการกดอัด โดยในการขึ้นรูปจะทำการขึ้นรูปวุ้นที่มีลักษณะต่างๆ ดังนี้
 - วุ้นที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ตามวิธี 4.3.2.1 , 4.3.2.2 และ 4.3.2.3 โดยไม่ผ่านการไฮโดรไลซ์
 - วุ้นที่ผ่านการไฮโดรไลซ์และยังมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นกรด
 - วุ้นที่ผ่านการไฮโดรไลซ์และทำการล้างจนน้ำที่ได้จากการล้างมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นกลาง
4. หลังจากขึ้นรูปแล้วทำการตากไว้ที่อุณหภูมิห้อง

4.3.6.3 วิธีไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริก

1. นำวุ้นมะพร้าวที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ตามวิธี 4.3.2.1 แล้วเติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 % ในอัตราส่วนของวุ้นมะพร้าวต่อกรดซัลฟูริกเป็น 1:1 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร, กรัมต่อมิลลิลิตร)
2. ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนแบบมีแม่เหล็ก
3. นำไปกรองแยกเอาวุ้นมะพร้าวที่ผ่านการไฮโดรไลซ์ และล้างจนกระทั่งน้ำที่ได้จากการล้างมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นกลาง
4. นำวุ้นที่ได้มาทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดระหว่างแผ่นพลาสติก 2 แผ่น แล้วตากไว้ที่อุณหภูมิห้อง

4.3.6.4 วิธีการวางบนแผ่นเรียบ

1. นำวุ้นมะพร้าวที่ผ่านการหมักเป็นเวลา 1 , 2 และ 3 วัน มาล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้งจนแผ่นวุ้นปลอดกลิ่น และน้ำที่ได้จากการล้างมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นกลาง
2. นำมาขึ้นรูปด้วยวิธีการตากบนแผ่นเทปลอนที่อุณหภูมิห้อง

4.3.7 คุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์ม

1. ความหนาด้วยเครื่อง dial thickness gauge
2. โครงสร้างของฟิล์มโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM)
3. รูพรุนด้วยเครื่อง Nitrogen Adsorption
4. ความต้านทานแรงดึง (tensile strength)

4.3.8 วิธีการหาคุณสมบัติทางการแยกสารของเยื่อแผ่นโดยชุดทดสอบการกรอง

1. นำแผ่นเยื่อที่ได้จาก 4.3.6 มาทำการตัดเป็นรูปวงกลมโดยมีพื้นที่หน้าตัด 0.0044 ตารางเมตร โดยมีกระดาษกรอง Whatman no.4 เป็นตัวค้ำจุน
2. นำเยื่อแผ่นแต่ละตัวพร้อมด้วยตัวค้ำจุนมาทำการกรองแยกสารต่างๆ (ที่มีความเข้มข้นเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก) ดังนี้ ตามลำดับ
 - บลูเด็กแทรน ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 2,000,000 และมีความเข้มข้น 0.003 เปอร์เซ็นต์
 - เด็กแทรน ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 10,000 และมีความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์
 - เด็กแทรน ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 71,400 และมีความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์
 - เด็กแทรน ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 200,000-275,000 และมีความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์
 - เด็กแทรน ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 505,000 และมีความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์
 - ซูโครส ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์
 - กลูโคส ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์
 - แคลเซียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์
 - โซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์

โดยใช้สภาวะในการกรองคงที่ มีอัตราการไหลของสายป้อน 3 ลิตรต่อนาที และความดัน 8-10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยวัดปริมาตรเพอมีเอทที่ได้ต่อเวลา โดยทำการทดลองแบบต่อเนื่อง มีการวนกลับของสารละลายลงสู่ถังป้อน
3. เก็บตัวอย่างเพอมีเอท และสายป้อน เพื่อนำไปหาปริมาณของสารที่แตกต่างกันของเพอมีเอทและสายป้อน

4.3.9 วิเคราะห์ตัวอย่าง

- 4.3.9.1 วิเคราะห์หาปริมาณบลูเดกแทนด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 610 นาโนเมตร
- 4.3.9.2 วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลกลูโคสและซูโครสด้วยเครื่อง HPLC
- 4.3.9.3 วิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมคลอไรด์และแคลเซียมคลอไรด์ด้วยเครื่อง conductivity meter
- 4.3.9.4 วิเคราะห์หาปริมาณเด็กแทนโดยวิธี Dinitrosalicylic Acid reagent , DNS



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโดยวิธี Dinitrosalicylic Acid reagent , DNS

สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.6 กรัม
2. 3,5-dinitrosalicylic acid 1 กรัม
3. โซเดียมโปแตสเซียมทาร์เทรต (sodium potassium tartrate) 30 กรัม
4. น้ำกลั่น

วิธีการเตรียม DNS

ละลาย 1.6 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ ในน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆ เติม 3,5-dinitrosalicylic acid 1 กรัม ลงไป เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆ เติม โซเดียมโปแตสเซียมทาร์เทรต 30 กรัม และปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร (เก็บ DNS reagent ไว้ในขวดสีชา ตั้งทิ้งไว้ 2-3 คืน ก่อนนำมาใช้)

วิธีการวิเคราะห์

1. ขั้นตอนการไฮโดรไลซิส
 - 1.1 ใส่ 1 มิลลิลิตร ของตัวอย่างลงในหลอดทดลอง
 - 1.2 เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (36 เปอร์เซ็นต์) 0.5 มิลลิลิตร และกวนให้เข้ากัน
 - 1.3 ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นทันทีโดยการแช่ในน้ำเย็น
 - 1.4 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร
 - 1.5 เติมน้ำ DI 5 มิลลิลิตร และกวนให้เข้ากันโดยใช้ vortex
2. ขั้นตอนการหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซิง (reducing sugar)
 - 2.1 ใส่ตัวอย่างที่ได้จากขั้นที่ 1 ปริมาณ 0.2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง (0.2 มิลลิลิตร ของน้ำเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบ)
 - 2.2 เติม 1 มิลลิลิตร ของ DNS reagent และกวนให้เข้ากัน
 - 2.3 ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที
 - 2.4 ทำให้เย็นทันทีโดยการแช่ในน้ำเย็น
 - 2.5 เติมน้ำที่ปราศจากไอออน 5 มิลลิลิตร และกวนให้เข้ากันโดย vortex
 - 2.6 วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง วัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ที่ ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร

บทที่ 5

ผลการทดลอง วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 ลักษณะของวุ้นมะพร้าว

จากการหมักวุ้นมะพร้าวโดยใช้น้ำมะพร้าว น้ำตาลทราย แอมโมเนียมซัลเฟต และน้ำส้มสายชูเป็นส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อ และเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการหมักวุ้นมะพร้าว คือ *Acetobacter aceti* subspecies *xylinum* โดยทำการหมักที่อุณหภูมิห้อง และไม่ให้กระทบกระเทือน พบว่าจะเกิดฝ้าบางๆ สีขาวขุ่น บนผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อเมื่อหมักเป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง และฝ้าบางๆ นี้จะค่อยๆ เพิ่มความหนาขึ้นเรื่อยๆ และจะมีความหนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร เมื่อหมักไว้เป็นเวลาประมาณ 7 วัน ซึ่งวุ้นที่ได้จะมีลักษณะผิวขึ้นบวมน้ำ มีลักษณะคล้ายวุ้น ลื่น เหนียวและแข็งแรง

S.MASAOKA และคณะ (1993) กล่าวว่าในการหมักวุ้นมะพร้าวจะทำให้สภาวะคงที่ที่ 28-30 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการสั่นสะเทือน ระบบจะกลายเป็นของเหลวสีขุ่นๆ และหลังจากตั้งทิ้งไว้ช่วงหนึ่งก็จะเกิดเป็นฝ้าบางๆ สีขาวขุ่นที่ผิวหน้าและความหนาของมันก็จะเพิ่มขึ้นอย่างคงที่เมื่อเทียบกับเวลา จนมีความหนามากกว่า 25 มิลลิเมตร ใน 4 สัปดาห์ ซึ่งจากลักษณะที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียได้สร้างเซลล์ลิวสเฉพาะบริเวณใกล้ผิวหน้า ดังนั้นความสามารถในการผลิตวุ้นจะขึ้นกับพื้นที่ผิวหน้า ไม่ใช่ปริมาตรของภาชนะ

5.2 การวิเคราะห์หาความชื้นของวุ้นมะพร้าว

จากการวิเคราะห์หาความชื้นของวุ้นมะพร้าวโดยใช้น้ำมะพร้าวที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการล้างด้วยน้ำกลั่น การล้างด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ และการต้ม ดังแสดงในวิธีการทดลองที่ 4.3.2.1- 4.3.2.3 พบว่าทั้งสามวิธีให้ปริมาณความชื้นที่ใกล้เคียงกัน คือ ประคบด้วยน้ำร้อยละ 97.08 - 97.27 ซึ่งค่าที่ได้จากผลการทดลองนี้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการและกองเกษตรเคมี (ตารางที่ 1) (สมคิด ธรรมรัตน์, 2531)

และจากการวิเคราะห์หาความชื้นโดยการทำให้แผ่นวุ้นแห้งระหว่างแผ่นกระดาษกรองของ L.S.DIMAGUILA (1968) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน จะเห็นได้ว่าวุ้นมะพร้าวมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่มากถึงร้อยละ 97.08 - 97.27 ทั้งนี้เนื่องจากวุ้นมะพร้าวมีพื้นที่ผิวภายในช่องว่างระหว่างโครง

สร้างของวุ้นมะพร้าวมาก สามารถกักน้ำไว้ในโครงสร้างตาข่ายได้มากถึง 60 – 700 เท่าของน้ำหนักแห้ง (White and Brown , 1989)

วุ้นมะพร้าวหรือเซลลูโลสจากแบคทีเรีย เป็นผลิตภัณฑ์ภายนอกเซลล์ของแบคทีเรียที่ผลิตน้ำส้ม (vinegar bacteria) และมันเกือบจะประกอบด้วยเซลลูโลสที่บริสุทธิ์ ไม่มีลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเพกติน ซึ่งต่างไปจากเซลลูโลสที่พบในพืช (M.Iguchi และคณะ,2000 ; Hestrin,S. และ Shramm,M.,1954) และจากผลการวิเคราะห์ของกรมวิทยาศาสตร์บริการและกองเกษตรเคมี (ตารางที่ 1) (สมคิด ธรรมรัตน์ , 2531) พบว่าวุ้นมะพร้าวประกอบไปด้วย น้ำ ไขมัน เส้นใย โปรตีน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 ผลของความสามารถในการละลายได้ของวุ้นมะพร้าว

หลังจากทำการละลายวุ้นมะพร้าวปริมาณ 3 กรัม ในสารละลายต่างๆ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง และกวนเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อทดสอบความสามารถในการละลายของวุ้นมะพร้าวในสารละลายต่างๆ ได้ผลสรุปตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ความสามารถในการละลายของวุ้นมะพร้าวในสารละลายต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง

| สาร | ความสามารถในการละลาย |
|-----------------------------|--|
| กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น | ละลายได้แต่สารละลายที่ได้ยังไม่เป็นสารละลายใส |
| กรดซัลฟูริกเข้มข้น | ละลายได้หมดแต่เปลี่ยนเป็นสารละลายใสสีน้ำตาล |
| กรดไนตริกเข้มข้น | ไม่ละลาย |
| กรดบอริกเข้มข้น | ไม่ละลาย |
| กลีเซอรอล | ละลายได้บ้าง สีค่อนข้างขุ่นและมีลักษณะขุ่นหนืด |
| ไอโซออกเทน | ไม่ละลาย |
| โซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 โมลาร์ | ไม่ละลาย |
| โซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 โมลาร์ | ไม่ละลาย |
| น้ำ | ไม่ละลาย |
| เอทานอล | ไม่ละลาย |

จากผลของการละลายที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการละลายของ L.S.Dimaguila (1968) (ตารางที่ 2.2) สรุปได้ว่า วุ้นมะพร้าวสามารถละลายได้อย่างสมบูรณ์ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น และสามารถละลายได้หมดหลัง 48 ชั่วโมงในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นและ cupra-ammonium solution (Schweitzer's Reagent) และไม่ละลายในน้ำ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และ แอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของเซลลูโลส

5.4 ผลของการไฮโดรไลซ์เพื่อคุณลักษณะของวุ้นมะพร้าวที่ได้หลังการไฮโดรไลซ์

5.4.1 ไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก

หลังจากทำการไฮโดรไลซ์วุ้นปริมาณ 3 กรัม ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร และทำการปั่นกวนด้วยเครื่องกวนแบบมีแม่เหล็ก เป็นเวลา 15 ชั่วโมง ได้ผลของการไฮโดรไลซ์ดังแสดงในตารางที่ 5.2

พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้น ลักษณะของวุ้นหลังการไฮโดรไลซ์ก็ยังคงกระจายตัวอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเหมือนก่อนที่จะทำการไฮโดรไลซ์ แต่จะพบว่าขนาดของวุ้นจะเล็กลงเรื่อยๆ เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นจะไปตัดสายโพลีเมอร์ของเซลลูโลสได้มากขึ้นทำให้สายเซลลูโลสสั้นลง และวุ้นที่ไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ เมื่อไฮโดรไลซ์เป็นเวลามากกว่า 2 เดือน พบว่าวุ้นที่ได้จะมีลักษณะเป็นเจล และสามารถทำให้แตกสลายได้ด้วยมือ

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองการไฮโดรไลซ์วุ้นมะพร้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริก

| ความเข้มข้น ของกรด (โมลาร์) | ลักษณะของวุ้น ก่อนการไฮโดรไลซ์ | ลักษณะของวุ้น หลังการไฮโดรไลซ์ |
|--------------------------------|--|--|
| 1 | วุ้นกระจายตัวในสารละลาย กรดอย่างหลวมๆ | วุ้นกระจายตัวในสารละลายกรดอย่าง หลวมๆ |
| 2 | วุ้นกระจายตัวในสารละลาย กรดอย่างหลวมๆ | วุ้นกระจายตัวในสารละลายกรดอย่าง หลวมๆ |
| 3 | วุ้นกระจายตัวในสารละลาย กรดอย่างหลวมๆ | วุ้นกระจายตัวในสารละลายกรดอย่าง หลวมๆ |
| 4 | วุ้นกระจายตัวในสารละลาย กรดอย่างหลวมๆ | วุ้นกระจายตัวในสารละลายกรดอย่าง หลวมๆ |
| 5 | วุ้นกระจายตัวในสารละลาย กรดอย่างหลวมๆ | วุ้นกระจายตัวในสารละลายกรดอย่าง หลวมๆ |
| 6 | วุ้นกระจายตัวในสารละลาย กรดอย่างหลวมๆ | วุ้นกระจายตัวในสารละลายกรดอย่าง หลวมๆ |
| 7 | วุ้นกระจายตัวในสารละลาย กรดอย่างหลวมๆ | วุ้นกระจายตัวในสารละลายกรดอย่าง หลวมๆ แต่มีขนาดอนุภาคเล็กลง |
| 8 | วุ้นกระจายตัวในสารละลาย กรดอย่างหลวมๆ | วุ้นกระจายตัวในสารละลายกรดอย่าง หลวมๆ แต่มีขนาดอนุภาคเล็กลง |
| 9 | วุ้นกระจายตัวในสารละลาย กรดอย่างหลวมๆ | วุ้นกระจายตัวในสารละลายกรดอย่าง หลวมๆ แต่มีขนาดอนุภาคเล็กลง |
| 10 | วุ้นกระจายตัวในสารละลาย กรดอย่างหลวมๆ | วุ้นกระจายตัวในสารละลายกรดอย่าง หลวมๆ แต่มีขนาดอนุภาคเล็กลง |

5.4.2 ไฮโดรไลซ์ด้วยไซเตียมไฮดรอกไซด์

หลังจากทำการไฮโดรไลซ์วุ้นปริมาณ 3 กรัม ในสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ปริมาณ 10 มิลลิลิตร และทำการปั่นกวนด้วยเครื่องกวนแบบมีแม่เหล็ก เป็นเวลา 15 ชั่วโมง ได้ผลดังสรุปในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองการไฮโดรไลซ์วุ้นมะพร้าวด้วยไซเตียมไฮดรอกไซด์

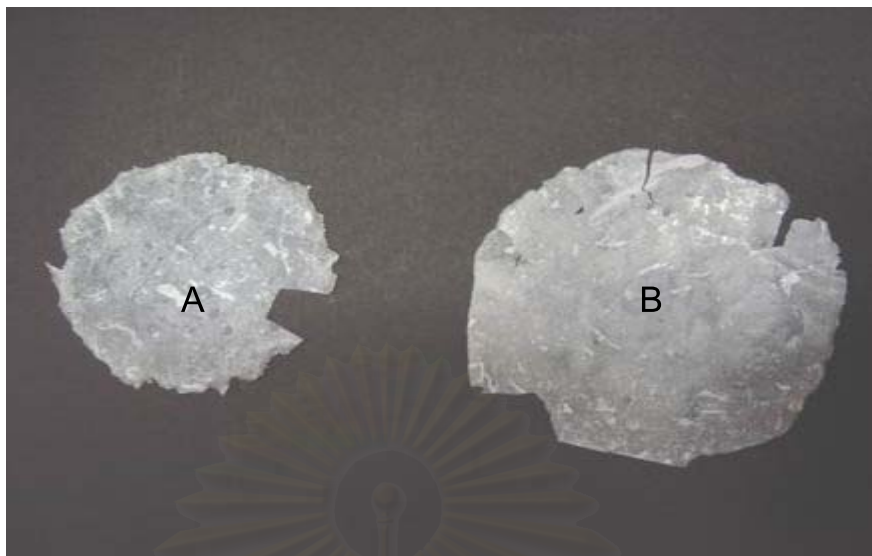
| ความเข้มข้นของ ไซเตียมไฮดรอกไซด์ (โมลาร์) | ลักษณะของวุ้น ก่อนการไฮโดรไลซ์ | ลักษณะของวุ้น หลังการไฮโดรไลซ์ |
|---|--|--|
| 1 | กระจายในสารละลายแต่มี ลักษณะเหนียว | รวมตัวกันอย่างหลวมๆ อยู่ที่ผิวของสารละลาย |
| 2 | กระจายในสารละลายแต่มี ลักษณะเหนียว | รวมตัวกันอย่างหลวมๆ อยู่ที่ผิวของสารละลาย |
| 3 | กระจายในสารละลายแต่มี ลักษณะเหนียว | รวมตัวกันอย่างหลวมๆ อยู่ที่ผิวของสารละลาย |
| 5 | กระจายในสารละลายแต่มี ลักษณะเหนียว | รวมตัวกันอย่างหลวมๆ อยู่ที่ผิวของสารละลาย |
| 7 | รวมตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่ ลอยอยู่ที่ผิวของสารละลาย | รวมตัวเป็นก้อนแข็งแต่มีขนาดเล็กกลง ลอยอยู่ที่ผิวของสารละลาย |
| 9 | รวมตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่ ลอยอยู่ที่ผิวของสารละลาย | รวมตัวเป็นก้อนแข็งแต่มีขนาดเล็กกลง ลอยอยู่ที่ผิวของสารละลาย |

พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงขึ้นวุ้นมะพร้าวจะจับรวมตัวกันเป็นก้อน สารละลายและวุ้นที่รวมตัวกันอยู่ด้านบนจะกลายเป็นสีเหลืองส้มที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 7 โมลาร์ และกลายเป็นสีน้ำตาลเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 9 โมลาร์ โดยลักษณะที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับการทำให้วุ้นมะพร้าวบริสุทธิ์โดย L.S.Dimaguila (1968) เมื่อแช่วุ้นไว้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ พบว่าวุ้นมะพร้าวจะกลายเป็นสีเหลืองและเป็นสีเหลืองอมน้ำตาลหลังจากแช่ไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แต่อย่างไรก็ตามมันจะสามารถกลับมาเป็นสีขาวได้อีกหลังจากทำให้ความเป็นกรด-ด่าง เป็นกลาง

5.5 ผลของการปรับสภาพวุ้นมะพร้าวและทำการขึ้นรูปฟิล์ม

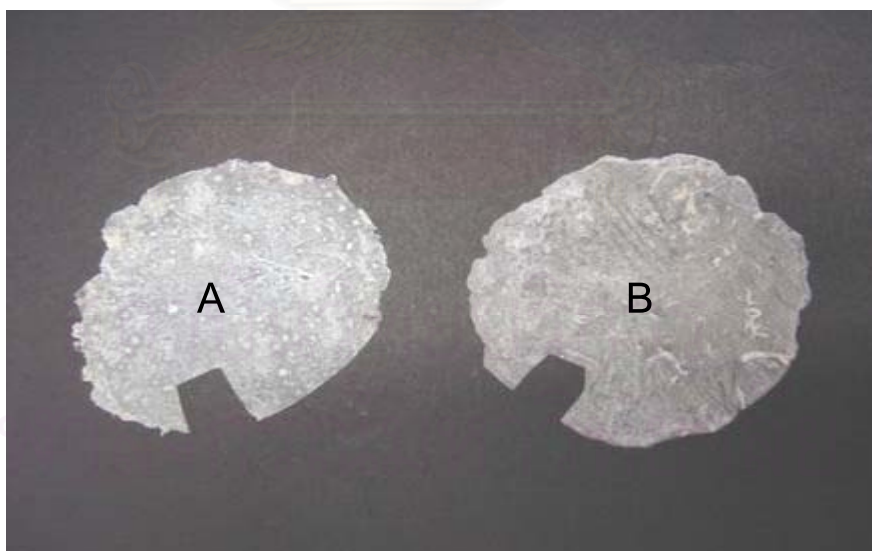
5.5.1 วิธีการละลาย (dissolution of cellulose)

จากการปรับสภาพวุ้นมะพร้าวที่ทำให้บริสุทธิ์แล้วด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเปลี่ยนรูปแบบให้เป็นเซลลูโลสอัลคาไลน์ พบว่าวุ้นมะพร้าวจะแขวนลอยอยู่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยไม่รวมตัวเป็นก้อน และหลังจากทำการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปเพื่อเปลี่ยนเป็นกลุ่มอนุพันธ์โซเดียมแซนเทรท พบว่าวุ้นมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์เปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองและมีลักษณะเนื้อเนียนเหนียวรวมตัวกันอยู่ ส่วนวุ้นมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์เปลี่ยนเป็นสีส้มและมีลักษณะเนื้อเนียนเหนียวรวมตัวกันอยู่ จากนั้นนำบางส่วนมาทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดระหว่างแผ่นพลาสติก 2 แผ่น จากนั้นจะเติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ลงในวุ้นมะพร้าวส่วนที่เหลือเพื่อเปลี่ยนเป็นกรดแซนทริก พบว่าวุ้นมะพร้าวจะกลายเป็นสีขาวแขวนลอยอยู่ในสารละลายกรดซัลฟูริก จะมีลักษณะเหมือนกับขั้นตอนก่อนที่ทำการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นทำการแยกวุ้นมะพร้าวออกจากสารละลายกรดซัลฟูริกแล้วนำมาขึ้นรูปด้วยวิธีการกดระหว่างแผ่นพลาสติก 2 แผ่น พบว่าฟิล์มที่ได้จากการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์และปรับสภาพด้วยคาร์บอนไดออกไซด์มีความหนาเฉลี่ย 0.0776 มิลลิเมตร และหลังจากปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกฟิล์มที่ได้มีความหนาเฉลี่ย 0.0478 มิลลิเมตร และฟิล์มที่ได้จากการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์และปรับสภาพด้วยคาร์บอนไดออกไซด์มีความหนาเฉลี่ย 0.088 มิลลิเมตร และหลังจากปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกฟิล์มที่ได้มีความหนาเฉลี่ย 0.079 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์ตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์

- A. หลังจากการปรับสภาพด้วยคาร์บอนไดออกไซด์
- B. หลังจากการปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก



รูปที่ 5.2 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์ตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์

- A. หลังจากการปรับสภาพด้วยคาร์บอนไดออกไซด์
- B. หลังจากการปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก

5.5.2 วิธีไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก

หลังจากการปรับสภาพวุ้นมะพร้าวด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแล้วนำมาทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดระหว่างแผ่นพลาสติก 2 แผ่นและวิธีการกดอัดด้วยความดัน พบว่าไม่สามารถขึ้นรูปได้ด้วยวิธีการกดอัดเนื่องจากวุ้นมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกยังมีสภาพเป็นอนุภาคเล็กๆ ที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายกรด ไม่ได้มีลักษณะเป็นสารละลายเนื้อเดียว เมื่อทำการกดอัดโดยให้วุ้นอยู่ระหว่างแผ่นพลาสติกใสสองแผ่นพบว่าวุ้นจะแยกตัวอยู่อย่างกระจัดกระจายไม่เป็นแผ่นเดียวกันแม้ว่าจะใช้แรงกดต่ำๆก็ตาม ดังนั้นจึงทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการปาดเพียงอย่างเดียว ซึ่งวิธีการปาดนี้ก็มีข้อเสียตรงที่แผ่นฟิล์มที่ได้มีความไม่สม่ำเสมอในเรื่องของความหนาและยังมีปัญหาในเรื่องของการเกิดฟองอากาศภายในแผ่นฟิล์มซึ่งจะทำให้เป็นจุดบกพร่องของแผ่นฟิล์มในการนำไปประยุกต์ใช้งาน

