

การเตรียมเยื่อแผ่นชนิดขบหน้าจากยางธรรมชาติ



นายทรงศักดิ์ กล้าคลัง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

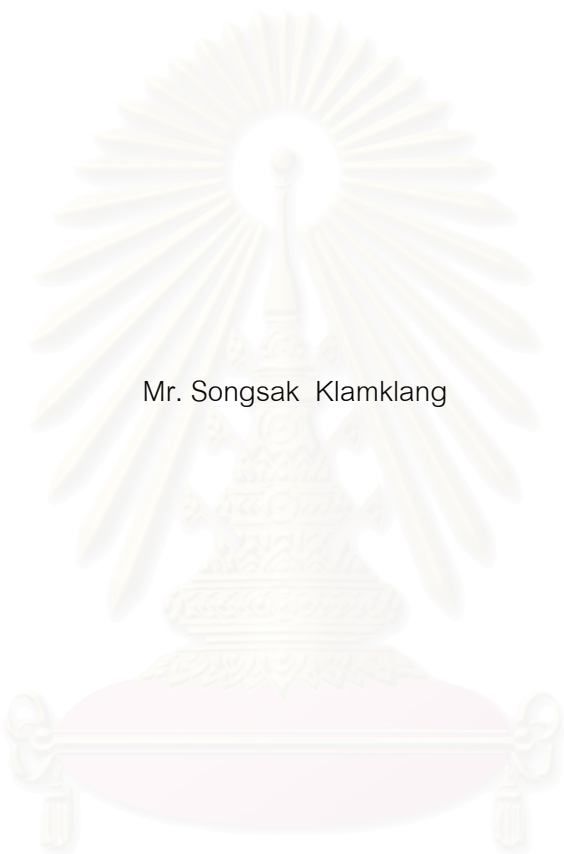
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-650-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF HYDROPHILIC MEMBRANE FROM NATURAL RUBBER



Mr. Songsak Klamklang

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-346-650-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเตรียมเยื่อแผ่นชนิดชอบน้ำจากยางธรรมชาติ
โดย นายทรงศักดิ์ กล้าคั่ง
ภาควิชา เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ชันทอง สุนทรภา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์วิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรธรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. ชันทอง สุนทรภา)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เพ็ญพรอค ทิศคร)

..... กรรมการ
(นางวารารณณ์ ขจรไชยกูล)

ทรงศักดิ์ กล้าคลัง : การเตรียมเยื่อแผ่นชนิดชอบน้ำจากน้ำยางธรรมชาติ. (PREPERATION OF HYDROPHILIC MEMBRANE FROM NATURAL RUBBER LATEX) อ. ที่ปรึกษา : ดร. ชันทอง สุนทรภา , 132 หน้า. ISBN 974-346-650-9.

เพื่อปรับปรุงและควบคุมสมบัติความชอบน้ำของพอลิเมอริ์ในน้ำยางธรรมชาติ วิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอเทคนิคการผสมพอลิอะครีลาไมด์และอนุพันธ์ไคโตแซนฟาทาเลทซึ่งเป็นพอลิเมอริ์ที่มีสมบัติชอบน้ำเข้ากับน้ำยางธรรมชาติเพื่อควบคุมสมบัติความชอบน้ำของน้ำยางธรรมชาติให้อยู่ในระดับที่ต้องการ โดยการผสมทางกล การสังเคราะห์โครงร่างแหพอลิเมอริ์กึ่งอินเตอริ์ฟิเนตรติงโดยน้ำยางเกิดโครงร่างตาข่าย การสังเคราะห์โครงร่างแหพอลิเมอริ์กึ่งอินเตอริ์ฟิเนตรติงโดยพอลิเมอริ์รองเกิดโครงร่างตาข่ายและการสังเคราะห์โครงร่างแหพอลิเมอริ์อินเตอริ์ฟิเนตรติง ระหว่างน้ำยางธรรมชาติกับพอลิเมอริ์ทั้งสอง โดยเฉพาะสำหรับการแยกสารผสมอะซีโโทรบของน้ำ โดยวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้สารผสมอะซีโโทรบของเอธานอลและน้ำ (เอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร) วิทยานิพนธ์นี้แปรผันสัดส่วนร้อยละของพอลิอะครีลาไมด์หรือไคโตแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นเท่ากับ 20, 40 และ 60 ส่วน แปรผันปริมาณสารเชื่อมโยงเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในร่างแหพอลิอะครีลาไมด์ร้อยละ 0, 1, 4 และ 7 โดยน้ำหนักหรือแปรผันเวลาของการแช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกในเมธานอลเป็น 0, 8, 16 และ 24 ชั่วโมง ในกรณีของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-ไคโตแซนฟาทาเลท จากการทดสอบเยื่อแผ่นจากการผสมทางกล จากการสังเคราะห์โครงร่างแหพอลิเมอริ์กึ่งอินเตอริ์ฟิเนตรติงโดยน้ำยางเกิดโครงร่างตาข่าย จากการสังเคราะห์โครงร่างแหพอลิเมอริ์กึ่งอินเตอริ์ฟิเนตรติงโดยพอลิเมอริ์รองเกิดโครงร่างตาข่ายและจากการสังเคราะห์ร่างแหพอลิเมอริ์อินเตอริ์ฟิเนตรติง พบว่า เยื่อแผ่นทนแรงดึงได้อยู่ในช่วง 4.2-26.4, 13.3-36, 4.6-42 และ 13.5-24.1 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับสำหรับเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์และ 0.6-3.2, 0.8-4.3, 0.8-11.2 และ 0.3-7.9 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับสำหรับเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-ไคโตแซนฟาทาเลท เยื่อแผ่นมีค่าการดูดซับรวม 0.038-0.061, 0.027-0.042, 0.018-0.043 และ 0.021-0.035 กรัมต่อกรัมของเยื่อแผ่นแห้ง สำหรับเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์และเท่ากับ 0.058-0.080, 0.028-0.116, 0.030-0.071 และ 0.023-0.067 กรัมต่อกรัมของเยื่อแผ่นแห้ง สำหรับเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-ไคโตแซนฟาทาเลท ค่าการเลือกดูดซับน้ำเท่ากับ 73-926, 779-1348, 720-1808 และ 955-2481 สำหรับเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์และ 17-612, 89-639, 34-1532 และ 238-3044 สำหรับเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-ไคโตแซนฟาทาเลท เยื่อแผ่นแสดงแนวโน้มความชอบน้ำสูงขึ้นเมื่อปริมาณพอลิอะครีลาไมด์หรือไคโตแซนฟาทาเลทและความหนาแน่นของโครงร่างตาข่ายเพิ่มขึ้น

วิทยานิพนธ์นี้สามารถเตรียมเยื่อแผ่นขึ้นเองจากวัตถุดิบภายในประเทศ และสามารถปรับปรุงสมบัติของเยื่อแผ่นให้ได้ตามที่ต้องการ โดยเยื่อแผ่นที่เหมาะสมจะนำไปใช้ในกระบวนการเพอร์เมปเพอเรชันเพื่อคั้นน้ำออกจากสารละลายอะซีโโทรบของเอธานอล ให้ความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.5 คือ เยื่อแผ่นที่เตรียมโดยเทคนิคการสังเคราะห์ร่างแหพอลิเมอริ์อินเตอริ์ฟิเนตรติงจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ ที่อัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 60 ต่อ 40 มีปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในร่างแหพอลิอะครีลาไมด์และน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-ไคโตแซนฟาทาเลท ที่อัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อไคโตแซนฟาทาเลทเท่ากับ 60 ต่อ 40 โดยใช้เวลาแช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกในเมธานอลเท่ากับ 16 ชั่วโมง

ภาควิชาเคมีเทคนิค.....

สาขาวิชาเคมีเทคนิค.....

ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4172294223 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: HYDROPHILIC MEMBRANE / NATURAL RUBBER LATEX / POLYACRYLAMIDE / PHTHALATED
CHITOSAN / WATER SORPTION SELECTIVITY

SONGSAK KLAMKLANG : PREPARATION OF HYDROPHILIC MEMBRANE FROM NATURAL
RUBBER LATEX. THESIS ADVISOR : KHANTONG SOONTARAPA, D. ENG., 132 pp.
ISBN 974-346-650-9.

To improve and control the hydrophilic property of natural rubber latex (NR) as base polymer within the desired range, blending techniques of polyacrylamide (PAM) or phthalated chitosan (PhChi) as secondary polymer into latex structure were studied. Mechanical blending (MB), semi-interpenetrating polymer networks (semi-IPNs) either to base polymer or secondary polymer and interpenetrating polymer networks (IPNs) were proposed especially for the application with aqueous azeotrope solution. Aqueous azeotrope solution of ethanol (95% by volume of ethanol) was used as model solution in this thesis. The PAM and PhChi content in membrane were varied as 20, 40 and 60 %. Ethylene glycol dimethacrylate (EGDM) used as crosslinking agent for PAM were varied as 0, 1, 4 and 7 %wt. Sulfuric in methanol solution was used as crosslinking agent for PhChi membrane and the crosslink density was varied by varying immersing time 0, 8, 16 and 24 hr. The tensile strength for MB, semi-IPN toward NR networks, semi-IPN toward secondary polymer networks and IPN membrane were 4.2-26.4, 13.3-36, 4.6-42 and 13.5-24.1 N/mm² for NR-PAM membrane and 0.6-3.2, 0.8-4.3, 0.8-11.2 and 0.3-7.9 N/mm², for NR-PhChi membrane, respectively. The total sorptions were 0.038-0.061, 0.027-0.042, 0.018-0.043 and 0.021-0.035 g/g of dried membrane for NR-PAM membrane and 0.058-0.080, 0.028-0.116, 0.030-0.071 and 0.023-0.067 g/g of dried membrane for NR-PhChi membrane, respectively. Water sorption selectivity were 73-926, 779-1348, 720-1808 and 955-2481 for NR-PAM membrane and 17-612, 89-639, 34-1532 and 238-3044 for NR-PhChi membrane, respectively. The membrane presented the increasing trend of hydrophilic properties according to the PAM or PhChi content in membrane and according to the crosslink density.

The membrane with desired properties can be prepared with domestic material. The potential membrane utilized for pervaporation of aqueous azeotrope of ethanol solution to be more than 99.5 percent by volume purity was IPNs type from prevulcanized NR-PAM with 60/40 ratio and 1 % EGDM content and prevulcanized NR-PhChi with 60/40 ratio and 16 hr crosslinking time.

DepartmentChemical Technology..... Student's signature

Field of studyChemical Technology..... Advisor's signature

Academic year 2000 Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาระดับมหาบัณฑิตและวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์ ดร. ชันทอง สุนทรภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ตักเตือนและชี้แนะแนวทางต่างๆ ขอขอบคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และอาจารย์ในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ให้คำแนะนำ

ขอขอบคุณส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือทดสอบตัวอย่างและขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของส่วนอุตสาหกรรมยางทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำ

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยไคติน/ไคโตแซน และหน่วยบริการเทคนิค ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ข้อมูลและอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณอาจารย์สุวลี จันทร์กระจ่าง และคุณ Anil Kumar Anal ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องไดอะไลเซอร์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้เงินสนับสนุนการวิจัย

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบคุณ คุณพ่อ ดวงวิญญานของคุณแม่ คุณตาและคุณยาย เพื่อนๆ ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ยาง.....	4
2.2 ยางสังเคราะห์.....	5
2.3 น้ำยางธรรมชาติ.....	5
2.4 พอลิอะครีลาไมด์.....	10
2.5 ไคติน.....	11
2.6 ไคโตแซน.....	11
2.7 สมบัติของไคตินและไคโตแซน.....	12
2.8 แหล่งของไคติน.....	17
2.9 การเตรียมไคตินและไคโตแซน.....	18
2.10 การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตแซน.....	22
2.11 การปรับปรุงสมบัติของไคโตแซน.....	25
2.12 การผสมพอลิเมอร์.....	27
2.13 การเกิดโครงร่างตาข่าย.....	28
2.14 โครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์อินเทอร์พินิตเรตติง.....	31
2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32

บทที่	หน้า
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	37
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	37
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	38
3.4 การดำเนินงานวิจัย.....	38
3.5 การทดสอบเยื่อแผ่น.....	45
4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	
4.1 การเตรียมโคตินและโคโตแซนจากเปลือกกุ่มกุลาดำ.....	50
4.2 ความสามารถทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่น.....	50
4.3 การวัดค่าดูดซับรวมของเยื่อแผ่นที่เตรียมได้.....	56
4.4 การวัดค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นที่เตรียมได้.....	60
4.5 การหาปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ที่ถูกกราฟท์บนยางธรรมชาติ.....	65
4.6 การศึกษาโครงสร้างภายในเยื่อแผ่น.....	65
4.7 การศึกษาการดูดซับรวมเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง.....	68
4.8 ความมีเสถียรภาพในการทำงานของเยื่อแผ่น.....	71
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	76
5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม.....	80
รายการอ้างอิง.....	81
ภาคผนวก	85
ภาคผนวก ก.....	86
ภาคผนวก ข.....	128
ภาคผนวก ค.....	129
ประวัติผู้เขียน.....	132

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบโดยประมาณของน้ำยางสด.....	6
ตารางที่ 2.2 สมบัติทางเคมีและกายภาพของโคตินและโคโตแซน.....	13
ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการละลายของโคโตแซนในสารละลายกรดชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	16
ตารางที่ 2.4 ปริมาณโคตินที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ.....	19
ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นของน้ำยางและสารละลายมอโนเมอร์อะครีลาไมด์ ที่ เหมาะสม สำหรับเตรียมเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำยางธรรมชาติและพอลิอะครีลาไมด์ต่าง ๆ.....	41
ตารางที่ 3.2 เยื่อแผ่นที่มีสมบัติทางกลและสมบัติความชอบน้ำที่ดีที่เลือกมาศึกษาต่อ.....	48
ตารางที่ 4.1 สมบัติของโคโตแซนที่เตรียมได้.....	50
ตารางที่ 4.2 ค่าความสามารถทนต่อแรงดึงเฉลี่ยของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิ อะครีลาไมด์ โดยใช้จำนวนตัวอย่างเท่ากับ 6 ชิ้น.....	51
ตารางที่ 4.3 ค่าความสามารถทนต่อแรงดึงเฉลี่ยของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-อนุพันธ์ โคโตแซนฟาทาเลทโดยใช้ตัวอย่างจำนวน 6 ชิ้น.....	53
ตารางที่ 4.4 ค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ ในเอธาน อลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	56
ตารางที่ 4.5 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-อนุพันธ์โคโตแซนฟาทาเลท ในเอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงโดยใช้ตัวอย่างทดสอบจำนวน 4 ตัวอย่าง.....	58
ตารางที่ 4.6 ค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ในเอธาน อลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	61
ตารางที่ 4.7 ค่าการเลือกดูดซับน้ำเฉลี่ยของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ – อนุพันธ์โคโตแซน ฟาทาเลทในเอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง.....	63
ตารางที่ 4.8 ผลที่ได้จากการสกัดเยื่อแผ่นด้วยน้ำ.....	65
ตารางที่ 4.9 ค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นที่อุณหภูมิต่างๆ.....	69

ตารางที่ 4.10 ค่าการดูดซับรวมเฉลี่ยและค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่น ในเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จำนวน 4 ครั้ง.....71



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของพอลิอะครีลาไมด์.....	10
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของไคติน.....	11
รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของไคโตแซน.....	12
รูปที่ 2.4 ค่าความหนืดของไคตินที่ละลายใน Formic acid anhydrous ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน การวัดค่าความหนืดที่ 25 องศาเซลเซียส.....	15
รูปที่ 2.5 ผลของเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่อะเซทิล (ในสารละลาย NaOH ร้อยละ 50 อุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส) ที่มีต่อความหนืดของสารละลายไคโตแซน.....	17
รูปที่ 2.6 การเกิดโครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์ที่มี Functional group หลายหมู่.....	28
รูปที่ 2.7 การเกิดโครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์เมื่อมีการใช้สารช่วยในการเกิดปฏิกิริยา.....	29
รูปที่ 2.8 การเกิดโครงร่างตาข่ายขณะเกิดพอลิเมอร์เซชันด้วยการใช้ Polyfunctional monomers.....	30
รูปที่ 3.1 แผนภาพวิธีการเตรียมไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำ.....	39
รูปที่ 3.2 แผนภาพวิธีการเตรียมอนุพันธ์ไคโตแซนฟาทาเลท.....	40
รูปที่ 3.3 ชุดปฏิกิริยาและการทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของพอลิเมอร์อะครีลาไมด์.....	41
รูปที่ 3.4 วิธีการเตรียมเยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์.....	42
รูปที่ 3.5 การขึ้นรูปสารละลายพอลิเมอร์บนแผ่นกระจกที่หุ้มด้วยฟิล์มพีวีซี.....	43
รูปที่ 3.6 เยื่อแผ่นที่พร้อมนำไปทดสอบ.....	43
รูปที่ 3.7 วิธีการเตรียมเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-ไคโตแซนฟาทาเลท.....	44
รูปที่ 3.8 ชิ้นตัวอย่างสำหรับการวัดความต้านทานแรงดึง.....	45
รูปที่ 3.9 เครื่อง Universal tester LLOYD Instruments LR 5K.....	45
รูปที่ 3.10 ชุดระเหยและเก็บตัวอย่างเอธานอลในเยื่อแผ่น.....	46
รูปที่ 3.11 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี Chimadzu GC-14B.....	47
รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) Jeol JSM 6400.....	47
รูปที่ 4.1 ผลของปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและปริมาณเอทิลีนไกลคอล ไดมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์ ต่อความสามารถทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์.....	51

รูปที่ 4.2 ผลของปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและปริมาณเอธิลีนไกลคอล ไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์ต่อความสามารถ ทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์.....	52
รูปที่ 4.3 ผลของปริมาณไคโตแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นและเวลาที่ใช้ทำให้เกิด โครงร่างตาข่ายของไคโตแซนฟาทาเลทต่อความสามารถทนต่อแรงดึงของ เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-ไคโตแซนฟาทาเลท.....	54
รูปที่ 4.4 ผลของปริมาณไคโตแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นและเวลาที่ใช้ทำให้เกิด โครงร่างตาข่ายของไคโตแซนฟาทาเลทต่อความสามารถทนต่อแรงดึงของ เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์-ไคโตแซนฟาทาเลท.....	54
รูปที่ 4.5 ผลของปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและปริมาณเอธิลีนไกลคอล ไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์ต่อค่าการดูดซับรวม ในเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์.....	57
รูปที่ 4.6 ผลของปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและปริมาณเอธิลีนไกลคอลได เมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์ต่อค่าการดูดซับรวมใน เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์.....	57
รูปที่ 4.7 ผลของปริมาณไคโตแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นและเวลาที่ใช้ทำให้เกิดโครงร่าง ตาข่ายของไคโตแซนฟาทาเลทต่อค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ- ไคโตแซนฟาทาเลท.....	59
รูปที่ 4.8 ผลของปริมาณไคโตแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นและเวลาที่ใช้ทำให้เกิดโครงร่าง ตาข่ายของไคโตแซนฟาทาเลทต่อค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคา ไนซ์-ไคโตแซนฟาทาเลท.....	59
รูปที่ 4.9 ผลของปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและปริมาณเอธิลีนไกลคอลได เมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์ต่อค่าการเลือกดูดซับน้ำ ของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์.....	61
รูปที่ 4.10 ผลของปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและปริมาณเอธิลีนไกลคอลได เมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์ต่อค่าการเลือกดูดซับน้ำ ของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์.....	62
รูปที่ 4.11 ผลของปริมาณไคโตแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นและเวลาที่ใช้ทำให้เกิดโครงร่าง ตาข่ายของไคโตแซนฟาทาเลทต่อค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ	

ชาติ-โคโตแซนฟาทาเลท.....	63
รูปที่ 4.12 ผลของปริมาณโคโตแซนฟาทาเลท ในเยื่อแผ่นและเวลาที่ใช้ทำให้เกิดโครงร่าง ตาข่ายของโคโตแซนฟาทาเลทต่อค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นน้ำยางพรี วัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลท.....	64
รูปที่ 4.13 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ.....	66
รูปที่ 4.14 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์.....	66
รูปที่ 4.15 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ (60:40 0%wt EDGM in PAM networks Blending membrane.....	66
รูปที่ 4.16 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตแซนฟาทาเลท (60:40 0 hr crosslinking time Blending membrane)	66
รูปที่ 4.17 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ (60:40 1%wt EGDM in PAM networks crosslinked PAM semi-IPN membrane)	67
รูปที่ 4.18 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตแซนฟาทาเลท (60:40 16 hr crosslinking time crosslinked phthalated chitosan semi-IPN membrane)	67
รูปที่ 4.19 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ - พอลิอะครีลาไมด์ (80:20 0%wt EGDM in PAM networks crosslinked latex semi-IPN membrane.....	67
รูปที่ 4.20 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ - โคโตแซนฟาทาเลท (60:40 0 hr crosslinking time crosslinked latex semi-IPN membrane.....	67
รูปที่ 4.21 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ (80: 20 4%wt EGDM in PAM networks IPN membrane)	68
รูปที่ 4.22 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ - โคโตแซนฟาทาเลท 80:20 16 hr crosslinking time IPN membrane)	68
รูปที่ 4.23 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ -พอลิอะครีลาไมด์(60: 40 1%wt EGDM in PAM networks IPN membrane)	68
รูปที่ 4.24 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ - โคโตแซนฟาทาเลท (60:40 16 hr crosslinking time IPN membrane).....	68
รูปที่ 4.25 กราฟตามสมการของอาร์เรเนียสของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ- พอลิอะครี	

ลาไมด์.....	70
รูปที่ 4.26 กราฟตามสมการของอาร์เรเนียสของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ – ไคโตแซน ฟาทาเลท.....	70
รูปที่ 4.27 เสถียรภาพการดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ - พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วน 60:40 0% wt ของเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลทในโครงร่าง ตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์.....	72
รูปที่ 4.28 เสถียรภาพการดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ - พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วน 60:40 1%wt ของเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลทในโครงร่าง ตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์.....	72
รูปที่ 4.29 เสถียรภาพการดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วน 80:20 0%wt ของเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลทในโครงร่างตา ข่ายพอลิอะครีลาไมด์.....	73
รูปที่ 4.30 เสถียรภาพการดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วน 60:40 1%wt ของเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลทในโครงร่างตา ข่ายพอลิอะครีลาไมด์.....	73
รูปที่ 4.31 เสถียรภาพการดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ - ไคโตแซนฟาทาเลท อัตราส่วน 60:40 เวลาที่แช่เยื่อแผ่นในกรดซัลฟูริกในเมธานอล 0 ชั่วโมง.....	74
รูปที่ 4.32 เสถียรภาพการดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ - ไคโตแซนฟาทาเลท อัตราส่วน 60:40 เวลาที่แช่เยื่อแผ่นในกรดซัลฟูริกในเมธานอล 16 ชั่วโมง.....	74
รูปที่ 4.33 แสดงเสถียรภาพการดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ – ไคโตแซนฟา ทาเลท อัตราส่วน 60:40 เวลาที่แช่เยื่อแผ่นในกรดซัลฟูริกในเมธานอล 0 ชั่วโมง.....	75
รูปที่ 4.34 แสดงเสถียรภาพการดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำพรีวัลคาไนซ์-ไคโตแซนฟาทาเลท อัตราส่วน 80:20 เวลาที่แช่เยื่อแผ่นในกรดซัลฟูริกในเมธานอล 16 ชั่วโมง.....	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

เนื่องจากประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติรายใหญ่ที่สุดของโลก ยางธรรมชาติจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญมากชนิดหนึ่งของไทยและเกี่ยวข้องกับเกษตรกรกว่า 800,000 ครอบครัว [1] แต่ประเทศไทยยังขาดการวิจัยและพัฒนาเพื่อนำยางธรรมชาติมาใช้งานที่หลากหลายมากกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน การนำน้ำยางธรรมชาติมาเตรียมเป็นเยื่อแผ่นสำหรับกระบวนการเพอร์เวปเรชันจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งของการพัฒนารูปแบบการใช้ประโยชน์ของยางธรรมชาติ กอปรกับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีวัตถุดิบสำหรับผลิตแอลกอฮอล์เป็นจำนวนมาก แต่ประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตแอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์สูงพิเศษ (มากกว่าร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร) ได้ จึงทำให้การนำแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้มาใช้ประโยชน์ยังอยู่ในวงจำกัด ปัจจุบันประเทศไทยได้จัดตั้งหน่วยงานและออกกฎหมายเพื่อควบคุมดูแล ตลอดจนการวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์ของเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ ซึ่งมีความจำเป็นต้องใช้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร เพื่อลดการใช้สายเติมแต่งอื่นๆ กระบวนการเพอร์เวปเรชันเป็นกระบวนการหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูงพิเศษ แต่ประเทศไทยยังไม่สามารถพัฒนาเยื่อแผ่นเองได้ จึงทำให้ต้องสั่งซื้อเยื่อแผ่นสำหรับกระบวนการเพอร์เวปเรชันจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูงและเป็นการสูญเสียเงินตราให้กับต่างประเทศ ดังนั้น การพัฒนาเยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติจึงเป็นการพัฒนาเพื่อการผลิตเยื่อแผ่นจากวัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศ เพื่อลดการนำเข้าเยื่อแผ่นจากต่างประเทศ ทั้งยังสามารถผลิตแอลกอฮอล์ความบริสุทธิ์สูงพิเศษซึ่งจะเป็นการเพิ่มคุณค่าและมูลค่าของทั้งน้ำยางธรรมชาติและวัตถุดิบทางการเกษตรที่จะนำมาผลิตแอลกอฮอล์ แต่เนื่องจากพอลิไอโซพรีนในน้ำยางธรรมชาติมีสมบัติเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำ (Water-insoluble polymer) ดังนั้น เยื่อแผ่นที่ได้จึงเป็นชนิดไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic membrane) จึงจำเป็นต้องปรับปรุงสมบัติของน้ำยางธรรมชาติเพื่อเพิ่มความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านได้ของเยื่อแผ่น

วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีการที่จะปรับปรุงและควบคุมสมบัติไม่ชอบน้ำของเยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติ โดยเทคนิคการผสมพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่มีสมบัติชอบน้ำเข้ากับน้ำยางธรรมชาติ เพื่อควบคุมสมบัติความชอบน้ำของพอลิเมอร์ในน้ำยางธรรมชาติให้อยู่ในระดับที่ต้องการ โดยการ

ผสมทางกล (Mechanical blending) การสังเคราะห์โครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์กึ่งอินเตอร์พินิเตรตริง (Semi-interpenetrating polymer network) และการสังเคราะห์โครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์อินเตอร์พินิเตรตริง (Interpenetrating polymer network) ระหว่างน้ำยางธรรมชาติกับพอลิอะครีลาไมด์และอนุพันธ์ไคโตแซนฟาทาเลท

1.2 วัตถุประสงค์

1. เตรียมเยื่อแผ่นชอน้ำจากน้ำยางธรรมชาติและหาภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม
2. ศึกษาความสามารถในการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นที่เตรียมได้จากสารบ่อนอะซีไอโทรบของเอธานอล
3. ศึกษาปริมาณของสารเชื่อมโยงที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. เตรียมไคติน ไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำและทดสอบหาลักษณะสมบัติ
2. เตรียมอนุพันธ์ไคโตแซนฟาทาเลท เพื่อให้สามารถผสมเข้ากับน้ำยางธรรมชาติ
3. เตรียมสารละลายพอลิเมอร์ (Dope solution) ระหว่างพอลิอะครีลาไมด์หรืออนุพันธ์ไคโตแซนฟาทาเลทกับน้ำยางธรรมชาติ โดยเทคนิคการผสม ดังนี้
 - การผสมทางกล (Mechanical blending) โดยไม่มีการเติมสารเชื่อมโยงทั้งแก่น้ำยางธรรมชาติและพอลิเมอร์ที่นำมาผสม
 - การสังเคราะห์โครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์กึ่งอินเตอร์พินิเตรตริง (Semi-interpenetrating polymer network, semi-IPN) โดยการเติมสารเชื่อมโยง (Crosslinking agent) ให้กับน้ำยางธรรมชาติหรือพอลิเมอร์ที่นำมาผสมอย่างใดอย่างหนึ่ง
 - การสังเคราะห์โครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์อินเตอร์พินิเตรตริง (Interpenetrating polymer network, IPN) โดยการเติมสารเชื่อมโยงให้กับทั้งน้ำยางธรรมชาติและพอลิเมอร์ที่นำมาผสม
4. เตรียมเยื่อแผ่นจากสารละลายพอลิเมอร์
 - แปรผันอัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติกับพอลิอะครีลาไมด์หรืออนุพันธ์ไคโตแซนฟาทาเลท ดังนี้ 100/0, 80/20, 60/40 และ 40/60

- แปรผันอัตราส่วนของเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตซึ่งใช้เป็นสารเชื่อมโยงในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์ (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ดังนี้ 0, 1, 4 และ 7
 - แปรผันความหนาแน่นโครงร่างตาข่ายของอนุพันธ์ไคโตแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่น โดยแช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกในเมธานอลเป็นเวลา 0, 8, 16 และ 24 ชั่วโมง
5. ตรวจสอบสมบัติเยื่อแผ่นที่เตรียมได้
- ความต้านทานต่อแรงดึง
 - ทดสอบค่าการดูดซับรวมและค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นในเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตรด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)
 - ลักษณะภาคตัดขวางเยื่อแผ่นโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)
 - ความมีเสถียรภาพในการเลือกดูดซับ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ได้ภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เยื่อแผ่นขบบน้ำจากน้ำยางธรรมชาติสำหรับใช้ในการแยกของผสมอะซีโโทรบของเอธานอล
2. ช่วยเพิ่มมูลค่าและการใช้ประโยชน์ของน้ำยางธรรมชาติ
3. ช่วยลดปริมาณของเสียจากเปลือกกุ้งของอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็งและเพิ่มประโยชน์และคุณค่าการใช้งานของเปลือกกุ้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยาง (Rubber) [2]

ยาง เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecule) ซึ่งทางเคมีเรียกว่าเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ (Polymer) มีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้ (Elasticity) ก่อนสงครามโลกครั้งที่หนึ่งยางที่ใช้จะมาจากพืชที่ให้ยางที่มีถิ่นกำเนิดในตอนใต้ของทวีปอเมริกา แต่ปัจจุบันได้มีการสังเคราะห์ยางสังเคราะห์ขึ้นมาอย่างมากมาย เพื่อใช้ในการอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง ส่วนยางธรรมชาติเองก็มีการพัฒนารูปแบบ ชนิดและกรรมวิธีผลิตออกไปอย่างกว้างขวาง

พืชที่ให้ยางมีประมาณ 2,000 ชนิด แต่มีเพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถให้ยางที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในทางการค้าได้ พืชที่สำคัญเหล่านี้คือ ยางพาราและยางวายุแล่ พืชทั้งสองชนิดนี้สามารถให้ยางที่มีโครงสร้างและสมบัติเหมือนกัน เมื่อนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีพืชที่ให้ยางที่มีโครงสร้างต่างออกไปอีก 2 ชนิด คือ ยางกัตตา ยางบาลาตาและยางซิคเคิ้ล

2.1.1 ยางพารา (Hevea brasiliensis)

ยางพารา เป็นพืชที่ปลูกมากในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญที่สุดของโลก [2] ยางพาราเป็นยางธรรมชาติที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมมากที่สุด และเป็นที่ยอมรับและเข้าใจกันทันทีว่าเมื่อกล่าวถึงยางธรรมชาติจะหมายถึงยางจากต้นยางพารา

2.1.2 ยางวายุแล่ (Guayule)

ยางวายุแล่ เป็นพืชพื้นเมืองของทางตอนเหนือและตอนกลางของประเทศเม็กซิโกและตะวันออกเฉียงเหนือของรัฐเท็กซัส สหรัฐฯ มียางอยู่เกือบทุกส่วนของลำต้นยกเว้นใบ เมื่อต้นยางวายุแล่โตเต็มที่จะมีความสูงประมาณ 75-100 เซนติเมตรและจะสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เมื่อต้นยางมีอายุ 4-5 ปี เนื่องจากน้ำยางจะกระจายอยู่ตามเซลล์ไม่ต่อเนื่องอย่างยางพารา การเก็บเกี่ยวจึงทำโดยการถอนทั้งต้นหรือตัดเหนือพื้นดิน แล้วนำมาบดโดยเครื่อง Buair mill หรือการใช้ตัวทำละลายสกัด เมื่อนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติกับยางพารา พบว่า น้ำยางจากต้นยางวายุแล่

จะมีเนื้อยางแห้งน้อยกว่าโดยมีเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่น้ำยางจากต้นยางพาราจะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 25-45 เปอร์เซ็นต์ น้ำยางววยยูเล่จะมีปริมาณโปรตีน กรดอะมิโนและสารกลุ่มพอลิเปปไทด์อื่นๆ น้อยกว่าน้ำยางพารา ส่วนโครงสร้างทางเคมีของยางเป็น cis-1,4 Polyisoprene เช่นเดียวกันทั้งสองชนิด ทำให้อย่างแห้งที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกัน

2.1.3 ยางกัตตา ยางบาลาตาและชิคเคิ้ล (Gutta-Percha, Balata and Chicle)

พืชทั้งสามชนิดสามารถให้ยางได้เช่นเดียวกับต้นยางพาราและต้นยางววยยูเล่ แต่น้ำยางที่ได้จะมีสมบัติและส่วนประกอบที่แตกต่างออกไป โครงสร้างทางเคมีของยางที่ได้เป็น trans-1,4 Polyisoprene ในอุตสาหกรรมจะใช้น้ำยางกัตตาเป็นส่วนประกอบของลูกกอล์ฟและพื้นปดอม ใช้น้ำยางบาลาตาในการอุตสาหกรรมสายพานและใช้น้ำยางชิคเคิ้ลในการผลิตหมากฝรั่ง

2.2 ยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber) [2]

ยางสังเคราะห์ได้เริ่มต้นจากการค้นคว้าวิจัยโดยอาศัยการศึกษาจากโมเลกุลของยางธรรมชาติ สงครามโลกครั้งที่ 1 (พ.ศ.2457-2461) เป็นแรงผลักดันสำคัญที่ทำให้เกิดการศึกษา ค้นคว้า และวิจัยเพื่อหายางสังเคราะห์ขึ้นเพื่อทดแทนยางธรรมชาติจนกลายมาเป็นการผลิตเพื่อการค้าในระดับอุตสาหกรรมในปัจจุบัน เนื่องจากสาเหตุดังนี้

- ปัญหาค่าขาดแคลนยางธรรมชาติที่จำเป็นในการผลิตยุทธภัณฑ์ เพราะการคมนาคมติดต่อระหว่างประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติและประเทศผู้ใช้งานไม่สะดวก
- ความไม่แน่นอนของราคายางธรรมชาติ
- ความต้องการคุณสมบัติพิเศษบางประการ เช่น การผลิตท่อยางทนน้ำมัน ทนความร้อนสูง ซึ่งยางธรรมชาติไม่สามารถทนน้ำมันและความร้อนได้

2.3 น้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex) [2]

2.3.1 สมบัติและส่วนประกอบของน้ำยาง

น้ำยางสดจากต้นยางพารามีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือครีม ในทางเคมีจัดเป็นคอลลอยด์ มีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มี pH ประมาณ 6.5-7.0 ความ

หนืดและส่วนประกอบของสารในน้ำยางไม่แน่นอนขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น พันธุ์ยาง อายุ ต้นยาง การกรีดและฤดูกาล ซึ่งได้แสดงส่วนประกอบโดยประมาณของน้ำยางสดในตารางที่ 2.1

เนื้อยางที่อยู่ในน้ำยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีสูตรเคมีเป็น $(C_5H_8)_n$ ชื่อทางเคมีเรียกว่า พอลิไอโซพรีน (Polyisoprene) โครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบ cis-Configuration มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000,000 รูปร่างของอนุภาคยางในน้ำยางจะเป็นลูกกลมหรือลูกแพร์ ขนาด 0.05-5 ไมครอน

ยางสามารถยืดหยุ่นได้เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลขนาดใหญ่ของยางแต่ละโมเลกุลจัดตัวอยู่ในลักษณะเป็นขดของสายโซ่โมเลกุลที่เกิดจากหน่วยย่อยของไอโซพรีนต่อเนื่องกัน เนื้อยางจะประกอบด้วยสายโซ่ของโมเลกุลพอลิไอโซพรีนขดไปมา สายโมเลกุลเหล่านี้มีสมบัติสามารถถูกหักงอหรือยืดหยุ่นได้ (Flexible) การดึงหรือการยืดขึ้นยาง คือ การยืดสายโซ่โมเลกุลของยางให้คลายตัวออก เมื่อปล่อยให้เป็นอิสระ สายโซ่ของโมเลกุลก็จะหดกลับสู่สภาพเดิม

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบโดยประมาณของน้ำยางสด [2]

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total solid content, TSC)	36
เนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC)	33
โปรตีน	1-1.5
เถ้า	1
น้ำตาล	1
น้ำ	64

2.3.2 การรักษาสภาพน้ำยาง

น้ำยางสดเป็นคอลลอยด์ที่มีส่วนของอนุภาคยางกระจายอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่าเซรัม (serum) ในน้ำยาง โดยมีโปรตีนห่อหุ้มอยู่รอบอนุภาคยาง ชั้นโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยางมีความสำคัญต่อสถานะความคงตัวให้อยู่ในสภาพของเหลวของน้ำยาง เพราะชั้นของโปรตีนนี้จะป้องกันการเกาะตัวของอนุภาคยาง

นอกจากชั้นโปรตีนที่ทำหน้าที่รักษาสถานะการเป็นของเหลวให้น้ำยางแล้ว ในชั้นโปรตีนยังมีอนุภาคมูลคาร์บอกซิเลท ($Carboxylate R.COO^-$) ซึ่งก่อให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคยาง ดัง

นั้น สภาพคงตัวของน้ำยางจึงเกิดจากปัจจัย 2 ประการ คือ ชั้นของโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยางและแรงผลักรหว่างอนุภาคคาร์บอกซีเลทบนอนุภาคยาง

การเสถียรภาพความคงตัวของน้ำยางจะเกิดขึ้นเมื่อมีการทำลายปัจจัยสำคัญข้างต้นทั้งสองประการ เช่น การสูญเสียน้ำ (Dehydrated) ของชั้นโปรตีนและการทำลายอนุภาคคาร์บอกซีเลท สภาพดังกล่าวจะทำให้อนุภาคยางเกิดการจับตัวเป็นก้อนยางซึ่งเรียกว่า โคแอกกูลัม (Coagulum) แยกออกจากส่วนที่เป็นเซรุ่ม

2.3.3 สารเคมีที่ใช้ในการรักษาสภาพน้ำยาง (Preservatives)

เนื่องจากในน้ำยางสดมีส่วนประกอบหลายชนิดที่สามารถเป็นอาหารของจุลินทรีย์ได้ เช่น น้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุคโตส เมื่อมีจุลินทรีย์ลงไปปนเปื้อนในน้ำยาง จุลินทรีย์จะทำให้เกิดการกรด กรดที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการจับตัวของอนุภาคยาง การจับตัวแบบนี้เรียกว่าการจับตัวตามธรรมชาติ (Natural or spontaneous coagulation) การจับตัวตามธรรมชาติจะเกิดขึ้นเร็วมากน้อยเพียงใดจะขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ ความคงตัวของน้ำยางและพันธุ์ยาง เป็นต้น เพื่อป้องกันการจับตัวของยางก่อนเวลาที่ต้องการหรือต้องการให้น้ำยางอยู่ในสภาพที่เป็นของเหลวต่อไป จึงมีความจำเป็นที่ต้องเติมสารเคมีอื่น ๆ ลงในน้ำยางเพื่อรักษาสภาพของน้ำยาง

2.3.4 สมบัติของสารเคมีที่ใช้รักษาสภาพน้ำยาง

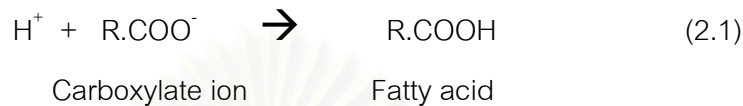
- มีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์
- ควรมีสภาพเป็นเบสเพื่อช่วยรักษาสถานะแวนลอยของอนุภาคยางในน้ำยาง
- สามารถระงับการทำงานของเอนไซม์ที่ช่วยการเจริญของจุลินทรีย์
- ไม่เป็นพิษต่อคนและไม่ทำให้คุณภาพยางลดลง
- กำจัดได้ง่าย