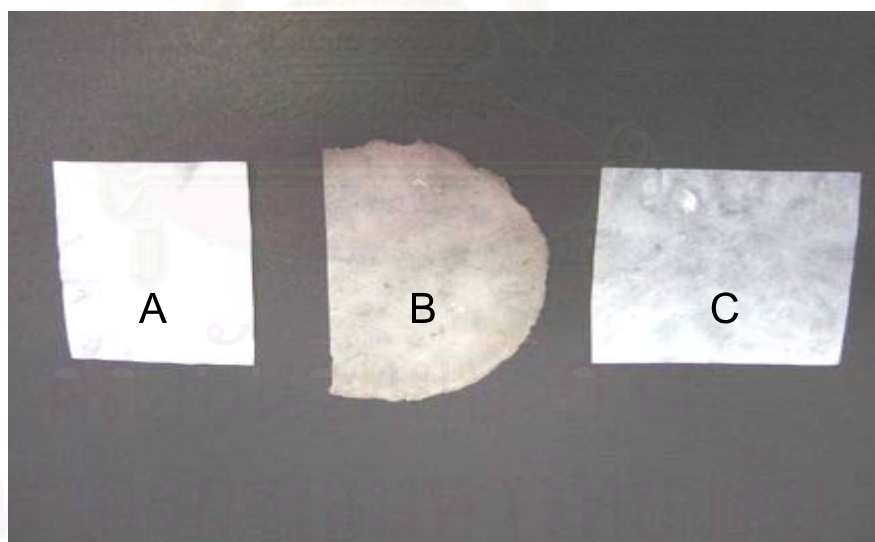
ฟิล์มที่ได้จากวุ้นที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการล้างด้วยน้ำกลั่น การล้างด้วยไซเดียมไฮดรอกไซด์ และการต้ม ดังแสดงในวิธีการทดลองที่ 4.3.2.1 - 4.3.2.3 จะมีลักษณะภายนอกที่สามารชมองเห็นได้เหมือนกัน แต่ฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการต้ม ดังแสดงในวิธีการทดลองที่ 4.3.2.3 จะมีสีเข้มกว่าเล็กน้อย

ฟิล์มที่ได้จากการขึ้นรูปวุ้นมะพร้าวที่ยังมีความเป็นกรด-ต่างเป็นกรดจะมีสีน้ำตาลและฟิล์มที่ได้จากการขึ้นรูปวุ้นมะพร้าวที่มีค่าความเป็นกรด-ต่างเป็นกลางซึ่งมีสีขาวจนถึงเหลืองอ่อน ดังแสดงในรูปที่ 5.4 และฟิล์มที่ได้จากวุ้นมะพร้าวที่มีสภาพความเป็นกรด-ต่างเป็นกรดจะฉีกขาดได้ง่ายมากกว่าฟิล์มที่ได้จากวุ้นมะพร้าวที่มีสภาพความเป็นกรด-ต่างเป็นกลาง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามันมีความแข็งแรงน้อยกว่า

ฟิล์มที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดที่มีความเข้มข้น 1 , 3 , 5 และ 7 โมลาร์จะมีลักษณะที่แตกต่างกันที่สามารถมองเห็นได้ คือ สีของฟิล์มที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดเข้มข้น 7 โมลาร์จะมีความขาวมากกว่าฟิล์มที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดเข้มข้น 5 , 3 และ 1 โมลาร์ ตามลำดับ



รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธี 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง

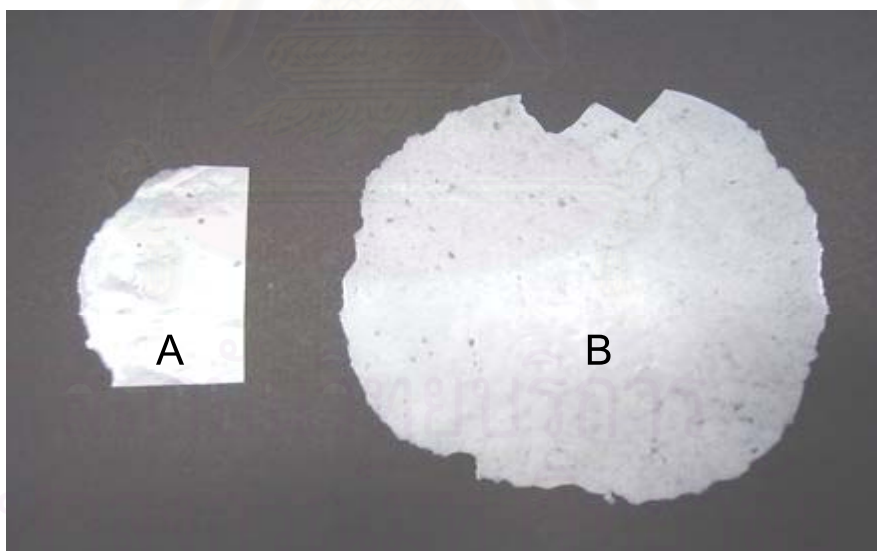


รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริก

- A. เข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง
- B. เข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 120 ชั่วโมง แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกรด
- C. เข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 120 ชั่วโมง แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง



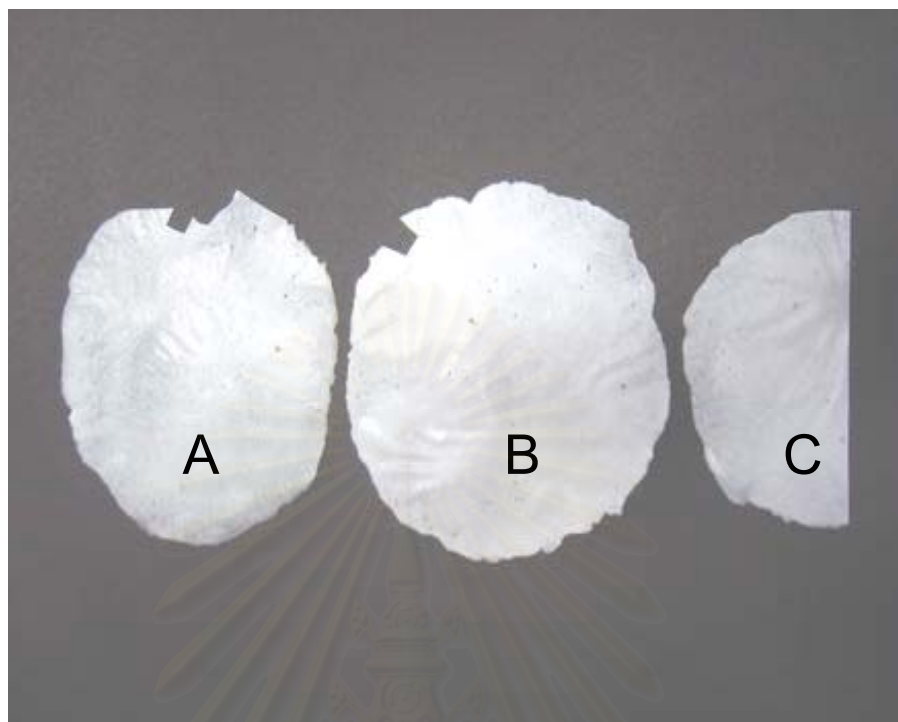
รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 โดยไม่ผ่านการปรับสภาพของอุณหภูมิ



รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามวิธีที่ 4.3.2.2 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

A. เข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 8 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง

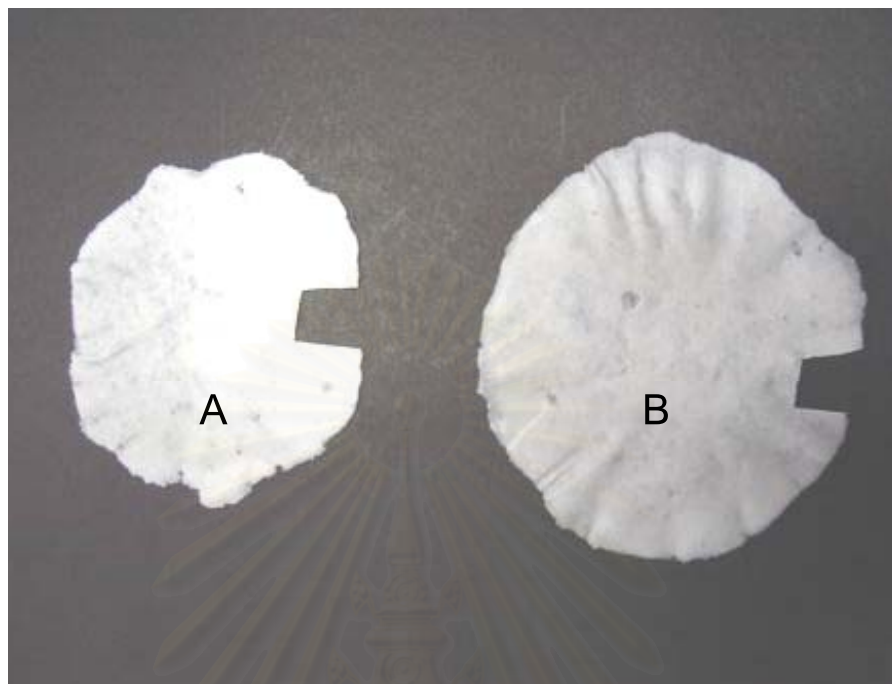
B. เข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 8 วัน (ให้ความร้อนที่ 68 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7.5 ชั่วโมง) แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง



รูปที่ 5.7 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการต้มตามวิธีที่ 4.3.2.3 แล้วปรับสภาพด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริก

- A. วุ้นมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก
- B. เข้มข้น 1 มิลลาร์ เป็นเวลา 9 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง
- C. เข้มข้น 3 มิลลาร์ เป็นเวลา 9 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

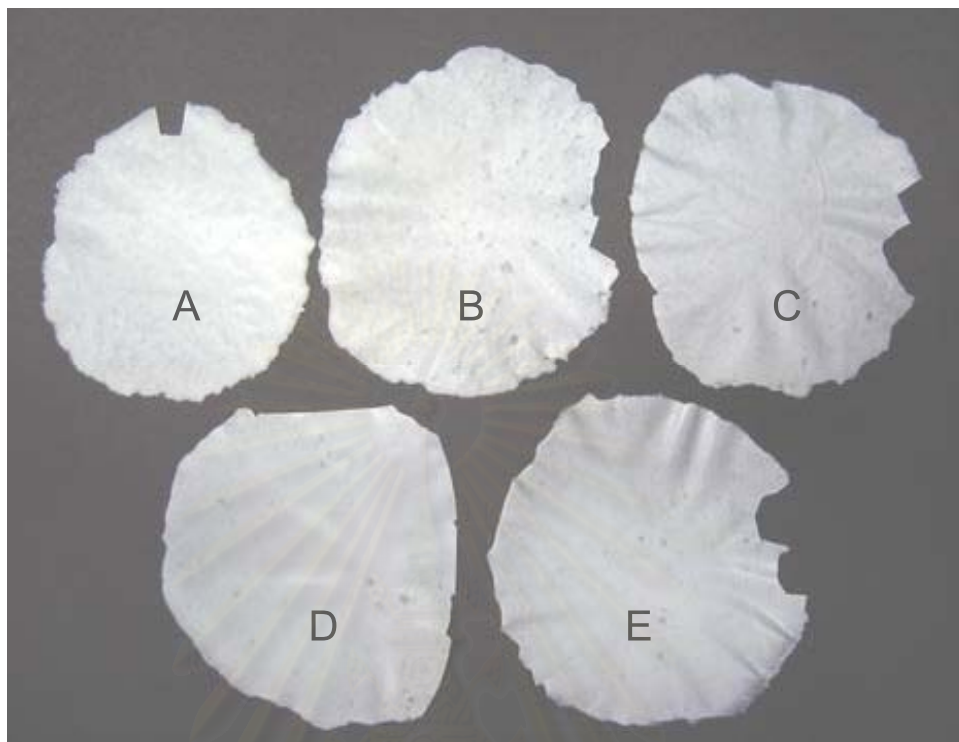


รูปที่ 5.8 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการต้มตามวิธีที่ 4.3.2.3

แล้วปรับสภาพด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริก

- A. เข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 15 วัน (ให้ความร้อนที่ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง) แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง
- B. เข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 15 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง

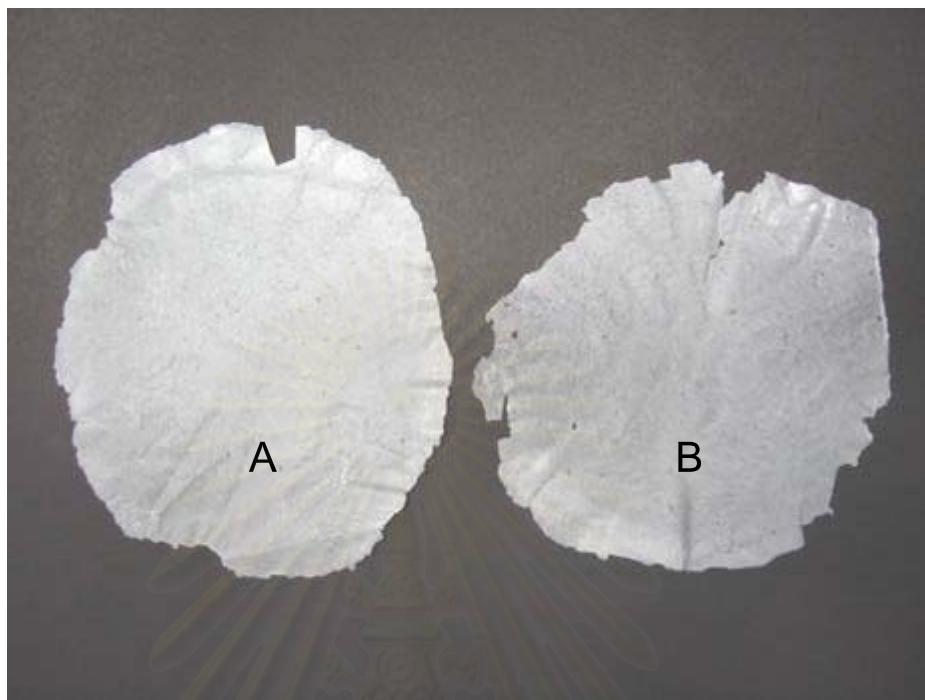
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.9 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธี
ที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

- A. ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก
- B. เข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 10 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง
- C. เข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 10 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง
- D. เข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา 10 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง
- E. เข้มข้น 7 โมลาร์ เป็นเวลา 10 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง

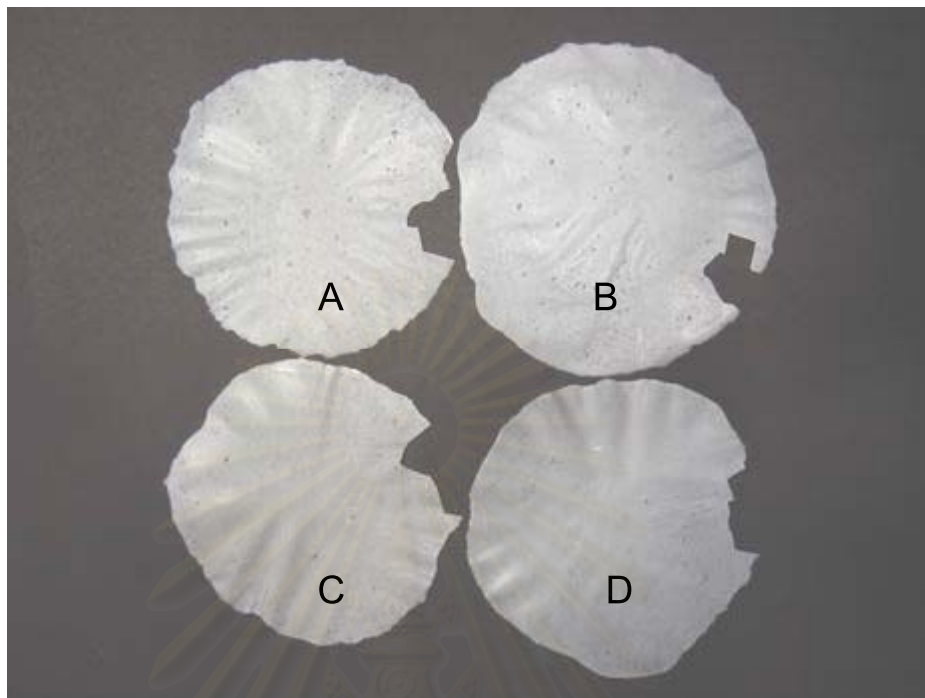
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.10 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธี
ที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

- A. เข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 2.5 เดือน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง
B. เข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา 2.5 เดือน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธี
ที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

- A. เข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 1.5 เดือน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง
- B. เข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1.5 เดือน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง
- C. เข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา 1.5 เดือน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง
- D. เข้มข้น 7 โมลาร์ เป็นเวลา 1.5 เดือน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.5.3 วิธีไฮโดรไลซ์ด้วยกรดซัลฟูริก

หลังจากการปรับสภาพวุ้นมะพร้าวด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร แล้วนำมาทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดระหว่างแผ่นพลาสติก 2 แผ่น พบว่าฟิล์มที่ได้มีความขาวมากกว่าฟิล์มที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ทุกๆความเข้มข้น



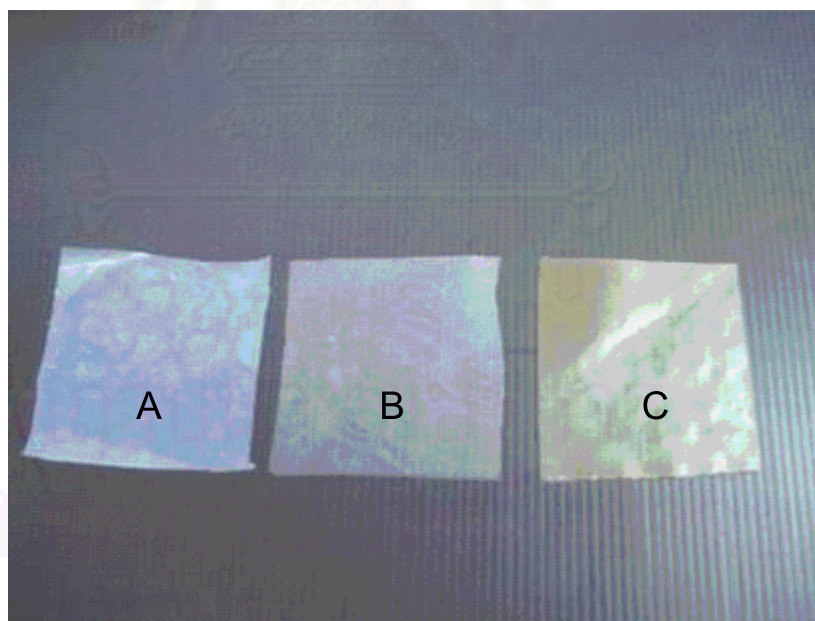
รูปที่ 5.12 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก

5.5.4 วิธีการวางบนแผ่นเรียบ

ฟิล์มที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้พบว่าจะได้ฟิล์มที่ค่อนข้างสม่ำเสมอมากกว่าฟิล์มที่ได้จากการปรับสภาพและขึ้นรูปด้วยวิธีการกดระหว่างแผ่นพลาสติก 2 แผ่น ถึงแม้ว่าจะมีปัญหาในแง่ความสม่ำเสมอในเรื่องของความหนาอยู่บ้าง แต่ไม่มีปัญหาเรื่องฟองอากาศภายในแผ่นฟิล์ม เพราะฟิล์มที่ได้ได้มาจากหุ่นมะพร้าวที่เกิดจากธรรมชาติโดยตรงโดยการสร้างของแบคทีเรีย ซึ่งคุณสมบัติของหุ่นมะพร้าวที่ได้จะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับสภาวะในการหมักซึ่งจะต้องควบคุมให้สภาวะในการหมักมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย และจะต้องคุมให้สภาวะในการหมักมีความคงที่

ความหนาของฟิล์มที่ได้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการหมักถ้าระยะเวลาในการหมักสั้นฟิล์มที่ได้ก็จะมี ความบางมากกว่าฟิล์มที่ได้จากการหมักเป็นระยะเวลา นานกว่า

สีของฟิล์มที่ได้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการหมักถ้าระยะเวลาในการหมักสั้นฟิล์มที่ได้ก็จะมี สีขาวมากกว่าฟิล์มที่ได้จากการหมักเป็นระยะเวลา นานกว่า โดยฟิล์มที่ได้จากการหมักเป็นระยะเวลา นานกว่าจะมีสีเหลืองไปจนถึงน้ำตาลอ่อน



รูปที่ 5.13 แสดงลักษณะของฟิล์มที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธีการวางบนแผ่นเรียบ

- A. ฟิล์มที่มีความหนา 0.0058 มิลลิเมตร
- B. ฟิล์มที่มีความหนา 0.0224 มิลลิเมตร
- C. ฟิล์มที่มีความหนา 0.1266 มิลลิเมตร

5.6 คุณสมบัติทางกายภาพของฟิล์ม

5.6.1 ความหนา

ความหนาของฟิล์มจากการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีการกดระหว่าง 2 แผ่นมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของวุ้นมะพร้าวที่ได้จากการปรับสภาพมีความแตกต่างกัน

จากการขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีการวางบนแผ่นเรียบให้ฟิล์มที่ได้มีความหนาแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นวุ้นมะพร้าวที่นำมาวางตากบนแผ่นเรียบ และสภาวะที่ใช้ในการควบคุมการหมักและสภาพของเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ โดยทั่วไปแล้วความหนาของฟิล์มที่ได้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการหมักถ้าระยะเวลาในการหมักสั้นฟิล์มที่ได้ก็จะมีความบางมากกว่าฟิล์มที่ได้จากการหมักเป็นระยะเวลาานานกว่า

5.6.2 โครงสร้างของฟิล์มโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นวิธีที่สะดวกและง่ายในการบอกคุณลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม อีกทั้งสามารถบอกขนาดรูพรุนที่อาจเล็กเพียง 0.005-0.01 ไมโครเมตร จากการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในการทดลองครั้งนี้พบว่าฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบจะมีลักษณะพื้นผิวของฟิล์มโดยทั่วไปเป็นเส้นใยที่สานกันอย่างละเอียด และมีความเป็นระเบียบสูง มีรูพรุนขนาดเล็กประมาณ 0.1 – 0.2 ไมโครเมตร กระจายอยู่ทั่วไปบนพื้นผิว ดังแสดงในรูป 5.14 ส่วนฟิล์มที่ได้จากวุ้นปั่นที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพจะมีลักษณะพื้นผิวของฟิล์มโดยทั่วไปเป็นเส้นใยที่ไม่เป็นระเบียบและมีช่องว่างระหว่างเส้นใยขนาดใหญ่กว่าและมีความชัดเจนของความไม่เป็นระเบียบของเส้นใยชั้นบนสุดมากกว่าวุ้นที่ผ่านการปรับสภาพ ดังแสดงในรูปที่ 5.20 , 5.23 , 5.37 และ 5.38 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากฟิล์มที่ได้มาจากวุ้นปั่นที่มีขนาดอนุภาคที่ไม่สม่ำเสมอเมื่อนำมาทำการขึ้นรูปจึงได้ฟิล์มที่ไม่สม่ำเสมอ และมีเส้นใยด้านนอกที่ไม่เป็นระเบียบเนื่องจากแรงปั่นจากเครื่องปั่น จึงเห็นพื้นผิวที่มีเส้นใยที่ไม่สม่ำเสมอ กระจัดกระจาย และไม่เป็นพื้นผิวเดียวกัน

ฟิล์มที่ได้จากวุ้นปั่นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยทั่วไปจะมีลักษณะพื้นผิวฟิล์มที่มีการเรียงตัวของเส้นใยดูเป็นระเบียบมากกว่าวุ้นที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ แต่ก็มีลักษณะที่เป็นการรวมกันทั้งส่วนที่เป็นระเบียบและไม่เป็นระเบียบ และจะเห็นได้ว่าฟิล์มที่ได้จากวุ้นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรด 1 โมลาร์ แต่ใช้อัตราส่วนของวุ้นมะพร้าวต่อกรดเป็น 1 ต่อ 4 โดย

น้ำหนักต่อปริมาตร ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 120 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 5.17 และ 5.18 หรือวุ้นที่ทำการย่อยสลายด้วยกรด 1 โมลาร์ โดยใช้อัตราส่วนของวุ้นมะพร้าวต่อกรดเป็น 1 ต่อ 1 และทำการให้ความร้อนขณะทำการปรับสภาพที่ 68 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการปรับสภาพเพียง 7.5 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 5.30 หรือวุ้นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดเข้มข้น 1 โมลาร์ แต่ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนาน 1.5 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) ดังแสดงในรูปที่ 5.45 จะมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่มีความละเอียดและมีความเป็นระเบียบมาก ดังนั้นปัจจัยหลักของการย่อยสลายวุ้นมะพร้าว คือ ความเข้มข้นและปริมาณของกรดที่ใช้, อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ทั้งนี้เนื่องจากอัตราส่วนของกรดต่อวุ้นมีค่ามากทำให้มีปริมาณกรดมากพอที่จะทำการย่อยสลายอนุภาคของวุ้นได้อย่างเพียงพอ ทำให้อนุภาคของวุ้นที่ได้มีความสม่ำเสมอ และการให้ความร้อนนั้นจะไปเพิ่มความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยกรด ทำให้อนุภาควุ้นที่ได้มีขนาดเล็กลงและมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ส่วนระยะเวลาในการย่อยสลายก็มีความสำคัญเช่นกัน เพราะเมื่อใช้เวลาในการย่อยสลายนานอนุภาคของวุ้นที่ได้ก็จะมีขนาดเล็กลงและสม่ำเสมอ ดังนั้นเมื่อนำวุ้นที่ผ่านการปรับสภาพแล้วมาทำการขึ้นรูปก็จะได้ฟิล์มที่มีความสม่ำเสมอและมีเส้นใยที่เกาะตัวกันอย่างเป็นระเบียบ

ฟิล์มที่ได้จากวุ้นปั่นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดเข้มข้น 3 โมลาร์ โดยทั่วไปจะมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบและบางส่วนก็เห็นเส้นใยที่ไม่เป็นระเบียบได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 5.33, 5.40, 5.38 และ 5.46

ฟิล์มที่ได้จากวุ้นปั่นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดเข้มข้น 5 โมลาร์ โดยทั่วไปจะมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากกว่าและมีเส้นใยที่ไม่เป็นระเบียบน้อยกว่าฟิล์มที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดเข้มข้น 3 โมลาร์ ดังแสดงในรูปที่ 5.15, 5.41, 5.44 และ 5.47

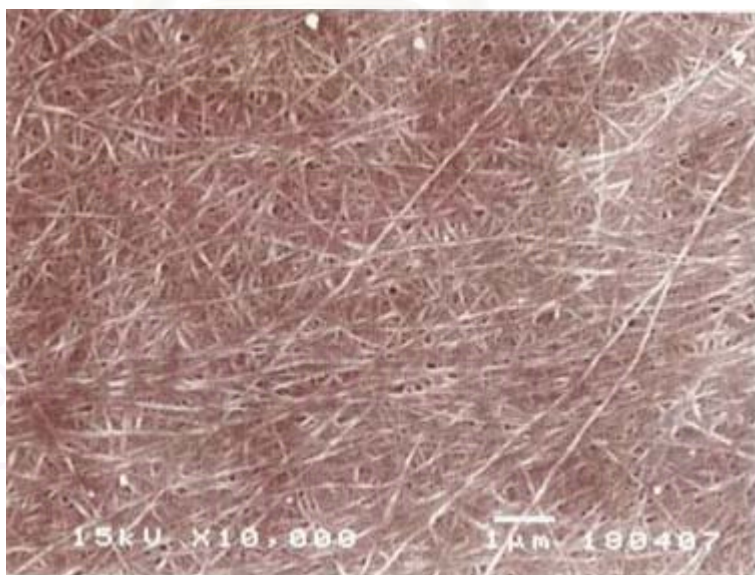
ฟิล์มที่ได้จากวุ้นปั่นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดเข้มข้น 7 โมลาร์ โดยทั่วไปจะมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบและมีพื้นผิวค่อนข้างเรียบมากกว่าฟิล์มที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรด 1, 3 และ 5 โมลาร์

วุ้นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แล้วทำการปรับสภาพด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าพื้นผิวมีการเรียงตัวของเส้นใยชั้นบนที่ไม่เป็นระเบียบ แต่การเรียงตัวของผิวชั้นถัดไปค่อนข้างแน่นและเป็นระเบียบ ดังแสดงในรูปที่ 5.21 และ 5.22 หลังจากทำการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่าฟิล์มที่ได้มีพื้นผิวที่มีเส้นใยเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบและมีรูพรุนขนาดเล็กประมาณ 0.1 -0.3 ไมโครเมตร กระจายอยู่บนผิวดังแสดงในรูปที่ 5.23 และ 5.24

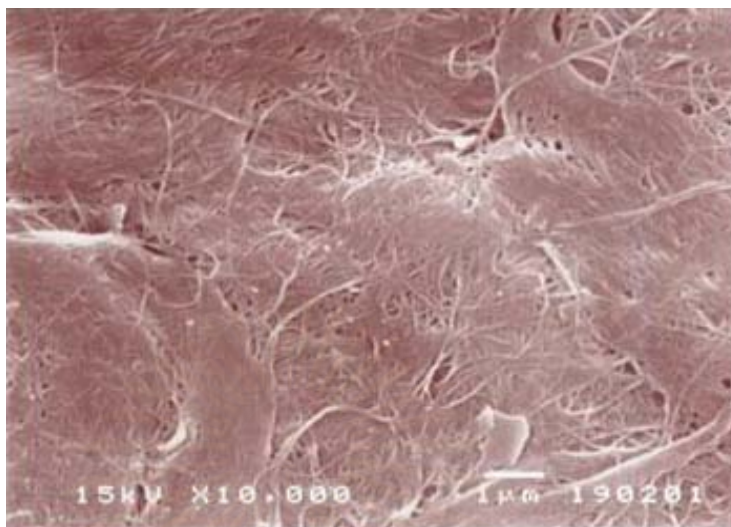
วุ้นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แล้วทำการปรับสภาพด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าพื้นผิวมีการเรียงตัวของเส้นใยชั้นบนที่ไม่เป็นระเบียบแต่น้อยกว่าพื้นผิวของฟิล์มที่ปรับสภาพด้วยด้วยไฮเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แต่การเรียงตัวของผิวชั้นถัดไปค่อนข้างแน่นและเป็นระเบียบ ดังแสดงในรูปที่ 5.25 และ 5.26 หลังจากทำการปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่าฟิล์มที่ได้มีพื้นผิวที่มีเส้นใยเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบและไม่มีรูพรุนอยู่บนผิวดังแสดงในรูปที่ 5.27 และ 5.28 ในรูป 5.27 จะเห็นว่าพื้นผิวมีสองลักษณะคือ พื้นผิวเรียบและพื้นผิวที่ดูนูนขึ้นมา ซึ่งตรงพื้นผิวส่วนที่นูนขึ้นมานั้นมีลักษณะเป็นผลึกซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นผลึกของไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลืออยู่



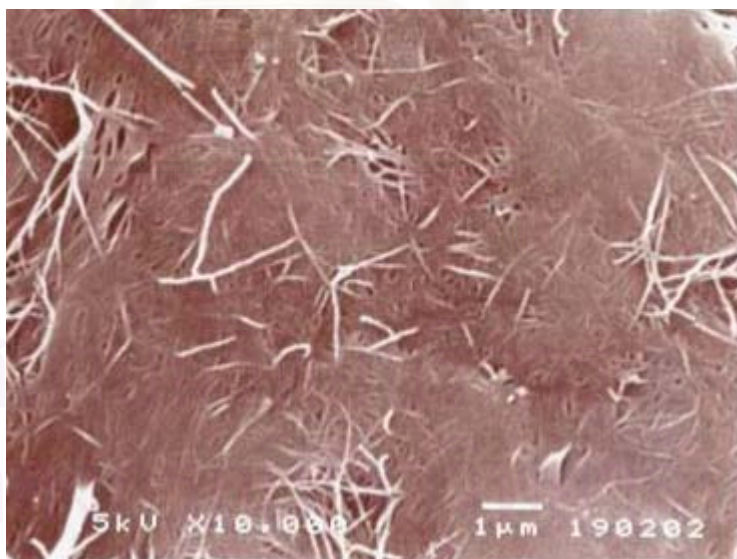
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



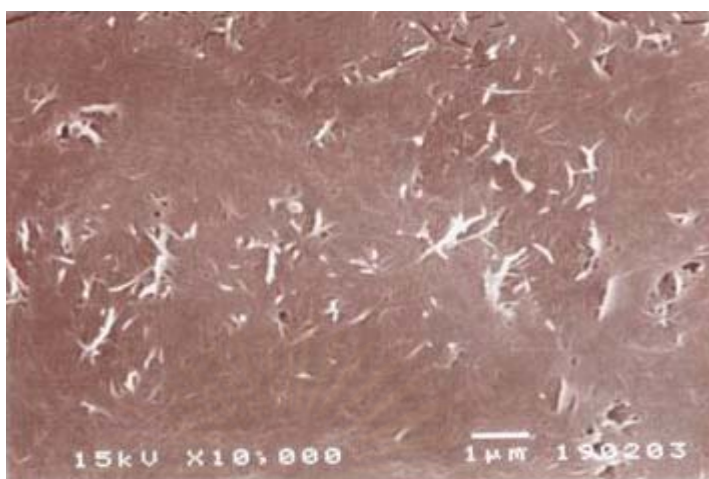
รูปที่ 5.14 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการตากบนแผ่นเรียบ (ไม่ได้ทำการปั่นและปรับสภาพ)



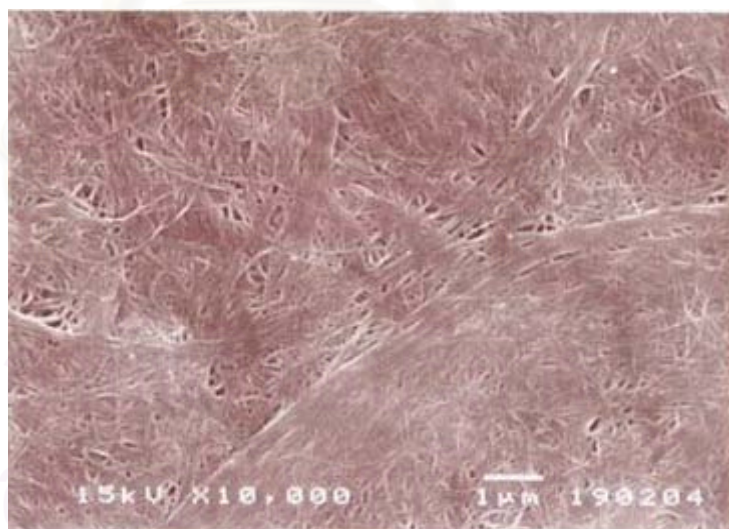
รูปที่ 5.15 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางด้วยกลั่นกรองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



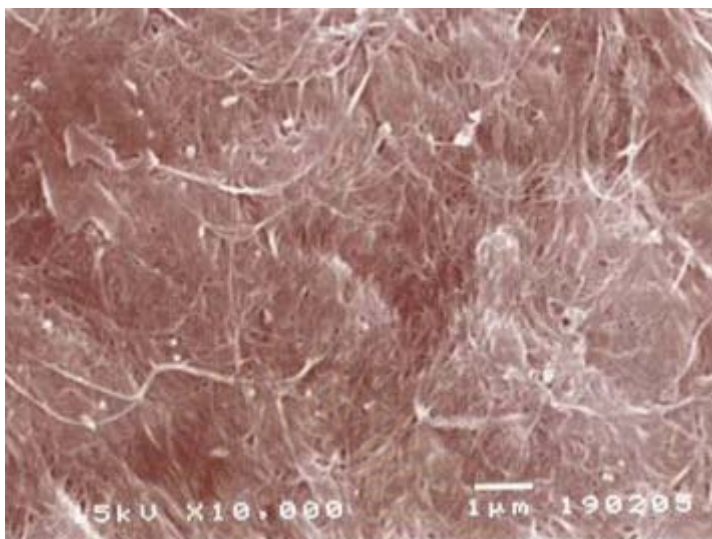
รูปที่ 5.16 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางด้วยกลั่นกรองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



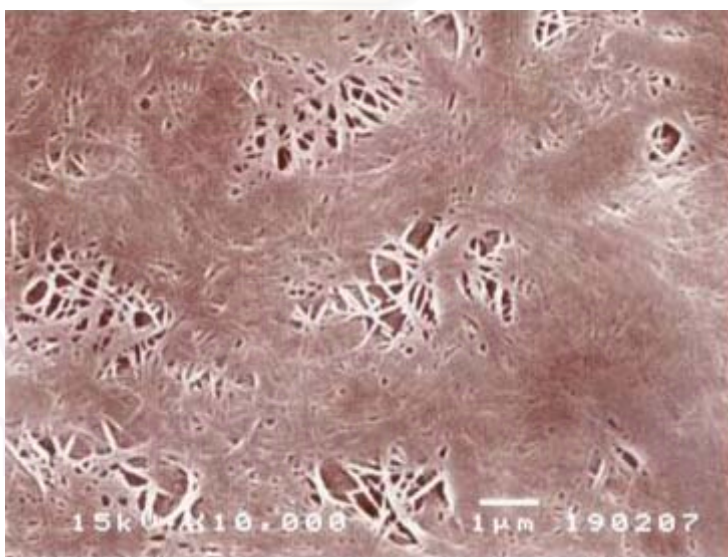
รูปที่ 5.17 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วย น้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่อัตราส่วนของวุ้นมะพร้าวต่อกรดเป็น 1 ต่อ 4 เป็นเวลา 120 ชั่วโมง แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกรด ด้วยกลั่นกรองจลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 5.18 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วย น้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่อัตราส่วนของวุ้นมะพร้าวต่อกรดเป็น 1 ต่อ 4 เป็นเวลา 120 ชั่วโมง แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง ด้วยกลั่นกรองจลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบ ส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



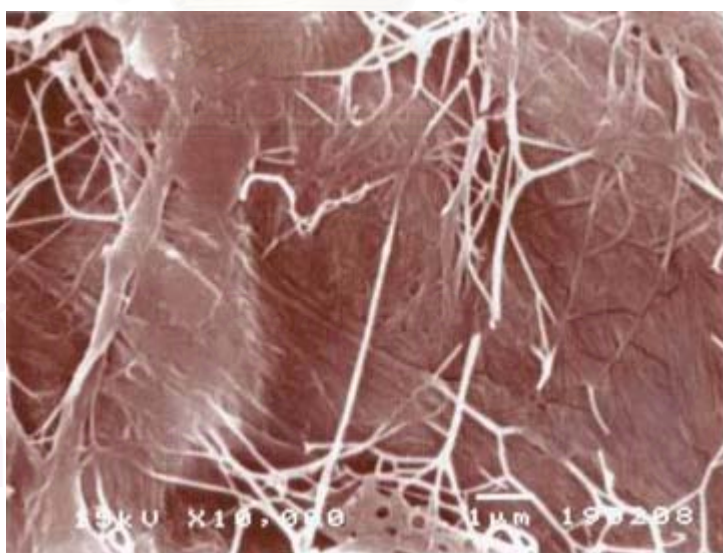
รูปที่ 5.19 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 50 ชั่วโมง แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางด้วยกลั่นกรองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



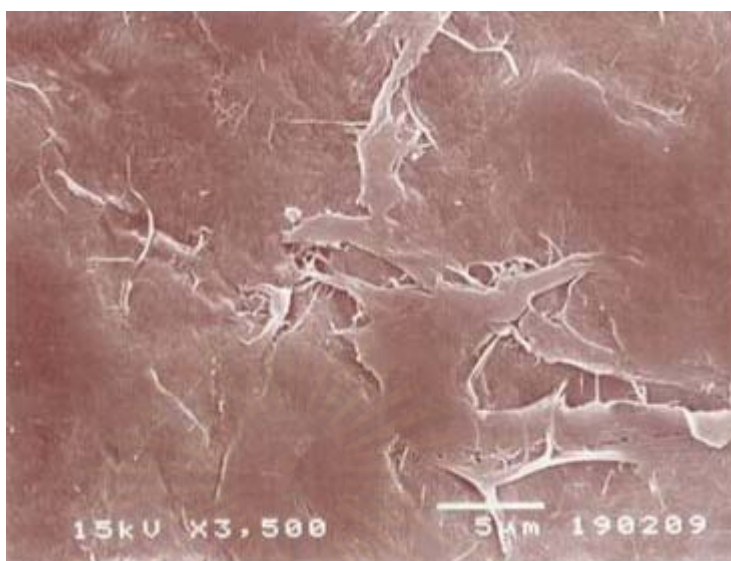
รูปที่ 5.20 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 และไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยกลั่นกรองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



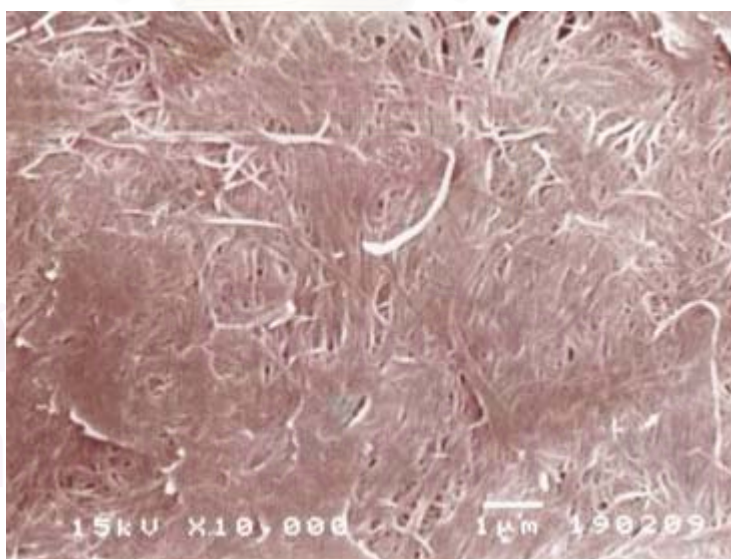
รูปที่ 5.21 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ และ คาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า



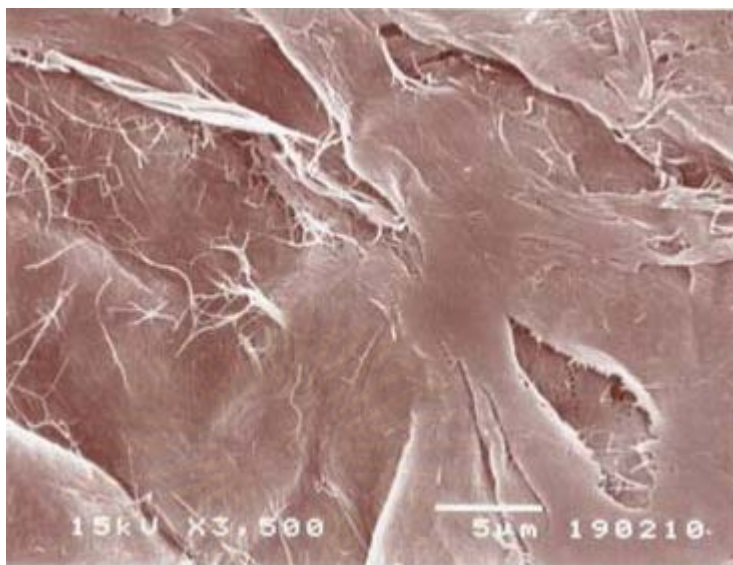
รูปที่ 5.22 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ และ คาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



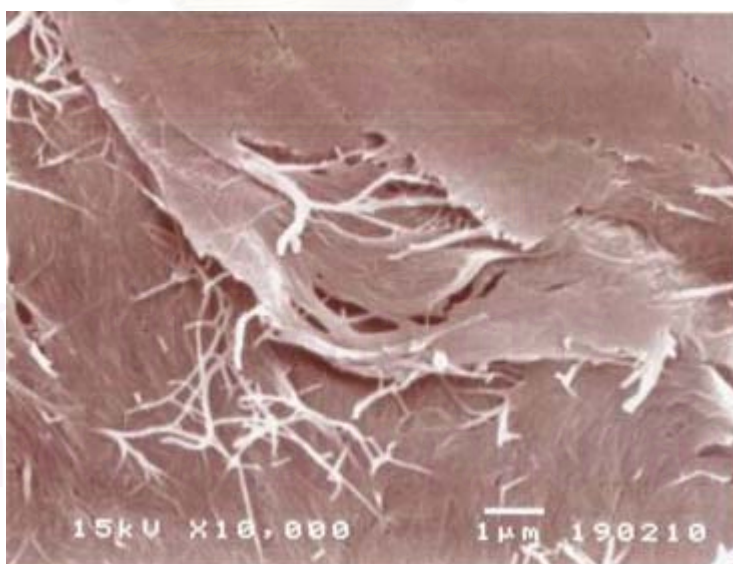
รูปที่ 5.23 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์ตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอนไดออกไซด์ และสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า



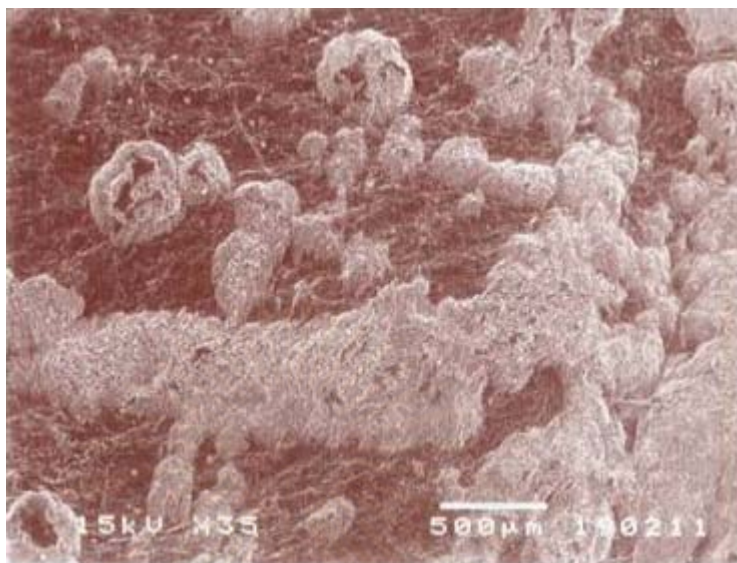
รูปที่ 5.24 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์ตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอนไดออกไซด์ และสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



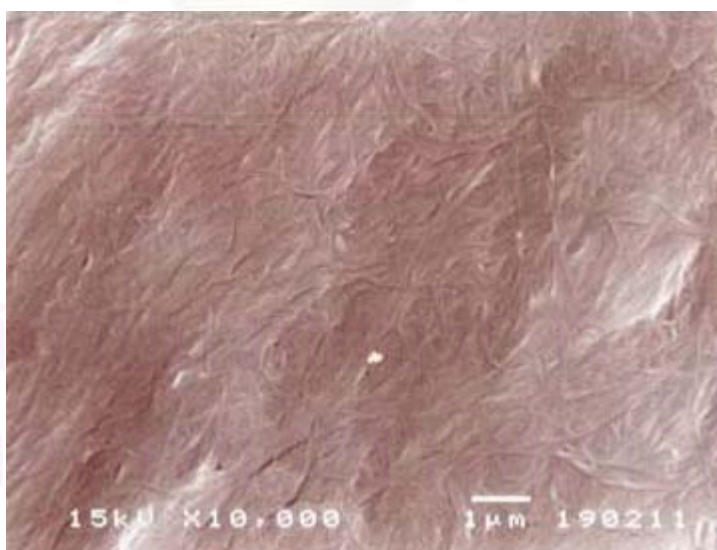
รูปที่ 5.25 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ และ คาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า



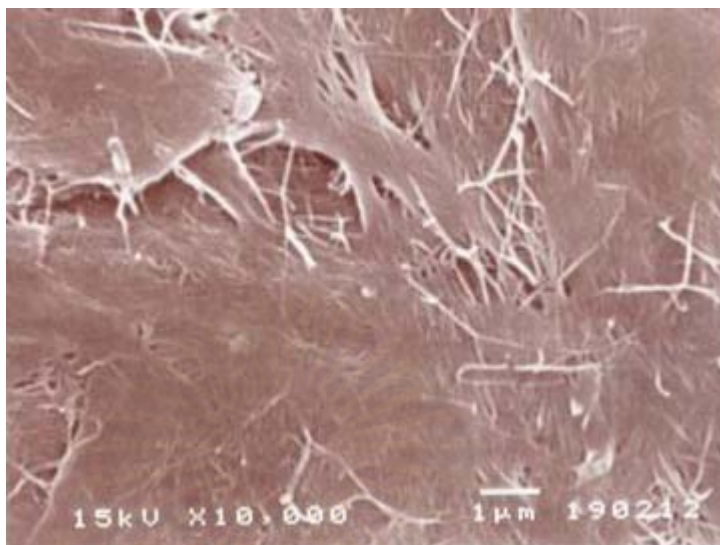
รูปที่ 5.26 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ และ คาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



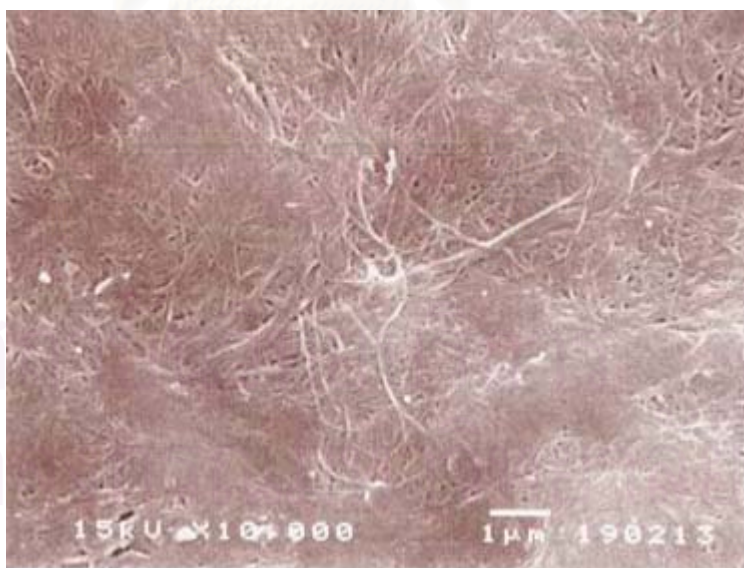
รูปที่ 5.27 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์ตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอนไดออกไซด์ และสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 35 เท่า