2.3.5 สารเคมีที่ทำให้ยางจับตัว (Coagulant)

เนื่องจากน้ำยางธรรมชาติสามารถจับตัวได้เองตามธรรมชาติ เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้อาหารที่มีอยู่ในน้ำยางจนทำให้เกิดกรดขึ้นในน้ำยาง ทำให้เกิดการทำลายชั้นของโปรตีนที่หุ้มอนุภาคของยางจับตัวเป็นก้อนยาง แต่อย่างไรก็ตามการเกิดการจับตัวตามธรรมชาตินั้นต้องใช้เวลาอันยาวนานกว่าจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ดังนั้น ชั้นแรกของการผลิตยางแห้งคือการทำให้ยางจับตัว

โดยการทำให้ยางจับตัวนั้นต้องใช้สารเร่งการจับตัว โดยจะใช้กรดซึ่งสามารถแตกตัวให้ไฮออนบวก ไฮออนบวกจะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลลบคาร์บอกซิเลต การจับตัวแบบนี้เรียกว่า การจับตัวโดยกรด (Acid coagulation)

ไฮออนบวกที่ได้จากการแตกตัวของกรดคือไฮโดรเจนไฮออน (H^+) และไฮโดรเจนไฮออนจะทำปฏิกิริยากับอนุมูลลบคาร์บอกซิเลตที่อยู่รอบๆ อนุภาคของยางได้เป็นกรดไขมัน ดังปฏิกิริยาที่ 2.1



ทำให้แรงผลักรที่อยู่รอบๆ อนุภาคยางลดลง อนุภาคยางจึงเกิดการจับตัวเป็นก้อนยาง แม้ว่ากรดจะสามารถทำให้ยางจับตัวได้ แต่จากการวิจัยพบว่ากรดที่เหมาะสมสำหรับการผลิตยางแผ่น ยางเครพและยางแท่ง คือ กรดฟอร์มิก

2.3.6 น้ำยางข้น (Concentrated natural latex)

น้ำยางสดที่กรีตได้จากต้นยางพารานั้นจะมีปริมาณเนื้อยางแห้งอยู่ประมาณร้อยละ 25-45 ส่วนที่เหลือก็จะเป็นน้ำเป็นส่วนใหญ่และส่วนประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยางอีกเล็กน้อย ในการนำน้ำยางไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต้องมีการขนส่งน้ำยางจากแหล่งผลิตไปยังโรงงาน และการใช้งานต้องใช้น้ำยางที่มีเนื้อยางมากกว่าในน้ำยางสด จึงมีความจำเป็นต้องทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นของเนื้อยางเพิ่มขึ้นเพื่อความสะดวกและประหยัดในการขนส่ง ตลอดจนความเหมาะสมในการขึ้นรูปใช้งานและความสม่ำเสมอของคุณภาพน้ำยาง น้ำยางที่ได้จะเป็นน้ำยางที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางเป็นร้อยละ 60 ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์

วิธีที่ใช้ในการผลิตน้ำยางข้นที่ใช้ในอุตสาหกรรมมี 3 วิธี คือ การระเหยน้ำ (Evaporation) การทำให้เกิดครีม (Creaming) และการปั่น (Centrifuging) ส่วนอีกวิธีที่สามารถทำได้แต่ไม่ใช้ในระดับอุตสาหกรรม คือ การใช้กระแสไฟฟ้าแยก (Electrodecantation)

2.3.7 การผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่น

หลังจากได้รวบรวมน้ำยางสดจากสวนยางแล้ว จะต้องทำการรักษาคุณภาพน้ำยางโดยการเติมสารรักษาคุณภาพ ซึ่งโดยปกติจะใช้แอมโมเนียเป็นสารรักษาคุณภาพน้ำยางเพียงชนิดเดียวหรือใช้ร่วมกับสารเคมีอื่นๆ เช่น เตตระเมธิลธิูรัมไดซัลไฟด์ (Tetramethyl thiuram disulphide, TMTD) และซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เพื่อรักษาคุณภาพของน้ำยางควรนำน้ำยางเข้ากระบวนการผลิต

ให้เร็วที่สุด หลังจากนั้นจะทำการวัดเนื้อยางแห้งและกรดไขมันที่ระเหยได้ในน้ำยาง ทั้งน้ำยางให้ ตะกอนแมกนีเซียมที่ผ่านการตกตะกอนด้วยไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Diammonium hydrogen phosphate, DAHP) ตกตะกอน แล้วนำน้ำยางเข้าเครื่องปั่น น้ำยางที่ผ่านการปั่นแล้ว จะมีสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นน้ำยางข้นและส่วนที่เป็นหางยาง

2.3.8 การรักษาสภาพน้ำยางข้น

การรักษาสภาพน้ำยางข้นจะใช้แอมโมเนียเป็นสารรักษาสภาพ มี 2 ระบบ คือ

- รักษาสภาพน้ำยางโดยแอมโมเนียปริมาณสูง ประมาณ 0.7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำยาง เรียกว่าน้ำยางข้นชนิดนี้ว่า น้ำยางข้นแอมโมเนียสูง (High ammonia concentrated latex, HA)
- รักษาสภาพน้ำยางโดยแอมโมเนียปริมาณน้อย ประมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักน้ำยางและใช้สารช่วย เช่น TMTD/ZnO เรียกว่าน้ำยางข้นชนิดนี้ว่า น้ำยางข้นแอมโมเนียต่ำ (Low ammonia concentrated latex, LA)

2.3.9 น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanized latex)

น้ำยางพรีวัลคาไนซ์เป็นน้ำยางที่โมเลกุลยางได้ผ่านการทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายบางส่วน โดยการเติมสารเคมีที่ทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายและการให้ความร้อน การผลิตน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ทำโดยนำน้ำยางข้นหรือน้ำยางสดมาเติมสารเคมีซึ่งประกอบด้วย กำมะถัน ซิงค์ออกไซด์ สารเร่งปฏิกิริยา เช่น ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc diethyl dithiocarbamate, ZDC) และสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) แล้วให้ความร้อนกับน้ำยางที่อุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2.5 ชั่วโมง

2.3.10 การใช้ประโยชน์น้ำยางข้น

1. ใช้ทำผลิตภัณฑ์ยางโดยวิธีการจุ่มแม่พิมพ์ (Latex dipping) เช่น ถุงมือยาง ลูกโป่ง ยางอนามัย หัวนมยาง
2. ฉาบยึดเส้นพรมทางด้านหลังแผ่นพรม
3. ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำ เช่น ที่นอน หมอนและเบาะรองนั่ง
4. สายยางยึด เช่น ยางขอบกางเกง-กระโปรง ถุงเท้า
5. ท่อยาง สายยางและสายน้ำเกลือ
6. กาวยาง

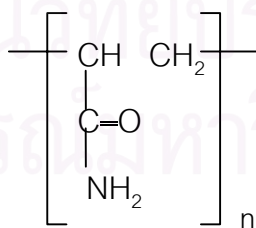
7. ผลิตภัณฑ์หล่อแบบต่างๆ เช่น หุ่นยาง ตุ๊กตายาง

2.3.11 การใช้ประโยชน์น้ำยางพรีวัลคาไนซ์

1. ผลิตภัณฑ์จากการจุ่มแบบแม่พิมพ์ เช่น ถังมือยาง หัวนมยาง
2. สายยางและท่อยาง
3. กาวยาง

2.4 พอลิอะครีลาไมด์ (Polyacrylamide) [7]

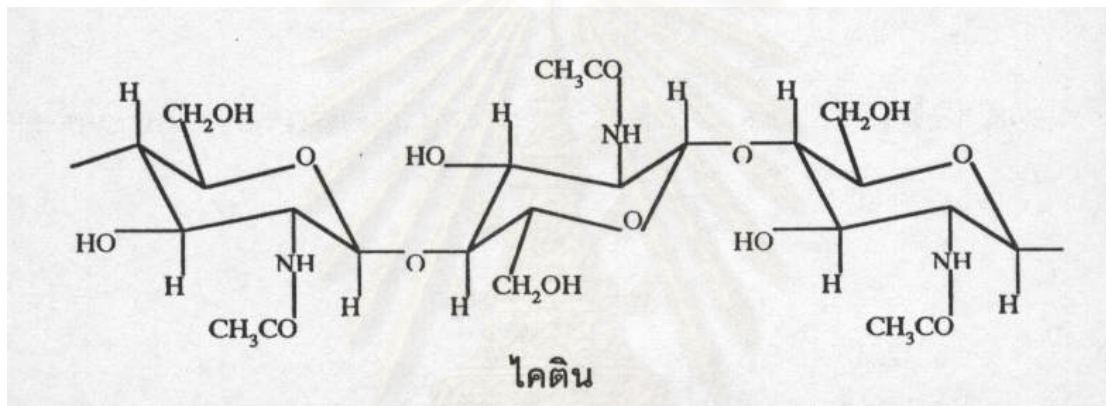
พอลิอะครีลาไมด์ (Polyacrylamide) มีสูตรโครงสร้างเป็นดังรูปที่ 2.1 พอลิอะครีลาไมด์ เป็นพอลิเมอร์ประเภท Nonionic water-soluble polymer มีสมบัติชอบน้ำมากที่สุดในพอลิเมอร์ กลุ่ม Nonionic water-soluble polymer เนื่องจากความชอบน้ำทำให้สามารถละลายได้เล็กน้อย ในเอธิลีนไกลคอล กลีเซอรอลและฟอร์มมาไมด์ แต่ไม่ละลายในเมทานอล เอทานอล อะซีโตน ไดเอทิลอีเทอร์และไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั้งชนิดโซ่ตรงและอะโรมาติก พอลิอะครีลาไมด์มี อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) อยู่ในช่วง 165-188 องศาเซลเซียส สามารถเตรียมได้จากมอนอเมอร์อะครีลาไมด์ได้โดยตรงซึ่งมีหลายวิธี เช่น Thermal polymerization จะเตรียมที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสหรือวิธี Thermal initiated polymerization สามารถเตรียมได้ที่อุณหภูมิ 40-67 องศาเซลเซียส โดยสารประกอบพวก Peroxide หรือ Persulfate เช่น Hydrogen peroxide หรือ Potassium persulfate เป็น Initiator ซึ่งวิธีนี้จะได้พอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงและมีความบริสุทธิ์สูง การใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่จะใช้เป็นสารข้นในสีย้อมและใช้เป็นสารจับตะกอนในกระบวนการตกตะกอนน้ำเสีย



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของพอลิอะครีลาไมด์ [7]

2.5 ไคติน (Chitin) [8]

ไคตินเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลยาวมากโดยไม่มีกิ่งก้านแตกแขนง (Unbranched polysaccharide) สูตรโครงสร้างของไคตินเป็น Poly- β -(1,4)-2-acetamino-2-deoxy-D-glucose หรือ Poly N-acetyl-glucosamine ซึ่งแต่ละหน่วยจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -(1,4) และมีสูตรทั่วไปคือ $(C_8H_{13}NO_5)_n$ ประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 47.29 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.45 ไนโตรเจนร้อยละ 6.89 และออกซิเจนร้อยละ 39.37 [9] และเมื่อพิจารณาจากสูตรโครงสร้างของไคตินพบว่าไคตินเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไม่ใช่ประจุ (Nonelectrolytic polymer) ดังแสดงในรูป 2.2



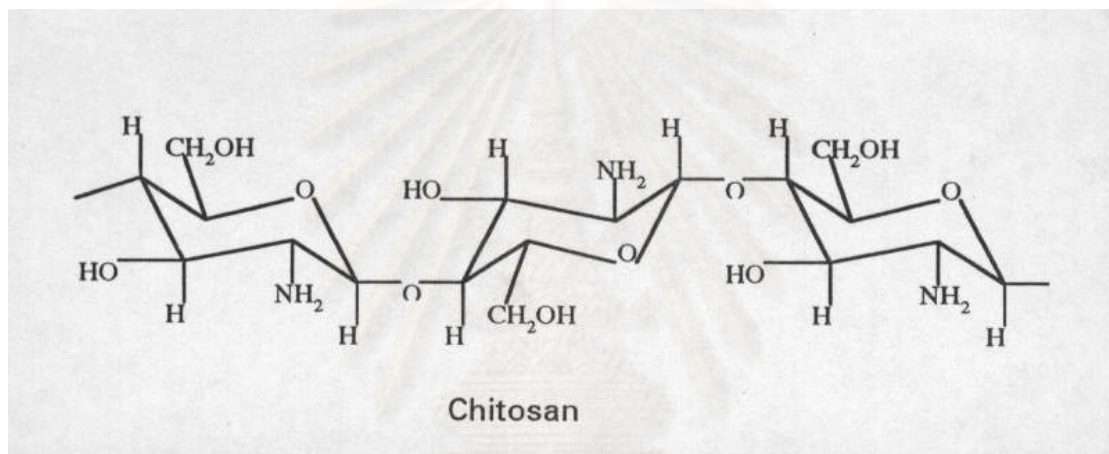
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของไคติน [8]

โครงสร้างทางเคมีของไคตินมีความคล้ายคลึงกับเซลลูโลสจะต่างกันเพียงแต่หน่วยย่อยของเซลลูโลสเป็น D-glucose ส่วนหน่วยย่อยของไคตินเป็นอนุพันธ์ของกลูโคสคือ N-Acetylglucosamine โดยที่หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ตรงคาร์บอนตำแหน่งที่สองของเซลลูโลสจะถูกแทนที่ด้วย Acetylated amino (-NH-COCH₃) [4] ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าแท้จริงแล้วไคตินก็คืออนุพันธ์ของเซลลูโลสนั่นเอง

2.6 ไคโตแซน (Chitosan) [8]

ไคโตแซนเป็นอนุพันธ์ของไคติน มีชื่อทางเคมีว่า Poly- β -(1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose สูตรทั่วไปคือ $(C_8H_{11}O_4N)_n$ และมีสูตรโครงสร้างทางเคมีของไคโตแซนดังแสดงในรูปที่ 2.3

ไคโตแซนเกิดจากการกำจัดหมู่แอสเตทิลในไคตินออก (Deacetylation) โดยที่หมู่แอสเตทิล ($-\text{CO}-\text{CH}_3$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองจะถูกตัดออกเหลือเป็นหมู่เอมีน ($-\text{NH}_2$) ซึ่งไคโตแซนสามารถที่จะมีประจุบวกบนหมู่เอมีนได้ ดังนั้นการเพิ่มของหมู่เอมีนนี้จะไปเพิ่มสมบัติการเป็น Polycationic activity บนพอลิเมอร์ การเกิดไคโตแซนนั้นขึ้นอยู่กับ การเกิด Deacetylation โดยดูจากค่า Degree of deacetylation ไคตินที่มี Degree of deacetylation ประมาณร้อยละ 50 จะถูกเรียกว่าไคโตแซน แต่โดยทั่ว ๆ ไปแล้วไคโตแซนจะมี Degree of deacetylation อยู่ในช่วงร้อยละ 70 ถึง 90 ซึ่งก็คือยังคงมีหมู่ N-Acetyl เหลืออยู่ในโครงสร้างประมาณ 10 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ถ้าหมู่แอสเตทิลถูกกำจัดออกไปประมาณร้อยละ 90 ถึง 100 จะเรียกว่า Full deacetylation



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของไคโตแซน [9]

2.7 สมบัติของไคตินและไคโตแซน

สมบัติทางเคมีและกายภาพของไคตินและไคโตแซนดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางเคมีและกายภาพของไคตินและไคโตแซน [8]

Characteristic parameter	Chitin	Chitosan
Molecular weight (Dalton) ^a	>10 ⁶ (native chitin) (1-5) x 10 ⁵ (commercial product)	(1-5)x10 ⁵ (commercial product)
Degree of polymerization (Average no. of the repeating unit in a molecule)	600-1800	600-1800
X-ray diffraction (Peaks)	8° 58' - 10° 26' 19° 58' - 20° 00'	8° 58' - 10° 26' 19° 58' - 20° 00'
Idealized composition (Empirical composition)	C ₈ H ₁₃ O ₅ N	C ₆ H ₁₁ O ₄ N
Nitrogen content (%) (Commercial product)	6-7	7-9.5
%Moisture (Air dried product)	2-10	2-10
Extent of deacetylated (%)	10	60-80
Viscosity (cP)	Insoluble	250-2500 (1% in Acetic acid) Non-Newtonian and shear thinning
%Ash at 900°C	<1.0	<1.0
Transition metals ^b , µg/g	<0.5	<0.5 ^c

molecular weight and degree of polymerization (DP) is variable and depend on the source. The commercial products have low molecular weight and degree of polymerization because of degradation during extraction process.

^bExcluding Fe which is present but not detrimental to application

^cCrab chitosan contain typically (µg/g): V=0.12; Cr=0.04; Mn=0.09; Ni=1.3; Cu=1.03; Ag= 0.02; Cd=0.22; Hg=0.025 and Pb=0.15

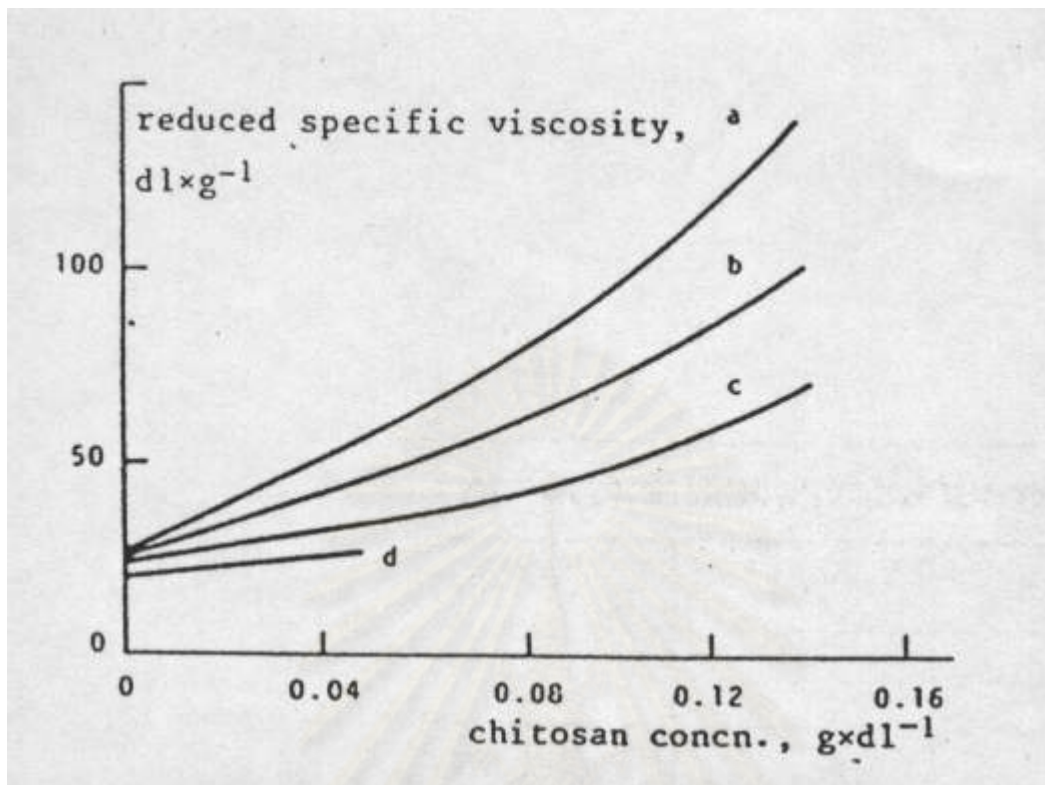
2.7.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของไคติน

2.7.1.1 การละลาย (Solubility)

ไคตินเป็นพอลิเมอร์ที่ไร้ประจุทำให้ไม่สามารถละลายได้ในน้ำ กรดอ่อน และด่าง แต่ไคตินสามารถละลายได้ในกรดแก่ เช่น กรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 78-79 โดยน้ำหนัก กรดคาร์บอกซิลิก และกรดซัลโฟนิก เช่น กรดฟอร์มิก ไคคลอโรแอซีติก ไตรคลอโรแอซีติก และกรดมีเทนซัลโฟนิก ไคตินจะละลายในกรดฟอร์มิกที่มีความแรงของกรดสูง แต่ระบบตัวทำละลายนี้จะว่องไวต่อน้ำซึ่งทำให้การละลายของไคตินลดลง อย่างไรก็ตามสามารถจะปรับปรุงการละลายได้โดยการเติมเกลือที่ละลายน้ำได้ เช่น NaCl, NaBr, CaCl₂, LiCl, KCl และ KSCN การละลายของไคตินในกรดแก่จะทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการสลายตัวได้ (Degrade) และพบว่าตัวทำละลายประเภท Tertiary amide (R-CO-N-R₂) ที่มี Lithium chloride (LiCl) ในปริมาณอย่างน้อยร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สามารถที่จะละลายไคตินได้ดีโดยเฉพาะ N,N-Dimethyl-acetamine และ N-Methyl-2-pyrrolidinone ซึ่งระบบตัวทำละลายนี้ไม่มีผลทำให้ไคตินเกิดการสลายตัว นอกจากนี้แล้วไคตินยังสามารถละลายได้ในตัวทำละลาย Hexafluoroisopropanal (HFIP) และ Hexafluoroacetone sesquihydrate (HFAS) แต่สาร HFIP จะก่อให้เกิดความระคายเคืองและ HFAS เป็นสารที่มีพิษมากทำให้การใช้งานของตัวทำละลายทั้ง 2 นี้ถูกกำจัดไป

2.7.1.2 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคตินจะมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง (Non-linear) กับระยะเวลาและความเข้มข้นของสารละลาย ดังแสดงในรูป 2.4 ความหนืดของสารละลายไคตินจะลดลงตามระยะเวลาถึงช่วงเวลาที่หนึ่งความหนืดจะคงที่ และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไคตินมากขึ้นจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสายโซ่พอลิเมอร์เกิดลักษณะ Entangle มากขึ้น



รูปที่ 2.4 ค่าความหนืดของไคตินที่ละลายใน Formic acid anhydrous ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน วัดความหนืดที่ 25 องศาเซลเซียส โดยจุดตัดเป็นค่า Intrinsic viscosities, a = วันที่ 4, b = วันที่ 5, c = วันที่ 6 และ d = วันที่ 14 [8]

นอกจากนี้ อุณหภูมิของสารละลายยังมีผลต่อความหนืดซึ่งพบว่าเมื่อสารละลายมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้มีความหนืดลดลง

2.7.2 สมบัติทางเคมีและกายภาพของไคโตแซน

2.7.2.1 การละลาย (Solubility)

ไคโตแซนจะไม่ละลายน้ำที่มีค่าความเป็นกรดต่างสูงกว่า 6.5 ตัวทำละลายที่เป็นต่างและ Mineral acid ที่เข้มข้น เช่น กรดซัลฟูริก ไคโตแซนสามารถละลายได้ในสารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง ได้แก่ สารละลายกรดแอสติค สารละลายกรดซิตริก และสารละลายกรดฟอร์มิกที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.2-100 โดยปริมาตร [10] และในภาวะที่เป็นกรดนี้ หมู่เอมีนอิสระ ($-NH_2$) จะถูกโปรโตเนตไปอยู่ในรูปของหมู่ Cationic amino ($-NH_3^+$) [8] นอกจากนี้ไคโตแซนยังสามารถละลายได้ใน

ตัวทำละลายกรดอินทรีย์ที่เจือจาง ได้แก่ สารละลายไฮโดรคลอริก, สารละลายกรดไนตริก และละลายได้เล็กน้อยในสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร ความสามารถในการละลายของโคโคแซนในสารละลายกรดชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความสามารถในการละลายของโคโคแซนในสารละลายกรดชนิดต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นของกรดต่าง ๆ กัน [8]

ชนิดของกรด	ความเข้มข้นของสารละลายกรด (v/v)				
	1%	5%	10%	50%	>50%
Acetic	+	+	+	+	
Adipic	+				
Citric	-				
Formic	+	+	+	+	+
Lactic	+	+	+		
Malic	+	+	+		
Tatic	-		+		
Hydrochloric	+	-	-		
Nitric	+	-	-		
H ₃ PO ₄ *	-	-	-		
Sulfuric	-	-	-		

หมายเหตุ

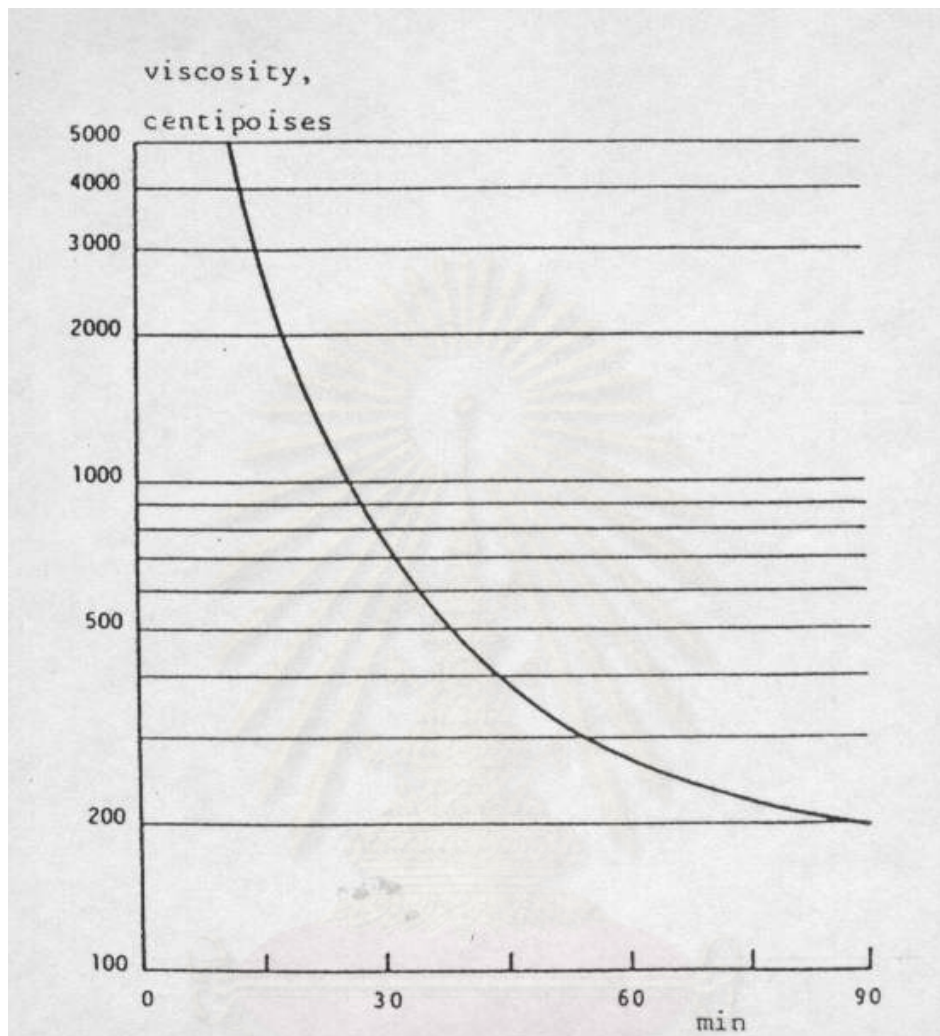
+ แสดงว่าโคโคแซนสามารถละลายได้ - แสดงว่าโคโคแซนไม่สามารถละลายได้

*แสดงว่าโคโคแซนไม่สามารถละลายได้ในกรดซัลฟูริกและกรดฟอสฟอริก แต่สามารถละลายได้ในกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นกรดน้อยกว่า 0.5%

2.7.2.2 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายโคโคแซนขึ้นอยู่กับภาวะที่ใช้การกำจัดหมู่แอเซทิล (Deacetylation) ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายไฮดรอกไซด์และเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิล ซึ่งพบว่าการใช้สารละลายไฮดรอกไซด์เข้มข้นมากและเวลานาน จะทำให้ความหนืดของสารละลายลดลง เนื่องจากภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิลรุนแรงโดยจะมีผลทำให้เกิดการแตกขาดของสายโซ่โมเลกุล เวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิลทำให้ความหนืดของสาร

ละลายไคโตแซนเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งพบว่าทำให้มีปัญหาในการผลิตไคโตแซนที่มีมวลโมเลกุลสูง



รูปที่ 2.5 ผลของเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอสเซทิล (ในสารละลาย NaOH ร้อยละ 50 อุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส) ที่มีต่อความหนืดของสารละลายไคโตแซน [8]

2.8 แหล่งของไคติน

ในจำพวกพอลิเมอร์ชีวภาพทั้งหมด ไคตินเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีอยู่มากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (Cellulose) ไคตินพบทั่วไปตามผนังเซลล์พืชและสัตว์ ในสัตว์แหล่งที่พบไคตินอยู่เป็นจำนวนมากได้แก่ กลุ่ม Arthropoda ซึ่งประกอบด้วย Insecta (พวกแมลงต่าง ๆ) ได้แก่ ตัวด้วง, แมลงสาบ และกลุ่ม Crustacea ได้แก่ กุ้ง ปู กุ้ง และเคย เป็นต้น โดยไคตินจะทำหน้าที่เป็นโมเลกุลโครงร่างแข็งภายนอก (Exoskeleton) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเปลือกกุ้งและ

แมลง รวมทั้งกระดูกของปูและปลาหมึก ในพืชบางชนิดอาจจะมีไคตินแทนเซลลูโลสหรือเกิดร่วมกับเซลลูโลสก็ได้ [11] นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบผนังเซลล์ของเชื้อรา เห็ดและยีสต์ รวมทั้งยังพบได้ในสัตว์ชั้นต่ำที่ไม่มีกระดูกสันหลังต่าง ๆ (Invertebrates) ในแหล่งที่พบไคตินนั้นจะมีโปรตีน ไขมัน เม็ดสีและเกลือแคลเซียมเกิดขึ้นปะปนอยู่ด้วย ดังนั้นถ้าต้องการแยกเฉพาะไคตินจะต้องกำจัดสารประกอบที่ปะปนอยู่ ออก ไคตินที่พบในแหล่งต่าง ๆ จะมีปริมาณแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในตารางที่ 2.4

2.9 การเตรียมไคตินและไคโตแซน

2.9.1 การเตรียมไคติน

ไคตินที่พบในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของสารประกอบ (Complex form) กับพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ โดยเฉพาะโปรตีน แร่ธาตุ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ไขมัน และเม็ดสีต่าง ๆ ซึ่งขั้นตอนทั่วไปที่ใช้ในการเตรียมไคตินประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอนคือ

- ขั้นตอนกำจัดแร่ธาตุ (Demineralization)
- ขั้นตอนกำจัดโปรตีน (Deproteinization)
- ขั้นตอนกำจัดไขมันและเม็ดสี (Elimination of lipids and pigments)

2.9.1.1 ขั้นตอนกำจัดแร่ธาตุ (Demineralization) [12]

ขั้นตอนกำจัดแร่ธาตุมี 2 วิธี คือ การใช้สารละลายกรดเจือจาง และการใช้ Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA)

วิธีที่ 1 การกำจัดแร่ธาตุโดยใช้สารละลายกรดเจือจาง [13,14,15]

การกำจัดแร่ธาตุโดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจางที่อุณหภูมิห้องในการละลายแร่ธาตุออก ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต กลไกการเกิดปฏิกิริยามีดังสมการที่

2.2



ตารางที่ 2.4 ปริมาณไคตินที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ [8]

ชนิด	ปริมาณไคติน (%)	ชนิด	ปริมาณไคติน (%)
Crustacea		Insects	
Cancer (Crab)	72.1 ^c	Periplaneta (Cockroach)	2.0 ^a
Carcinus (Crab)	0.4-3.3 ^a	Blatella (Cockroach)	18.4 ^c
	8.29 ^b		10 ^b
	64.2 ^b		35 ^c
Paralithodes (King crab)	35 ^b	Colcoptera (Beetle)	5-15 ^b
Callinectes (Blue crab)	14 ^a		27-35 ^c
Pleuroncodes (Red crab)	1.3-1.8 ^b	Tenebrio (Beetle)	2.1 ^a
Crangon (Shrimp)	5.8 ^b		4.9 ^b
	69.1 ^c		31.3 ^c
Nephropes (Lobster)	69.8 ^c	Diptera (True fly)	54.8 ^c
	6.7 ^b	Pieris (Sulfur butterfly)	64 ^c
Homarus (Lobster)	60.8-77.0 ^c	Grasshopper	2-4 ^c
Lepas (Barnacles)	58.3 ^c		20 ^c
		Bombyx (Silk worm)	44.2 ^c
		Calleria (Wax worm)	33.7 ^c
Fungi			
<i>Aspergillus niger</i>	42.2 ^e	Molluscan Organs	
<i>Penicillium notatum</i>	18.5 ^e	Clamshell	6.1 ^b
<i>Penicillium chrysogenum</i>	20.1 ^e	Oyster shell	3.6 ^a
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	2.9 ^e	Squid, skeletalpen	41.0 ^c
<i>Mucor rouxii</i>	44.5 ^e	Krill, deproteinized shell	40.2 ^c
<i>Lactarius vellereus</i>	19.0 ^e	May (Beetle)	16 ^b
Alaskan shrimp	28 ^d		

aWet body weight

bDry body weight

cOrgan weight of cuticle

dTotal dry weight of cuticle

e Dry weight of the cell wall

นอกจากนี้ยังใช้สารละลายกรดฟอริกในการกำจัดแร่ธาตุ [16] ส่วนในระดับอุตสาหกรรมนั้น ใช้กรดซัลฟริกในการกำจัดแร่ธาตุ [17] ซึ่งสารละลายนี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก และได้แคลเซียมซัลเฟตและแคลเซียมซัลไฟต์เป็นผลพลอยได้ แต่ในการผลิตจะต้องควบคุมปริมาณกรดซัลฟริกต่อเกลือแคลเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วนจำนวนโมเลกุลไม่ต่ำกว่า 2:1 เพื่อป้องกันการเกิดเกลือแคลเซียมซัลไฟต์ซึ่งเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ และอาจปนอยู่กับไคตินได้ การใช้สารละลายกรดในการกำจัดแร่ธาตุนี้อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสลายตัว (Degradable) และสูญเสียสภาพทางธรรมชาติ นอกจากนี้ยังไปกำจัดหมู่แอสเทิลออกบ้างเล็กน้อย

วิธีที่ 2 การกำจัดแร่ธาตุโดยการใช้สารละลาย Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA)

ขั้นตอนการเตรียมไคตินโดยวิธีการใช้สารละลายกรดเจ็องนั้น จะทำให้ภาวะในการกำจัดแร่ธาตุรุนแรงโดยเฉพาะถ้าต้องใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งทำให้เกิดการแตกขาดของสายโซ่โมเลกุล (Fragmentation) และมีการกำจัดหมู่แอสเทิลออกไป ดังนั้นจะทำให้มีผลต่อโครงสร้างของไคติน

การใช้ EDTA จะทำให้ภาวะในการกำจัดแร่ธาตุอ่อนลง โดย EDTA ที่มีความเป็นกรดต่างมากกว่า 7 จะเข้าไปจับกับโครงสร้างของควิตติเคิลในวัตถุดิบอย่างช้าๆ (ประมาณ 2-3 สัปดาห์) [14] นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดของวัตถุดิบจะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการกำจัดแร่ธาตุ โดยการลดขนาดวัตถุดิบเหลือ 1-10 μm จะทำให้เวลาในการกำจัดแร่ธาตุเร็วขึ้น โดยใช้เวลาประมาณ 15 นาที วิธีการใช้สารละลาย EDTA จะดีกว่าการใช้สารละลายกรดคือ จะทำให้เกิดการสูญเสียธรรมชาติของไคตินน้อยกว่าถึงแม้จะมีการกำจัดเกลืออนินทรีย์ได้ไม่สมบูรณ์

2.9.1.2 ขั้นตอนกำจัดโปรตีน (Deproteinization)

ขั้นตอนกำจัดโปรตีนมีอยู่ 2 วิธี ได้แก่ การใช้สารละลายต่างเจ็อง และการใช้แบคทีเรียและเอนไซม์

วิธีที่ 1 การกำจัดโปรตีนโดยการใช้สารละลายต่างเจ็อง

สารละลายต่างเจ็องที่นิยมใช้ในการกำจัดโปรตีน ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยพบว่าอุณหภูมิของสารละลายเจ็องจะมีผลต่อเวลาในการกำจัดโปรตีน ซึ่งสารละลายต่างเจ็องละ 1 ที่อุณหภูมิห้องจะใช้เวลาในการกำจัดโปรตีนประมาณ 24 ชั่วโมง แต่ถ้ามีการให้ความร้อนด้วยไอน้ำจะใช้เวลาในการกำจัดโปรตีนประมาณ 30 นาที – 1 ชั่วโมง

นอกจากนี้ยังสามารถใช้สารละลาย Sodium dodecylbenzenesulfonate และ Dimethylformamide ในการกำจัดโปรตีน [18,19]

การใช้สารละลายต่างในการกำจัดโปรตีนนี้อาจมีผลต่อการสูญเสียสภาพทางธรรมชาติ และเกิดการสลายตัวได้ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดปฏิกิริยา Depolymerization ด้วยโดยเฉพาะที่ อุณหภูมิสูง

วิธีที่ 2 การกำจัดโปรตีนโดยการใส่แบคทีเรียและเอนไซม์

วิธีการนี้เป็นการไฮโดรไลซิสโคตินที่มีโปรตีนอยู่ด้วยการใส่เอนไซม์ Proteinase ที่ได้จากการเจริญเติบโตของเซลล์แบคทีเรีย [14,15] ทั้งนี้ยังกำจัดโปรตีนโดยการใส่เอนไซม์ Tunaproteinase ที่ความเป็นกรดต่าง 8.6 อุณหภูมิ 37.5 องศาเซลเซียส Papain ที่ความเป็นกรดต่าง 5.5-6.0 อุณหภูมิ 37.5 องศาเซลเซียส และใช้ Bacterial Proteinase ที่ความเป็นกรดต่าง 7.0 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 ชั่วโมง และพบว่าจะเหลือโปรตีนอยู่ในโคตินร้อยละ 5 นอกจากนี้ยังพบว่า การกำจัดโปรตีนโดยใช้ เอนไซม์ Papain, Pepsin และ Trypsin พบว่าโคตินที่ได้จะมีหมู่แอเซทิลถูกกำจัดออกไปเพียงเล็กน้อย [13]

2.9.1.3 ขั้นตอนการกำจัดไขมันและเม็ดสี (Elimination of lipids and pigments)

ขั้นตอนการกำจัดไขมันและเม็ดสี ส่วนมากนิยมใช้ตัวทำละลาย คือ เอทานอล, อีเทอร์, อะซีโตน และน้ำร้อน หรืออาจใช้สารพวก Oxidizing agent ที่รุนแรง เช่น สารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ นอกจากนี้ยังมีการใช้โซเดียมเมธาไบซัลไฟท์หรือกรดซัลฟูริก ขั้นตอนการกำจัดไขมันและเม็ดสีนี้อาจทำในระหว่างขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุและโปรตีนหรือภายหลังจากการกำจัดแร่ธาตุและโปรตีนแล้วก็ได้

ดังนั้นคุณภาพ ส่วนประกอบ และมวลโมเลกุลของโคตินที่แตกต่างกันนอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบแล้วยังขึ้นอยู่กับขั้นตอนและภาวะที่ใช้ในการเตรียมโคติน

2.9.2 การเตรียมโคโตแซน

ขั้นตอนการเตรียมโคโตแซนมีขั้นตอนหลักคือ การกำจัดหมู่แอเซทิล (Deacetylation) ในโคตินด้วยสารละลายต่างเข้มข้น โดยทั่วไปนิยมใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งในการกำจัดหมู่แอเซทิลนี้จะใช้สารละลายต่างที่มีความเข้มข้นในช่วงร้อยละ 40-60 โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิที่ใช้จะค่อนข้างสูงประมาณ 80-450 องศาเซลเซียสและการใช้