รูปที่ 5.28 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์ตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ และคาร์บอนไดออกไซด์ และสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 5.29 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามวิธีที่ 4.3.2.2 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 8 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางด้วยกลั่นกรองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 5.30 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์ตามวิธีที่ 4.3.2.2 แล้วปรับสภาพด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ (ให้ความร้อนที่ 68 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7.5 ชั่วโมง) แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางด้วยกลั่นกรองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



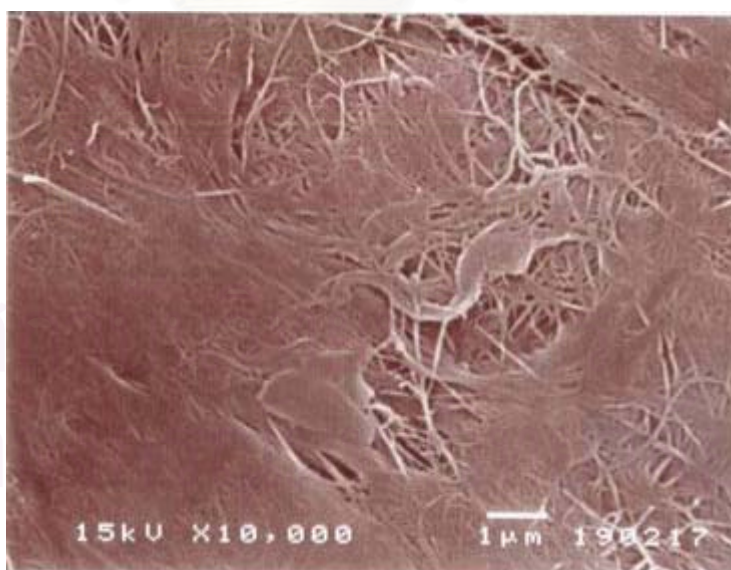
รูปที่ 5.31 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการต้มตามวิธีที่ 4.3.2.3 และไม่ผ่านการปรับสภาพ ด้วยกลั่นกรองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 5.32 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการต้มตามวิธีที่ 4.3.2.3 แล้วปรับสภาพด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 9 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง ด้วยกลั่นกรองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 5.33 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการต้มตามวิธีที่ 4.3.2.3 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 9 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง ด้วยกลั่นกรองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



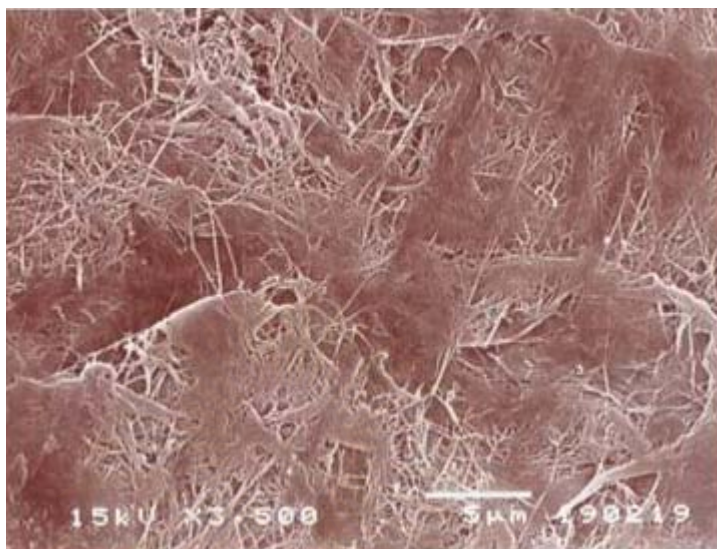
รูปที่ 5.34 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์ตามวิธีที่ 4.3.2.3 แล้วปรับสภาพด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 15 วัน (ให้ความร้อนที่ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง) แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง ด้วยกลั่นกรองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ กำลังขยาย 10,000 เท่า



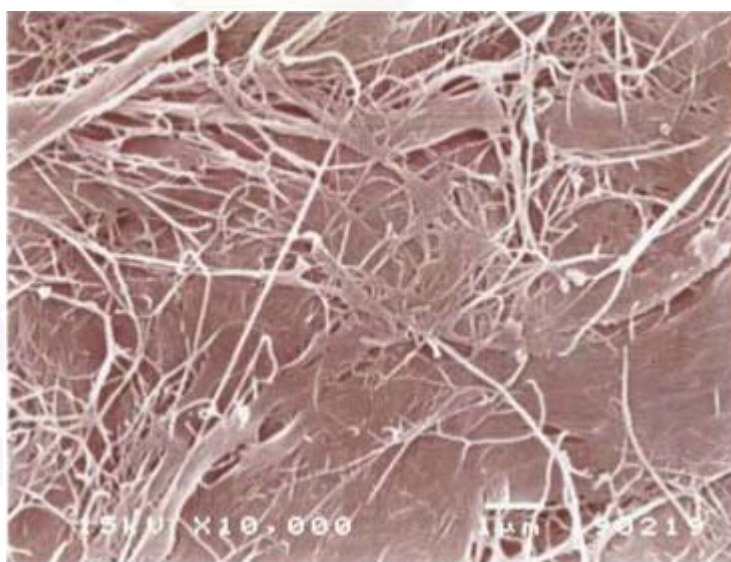
รูปที่ 5.35 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการต้มตามวิธีที่ 4.3.2.3 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์เป็นเวลา 15 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง ด้วยกลั่นกรองด้วยจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า



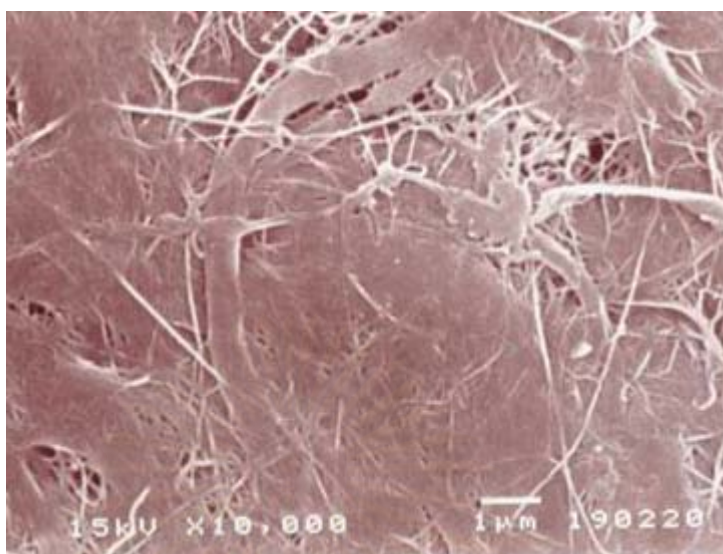
รูปที่ 5.36 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการต้มตามวิธีที่ 4.3.2.3 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์เป็นเวลา 15 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง ด้วยกลั่นกรองด้วยจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



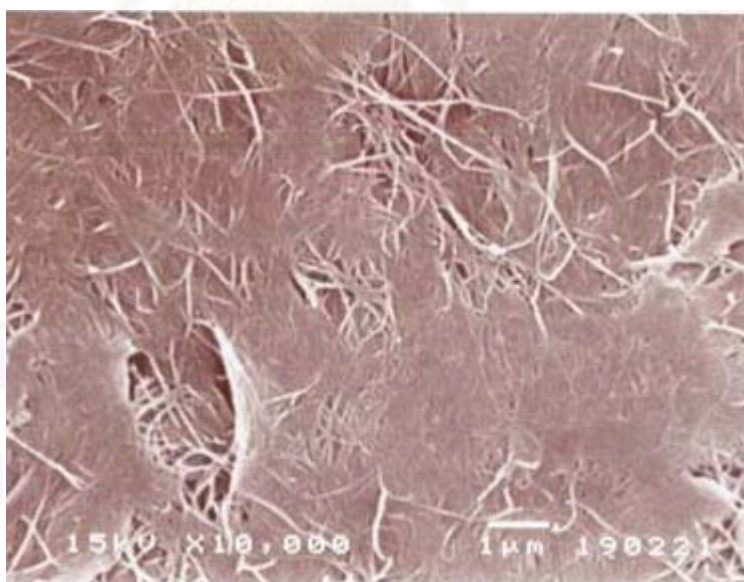
รูปที่ 5.37 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 และไม่ผ่านการปรับสภาพ ด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 3,500 เท่า



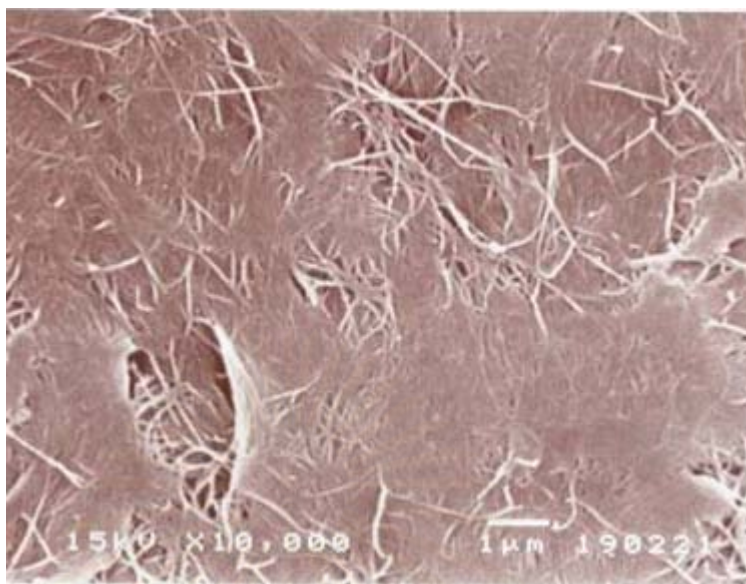
รูปที่ 5.38 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 และไม่ผ่านการปรับสภาพ ด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



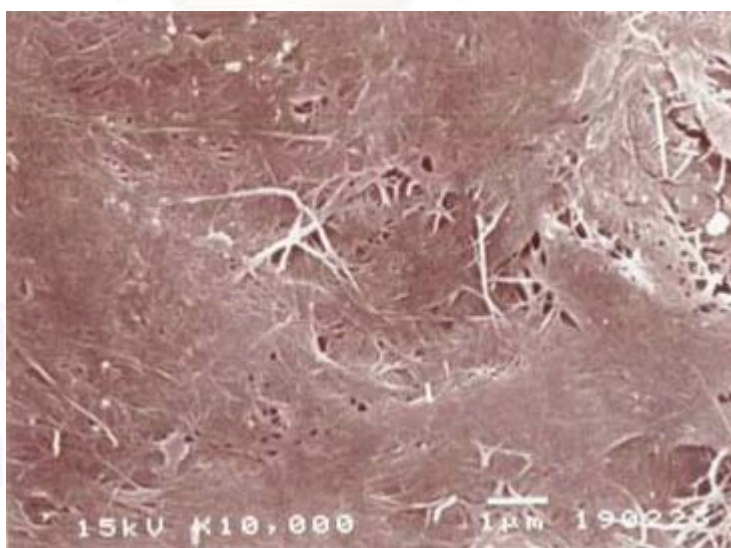
รูปที่ 5.39 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 10 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางด้วยกลั่นกรองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



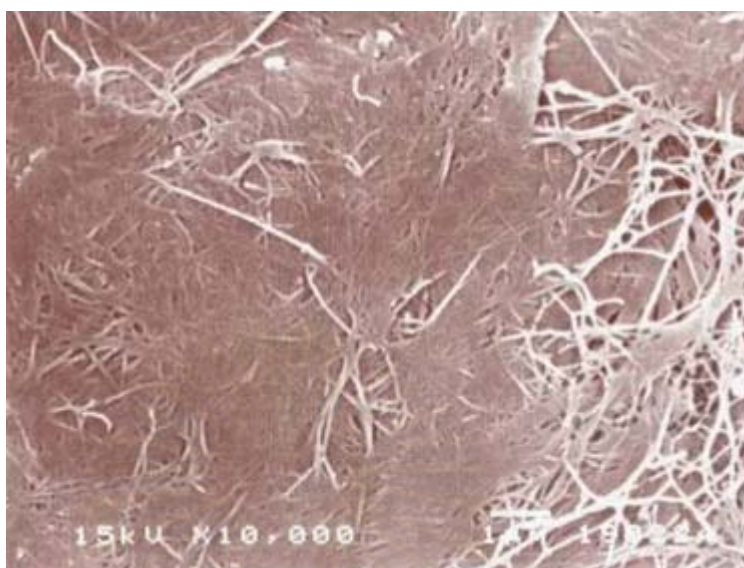
รูปที่ 5.40 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 10 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางด้วยกลั่นกรองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 5.41 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา 10 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางด้วยกลั่นกรองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



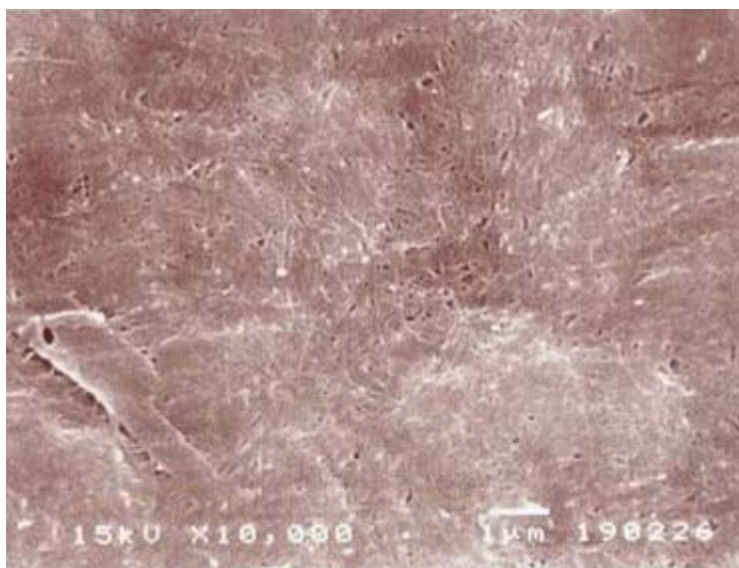
รูปที่ 5.42 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยการล้างด้วยน้ำกลั่นตามวิธีที่ 4.3.2.1 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 7 โมลาร์ เป็นเวลา 10 วัน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางด้วยกลั่นกรองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 5.43 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการต้มตามวิธีที่ 4.3.2.3 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 2.5 เดือน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 5.44 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการต้มตามวิธีที่ 4.3.2.3 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา 2.5 เดือน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 5.45 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการต้มตามวิธีที่ 4.3.2.3 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 1.5 เดือน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 5.46 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการต้มตามวิธีที่ 4.3.2.3 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลาร์ เป็นเวลา 1.5 เดือน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางด้วยกล้องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 5.47 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการต้มตามวิธีที่ 4.3.2.3 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 โมลาร์ เป็นเวลา 1.5 เดือน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางด้วยกลั่นกลั่นจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า



รูปที่ 5.48 ภาพพื้นผิวของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการต้มตามวิธีที่ 4.3.2.3 แล้วปรับสภาพด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 7 โมลาร์ เป็นเวลา 1.5 เดือน แล้วปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างเป็นกลางด้วยกลั่นกลั่นจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

5.6.3 รูปพรุน

จากการใช้เครื่อง BET เพื่อหาขนาดรูพรุนของฟิล์ม พบว่าฟิล์มที่ได้มี

- พื้นที่ผิวเท่ากับ 12.62 ตารางเมตรต่อกรัม
 - เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย (4V/A โดย BET) เท่ากับ 224 อังสตรอม
- ลักษณะการกระจายของขนาดรูพรุนแสดงในภาคผนวก ก.

5.6.4 ความต้านทานแรงดึง (tensile strength)

ผลจากการวัดความต้านทานแรงดึงของฟิล์มที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยการวางบนแผ่นเรียบ และฟิล์มที่ได้จากการผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1, 3, 5 และ 7 โมลาร์ พบว่า

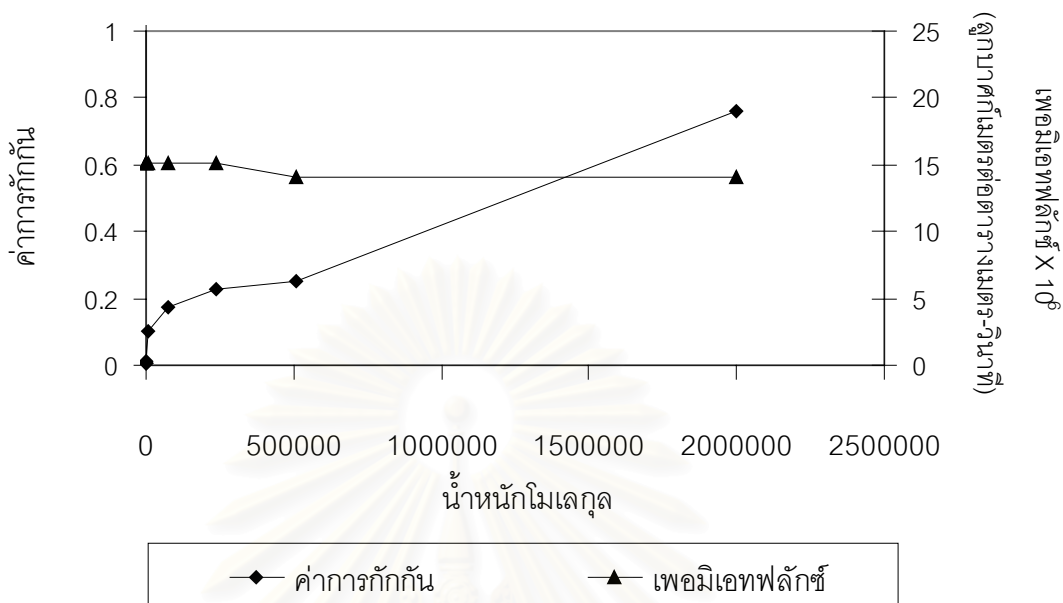
- ฟิล์มที่ตากบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0034 มิลลิเมตร ไม่สามารถวัดความต้านทานแรงดึงได้เนื่องจากจะขาดก่อนนำไปเข้าเครื่องทดลอง
- ฟิล์มที่ตากบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0402 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 4245.07 นิวตันต่อเมตร
- ฟิล์มที่ตากบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.1212 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 5208.97 นิวตันต่อเมตร
- ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0660 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 2990.75 นิวตันต่อเมตร
- ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลาร์ที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0636 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 1466.80 นิวตันต่อเมตร
- ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 โมลาร์ที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0700 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 1935.78 นิวตันต่อเมตร
- ฟิล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 7 โมลาร์ที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0564 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 2507.40 นิวตันต่อเมตร

จากผลการทดลองพบว่าฟิล์มที่ได้จากวุ้นแผ่นที่ตากบนแผ่นเรียบจะมีความต้านทานแรงดึงสูงขึ้นเมื่อมีความหนาเพิ่มขึ้น ส่วนฟิล์มที่ได้จากวุ้นปั่นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์มีความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด ตามด้วยวุ้นปั่นที่มีการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 7, 5 และ 3 โมลาร์ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวุ้นปั่นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ดังรูปที่ 5.45 จะเห็นว่ามีความสม่ำเสมอของการจัดเรียงตัวที่ค่อนข้างสูง ซึ่งอาจเป็นผลจากเส้นใยส่วนใหญ่ยังไม่ถูกย่อยสลายพันธะแบบในกรณีใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นสูง 3-7 โมลาร์ แม้ว่าลักษณะสายเส้นใยและขนาดช่องว่างจะสูงกว่ากรณีที่ใช้กรดที่มีความเข้มข้นสูง แต่การยึดของเส้นใยด้วยพันธะเดิมที่ค่อนข้างสมบูรณ์กว่า ทำให้มีความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด ส่วนวุ้นปั่นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 7 โมลาร์นั้นกรดที่ใช้มีความเข้มข้นสูงสามารถย่อยสลายอนุภาควุ้นได้อย่างสมบูรณ์ทำให้อนุภาควุ้นที่ได้มีความสม่ำเสมอเมื่อนำมาทำการขึ้นรูปจึงได้ฟิล์มที่มีความสม่ำเสมอ มีช่องว่างระหว่างเส้นใยขนาดเล็ก เห็นได้จากรูปที่ 5.48 ทำให้มีความต้านทานแรงดึงสูง วุ้นปั่นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 โมลาร์ มีความต้านทานแรงดึงสูงเป็นอันดับที่สาม ทั้งนี้เห็นได้จากรูปที่ 5.47 พบว่าฟิล์มที่ได้มีพื้นผิวที่มีทั้งส่วนที่เรียบสม่ำเสมอและส่วนที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ จึงทำให้มันมีความต้านทานแรงดึงต่ำกว่าวุ้นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 7 โมลาร์ วุ้นปั่นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลาร์ มีความต้านทานแรงดึงสูงเป็นอันดับสุดท้าย ทั้งนี้เห็นได้จากรูปที่ 5.46 พบว่าฟิล์มที่ได้มีพื้นผิวที่มีทั้งส่วนที่เรียบสม่ำเสมอเล็กน้อยกว่าฟิล์มอื่นๆและมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ไม่เป็นระเบียบ จึงทำให้ฟิล์มมีความต้านทานแรงดึงต่ำกว่าฟิล์มอื่นๆ

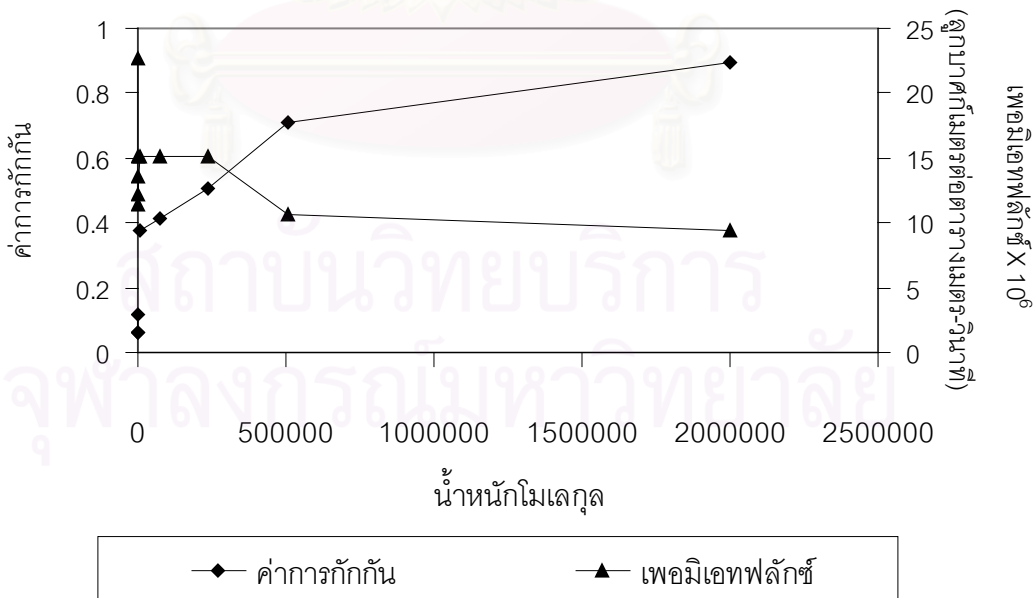
เมื่อทำการเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงของวุ้นแผ่นที่ขึ้นรูปโดยวางบนแผ่นเรียบกับวุ้นปั่นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดพบว่าฟิล์มที่ได้จากวุ้นแผ่นที่วางบนแผ่นเรียบมีความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยสูงกว่าวุ้นปั่นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกทุกๆความเข้มข้นถึงแม้ว่าฟิล์มที่ได้จากวุ้นแผ่นที่ตากบนแผ่นเรียบจะมีความหนาต่ำกว่าก็ตาม เนื่องมาจากฟิล์มที่ได้จากวุ้นแผ่นที่ตากบนแผ่นเรียบนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการผลิตเซลล์ูโลสของแบคทีเรีย ซึ่งเป็นวิธีทางธรรมชาติ ทำให้ฟิล์มที่ได้มีการจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอและสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 5.14 ทำให้มีความต้านทานแรงดึงสูง

5.7 ผลของการทดสอบคุณสมบัติทางการแยกสารของเยื่อแผ่น

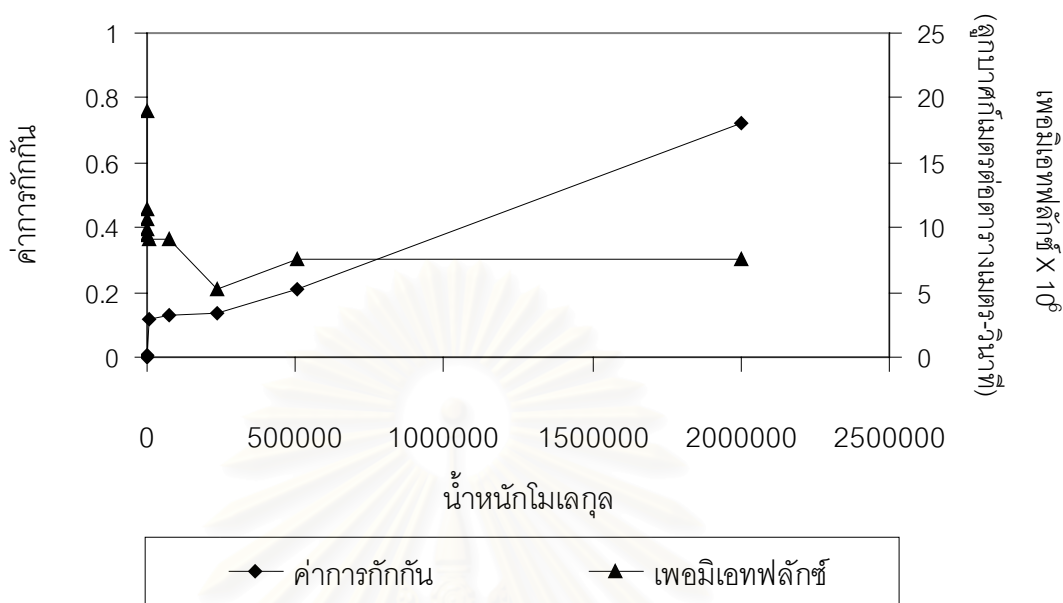
เพื่อทำการศึกษาคู่คุณสมบัติทางการแยกสาร ทำการทดลองโดยกำหนดให้ความเร็วของสายป้อนมีค่าคงที่ที่ 3 ลิตรต่อวินาที และความดันอยู่ในช่วง 8-10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยจะทำการทดลองกรองแยกสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน คือ โซเดียมคลอไรด์, แคลเซียมคลอไรด์, กลูโคส, ซูโครส ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เด็กแทรน(1), เด็กแทรน(2), เด็กแทรน(3), เด็กแทรน(4) ที่ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และบลูเด็กแทรน ที่ความเข้มข้น 0.003 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อทดสอบคุณสมบัติการกักกันตัวถูกละลายที่มีขนาดโมเลกุลต่างๆ ของเยื่อแผ่น ซึ่งจากการทดลองพบว่าเยื่อแผ่นสามารถกักกันตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุดได้น้อยที่สุด และสามารถกักกันตัวถูกละลายได้มากขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลายมากขึ้น ส่วนค่าเพอเมอทิวิตีมีค่าลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลายมากขึ้น ทั้งแบบที่เป็นฟิล์มที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยวิธีการวางบนแผ่นเรียบดังแสดงในรูปที่ 5.49 – 5.64 และแบบที่ผ่านการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 และ 3 โมลาร์ แล้วขึ้นรูปด้วยวิธีการกดระหว่างแผ่นพลาสติก 2 แผ่น ดังแสดงในรูปที่ 5.65 และ 5.66



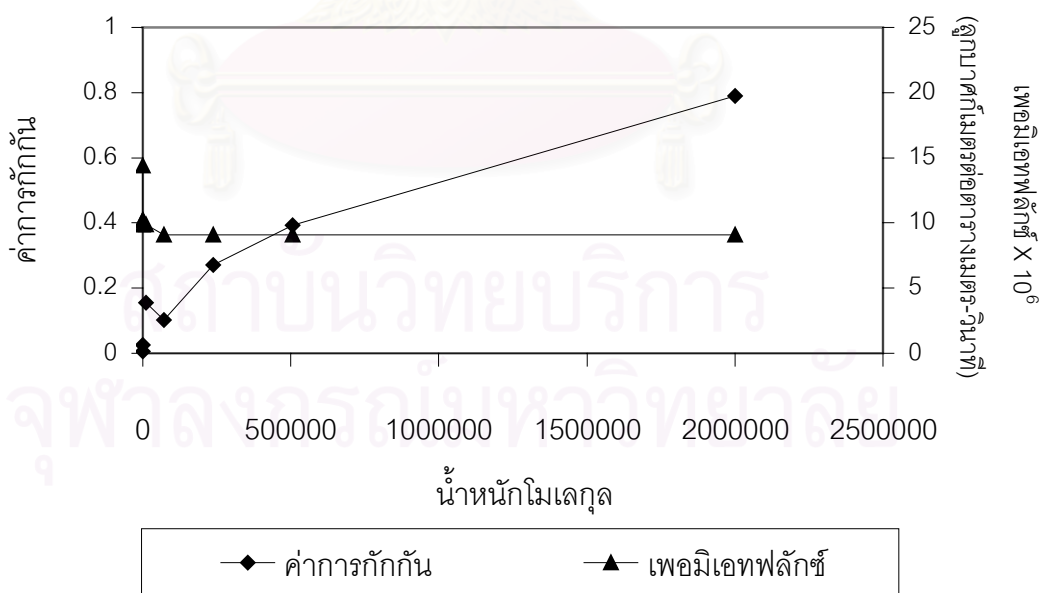
รูปที่ 5.49 แสดงค่าการกักกันและเพอมีเอทฟลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน ของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0048 มิลลิเมตร



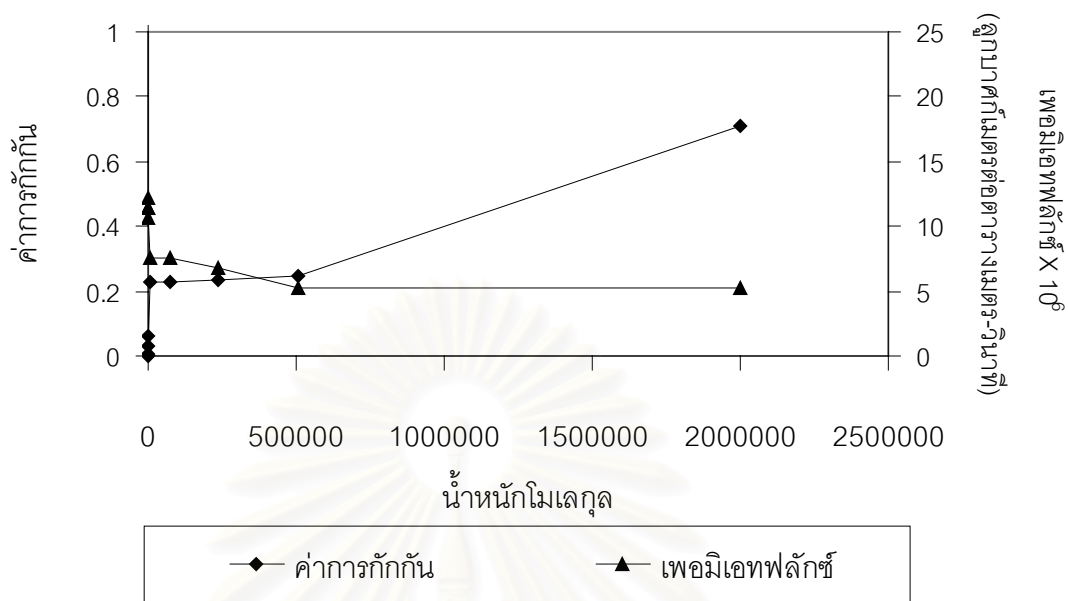
รูปที่ 5.50 แสดงค่าการกักกันและเพอมีเอทฟลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน ของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0056 มิลลิเมตร



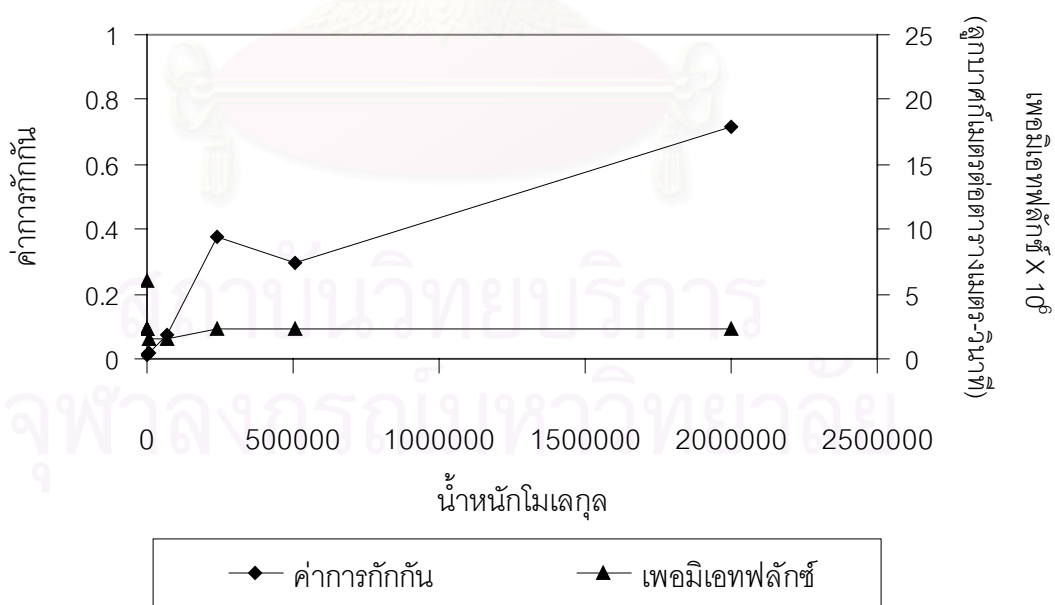
รูปที่ 5.51 แสดงค่าการกักกันและเพอมีเอทพลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน ของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0076 มิลลิเมตร



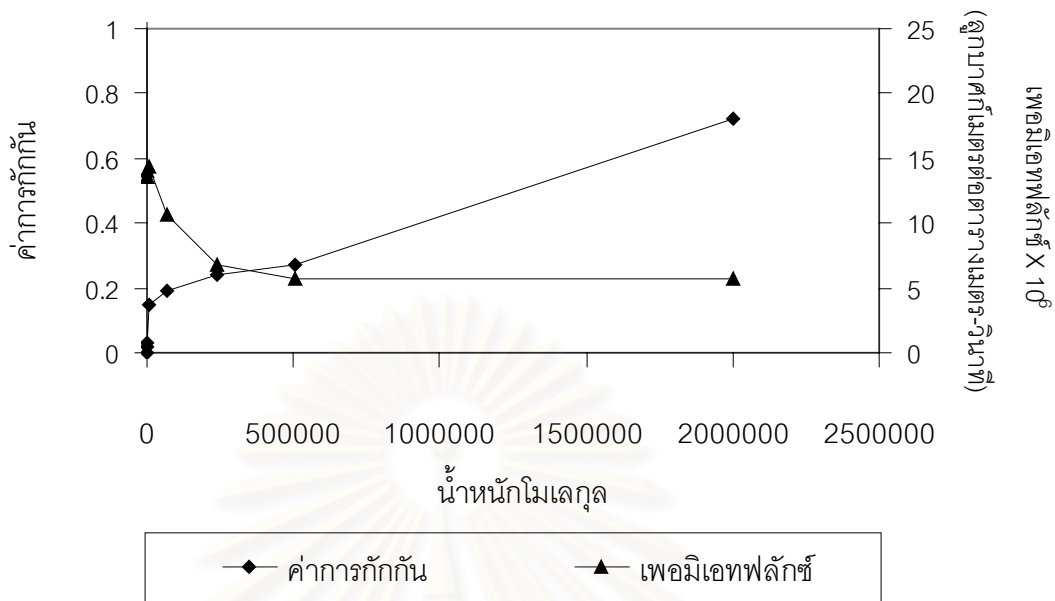
รูปที่ 5.52 แสดงค่าการกักกันและเพอมีเอทพลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน ของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0082 มิลลิเมตร



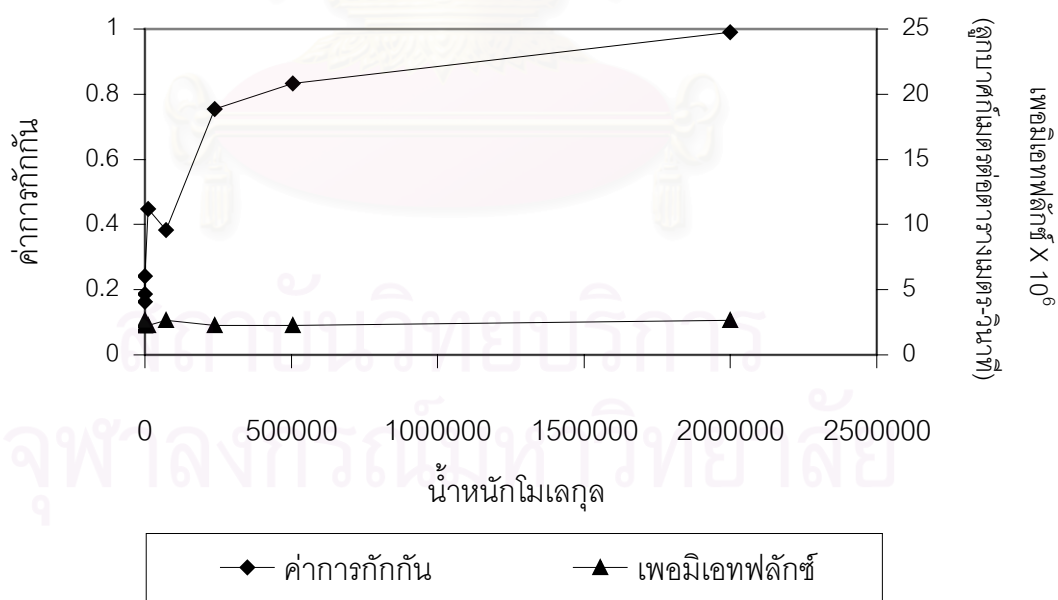
รูปที่ 5.53 แสดงค่าการกักกันและเพอมีเอทฟลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน ของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.009 มิลลิเมตร



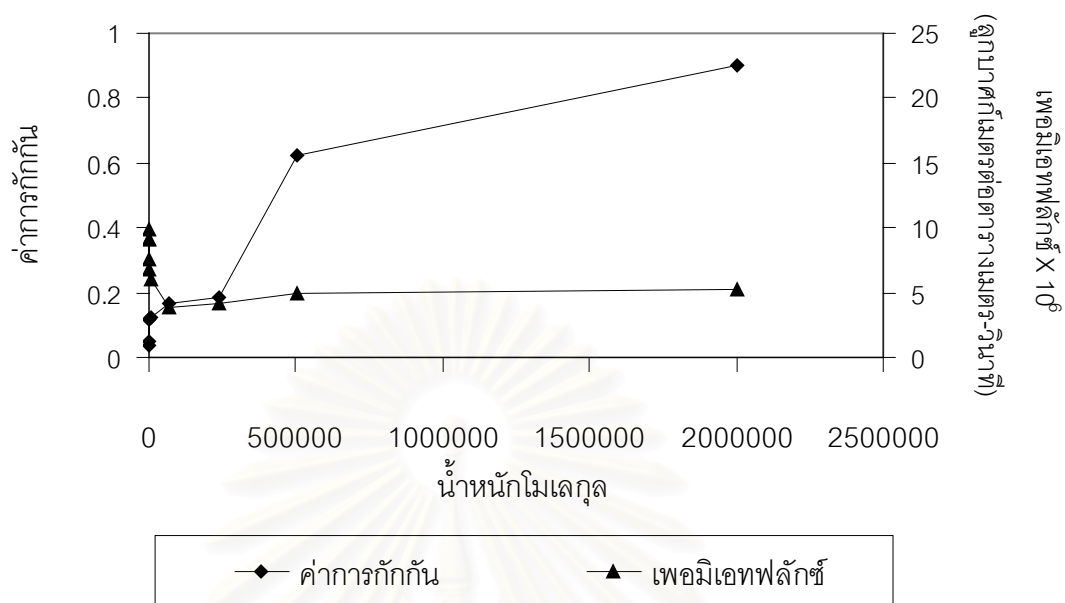
รูปที่ 5.54 แสดงค่าการกักกันและเพอมีเอทฟลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน ของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0102 มิลลิเมตร



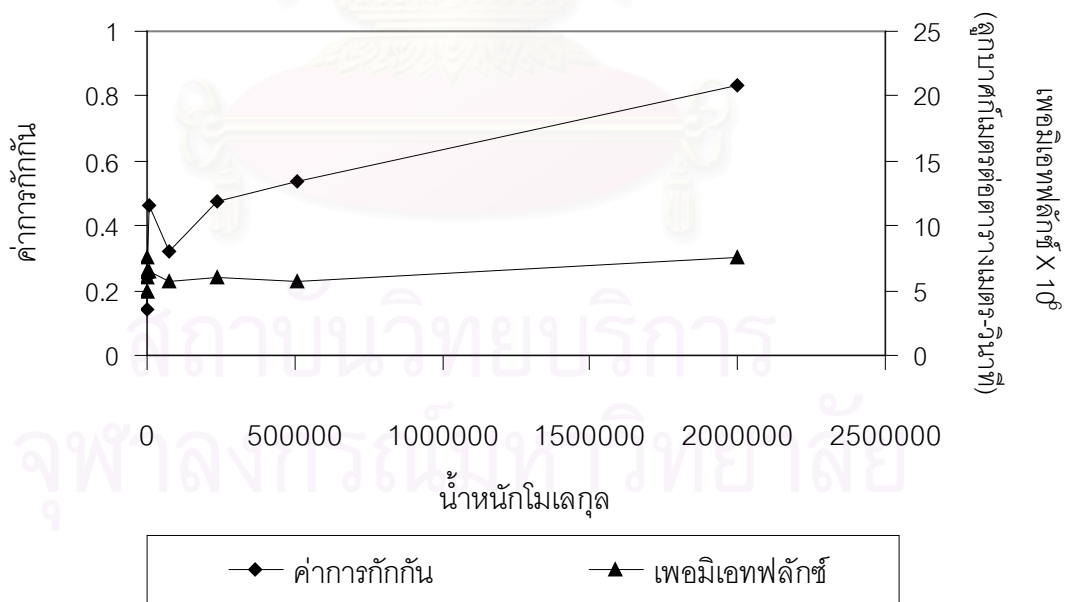
รูปที่ 5.55 แสดงค่าการกักกันและเพอมีเอทพอลิเอทของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกันของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0110 มิลลิเมตร



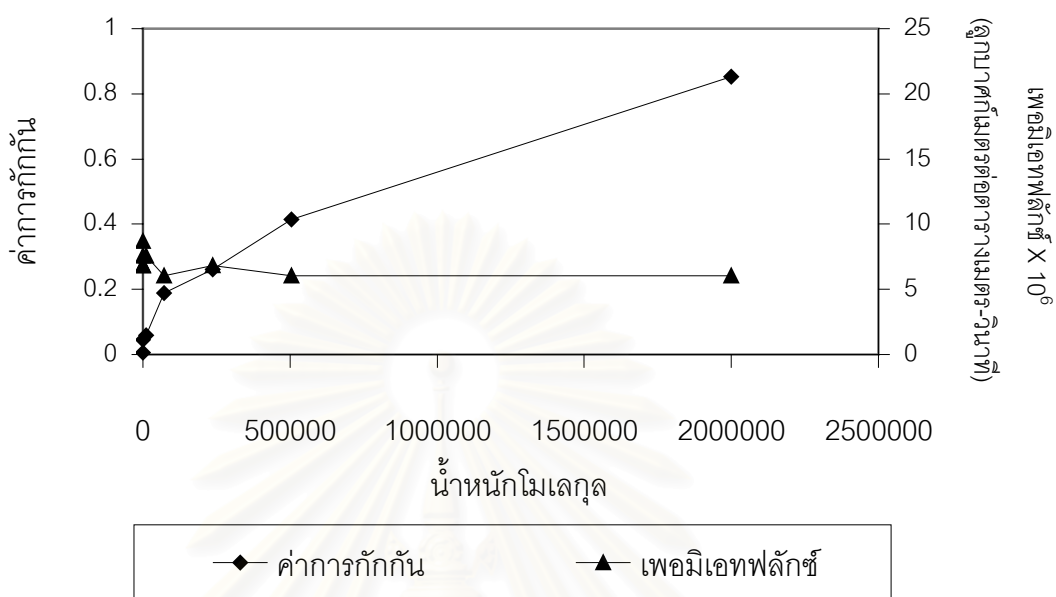
รูปที่ 5.56 แสดงค่าการกักกันและเพอมีเอทพอลิเอทของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกันของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0120 มิลลิเมตร



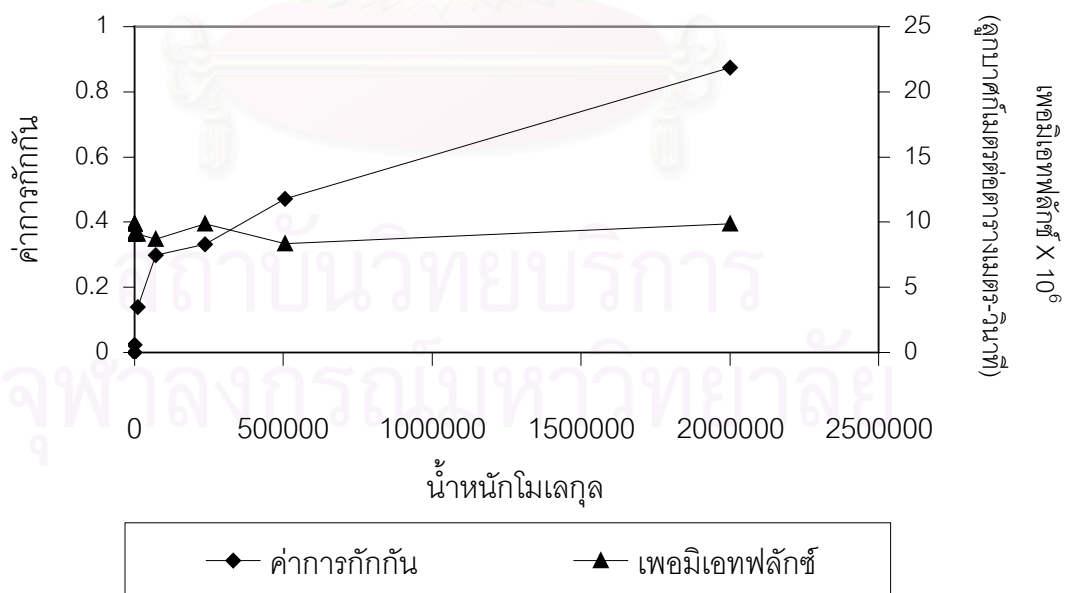
รูปที่ 5.57 แสดงค่าการกักกันและเพอมีเอทฟลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน ของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0122 มิลลิเมตร



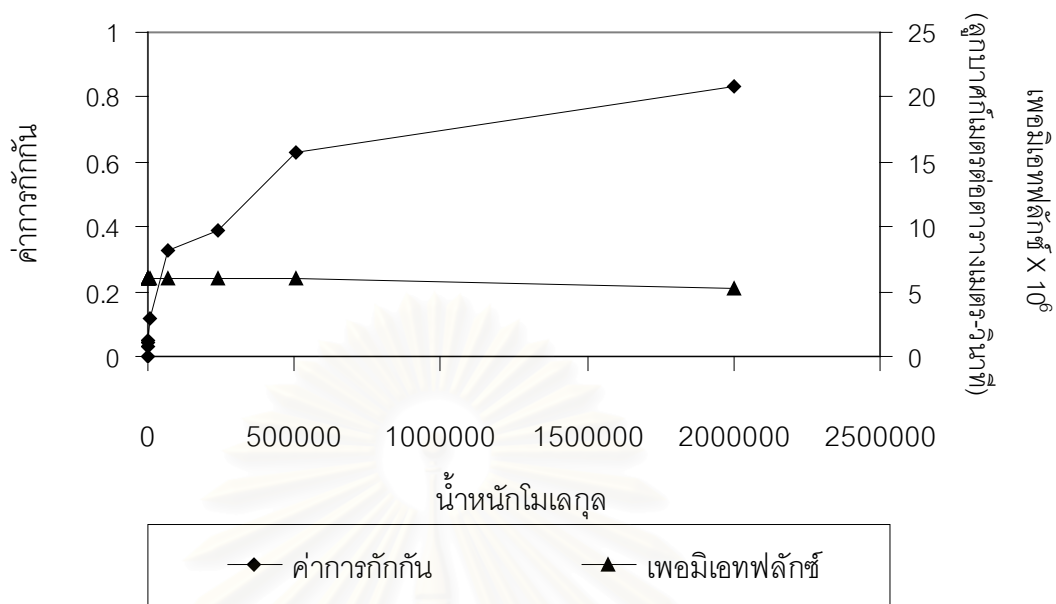
รูปที่ 5.58 แสดงค่าการกักกันและเพอมีเอทฟลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน ของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0148 มิลลิเมตร



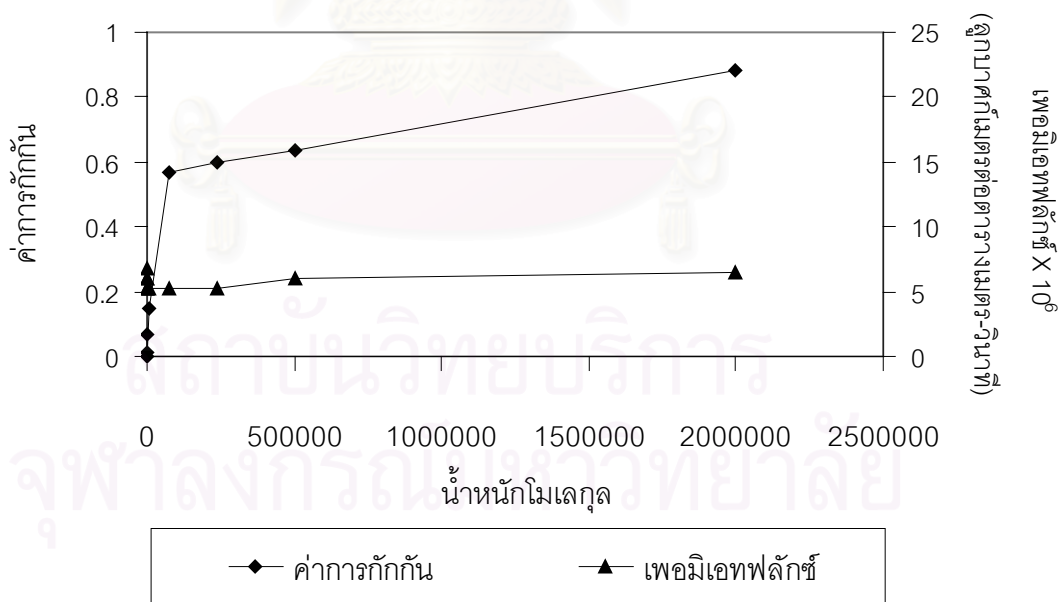
รูปที่ 5.59 แสดงค่าการกักกันและเพอมิเททฟลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกันของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.023 มิลลิเมตร