สารละลายต่างที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิในการกำจัดหมู่แอเซติลที่สูงเกินไปจะทำให้ได้ไคโตแซนที่มีมวลโมเลกุลลดลง [20] เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการสลายตัว และไคโตแซนจะสูญเสียสภาพธรรมชาติได้ ทั้งนี้เนื่องจากภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซติลนั้นค่อนข้างรุนแรง แต่ถ้าความเข้มข้นของต่างต่ำเกินไปจะมีผลต่อการละลายของไคโตแซนในสารละลายกรด ดังนั้นถ้าใช้ความเข้มข้นของสารละลายต่างที่สูง อุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซติลควรจะลดลงเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซติลรุนแรงเกินไป และเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซติลจะมีผลต่อขนาดของมวลโมเลกุลและปริมาณหมู่แอเซติล โดยถ้าเวลาที่ใช้มากขึ้นจะทำให้ปริมาณหมู่แอเซติลในไคโตแซนและขนาดของโมเลกุลลดลง [20]

นอกจากการกำจัดหมู่แอเซติลในไคตินด้วยสารละลายต่างได้แล้ว ยังสามารถเตรียมไคโตแซนด้วยวิธี Alkali fusion โดยทำการหลอมไคตินกับโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ใน Nickel crucible ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน ซึ่งวิธีนี้สามารถกำจัดหมู่แอเซติลได้ 95% แต่ได้ไคโตแซนที่มีสายโซ่สั้นซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ในทางโครมาโตกราฟีและในการตกตะกอนได้ [21]

2.10 การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตแซน

การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตแซนนั้นอาจกล่าวได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งอาศัยสมบัติจำเพาะของพอลิเมอร์ชีวภาพนี้ แนวทางการประยุกต์ใช้สามารถแบ่งเป็นหัวข้อใหญ่ได้ดังนี้

2.10.1 อุตสาหกรรมกระดาษ

ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษมีการใช้ไคตินและไคโตแซนเป็นสารเติมแต่ง (Additive) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กระดาษทั้งในขณะเปียกและแห้ง (Wet and dry strength) ไคโตแซนสามารถใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียว (Thickener) และ Fixing agent เพื่อใช้ในงานพิมพ์กระดาษ และยังพบว่าไคโตแซนจะทำให้กระดาษมีผิวเรียบดีขึ้นและมีความทนต่อการขูดขีด (Wear resistance) ดีขึ้น ไคตินและไคโตแซนยังมีการนำไปใช้ในการผลิตกระดาษที่ใช้ในงานที่ต้องการความสะอาด เช่น กระดาษชำระ กระดาษเช็ดปาก ผ้าอนามัย และผ้าอ้อมเด็ก เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตกระดาษที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle paper) และกระดาษเพื่อการบรรจุ ส่วนน้ำเสียที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมนี้ยังสามารถบำบัดได้ด้วยการใช้ไคตินและไคโตแซนเป็นสารช่วยในการตกตะกอน

2.10.2 อุตสาหกรรมสิ่งทอ

ในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีการใช้ไคตินและไคโตแซนในเส้นใยสิ่งทอที่มีการย้อมติดสีได้ยาก เช่น เส้นใยสังเคราะห์ เส้นใยแก้ว และเส้นใยโพลีฟิน โดยการนำเส้นใยนั้นมาผสมหรือเคลือบผิวด้วยไคตินและไคโตแซน จะทำให้เส้นใยสามารถที่จะรับสีย้อมได้ง่ายขึ้น และช่วยเพิ่มความคงทนของสี (Dry fastness) นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงความแข็งแรงของเส้นใยและช่วยลดการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ในเส้นใยสังเคราะห์ ในการทำ Sizing ผืนผ้าด้วยเกลือของไคโตแซนจะทำให้ได้ผืนผ้าที่มีความเหนียวและปรับปรุงลักษณะปรากฏของผืนผ้าโดยทำให้เกิดความสว่าง (Brightening) และเงามัน (Luster) ของสี ไคตินและไคโตแซนยังใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียวในงานพิมพ์ผ้าที่ใช้สีย้อมประเภทแอซิดและเบสิก และใช้แทนซีผึ้งในงานพิมพ์ผ้าบาติก

2.10.3 งานด้านเภสัชกรรมและการแพทย์

- ผิวหนังเทียม (Synthetic skin)

การรักษาบาดแผลที่เกิดจากติดเชื้อที่ผิวหนัง แผลไฟไหม้และแผลพุพองเป็นหนองสามารถใช้ผิวหนังเทียมในการรักษาได้ ไคโตแซนอะซิเตต (Chitosan acetate) สามารถนำมาทำผิวหนังเทียมได้โดยการผสมกับพอลิเมอร์ที่ละลายตัวได้อีก 2 ชนิด คือเกลือแอมโมเนียมของเคราติน (Ammonium salt of keratin) ที่ได้จากขนแกะและคอลลาเจนอะซิเตต (Collagen acetate) ที่ได้จากหนังสัตว์ ผิวหนังเทียมที่ได้นี้จะสามารถป้องกันบาดแผลจากเชื้อแบคทีเรีย ให้แก๊สและความชื้นซึมผ่านได้ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการรักษาบาดแผล ผิวหนังเทียมนี้สามารถเข้าได้ดีกับเนื้อเยื่อร่างกาย และละลายตัวไปได้หลังจากที่บาดแผลได้รับการรักษาจนสร้างผิวหนังใหม่ขึ้นทดแทนแล้ว

- ไหมเย็บแผล (Surgical sutures)

ไคตินและไคโตแซนสามารถนำมา Extrude ให้อยู่ในรูปของเส้นใยที่บางแต่มีความแข็งแรงซึ่งสามารถนำมาทำเป็นไหมเย็บแผลผ่าตัดได้ และเมื่อแผลหายดีก็ไม่จำเป็นต้องตัดทิ้งเนื่องจากไหมสามารถละลายตัวเอง ไหมเย็บแผลที่ได้จากไคตินและไคโตแซนจะเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อของร่างกายซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ขึ้น

- งานด้านดวงตา (Optical application)

ไคตินและไคโตแซนสามารถนำมาผลิตคอนแทคเลนส์ (Contact lenses) ซึ่งเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อร่างกายมากกว่าพอลิเมอร์สังเคราะห์ นอกจากนี้ยังให้ความรู้สึกสบายในการสวมใส่เนื่องจากเลนส์มีความสามารถในการดูดน้ำและให้อากาศซึมผ่านได้

- Artificial biomembrance for encapsulation of enzyme and cell

ไคโตแซนเมื่อนำมาทำปฏิกิริยากับแอลจิน (Algin) จะได้แผ่นฟิล์มที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็น Encapsulation โดยแผ่นฟิล์มจะทำหน้าที่ห่อหุ้มสารไวซ์ข้างในและสารสามารถจะซึมผ่านเข้าออกได้ แผ่นฟิล์มที่ได้จะเข้ากันได้ดีกับเนื้อเยื่อของร่างกาย

2.10.4 งานด้านโครมาโตกราฟี

ไคตินและไคโตแซนสามารถเป็นตัวกลางในการแยกสารและทำให้ไลโซไซม์ (Lysozymes) มีความบริสุทธิ์ นอกจากนี้เอนไซม์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เช่น Glucose isomerase ที่ใช้ในการผลิตฟรุคโตไซรัป (Fructose syrup) สามารถนำไปตรึงบนไคตินที่เกิดโครงร่างตาข่ายกับกลูตารัลดีไฮด์ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิต

2.10.5 งานด้านบำบัดน้ำ

สิ่งเจือปนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำส่วนมากเป็นประจุลบ ส่วนไคโตแซนที่มีประจุบวกที่มีหมู่อะมิโนอยู่ จึงสามารถใช้เป็นสารช่วยตกตะกอน โดยไคโตแซนจะไปจับกับสิ่งเจือปนทำให้มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นและตกตะกอนลงมา นอกจากนี้ไคโตแซนยังสามารถใช้จับกับไอออนของโลหะที่มีพิษได้ ในการบำบัดน้ำเสียเมื่อใช้ไคโตแซน 5 ppm จะสามารถลดค่า Biological oxygen demand (BOD) ได้ถึงร้อยละ 80-85 ลดปริมาณฟอสเฟตให้เหลือน้อยกว่า 0.5 ppm และกำจัดสิ่งสกปรกที่แขวนลอยอยู่ในน้ำได้ดี

2.10.6 อุตสาหกรรมอาหาร

ไคตินและไคโตแซนเป็นสารที่ไม่เป็นพิษจึงมีความปลอดภัยที่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ไคตินและไคโตแซนสามารถนำมาเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มที่ใช้ในการเคลือบผิวผลไม้เพื่อยืด

อายุการเก็บรักษาให้ยาวนานออกไปและป้องกันเชื้อรา นอกจากนี้ไคตินยังสามารถใช้เป็นสาร Stabilizer และสารเพิ่มความหนืดให้อาหาร ซึ่งพบว่า Micro crystalline chitin จะมีสมบัติดีกว่า Micro crystalline cellulose คือมีความหนืดมากกว่า 10-20 เท่า ทนต่ออุณหภูมิสำหรับการฆ่าเชื้อและการแช่แข็ง และได้มีการนำไปใช้ใส่ขนมปังเพื่อเพิ่มปริมาณให้กับขนมปัง เนื่องจากมีความสามารถในการจับกับน้ำได้ดี ส่วนโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารนั้นสามารถใช้ไคโตแซนในการแยกเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้

2.11 การปรับปรุงสมบัติของไคโตแซน

ไคโตแซนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานหลายด้าน ซึ่งในบางกรณีไคโตแซนอาจมีสมบัติบางอย่างที่ไม่เป็นไปตามต้องการ เช่น ความทนแรงดึง (Tensile strength) ความยืดหยุ่น (Flexibility) ความเปราะ (Brittleness) และความสามารถในการซึมผ่าน (Permeability) เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติของไคโตแซนเพื่อให้เหมาะสมในการนำไปใช้งาน ซึ่งสามารถทำได้โดยการเติม Additives หรือ Plasticizers นอกจากนี้ยังมีการดัดแปลงโครงสร้างทางเคมีของไคโตแซน เช่น การทำกราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน (Graft copolymerisation) บล็อกโคพอลิเมอร์ไรเซชัน (Block copolymerisation) และทำให้เกิดโครงร่างตาข่าย (Crosslinking) เป็นต้น

2.11.1 การดัดแปรไคโตแซนโดยปฏิกิริยาเปิดวงแหวนของฟทาไลคแอนไฮไดรด์ (Chemical modification of chitosan with ring opening reaction of phthalic anhydride) [22]

เนื่องจากไคโตแซนสามารถละลายได้ดีในกรดอินทรีย์ แต่ไม่ละลายในสภาพที่เป็นเบส ดังนั้น เพื่อเพิ่มประโยชน์การใช้งานของไคโตแซนจึงจำเป็นต้องดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของไคโตแซนให้เป็นอนุพันธ์ที่สามารถละลายได้สภาพที่เป็นเบส

จากการศึกษาความสามารถในการละลายของอนุพันธ์ของไคโตแซนที่ได้จากการแทนที่อะตอมไฮโดรเจนในหมู่เอมีนของไคโตแซนที่มีดิกิริการกำจัดหมู่แอเซทิลเท่ากับ 88 ด้วยหมู่ฟังก์ชันจาก Cyclic acid anhydride แอลดีไฮด์ คาร์โบไฮเดรตโมเลกุลเดี่ยวและคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลคู่ที่ค่าความเป็นกรด-เบสต่างๆ พบว่า ไคโตแซนที่มีดิกิริการกำจัดหมู่แอเซทิลเท่ากับ 88 สามารถละลายได้เฉพาะช่วง pH น้อยกว่า 6.5 อนุพันธ์ที่เตรียมจากปฏิกิริยาการเปิดวงแหวนของ Acid anhydride สามารถละลายได้ในสภาพที่เป็นกรดสูงและสภาพที่เป็นเบสทุกค่า pH ยกเว้น อนุพันธ์ที่เตรียมได้จากการเติมหมู่ฟังก์ชันของ Maleic anhydride และ Itaconic anhydride เนื่องจากมีหมู่ไวนิล จึงทำให้ไม่ละลายในทุกค่าความเป็นกรด-เบส จากการศึกษานูพันธ์ที่ได้จากการเติม

หมู่ฟังก์ชันจากแอลดีไฮด์ พบว่า อนุพันธ์มีความสามารถในการละลายในช่วง pH น้อยกว่า 7 ยกเว้นอนุพันธ์จาก 2-Formylbenzoic acid และ 4-Formylbenzoic acid ที่สามารถละลายได้ที่ pH เท่ากับ 1 และมากกว่า 7 ส่วนอนุพันธ์ของ *N*-Furansulfonyl-2-methylaldehyde สามารถละลายได้ที่ pH มากกว่า 7 และอนุพันธ์ที่ได้จากการแทนที่อะตอมไฮโดรเจนด้วยคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลเดี่ยวและคู่ พบว่า สามารถละลายได้ในทุกช่วง pH ยกเว้นอนุพันธ์ที่ได้จาก Glycolaldehyde ที่ไม่ละลายทุกค่า pH และอนุพันธ์จาก D-Xylose ที่ละลายได้ในสภาวะที่เป็นกรดและละลายได้เล็กน้อยในสภาพที่เป็นเบส

2.11.2 การดัดแปรไคโตแซนด้วยปฏิกิริยาโครงร่างตาข่าย (Chemical modification of chitosan with crosslinking)

ในช่วงแรกของการดัดแปรไคตินและไคโตแซน โดยการทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายนั้น คือ เพื่อนำไปใช้งานด้านกำจัดน้ำเสียโดยมีการศึกษาปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายของไคตินที่ละลายน้ำได้ (Water-soluble chitin) ณ อุณหภูมิห้อง [23] ในภาวะที่เป็นสารละลายเนื้อเดียว (Homogeneous) และใช้สารละลายกลูตารัลดีไฮด์เป็นสารช่วยในการเกิดโครงร่างตาข่าย ซึ่งจากการทดลองพบว่าไคตินที่เกิดโครงร่างตาข่ายนั้นสามารถนำไปใช้เป็นตัวดูดซับโลหะที่เป็นอโลหะบวกได้ดี หลังจากนั้นได้มีการศึกษาทดลองการเกิดปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายกับไคโตแซนในภาวะเดิม และพบว่า การเกิดโครงร่างตาข่ายนั้นสามารถไปลดความเป็นผลึก (Crystallinity) ของไคโตแซน ทำให้มีการดูดซับอโลหะได้ดีเช่นกัน

จากการศึกษาการเกิดโครงร่างตาข่ายบนเส้นใยไคโตแซน โดยการใช้สารละลายอีพิกลอโรไฮดรินเป็นสารช่วยในการเกิดปฏิกิริยา ถึงผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของอีพิกลอโรไฮดรินที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา เวลา และแรงดึงที่ให้กับเส้นใยในขณะที่เกิดปฏิกิริยาโครงร่างตาข่าย ซึ่งการทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายนั้นจะทำในขณะที่เส้นใยอยู่ในสภาพที่เปียกเท่านั้น โดยการมัดเส้นใยเป็นวงแล้วแช่ลงในสารละลายอีพิกลอโรไฮดรินที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่มีการแทนที่ด้วยก๊าซไนโตรเจน จากนั้นจะให้แรงกับเส้นใยด้วย จากการทดลองพบว่าเส้นใยที่เกิดโครงร่างตาข่ายจะมีสมบัติด้านความแข็งแรงเมื่อเปียกดีขึ้น ซึ่งความเข้มข้นของอีพิกลอโรไฮดรินและอุณหภูมิจะมีผลต่อสมบัติด้านความแข็งแรงของเส้นใย โดยความเข้มข้นของ อีพิกลอโรไฮดรินเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Tenacity ของเส้นใยเพิ่มขึ้นด้วยและเมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นจนถึง 40 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายได้มากขึ้น แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส สายโซ่ของพอลิเมอร์จะเกิดการสลายตัว ในการทดลองนี้เมื่อเปรียบเทียบกับความแข็งแรงในรูปของเส้นใยกับแผ่น

ฟิล์ม พบว่าเส้นใยจะมีความแข็งแรงดีกว่าเนื่องจากเส้นใยจะมีการจัดเรียงตัวของ Fibrous มากกว่าฟิล์ม และความแข็งแรงเมื่อเปียกของเส้นใยจะดีขึ้นมาก

จากการศึกษาการผสมโคโตนกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และทำให้เกิดโครงร่างตาข่าย ด้วยการใส่สารละลายกลูตาไรลดีไฮด์เป็นสารช่วยในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งนำมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์ม ด้วยเทคนิคการหล่อ (Solvent-casting technique) แผ่นฟิล์มที่ได้นั้นจะมีความเป็นผลึก และการดูดซึมน้ำลดลง แต่สมบัติด้านการทนต่อความร้อนและสมบัติเชิงกลดีขึ้นโดยเฉพาะความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) จะเพิ่มมากขึ้นทั้งในภาวะที่แห้งและเปียก เนื่องจากเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่าง $-OH$ และ $-NH_2$ ในโคโตนกับ $-OH$ ในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ นอกจากนี้แผ่นฟิล์มที่ได้จะไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกรดและด่างทำให้เหมาะสมที่จะใช้เป็นแผ่นฟิล์มที่ใช้ควบคุมการปลดปล่อยสาร

ในการทดลองเตรียมแผ่นฟิล์มโคโตนที่เกิดโครงร่างตาข่าย โดยการใช้สารละลายกลูตาไรลดีไฮด์เป็นสารช่วยในการเกิดปฏิกิริยา [24] เพื่อใช้เป็นตัวปลดปล่อย Propanol hydrochloride ในการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายกลูตาไรลดีไฮด์ ซึ่งทำให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีดีกรีของการเกิดโครงร่างตาข่ายที่แตกต่างกัน การเกิดโครงร่างตาข่ายนี้จะมีผลต่อการซึมผ่านของสาร Propanol hydrochloride จากการทดลองเมื่อวิเคราะห์แผ่นฟิล์มโคโตนที่เกิดโครงร่างตาข่ายด้วยเทคนิค Thermogravimetric (TG) และ Differential Scanning Calorimetry (DSC) จะพบว่าความสามารถในการทนต่อความร้อนของแผ่นฟิล์มจะลดลง แต่การเกิดโครงร่างตาข่ายนี้ช่วยปรับปรุงสมบัติความทนแรงดึงของแผ่นฟิล์ม

2.12 การผสมพอลิเมอร์ (Polymer blending) [25]

การผสมพอลิเมอร์จะแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. การผสมทางกล (Mechanical blending) จะเป็นการผสมพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบโซ่ตรงตั้งแต่ 2 ชนิด โดยไม่มีการเกิดพันธะโคเวเลนต์ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ที่ต่างชนิดกัน การผสมทางกลที่ผสมพอลิเมอร์ที่อยู่ในรูปของเหลวสามารถทำได้โดยใช้พอลิเมอร์ในรูปแบบต่างๆ คือ

1. Melting polymer
2. Polymer solution
3. Polymer dispersion

2. การผสมทางเคมี (Chemical blending) เป็นการนำเอามอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์เริ่มต้นมาผสมกันแล้วทำให้เกิดพันธะโคเวเลนต์ขึ้นระหว่างมอนอเมอร์หรือสายพอลิเมอร์เริ่มต้น โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมี ดังนี้

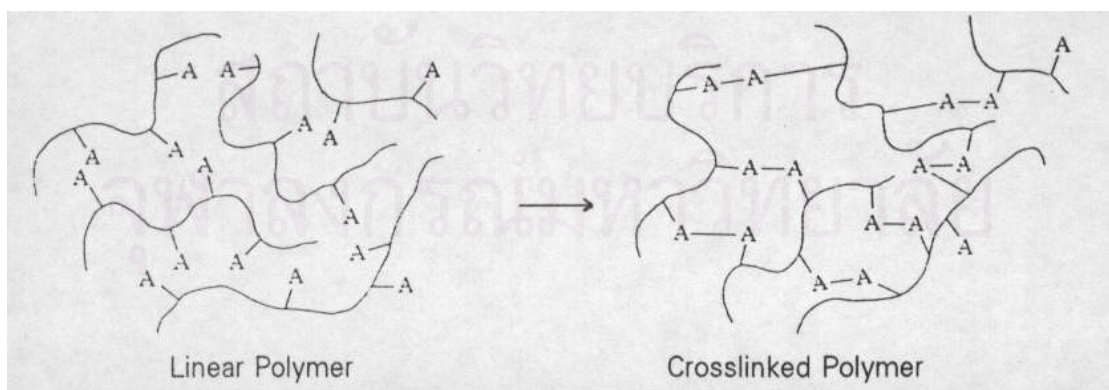
1. Random copolymerization
2. Alternating copolymerization
3. Block copolymerization
4. Graft copolymerization

2.13 การเกิดโครงร่างตาข่าย (Crosslinking) [3]

ปฏิกิริยาโครงร่างตาข่าย (Crosslinking) เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดพันธะเคมีระหว่างสายโซ่โมเลกุล ซึ่งพอลิเมอร์จะมีสายโซ่เชื่อมโยงกันด้วยพันธะอิกอนิก เกิดโครงสร้างแบบโครงร่างสามมิติ (Three-dimension network) ลักษณะของการเกิดโครงร่างตาข่ายแบ่งออกได้ดังนี้

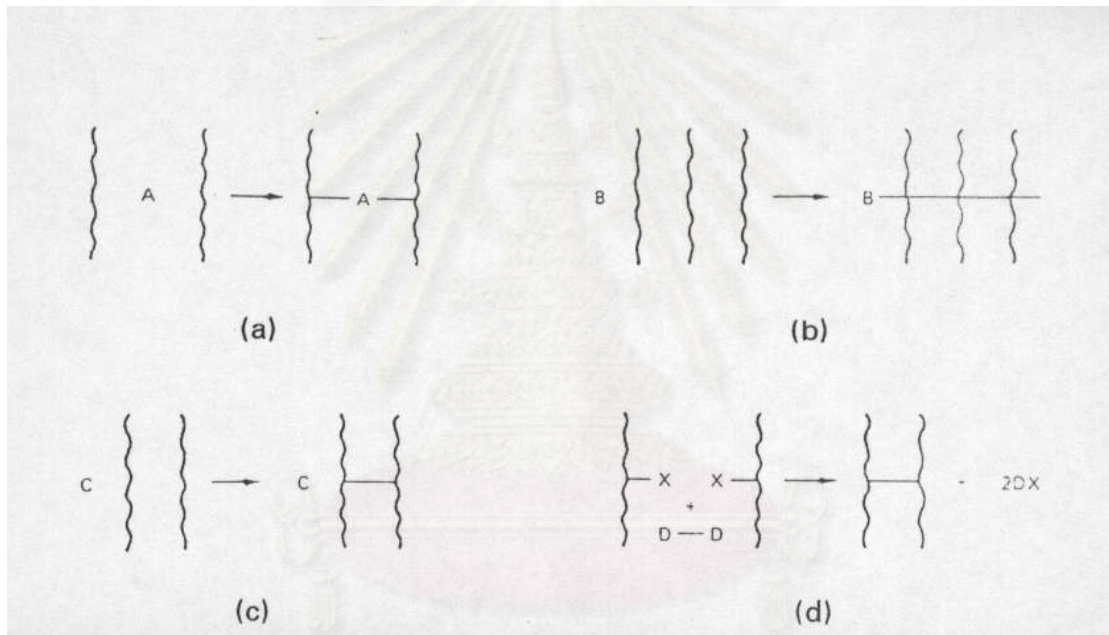
- การเกิดโครงร่างตาข่ายเมื่อพอลิเมอร์สายโซ่ตรง (Linear polymer) หรือพอลิเมอร์กิ่งก้าน (Branched polymer) นั้นมีหมู่ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้หลายหมู่ (Functional group) ถ้าให้ A แทน Functional group ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ด้วยตัวเองและเกิดพันธะ A-A

เมื่อพอลิเมอร์เหล่านี้อยู่ในภาวะที่ทำให้ Functional group เกิดปฏิกิริยาได้จะทำให้สายโซ่ทั้งหมดทำปฏิกิริยากันและเกิดการเชื่อมโยงกันด้วยพันธะ A-A ดังรูปที่ 2.6 ดังนั้นเมื่อโมเลกุลพอลิเมอร์เหล่านี้เกิดการโครงร่างตาข่ายจะทำให้ได้โมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ การเกิดปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายนี้เป็นแบบที่ง่ายที่สุด



รูปที่ 2.6 การเกิดโครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์ที่มี Functional group หลายหมู่ [3]

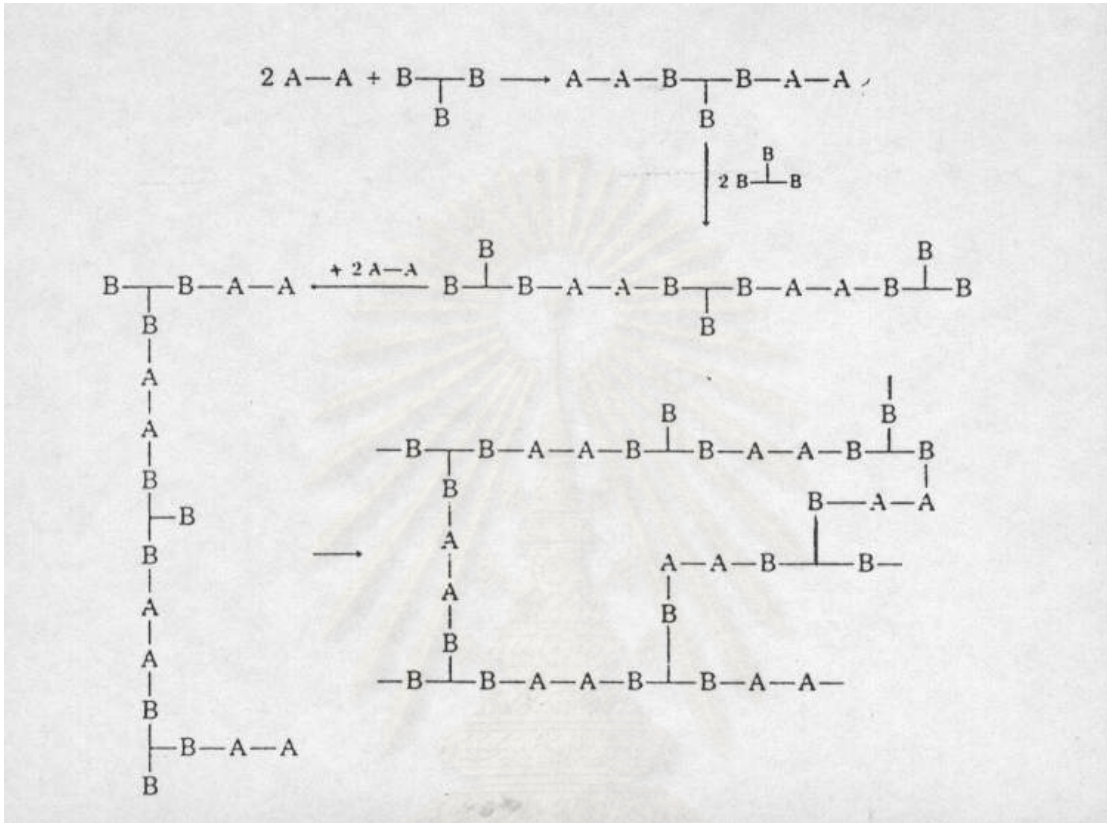
- การเกิดโครงร่างตาข่ายด้วยการใช้สารทำให้เกิดการเชื่อมโยง (Crosslinking agent) การเกิดปฏิกิริยาโครงร่างตาข่าย เกิดขึ้นเนื่องจากโมเลกุลพอลิเมอร์ทำปฏิกิริยาด้วยตัวเอง แต่ปฏิกิริยาแบบง่าย ๆ นี้ไม่สามารถทำให้เกิดโครงสร้างเป็นแบบโครงร่างสามมิติได้ ดังนั้นจึงมีการใช้สารทำให้เกิดการเชื่อมโยง ซึ่งสมบัติของสารช่วยในการเกิดปฏิกิริยา คือเป็นโมเลกุลที่มีหมู่ที่สามารถทำปฏิกิริยากับ Functional group ที่อยู่บนสายโซ่พอลิเมอร์ได้อย่างน้อย 2 หมู่ขึ้นไป สารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงอาจเป็นโมเลกุลที่เชื่อมระหว่างพอลิเมอร์ 2 โมเลกุล (รูป 2.7a) หรือโมเลกุลที่กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาโครงร่างตาข่าย (รูป 2.7b) หรือเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาโครงร่างตาข่าย (รูป 2.7c) หรือเป็นสารที่เข้าไปดั่งโมเลกุลของพอลิเมอร์เพื่อให้เกิดตำแหน่งที่ว่างไว้ต่อการเชื่อมโยง (รูป 2.7d)



รูปที่ 2.7 การเกิดโครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์เมื่อมีการใช้สารช่วยในการเกิดปฏิกิริยา [3] (a) Bridging agent. (b) Cross-linking initiator. (c) Catalytic crosslinking agent. (d) Active site generator

- การเกิดโครงร่างตาข่ายในระหว่างการพอลิเมอไรเซชันด้วยการใช้มอนอเมอร์ที่มี Functional groups เฉลี่ยมากกว่า 2 (Polyfunctional monomers) แทนการใช้มอนอเมอร์ที่มี 2 Functional groups (Difunctional monomer) ปฏิกิริยานี้มักเกิดในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของ Difunctional monomer กับ Trifunctional monomer เช่นปฏิกิริยาของ Diol กับ Triisocyanate ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ในช่วงแรกของปฏิกิริยานั้นพอลิเมอร์ยังมีมวลโมเลกุลต่ำซึ่งมี

หลาย Functional groups และเกิดกึ่งก้านมาก แต่ยังไม่เกิดพันธะเชื่อมโยง แต่ในช่วงหลังปฏิกิริยาถึงจุดหนึ่ง โมเลกุลจะเกิดพันธะเชื่อมโยงได้พอลิเมอร์ที่มีโครงร่างตาข่าย ซึ่งทำให้ความหนืดของสารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สารที่มีความหนืดมากนี้เรียกว่าเจล (Gel)



รูปที่ 2.8 การเกิดโครงร่างตาข่ายขณะเกิดพอลิเมอร์เชนซ์ด้วยการใช้ Polyfunctional monomers [3]

การเกิดโครงร่างตาข่ายในโครงสร้างของโมเลกุลจะทำให้มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ ดังต่อไปนี้

1. สมบัติทางด้านความร้อน

การเกิดโครงร่างตาข่ายขึ้นระหว่างสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecule) จะทำให้มีผลต่อวัสดุในด้านความร้อนคือ ปกติแล้วพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดโครงร่างตาข่ายจะเกิดการหลอม และไหลได้ที่อุณหภูมิสูง แต่ในทางตรงกันข้ามพอลิเมอร์ที่เกิดโครงร่างตาข่ายจะไม่สามารถเกิดการ

หลอมเหลวได้และสูญเสียสมบัติการไหล เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลถูกจำกัดการเคลื่อนไหวจากโครงร่างตาข่ายและเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง ๆ พอลิเมอร์จะไม่หลอมแต่เกิดการสลายตัว

2. สมบัติทางเคมี

การเกิดพันธะเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุลจะทำให้มีผลต่อสมบัติการละลายของพอลิเมอร์ด้วยซึ่งขึ้นอยู่กับธรรมชาติ และปริมาณของพันธะโควาเลนต์ที่เกิดขึ้นระหว่างสายโซ่โมเลกุล ปกติแล้วพอลิเมอร์ที่ไม่เกิดโครงร่างตาข่ายจะเกิดการละลายได้ในตัวทำละลายที่เหมาะสมเนื่องจากโมเลกุลของพอลิเมอร์และตัวทำละลายสามารถผสมกันได้เป็นอย่างดี โดยแรงกระทำระหว่างตัวทำละลายกับพอลิเมอร์มากกว่าแรงดึงดูดระหว่างสายโซ่โมเลกุล แต่พอลิเมอร์ที่เกิดโครงร่างตาข่ายนั้นจะไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลาย แต่จะเกิดการพองตัว เนื่องจากตัวทำละลายไม่สามารถเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของพอลิเมอร์ได้ ทำให้ตัวทำละลายไม่เข้าไปเกิดผลกระทบบต่อพันธะโควาเลนต์ระหว่างโมเลกุลขนาดใหญ่ได้ อย่างไรก็ตามความหนาแน่นของโครงร่างตาข่ายน้อยจะทำให้ตัวทำละลายสามารถเข้าไปในโครงสร้างได้ทำให้เกิดการพองตัวมาก แต่พอลิเมอร์ที่เกิดโครงร่างตาข่ายอย่างแท้จริง ตัวทำละลายจะไม่สามารถเข้าไปในโครงสร้างได้ทำให้ไม่เกิดการพองตัวเลย

3. สมบัติทางกล

การเกิดโครงร่างตาข่ายจะทำให้มีผลต่อสมบัติของวัสดุ โดยจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของโครงร่างตาข่าย (Crosslink density) ที่มีอยู่ในโครงสร้างนั้น พอลิเมอร์ที่ไม่เกิดโครงร่างตาข่ายหรือเกิดน้อยจะมี Crosslink density ต่ำ และทำให้วัสดุนั้นมีสมบัติคล้ายยาง (Elastomer) คือมีความอ่อนนุ่ม (Soft) และยืดหยุ่นได้ (Flexible) แต่พอลิเมอร์ที่เกิดโครงร่างตาข่ายมากมี Crosslink density สูง จะทำให้พอลิเมอร์มีลักษณะแข็ง (Rigid) และเปราะ (Brittle) เนื่องจากพอลิเมอร์มีโครงร่างสามมิติของพันธะโควาเลนต์ ทำให้การเคลื่อนไหวอย่างอิสระของสายโมเลกุลถูกจำกัด

14. โครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์อินเตอร์พินิเตรตติง (Interpenetrating polymer network) [25]

เป็นวิธีการผสมพอลิเมอร์โดยการสังเคราะห์และทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์ชนิดที่หนึ่งขึ้นในโครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์อีกชนิด โดยไม่มีการเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายพอลิเมอร์ที่ต่างชนิดกัน แต่จะแตกต่างจากการผสมทางกลของพอลิเมอร์โครงร่างตาข่ายสอง

ชนิด โครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์ที่ได้จะมีการผสมกันเป็นเนื้อเดียวและให้คุณสมบัติที่อยู่ระหว่างคุณสมบัติของพอลิเมอร์ที่นำมาผสม ซึ่งสามารถเตรียมได้ 2 วิธี คือ

2.14.1 Sequential synthesis

เป็นการสังเคราะห์โครงร่างตาข่ายอินเทอร์พินิตเรตติงโดยมอนอเมอร์ชนิดแรกจะถูกผสมเข้ากับตัวริเริ่มและสารเชื่อมโยงของมอนอเมอร์ชนิดแรก เพื่อให้เกิดเป็นโครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์ชนิดแรก แล้วจึงเติมมอนอเมอร์ชนิดที่สอง ตัวริเริ่มและสารเชื่อมโยงชนิดที่สอง ปล่อยให้พอลิเมอร์ชนิดแรกพองตัวในมอนอเมอร์ชนิดที่สอง แล้วจึงทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของมอนอเมอร์ชนิดที่สอง ซึ่งจะได้โครงร่างตาข่ายที่สานกันของโครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์สองชนิด

2.14.2 Simultaneous synthesis

เป็นการสังเคราะห์โครงร่างตาข่ายอินเทอร์พินิตเรตติงโดยมอนอเมอร์หรือสายพอลิเมอร์เริ่มต้นทั้งสองชนิดจะถูกผสมเข้าด้วยกัน จากนั้นเติมตัวริเริ่มและสารเชื่อมโยงของมอนอเมอร์ชนิดแรก เพื่อทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์ชนิดแรก จากนั้นจึงเติมตัวริเริ่มและสารเชื่อมโยงของพอลิเมอร์ชนิดที่สองเพื่อสร้างโครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์ชนิดที่สองให้สานอยู่กับโครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์ชนิดที่สองเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด

2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wei, Y. และ Huang, R.Y.M. (1993), part I [26] ได้เตรียมเยื่อแผ่นจากน้ำยางสังเคราะห์ซึ่งเตรียมขึ้นโดยการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบ Graft emulsion copolymerization ของโคพอลิเมอร์ 3 ชนิด คือ Poly(acrylonitrile-co-butyl acrylate) [P(AN-BuA)], Poly(methyl methacrylate-co-butyl acrylate) [P(MMA-BuA)] และ Poly(styrene-co-butyl acrylate) [P(ST-BuA)] โดยใช้ Butyl acrylate ร้อยละ 45 โดยโมลและใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักเทียบกับมอนอเมอร์เป็นตัวริเริ่ม ทำปฏิกิริยาที่ 80 องศาเซลเซียส การเตรียมเยื่อแผ่นทำโดย 2 วิธีคือ การขึ้นรูปเยื่อแผ่นจากน้ำยางที่สังเคราะห์ได้โดยตรงและการทำให้เนื้อเยื่อที่สังเคราะห์ได้จับตัวโดยสารละลาย NaCl ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก นำพอลิเมอร์ที่ได้มาละลายใน Dimethylformamide แล้วนำสารละลายพอลิเมอร์ที่ได้มาขึ้นรูปเป็นเยื่อแผ่นโดยควบคุมให้ได้เยื่อแผ่นที่มีความหนาในช่วง 90-120 ไมโครเมตร จากการทดสอบเยื่อแผ่นโดยวิธี Dynamic mechanical analysis พบว่า เยื่อแผ่นมีความสม่ำเสมอไม่มีการแยกเฟสของพอลิเมอร์ จากการวิเคราะห์โดยวิธี X-ray diffraction พบว่าเยื่อแผ่นที่เตรียมจากการขึ้นรูปจากน้ำยางสังเคราะห์โดย

ตรงจะมีความเป็นผลึกต่ำกว่าเยื่อแผ่นที่ขึ้นรูปจากสารละลายพอลิเมอร์ในไดเมทิลฟอร์มาไมด์ เนื่องจากการเกิดจับตัวของอนุภาคภายในช่วงที่น้ำระเหยออกไป และจากการวิเคราะห์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่า เยื่อแผ่นที่เตรียมได้จากทั้งสองวิธีเป็นเยื่อแผ่นชนิดเนื้อแน่นหรือไม่มีรูพรุน แต่เยื่อแผ่นที่ขึ้นรูปโดยเตรียมเป็นสารละลายในไดเมทิลฟอร์มาไมด์จะมีความสม่ำเสมอของโครงสร้างมากกว่า

Ren, J. และ Jiang, C. (1998) [27] ได้ศึกษาปรากฏการณ์การถ่ายโอนในเยื่อแผ่นจากไคโตแซนของกระบวนการเพอร์เวปเพอเรชันของของผสมน้ำ-เอทานอล เยื่อแผ่นที่ใช้เตรียมจากการละลายไคโตแซน 8 กรัม ในสารละลายกรดแอสติกเข้มข้น 1 นอร์มอล ปริมาตร 800 มิลลิลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส แล้วทำการขึ้นรูปเป็นเยื่อแผ่นบนแผ่นกระจก ทั้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เยื่อแผ่นที่ใช้จะมีสองชนิด คือ ไม่ใช้สารเชื่อมโยงและใช้กรดซัลฟูริกเป็นสารเชื่อมโยง จากการทดลองพบว่าเยื่อแผ่นไคโตแซนและเยื่อแผ่นไคโตแซนที่ใช้สารเชื่อมโยงให้ค่าการแยกเท่ากับ 100 และ 10,000 ตามลำดับ เยื่อแผ่นไคโตแซนที่ใช้สารเชื่อมโยงจะมีความเข้มข้นของเอทานอลในเพอร์มิเอทน้อยกว่าเยื่อแผ่นไคโตแซน เมื่อความเข้มข้นของเอทานอลในสารป้อนเพิ่มมากขึ้นทำให้ฟลักซ์ลดลงอย่างรวดเร็วในเยื่อแผ่นทั้งสองชนิด การพองตัวของเยื่อแผ่นไคโตแซนที่ใช้สารเชื่อมโยงจะน้อยกว่าเยื่อแผ่นไคโตแซน และอัตราการพองตัวของเยื่อแผ่นจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลในสารป้อนเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของเอทานอลในเยื่อแผ่นไคโตแซนที่ใช้สารเชื่อมโยงจะน้อยกว่าเยื่อแผ่นไคโตแซนที่ไม่ใช้สารเชื่อมโยงและเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นฟลักซ์จะเพิ่มขึ้นในเยื่อแผ่นทั้งสองชนิด