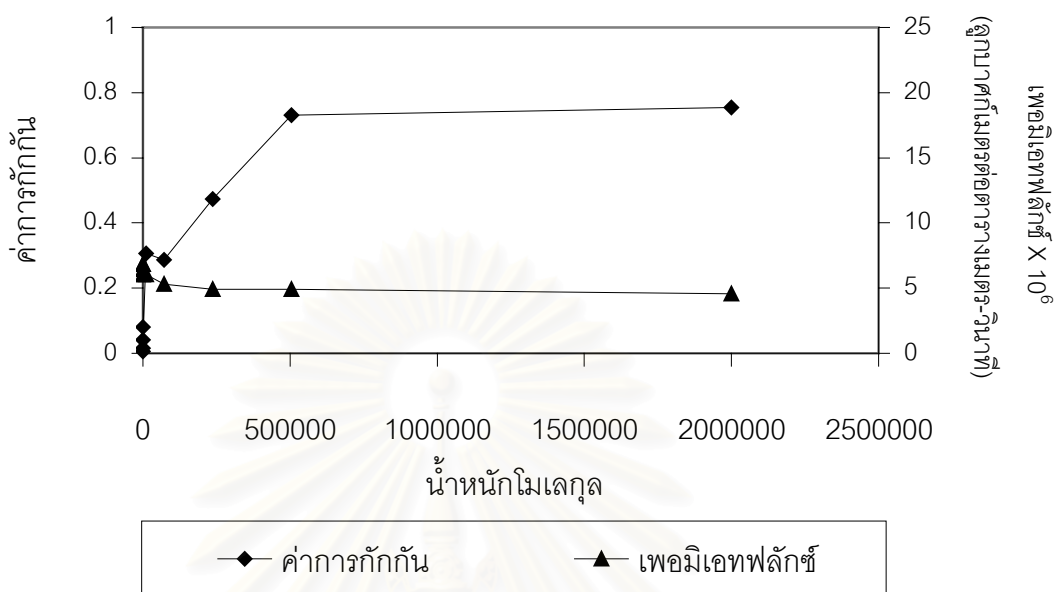
รูปที่ 5.60 แสดงค่าการกักกันและเพอมิเททฟลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกันของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0252 มิลลิเมตร



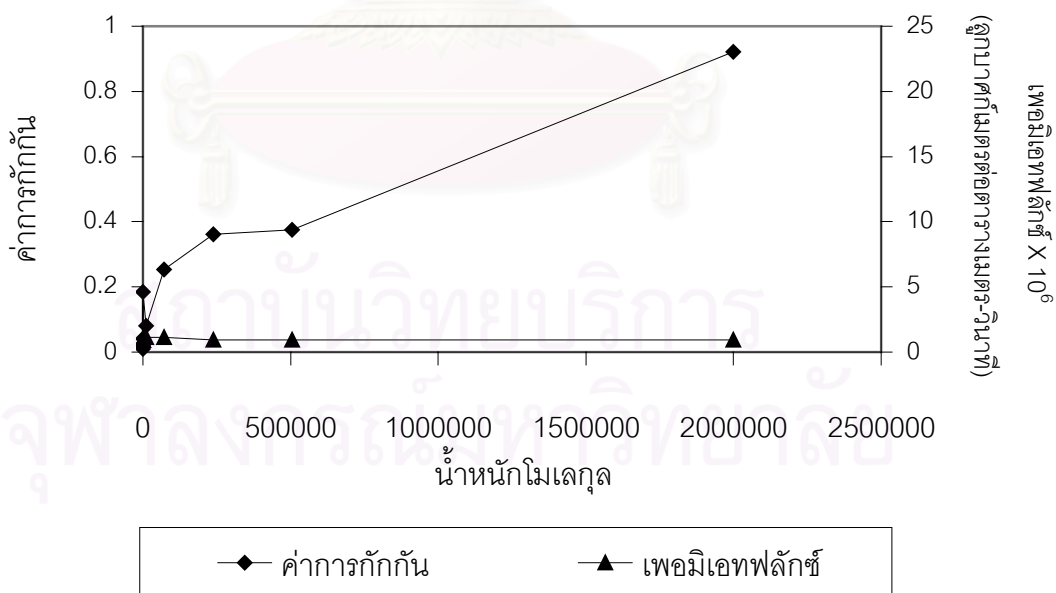
รูปที่ 5.61 แสดงค่าการกักกันและเพอมีเอทฟลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน ของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0274 มิลลิเมตร



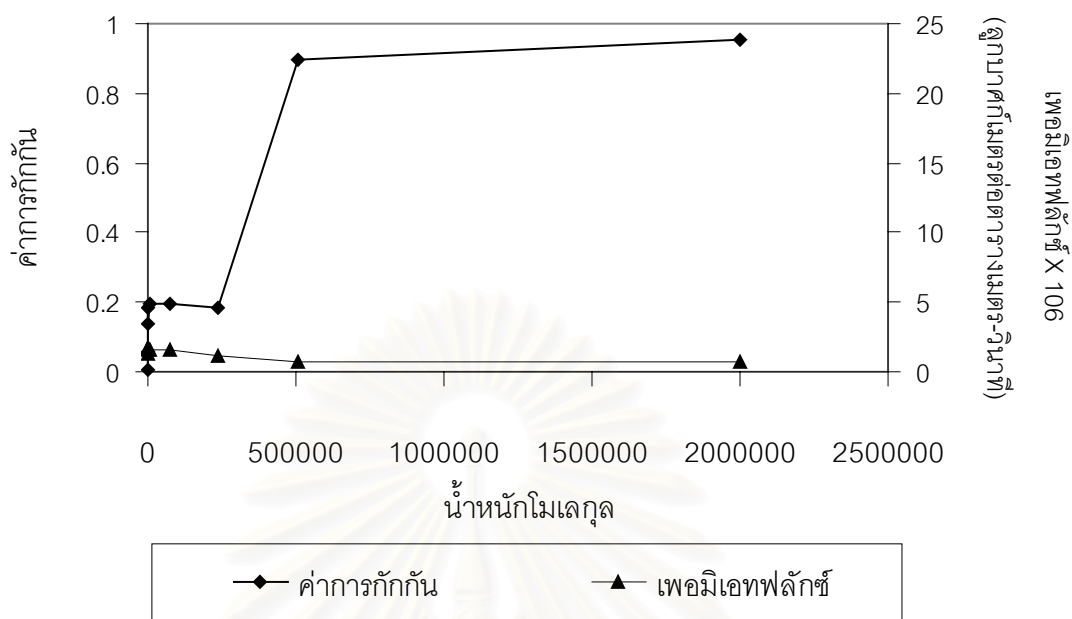
รูปที่ 5.62 แสดงค่าการกักกันและเพอมีเอทฟลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน ของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0314 มิลลิเมตร



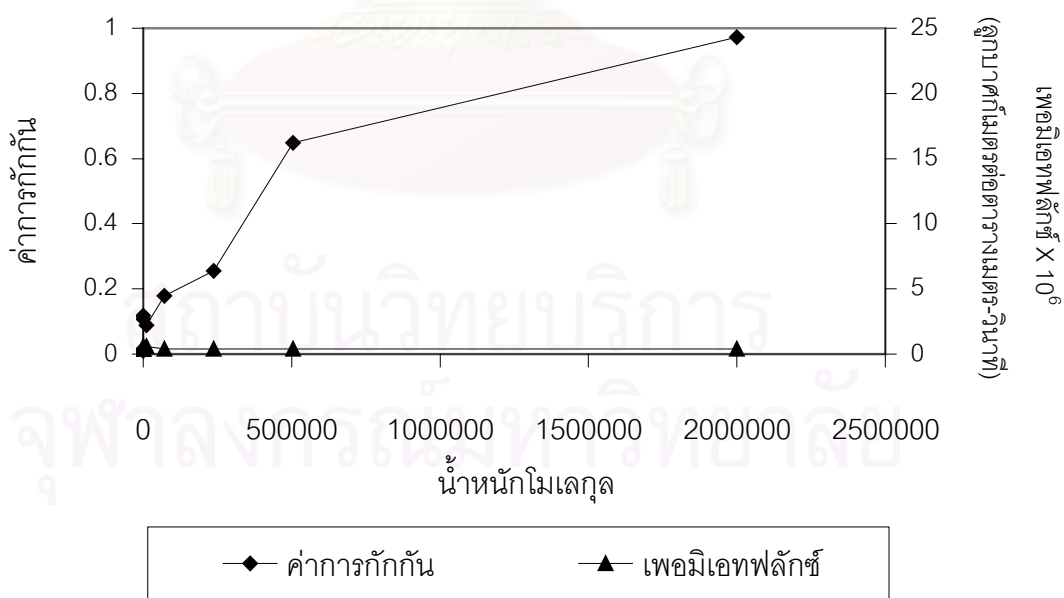
รูปที่ 5.63 แสดงค่าการกักกันและเพอมีเอทฟลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน ของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0402 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.64 แสดงค่าการกักกันและเพอมีเอทฟลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน ของฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.1212 มิลลิเมตร

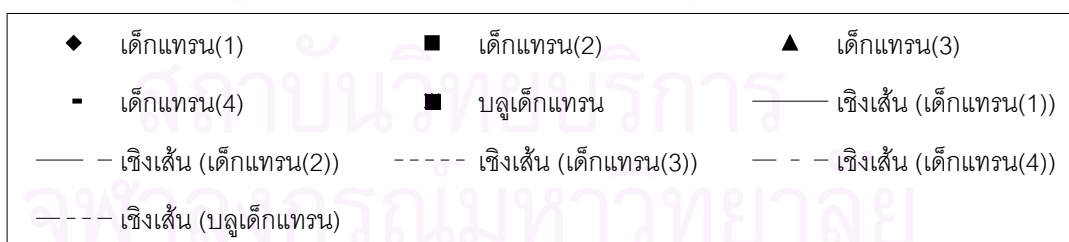
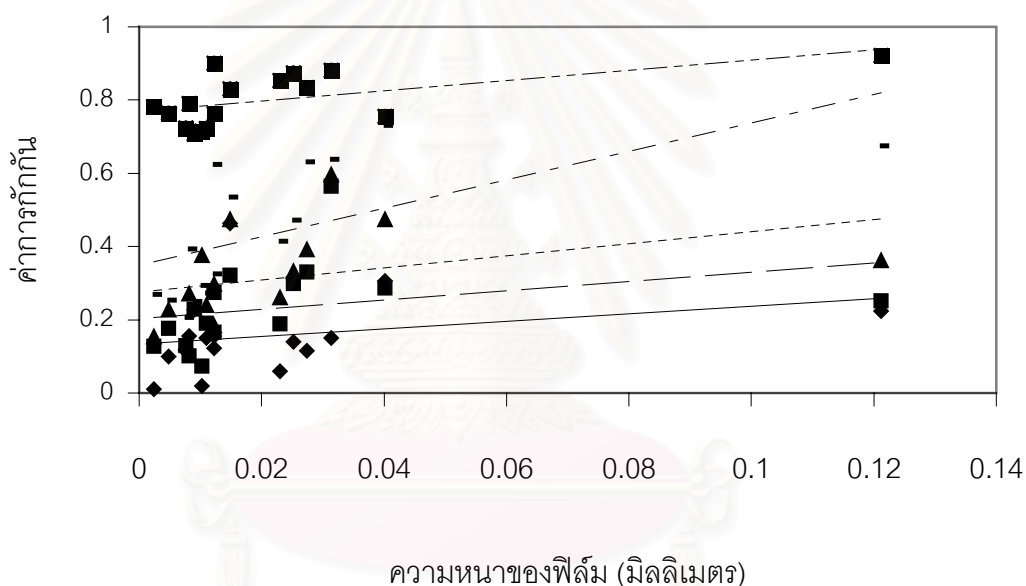


รูปที่ 5.65 แสดงค่าการกักกันและเพอมีเอทพลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน ของฟิล์มที่ผ่านการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 1 โมลาร์ และมีความหนาเฉลี่ย 0.0594 มิลลิเมตร



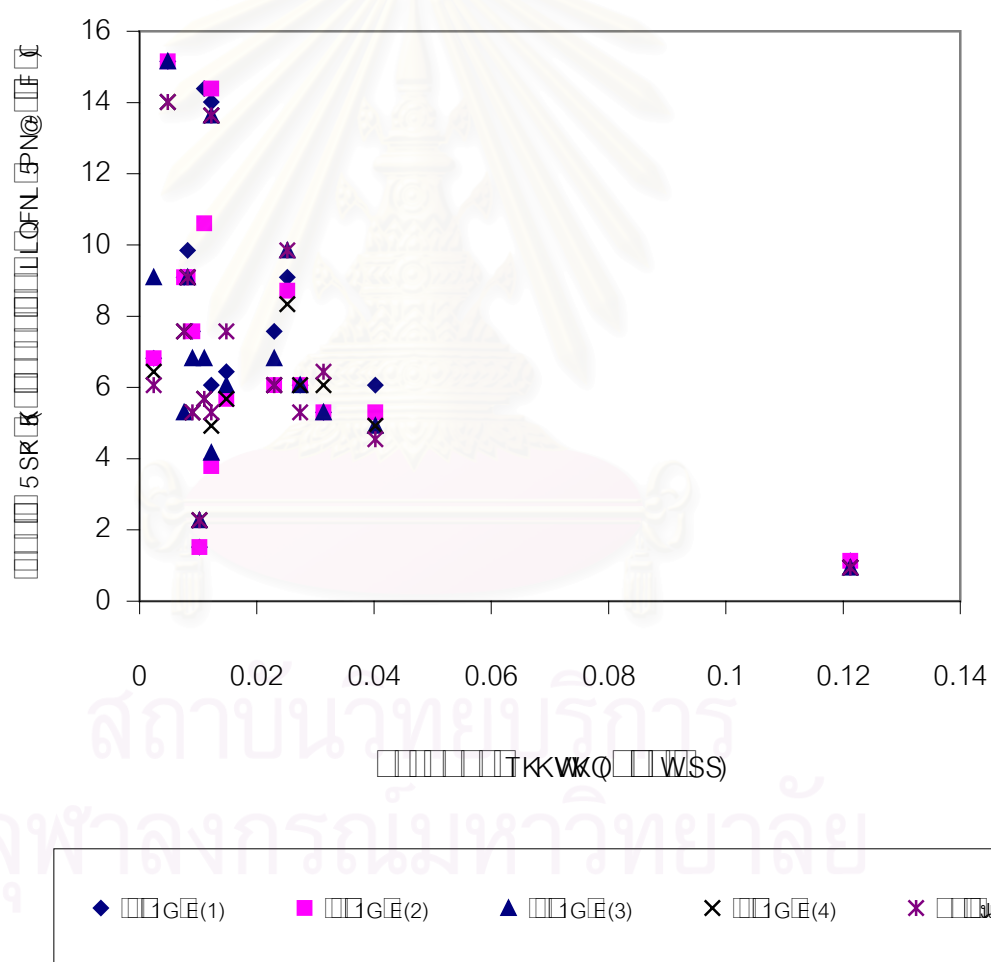
รูปที่ 5.66 แสดงค่าการกักกันและเพอมีเอทพลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกัน ของฟิล์มที่ผ่านการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 3 โมลาร์ และมีความหนาเฉลี่ย 0.0500 มิลลิเมตร

จากการเปรียบเทียบค่าการกักกันของสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ กัน คือเด็กแทรน(1) เด็กแทรน(2) , เด็กแทรน(3) , เด็กแทรน(4) และบลูเด็กแทรน ที่ความหนาของฟิล์มที่ใช้เสมือนเป็นเยื่อแผ่นต่างๆ กัน พบว่าแนวโน้มในการกักกันของสารมีค่ามากขึ้นเมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นในทุกๆสารที่ใช้ในการทดลอง และค่าการกักกันของเด็กแทรน(1) มีค่าต่ำที่สุดเนื่องจากเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุด และค่าการกักกันจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของสารที่ใช้ในการทดลองเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.67



รูปที่ 5.67 เปรียบเทียบค่าการกักกันของเด็กแทรน(1) , เด็กแทรน(2) , เด็กแทรน(3) , เด็กแทรน(4) และบลูเด็กแทรนที่ความหนาต่างๆ ของเยื่อแผ่นโดยกระบวนการกรองแยกสาร

จากการเปรียบเทียบค่าพหุคูณของค่าพหุคูณของสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ กัน คือ เด็กแทรน(1) เด็กแทรน(2) , เด็กแทรน(3) , เด็กแทรน(4) และบลูเด็กแทรน ที่ความหนาของฟิล์มที่ใช้เสมือนเป็นเยื่อแผ่นต่างๆ กัน พบว่าแนวโน้มของค่าพหุคูณของสารมีค่าน้อยลงเมื่อความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นในทุกๆสารที่ใช้ในการทดลอง และค่าพหุคูณของเด็กแทรน(1) มีค่ามากที่สุดเนื่องจากเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุด และค่าพหุคูณของสารจะลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของสารที่ใช้ในการทดลองเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.68 โดยผลของการทดสอบคุณสมบัติทางการแยกสารของเยื่อแผ่นโดยฟิล์มแบบต่างๆ สรุปดังตารางในภาคผนวก ค.



รูปที่ 5.68 เปรียบเทียบค่าพหุคูณของค่าพหุคูณของเด็กแทรน(1) , เด็กแทรน(2) , เด็กแทรน(3) , เด็กแทรน(4) และบลูเด็กแทรนที่ความหนาต่างๆ ของเยื่อแผ่นโดยกระบวนการกรองแยกสาร

สรุปผลการทดลอง

1. ความชื้นของวุ้นมะพร้าวที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการล้างด้วยน้ำกลั่น, ล้างด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ และวิธีการต้ม ตามวิธีที่ 4.3.2.1 – 4.3.2.3 ตามลำดับ มีค่าความชื้นที่ใกล้เคียงกัน คือ วุ้นมะพร้าวประกอบด้วยน้ำร้อยละ 97.08 – 97.27
2. วุ้นมะพร้าวสามารถละลายได้อย่างสมบูรณ์ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น และสามารถละลายได้บางส่วนในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นและกลีเซอรอล วุ้นมะพร้าวที่เตรียมได้ไม่สามารถละลายได้ในน้ำ เอทานอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ ไฮโซออกเทน และ กรดไนตริกเข้มข้น
3. การไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการย่อยวุ้นมะพร้าวคือ ความเข้มข้นของกรด, ระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ ซึ่งมีผลต่อขนาดอนุภาคของวุ้นมะพร้าวหลังการย่อย และจะส่งผลถึงคุณสมบัติของฟิล์มที่ขึ้นรูปได้
4. การไฮโดรไลซ์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูง (ตั้งแต่ 7 โมลาร์ขึ้นไป) วุ้นมะพร้าวที่ผ่านการไฮโดรไลซ์แล้วจะรวมตัวกันเป็นก้อนแข็งขนาดเล็กประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ลอยอยู่บนผิวหน้าของสารละลายไม่สามารถนำไปขึ้นรูปให้เป็นฟิล์มได้ ในขณะที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 7 โมลาร์ อนุภาควุ้นมะพร้าวหลังการย่อยจะกระจายตัวทั่วในสารละลายและสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้
5. ฟิล์มที่ได้จากการปรับสภาพวุ้นด้วยกรดซัลฟูริกมีความขาวมากกว่าฟิล์มที่ได้จากการปรับสภาพวุ้นมะพร้าวด้วยกรดไฮโดรคลอริก และวิธีการละลาย (dissolution of cellulose)
6. ฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการต้มจะมีสีเข้มกว่าฟิล์มที่ได้จากการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการล้างด้วยน้ำกลั่นและวิธีการล้างด้วยด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์
7. ฟิล์มที่ได้จากการปรับสภาพและขึ้นรูปด้วยวิธีการกटरะหว่าง 2 แผ่น จะมีความหนาเฉลี่ยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะการเตรียมวุ้นมะพร้าวและแรงที่ใช้ในการกด ส่วนฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบความหนาที่ได้ขึ้นอยู่กับระยะเวลา, สภาวะที่ใช้ในการหมักและสภาพของเชื้อที่ใช้ในการหมัก
8. จากการศึกษาโครงสร้างผิวของฟิล์มโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าฟิล์มที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบจะมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยเซลลูโลสที่มีความเป็นระเบียบสูงมากกว่าฟิล์มที่ได้จากการปรับสภาพและขึ้นรูปด้วยวิธีการกटरะหว่าง 2 แผ่น
9. จากการวิเคราะห์หาขนาดรูพรุนด้วยเครื่อง Nitrogen Adsorption พบว่าฟิล์มที่ได้มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 12.62 ตารางเมตรต่อกรัม และมีขนาดรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 224 อังสตรอม

10. จากการวิเคราะห์หาความต้านทานแรงดึงพบว่า

- รูนแผ่นที่ตากบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0402 และ 0.1212 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 4245.07 และ 5208.97 นิวตันต่อเมตร ตามลำดับ
- รูนปั้นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0660 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 2990.75 นิวตันต่อเมตร
- รูนปั้นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลาร์ที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0636 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 1466.80 นิวตันต่อเมตร
- รูนปั้นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 โมลาร์ที่มีความหนาเฉลี่ย 0.07 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 1935.78 นิวตันต่อเมตร
- รูนปั้นที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 7 โมลาร์ที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0564 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 2507.40 นิวตันต่อเมตร

ฟิล์มที่ได้จากรูนมะพร้าวที่ตากบนแผ่นเรียบจะมีความต้านทานแรงดึงมากกว่าฟิล์มที่ได้จากการปรับสภาพ แม้จะมีความหนาเฉลี่ยต่ำกว่า

11. ผลของการทดสอบคุณสมบัติทางการแยกสารของเยื่อแผ่น พบว่าค่าเพอมีอเทฟลักซ์ของตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่สุดจะมีค่าสูงสุดและจะมีค่าลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลายมีค่าสูงขึ้น และค่าเพอมีอเทฟลักซ์จะมีค่าลดลงเมื่อความหนาของเยื่อแผ่นมากขึ้น

12. ผลของการทดสอบคุณสมบัติทางการแยกสารของเยื่อแผ่น พบว่าเยื่อแผ่นสามารถกักกันตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสุดได้น้อยที่สุดและค่าการกักกันจะมีค่ามากขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลายมีค่าสูงขึ้น สำหรับเยื่อแผ่นที่ได้จากการวางบนแผ่นเรียบที่มีความหนาเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.0048 – 0.1212 มิลลิเมตร จะให้ค่าการกักกันโซเดียมคลอไรด์อยู่ในช่วง 0.0007 – 0.0666 ค่าการกักกันแคลเซียมคลอไรด์อยู่ในช่วง 0.0023 – 0.0609 ค่าการกักกันกลูโคสอยู่ในช่วง 0.0034 – 0.1867 ค่าการกักกันซูโครสอยู่ในช่วง 0.002 – 0.2438 ค่าการกักกันเด็กแทน(1) อยู่ในช่วง 0.0201 – 0.463 ค่าการกักกันเด็กแทน(2) อยู่ในช่วง 0.0742 – 0.5706 ค่าการกักกันเด็กแทน(3) อยู่ในช่วง 0.1373 – 0.7541 ค่าการกักกันเด็กแทน(4) อยู่ในช่วง 0.207 – 0.832 ค่าการกักกันบลูเด็กแทนอยู่ในช่วง 0.7073 – 0.9895 ซึ่งค่าการกักกันของสารทุกๆสารจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น และค่าการกักกันยังขึ้นอยู่กับโครงสร้างและการจัดเรียงตัวของเส้นใยของเยื่อแผ่นอีกด้วย ส่วนเยื่อแผ่นที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลาร์ และมีความหนาเฉลี่ย 0.0594 มิลลิเมตร มีค่าการกักกันโซเดียมคลอไรด์ 0.0602 ค่าการกักกันแคลเซียมคลอไรด์ 0.0051 ค่าการกักกันกลูโคส 0.1833 ค่าการกักกันซูโครส 0.1388 ค่าการกักกันเด็กแทน(1) 0.1929

ค่าการกักกันเด็กแทน(2) 0.1951 ค่าการกักกันเด็กแทน(3) 0.1825 ค่าการกักกันเด็กแทน
(4) 0.8991 ค่าการกักกันบลูเด็กแทน 0.9557 ส่วนเยื่อแผ่นที่ได้จากการปรับสภาพด้วยกรด
ไฮโดรคลอริก 3 โมลาร์ และมีความหนาเฉลี่ย 0.0500 มิลลิเมตร มีค่าการกักกันโซเดียมคลอ
ไรด์ 0.0153 ค่าการกักกันแคลเซียมคลอไรด์ 0.0104 ค่าการกักกันกลูโคส 0.1173 ค่าการกัก
กันซูโครส 0.1083 ค่าการกักกันเด็กแทน(1) 0.0887 ค่าการกักกันเด็กแทน(2) 0.1796 ค่า
การกักกันเด็กแทน(3) 0.2561 ค่าการกักกันเด็กแทน(4) 0.6476 ค่าการกักกันบลูเด็กแทน
0.9727

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงปัจจัยต่างๆในกระบวนการหมักวุ้นมะพร้าวที่ส่งผลต่ออัตราเร็ว
ในการผลิต, โครงสร้าง และสมบัติอื่นๆของวุ้นมะพร้าว เพื่อให้สามารถออกแบบการผลิต
วุ้นมะพร้าวให้มีสมบัติตามต้องการ
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงกระบวนการที่เหมาะสมในการละลายและขึ้นรูป เพื่อให้ขอบเขต
การนำแผ่นเยื่อจากวุ้นมะพร้าวไปใช้งานได้อย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

การวิจัย , กอง. , พืชเส้นใย วัตถุประสงค์สำหรับทำเยื่อกระดาษ , กรมวิทยาศาสตร์บริการ (กรกฎาคม , 2513) : 1-14.

เกษร สุนทรเสรี , มะพร้าวต้นไม่แห้งชีวิต , 2542.

จุฬารภรณ์ เสิศบวรวงศ์ , การผลิตและการใช้ประโยชน์สารโพลีแซคคาไรด์จากแบคทีเรียเป็นสารให้ความคงตัว , วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , 2533.

ทิพวัลย์ วัชรอาภาณุกร , การผลิตฟิล์ม และสมบัติทางกายภาพของฟิล์มเซลลูโลสจากแบคทีเรีย-ไคโตแซน , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2543.

รังสิมา ชลคุป , การศึกษาลักษณะเฉพาะทางกายภาพของฟิล์มจากวุ้นน้ำมะพร้าว , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2538.

รัตนา จิระรัตนานนท์ , กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ , ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , 2543.

ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย , การปลูกมะพร้าว , โครงการหนังสือเกษตรชุมชน

สมคิด ธรรมรัตน์ , การผลิตวุ้นน้ำมะพร้าวและการแปรรูป. วารสารอาหาร.18 (2531) : 250 – 262.

ภาษาอังกฤษ

A.J. Brown , J. Chem.Soc.49 (1986) :172.

A. Krystynowicz , S. Bielecki. Biosynthesis of bacterial cellulose and its potential application in the different industries.

Anne Osmond , Fabienne Bart and Helene Carrere. Concentration of Thickening & Gelling Food Additives by Ultrafiltration: Comparison of Flat Sheet and Tubular Membranes. Filtration and Separation 39 issue 6 July – August (2002) : 35 – 39.

Blackwell., J., Kolpak, F.J., and Gardner, K.H. Cellulose Chemistry and Technology. Washington : American Chemistry Society. (1977) : 42.

Brown, D.E. Lignocellulose hydrolysis. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.300 (1983):305– 322.

- Brown, R.M., Jr., Willison, J.H.M., and Richardson, C.L. Cellulose biosynthesis in *Acetobacter xylinum* : Visualization of the site of synthesis and direct measurement of the In vivo process. Pro. Natl. Acad. Sci. USA. 72 (1976) : 4565.
- Colvin, J.R. The biosynthesis of cellulose. CRC Crit. Rev. Macromol Sci. 1 (1972) : 47-81.
- Cowling, E.B., and Kirk, T.K. Properties of cellulose and lignocellulose materials as substrates for enzymatic conversion process. Biotech. Bioeng. Symp. 6 (1976) : 95 – 123.
- Delmer, D.P. Biosynthesis of cellulose. Adv. Carbohydr. Chem. Biochem. 41 (1983) : 105 – 153.
- Eiji Iritani, Yasuhito Mukai and Toshiro Murase. Separation of Binary Protein Mixtures by Ultrafiltration. Filtration and Separation, November (1997) : 967 – 973.
- E.J. Vandamme, S.De Baets, A.Vanbaelen, K.Joris and P.De Wulf. Improved production of cellulose and its application potential. Polymer Degradation and Stability 59 (1998) : 93 – 99.
- George Odian. Principles of polymerization Third Edition, The college of Staten Island The City University of New York Staten Island, New York., John Wiley & Sons, Inc. (1991).
- G.J.F. Ring. Cellulose and Other Natural Polym. System, edited by R.M.Brown. (Plenum, New York, 1982) : 289.
- Herr Prof. Dr. sc. Nat. Hans-Peter Schmauder. Bacterial Cellulose – a Universal Biological Material.
- Hideki Shibazaki*, Shigenori Kuga, Fumihiko Onabe, and Makoto Usuda. Bacterial Cellulose Membrane as Separation Medium. Journal of Applied Polymer Science 50 (1993) : 965 - 969.
- Hideki Shibazaki*, Shigenori Kuga, Fumihiko Onabe and R.Malcolm Brown Jr. Acid hydrolysis behaviour of microbial cellulose II. Polymer 36 no 26 (1995) : 4971 - 4976.
- Idem. ibid. 49 (1986) : 402.

- J.D.Fontana , A.M. de souza , C.K.Fontana , I.L.Torriani , J.C.Moreschi , B.J.Gallotti , S.J. De souza , G.P.Narcisco , J.A.Bichara , and L.F.X.Farah. *Acetobacter Cellulose Pellicle as a Temporary Skin Substitute*. Applied Biochemistry and Biotechnology 24/25 (1990) : 253 – 264.
- Johan S., Carlo V., Wahab A.M., and Richard W.B. Modelling the retention of ionic components for different nanofiltration membranes. Separation and Purification Technology 22 – 23 (2001) : 169 – 179.
- J.Ross Colvin. The Formation of Spherulites in Pellicles of Bacterial Cellulose. Canadian Journal of Microbiology 11 (1965) : 641 – 643.
- Kenji Tayama , Hiroyuki Minakami , Etsuzo Entani , Seiichi Fujiyama and Hiroshi Masai. Structure of an Acidic Polysaccharide from *Acetobacter Sp.* NBI 1022. Agricultural and Biological Chemistry 49 no. 4 (1985) : 959 – 966.
- Krassig, H. Structure of cellulose and its relation to properties of cellulose fiber. In J.F.Kennedy; G.O.Phillips; D.J.Wedlock; and P.A.Williams (eds.), Cellulose and Its Derivatives: Chemistry, Biochemistry and Applications. New York:Ellis Horwood Limited. (1985) : 3-25.
- K. Yoshino , R .Matsuoka , K. Nogami , H. Arai , S. Yamanaka , K. Watanabe , M. Takahashi and M. Honda , Synthetic Metals 41-43 (1991) :1593.
- Liang, C.Y., and Marchessault, R.H. Infrared spectra of crystalline polysaccharides. I. Hydrogen bonds in native cellulose. J.Polymer Sci. 37 (1959) : 385 – 395.
- Linda A. Saturnino-Dimaguila² . The "Nata de coco" 1. Characterization and identity of the causal organism. The Philippine Agriculturist 51 (June 1967 – Mar 1968) : 462-474.
- L.S. Dimaguila² . The Nata de coco 2. Chemical nature and properties of Nata¹ . The Philippine Agriculturist. 51 (June 1967 – Mar 1968) : 475 - 485.
- Mark, H. Intermicellar mole and tube system in fiber structure. J. Phys. Chem. 44 (1940) : 764 – 788.
- M. Iguchi , S. Mitsuhashi , K. Ichimura , Y. Nishi , M. Uryu , S. Yamanaka and K. Watanabe , US Patent 4,742,164 (1988).

- M. Iguchi , S. Yamanaka , K. Watanabe , Y. Nishi and M. Uryu. Proc. Int. Meet. Polym. Sci. Technol. Rokduc Polym. Meet. 5, May 1990, edited by P.J. Lemstra and L.A. Kleinjens 44 – 50 , London.(1991) : 371.
- M. Iguchi* , S. Yamanaka , A. Budhiono. Review Bacterial cellulose—a masterpiece of nature's arts. Journal of Materials Science 35 (2000) : 261 – 270.
- M.M. Lapas , E.G. Gallardo and M.A. Palo. Philipp. J.Sci. 96 (1967) : 91.
- Mohd Zaki Sulaiman , Nik Meriam Sulaiman , Marwan Shamel. Ultrafiltration studies of solutions of pectin , glucose and their mixtures in a pilot scale crossflow membrane unit. Chemical Engineering Journal 84 (2001) : 557 – 563.
- M. Schramm and S. Hestrin , J. Gen. Microbio. 11 (1954) : 123.
- Nicholas A. Hoenich* , Celia Woffindin* , Susan Stamp* , Sarah J. Robert and Jean Turnbull. Synthetically modified cellulose: an alternative to synthetic membranes for use in haemodialysis? . Biomaterials. 18 (1997) : 1299 – 1303.
- Nicolas Abatzoglou and Esteban Chornet Acid Hydrolysis of Hemicelluloses and Cellulose:Theory and Applications : 1007 –1045.
- Nihal , A. , Turker, G. , and Levent , Y. Effect of Operating Parameters on the Separation of Sugars by Nanofiltration. Sep. Sci. Technol.33 (1998):1767 – 1785.
- O. Bayat , V. Arslan , B, Bayat , C. Poole. Application of a flocculation-ultrafiltration process for bacteria (*Desulfovibrio desulfuricans*) removal from industrial plant process water. Biochemical Engineering Journal (2003) : xxx – xxx.
- Preston, R.D. The Physical Biology of Plant Cell Wall. London : Chapman and Hall (1974)
- Richard W. Baker. Membrane Technology and Application. McGraw-Hill (2000).
- R.Mormino and H. Bungay. Composites of bacterial cellulose and paper made with a rotating disk bioreactor. Applied Microbiology and Biotechnology June (2003).
- Shiro Saka , Keiko Takanashi. Cellulose Triacetate Prepared from Low-Grade Hardwood Dissolving Pulp and Its Insoluble Residues in Acetylation Mediums. Journal of Applied Polymer Science 67 (1998) : 289 – 297.

- S. Laborie and C. Cabassud , L. Durand-Bourlier and J.M. Laine. Flux Enhancement by a Continuous Tangential Gas Flow in Ultrafiltration Hollow Fibers for Drinking Water Production: Effect of Slug Flow on Cake Structure. Filtration and separation. 34 issue 8 october (1997) : 887 – 891.
- S. Valla and J. Kjosbakken. Ibid. 128 (1982) : 1401 – 1408.
- S. Yamanaka , K. Watanabe , N. Kitamura , M. Iguchi , S. Mitsunashi , Y. Nishi and M. Uryu. J. Matrt. Sci. 24 (1989) : 3141.
- W.S. William and R.E. Cannon. Alternative Environmental Roles for Cellulose Produced by *Acetobacter xylinum*. Appl. Env. Microbiol. 55 no.10(1989) : 2448 –2452.
- Xiao-Lin Wang , Toshinori Tsuru , Shin-ichi Nakao , Shoji Kimura. The electrostatic and steric-hindrance model for the transport of charged solutes through nanofiltration membranes. Journal of Membrane Science. 135 (1997) :19 – 32.
- Yasuhito Matsubara , Ken-ichi Iwasaki ,* Mitsutoshi Nakajima,** Hiroshi Nabetani,** and Shin-ichi Nakao***. Recovery of Oilligosaccharides from Steamed Soybean Waste Water in Tofu Processing by Reverse Osmosis and Nanofiltration Membranes. Biosci. Biotech. Biochem. 60 no.3 (1996) : 421 – 428.
- Y. Nishi , M. Uryu , S. Yamanaka , K. Watanabe , K. Kitamura , M. Iguchi and S. Mitsunashi. Ibid. 25 (1990) : 2997.

ภาคผนวก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างกราฟและข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ตัวอย่างกราฟและผลการวัดปริมาณน้ำตาลกลูโคสโดยใช้การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

START 23.02.14.26.



C-R1A
 SMPL # 00
 FILE # 5
 REPT # 13
 METHOD 41

| # | NAME | TIME | CONC | MK | AREA |
|-------|------|------|---------|----|---------|
| 0 | | 0.28 | 1.7718 | | 25441 |
| 0 | | 0.92 | 0.6147 | V | 8827 |
| 0 | | 1.53 | 91.0325 | V | 1307086 |
| 0 | | 6.72 | 6.5807 | | 94489 |
| TOTAL | | | 100 | | 1435844 |

START 23.02.14.38.



C-R1A
 SMPL # 00
 FILE # 5
 REPT # 14
 METHOD 41

| # | NAME | TIME | CONC | MK | AREA |
|-------|------|------|---------|----|---------|
| 0 | | 1.54 | 93.485 | | 1093013 |
| 0 | | 6.79 | 6.5949 | | 77172 |
| TOTAL | | | 99.9999 | | 1170186 |

ตัวอย่างกราฟและผลการวัดปริมาณน้ำตาลซูโครสโดยใช้การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

START 28.08.15.38.



C-R1A
 SMPL # 00
 FILE # 4
 REPT # 42
 METHOD 41

| # | NAME | TIME | CONC | PK | AREA |
|---|-------|------|---------|----|--------|
| 0 | | 1.8 | 47.8011 | | 49066 |
| 0 | | 3.35 | 52.1988 | V | 53580 |
| | TOTAL | | 99.9999 | | 102647 |

START 28.08.15.45.



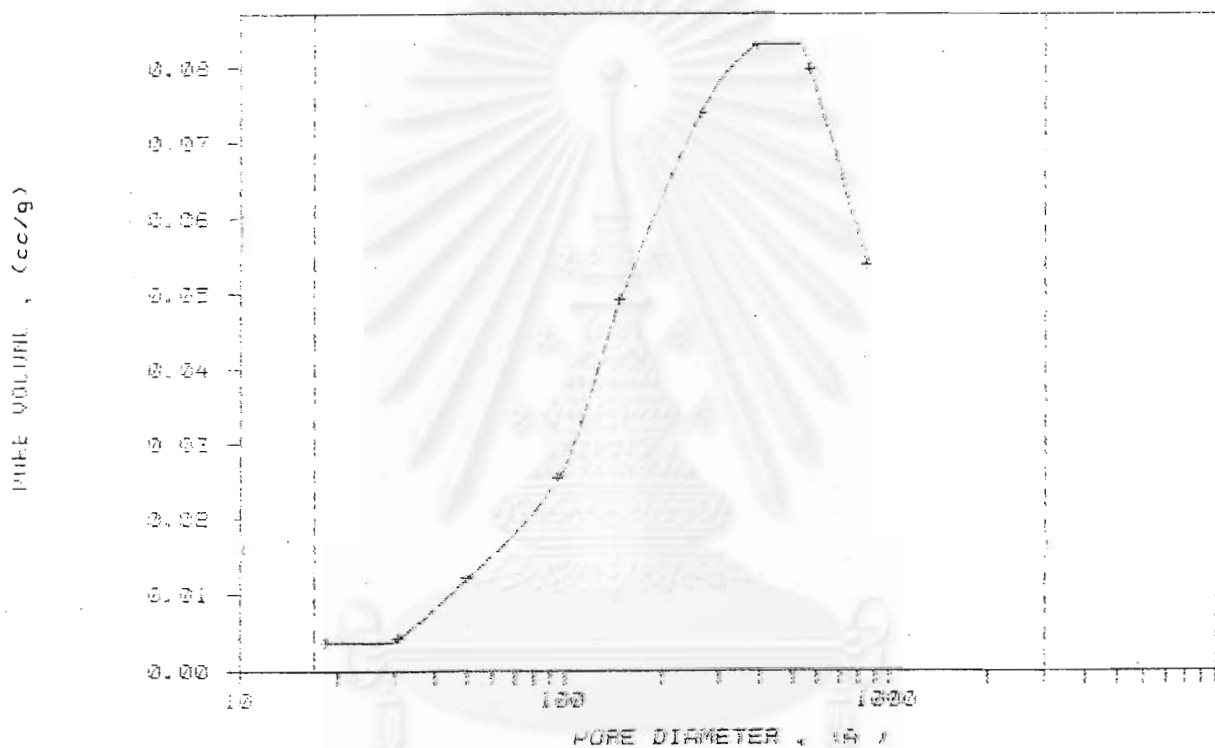
C-R1A
 SMPL # 00
 FILE # 4
 REPT # 43
 METHOD 41

| # | NAME | TIME | CONC | PK | AREA |
|---|-------|------|---------|----|-------|
| 0 | | 1.8 | 54.0363 | | 47887 |
| 0 | | 3.36 | 45.9636 | V | 40665 |
| | TOTAL | | 99.9999 | | 88473 |

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของรู (อังสตรอม) กับปริมาณของรู (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม) ในขั้นตอนของการดูดซับ โดยการวิเคราะห์ห้ด้วยเครื่อง BET

Figure 10) ADSORPTION PORE VOLUME PLOT

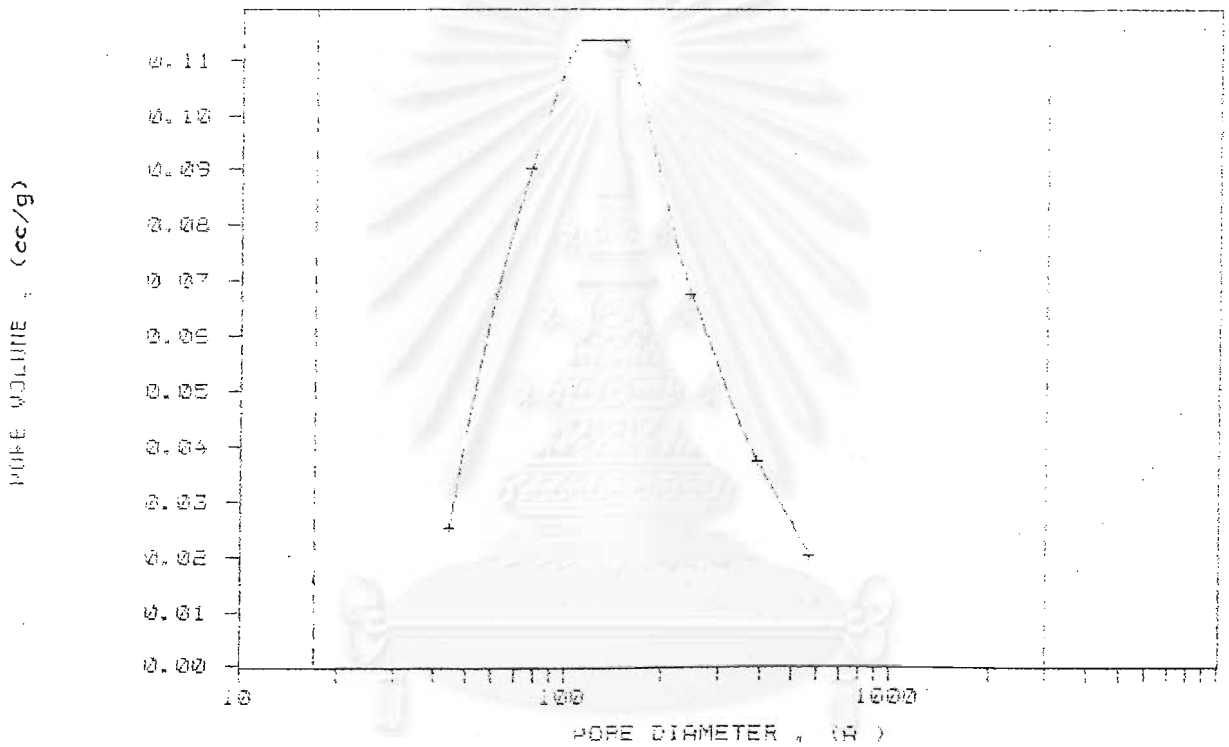


สถาบันวิทยบริการ

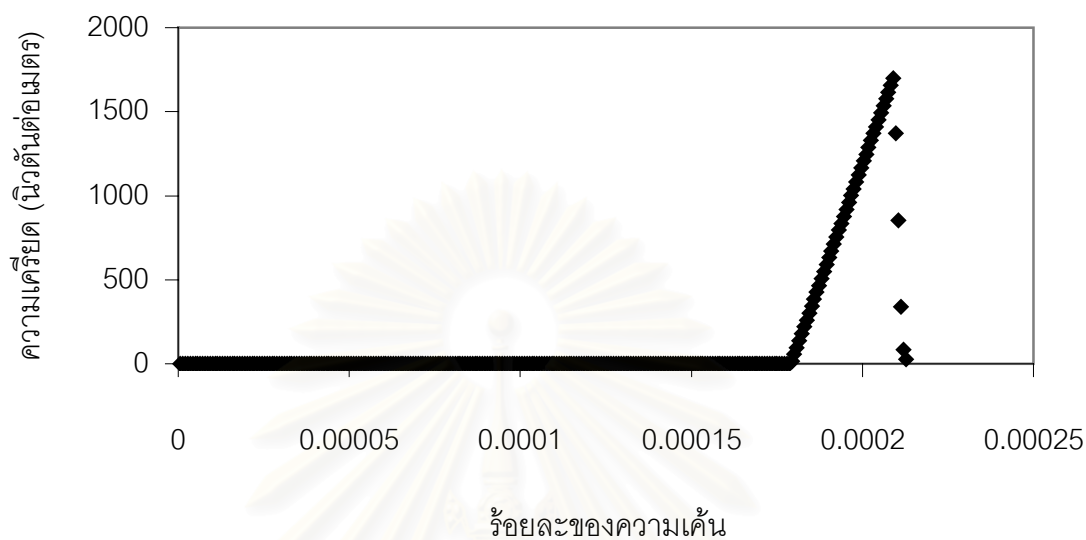
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของรู (อังสตรอม) กับปริมาตรของรู (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม) ในขั้นตอนของการคายการดูดซับ (desorption) โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง BET

av/dlog(d) DESORPTION PORE VOLUME PLOT



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของความเค็มกับความเคียด (นิวัตน์ต่อเมตร)

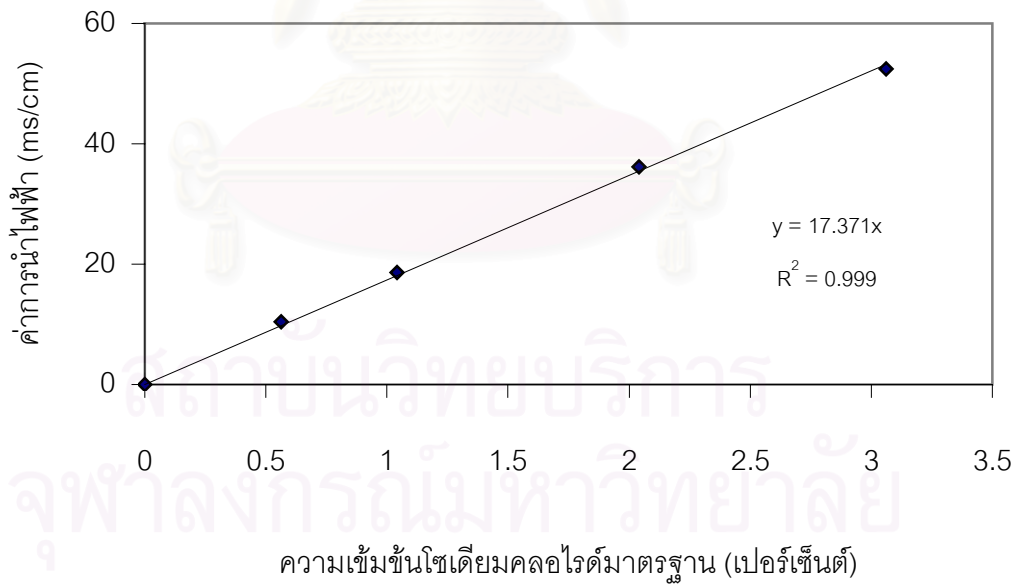
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

เส้นกราฟมาตรฐาน

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของไซเดียมคลอไรด์

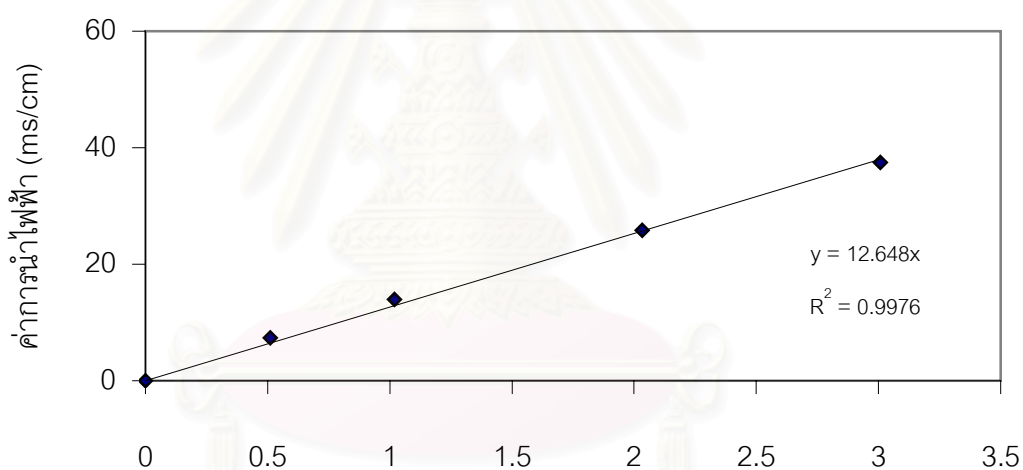
| ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์) | ค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm) |
|---------------------------|-----------------------|
| 0.5639 | 10.38 |
| 1.0417 | 18.6 |
| 2.0398 | 36.2 |
| 3.0621 | 52.4 |



รูปที่ ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซเดียมคลอไรด์มาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) กับค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm)