Chen, X., Li, W., Shao, Z., Zhong, W และ Yu, T. (1999) [28] ได้เตรียมเยื่อแผ่นโดยวิธีการขึ้นรูปจากสารละลายไคโตแซนเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ผสม Silk fibroin เข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก โดยใช้กลูตารัลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมโยงบนแผ่นพอลิเอทเธอร์ แล้วปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งจะได้เยื่อแผ่นที่มีความหนาประมาณ 30 ไมโครเมตร จากการทดสอบที่ความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 92.5 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่าที่อัตราส่วนของ Silk fibroin ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ให้ค่าการแยกสูงที่สุดทั้งเยื่อแผ่นที่ไม่ใช้สารเชื่อมโยงและใช้สารเชื่อมโยงร้อยละ 1.5 โดยโมลเท่ากับ 476.5 และ 452.2 ตามลำดับ จากการหาปริมาณที่เหมาะสมของสารเชื่อมโยง พบว่าปริมาณสารเชื่อมโยงร้อยละ 0.5 โดยโมล ให้ค่าการแยกเท่ากับ 1235.2 จากการทดลองใช้เยื่อแผ่นแยกของผสมไอโซโพรพานอล-น้ำที่ความเข้มข้นร้อยละ 88 โดยน้ำหนัก พบว่าเยื่อแผ่นที่มี Silk fibroin ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และไม่ใช้สารเชื่อมโยง ได้ปริมาณน้ำในเพอร์มิเอทและฟลักซ์สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 98.8 โดยน้ำหนักและ 87.9 กรัมต่อตารางเมตร-

ชั่วโมง ส่วนเยื่อแผ่นที่มี Silk fibroin ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก โดยใช้สารเชื่อมโยงร้อยละ 1.5 โดยโมล ให้ปริมาณน้ำในเพอร์มิเอทสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 98.9 โดยน้ำหนัก ส่วนเยื่อแผ่นที่มี silk fibroin ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก โดยใช้สารเชื่อมโยงร้อยละ 1.5 โดยโมล ให้ฟลักซ์สูงที่สุดเท่ากับ 102.5 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง

Ruckenstein, E. และ Liang, L. (1996) [29] ได้ศึกษากระบวนการเพอร์เมปเพอเรชันของน้ำและเอทานอลที่ความเข้มข้นของเอทานอลในสารป้อนร้อยละ 85 โดยน้ำหนักและอุณหภูมิสารป้อน 75 องศาเซลเซียส โดยใช้เยื่อแผ่นที่เตรียมจากพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับพอลิอะครีลาไมด์ด้วยการผสมพอลิเมอร์แบบโครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์อินเตอร์พินิเตรตติง โดยใช้กุกูตาราดีไฮด์เป็นสารเชื่อมโยงของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และใช้เมทิลีนบิสอะครีลาไมด์เป็นสารเชื่อมโยงของพอลิอะครีลาไมด์ จากการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น อัตราการแพร่ซึม (Permeation rate) และค่าการแยก (Separation factor) เพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิอะครีลาไมด์มีค่าการดูดซับและค่าการเลือกดูดซับน้ำดีกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ดังนั้น เมื่อปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น จึงทำให้อัตราการแพร่ซึมและค่าการแยกเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณกุกูตาราดีไฮด์ในโครงร่างตาข่ายของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และปริมาณเมทิลีนบิสอะครีลาไมด์ในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์เพิ่มขึ้น พบว่า อัตราการแพร่ซึมลดลง แต่ค่าการแยกเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณกุกูตาราดีไฮด์ในโครงร่างตาข่ายของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และปริมาณเมทิลีนบิสอะครีลาไมด์ในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์เป็นการเพิ่มความหนาแน่นของโครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์ทั้งสอง ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ทั้งสองมีความสามารถในการพองตัวและเคลื่อนตัวลดลง ทำให้โมเลกุลของน้ำและเอทานอลแพร่ซึมผ่านได้ยากขึ้น ดังนั้น อัตราการแพร่ซึมจึงลดลง แต่โครงร่างตาข่ายที่หนาแน่นขึ้นทำให้เกิดการแยกได้มากขึ้น จึงทำให้ค่าการแยกเพิ่มขึ้น เมื่อเตรียมเยื่อแผ่นที่มีพอลิเอเทอร์ซัลฟอน (Polyethersulfone, PESF) เป็นตัวรองรับเยื่อแผ่นซึ่งมีพอลิอะครีลาไมด์ในโครงร่างตาข่ายร้อยละ 16 โดยน้ำหนักและปริมาณกุกูตาราดีไฮด์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับปริมาณพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในโครงร่างตาข่าย และแปรผันปริมาณเมทิลีนบิสอะครีลาไมด์ร้อยละ 2 และ 4 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในโครงร่างตาข่าย พบว่า เยื่อแผ่นที่มีเมทิลีนบิสอะครีลาไมด์ร้อยละ 2 ให้อัตราการแพร่ซึมสูงกว่าแต่ค่าการแยกต่ำกว่า โดยให้อัตราการแพร่ซึมและค่าการแยกในช่วง 30-3800 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมงและ 30-28,300 ตามลำดับ เมื่อแปรผันความเข้มข้นของเอทานอลในสารป้อนระหว่างร้อยละ 70-95 โดยน้ำหนักและแปรผันอุณหภูมิระหว่าง 30-60 องศาเซลเซียส อัตราการแพร่ซึมสัมพันธ์กับอุณหภูมิตามสมการของอาร์เรเนียส โดยมีค่าพลังงานกระตุ้นอยู่ระหว่าง 7.4-12.0 กิโลแคลอรีต่อโมล เมื่อทำการทดลองที่

ความเข้มข้นอะซีโโทรอปของสารป้อนที่ 60 องศาเซลเซียส พบว่า เยื่อแผ่นที่มีตัวรองรับให้ค่าการแยกและอัตราการแพร่ซึม 13,000 และ 80 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ เยื่อแผ่นมีเสถียรภาพการทำงานของเยื่อแผ่นตลอดช่วงการทดสอบ 6 วัน

Matsuyama, H., Shiraiishi, H., และ Kitamura, Y. (1999) [30] ได้ศึกษาผลของภาวะในการเตรียมเยื่อแผ่นจากไคโตแซนต่อความสามารถในการแพร่ซึม (Permeability) ของ theophylline และวิตามินบี 12 เยื่อแผ่นที่ใช้ในการทดลองเตรียมโดยการละลายไคโตแซนในกรดแอสติค กรดไนตริก กรดฟอสฟอริกและกรดไฮโดรคลอริก โดยการแปรผันความเข้มข้นของไคโตแซนและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งต่างๆกัน จากการทดลองพบว่า เยื่อแผ่นที่ใช้กรดแอสติคจะมีความหนาของเยื่อแผ่นเท่ากับ 0.0645 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำในเยื่อแผ่นและความสามารถในการแพร่ซึมของ Theophylline มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 52 โดยน้ำหนัก และ 10.6×10^{-7} ตารางเซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ จากความหนาและปริมาณน้ำในเยื่อแผ่นที่มากที่สุดทำให้เกิดการบวมในโครงสร้างของเยื่อแผ่น ส่งผลให้เยื่อแผ่นเปื่อยยุ่ยเร็วกว่าชนิดอื่นๆประมาณ 3 เท่า จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดแอสติคที่ใช้ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดแอสติคต่อหมู่อะมิโนน้อยกว่า 1 ต่อ 1 สารละลายไคโตแซนจะขุ่นและมีไคโตแซนบางส่วนที่ไม่ละลาย แต่ถ้าอัตราส่วนมากกว่า 1 ต่อ 1 ก็จะมีผลต่อความสามารถแพร่ซึมของ Theophylline และความหนาของเยื่อแผ่น เมื่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้นจาก 1.5 เป็น 2 ชั่วโมง จะมีผลอย่างมากกับความสามารถการแพร่ซึมและค่าการเลือกดูดซับ (Selectivity) ของเยื่อแผ่น โดยค่าความสามารถแพร่ซึมของ Theophylline จะสูงกว่าวิตามินบี 12 เนื่องจากมีรัศมีสโตกส์ (Stokes radius) น้อยกว่าวิตามินบี 12 ค่าการเลือกดูดซับเยื่อแผ่นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาที่ใช้อบแห้งเพิ่มขึ้นจาก 1.5 เป็น 2 ชั่วโมง เนื่องจากทำให้ได้เยื่อแผ่นแบบเนื้อแน่น (Dense membrane) แต่ทำให้ความหนาของเยื่อแผ่น ปริมาณน้ำในเยื่อแผ่นและความสามารถในการแพร่ซึมของ Theophylline และวิตามินบี 12 ลดลง จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของไคโตแซนในสารละลาย พบว่า เยื่อแผ่นที่อบแห้ง 1.5 ชั่วโมง ค่าการเลือกดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วนความหนาของเยื่อแผ่น ปริมาณน้ำในเยื่อแผ่นและความสามารถแพร่ซึมของ theophylline และวิตามินบี 12 ลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความเข้มข้นของไคโตแซนในสารละลายเพิ่มขึ้น ส่วนเยื่อแผ่นที่อบแห้ง 20 ชั่วโมง ค่าความสามารถในการดูดซับของทั้ง Theophylline วิตามินบี 12 ค่าการเลือกดูดซับและปริมาณน้ำในเยื่อแผ่นค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ความหนาของเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของไคโตแซน

Wei, Y. และ Huang, R.Y.M. (1994) [31] ได้ศึกษาการใช้เยื่อแผ่นที่ใช้สารเชื่อมโยงที่เป็นอิออนในการแยกของผสมน้ำ-เอทานอลโดยกระบวนการเพอร์แวกเพอเรชัน เยื่อแผ่นที่ใช้ได้จากน้ำยางสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ของ Acrylonitrile-butyl acrylate-acrylic acid ซึ่งใช้มอนอเมอร์ Acrylonitrile, Butyl acrylate และกรดอะครีลิกในปริมาณ 33.4 64.8 และ 8.0 กรัมตามลำดับ และใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 0.2 กรัมเป็นตัวเริ่ม นำน้ำยางที่สังเคราะห์ได้มาขึ้นรูปเป็นเยื่อแผ่นโดยตรง แล้วนำเยื่อแผ่นที่ได้มาแช่ในสารละลาย 0.25 โมลาร์ ของเกลือโลหะชนิดต่างๆ พบว่า ที่อุณหภูมิ 25 และ 30 องศาเซลเซียส เยื่อแผ่นที่แช่ในสารละลาย CuSO_4 ให้ค่าความสามารถแพร่ซึมสูงที่สุด (Permeability) เท่ากับ 7.56×10^3 และ 11.55×10^3 กรัมต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ เยื่อแผ่นที่แช่ในสารละลาย ZnSO_4 ให้ค่าการแยกในกระบวนการเพอร์แวกเพอเรชันสูงที่สุดเท่ากับ 33.8 และ 17.4 ตามลำดับ ค่าการแยกและความสามารถในการแพร่ซึมจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาที่แช่เยื่อแผ่นในสารละลายเกลือเพิ่มขึ้น โดยจะพบการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในระหว่างช่วงเวลา 0 ถึง 80 ชั่วโมง จากนั้นจะถึงจุดอิ่มตัว ค่าความสามารถในการแพร่ซึมและค่าการแยกเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเอทานอลในสารป้อนเพิ่มมากขึ้น ค่าความสามารถในการแพร่ซึมเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสารป้อนเพิ่มขึ้น แต่ค่าการแยกลดลงเมื่ออุณหภูมิสารป้อนเพิ่มขึ้น

Wei, Y. และ Huang, R.Y.M. (1994), part II [32] ได้ทำการศึกษาเยื่อแผ่นที่ Poly (acrylonitrile-co-butyl acrylate) [P(AN-BuA)], Poly(methyl methacrylate-co-butyl acrylate) [P(MMA-BuA)] และ Poly(styrene-co-butyl acrylate) [P(ST-BuA)] จากการเตรียมโดยใช้ Butyl acrylate ร้อยละ 45 โดยโมลและใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนักเทียบกับมอนอเมอร์เป็นตัวริเริ่ม ทำปฏิกิริยาที่ 80 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาคคุณสมบัติทางด้านเพอร์แวกเพอเรชันของของผสมน้ำ-เอทานอล พบว่าเป็นเยื่อแผ่นที่ชอบน้ำมากกว่าเอทานอล ค่าการแยกเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลเพิ่มขึ้นสำหรับ [P(AN-BuA)] และ [P(ST-BuA)] ส่วน [P(MMA-BuA)] ค่าการแยกลดลงเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลเพิ่มขึ้นเนื่องจากเยื่อแผ่นเกิดการบวมเมื่อเอทานอลมีความเข้มข้นสูง เยื่อแผ่นที่ขึ้นรูปจากสารละลายพอลิเมอร์จะมีค่าการเลือกดูดซับสูงกว่าเยื่อแผ่นที่ขึ้นรูปจากน้ำยางที่สังเคราะห์ได้โดยตรง เนื่องจากโครงสร้างภายในเยื่อแผ่นมีความเป็นผลึกสูง อัตราการแพร่ซึม (Permeability) ของน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลในสารป้อนเพิ่มขึ้นสำหรับ [P(AN-BuA)] และ [P(ST-BuA)] ส่วน [P(MMA-BuA)] จะลดลง เนื่องจาก [P(MMA-BuA)] จะมีอันตรกิริยา (interaction) กับเอทานอลมากกว่า [P(AN-BuA)] และ [P(ST-BuA)] ค่าการแยกและอัตราการแพร่จะขึ้นกับอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการแพร่ซึมเพิ่มขึ้น แต่ค่าการแยกลดลง

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

Concentrated Natural Rubber Latex	Revertex Co.,Ltd.
Prevulcanized Natural Rubber Latex	Revertex Co.,Ltd.
Acrylamide (Commercial Grade)	Mitsui Chemical, Inc., Japan
Potassium Persulfate (Lab. Grade)	Ajax Laboratory Chemicals
Sodium Luaryl Sulfate (Lab. Grade)	Carlo Erba
Ethylene Glycol Dimethacrylate (AR Grade)	BDH
Sodium Hydroxide (AR Grade)	BDH
Hydrochloric Acid (AR Grade)	BDH
Sulfuric Acid (AR Grade)	BDH
Methanol (AR Grade)	BDH
Methanol (Commercial Grade)	
Absolute Ethanol (99.7-99.9 %v/v)	BDH
Ethanol (Commercial Grade)	
Phthalic Anhydride (Lab. Grade)	Carlo Erba
Lactic Acid (Lab. Grade)	Ajax Finechem

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดปฏิกรณ์เคมีแบบ 3 คอ ขนาด 1000 มิลลิลิตร สำหรับเตรียมไคติน
2. ชุดปฏิกรณ์เคมีแบบ 4 คอ ขนาด 500 มิลลิลิตร สำหรับสังเคราะห์พอลิอะครีลาไมด์
3. ชุดปฏิกรณ์เคมีแบบ 5 คอ ขนาด 2000 มิลลิลิตร สำหรับกำจัดหมู่แอมเซติลในไคติน
4. ชุดเครื่องกวนชนิดปรับความเร็วรอบ
5. ชุดใบกวนเทพลอน
6. อ่างควบคุมอุณหภูมิ

7. ตู้อบ
8. เทอร์โมมิเตอร์ช่วงอุณหภูมิ 0-100, 0-150 และ 0-200 องศาเซลเซียส
9. เครื่องแก้วอื่นๆ ในห้องปฏิบัติการ

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. Scanning Electron Microscope : Jeol JSM 6400
2. Gel Permeation Chromatography : Polymer Laboratories GPC110
3. Gas Chromatography : Chimadzu GC-14B
 - Column : PEG 20M
 - Detector : TCD
 - Carrier gas : Nitrogen
 - Carrier gas flow rate : 30 ml/min
 - Column temperature : 100 °C
 - Injector temperature : 120 °C
 - Detector temperature : 120 °C
 - TCD temperature : 120 °C
4. Universal Tester : LLOYD Instruments LR 5K
5. High Performance Liquid Chromatography: Chimadzu LC-3A
6. Fourier Transform Infrared Spectroscope : Perkin 1760X
7. Viscometer : Brookfield RTV

3.4 การดำเนินการวิจัย

3.4.1 การเตรียมโคตินและโคโตแซน

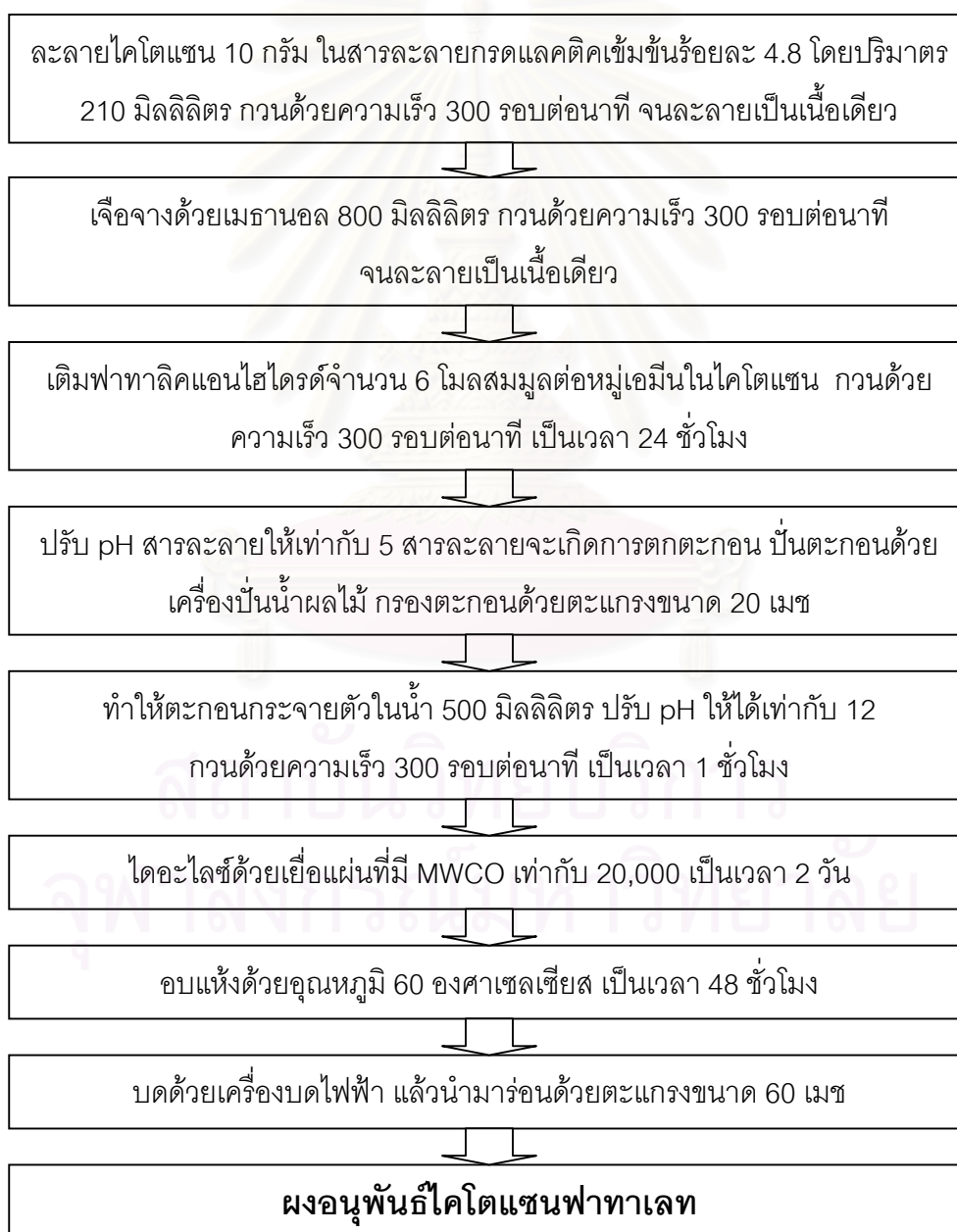
การเตรียมโคตินและโคโตแซนนั้น จะใช้วิธีการเตรียมของกลุ่มวิจัยโคตินและโคโตแซน ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ [5] แต่เนื่องจากเปลือกกุ่มกูด้าที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีสีเข้ม จึงมีความจำเป็นต้องเพิ่มขึ้นขั้นตอนการกำจัดสี ดังนั้น จึงได้เพิ่มขึ้นขั้นตอนดังกล่าวโดยอ้างอิงวิธีการของคุณเยาวภา ไหวพริบ [6] ซึ่งได้แสดงวิธีการเตรียมโคตินและโคโตแซน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพวิธีการเตรียมไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำ [5,6]

3.4.2 การเตรียมอนุพันธ์โคโตแซนฟาทาเลท

เนื่องจากโคโตแซนไม่ละลายในสภาพที่เป็นเบส ดังนั้น จึงไม่สามารถนำโคโตแซนมาผสมกับน้ำยางธรรมชาติได้โดยตรง จึงมีความจำเป็นต้องดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของโคโตแซนให้เป็นอนุพันธ์ที่สามารถละลายได้ในสภาพที่เป็นเบส เพื่อให้สามารถนำมาผสมกับน้ำยางธรรมชาติได้ จึงได้ดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของโคโตแซน โดยปฏิกิริยาการเปิดวงแหวนของฟาทาลิกแอนไฮไดรด์ [22] ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.2 แต่ได้ดัดแปลงวิธีการเพื่อความเหมาะสมโดยโคอะไลซ์ด้วยเยื่อแผ่นที่มี MWCO 20,000 และใช้วิธีการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียสแทนการทำแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze drying)



รูปที่ 3.2 แผนภาพวิธีการเตรียมอนุพันธ์โคโตแซนฟาทาเลท

3.4.3 การเตรียมเยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์

ชุดปฏิบัติการที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิอะครีลาไมด์แสดงในรูปที่ 3.3 โดยมีขั้นตอนการเตรียมเยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยเยื่อแผ่นจากการผสมทางกลจะไม่มี การเติมสารเชื่อมโยงให้กับพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด เยื่อแผ่นจากการสังเคราะห์โครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์กึ่งอินเทอร์พินิเตรตติง จะเติมสารเชื่อมโยงให้กับพอลิเมอร์ชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงชนิดเดียวและเยื่อแผ่นจากการสังเคราะห์โครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์อินเทอร์พินิเตรตติง จะเติมสารเชื่อมโยงให้กับพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดดังข้อมูลการทดลองในผนวก ก ตารางที่ ก.1-ก.6 โดยตารางที่ 3.1 แสดงความเข้มข้นของสารละลายมอนอเมอร์และน้ำยางที่ใช้ในการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ เพื่อนำมาขึ้นรูปบนแผ่นกระจกดังรูปที่ 3.5 และได้เยื่อแผ่นที่พร้อมนำไปทดสอบ ดังรูปที่ 3.6

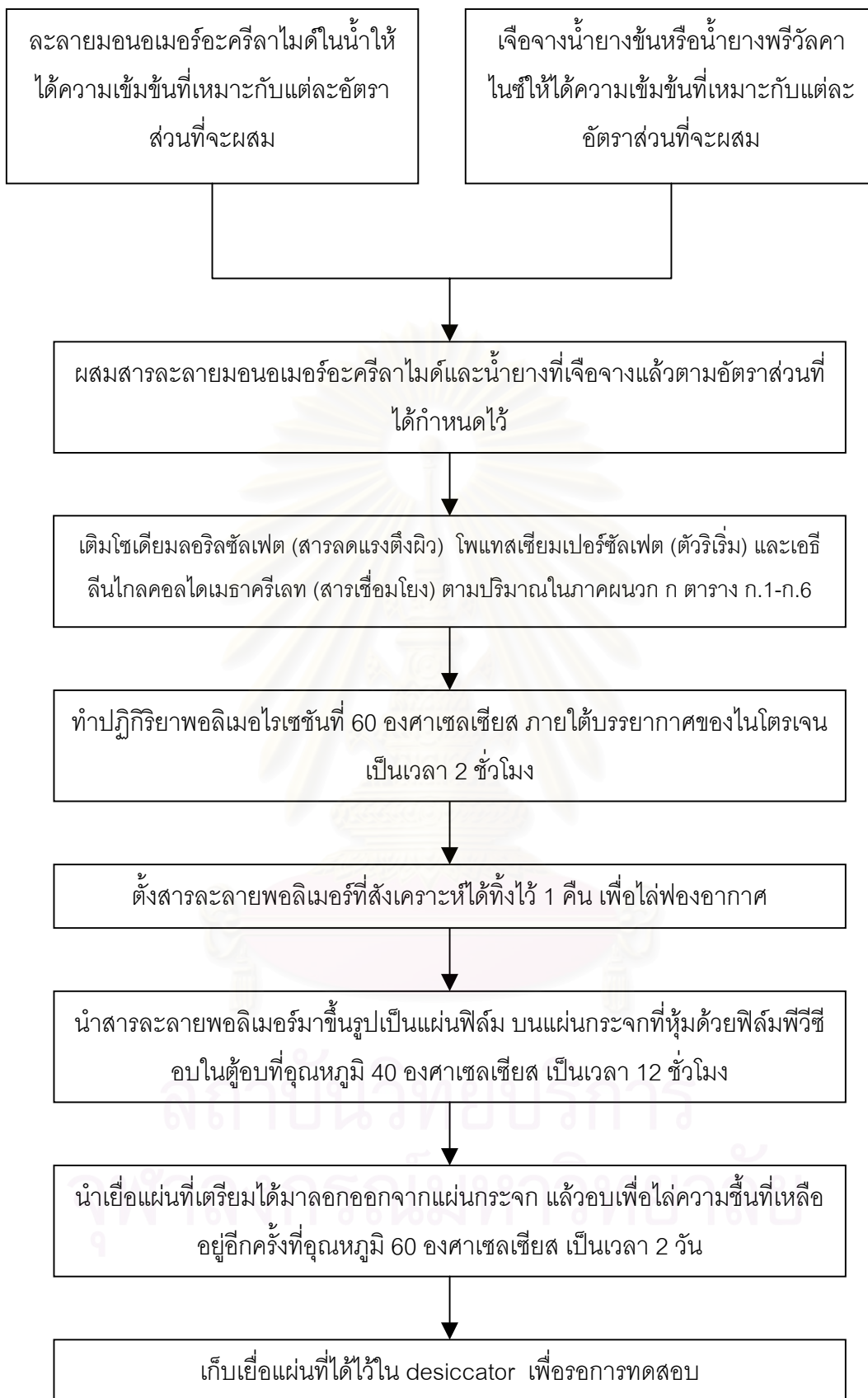


รูปที่ 3.3 ชุดปฏิบัติการและการทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไอเซชันของพอลิอะครีลาไมด์

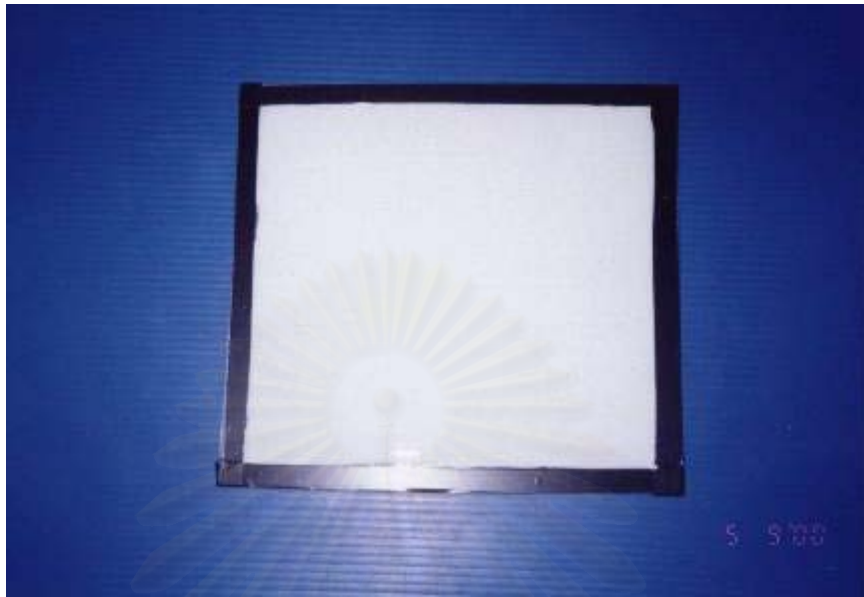
ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นของน้ำยางและสารละลายมอนอเมอร์อะครีลาไมด์ที่เหมาะสม

สำหรับเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ในการเตรียมเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ที่อัตราส่วนระหว่างน้ำยางธรรมชาติและพอลิอะครีลาไมด์ต่างๆ

อัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิอะครีลาไมด์	ความเข้มข้นของสารละลาย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
80/20	25
60/40	18
40/60	15



รูปที่ 3.4 วิธีการเตรียมเยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์



รูปที่ 3.5 การขึ้นรูปสารละลายพอลิเมอร์บนแผ่นกระจกที่หุ้มด้วยฟิล์มพีวีซี



รูปที่ 3.6 เยื่อแผ่นที่พร้อมนำไปทดสอบ

3.4.4. การเตรียมเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-อนุพันธ์ไคโตแซนฟาทาเลท

การเตรียมเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-ไคโตแซนฟาทาเลทได้แสดงดังรูปที่ 3.7 โดยการผสมทางกลซึ่งไม่ใช้สารเชื่อมโยงทั้งในน้ำยางธรรมชาติและไคโตแซนฟาทาเลท การสังเคราะห์โครงสร้างตาข่ายพอลิเมอร์กึ่งอินเตอร์พินิเตรตติง โดยใช้สารเชื่อมโยงเพื่อทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายในน้ำยางธรรมชาติหรือไคโตแซนฟาทาเลทเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งและการสังเคราะห์โครงสร้างตาข่ายพอลิเมอร์อินเตอร์พินิเตรตติง โดยใช้สารเชื่อมโยงทั้งในน้ำยางธรรมชาติและไคโตแซนฟาทาเลท



รูปที่ 3.7 วิธีการเตรียมเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-ไคโตแซนฟาทาเลท

3.5 การทดสอบเยื่อแผ่น

3.5.1 ความทนต่อแรงดึง (Tensile strength)

ตัดเยื่อแผ่นด้วยเครื่องตัดให้ได้ชิ้นงานสำหรับทดสอบ ดังรูปที่ 3.8 ทดสอบความทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นด้วยเครื่อง Universal tester ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 ชิ้นตัวอย่างสำหรับการวัดความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 3.9 เครื่อง Universal tester LLOYD Instruments LR 5K

3.5.2 การวัดค่าการดูดซับรวมและค่าการเลือกดูดซับน้ำ

1. ชั่งน้ำหนักของเยื่อแผ่นแห้ง
2. แช่เยื่อแผ่นในสารละลายเอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. นำเยื่อแผ่นมาซับด้วยกระดาษชำระเพื่อซับเอธานอลที่อยู่ภายนอกเยื่อแผ่นและชั่งน้ำหนักอย่างรวดเร็ว
4. นำน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมาคำนวณค่าการดูดซับรวมดังสมการที่ 4.1
5. ใส่เยื่อแผ่นในโถระเหย ของชุดระเหยและเก็บตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.10
6. ระเหยสารละลายที่อยู่ในเยื่อแผ่นโดยลดความดันลง 20 ทอร์จากความดันบรรยากาศเป็นเวลา 15 นาที ในกับดักเก็บไอ (Cold trap) ใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นสารให้ความเย็นแก่กับดัก
7. นำตัวอย่างที่เก็บได้ในกับดักมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี ดังรูปที่ 3.11
8. นำความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่ได้มาคำนวณค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่น ดังสมการ 4.2



รูปที่ 3.10 ชุดระเหยและเก็บตัวอย่างเอธานอลในเยื่อแผ่น

หลังจากทดสอบเยื่อแผ่นทุกชนิดแล้ว เลือกเยื่อแผ่นที่ให้ค่าความทนต่อแรงดึงและค่าการเลือกดูดซับน้ำดีมาศึกษาโครงสร้างของพอลิเมอร์ภายในเยื่อแผ่นโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) ดังรูปที่ 3.12 และศึกษาผลของอุณหภูมิต่อค่า

ดูดัชนีบวมของเยื่อแผ่นจากสารละลายเอธานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 50 และ 75 องศาเซลเซียส โดยเยื่อแผ่นที่เลือกมาศึกษาแสดงไว้ในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.11 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี Chimadzu GC-14B



รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) Jeol JSM 6400

ตารางที่ 3.2 เยื่อแผ่นที่มีสมบัติทางกลและสมบัติความชอบน้ำที่ดีที่เลือกมาศึกษาต่อ

ชนิดของเยื่อแผ่น	การทดสอบ		หมายเหตุ
	ดูภาคตัดขวางด้วย SEM	ผลของอุณหภูมิและความมีเสถียรภาพการดูดซับ	
L100	✓	-	NR membrane
C100	✓	-	Prevulcanized NR membrane
LP604000	✓	✓	Blending membrane of NR and polyacrylamide
LP604001	✓	✓	Semi-IPN membrane of NR and crosslinked polyacrylamide
CP802000	✓	✓	Semi-IPN membrane of prevulcanized NR and polyacrylamide
CP802004	✓	-	IPN membrane of prevulcanized NR and crosslinked polyacrylamide
CP604001	✓	✓	IPN membrane of prevulcanized NR and crosslinked polyacrylamide
LC604000	✓	✓	Blending membrane of NR and phthalated chitosan
LC604016	✓	✓	Semi-IPN membrane of NR and crosslinked phthalated chitosan
CC604000	✓	✓	Semi-IPN membrane of prevulcanized NR and phthalated chitosan
CC802016	✓	✓	IPN membrane of prevulcanized NR and crosslinked phthalated chitosan
CC604016	✓	-	IPN membrane of prevulcanized NR and crosslinked phthalated chitosan

หมายเหตุ : L100 = Natural latex membrane, C100 = Prevulcanized natural latex membrane, LP604000 = Natural latex-polyacrylamide (60:40, 0 %wt EGDM in PAM networks, Blending membrane),

หมายเหตุ (ต่อ) : LP604001 = Natural latex-polyacrylamide (60:40, 1%wt EGDM in PAM networks, crosslinked PAM semi-IPN membrane), CP802000 = Pre vulcanized natural latex-polyacrylamide (80:20, 0 %wt EGDM in PAM networks, crosslinked rubber semi-IPN membrane), CP802004 = Pre vulcanized natural latex-polyacrylamide (80:20, 4 %wt EGDM in PAM networks, IPN membrane), CP604001 = Pre vulcanized natural latex-polyacrylamide (60:40, 1 %wt EGDM in PAM networks, IPN membrane), LC604000 = Natural latex-phthalated chitosan (60:40, 0 hr crosslinking time, Blending membrane), LC604016 = Natural latex-phthalated chitosan (60:40, 16 hr crosslinking time, crosslinked phthalated chitosan semi-IPN membrane), CC6040000 = Pre vulcanized natural latex-phthalated chitosan (60:40, 0 hr crosslinking time, crosslinked rubber semi-IPN membrane), CC6040016 = Pre vulcanized natural latex-phthalated chitosan (60:40, 16 hr crosslinking time, IPN membrane), CC802016 = Pre vulcanized natural latex- phthalated chitosan (80:20, 16 hr crosslinking time, IPN membrane)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 การเตรียมไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำ

จากการเตรียมไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำ ตามกรรมวิธีของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ [5] ร่วมกับกรรมวิธีของคุณเยาวภา ไหวพริบ [6] ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3 ได้ไคโตแซนที่มีลักษณะดังตารางที่ 4.1 คือ มีดีกรีการกำจัดหมู่แอสเตดิลเฉลี่ยร้อยละ 91 มวลโมเลกุลเฉลี่ย 5.88×10^5 และความหนืดเฉลี่ย 610 เซนติพอยด์

ตารางที่ 4.1 สมบัติของไคโตแซนที่เตรียมได้

คุณสมบัติ	ปริมาณ	วิธีวิเคราะห์	ไคโตแซนที่ MTEC เตรียม**
ดีกรีการกำจัดหมู่แอสเตดิล (Degree of deacetylation)	91%	FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)	มากกว่า 90%
มวลโมเลกุลเฉลี่ย (Average molecular weight, Dalton)	5.88×10^5	GPC (Gel Permeation Chromatography)	$10^5 - 10^6$
ความหนืด (Viscosity, cP)*	610	Brookfield	-

* วัดที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในสารละลายกรดแอสติคเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

** ข้อมูลจากการสอบถาม นักวิจัยกลุ่มไคติน/ไคโตแซน ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

4.2 ความสามารถทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่น

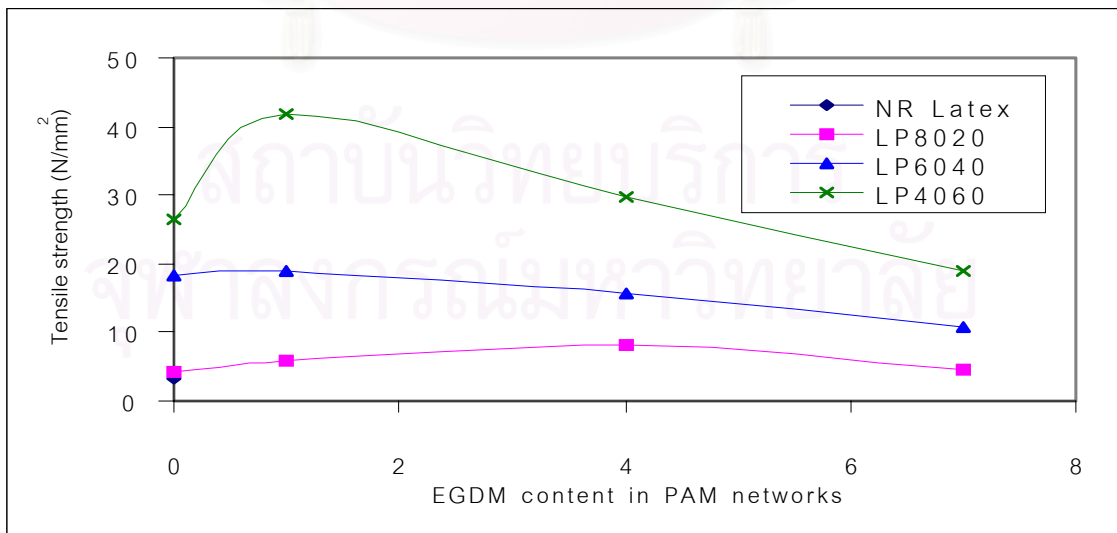
เมื่อนำเยื่อแผ่นที่เตรียมได้ทุกชนิดมาทดสอบหาความสามารถทนต่อแรงดึง โดยใช้เครื่อง Universal tester ได้ค่าเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ สำหรับเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์และเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-อนุพันธ์ไคโตแซนฟาฟาเลท โดยค่าความทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นที่ได้จากการผสมทางกลอยู่ในช่วงระหว่าง 4.2-26.4 และ 0.6-3.2 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เมื่ออัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติอยู่ระหว่าง 40 ส่วนถึง 80 ส่วน ค่าความสามารถทนแรงดึงของเยื่อแผ่นชนิด Semi-IPN จากการสร้างโครงร่างตาข่ายของน้ำยางธรรมชาติเท่านั้นอยู่ในช่วง 13.3-36 และ 0.8-4.3 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ค่าความทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่น Semi-IPN จากการสร้างโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์และอนุพันธ์ไคโตแซนฟา

ทาเลท อยู่ในช่วง 4.6-42 และ 0.8-11.2 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และเยื่อแผ่นชนิด IPN อยู่ระหว่าง 10.5-24.1 และ 0.3-7.9 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ในขณะที่เยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติ และเยื่อแผ่นจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์สามารถทนแรงดึงได้เท่ากับ 3.3 และ 16.5 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ

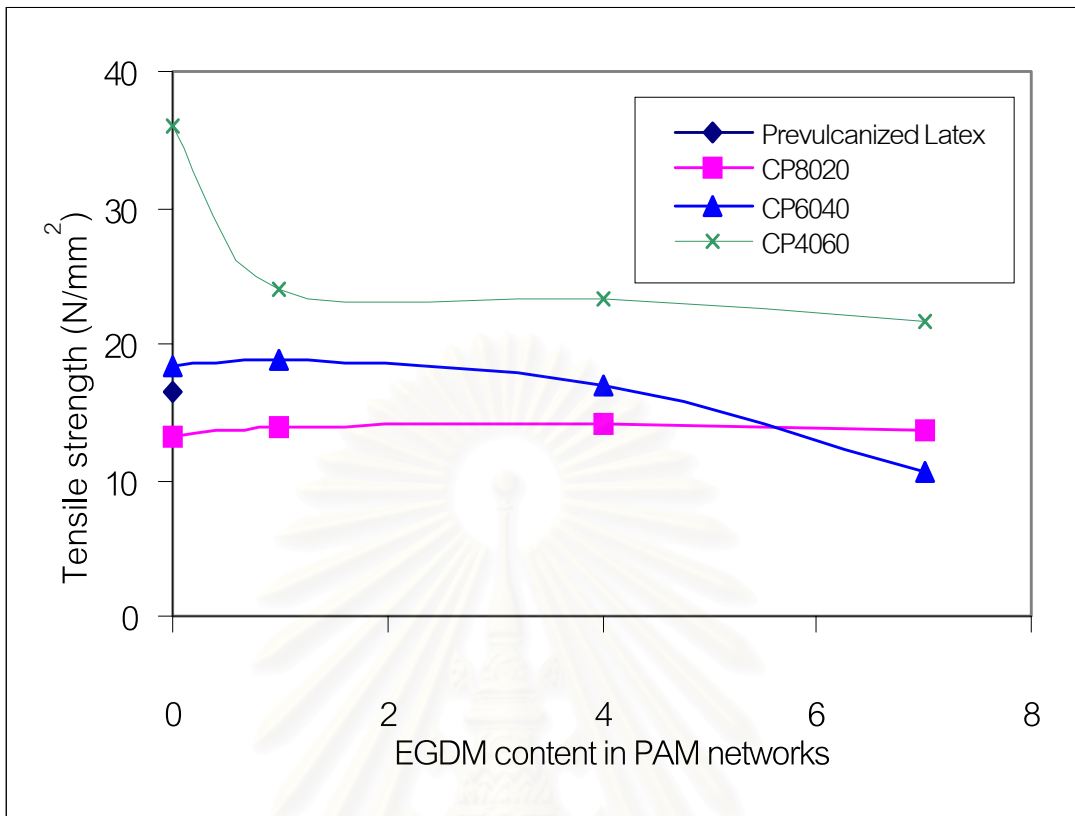
ตารางที่ 4.2 ค่าความสามารถทนต่อแรงดึงเฉลี่ยของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ โดยใช้จำนวนตัวอย่างเท่ากับ 6 ชิ้น

EGDM content in PAM networks (%wt)	Mean tensile strength of membrane (N/mm ²)							
	NR latex	Prev. latex	LP8020	CP8020	LP6040	CP6040	LP4060	CP4060
0	3.32	16.48	4.20	13.29	18.34	18.32	26.36	36.02
1	-	-	5.91	13.94	18.92	18.93	41.96	24.09
4	-	-	8.01	14.07	15.76	16.95	29.72	23.24
7	-	-	4.62	13.54	10.87	10.54	18.83	21.76

หมายเหตุ : NR latex = Natural rubber latex, Prev. latex = Pre vulcanized natural rubber latex, LP8020 = Natural rubber latex : Polyacrylamide (80:20), CP8020 = Pre vulcanized natural rubber latex : Polyacrylamide (80:20), LP6040 = Natural rubber latex : Polyacrylamide (60:40), CP6040 = Pre vulcanized natural rubber latex : Polyacrylamide (60:40), LP4060 = Natural rubber latex : Polyacrylamide (40:60), CP4060 = Pre vulcanized natural rubber latex : Polyacrylamide (40:60)



รูปที่ 4.1 ผลของปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและปริมาณเออีดีเอ็นไกลคคอลไดเมทาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์ต่อความสามารถทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์



รูปที่ 4.2 ผลของปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและปริมาณเอธิลีนไกลคอลได

เมธาครีเลต ในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์ ต่อความสามารถทนต่อแรงแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 พบว่า เยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์สามารถทนต่อแรงดึงได้มากขึ้นเมื่อมีปริมาณพอลิอะครีลาไมด์และปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตซึ่งใช้เป็นสารเชื่อมโยงของพอลิอะครีลาไมด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิอะครีเลตช่วยเสริมสร้างให้โครงร่างของสายพอลิเมอร์ในยางธรรมชาติ ซึ่งเดิมอยู่ในลักษณะขดไปมาให้มีความแข็งแรงมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในระดับที่พอเหมาะ จะทำให้โครงร่างของพอลิอะครีลาไมด์มีความแข็งแรงยิ่งขึ้น แต่เมื่อมีปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์มากเกินไปจะทำให้เยื่อแผ่นทนแรงดึงได้น้อยลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์จะทำให้ความหนาแน่นของโครงร่างตาข่ายเพิ่มขึ้น ทำให้สายโซ่พอลิอะครีลาไมด์ถูกตรึงกับตำแหน่งมากขึ้น เมื่อเตรียมเป็นเยื่อแผ่นจึงเกิดความเครียดขึ้นภายในเยื่อแผ่น ทำให้เยื่อแผ่นทนแรงดึงได้น้อยลง โดยเยื่อแผ่นที่ทนแรงดึงได้มากที่สุดเป็นชนิด Semi-IPN ที่มีปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์ร้อยละ 4 1 และ 1 โดยน้ำหนัก ในเยื่อแผ่นที่มีน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิ

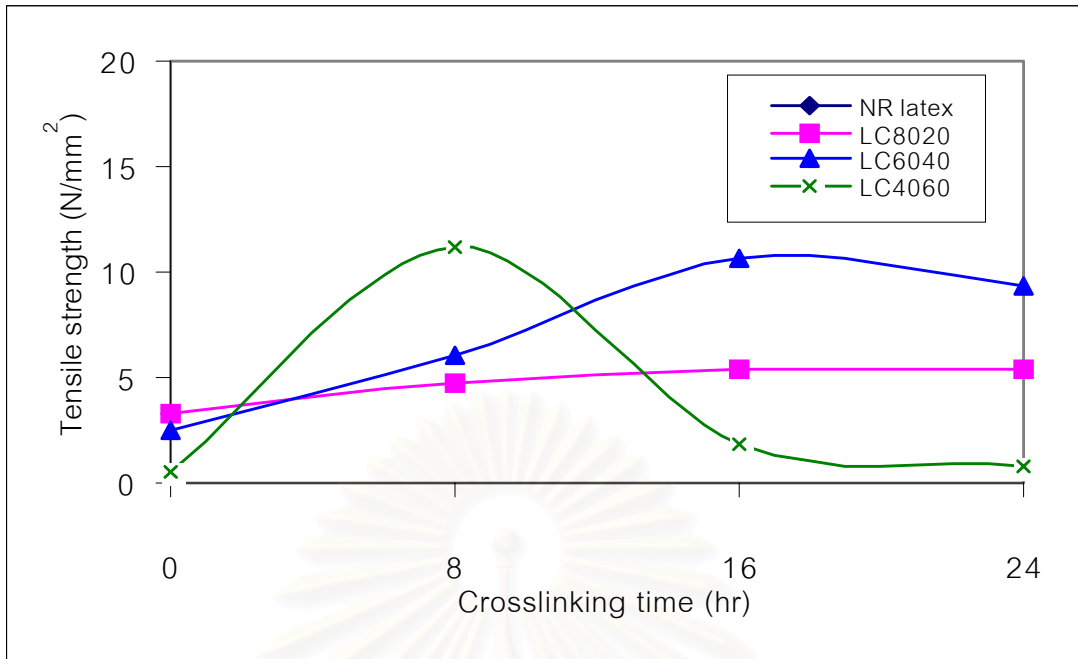
อะครีลาไมด์ที่อัตราส่วน 80/20 60/40 และ 40/60 โดยทนแรงดึงได้เท่ากับ 8 18.9 และ 42 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 พบว่า เยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์จะสามารถทนต่อแรงดึงได้มากขึ้นเมื่อมีปริมาณพอลิอะครีลาไมด์และปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์มากเกินไประดับหนึ่งจะทำให้เยื่อแผ่นทนต่อแรงดึงได้น้อยลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์ จะทำให้ความหนาแน่นของโครงร่างตาข่ายเพิ่มขึ้น ทำให้สายโซ่พอลิอะครีลาไมด์ถูกตรึงกับตำแหน่งมากขึ้น จากการที่โซ่พอลิเมอร์ของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ได้ถูกทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายมาแล้ว ทำให้เกิดความเครียดขึ้นภายในเยื่อแผ่นมากกว่าการตรึงสายพอลิเมอร์เพียงชนิดเดียว จึงทำให้ทนแรงดึงได้น้อยกว่าเยื่อแผ่นที่ได้จากการใช้น้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ โดยเยื่อแผ่นที่ทนแรงดึงมากที่สุดเป็นชนิด IPN ในอัตราส่วนน้ำยางวัลคาไนซ์ต่อพอลิอะครีลาไมด์ 80/20 60/40 และ 40/60 เมื่อมีปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์ร้อยละ 4 1 และ 0 เท่ากับ 14.1 18.9 และ 36 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ

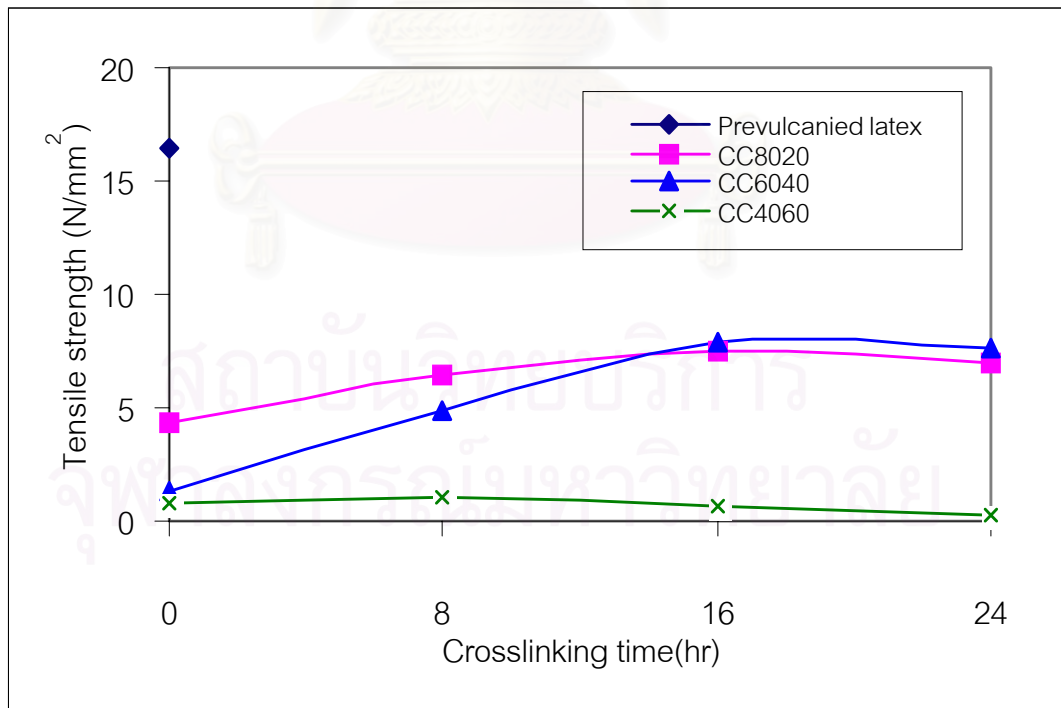
ตารางที่ 4.3 ค่าความสามารถทนต่อแรงดึงเฉลี่ยของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-อนุพันธ์โคโตแซน ฟาฟาเลทโดยใช้ตัวอย่างจำนวน 6 ชิ้น

Crosslinking time (hr)	Mean tensile strength of membrane (N/mm ²)							
	NR latex	Prev. latex	LC8020	CC8020	LC6040	CC6040	LC4060	CC4060
0	3.32	16.48	3.23	4.32	2.52	1.29	0.58	0.77
8	-	-	4.75	6.46	6.10	4.92	11.24	1.02
16	-	-	5.45	7.48	10.61	7.91	1.80	0.61
24	-	-	5.44	7.01	9.31	7.58	0.84	0.31

หมายเหตุ : NR latex = Natural rubber latex, Prev. latex = Pre vulcanized natural rubber latex, LC8020 = Natural rubber latex : Phthalated chitosan (80:20), CC8020 = Pre vulcanized natural rubber latex : Phthalated chitosan (80:20), LC6040 = Natural rubber latex : Phthalated chitosan (60:40), CC6040 = Pre vulcanized natural rubber latex : Phthalated chitosan (60:40), LC4060 = Natural rubber latex : Phthalated chitosan (40:60), CC4060 = Pre vulcanized natural rubber latex : Phthalated chitosan (40:60)



รูปที่ 4.3 ผลของปริมาณโคโตนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นและเวลาที่ใช้ทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของโคโตนฟาทาเลทต่อความสามารถทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตนฟาทาเลท



รูปที่ 4.4 ผลของปริมาณโคโตนฟาทาเลท ในเยื่อแผ่นและเวลาที่ใช้ทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของโคโตนฟาทาเลทต่อความสามารถทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตนฟาทาเลท

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 พบว่า เยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติ-โคโตแซนฟา ทาเลทที่ไม่มีการทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของโคโตแซนฟาทาเลทจะทนแรงดึงได้น้อยลง เมื่อมี ปริมาณของโคโตแซนฟาทาเลทเพิ่มขึ้น เนื่องจากโคโตแซนฟาทาเลทเป็นอนุพันธ์ที่มีมวล โมเลกุลต่ำเพียงประมาณ 27,000 ดัลตัน เมื่อนำมาผสมกับน้ำยางธรรมชาติจึงไปลดความทนต่อ แรงดึงของน้ำยางธรรมชาติ ดังนั้น เมื่อปริมาณโคโตแซนฟาทาเลทเพิ่มขึ้นจึงทำให้เยื่อแผ่นที่เตรียม มีสมบัติกรอบ แตกหักง่ายและทนแรงดึงได้น้อยลง แต่เมื่อนำเยื่อแผ่นที่ได้ไปแช่ในสารละลายของ กรดซัลฟูริกเพื่อสร้างโครงร่างตาข่ายของโคโตแซนฟาทาเลท จะทำให้เยื่อแผ่นแข็งแรงและทนแรง ดึงได้มากขึ้น ในทำนองเดียวกับข้างต้น เยื่อแผ่นที่ทนแรงดึงได้มากที่สุดเป็นชนิด Semi-IPN ที่มี อัตราส่วนเนื้อเยื่อแห้งต่อโคโตแซนฟาทาเลทเท่ากับ 80/20 60/40 และ 40/60 เมื่อใช้เวลาแช่เยื่อ แผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกในเมธานอล 16 16 และ 8 ชั่วโมง เท่ากับ 5.45 10.6 และ 11.2 นิว ตันต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 พบว่า เยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตแซน ฟาทาเลทที่ไม่มีการทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของโคโตแซนฟาทาเลทจะทนแรงดึงได้น้อยลง เมื่อมี ปริมาณของโคโตแซนฟาทาเลทเพิ่มขึ้น เนื่องจากโคโตแซนฟาทาเลทเป็นอนุพันธ์ที่มีมวลโมเลกุล ต่ำ เมื่อนำมาผสมกับน้ำยางพรีวัลคาไนซ์จึงไปลดความทนต่อแรงดึงของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ เช่น เดียวกับกรณีของน้ำยางธรรมชาติ แต่เมื่อนำเยื่อแผ่นไปแช่สารละลายกรดซัลฟูริกในเมธานอล เพื่อทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของโคโตแซนฟาทาเลท พบว่า ในช่วงแรกเยื่อแผ่นจะทนต่อแรงดึงได้ มากขึ้น แต่จะลดลง เมื่อเวลาที่แช่เยื่อแผ่นเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากช่วงแรกเมื่อทำให้เกิดโครง ร้างตาข่ายของโคโตแซนฟาทาเลท จะช่วยให้เยื่อแผ่นทนแรงดึงได้มากขึ้น แต่เมื่อยังเพิ่มเวลาใน การแช่เยื่อแผ่นต่อไปโครงร่างตาข่ายจะมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น เมื่อเยื่อแผ่นแห้งจะทำให้เกิด การหดตัวของพอลิเมอร์ยางและโคโตแซนฟาทาเลทซึ่งเป็นโครงร่างตาข่ายทั้งคู่ ทำให้เกิด ความเครียดขึ้นในเยื่อแผ่น จึงทำให้ทนแรงดึงได้น้อยกว่าเยื่อแผ่นที่มีโครงร่างตาข่ายของโคโตแซน ฟาทาเลทเพียงชนิดเดียว โดยเยื่อแผ่นที่ทนแรงดึงได้มากที่สุดเป็นชนิด IPN ในอัตราส่วนเนื้อ เยื่อพรีวัลคาไนซ์แห้งต่อโคโตแซนฟาทาเลทเท่ากับ 80/20 60/40 และ 40/60 เมื่อใช้เวลาแช่เยื่อ แผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกในเมธานอล 16 16 และ 8 ชั่วโมง เท่ากับ 7.5 7.9 และ 1 นิวตันต่อ ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ

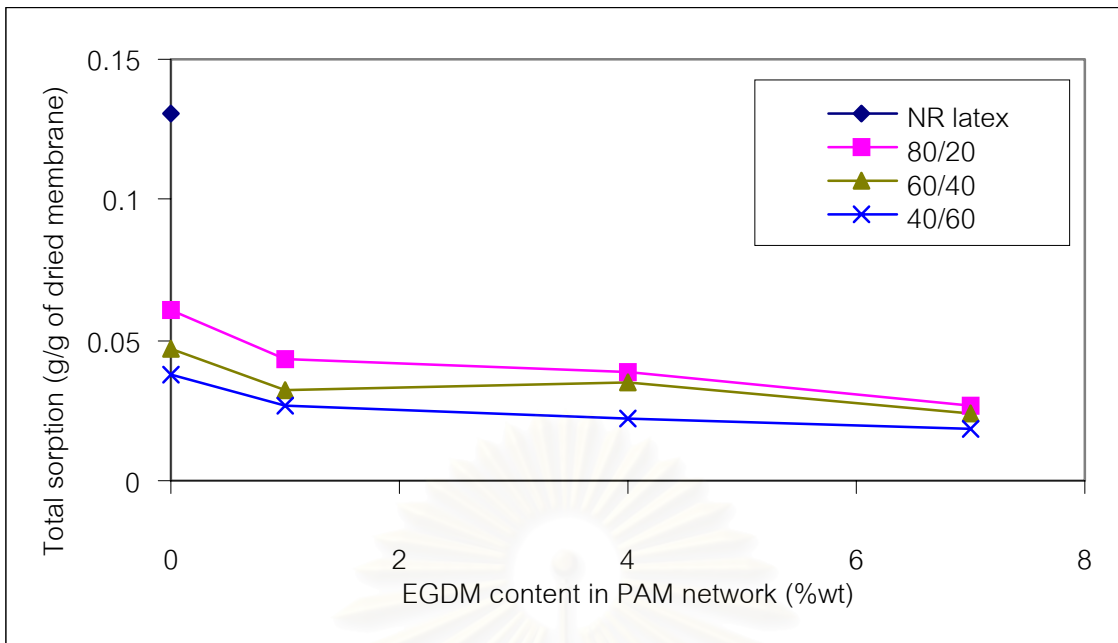
4.3 การวัดค่าดูดซับรวมของเยื่อแผ่นที่เตรียมได้

ค่าการดูดซับรวมซึ่งนิยามตามสมการที่ 4.1 ต่อสารละลายเอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ค่าการดูดซับรวมเฉลี่ย ดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ สำหรับเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์และน้ำยางธรรมชาติ-อนุพันธ์โคโตแซนฟาทาเลท โดยค่าการดูดซับรวมเฉลี่ยของเยื่อแผ่นที่ได้จากการผสมทางกลเท่ากับ 0.038-0.061 และ 0.058-0.080 กรัมต่อกรัมของเยื่อแผ่น เมื่ออัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติอยู่ระหว่าง 40 ส่วนถึง 80 ส่วน ค่าการดูดซับรวมเฉลี่ยของเยื่อแผ่นชนิด Semi-IPN จากการสร้างโครงร่างตาข่ายของน้ำยางธรรมชาติเท่านั้นอยู่ในช่วง 0.027-0.042 และ 0.028-0.116 กรัมต่อกรัมของเยื่อแผ่นแห้ง ค่าการดูดซับรวมเฉลี่ยของเยื่อแผ่น Semi-IPN จากการสร้างโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์และอนุพันธ์โคโตแซนฟาทาเลท อยู่ในช่วง 0.018-0.043 และ 0.030-0.071 กรัมต่อกรัมของเยื่อแผ่นแห้งและเยื่อแผ่นชนิด IPN อยู่ระหว่าง 0.018-0.035 และ 0.023-0.067 กรัมต่อกรัมของเยื่อแผ่นแห้ง ในขณะที่เยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติและเยื่อแผ่นจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีค่าการดูดซับรวมเฉลี่ยเท่ากับ 0.131 และ 0.108 กรัมต่อกรัมของเยื่อแผ่นแห้ง ตามลำดับ

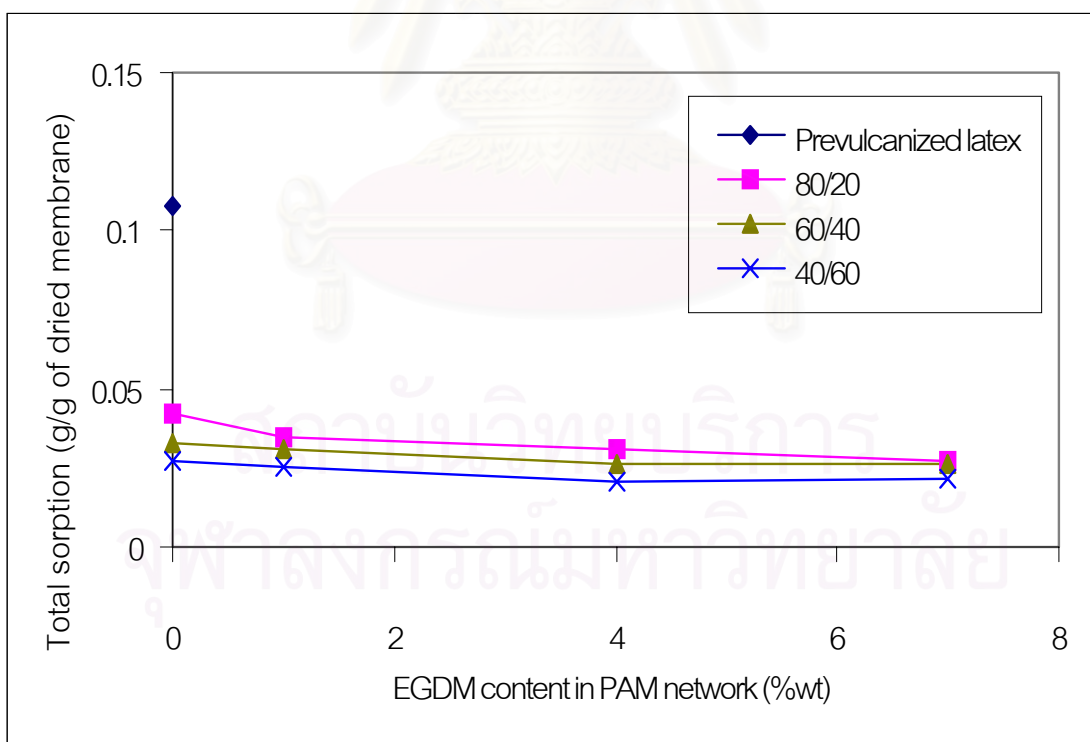
$$\text{Total sorption} = \left[\frac{\text{Weight of wet membrane} - \text{Weight of dry membrane}}{\text{Weight of dry membrane}} \right] \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.4 ค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ในเอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

EGDM content in PAM networks (%wt)	Total sorption of membrane (g/g of dried membrane)							
	NR latex	Prev. latex	LP8020	CP8020	LP6040	CP6040	LP4060	CP4060
0	0.131	0.108	0.061	0.042	0.047	0.033	0.038	0.027
1	-	-	0.043	0.035	0.032	0.031	0.027	0.025
4	-	-	0.039	0.031	0.035	0.026	0.022	0.021
7	-	-	0.027	0.027	0.022	0.026	0.018	0.022



รูปที่ 4.5 ผลของปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและปริมาณ เออีดีเอ็นไกลคคอลไดเมธาครีเลต ในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์ต่อค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์

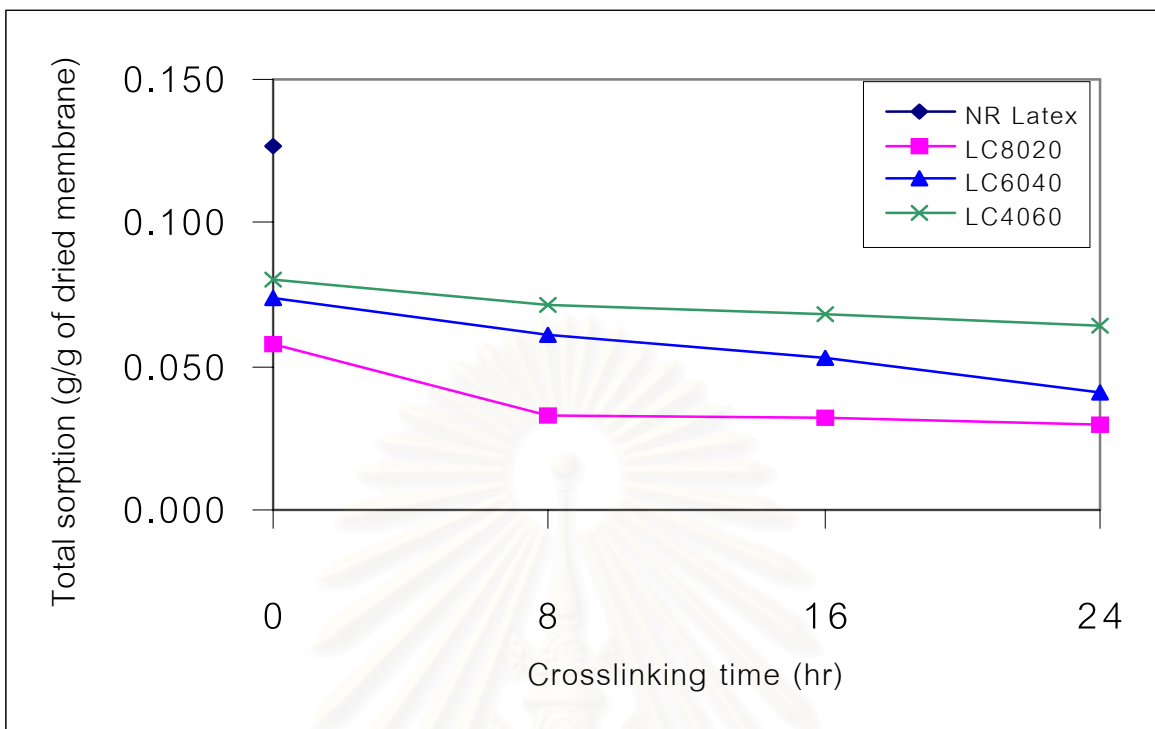


รูปที่ 4.6 ผลของปริมาณ พอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและปริมาณเออีดีเอ็นไกลคคอลไดเมธาครีเลต ในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์ต่อค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์

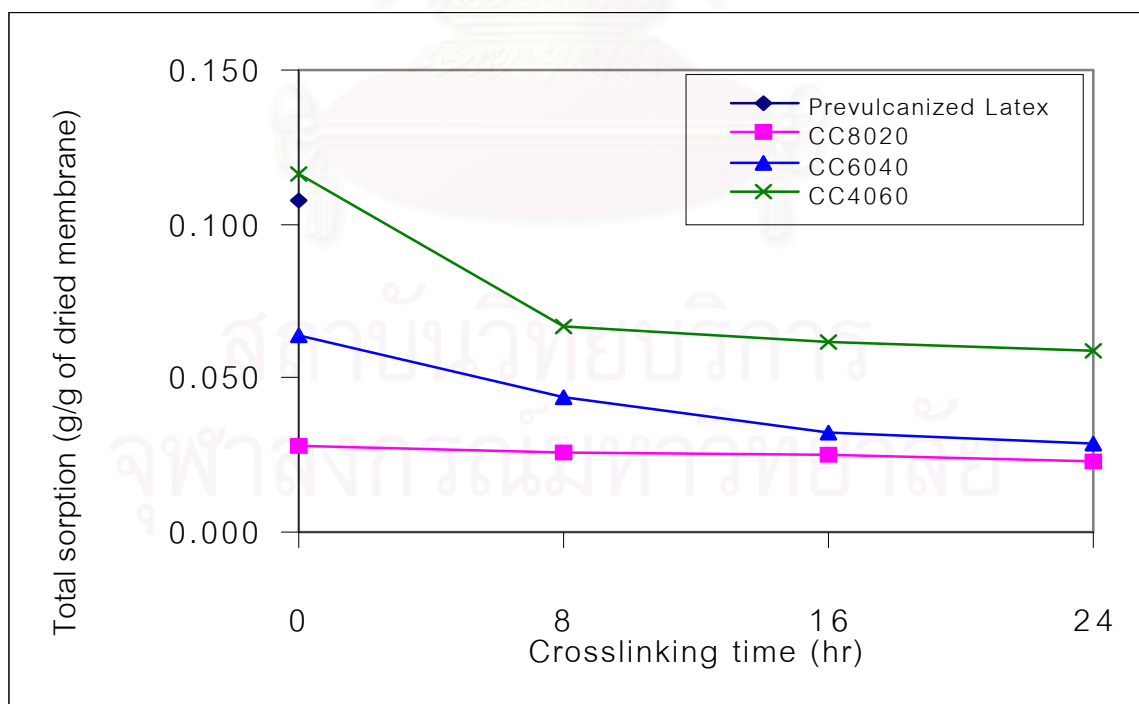
จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 พบว่า เยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ มีค่าการดูดซับรวมลดลงเมื่อปริมาณของพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากพอลิอะครีลาไมด์เป็นพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำและไม่ละลายในเอทานอล [7] เมื่อปริมาณของพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้นจึงทำให้เยื่อแผ่นแสดงลักษณะความชอบน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นต่อสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงลดลง เมื่อปริมาณของเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์เพิ่มขึ้น ทำให้เยื่อแผ่นมีค่าการดูดซับรวมลดลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณของเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตซึ่งใช้เป็นสารเชื่อมโยงในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์จะทำให้โครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์มีความหนาแน่นมากขึ้น ทำให้สารละลายสามารถแพร่ซึมเข้าไปในเยื่อแผ่นได้ยากขึ้น ค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นจึงลดลง เยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.6 แสดงแนวโน้มลักษณะเดียวกัน แต่จะให้ค่าการดูดซับรวมต่ำกว่าเยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ เนื่องจากโครงร่างตาข่ายของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ทำให้โครงร่างตาข่ายในเยื่อแผ่นมีความหนาแน่นมากขึ้น ทำให้สารละลายแพร่ซึมเข้าไปในเยื่อแผ่นได้ยากกว่าเยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ จึงทำให้ได้ค่าการดูดซับรวมต่ำกว่าเยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ที่มีปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตเท่ากัน

ตารางที่ 4.5 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-อนุพันธ์ไคโตแซนฟาทาเลท ในเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้ตัวอย่างทดสอบจำนวน 4 ตัวอย่าง

Crosslinking time (hr)	Total sorption in membrane (g/g of dried membrane)							
	NR latex	Prev. latex	LC8020	CC8020	LC6040	CC6040	LC4060	CC4060
0	0.131	0.108	0.058	0.028	0.074	0.064	0.080	0.116
8	-	-	0.033	0.026	0.061	0.044	0.071	0.067
16	-	-	0.032	0.025	0.053	0.032	0.068	0.062
24	-	-	0.030	0.023	0.041	0.029	0.064	0.059



รูปที่ 4.7 ผลของปริมาณโคโตแซนฟาทาเลท ในเยื่อแผ่นและเวลาที่ใช้ทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของโคโตแซนฟาทาเลทต่อค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตแซนฟาทาเลท



รูปที่ 4.8 ผลของปริมาณโคโตแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นและเวลาที่ใช้ทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของโคโตแซนฟาทาเลทต่อค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลท

ถึงแม้ว่าโคโตแซนฟาทาเลทจะเป็นอนุพันธ์ที่ชอบน้ำ แต่จากค่าการดูดซับรวมที่เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณโคโตแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 พิจารณาได้ว่าองค์ประกอบเอธานอลเกิดอันตรกิริยา (Interaction) กับโซ่พอลิเมอร์ของโคโตแซนฟาทาเลทและทำให้เกิดการพองตัว ส่งผลให้ทั้งองค์ประกอบน้ำและองค์ประกอบเอธานอลสามารถแพร่เข้าภายในเยื่อแผ่นได้ง่ายขึ้น เมื่อสร้างโครงร่างตาข่ายให้แก่โคโตแซนฟาทาเลทโดยการแช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกในเมธานอล ทำให้ค่าการดูดซับรวมลดลงเมื่อเวลาของการแช่นานขึ้น เนื่องจากเมื่อเวลาที่แช่เยื่อแผ่นเพิ่มขึ้นทำให้กรดซัลฟูริกเกิดปฏิกิริยากับหมู่เอมีนของโคโตแซนฟาทาเลทเพิ่มมากขึ้น ทำให้ได้โครงร่างตาข่ายที่หนาแน่นมากขึ้น ทำให้ทั้งองค์ประกอบน้ำและองค์ประกอบเอธานอลแพร่ซึมเข้าภายในเยื่อแผ่นได้ยากขึ้น ดังนั้น ค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นจึงลดลง

4.4 การวัดค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นที่เตรียมได้

ค่าการเลือกดูดซับน้ำเฉลี่ยของเยื่อแผ่นตามสมการที่ 4.2 [32] ในเอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ค่าการเลือกดูดซับน้ำเฉลี่ยดังตารางที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ สำหรับเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์และน้ำยางธรรมชาติ-อนุพันธ์โคโตแซนฟาทาเลท โดยได้ค่าการเลือกดูดซับน้ำเฉลี่ยของเยื่อแผ่นจากการผสมทางกลระหว่าง 73-926 และ 17-612 เมื่ออัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติลดลงจาก 80 ส่วนเป็น 40 ส่วน ค่าการเลือกดูดซับน้ำเฉลี่ยของเยื่อแผ่นชนิด Semi-IPN จากการสร้างโครงร่างตาข่ายของน้ำยางธรรมชาติเท่านั้นอยู่ในช่วง 779-1348 และ 89-639 ค่าการเลือกดูดซับน้ำเฉลี่ยของเยื่อแผ่น Semi-IPN จากการสร้างโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์และอนุพันธ์โคโตแซนฟาทาเลท อยู่ใน ช่วง 720-1808 และ 34-1532 และเยื่อแผ่นชนิด IPN อยู่ระหว่าง 955-2481 และ 238-3044 ในขณะที่เยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติและเยื่อแผ่นจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์มีค่าการเลือกดูดซับน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 43 และ 70 ตามลำดับ

$$\text{ค่าการเลือกดูดซับน้ำ} = \frac{Y_i/Y_j}{X_i/X_j} \quad (4.2)$$

Y_i = สัดส่วนโดยปริมาตรของน้ำในเยื่อแผ่น

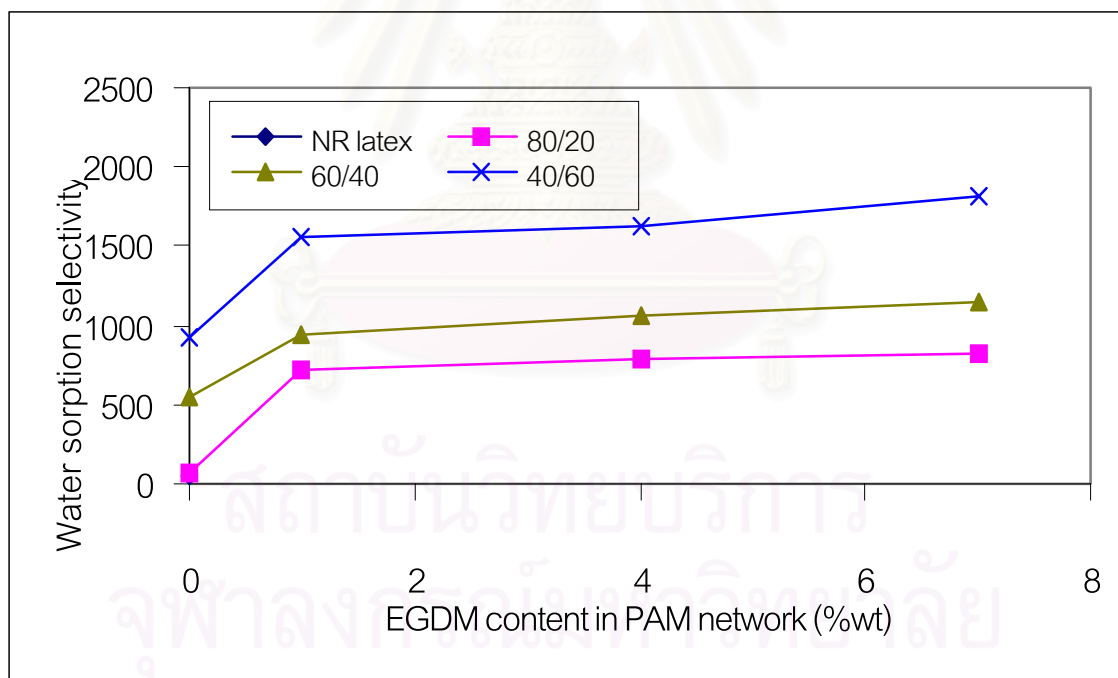
Y_j = สัดส่วนโดยปริมาตรของเอธานอลในเยื่อแผ่น

X_i = สัดส่วนโดยปริมาตรของน้ำในสารป้อน

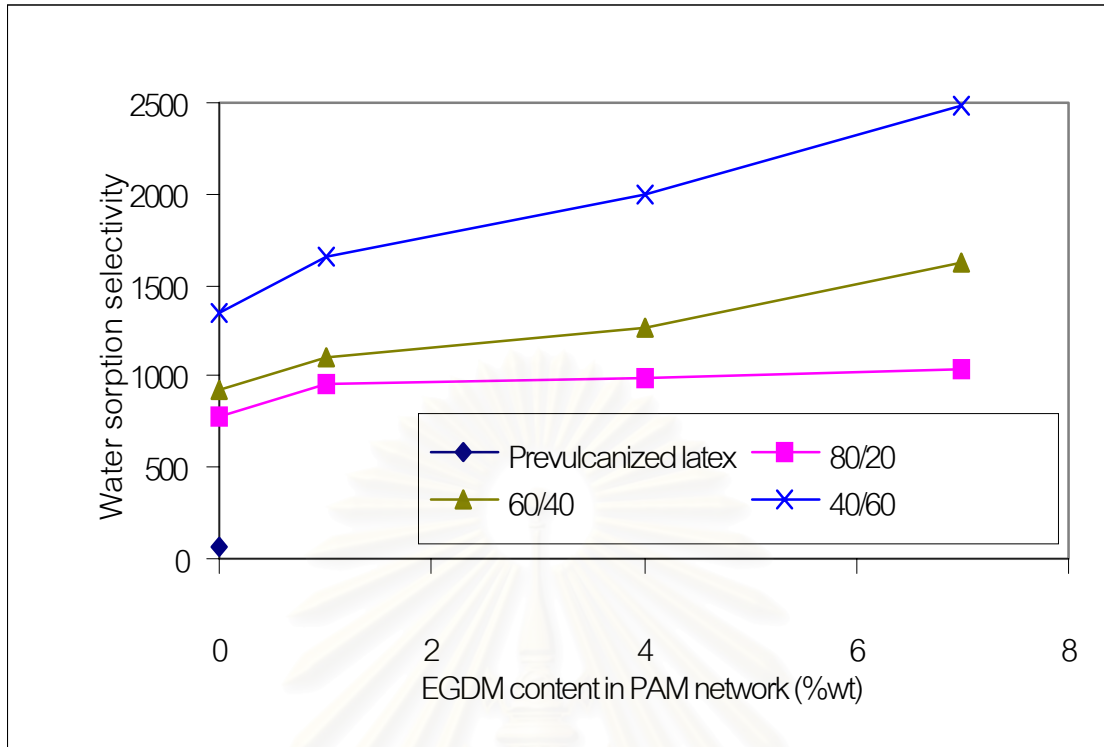
X_j = สัดส่วนโดยปริมาตรของเอธานอลในสารป้อน

ตารางที่ 4.6 ค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ ในเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

EGDM content in PAM networks (%wt)	Water sorption selectivity of membrane							
	NR latex	Prev. latex	LP8020	CP8020	LP6040	CP6040	LP4060	CP4060
0	43	70	73	779	553	922	926	1348
1	-	-	720	955	941	1112	1551	1648
4	-	-	790	997	1067	1274	1619	2002
7	-	-	829	1031	1154	1619	1808	2481



รูปที่ 4.9 ผลของปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและปริมาณเออีดีเอ็นไกลคคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์ต่อค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์

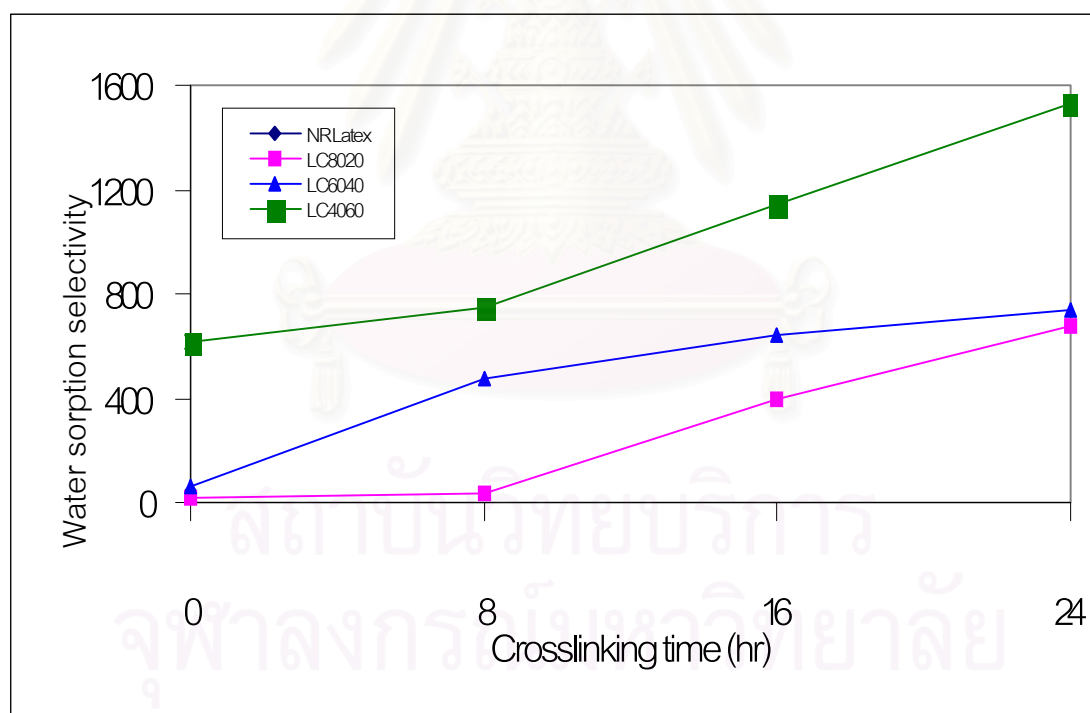


รูปที่ 4.10 ผลของปริมาณ พอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและปริมาณเออีดีเอ็นไกลคอลไดเมธาครีเลต ในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์ต่อค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์

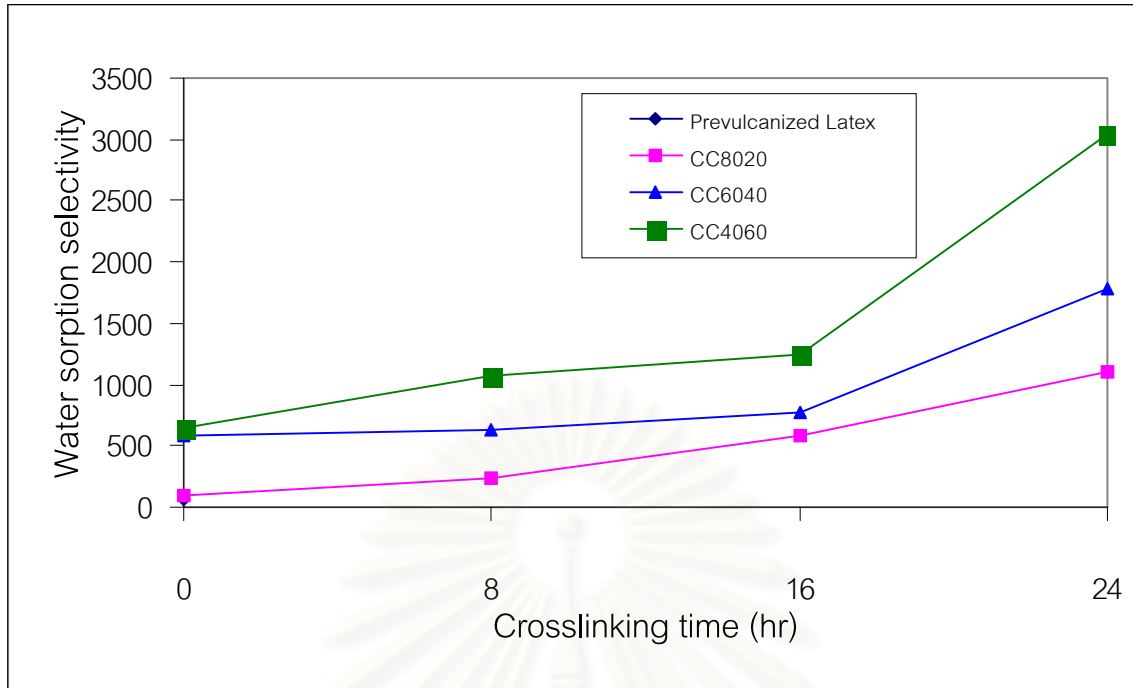
จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.9-4.10 กล่าวได้ว่าทั้งเยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์และน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ แสดงค่าการเลือกดูดซับน้ำมากขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของพอลิอะครีลาไมด์และเออีดีเอ็นไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่น เนื่องจากพอลิอะครีลาไมด์มีความชอบน้ำมากและเออีดีเอ็นไกลคอลไดเมธาครีเลตจะทำให้โครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์มีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ทำให้องค์ประกอบเอธานอลซึ่งมีโมเลกุลใหญ่กว่าน้ำแพร่ซึมเข้าในเยื่อแผ่นได้ยากขึ้น ทำให้ค่าการเลือกดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น เยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์จะมีค่าการเลือกดูดซับน้ำสูงกว่าเยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ เนื่องจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ผ่านการทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของน้ำยางมาแล้ว ทำให้โครงร่างตาข่ายในเยื่อแผ่นจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์มีความหนาแน่นมากกว่าเยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ โมเลกุลของเอธานอลจึงแพร่ซึมเข้าในเยื่อแผ่นจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ได้ยากกว่าเยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ ทำให้เยื่อแผ่นจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์มีค่าการเลือกดูดซับน้ำสูงกว่าเยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์

ตารางที่ 4.7 ค่าการเลือกดูดซับน้ำเฉลี่ยของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-อนุพันธ์โคโตแซนฟาทา
 เลท ในเอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2
 ชั่วโมง โดยใช้ตัวอย่างจำนวน 4 ชิ้น

Crosslinking time (hr)	Water sorption selectivity of membrane							
	NR latex	Prev. latex	LC8020	CC8020	LC6040	CC6040	LC4060	CC4060
0	43	70	17	89	62	589	612	639
8	-	-	34	238	477	624	750	1070
16	-	-	399	579	644	773	1143	1239
24	-	-	674	1097	736	1779	1532	3044



รูปที่ 4.11 ผลของปริมาณโคโตแซนฟาทาเลท ในเยื่อแผ่นและเวลาที่ใช้ทำให้เกิดโครงร่างตาข่าย
 ของโคโตแซนฟาทาเลทต่อ ค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโต
 แซนฟาทาเลท



รูปที่ 4.12 ผลของปริมาณโคโตแซนฟาทาเลท ในเยื่อแผ่นและเวลาที่ใช้ทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของโคโตแซนฟาทาเลทต่อค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลท

จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.11-4.12 กล่าวได้ว่า ค่าการเลือกดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อสัดส่วนของโคโตแซนฟาทาเลทและเวลาที่ใช้แช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกในเมธานอลเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากโคโตแซนฟาทาเลทเป็นอนุพันธ์ที่มีสมบัติชอบน้ำเช่นเดียวกับโคโตแซน จึงช่วยเพิ่มความชอบน้ำให้กับเยื่อแผ่น ทำให้เยื่อแผ่นแสดงค่าการเลือกดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้นและเนื่องจากกรดซัลฟูริกซึ่งใช้เป็นสารเชื่อมโยงทำให้โครงร่างตาข่ายของโคโตแซนฟาทาเลทมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น องค์ประกอบเอธานอลแพร่ซึมเข้าไปในเยื่อแผ่นได้ยากขึ้น ทำให้ค่าการเลือกดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น สำหรับเยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลทก็ให้ผลในลักษณะเดียวกัน แต่ให้ค่าการเลือกดูดซับน้ำสูงกว่าเยื่อแผ่นที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติ-โคโตแซนฟาทาเลท เนื่องจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ผ่านการทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของน้ำยางมาแล้ว ทำให้โครงร่างตาข่ายในเยื่อแผ่นจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลทมีความหนาแน่นมากกว่า องค์ประกอบเอธานอลจึงแพร่ซึมเข้าไปในเยื่อแผ่นจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลทได้ยากกว่าเยื่อแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติ-โคโตแซนฟาทาเลท ทำให้เยื่อแผ่นจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลทมีค่าการเลือกดูดซับน้ำสูงกว่า

4.5 การหาปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ที่ถูกกราฟท์บนยางธรรมชาติ

เนื่องจากการผสมพอลิอะครีลาไมด์เข้ากับน้ำยางธรรมชาติและน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ กระทำโดยการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแกมมोनอเมอร์อะครีลาไมด์ในน้ำยางดังกล่าว ซึ่งอาจมีพอลิอะครีลาไมด์บางส่วนถูกกราฟท์บนยางธรรมชาติ จึงมีความจำเป็นต้องหาปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ที่ถูกกราฟท์บนยางธรรมชาติ หลังจากการสกัดพอลิอะครีลาไมด์ออกจากเยื่อแผ่นด้วยน้ำ ได้ผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลที่ได้จากการสกัดเยื่อแผ่นด้วยน้ำ

ชนิดของเยื่อแผ่น	น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	น้ำหนักที่เหลือ อยู่ภายหลัง หลังการสกัด (กรัม)	ร้อยละของน้ำหนักที่เหลือ อยู่ภายหลังการสกัดเทียบกับ น้ำหนักเริ่มต้น
LP604000*	5.1087	2.9911	58.55
CP604000**	6.5181	3.8042	58.36

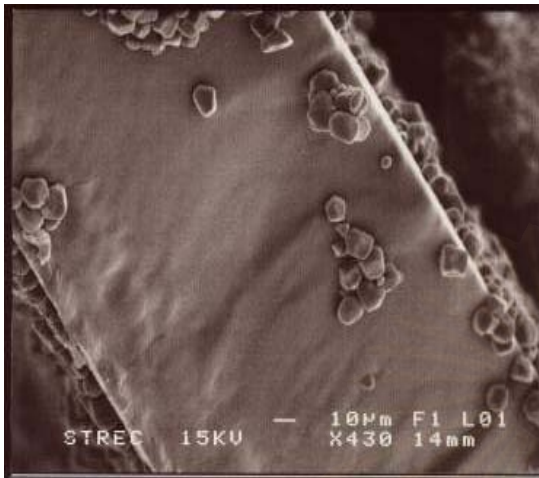
LP604000* = เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ (60/40, 0% EGDM in PAM networks)

CP604000** = เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ (60/40, 0% EGDM in PAM networks)

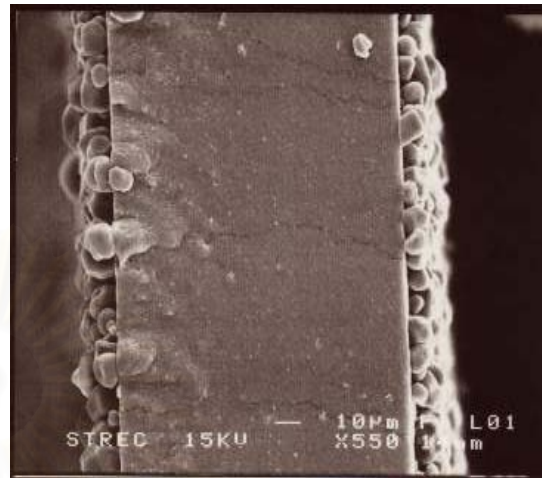
จากตารางที่ 4.8 เมื่อนำเยื่อแผ่นจากการผสมทางกลมาสกัดด้วยน้ำ เพื่อแยกพอลิอะครีลาไมด์ออกจากเยื่อแผ่น พบว่า น้ำหนักเยื่อแผ่นที่เหลือมีค่าใกล้เคียงกับน้ำหนักของน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีการกราฟท์ของพอลิอะครีลาไมด์บนยางธรรมชาติ

4.6 การศึกษาโครงสร้างภายในเยื่อแผ่น

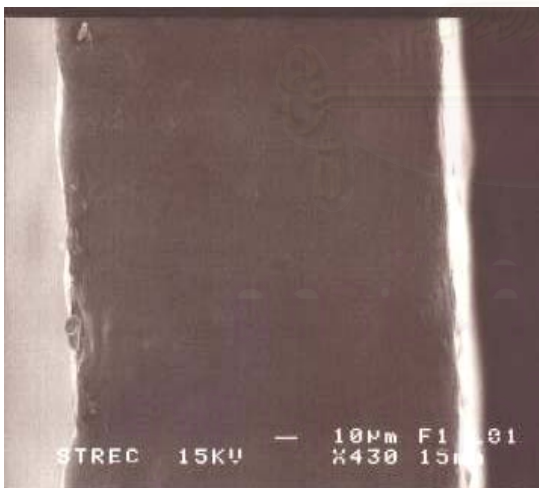
จากการศึกษาโดยใช้ SEM ดูภาคตัดขวางของตัวอย่างเยื่อแผ่นที่มีสมบัติทางกลและความชอบน้ำที่ดี ดังตารางที่ 3.2 เพื่อดูลักษณะโครงสร้างภายในเยื่อแผ่นและความสม่ำเสมอโครงสร้าง ดังภาพที่ 4.13 ถึง 4.24 แสดงว่าเยื่อแผ่นที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นเยื่อแผ่นชนิดเนื้อแน่น (Dense membrane) และมีความสม่ำเสมอของโครงสร้างภายในเยื่อแผ่น ซึ่งจะสามารถนำเยื่อแผ่นที่เตรียมได้นี้ไปใช้กับกระบวนการเพอร์แวกเพอเรนซ์ได้และจากความสม่ำเสมอของโครงสร้างภายใน จะทำให้เราสามารถอธิบายปรากฏการณ์การถ่ายโอนต่างๆ ได้ทุกตำแหน่งของเยื่อแผ่น



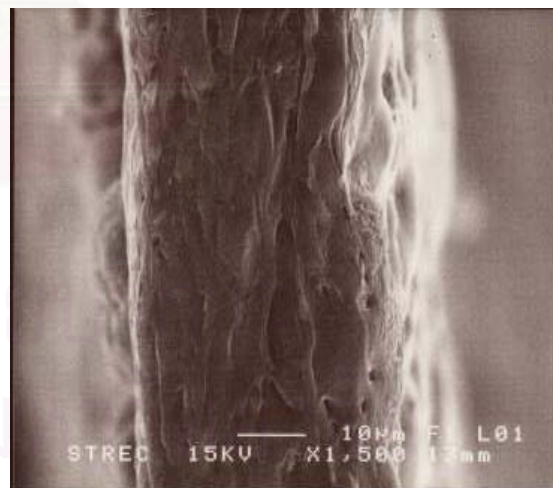
รูปที่ 4.13 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ



รูปที่ 4.14 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์



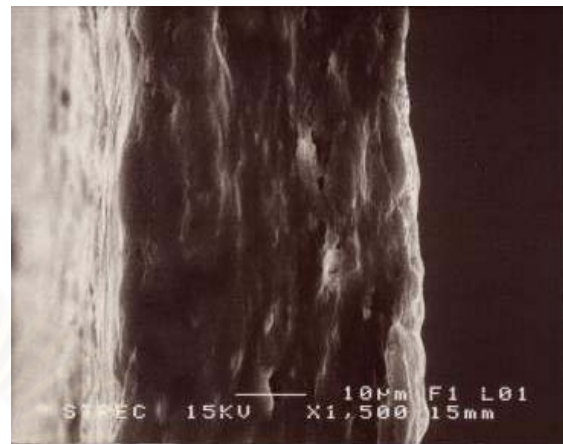
รูปที่ 4.15 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ (60:40, 0 %wt EGDM in PAM networks, Blending membrane)



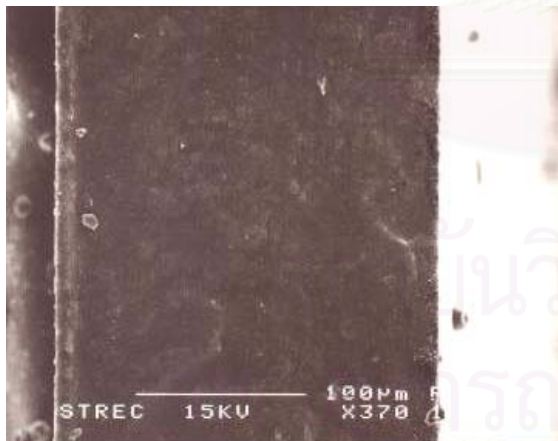
รูปที่ 4.16 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-ไคโตแซนฟาทาเลท (60:40, 0 hr crosslinking time, Blending membrane)



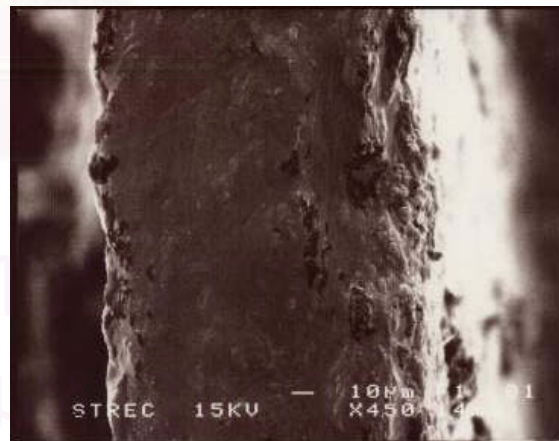
รูปที่ 4.17 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ (60:40, 1 %wt EGDM networks, crosslinked PAM, semi-IPN membrane)



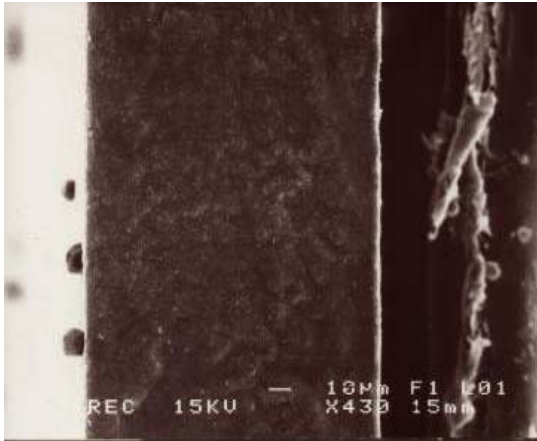
รูปที่ 4.18 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตแซนฟาทาเลท (60:40, 16 hr crosslinking time, crosslinked phthalated chitosan, semi-IPN membrane)



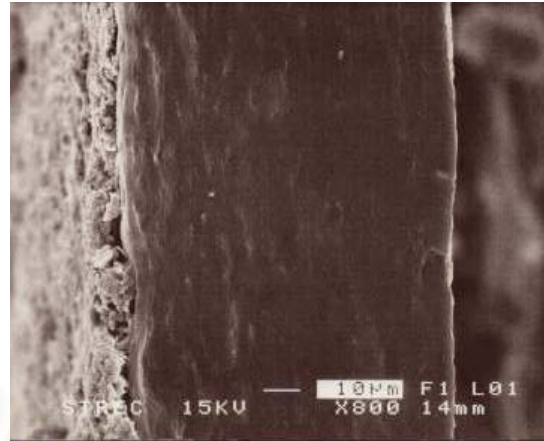
รูปที่ 4.19 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ (80:20, 0 %wt EGDM in PAM networks, crosslinked latex semi-IPN membrane)



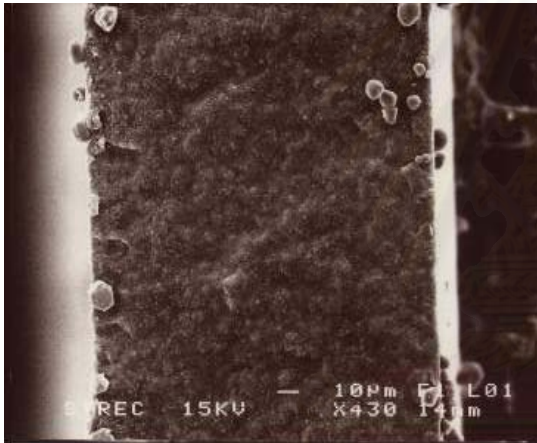
รูปที่ 4.20 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พรีวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลท (60:40, 0 hr crosslinking time, crosslinked latex semi-IPN membrane)



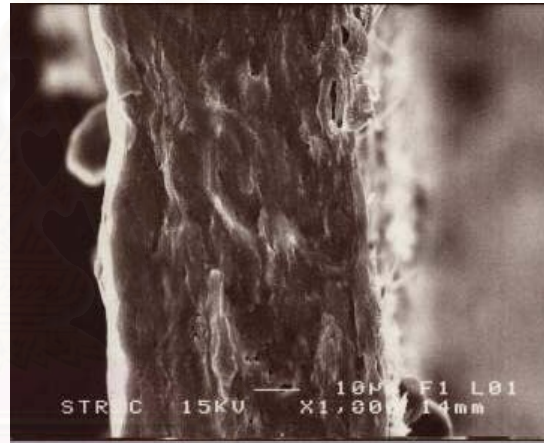
รูปที่ 4.21 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ (80:20, 4 %wt EDDM in PAM networks, IPN membrane)



รูปที่ 4.22 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-ไคโตแซนฟาทาเลท (80:20, 16 hr crosslinking time, IPN membrane)



รูปที่ 4.23 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ (60:40, 1 %wt EGDM in PAM networks, IPN membrane)



รูปที่ 4.24 ภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นพรีวัลคาไนซ์-ไคโตแซนฟาทาเลท (60:40, 16 hr crosslinking time, IPN membrane)

4.7 การศึกษาการดูดซับรวมเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกล การดูดซับรวมและการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นที่เตรียมได้ทุกชนิดแล้ว ได้เลือกเยื่อแผ่นที่มีสมบัติที่ดีทั้งสมบัติทางกลและสมบัติความชอบน้ำของเยื่อแผ่นที่เตรียมได้ 8 ชนิด จากทุกเทคนิคการเตรียมมาทำการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าการดูดซับรวม ได้ผลดังตารางที่ 4.9 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับรวมและส่วนกลับของอุณหภูมิบนกราฟกึ่งลอการิทึมธรรมชาติ สำหรับเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์และเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-ไคโตแซนฟาทาเลท ดังแสดงในรูปที่ 4.25 และ 4.26

ตามลำดับ ได้ผลว่าเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์เป็นไปตามสมการของอาร์เรเนียส ดังสมการที่ 4.3 [32] กล่าวคือ ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่สำหรับเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตแซนฟาทาเลทได้ผลไม่เป็นไปตามสมการของอาร์เรเนียส ซึ่งสาเหตุของปรากฏการณ์นี้อยู่นอกขอบเขตของงานวิจัยนี้

$$S = S_0 e^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)} \quad (4.3)$$

S = ค่าการดูดซับรวมที่อุณหภูมิใดๆ ของเยื่อแผ่น

S_0 = ค่าคงที่การดูดซับรวมของเยื่อแผ่น

E_a = ค่าพลังงานกระตุ้นของการดูดซับของเยื่อแผ่น

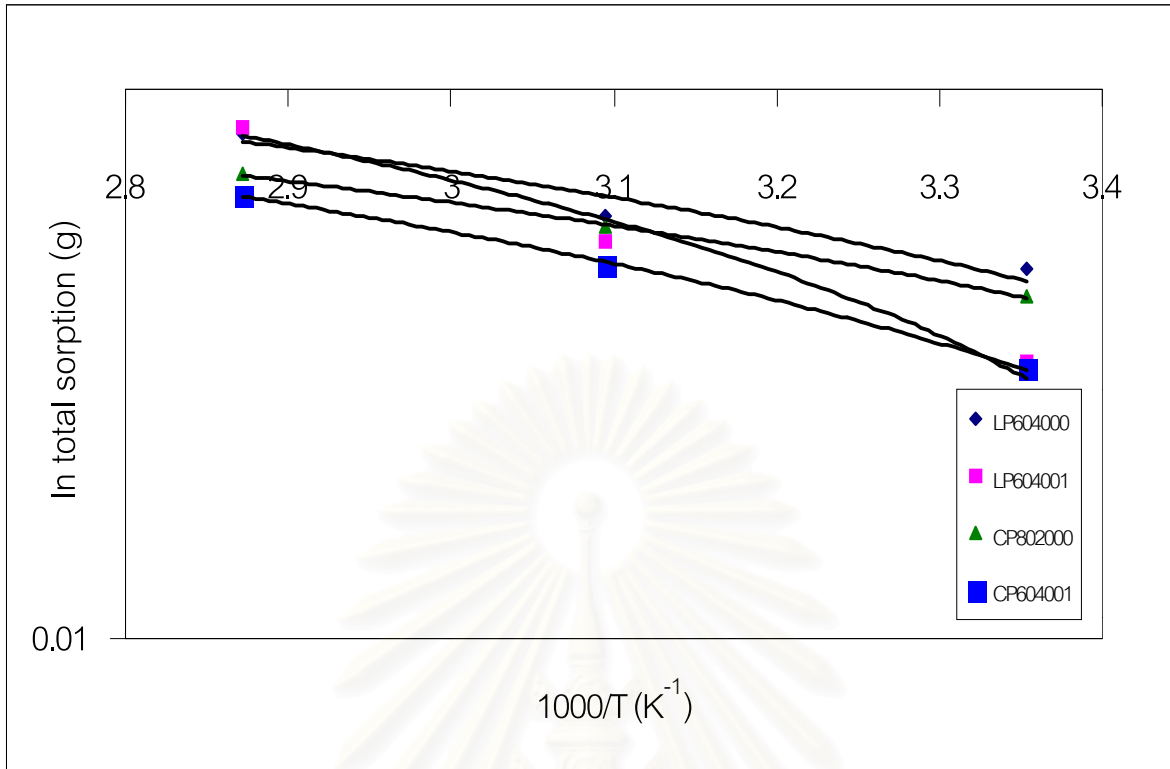
R = ค่าคงที่ของแก๊ส

T = อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน

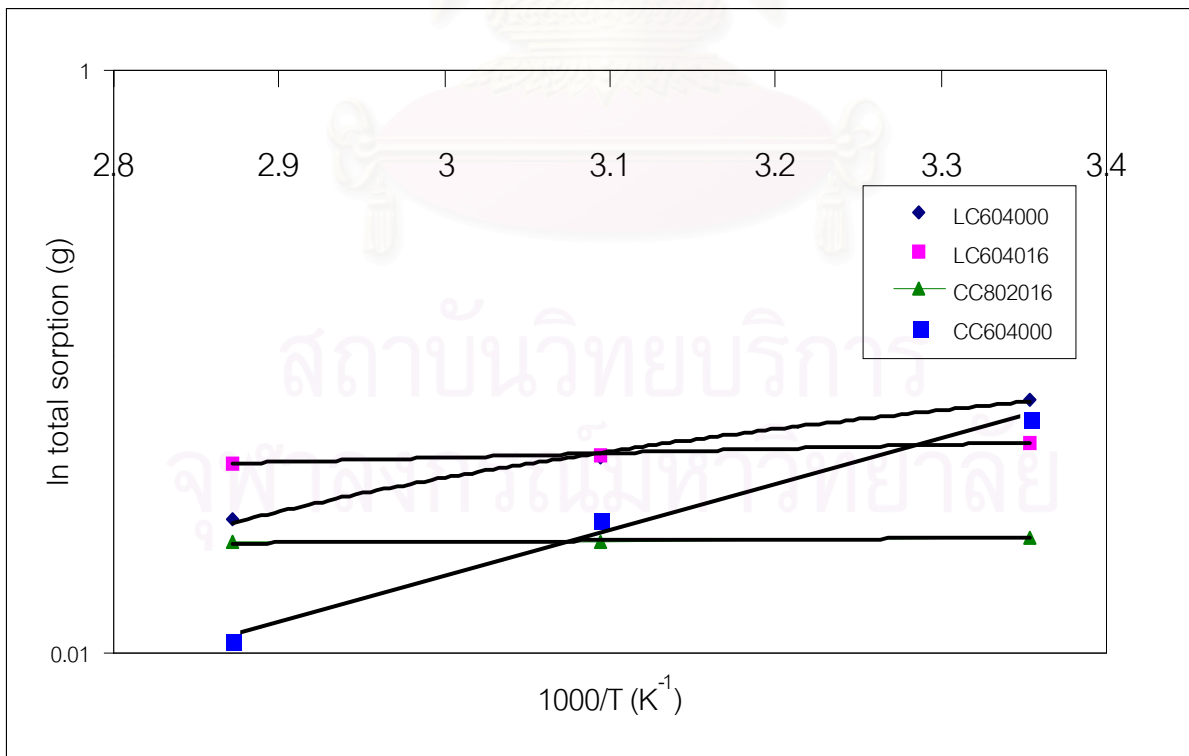
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นที่อุณหภูมิต่างๆ

Membrane Type	Total sorption (g/g of dried membrane)		
	25 °C	50 °C	75 °C
LP604000	0.047	0.059	0.083
LP604001	0.032	0.053	0.085
CP802000	0.042	0.056	0.070
CP604001	0.031	0.048	0.064
LC604000	0.074	0.047	0.029
LC604016	0.053	0.048	0.045
CC604000	0.064	0.029	0.011
CC802016	0.025	0.024	0.024

หมายเหตุ: LP604000 = Natural latex-polyacrylamide (60:40, 0 %wt EGDM in PAM networks, Blending membrane), LP604001 = Natural latex-polyacrylamide (60:40, 1%wt EGDM in PAM networks, crosslinked PAM semi-IPN membrane), CP802000 = Prevulcanized natural latex-polyacrylamide (80:20, 0 %wt EGDM in PAM networks, crosslinked rubber semi-IPN membrane), CP604001 = Prevulcanized natural latex-polyacrylamide (60:40, 1 %wt EGDM in PAM networks, IPN membrane), LC604000 = Natural latex-phthalated chitosan (60:40, 0 hr crosslinking time, Blending membrane), LC604016 = Natural latex-phthalated chitosan (60:40, 16 hr crosslinking time, crosslinked phthalated chitosan semi-IPN membrane), CC6040000 = Prevulcanized natural latex-phthalated chitosan (60:40, 0 hr crosslinking time, crosslinked rubber semi-IPN membrane), CC802016 = Prevulcanized natural latex- phthalated chitosan (80:20, 16 hr crosslinking time, IPN membrane)



รูปที่ 4.25 กราฟตามสมการของอาร์เรเนียสของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์



รูปที่ 4.26 กราฟตามสมการของอาร์เรเนียสของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-ไคโตแซนฟาทาเลท

4.8 ความมีเสถียรภาพในการทำงานของเยื่อแผ่น

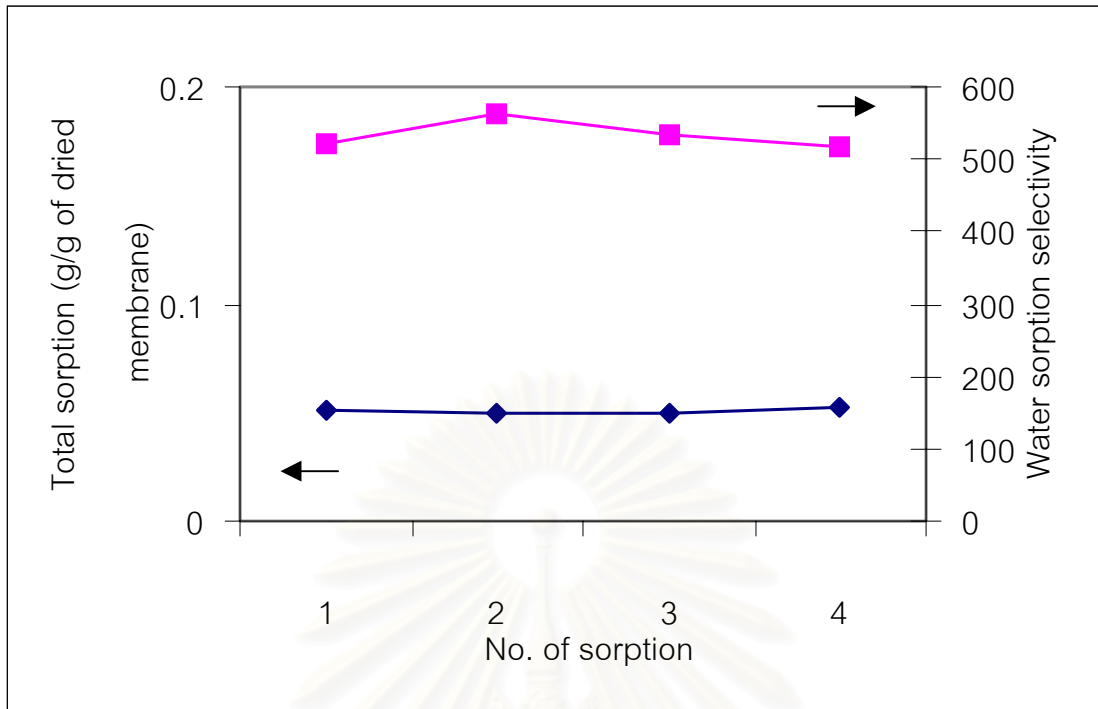
เยื่อแผ่นที่มีสมบัติที่ดีทั้งสมบัติทางกลและความชอบน้ำ 8 ชนิด จากทุกเทคนิคการเตรียม ได้ถูกเลือกมาทำการศึกษาความมีเสถียรภาพในการดูดซับ โดยศึกษาจากการดูดซับเอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จำนวน 4 ครั้ง ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.10 จากรูปที่ 4.27-4.34 พบว่าเยื่อแผ่นที่เลือกมาทำการทดสอบมีเสถียรภาพและความสม่ำเสมอของค่าการดูดซับรวมเฉลี่ยและค่าการเลือกดูดซับน้ำตลอดการดูดซับทั้ง 4 ครั้ง

ตารางที่ 4.10 ค่าการดูดซับรวมเฉลี่ยและค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นในเอธานอลร้อยละ

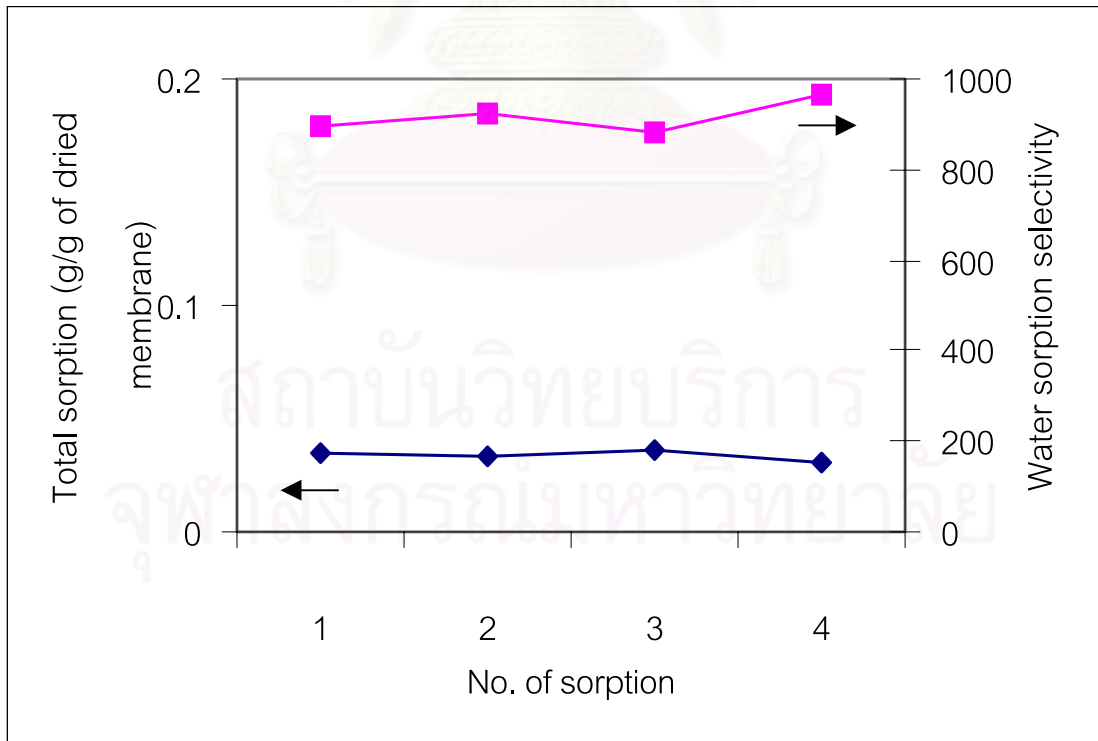
ละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จำนวน 4 ครั้ง

Membrane type	Total sorption of membrane (g/g of dried membrane)				Water sorption selectivity			
	1 st time	2 nd time	3 rd time	4 th time	1 st time	2 nd time	3 rd time	4 th time
LP604000	0.051	0.049	0.05	0.053	521	564	533	517
LP604001	0.035	0.034	0.036	0.031	897	927	884	962
CP802000	0.045	0.041	0.043	0.044	728	792	751	767
CP604001	0.033	0.035	0.032	0.034	986	954	1054	965
LC604000	0.076	0.073	0.075	0.074	58	63	61	63
LC604016	0.054	0.052	0.055	0.054	624	651	603	618
CC604000	0.063	0.062	0.061	0.064	614	628	647	608
CC802016	0.023	0.026	0.024	0.027	623	562	597	558

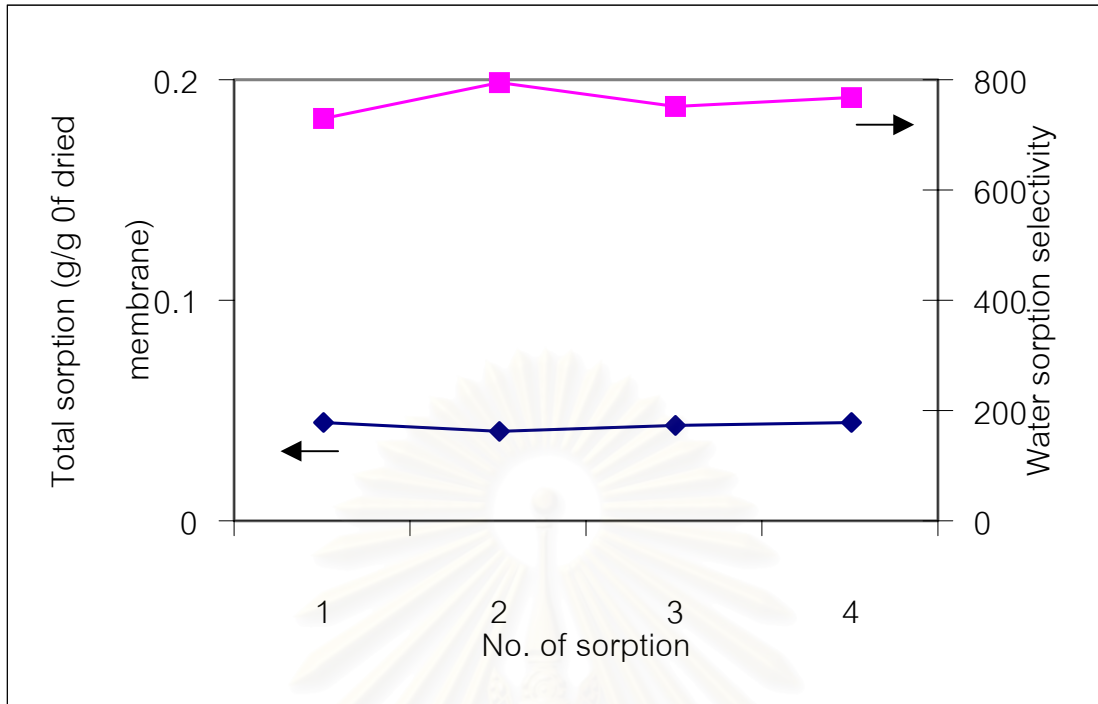
หมายเหตุ : LP604000 = Natural latex-polyacrylamide (60:40, 0 %wt EGDM in PAM networks, Blending membrane), LP604001 = Natural latex-polyacrylamide (60:40, 1%wt EGDM in PAM networks, crosslinked PAM semi-IPN membrane), CP802000 = Pre vulcanized natural latex-polyacrylamide (80:20, 0 %wt EGDM in PAM networks, crosslinked rubber semi-IPN membrane), CP604001 = Pre vulcanized natural latex-polyacrylamide (60:40, 1 %wt EGDM in PAM networks, IPN membrane), LC604000 = Natural latex-phthalated chitosan (60:40, 0 hr crosslinking time, Blending membrane), LC604016 = Natural latex-phthalated chitosan (60:40, 16 hr crosslinking time, crosslinked phthalated chitosan semi-IPN membrane), CC6040000 = Pre vulcanized natural latex-phthalated chitosan (60:40, 0 hr crosslinking time, crosslinked rubber semi-IPN membrane), CC802016 = Pre vulcanized natural latex- phthalated chitosan (80:20, 16 hr crosslinking time, IPN membrane)



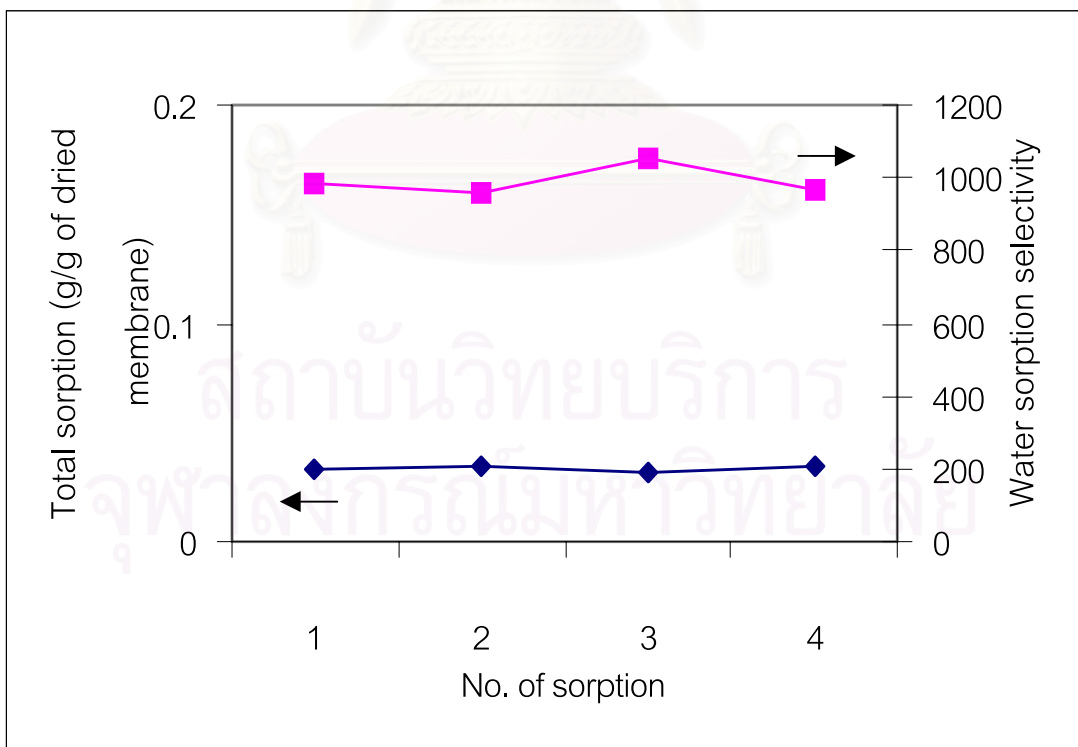
รูปที่ 4.27 เสร็จสภาพการดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วน 60:40 0%wt ของเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์



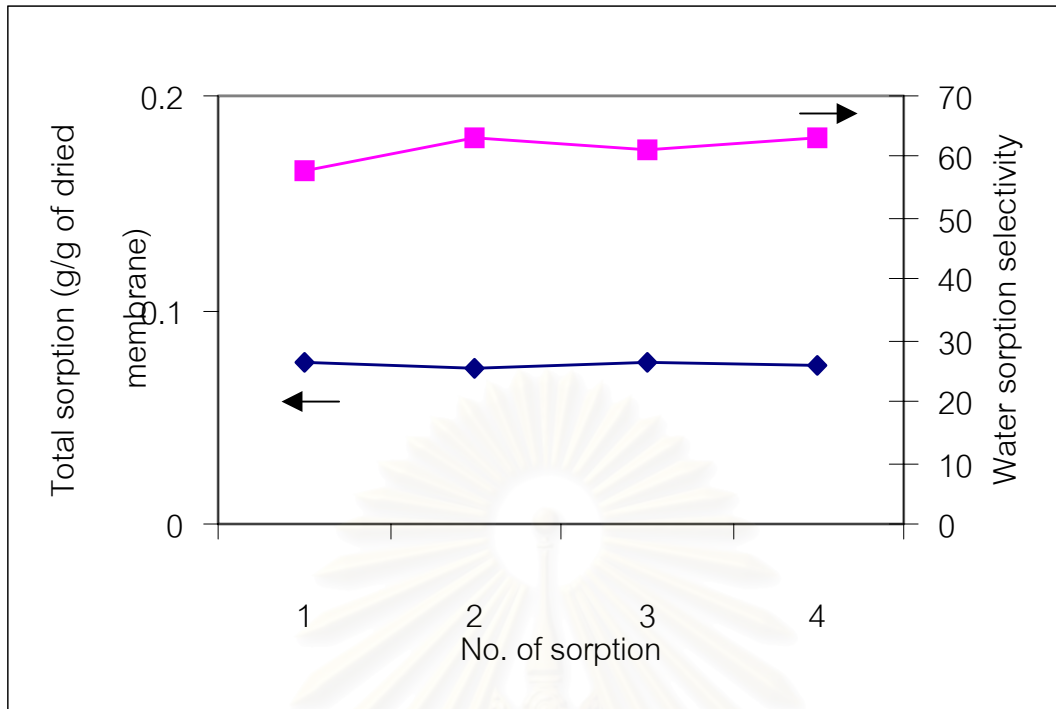
รูปที่ 4.28 เสร็จสภาพการดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วน 60:40 1%wt ของเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์



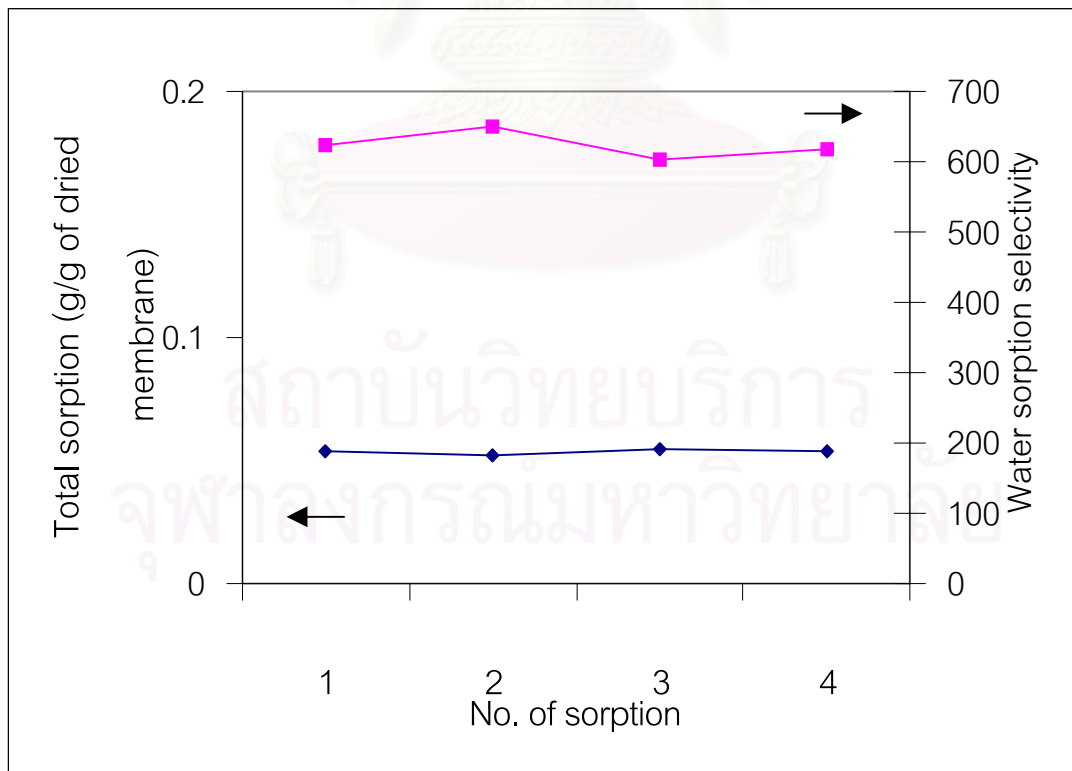
รูปที่ 4.29 เสร็จสภาพการดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วน 80:20 0%wt ของเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์



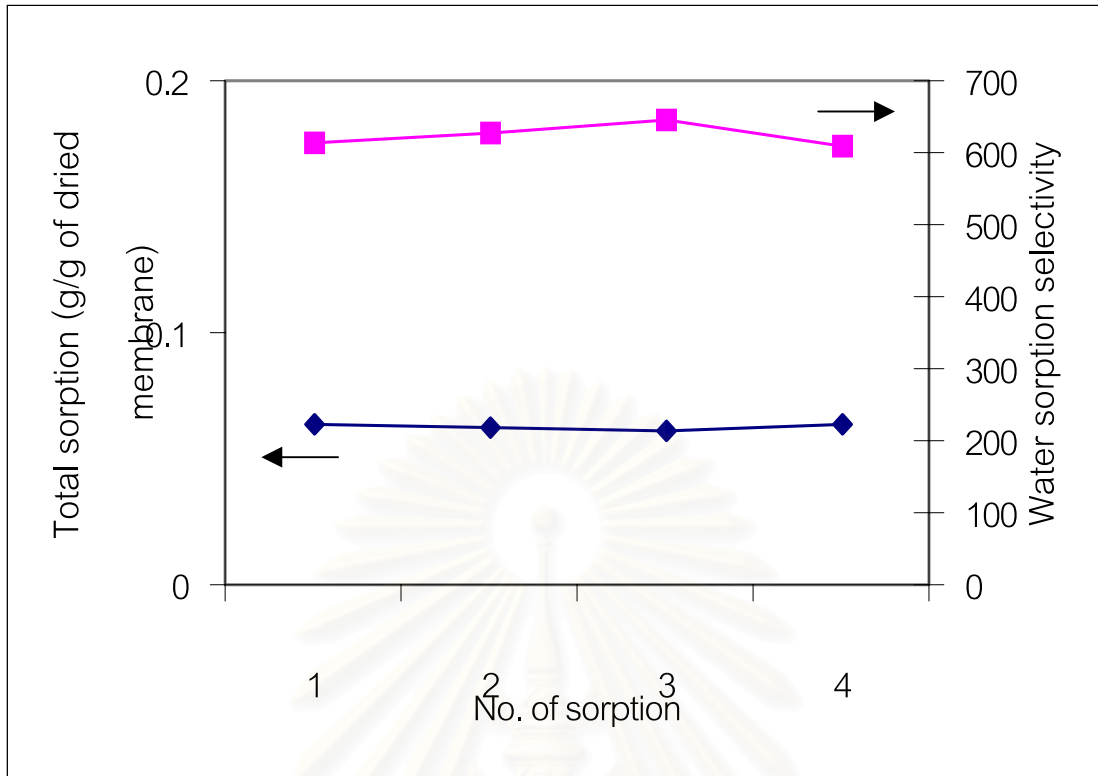
รูปที่ 4.30 เสร็จสภาพการดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วน 60:40 1%wt ของเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์



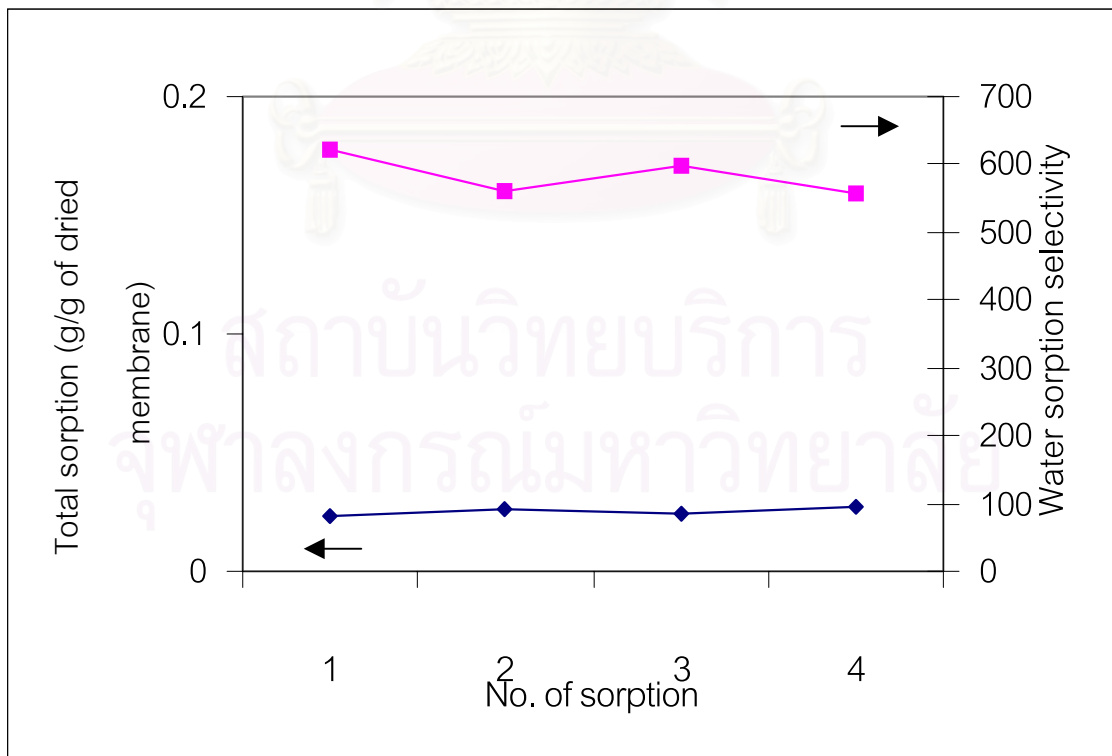
รูปที่ 4.31 เสร็จสภาพการดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-ไคโตแซนฟาทาเลท อัตราส่วน 60:40 เวลาที่แช่เยื่อแผ่นในกรดซัลฟูริกในเมธานอล 0 ชั่วโมง



รูปที่ 4.32 เสร็จสภาพการดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-ไคโตแซนฟาทาเลท อัตราส่วน 60:40 เวลาที่แช่เยื่อแผ่นในกรดซัลฟูริกในเมธานอล 16 ชั่วโมง



รูปที่ 4.33 เติยรภาพการดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตะแซนฟาทาเลท อัตราส่วน 60:40 เวลาที่แช่เยื่อแผ่นในกรดซัลฟูริกในเมธานอล 0 ชั่วโมง



รูปที่ 4.34 เติยรภาพการดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำพรีวัลคาไนซ์-โคโตะแซนฟาทาเลท อัตราส่วน 80:20 เวลาที่แช่เยื่อแผ่นในกรดซัลฟูริกในเมธานอล 16 ชั่วโมง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิจัยการเตรียมเยื่อแผ่นชนิดชอบน้ำจากน้ำยางยางธรรมชาติ โดยการผสมพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่มีสมบัติชอบน้ำเข้ากับน้ำยางธรรมชาติซึ่งอยู่ในรูปของน้ำยางข้น โดยการศึกษาวิจัยครั้งนี้เลือกใช้พอลิอะครีลาไมด์และโคโตนแซนฟาทาเลท ด้วยเทคนิคการผสมทางกลโดยไม่มีการใช้สารเชื่อมโยง การสังเคราะห์โครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์กึ่งอินเตอร์พอนิเตอร์ติงโดยทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของยางธรรมชาติ การสังเคราะห์โครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์กึ่งอินเตอร์พอนิเตอร์ติงโดยทำให้พอลิเมอร์อื่นเกิดโครงร่างตาข่ายและการสังเคราะห์โครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์อินเตอร์พอนิเตอร์ติง โดยมีการเติมสารเชื่อมโยงให้กับน้ำยางธรรมชาติและพอลิเมอร์ที่นำมาผสม ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. เยื่อแผ่นที่เตรียมโดยการผสมทางกล

1.1 ความทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่น

เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์จะทนแรงดึงได้มากขึ้น เมื่อมีปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตนแซนฟาทาเลทจะทนแรงดึงได้น้อยลง เมื่อมีปริมาณโคโตนแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น โดยทนแรงดึงได้ 4.2-26.4 และ 3.2-0.6 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อปริมาณพอลิอะครีลาไมด์หรือโคโตนแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้นจาก 20 ส่วนเป็น 60 ส่วน

1.2 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่น

เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์จะมีค่าการดูดซับรวมลดลง เมื่อมีปริมาณพอลิอะครีลาไมด์เพิ่มขึ้น แต่เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตนแซนฟาทาเลทมีค่าการดูดซับรวมเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณโคโตนแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น โดยมีค่าการดูดซับรวมระหว่าง 0.061-0.038 และ 0.058-0.080 กรัมต่อกรัมของเยื่อแผ่นแห้ง เมื่อมีพอลิอะครีลาไมด์หรือโคโตนแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้นจาก 20 ส่วนเป็น 60 ส่วน

1.3 ค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่น

เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์และเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตนแซนฟาทาเลทมีค่าการเลือกดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณพอลิอะครีลาไมด์และโคโตนแซนฟาทาเลทในเยื่อ

แผ่นเพิ่มขึ้น โดยมีค่าระหว่าง 73-926 และ 17-612 ตามลำดับ เมื่อปริมาณของพอลิอะครีลาไมด์หรือโคโตนแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้นจาก 20 ส่วนเป็น 60 ส่วน

2 เยื่อแผ่นจากการสังเคราะห์โครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์กึ่งอินเทอร์พินิเตรตติง โดยการใช้หน่วยพรีวัลคาไนซ์ซึ่งผ่านการทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของยางธรรมชาติแล้ว

2.1 ความทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่น

เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์จะทนแรงดึงได้มากขึ้น เมื่อมีปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตนแซนฟาทาเลทจะทนแรงดึงได้น้อยลง เมื่อมีปริมาณโคโตนแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น โดยทนแรงดึงได้ 13.3-36 และ 4.3-0.8 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อปริมาณของพอลิอะครีลาไมด์หรือโคโตนแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้นจาก 20 ส่วนเป็น 60 ส่วน และให้ความทนต่อแรงดึงสูงกว่าเยื่อแผ่นจากการผสมทางกล เพราะได้มีการทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของยางธรรมชาติ

2.2 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่น

เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์จะมีค่าการดูดซับรวมลดลง เมื่อมีปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น แต่เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตนแซนฟาทาเลทมีค่าการดูดซับรวมเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณโคโตนแซนฟาทาเลทเพิ่มขึ้น โดยมีค่าระหว่าง 0.042-0.027 และ 0.028-0.116 กรัมต่อกรัมของเยื่อแผ่นแห้ง ตามลำดับ เมื่อมีพอลิอะครีลาไมด์หรือโคโตนแซนฟาทาเลทเพิ่มขึ้นจาก 20 ส่วนเป็น 60 ส่วน ทั้งนี้เยื่อแผ่นมีค่าการดูดซับรวมต่ำกว่าเยื่อแผ่นจากการผสมทางกล

2.3 ค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่น

เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์และเยื่อแผ่นจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตนแซนฟาทาเลทมีค่าการเลือกดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณพอลิอะครีลาไมด์และโคโตนแซนฟาทาเลทเพิ่มขึ้น โดยมีค่าการเลือกดูดซับน้ำระหว่าง 779-1348 และ 89-639 ตามลำดับ เมื่อมีพอลิอะครีลาไมด์หรือโคโตนแซนฟาทาเลทเพิ่มขึ้นจาก 20 ส่วนเป็น 60 ส่วน

3. เยื่อแผ่นจากการสังเคราะห์โครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์กึ่งอินเทอร์พินิเตรตติง โดยทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของพอลิเมอร์รอง

3.1 ความทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่น

เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์จะทนแรงดึงได้มากขึ้น เมื่อมีปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์เพิ่มขึ้น แต่ทนแรงดึงได้น้อยลง เมื่อมีปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตมากเกินไป เยื่อ

แผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตแซนฟาทาเลทจะทนแรงดึงได้น้อยลง เมื่อมีปริมาณโคโตแซนฟาทาเลทเพิ่มขึ้น เยื่อแผ่นทนแรงดึงมากขึ้นเมื่อแช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกนานขึ้น แต่ทนแรงดึงได้น้อยลงเมื่อแช่นานเกินไป โดยทนแรงดึงได้ 4.6-42 และ 0.8-11.2 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตรตามลำดับ เมื่อมีพอลิอะครีลาไมด์หรือโคโตแซนฟาทาเลท 20 ส่วนถึง 60 ส่วนและมีปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์ร้อยละ 1-7 โดยน้ำหนักหรือแช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกนาน 8-24 ชั่วโมง

3.2 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่น

เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์มีค่าการดูดซับรวมลดลง เมื่อพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์เพิ่มขึ้น เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตแซนฟาทาเลทมีค่าการดูดซับรวมเพิ่มขึ้น เมื่อมีโคโตแซนฟาทาเลทมากขึ้น และมีค่าการดูดซับรวมลดลง เมื่อแช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกในเมธานอลนานขึ้น เยื่อแผ่นมีค่าการดูดซับรวมระหว่าง 0.043-0.018 และ 0.030-0.071 กรัมต่อกรัมของเยื่อแผ่น ตามลำดับ เมื่อมีพอลิอะครีลาไมด์หรือโคโตแซนฟาทาเลท 20 ส่วนถึง 60 ส่วน และมีปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์ร้อยละ 1-7 โดยน้ำหนัก หรือแช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกนาน 8-24 ชั่วโมง

3.3 ค่าการเลือกดูดซับน้ำในเยื่อแผ่น

เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์และเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตแซนฟาทาเลทมีค่าการเลือกดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์เพิ่มขึ้นและมีปริมาณโคโตแซนฟาทาเลทและเวลาที่แช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกในเมธานอลเพิ่มขึ้น โดยเยื่อแผ่นให้ค่าการเลือกดูดซับน้ำระหว่าง 720-1808 และ 34-1532 ตามลำดับ เมื่อมีพอลิอะครีลาไมด์หรือโคโตแซนฟาทาเลท เพิ่มขึ้นจาก 20 ส่วนเป็น 60 ส่วน และมีเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์ร้อยละ 1-7 โดยน้ำหนัก หรือแช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกนาน 8-24 ชั่วโมง

4. เยื่อแผ่นจากการสังเคราะห์โครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์อินเทอร์พินิตเรตติง

4.1 ความทนต่อแรงดึงของเยื่อแผ่น

เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์จะทนแรงดึงได้มากขึ้น เมื่อมีปริมาณพอลิอะครีลาไมด์ในเยื่อแผ่นและมีเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์เพิ่มขึ้น แต่ทนแรงดึงได้น้อยลง ถ้ามีปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์มากเกินไป เยื่อแผ่นจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลทจะทนแรงดึง

ได้น้อยลง เมื่อมีปริมาณโคโตแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้นและเยื่อแผ่นสามารถทนแรงดึงมากขึ้นเมื่อใช้เวลาแช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกมากขึ้น แต่ทนแรงดึงได้น้อยลงเมื่อแช่นานเกินไป โดยเยื่อแผ่นสามารถทนแรงดึงได้ 13.5-24.1 และ 0.3-7.9 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อมีพอลิอะครีลาไมด์หรือโคโตแซนฟาทาเลท 20 ส่วนถึง 60 ส่วน และมีปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตร้อยละ 1-7 โดยน้ำหนัก หรือแช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกนาน 8-24 ชั่วโมง

4.2 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่น

เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์มีค่าการดูดซับรวมลดลง เมื่อมีปริมาณพอลิอะครีลาไมด์และเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลทในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์เพิ่มขึ้น สำหรับเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลทมีค่าการดูดซับรวมเพิ่มขึ้น เมื่อมีโคโตแซนฟาทาเลทในเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น แต่จะลดลงเมื่อแช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกนานขึ้น โดยเยื่อแผ่นมีค่าการดูดซับรวมระหว่าง 0.021-0.035 และ 0.023-0.067 กรัมต่อกรัมของเยื่อแผ่น ตามลำดับ เมื่อมีพอลิอะครีลาไมด์หรือโคโตแซนฟาทาเลทเพิ่มขึ้นจาก 20 ส่วนเป็น 60 ส่วน และเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลทในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์ร้อยละ 1-7 โดยน้ำหนักหรือแช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกนาน 8-24 ชั่วโมง

4.3 ค่าการเลือกดูดซับน้ำในเยื่อแผ่น

เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์มีค่าการเลือกดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อมีพอลิอะครีลาไมด์และปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลทในโครงร่างตาข่ายของพอลิอะครีลาไมด์เพิ่มขึ้น เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลทมีค่าการเลือกดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อมีโคโตแซนฟาทาเลทและเวลาที่แช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกในเมธานอลเพิ่มขึ้น โดยเยื่อแผ่นให้ค่าการเลือกดูดซับน้ำ 955-2481 หรือ 238-3044 ตามลำดับ เมื่อมีพอลิอะครีลาไมด์หรือโคโตแซนฟาทาเลทเพิ่มขึ้นจาก 20 ส่วนเป็น 60 ส่วน และมีปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตร้อยละ 1-7 โดยน้ำหนักหรือแช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกนาน 8-24 ชั่วโมง

5. เยื่อแผ่นที่เหมาะสมจะนำไปใช้ในกระบวนการเพอร์เวปเพอเรชัน เพื่อดึงน้ำออกจากสารละลายอะซีโโทรบของเอธานอลให้มีความบริสุทธิ์มากกว่าร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร คือ เยื่อแผ่นที่เตรียมโดยเทคนิคการสังเคราะห์โครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์อินเทอร์พิตเรตติงจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ ที่อัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 60 ต่อ 40 มีปริมาณเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์หรือเยื่อแผ่นที่เตรียมโดยเทคนิคการสังเคราะห์โครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์อินเทอร์พิตเรตติงจากน้ำ

ยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลท ที่อัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อโคโตแซนฟาทาเลทเท่ากับ 60 ต่อ 40 โดยใช้เวลาแช่เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกในเมธานอลเท่ากับ 16 ชั่วโมง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการนำเยื่อแผ่นที่เตรียมได้ไปทดสอบในกระบวนการเพอร์เวปเพอเรชันและพัฒนาไปสู่การใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรม
2. ควรมีการพัฒนาการเตรียมเยื่อแผ่นชนิดชอบน้ำจากน้ำยางธรรมชาติโดยการผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ และพัฒนาเทคนิคการเตรียมเยื่อแผ่นชนิดชอบน้ำจากน้ำยางธรรมชาติต่อไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. ฝ่ายแผนงานเศรษฐกิจรายสาขา. โครงการศึกษาการพยากรณ์การส่งออกสินค้าสำคัญ (20 รายการ) ของไทยในตลาดโลก. สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, 2541.
2. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. น้ำยาง. เอกสารวิชาการ, ศูนย์วิจัยยางขนาดใหญ่, กรมวิชาการเกษตร, 2525.
3. ช้างถึงใน รัตเกล้า ภูติวรรณถ. การทำให้เกิดโครงร่างตาข่ายของแผ่นฟิล์มไคโตแซนโดยการใส่กลูตารัลดีไฮด์เป็นสารช่วยในการเกิดโครงร่างตาข่าย. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
4. อุดมชัย จินณะดิษฐ์. ผลิตภัณฑ์จากเปลือกกุ้งกับการพัฒนาเทคโนโลยีชีวภาพ. วารสาร สสท. 19 (สิงหาคม-กันยายน 2535): 50-54.
5. กลุ่มวิจัยไคตินไคโตแซน. ไคติน/ไคโตแซน. เอกสารเผยแพร่, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุ, กรุงเทพฯ, 2542.
6. ยาวภา ไหวพริบ. การผลิตไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, 2534.
7. Molyneux, P. Water-soluble synthetic polymers : Properties and behavior. Boca Raton: CRC Press.,1983.
8. Muzzarelli, R.A.A. Chitin. Oxford: Pergamon press ,1977.
9. Lee, V. Solution and shear properties of chitin and chitosan. Ann Arbor Vol. 29, 1974: p. 446.

10. Knorr, D. Use of chitinous polymer in food. Food Technology Vol. 38, 1984: p. 85.
11. Mathur, N.K. and Narang, C.K. Chitin and chitosan, versatile polysaccharides from marine animals. Journal of Chemical Education Vol. 67, 1990: pp. 938-942.
12. Shimahara, K., Takiguki, Y., Ohkoouchi, K., and Okada, O. Chitin, chitosan and related enzymes. New York: Academic Press, 1984.
13. Broussignac, P. Chitosan, a natural polymer not well known by the industry. Chim. Ind. Genie. Chim. Vol.99, 1968: pp. 1241-1247.
14. Foster, A.B. and Hackman, R.H. Application of ethylenediamine tetraacetic acid in the isolation of Crustacean chitin. Nature Vol. 180, 1957: pp. 40-41.
15. Hackman, R.H. Chitin. 1. Enzymatic degradation of chitin and chitin esters. Australian Journal of Biological Science Vol. 7, 1954: pp. 168-178.
16. Roseman, W.L. Method in Carbohydrate Chemistry Vol. 5. New York : Academic Press, 1965: pp. 103-107.
17. Penistoo, Q.P. U.S. Patent No. 4,006,735, 1978.
18. Takeda, M. and Abe, E. Norinsho Suisan Koshusho Kenkyu Hokoku Vol. 11, 1962: p. 399.
19. Takeda, M. and Katsuura, H. Suisan Diagakko Kenkyu Hokoku Vol. 13, 1964: p. 109.

20. Bough, W.A., Wu, A.C.M. and Miller, W.B. Effect of time of deacetylation on molecular weight distribution, acetyl content, viscosity and performance of chitosan as a conditioning agent for activated sludge. (Unpublished Manuscript)
21. Horton, D. and Lineback, D.R. *N* – Deacetylation: chitosan from chitin. Method in Carbohydrate Chemistry Vol. 5, 1995: pp. 403-406.
22. Sashiwa, H. and Shigesama, Y. Chemical modification of chitin and chitosan 2: Preparation and water soluble property of *N*-acrylated or *N*-alkylated partially deacetylated chitins. Carbohydrate Polymers Vol. 39, 1999: pp. 127-138.
23. Kurita, K., Koyama, and Taniguchi, A. Studies on chitin. IX. Homogeneous cross-link of chitosan for enhanced cupric ion adsorption. Journal of Applied Polymer Science Vol. 31, 1986: pp. 1951-1954.
24. Thacharodi, D. and Panduranga, R.K. Propranol hydrochloride release behaviour of crosslinked chitosan membranes. Journal of Chemical Technology and Biotechnology Vol. 58, 1993: pp. 177-181.
25. Klemperer, D., Sperling, L.H. and Utracki, L.A.. Interpenetrating polymer networks. New York: American Chemical Society, 1991.
26. Wei, Y. and Huang, R.Y.M. Pervaporation with latex membranes. I. Latex membrane preparation and characterization. Journal of Membrane Science Vol. 82, 1993: pp. 27-42.
27. Ren, J. and Jiang, C. Transport phenomena of chitosan membrane in pervaporation of water-ethanol mixture. Separation Science and Technology Vol. 33, 1998: pp. 517-535.

28. Chen, X. Li, W. Shao, Z. Zhong, W. and Yu, T. Separation of alcohol-water mixture by pervaporation through a novel natural polymer blend membrane-chitosan/silk fibroin blend membrane. Journal of Applied Polymer Science Vol. 73, 1999: pp. 975-980.
29. Ruckenstein, E. and Liang, L. Pervaporation of ethanol-water through polyvinyl alcohol-polyacrylamide interpenetrating polymer network membranes unsupported and supported on polyethersulfone ultrafiltration membranes: A comparison. Journal of Membrane Science Vol. 110, 1996: pp. 99-107.
30. Matsuyama, H. Shiraishi, H. and Kitamura, Y. Effect of membrane preparation conditions on solution permeability in chitosan membrane. Journal of Applied Polymer Science Vol. 73, 1999: pp. 2715-2725.
31. Wei, Y. and Huang, R.Y.M. Application of ionically crosslinked latex membranes to the separation of ethanol-water mixtures by pervaporation. Journal of Applied Polymer Science Vol. 53, 1994: pp. 179-185.
32. Huang, R.Y.M. and Wei, Y. Pervaporation with latex membranes II. Sorption and pervaporation properties: A comparison between latex and solvent cast membranes. Journal of Membrane Science Vol. 89, 1994: pp. 9-21.
33. Lee, Y.M., Nam, S.Y. and Woo, D.J. Pervaporation of ionically surface crosslinked chitosan composite membrane for water-alcohol mixtures. Journal of Membrane Science Vol. 133, pp. 1997: 103-110.
34. Sabnis, S. and Block, L.H. Improve infrared spectroscopic method for the analysis of degree of N-deacetylation of chitosan. Polymer Bulletin Vol. 39, 1997: pp. 67-71.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วน 80 ต่อ 20 เข้มข้นร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก

อัตราส่วน น้ำยาง ธรรมชาติ ต่อพอลิ อะครีลา ไมด์	ปริมาณ EGDM ใน โครงร่างตา ข่าย PAM (%wt)	น้ำยาง ธรรมชาติ (กรัม)	สารละลาย อะครีลา ไมด์มอนอ เมอร์ (กรัม)	สารละลาย เอธิลีนไกล คอลได เมธาครีเลต (กรัม)	โซเดียม ลอริล ซัลเฟต (กรัม)	โพแทส- เซียมเปอร์ ซัลเฟต (กรัม)
80/20	0	356.00	89.00	0.00	0.45	4.5
	1	355.28	88.82	0.089	0.45	4.5
	4	353.16	88.29	3.35	0.45	4.5
	7	351.08	87.77	6.14	0.45	4.5

ตารางที่ ก.2 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วน 60 ต่อ 40 เข้มข้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก

อัตราส่วน น้ำยาง ธรรมชาติ ต่อพอลิ อะครีลา ไมด์	ปริมาณ EGDM ใน โครงร่างตา ข่าย PAM (%wt)	น้ำยาง ธรรมชาติ (กรัม)	สารละลาย อะครีลา ไมด์มอนอ เมอร์ (กรัม)	สารละลาย เอธิลีนไกล คอลได เมธาครีเลต (กรัม)	โซเดียม ลอริล ซัลเฟต (กรัม)	โพแทส- เซียมเปอร์ ซัลเฟต (กรัม)
60/40	0	267.00	178.00	0.00	0.45	4.5
	1	265.94	177.29	1.77	0.45	4.5
	4	262.80	175.20	7.00	0.45	4.5
	7	259.73	173.15	12.12	0.45	4.5

ตารางที่ ก.3 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วน 40 ต่อ 60 เข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

อัตราส่วน น้ำยาง ธรรมชาติ ต่อพอลิ อะครีลา ไมด์	ปริมาณ EGDM ใน โครงร่างตา ข่าย PAM (%wt)	น้ำยาง ธรรมชาติ (กรัม)	สารละลาย อะครีลา ไมด์มอนอ เมอร์ (กรัม)	สารละลาย เอธิลีนไกล คอลได เมธาครีเลต (กรัม)	โซเดียม ลอริล ซัลเฟต (กรัม)	โพแทส- เซียมเปอร์ ซัลเฟต (กรัม)
40/60	0	178.00	267.00	0.00	0.45	4.5
	1	177.47	264.88	2.65	0.45	4.5
	4	174.35	260.23	10.04	0.45	4.5
	7	171.34	255.75	17.90	0.45	4.5

ตารางที่ ก.4 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์

อัตราส่วน 80 ต่อ 20 เข้มข้นร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก

อัตราส่วน น้ำยางพรี วัลคาไนซ์ ต่อพอลิ อะครีลา ไมด์	ปริมาณ EGDM ใน โครงร่างตา ข่าย PAM (%wt)	น้ำยางพรี วัลคาไนซ์ (กรัม)	สารละลาย อะครีลา ไมด์มอนอ เมอร์ (กรัม)	สารละลาย เอธิลีนไกล คอลได เมธาครีเลต (กรัม)	โซเดียม ลอริล ซัลเฟต (กรัม)	โพแทส- เซียมเปอร์ ซัลเฟต (กรัม)
80/20	0	356.00	89.00	0.00	0.45	4.5
	1	355.28	88.82	0.089	0.45	4.5
	4	353.16	88.29	3.35	0.45	4.5
	7	351.08	87.77	6.14	0.45	4.5

ตารางที่ ก.5 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์
อัตราส่วน 60 ต่อ 40 เข้มข้นร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก

อัตราส่วน น้ำยางพรี วัลคาไนซ์ ต่อพอลิ อะครีลา ไมด์	ปริมาณ EGDM ใน โครงร่างตา ข่าย PAM (%wt)	น้ำยางพรี วัลคาไนซ์ (กรัม)	สารละลาย อะครีลา ไมด์มอนอ เมอร์ (กรัม)	สารละลาย เอธิลีนไกล คอลได เมธาครีเลต (กรัม)	โซเดียม ลอริล ซัลเฟต (กรัม)	โพแทส- เซียมเปอร์ ซัลเฟต (กรัม)
60/40	0	267.00	178.00	0.00	0.45	4.5
	1	265.94	177.29	1.77	0.45	4.5
	4	262.80	175.20	7.00	0.45	4.5
	7	259.73	173.15	12.12	0.45	4.5

ตารางที่ ก.6 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์
อัตราส่วน 40 ต่อ 60 เข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

อัตราส่วน น้ำยางพรี วัลคาไนซ์ ต่อพอลิ อะครีลา ไมด์	ปริมาณ EGDM ใน โครงร่างตา ข่าย PAM (%wt)	น้ำยางพรี วัลคาไนซ์ (กรัม)	สารละลาย อะครีลา ไมด์มอนอ เมอร์ (กรัม)	สารละลาย เอธิลีนไกล คอลได เมธาครีเลต (กรัม)	โซเดียม ลอริล ซัลเฟต (กรัม)	โพแทส- เซียมเปอร์ ซัลเฟต (กรัม)
40/60	0	178.00	267.00	0.00	0.45	4.5
	1	177.47	264.88	2.65	0.45	4.5
	4	174.35	260.23	10.04	0.45	4.5
	7	171.34	255.75	17.90	0.45	4.5

ตารางที่ ก.7 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-อนุพันธ์ไคโตแซนฟาทา
ทาเลท อัตราส่วน 80 ต่อ 20

อัตราส่วนน้ำ ยางธรรมชาติ ต่ออนุพันธ์ไค โตแซนฟาทา เลท	ปริมาณน้ำ ยางชั้น (กรัม)	ปริมาณสาร ละลาย 4%wt อนุพันธ์ไคโต แซนฟาทาเลท (กรัม)	โซเดียม ลอริล ซัลเฟต (กรัม)	ความเข้มข้น ของกรดซัลฟู ริกในเมธา นอล (N)	ระยะเวลาที่ ใช้แช่เยื่อแผ่น (ชั่วโมง)
80/20	95.57	353.98	0.45	0.015	0
	95.57	353.98	0.45	0.015	8
	95.57	353.98	0.45	0.015	16
	95.57	353.98	0.45	0.015	24

ตารางที่ ก.8 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-อนุพันธ์ไคโตแซนฟาทา
ทาเลท อัตราส่วน 60 ต่อ 40

อัตราส่วนน้ำ ยางธรรมชาติ ต่ออนุพันธ์ไค โตแซนฟาทา เลท	ปริมาณน้ำ ยางชั้น (กรัม)	ปริมาณสาร ละลาย 4%wt อนุพันธ์ไคโต แซนฟาทาเลท (กรัม)	โซเดียม ลอริล ซัลเฟต (กรัม)	ความเข้มข้น ของกรดซัลฟู ริกในเมธา นอล (N)	ระยะเวลาที่ ใช้แช่เยื่อแผ่น (ชั่วโมง)
60/40	40.87	408.68	0.45	0.030	0
	40.87	408.68	0.45	0.030	8
	40.87	408.68	0.45	0.030	16
	40.87	408.68	0.45	0.030	24

ตารางที่ ก.9 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์เยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-อนุพันธ์โคโคโตนฟา
ทาเลท อัตราส่วน 40 ต่อ 60

อัตราส่วนน้ำ ยางธรรมชาติ ต่ออนุพันธ์โค โคโตนฟาทา เลท	ปริมาณน้ำ ยางชั้น (กรัม)	ปริมาณสาร ละลาย 4%wt อนุพันธ์โคโค โตนฟาทาเลท (กรัม)	โซเดียม ลอริล ซัลเฟต (กรัม)	ความเข้มข้น ของกรดซัลฟู ริกในเมธา นอล (N)	ระยะเวลาที่ ใช้แช่เยื่อแผ่น (ชั่วโมง)
40/60	19.36	430.19	0.45	0.045	0
	19.36	430.19	0.45	0.045	8
	19.36	430.19	0.45	0.045	16
	19.36	430.19	0.45	0.045	24

ตารางที่ ก.10 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-อนุพันธ์โคโค
โตนฟาทาเลท อัตราส่วน 80 ต่อ 20

อัตราส่วนน้ำ ยางพรีวัลคา ไนซ์ต่อ อนุพันธ์โคโค โตนฟาทา เลท	ปริมาณน้ำพรี วัลคาไนซ์ (กรัม)	ปริมาณสาร ละลาย 4%wt อนุพันธ์โคโค โตนฟาทาเลท (กรัม)	โซเดียม ลอริล ซัลเฟต (กรัม)	ความเข้มข้น ของกรดซัลฟู ริกในเมธา นอล (N)	ระยะเวลาที่ ใช้แช่เยื่อแผ่น (ชั่วโมง)
80/20	95.57	353.98	0.45	0.015	0
	95.57	353.98	0.45	0.015	8
	95.57	353.98	0.45	0.015	16
	95.57	353.98	0.45	0.015	24

ตารางที่ ก.11 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-อนุพันธ์ไคโตแซนฟา
 ทาเลท อัตราส่วน 60 ต่อ 40

อัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่ออนุพันธ์ไคโตแซนฟาทาเลท	ปริมาณน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (กรัม)	ปริมาณสารละลาย 4%wt อนุพันธ์ไคโตแซนฟาทาเลท (กรัม)	โซเดียมลอริลซัลเฟต (กรัม)	ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในเมธานอล (N)	ระยะเวลาที่ใช้แช่เยื่อแผ่น (ชั่วโมง)
60/40	40.87	408.68	0.45	0.030	0
	40.87	408.68	0.45	0.030	8
	40.87	408.68	0.45	0.030	16
	40.87	408.68	0.45	0.030	24

ตารางที่ ก.12 ปริมาณสารต่างๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์เยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-อนุพันธ์ไคโตแซนฟาทาเลท อัตราส่วน 40 ต่อ 60

อัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่ออนุพันธ์ไคโตแซนฟาทาเลท	ปริมาณน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (กรัม)	ปริมาณสารละลาย 4%wt อนุพันธ์ไคโตแซนฟาทาเลท (กรัม)	โซเดียมลอริลซัลเฟต (กรัม)	ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกในเมธานอล (N)	ระยะเวลาที่ใช้แช่เยื่อแผ่น (ชั่วโมง)
40/60	19.36	430.19	0.45	0.045	0
	19.36	430.19	0.45	0.045	8
	19.36	430.19	0.45	0.045	16
	19.36	430.19	0.45	0.045	24

ตารางที่ ก.13 ความสามารถทนแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ ที่มีอัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 80 ต่อ 20

Sample No.	Tensile strength of membrane (N/mm ²)				
	NR membrane	EGDM content in PAM networkss			
		0	1	4	7
1	2.74	3.81	5.47	7.70	4.21
2	2.74	3.90	5.63	7.85	4.33
3	3.20	3.99	5.86	7.91	4.55
4	3.53	4.18	6.04	7.98	4.72
5	3.58	4.42	6.15	8.21	4.86
6	4.16	4.92	6.28	8.43	5.05
Sum	19.95	25.21	35.44	48.08	27.72
Mean	3.32	4.20	5.91	8.01	4.62

ตารางที่ ก.14 ความสามารถทนแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ ที่มีอัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 60 ต่อ 40

Sample No.	Tensile strength of membrane (N/mm ²)				
	NR membrane	EGDM content in PAM networkss			
		0	1	4	7
1	2.74	17.51	18.52	15.41	10.37
2	2.74	17.72	18.58	15.51	10.54
3	3.20	17.92	18.93	15.83	10.60
4	3.53	18.42	18.93	15.86	10.72
5	3.58	18.49	19.26	15.89	10.94
6	4.16	19.97	19.27	16.07	12.05
Sum	19.95	110.03	113.49	94.57	65.22
Mean	3.32	18.34	18.92	15.76	10.87

ตารางที่ ก.15 ความสามารถทนแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ ที่มีอัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 40 ต่อ 60

Sample No.	Tensile strength of membrane (N/mm ²)				
	NR membrane	EGDM content in PAM networkss			
		0	1	4	7
1	2.74	24.86	41.20	26.14	15.14
2	2.74	25.19	41.22	27.78	17.44
3	3.20	25.26	41.70	28.72	18.55
4	3.53	26.33	42.26	31.13	19.86
5	3.58	27.24	42.58	31.22	20.76
6	4.16	29.25	42.77	33.34	21.24
Sum	19.95	158.13	251.73	178.33	112.99
Mean	3.32	26.36	41.96	29.72	18.83

ตารางที่ ก.16 ความสามารถทนแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ ที่มีอัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 80 ต่อ 20

Sample No.	Tensile strength of membrane (N/mm ²)				
	Prevulcanized NR membrane	EGDM content in PAM networkss			
		0	1	4	7
1	16.01	12.65	13.40	12.97	13.17
2	16.11	12.85	13.47	13.29	13.22
3	16.13	13.41	13.79	13.58	13.41
4	16.60	13.45	14.19	13.72	13.55
5	16.88	13.54	14.33	14.53	13.58
6	17.17	13.84	14.45	16.31	14.32
Sum	98.90	79.74	83.63	84.40	81.25
Mean	16.48	13.29	13.94	14.07	13.54

ตารางที่ ก.17 ความสามารถทนแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ ที่มีอัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 60 ต่อ 40

Sample No.	Tensile strength of membrane (N/mm ²)				
	Prevulcanized NR membrane	EGDM content in PAM networkss			
		0	1	4	7
1	16.01	18.02	18.50	16.21	10.30
2	16.11	18.06	18.57	16.33	10.40
3	16.13	18.09	18.70	16.37	10.40
4	16.60	18.35	18.89	17.26	10.51
5	16.88	18.56	19.03	17.28	10.69
6	17.17	18.86	19.88	18.23	10.92
Sum	98.90	109.94	113.57	101.68	63.22
Mean	16.48	18.32	18.93	16.95	10.54

ตารางที่ ก.18 ความสามารถทนแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ ที่มีอัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 40 ต่อ 60

Sample No.	Tensile strength of membrane (N/mm ²)				
	Prevulcanized NR membrane	EGDM content in PAM networkss			
		0	1	4	7
1	16.01	33.74	23.17	21.66	21.14
2	16.11	34.27	23.18	22.37	21.23
3	16.13	35.14	24.08	22.79	21.38
4	16.60	36.30	24.14	23.15	21.46
5	16.88	37.39	24.63	24.11	22.49
6	17.17	39.30	25.34	25.33	22.87
Sum	98.90	216.14	144.54	139.41	130.57
Mean	16.48	36.02	24.09	23.24	21.76

ตารางที่ ก.19 ความสามารถทนแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตแซนฟาทาเลข ที่มี อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อโคโตแซนฟาทาเลขเท่ากับ 80 ต่อ 20

Sample No.	Tensile strength of membrane (N/mm ²)				
	NR membrane	Crosslinking time (hr)			
		0	8	16	24
1	2.74	3.07	4.18	5.20	5.31
2	2.74	3.07	4.68	5.25	5.31
3	3.20	3.23	4.72	5.35	5.41
4	3.53	3.28	4.73	5.40	5.44
5	3.58	3.28	5.06	5.59	5.46
6	4.16	3.44	5.15	5.92	5.70
Sum	19.95	19.36	28.52	32.71	32.64
Mean	3.32	3.23	4.75	5.45	5.44

ตารางที่ ก.20 ความสามารถทนแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตแซนฟาทาเลข ที่มี อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อโคโตแซนฟาทาเลขเท่ากับ 60 ต่อ 40

Sample No.	Tensile strength of membrane (N/mm ²)				
	NR membrane	Crosslinking time (hr)			
		0	8	16	24
1	2.74	1.27	5.51	8.88	7.18
2	2.74	1.95	5.61	9.21	8.32
3	3.20	2.05	6.00	10.19	8.90
4	3.53	2.40	6.25	11.70	9.23
5	3.58	3.14	6.53	11.78	10.55
6	4.16	4.30	6.71	11.90	11.67
Sum	19.95	15.11	36.60	63.66	55.85
Mean	3.32	2.52	6.10	10.61	9.31

ตารางที่ ก.21 ความสามารถทนแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตแซนฟาทาเลข ที่มี อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อโคโตแซนฟาทาเลขเท่ากับ 40 ต่อ 60

Sample No.	Tensile strength of membrane (N/mm ²)				
	NR membrane	Crosslinking time (hr)			
		0	8	16	24
1	2.74	0.36	7.49	0.91	0.65
2	2.74	0.44	8.80	0.98	0.75
3	3.20	0.45	10.94	1.03	0.84
4	3.53	0.57	13.01	1.50	0.90
5	3.58	0.81	13.36	2.73	0.91
6	4.16	0.84	13.84	3.67	0.97
Sum	19.95	3.48	67.44	10.80	5.02
Mean	3.32	0.58	11.24	1.80	0.84

ตารางที่ ก.22 ความสามารถทนแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลข ที่มี อัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อโคโตแซนฟาทาเลขเท่ากับ 80 ต่อ 20

Sample No.	Tensile strength of membrane (N/mm ²)				
	Prevulcanized NR membrane	Crosslinking time (hr)			
		0	8	16	24
1	16.01	3.87	5.84	6.98	6.59
2	16.11	3.88	6.01	6.99	6.60
3	16.13	4.07	6.30	7.53	6.77
4	16.60	4.35	6.36	7.64	7.22
5	16.88	4.83	6.93	7.79	7.38
6	17.17	4.95	7.33	7.95	7.48
Sum	98.90	25.94	38.78	44.88	42.04
Mean	16.48	4.32	6.46	7.48	7.01

ตารางที่ ก.23 ความสามารถทนแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลขที่ ที่มีอัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อโคโตแซนฟาทาเลขที่เท่ากับ 60 ต่อ 40

Sample No.	Tensile strength of membrane (N/mm ²)				
	Prevulcanized NR membrane	Crosslinking time (hr)			
		0	8	16	24
1	16.01	0.72	2.25	6.50	6.47
2	16.11	0.97	4.85	6.51	6.79
3	16.13	1.09	4.99	7.33	6.80
4	16.60	1.35	5.05	8.30	7.27
5	16.88	1.44	5.77	8.90	8.95
6	17.17	2.17	6.60	9.95	9.22
Sum	98.90	7.75	29.51	47.49	45.49
Mean	16.48	1.29	4.92	7.91	7.58

ตารางที่ ก.24 ความสามารถทนแรงดึงของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลขที่ ที่มีอัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อโคโตแซนฟาทาเลขที่เท่ากับ 40 ต่อ 60

Sample No.	Tensile strength of membrane (N/mm ²)				
	Prevulcanized NR membrane	Crosslinking time (hr)			
		0	8	16	24
1	16.01	0.29	0.30	0.18	0.00
2	16.11	0.56	0.64	0.18	0.00
3	16.13	0.67	1.07	0.58	0.13
4	16.60	0.87	1.15	0.67	0.32
5	16.88	0.99	1.26	0.85	0.68
6	17.17	1.25	1.73	1.21	0.76
Sum	98.90	4.64	6.15	3.68	1.88
Mean	16.48	0.77	1.02	0.61	0.31

ตารางที่ ก.25 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ที่มีอัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 80 ต่อ 20 ในสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

EGDM content in PAM networkss (%wt)	Sample No.	Weight of dried membrane (g)	Weight of wet membrane (g)	Total sorption (g/g of dried membrane)
0	1	3.1367	3.328	0.061
	2	3.1281	3.3358	0.066
	3	3.1445	3.3263	0.058
	4	3.1327	3.3216	0.060
	Average			0.061
1	1	4.517	4.7028	0.041
	2	4.3313	4.5188	0.043
	3	4.2696	4.4589	0.044
	4	4.2974	4.4793	0.042
	Average			0.043
4	1	4.5844	4.7687	0.040
	2	4.444	4.6089	0.037
	3	4.481	4.6574	0.039
	4	4.4726	4.6561	0.041
	Average			0.039
7	1	3.5717	3.6713	0.028
	2	3.6254	3.7355	0.030
	3	3.4266	3.5212	0.028
	4	3.443	3.5231	0.023
	Average			0.027

ตารางที่ ก.26 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ที่มีอัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 60 ต่อ 40 ในสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

EGDM content in PAM networkss (%wt)	Sample No.	Weight of dried membrane (g)	Weight of wet membrane (g)	Total sorption (g/g of dried membrane)
0	1	5.3295	5.5665	0.044
	2	4.9544	5.1937	0.048
	3	5.105	5.3228	0.043
	4	5.2644	5.538	0.052
	Average			0.047
1	1	2.9534	3.0452	0.031
	2	2.857	2.9433	0.030
	3	2.8108	2.9006	0.032
	4	2.8658	2.9625	0.034
	Average			0.032
4	1	1.9711	2.0321	0.031
	2	2.0581	2.1351	0.037
	3	2.0225	2.093	0.035
	4	1.9597	2.0317	0.037
	Average			0.035
7	1	1.547	1.5731	0.017
	2	1.4929	1.5293	0.024
	3	1.4535	1.4852	0.022
	4	1.2521	1.2853	0.027
	Average			0.022

ตารางที่ ก.27 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ที่มีอัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 40 ต่อ 60 ในสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

EGDM content in PAM networkss (%wt)	Sample No.	Weight of dried membrane (g)	Weight of wet membrane (g)	Total sorption (g/g of dried membrane)
0	1	2.4036	2.4545	0.021
	2	2.3453	2.4325	0.037
	3	2.0253	2.1627	0.068
	4	2.3723	2.4346	0.026
	Average			0.038
1	1	2.5808	2.6416	0.024
	2	2.7537	2.8435	0.033
	3	2.6562	2.7136	0.022
	4	2.6655	2.748	0.031
	Average			0.027
4	1	1.7689	1.8105	0.024
	2	2.3748	2.427	0.022
	3	1.458	1.4891	0.021
	4	1.7253	1.7615	0.021
	Average			0.022
7	1	1.3094	1.3355	0.020
	2	1.3143	1.3367	0.017
	3	1.4434	1.4726	0.020
	4	1.4473	1.4706	0.016
	Average			0.018

ตารางที่ ก.28 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ที่มีอัตราส่วนของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 80 ต่อ 20 ในสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

EGDM content in PAM networkss (%wt)	Sample No.	Weight of dried membrane (g)	Weight of wet membrane (g)	Total sorption (g/g of dried membrane)
0	1	3.1041	3.2287	0.040
	2	2.9723	3.0855	0.038
	3	2.9976	3.1325	0.045
	4	3.0798	3.2213	0.046
	Average			0.042
1	1	3.6595	3.7841	0.034
	2	3.8111	3.9548	0.038
	3	3.8762	3.9985	0.032
	4	4.1491	4.2933	0.035
	Average			0.035
4	1	3.3903	3.5036	0.033
	2	3.2543	3.341	0.027
	3	3.6077	3.7187	0.031
	4	3.1733	3.274	0.032
	Average			0.031
7	1	3.9065	4.0114	0.027
	2	3.5899	3.6859	0.027
	3	3.5888	3.6883	0.028
	4	3.5876	3.6866	0.028
	Average			0.027

ตารางที่ ก.29 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ที่มีอัตราส่วนของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 60 ต่อ 40 ในสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

EGDM content in PAM networks (%wt)	Sample No.	Weight of dried membrane (g)	Weight of wet membrane (g)	Total sorption (g/g of dried membrane)
0	1	3.4220	3.5351	0.033
	2	3.4622	3.5741	0.032
	3	3.6002	3.7230	0.034
	4	3.4587	3.5689	0.032
	Average			0.033
1	1	3.2822	3.3944	0.034
	2	3.3301	3.44	0.033
	3	3.9518	4.0679	0.029
	4	3.7582	3.8677	0.029
	Average			0.031
4	1	2.5071	2.5641	0.023
	2	2.4859	2.556	0.028
	3	2.6132	2.6819	0.026
	4	2.433	2.5005	0.028
	Average			0.026
7	1	2.9435	3.0301	0.029
	2	3.0152	3.0913	0.025
	3	2.95	3.022	0.024
	4	3.0245	3.1041	0.026
	Average			0.026

ตารางที่ ก.30 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-พอลิอะครีลาไมด์ที่มีอัตราส่วนของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 40 ต่อ 60 ในสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

EGDM content in PAM networkss (%wt)	Sample No.	Weight of dried membrane (g)	Weight of wet membrane (g)	Total sorption (g/g of dried membrane)
0	1	3.6294	3.748	0.033
	2	3.0211	3.0963	0.025
	3	3.1003	3.1863	0.028
	4	3.1115	3.1825	0.023
	Average			0.027
1	1	2.7835	2.8522	0.025
	2	2.6102	2.6695	0.023
	3	2.5138	2.577	0.025
	4	2.5184	2.5836	0.026
	Average			0.025
4	1	2.6626	2.7036	0.015
	2	2.4914	2.554	0.025
	3	2.4759	2.5212	0.018
	4	2.5302	2.5942	0.025
	Average			0.021
7	1	1.3939	1.4252	0.022
	2	1.232	1.257	0.020
	3	1.3396	1.3713	0.024
	4	1.004	1.0259	0.022
	Average			0.022

ตารางที่ ก.31 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-ไคโตแซนฟาทาเลขที่มีอัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติต่อไคโตแซนฟาทาเลขเท่ากับ 80 ต่อ 20 ในสารละลายเอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

Crosslinking time (hr)	Sample No.	Weight of dried membrane (g)	Weight of wet membrane (g)	Total sorption (g/g of dried membrane)
0	1	2.4951	2.6620	0.067
	2	2.3433	2.4886	0.062
	3	2.3724	2.5140	0.060
	4	2.3640	2.4626	0.042
	Average			0.058
8	1	2.0582	2.1787	0.059
	2	2.2367	2.2966	0.027
	3	2.1522	2.1924	0.019
	4	2.2801	2.3448	0.028
	Average			0.033
16	1	2.4312	2.5186	0.036
	2	2.2308	2.2862	0.025
	3	2.4798	2.5627	0.033
	4	2.2029	2.2980	0.033
	Average			0.032
24	1	2.1489	2.2115	0.029
	2	2.1098	2.175	0.031
	3	2.086	2.1528	0.032
	4	2.024	2.079	0.027
	Average			0.030

ตารางที่ ก.32 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-ไคโตแซนฟาทาเลขที่มีอัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติต่อไคโตแซนฟาทาเลขเท่ากับ 60 ต่อ 40 ในสารละลายเอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

Crosslinking time (hr)	Sample No.	Weight of dried membrane (g)	Weight of wet membrane (g)	Total sorption (g/g of dried membrane)
0	1	1.2951	1.3777	0.064
	2	1.3667	1.4725	0.077
	3	1.2815	1.3815	0.078
	4	1.32	1.4203	0.076
	Average			0.074
8	1	1.0206	1.0719	0.050
	2	0.9328	0.9941	0.066
	3	0.9762	1.0462	0.072
	4	0.8467	0.8954	0.058
	Average			0.061
16	1	1.2856	1.3544	0.054
	2	1.2333	1.2976	0.052
	3	1.2506	1.3125	0.049
	4	1.3173	1.3927	0.057
	Average			0.053
24	1	1.1243	1.1819	0.051
	2	1.1721	1.2271	0.047
	3	1.2286	1.2907	0.051
	4	1.3296	1.4196	0.068
	Average			0.041

ตารางที่ ก.33 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-ไคโตแซนฟาทาเลขที่มีอัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติต่อไคโตแซนฟาทาเลขเท่ากับ 40 ต่อ 60 ในสารละลายเอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

Crosslinking time (hr)	Sample No.	Weight of dried membrane (g)	Weight of wet membrane (g)	Total sorption (g/g of dried membrane)
0	1	1.298	1.3973	0.077
	2	1.3093	1.4217	0.086
	3	1.3085	1.4092	0.077
	4	1.2466	1.3453	0.079
	Average			0.080
8	1	0.9028	0.9587	0.062
	2	0.8891	0.951	0.070
	3	0.9124	0.9858	0.080
	4	0.7187	0.7695	0.071
	Average			0.071
16	1	0.9804	1.0309	0.052
	2	0.861	0.9199	0.068
	3	0.7937	0.8545	0.077
	4	0.9052	0.9726	0.074
	Average			0.068
24	1	0.9507	1.0014	0.053
	2	0.8708	0.9295	0.067
	3	0.939	1.0127	0.078
	4	0.912	0.965	0.058
	Average			0.064

ตารางที่ ก.34 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลทที่มีอัตราส่วนของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อโคโตแซนฟาทาเลทเท่ากับ 80 ต่อ 20 ในสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

Crosslinking time (hr)	Sample No.	Weight of dried membrane (g)	Weight of wet membrane (g)	Total sorption (g/g of dried membrane)
0	1	1.6995	1.7394	0.023
	2	1.6709	1.7131	0.025
	3	1.6519	1.7054	0.032
	4	1.6669	1.7162	0.030
	Average			0.028
8	1	1.5839	1.6201	0.023
	2	1.6533	1.6918	0.023
	3	1.8065	1.8663	0.033
	4	1.6846	1.7272	0.025
	Average			0.026
16	1	1.5839	1.62	0.023
	2	1.6533	1.6932	0.024
	3	1.8065	1.8581	0.029
	4	1.6846	1.724	0.023
	Average			0.025
24	1	1.6269	1.6671	0.025
	2	1.693	1.7281	0.021
	3	1.7331	1.7741	0.024
	4	1.7489	1.7921	0.025
	Average			0.023

ตารางที่ ก.35 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลขที่ที่มีอัตราส่วนของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อโคโตแซนฟาทาเลขเท่ากับ 60 ต่อ 40 ในสารละลายเอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

Crosslinking time (hr)	Sample No.	Weight of dried membrane (g)	Weight of wet membrane (g)	Total sorption (g/g of dried membrane)
0	1	1.9691	2.0802	0.056
	2	1.9676	2.0955	0.065
	3	1.9356	2.0813	0.075
	4	1.9556	2.069	0.058
	Average			0.064
8	1	1.5615	1.6084	0.030
	2	1.6956	1.8017	0.063
	3	1.6192	1.6842	0.040
	4	1.6448	1.7159	0.043
	Average			0.044
16	1	1.7294	1.7769	0.027
	2	1.6372	1.6928	0.034
	3	1.552	1.5976	0.029
	4	1.74	1.8059	0.038
	Average			0.032
24	1	1.6958	1.7495	0.032
	2	1.7203	1.7695	0.029
	3	1.6315	1.6762	0.027
	4	1.6402	1.6869	0.028
	Average			0.029

ตารางที่ ก.36 ค่าการดูดซับรวมในเยื่อแผ่นน้ำยางพริวัลคาไนซ์-โคโตแซนฟาทาเลขที่มีอัตราส่วนของน้ำยางพริวัลคาไนซ์ต่อโคโตแซนฟาทาเลขเท่ากับ 40 ต่อ 60 ในสารละลายเอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

Crosslinking time (hr)	Sample No.	Weight of dried membrane (g)	Weight of wet membrane (g)	Total sorption (g/g of dried membrane)
0	1	1.8665	2.0449	0.096
	2	1.8864	2.0928	0.109
	3	1.8447	2.0103	0.090
	4	1.827	2.1327	0.167
	Average			0.116
8	1	1.2782	1.3571	0.062
	2	1.3146	1.4103	0.073
	3	1.2651	1.3516	0.068
	4	1.3256	1.4112	0.065
	Average			0.067
16	1	1.49	1.5625	0.049
	2	1.2915	1.376	0.065
	3	1.4461	1.5376	0.063
	4	1.3345	1.4294	0.071
	Average			0.062
24	1	1.471	1.5539	0.056
	2	1.2941	1.3655	0.055
	3	1.4975	1.5951	0.065
	4	1.3863	1.4682	0.059
	Average			0.059

ตารางที่ ก.37 ข้อมูลการทดลองการหาค่าการเลือกดูดซับน้ำในเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ ในสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

Ratio of NR latex/ Polyacrylamide	EGDM content in PAM networks (%wt)	Concentration of ethanol (%v/v)	Volume fraction of ethanol in membrane	Water sorption selectivity
80/20	0	20.59	0.206	73
	1	2.57	0.026	720
	4	2.35	0.024	790
	7	2.24	0.022	829
60/40	0	3.32	0.033	553
	1	1.98	0.020	941
	4	1.75	0.018	1067
	7	1.62	0.016	1154
40/60	0	2.01	0.020	926
	1	1.14	0.011	1648
	4	0.94	0.009	2002
	7	0.76	0.008	2481

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.38 ข้อมูลการทดลองการหาค่าการเลือกดูดซับน้ำในเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์พอลิอะครีลาไมด์ ในสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

Ratio of NR latex/ Polyacrylamide	EGDM content in PAM networks (%wt)	Concentration of ethanol (%v/v)	Volume fraction of ethanol in membrane	Water sorption selectivity
80/20	0	2.38	0.024	779
	1	1.95	0.020	955
	4	1.87	0.019	997
	7	1.81	0.018	1031
60/40	0	2.02	0.020	922
	1	1.68	0.017	1112
	4	1.47	0.015	1274
	7	1.16	0.012	1619
40/60	0	1.39	0.014	1348
	1	1.21	0.012	1551
	4	1.16	0.012	1619
	7	1.04	0.010	1808

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.39 ข้อมูลการทดลองการหาค่าการเลือกดูดซับน้ำในเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตแซนฟาทาเลท ในสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

Ratio of NR latex/Phthalated chitosan	Crosslinking time (hr)	Concentration of ethanol (%v/v)	Volume fraction of ethanol in membrane	Water sorption selectivity
80/20	0	53.41	0.534	17
	8	35.80	0.358	34
	16	4.54	0.045	399
	24	2.74	0.027	674
60/40	0	23.51	0.235	62
	8	3.83	0.038	477
	16	2.87	0.029	644
	24	2.52	0.025	736
40/60	0	3.01	0.030	612
	8	2.47	0.025	750
	16	1.64	0.016	1143
	24	1.22	0.012	1532

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.40 ข้อมูลการทดลองการหาค่าการเลือกดูดซับน้ำในเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์-ได
 โตแซนฟาทาเลท ในสารละลายเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 25
 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

Ratio of Prevulcanized NR latex/Phthalated chitosan	Crosslinking time (hr)	Concentration of ethanol (%v/v)	Volume fraction of ethanol in membrane	Water sorption selectivity
80/20	0	17.63	0.176	89
	8	7.41	0.074	238
	16	3.18	0.032	579
	24	1.70	0.017	1097
60/40	0	3.12	0.031	589
	8	2.95	0.030	624
	16	2.40	0.024	773
	24	1.06	0.011	1779
40/60	0	2.89	0.029	639
	8	1.75	0.017	1070
	16	1.51	0.015	1239
	24	0.21	0.002	9155

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.41 ข้อมูลการหาค่าการดูดซับรวมตามสมการของอาร์เรเนียสของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-
พอลิอะครีลาไมด์

formula	25 °C	50 °C			75 °C		
	Total sorption (g)	Dried membrane (g)	Wet membrane (g)	Total sorption (g)	Dried membrane (g)	Wet membrane (g)	Total sorption (g)
LP604000		5.0593	5.3909	0.066	5.3421	5.8001	0.086
		4.4098	4.6156	0.047	4.4409	4.7732	0.075
		4.7352	5.0462	0.066	4.4547	4.822	0.082
		5.0699	5.374	0.060	4.7889	5.2134	0.089
	0.047			0.059			0.083
LP604001		3.0741	3.1994	0.041	2.9699	3.1817	0.071
		2.9524	3.1235	0.058	3.1986	3.4967	0.093
		2.9025	3.0508	0.051	3.1503	3.4386	0.092
		2.6764	2.8394	0.061	3.1078	3.3639	0.082
	0.032			0.053			0.085
CP802000		3.2881	3.5231	0.071	3.5261	3.7677	0.069
		3.6666	3.8703	0.056	3.4597	3.6776	0.063
		3.444	3.5986	0.045	2.8999	3.0914	0.066
		3.3935	3.5703	0.052	3.4036	3.6812	0.082
	0.042			0.056			0.070
CP604001		3.3198	3.481	0.049	3.2554	3.4953	0.074
		3.6311	3.7897	0.044	3.1975	3.3548	0.049
		3.1451	3.2917	0.047	3.1973	3.3635	0.052
		3.2024	3.3736	0.053	3.3607	3.6332	0.081
	0.031			0.048			0.064

ตารางที่ ก.42 ข้อมูลการหาค่าการดูดซับรวมตามสมการของอาร์เรเนียสของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-
ไดโตแซนฟทาเลท

Chitosan	25 °C	50 °C			75 °C		
	Total sorption	Dried membrane (g)	Wet membrane (g)	Total sorption	Dried membrane (g)	Wet membrane (g)	Total sorption
LC604000		1.3513	1.4142	0.047	1.3082	1.3395	0.024
		1.3194	1.3805	0.046	1.3172	1.3581	0.031
		1.2906	1.3508	0.047	1.4028	1.4273	0.017
		1.3789	1.4463	0.049	1.3801	1.4413	0.044
	0.074			0.047			0.029
LC604016		1.1791	1.2326	0.045	1.1331	1.1769	0.039
		1.1264	1.1671	0.036	1.3085	1.3644	0.043
		1.1653	1.233	0.058	1.1604	1.2167	0.049
		1.0675	1.1242	0.053	1.0399	1.0938	0.052
	0.053			0.048			0.045
CC802016		1.7142	1.7538	0.023	1.7056	1.7415	0.021
		1.7085	1.7496	0.024	1.7012	1.7435	0.025
		1.7132	1.7558	0.025	1.3328	1.3645	0.024
		1.7013	1.7445	0.025	1.7084	1.7524	0.026
	0.025			0.024			0.024
CC604000		2.0354	2.0717	0.018	2.0424	2.0517	0.005
		2.0724	2.1254	0.026	2.0664	2.0954	0.014
		2.0691	2.1564	0.042	2.0751	2.1164	0.020
		2.1041	2.1639	0.028	1.4187	1.4246	0.004
	0.064			0.029			0.011

ตารางที่ ก.43 ข้อมูลเสถียรภาพของค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 60 ต่อ 40 ในเอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส

Sorption No.	Sample No.	Dried membrane (g)	Wet membrane (g)	Total sorption (g)
1	1	5.3182	5.6171	0.056
	2	4.9586	5.1973	0.048
	3	5.1042	5.3780	0.054
	4	5.2410	5.4860	0.047
	Average			0.051
2	1	5.3147	5.5938	0.053
	2	4.9572	5.1712	0.043
	3	5.1038	5.3718	0.053
	4	5.2401	5.4993	0.049
	Average			0.049
3	1	5.3170	5.6047	0.054
	2	4.9579	5.1861	0.046
	3	5.1031	5.3632	0.051
	4	5.2290	5.4918	0.050
	Average			0.050
4	1	5.3189	5.6217	0.057
	2	4.9571	5.1981	0.049
	3	5.1036	5.3872	0.056
	4	5.2424	5.5108	0.051
	Average			0.053

ตารางที่ ก.44 ข้อมูลเสถียรภาพของค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 60 ต่อ 40 เหนือลิ้นไกล คอลไดเมธาครีเลตร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์ในเอทานอล ร้อยละ 95 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส

Sorption No.	Sample No.	Dried membrane (g)	Wet membrane (g)	Total sorption (g)
1	1	2.9381	3.0297	0.031
	2	2.8451	2.9471	0.036
	3	2.8174	2.9130	0.034
	4	2.8482	2.9584	0.039
	Average			0.035
2	1	2.9353	3.0320	0.033
	2	2.8446	2.9437	0.035
	3	2.8143	2.9006	0.031
	4	2.8465	2.9573	0.039
	Average			0.034
3	1	2.9374	3.0386	0.034
	2	2.8457	2.9548	0.038
	3	2.8147	2.9137	0.035
	4	2.8455	2.9452	0.035
	Average			0.036
4	1	2.9351	3.0256	0.031
	2	2.8534	2.9348	0.029
	3	2.8129	2.9067	0.033
	4	2.8469	2.9352	0.031
	Average			0.031

ตารางที่ ก.45 ข้อมูลเสถียรภาพของค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 80 ต่อ 20 ในเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส

Sorption No.	Sample No.	Dried membrane (g)	Wet membrane (g)	Total sorption (g)
1	1	3.1055	3.2608	0.050
	2	2.9758	3.1148	0.047
	3	2.9951	3.1225	0.043
	4	3.0765	3.1985	0.040
	Average			0.045
2	1	3.1041	3.2503	0.047
	2	2.9751	3.0848	0.037
	3	2.9934	3.1258	0.044
	4	3.0752	3.1896	0.037
	Average			0.041
3	1	3.1035	3.2475	0.046
	2	2.9689	3.0875	0.040
	3	2.9904	3.1286	0.046
	4	3.0738	3.1982	0.040
	Average			0.043
4	1	3.1029	3.2504	0.048
	2	2.9678	3.0855	0.040
	3	2.9886	3.1305	0.047
	4	3.0729	3.1974	0.041
	Average			0.044

ตารางที่ ก.46 ข้อมูลเสถียรภาพของค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 60 ต่อ 40 เหวีลินไกล คอลไดเมธาครีเลตร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์ ในเอทานอล ร้อยละ 95 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส

Sorption No.	Sample No.	Dried membrane (g)	Wet membrane (g)	Total sorption (g)
1	1	3.4215	3.5388	0.034
	2	3.4625	3.5741	0.032
	3	3.6002	3.7258	0.035
	4	3.4586	3.5654	0.031
	Average			0.033
2	1	3.4212	3.5302	0.032
	2	3.4618	3.5819	0.035
	3	3.5987	3.7199	0.034
	4	3.4578	3.5930	0.039
	Average			0.035
3	1	3.4216	3.5356	0.033
	2	3.4611	3.5641	0.030
	3	3.5967	3.7116	0.032
	4	3.4572	3.5727	0.033
	Average			0.032
4	1	3.4209	3.5421	0.035
	2	3.4604	3.5765	0.034
	3	3.5954	3.7216	0.035
	4	3.4568	3.5721	0.033
	Average			0.034

ตารางที่ ก.47 ข้อมูลเสถียรภาพของค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตแซนฟาทา
 เลท อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อโคโตแซนฟาทาเท่ากับ 60 ต่อ 40 ในเอช
 นอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส

Sorption No.	Sample No.	Dried membrane (g)	Wet membrane (g)	Total sorption (g)
1	1	1.2942	1.3885	0.073
	2	1.3662	1.4768	0.081
	3	1.2896	1.3858	0.075
	4	1.3173	1.4185	0.077
	Average			0.076
2	1	1.2938	1.3831	0.069
	2	1.3649	1.4698	0.077
	3	1.2891	1.3872	0.076
	4	1.3164	1.4086	0.070
	Average			0.073
3	1	1.2928	1.3859	0.072
	2	1.3642	1.4653	0.074
	3	1.2878	1.3887	0.078
	4	1.3161	1.4167	0.076
	Average			0.075
4	1	1.2911	1.3842	0.072
	2	1.3638	1.4687	0.077
	3	1.2871	1.3851	0.076
	4	1.3158	1.4095	0.071
	Average			0.074

ตารางที่ ก.48 ข้อมูลเสถียรภาพของค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตนแฟทา
 เลท อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อโคโตนแฟทาเท่ากับ 60 ต่อ 40 แช่เยื่อ
 แผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกในเมธานอล 16 ชั่วโมง ในเอทานอลร้อยละ 95
 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส

Sorption No.	Sample No.	Dried membrane (g)	Wet membrane (g)	Total sorption (g)
1	1	1.2824	1.3547	0.056
	2	1.2385	1.3048	0.054
	3	1.2536	1.3225	0.055
	4	1.3142	1.3827	0.052
	Average			0.054
2	1	1.2817	1.3526	0.055
	2	1.2374	1.3031	0.053
	3	1.2523	1.3128	0.048
	4	1.3129	1.3801	0.051
	Average			0.052
3	1	1.2816	1.3458	0.050
	2	1.2371	1.3218	0.068
	3	1.2517	1.3119	0.048
	4	1.3120	1.3798	0.052
	Average			0.055
4	1	1.2809	1.3511	0.055
	2	1.2357	1.3201	0.068
	3	1.2509	1.3159	0.052
	4	1.3114	1.3675	0.043
	Average			0.054

ตารางที่ ก.49 ข้อมูลเสถียรภาพของค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์โคโตแซนฟา
ทาเลท อัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อโคโตแซนฟาเท่ากับ 60 ต่อ 40 ใน
เอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส

Sorption No.	Sample No.	Dried membrane (g)	Wet membrane (g)	Total sorption (g)
1	1	1.9673	2.0802	0.057
	2	1.9676	2.0955	0.065
	3	1.9386	2.0824	0.074
	4	1.9560	2.0621	0.054
	Average			0.063
2	1	1.9664	2.0796	0.058
	2	1.9671	2.0823	0.059
	3	1.9325	2.0755	0.074
	4	1.9523	2.0654	0.058
	Average			0.062
3	1	1.9654	2.0888	0.063
	2	1.9662	2.0799	0.058
	3	1.9321	2.0526	0.062
	4	1.9514	2.0701	0.061
	Average			0.061
4	1	1.9651	2.0815	0.059
	2	1.9663	2.0977	0.067
	3	1.9314	2.0549	0.064
	4	1.9507	2.0815	0.067
	Average			0.064

ตารางที่ ก.50 ข้อมูลเสถียรภาพของค่าการดูดซับรวมของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์โคโตนแฟทาเลท อัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อโคโตนแฟทาเลท เท่ากับ 80 ต่อ 20 แชน์ เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกในเมธานอล 16 ชั่วโมง ในเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส

Sorption No.	Sample No.	Dried membrane (g)	Wet membrane (g)	Total sorption (g)
1	1	1.5837	1.6210	0.024
	2	1.6528	1.6885	0.022
	3	1.8016	1.8412	0.022
	4	1.6654	1.7056	0.024
	Average			0.023
2	1	1.5822	1.6218	0.025
	2	1.6510	1.6857	0.021
	3	1.7987	1.8469	0.027
	4	1.6585	1.7105	0.031
	Average			0.026
3	1	1.5815	1.6218	0.025
	2	1.6489	1.6895	0.025
	3	1.7956	1.8249	0.016
	4	1.6574	1.7049	0