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของแคลเซียมคลอไรด์

| ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์) | ค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm) |
|---------------------------|-----------------------|
| 0.5096 | 7.34 |
| 1.0203 | 13.91 |
| 2.0341 | 25.8 |
| 3.0079 | 37.5 |



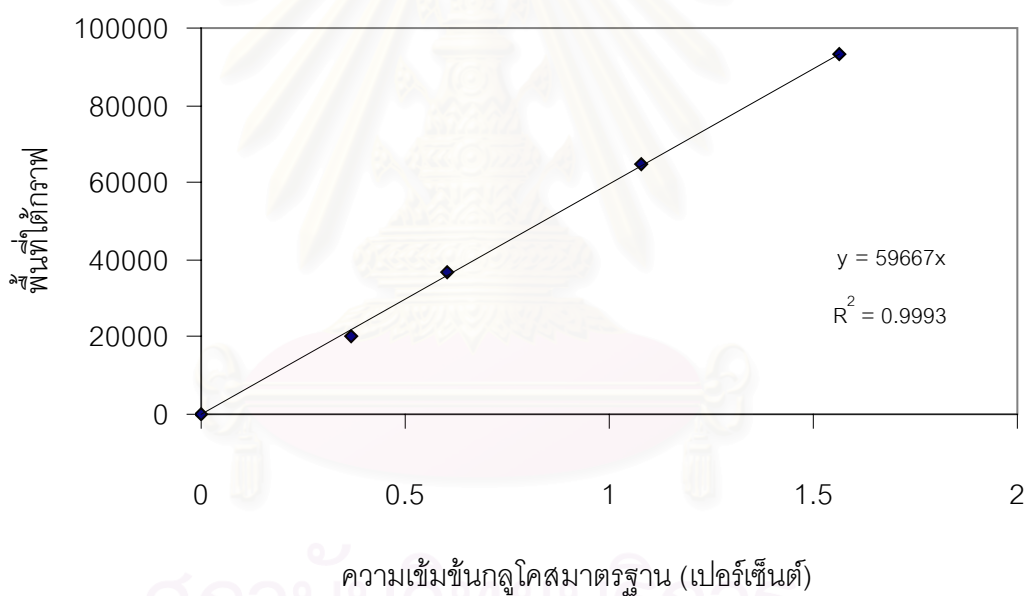
ค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm)

ความเข้มข้นแคลเซียมคลอไรด์มาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์)

รูปที่ ข.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแคลเซียมคลอไรด์มาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) กับค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm)

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของกลูโคส

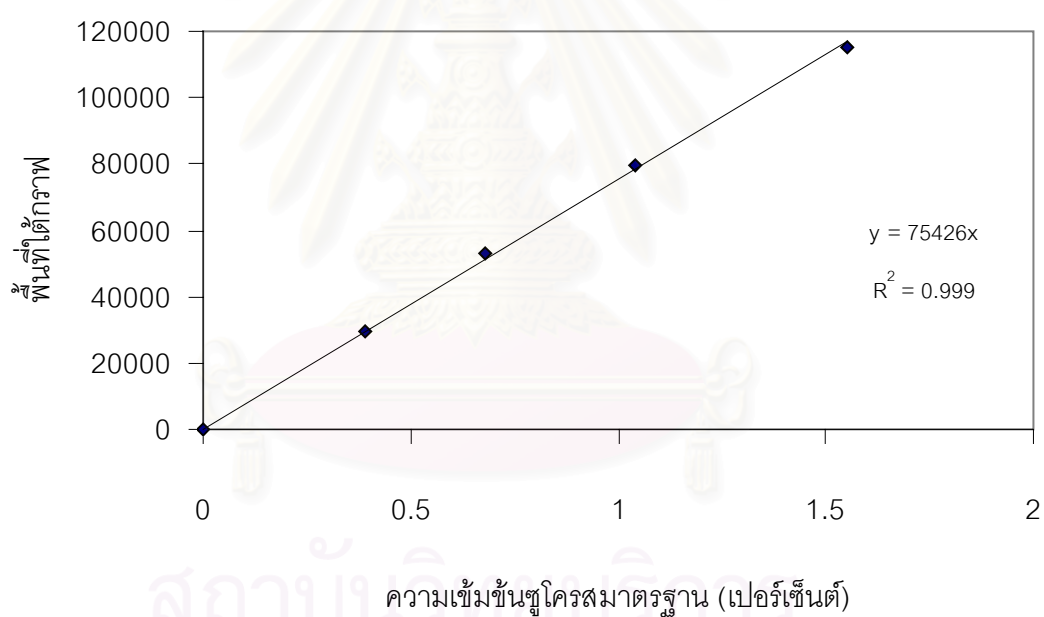
| ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์) | พื้นที่ใต้กราฟ |
|---------------------------|----------------|
| 0.366 | 20107 |
| 0.604 | 36858 |
| 1.08 | 64836 |
| 1.564 | 93135 |



รูปที่ ข.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกลูโคสมาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อปริมาตร) กับพื้นที่ใต้กราฟ

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของซูโครส

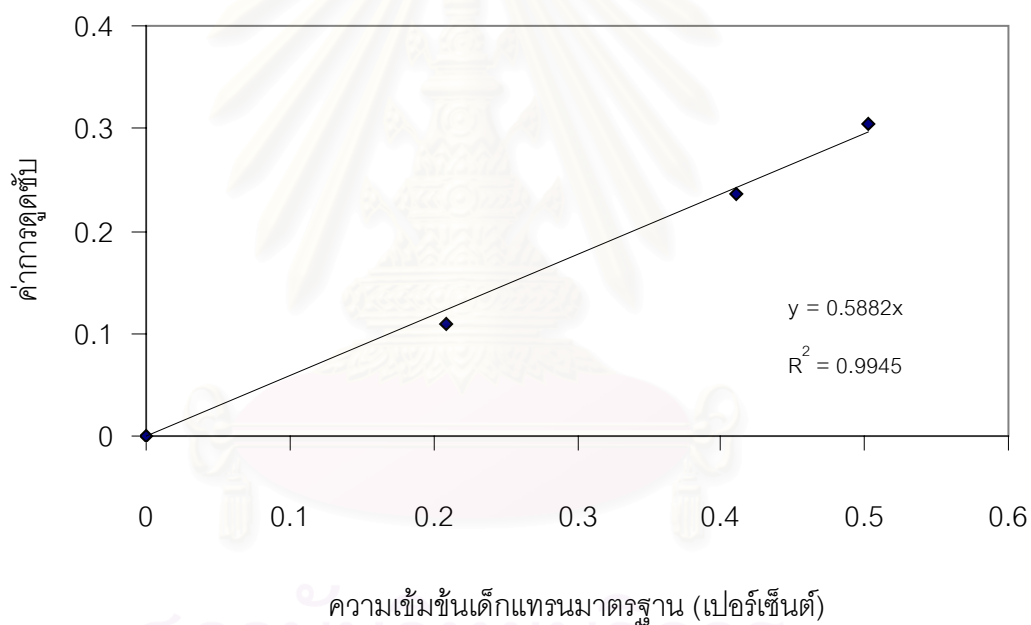
| ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์) | พื้นที่ใต้กราฟ |
|---------------------------|----------------|
| 0.392 | 29572 |
| 0.68 | 53309 |
| 1.04 | 79601 |
| 1.552 | 115398 |



รูปที่ ข.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นซูโครสมาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) กับพื้นที่ใต้กราฟ

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของเด็กแพน(1) (มวลโมเลกุล 10,000)

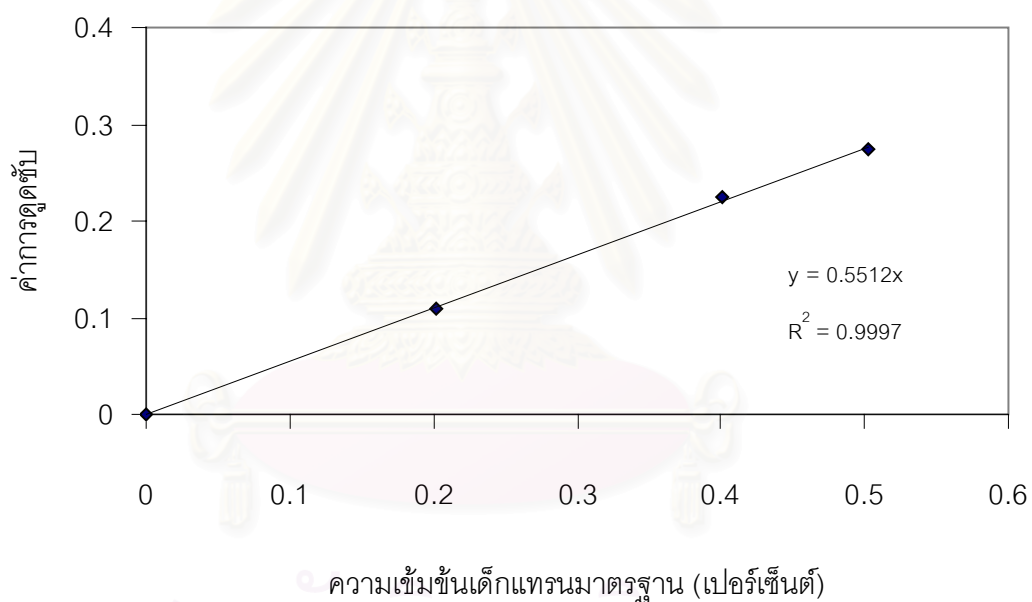
| ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์) | ค่าการดูดซับ |
|---------------------------|--------------|
| 0.2093 | 0.109 |
| 0.41 | 0.237 |
| 0.5027 | 0.305 |



รูปที่ ข.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเด็กแพน(1) มาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) กับค่าการดูดซับ

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของเด็กแพรรน(2) (มวลโมเลกุล 71,400)

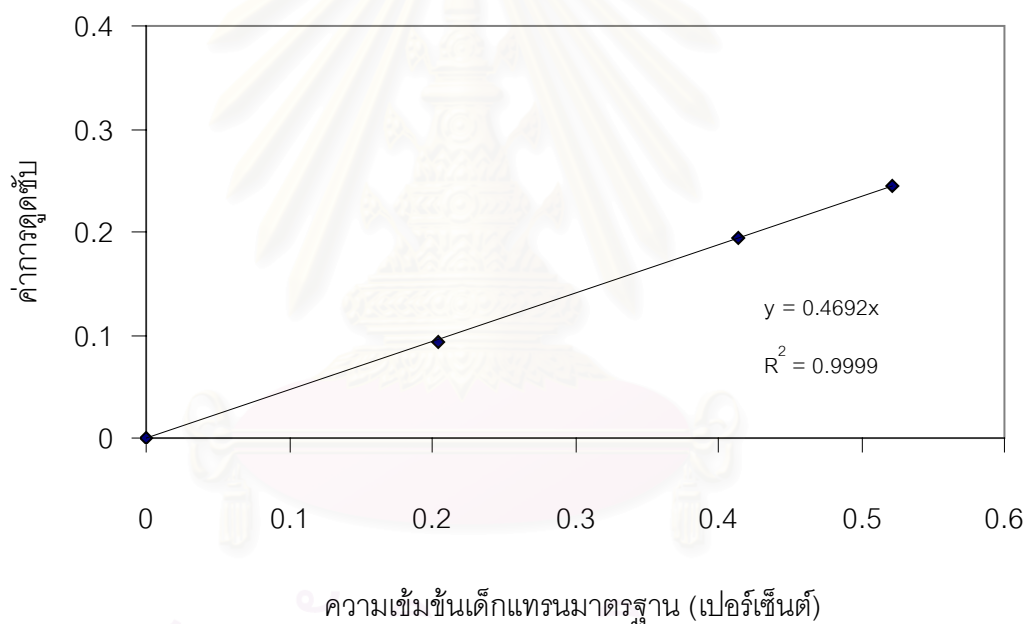
| ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์) | ค่าการดูดซับ |
|---------------------------|--------------|
| 0.202 | 0.11 |
| 0.4013 | 0.224 |
| 0.502 | 0.275 |



รูปที่ ข.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเด็กแพรรน(2) มาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) กับค่าการดูดซับ

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของเด็กแพน(3) (มวลโมเลกุล 200,000 – 275,000)

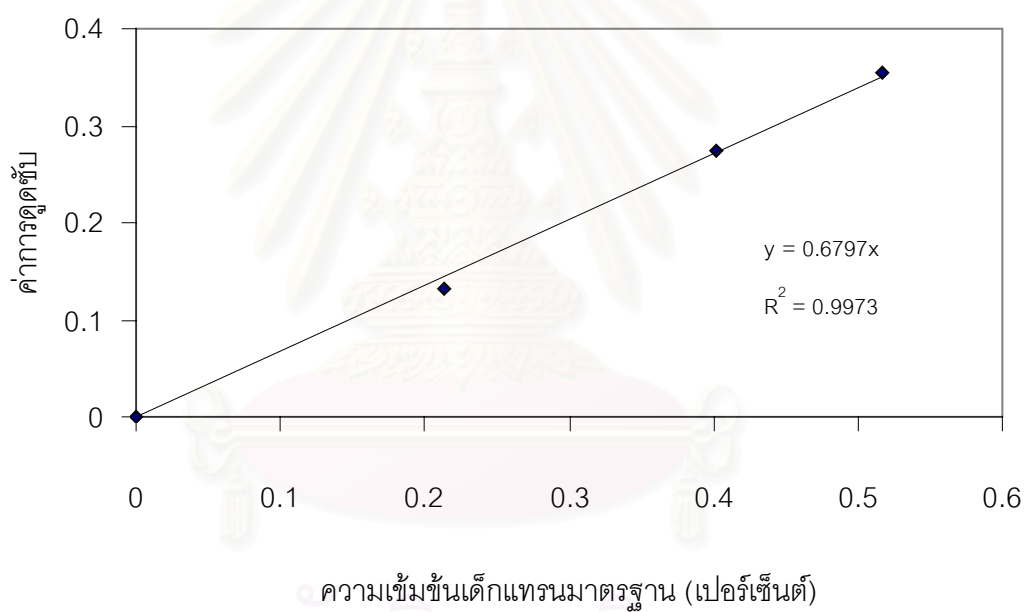
| ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์) | ค่าการดูดซับ |
|---------------------------|--------------|
| 0.204 | 0.094 |
| 0.414 | 0.195 |
| 0.522 | 0.245 |



รูปที่ ข.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเด็กแพน(3) มาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) กับค่าการดูดซับ

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของเด็กแทรน(4) (มวลโมเลกุล 505,000)

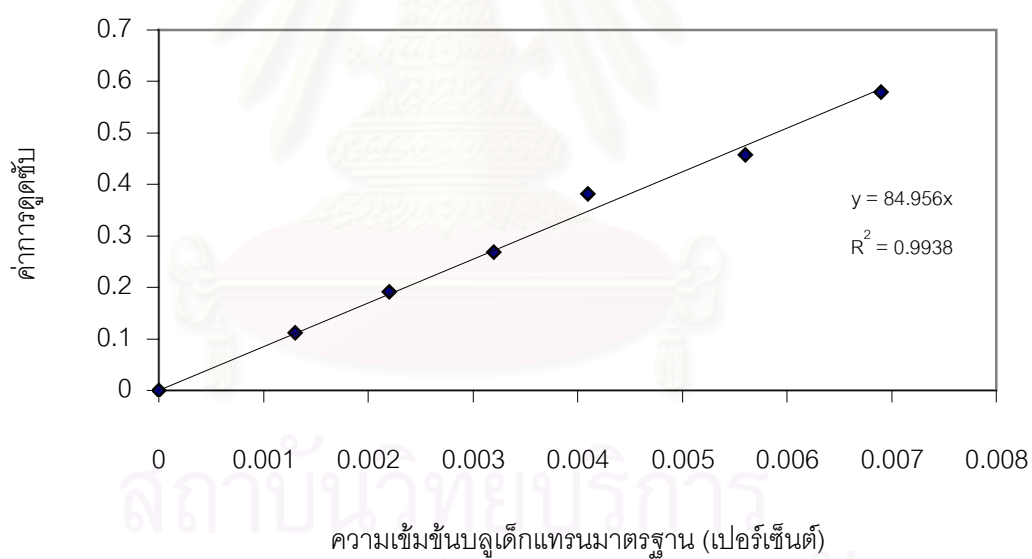
| ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์) | ค่าการดูดซับ |
|---------------------------|--------------|
| 0.214 | 0.132 |
| 0.4013 | 0.275 |
| 0.5167 | 0.355 |



รูปที่ ข.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเด็กแทรน(4) มาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) กับค่าการดูดซับ

ตารางที่ ข.9 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของบลูเด็กแทรน

| ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์) | ค่าการดูดซับ |
|---------------------------|--------------|
| 0.0013 | 0.112 |
| 0.0022 | 0.192 |
| 0.0032 | 0.269 |
| 0.0041 | 0.382 |
| 0.0056 | 0.458 |
| 0.0069 | 0.58 |



รูปที่ ข.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นบลูเด็กแทรนมาตรฐาน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) กับค่าการดูดซับ

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลการทดลอง

ผลของน้ำหนักโมเลกุลที่มีต่อค่าการกักกันและเพอมีเอทฟลักซ์

ตารางที่ ค.1 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0048 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทฟลักซ์ X 10 ⁶ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 40.1515 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | 0.0078 | 15.1515 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | 0.0033 | 15.1515 |
| กลูโคส | 180 | 0.0034 | 15.1515 |
| ซูโครส | 342 | 0.0146 | 15.1515 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.0993 | 15.1515 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.1765 | 15.1515 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.2267 | 15.1515 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.2542 | 14.0152 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.7633 | 14.0152 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0056 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ X 10 ⁶ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 22.7273 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | 0.0593 | 15.1515 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | 0.0609 | 13.6364 |
| กลูโคส | 180 | 0.1143 | 11.3636 |
| ซูโครส | 342 | | 12.1212 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.3767 | 15.1515 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.4123 | 15.1515 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.5091 | 15.1515 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.7103 | 10.6061 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.8922 | 9.4697 |

ตารางที่ ค.3 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0076 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ X 10 ⁶ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 18.9394 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | 0.0078 | 11.3636 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | | 9.4697 |
| กลูโคส | 180 | | 10.6061 |
| ซูโครส | 342 | 0.002 | 9.8485 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.115 | 9.0909 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.1287 | 9.0909 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.1373 | 5.3030 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.207 | 7.5758 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.7234 | 7.5758 |

ตารางที่ ค.4 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0082 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ X 10 ⁶ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 14.3939 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | 0.0059 | 10.2273 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | 0.0251 | 9.8485 |
| กลูโคส | 180 | | 9.8485 |
| ซูโครส | 342 | | 10.2273 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.1551 | 9.8485 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.1013 | 9.0909 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.2718 | 9.0909 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.3937 | 9.0909 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.7895 | 9.0909 |

ตารางที่ ค.5 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ย 0.009 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ X 10 ⁶ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 31.8182 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | 0.0007 | 11.3636 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | 0.0042 | 12.1212 |
| กลูโคส | 180 | 0.0627 | 11.3636 |
| ซูโครส | 342 | 0.0321 | 10.6061 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.2266 | 7.5758 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.2291 | 7.5758 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.2324 | 6.8182 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.2499 | 5.3030 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.7073 | 5.3030 |

ตารางที่ ค.6 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0102 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ $\times 10^6$ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 6.0606 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | 0.0117 | 2.2727 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | | 2.2727 |
| กลูโคส | 180 | | 2.2727 |
| ซูโครส | 342 | | 2.2727 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.0201 | 1.5152 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.0742 | 1.5152 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.3754 | 2.2727 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.2943 | 2.2727 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.7144 | 2.2727 |

ตารางที่ ค.7 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ย 0.011 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ $\times 10^6$ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 50.0000 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | | 13.6364 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | 0.0023 | 13.6364 |
| กลูโคส | 180 | 0.0327 | 13.6364 |
| ซูโครส | 342 | 0.0164 | 14.0152 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.1496 | 14.3939 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.1911 | 10.6061 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.2391 | 6.8182 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.2732 | 5.6818 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.7219 | 5.6818 |

ตารางที่ ค.8 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0120 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ $\times 10^6$ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 2.6515 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | 0.1636 | 2.2727 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | | 2.2727 |
| กลูโคส | 180 | 0.1867 | 2.2727 |
| ซูโครส | 342 | 0.2411 | 2.2727 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.4474 | 2.2727 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.383 | 2.6515 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.7541 | 2.2727 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.8321 | 2.2727 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.9895 | 2.6515 |

ตารางที่ ค.9 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0122 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ $\times 10^6$ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 9.8485 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | 0.0359 | 9.0909 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | 0.0524 | 7.5758 |
| กลูโคส | 180 | 0.1187 | 9.0909 |
| ซูโครส | 342 | 0.1158 | 6.8182 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.1231 | 6.0606 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.1664 | 3.7879 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.1838 | 4.1667 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.6237 | 4.9242 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.9012 | 5.3030 |

ตารางที่ ค.10 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0148 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ X 10 ⁶ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 7.5758 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | | 4.9242 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | | 6.0606 |
| กลูโคส | 180 | 0.1409 | 4.9242 |
| ซูโครส | 342 | 0.2438 | 6.4394 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.463 | 6.4394 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.3213 | 5.6818 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.4733 | 6.0606 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.5353 | 5.6818 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.8308 | 7.5758 |

ตารางที่ ค.11 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ย 0.023 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ X 10 ⁶ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 8.7121 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | | 6.8182 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | 0.0054 | 6.8182 |
| กลูโคส | 180 | | 6.8182 |
| ซูโครส | 342 | 0.0446 | 7.5758 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.0592 | 7.5758 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.1894 | 6.0606 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.2609 | 6.8182 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.4146 | 6.0606 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.8532 | 6.0606 |

ตารางที่ ค.12 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0252 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ $\times 10^6$ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|-------------------------|---|
| น้ำ | 18 | | 9.8485 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | 7.6939×10^{-3} | 9.8485 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | 0.0235 | 9.0909 |
| กลูโคส | 180 | | 9.0909 |
| ซูโครส | 342 | | 9.8485 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.1402 | 9.0909 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.2989 | 8.7121 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.333 | 9.8485 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.4724 | 8.3333 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.875 | 9.8485 |

ตารางที่ ค.13 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0274 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ $\times 10^6$ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 6.0606 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | 0.0496 | 6.0606 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | 0.0025 | 6.0606 |
| กลูโคส | 180 | 0.031 | 6.0606 |
| ซูโครส | 342 | 0.0447 | 6.0606 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.1149 | 6.0606 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.3297 | 6.0606 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.3908 | 6.0606 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.6305 | 6.0606 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.8336 | 5.3030 |

ตารางที่ ค.14 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0314 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ $\times 10^6$ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 6.8182 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | 0.0666 | 6.0606 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | 0.0135 | 6.0606 |
| กลูโคส | 180 | | 5.3030 |
| ซูโครส | 342 | 0.0028 | 5.3030 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.1511 | 5.3030 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.5706 | 5.3030 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.5969 | 5.3030 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.6385 | 6.0606 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.8804 | 6.4394 |

ตารางที่ ค.15 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ย 0.0402 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ $\times 10^6$ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 6.8182 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | 0.0062 | 6.8182 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | 0.0162 | 6.4394 |
| กลูโคส | 180 | 0.08 | 6.0606 |
| ซูโครส | 342 | 0.0419 | 6.0606 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.3059 | 6.0606 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.2874 | 5.3030 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.4743 | 4.9242 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.7309 | 4.9242 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.7552 | 4.5455 |

ตารางที่ ค.16 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่มีความหนาเฉลี่ย 0.1212 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ $\times 10^6$ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 0.9470 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | 0.0421 | 0.9470 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | 0.0101 | 0.9470 |
| กลูโคส | 180 | 0.0254 | 0.9470 |
| ซูโครส | 342 | 0.1843 | 0.9470 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.081 | 1.1364 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.2526 | 1.1364 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.3615 | 0.9470 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.3752 | 0.9470 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.9212 | 0.9470 |

ตารางที่ ค.17 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ และมีความหนาเฉลี่ย 0.0594 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ $\times 10^6$ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 1.7045 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | 0.0602 | 1.7045 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | 0.0051 | 1.7045 |
| กลูโคส | 180 | 0.1833 | 1.3258 |
| ซูโครส | 342 | 0.1388 | 1.5152 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.1929 | 1.5152 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.1951 | 1.5152 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.1825 | 1.1364 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.8991 | 0.7576 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.9557 | 0.7576 |

ตารางที่ ค.18 แสดงข้อมูลผลของฟิล์มที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลาร์ และมีความหนาเฉลี่ย 0.0500 มิลลิเมตร

| สาร | น้ำหนักโมเลกุล | ค่าการกักกัน | เพอมีเอทพลักซ์ $\times 10^6$ (ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-วินาที) |
|-----------------|----------------|--------------|---|
| น้ำ | 18 | | 0.3788 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 58.5 | 0.0153 | 0.3788 |
| แคลเซียมคลอไรด์ | 111 | 0.0104 | 0.3788 |
| กลูโคส | 180 | 0.1173 | 0.3788 |
| ซูโครส | 342 | 0.1083 | 0.5682 |
| เด็กแทน(1) | 10000 | 0.0887 | 0.5682 |
| เด็กแทน(2) | 71400 | 0.1796 | 0.3788 |
| เด็กแทน(3) | 237500 | 0.2561 | 0.3788 |
| เด็กแทน(4) | 505000 | 0.6476 | 0.3788 |
| บลูเด็กแทน | 2000000 | 0.9727 | 0.3788 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววันวิสา แสงรุ่งเรืองโรจน์ เกิดเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ.2521 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเคมีที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเมื่อปี 2543



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย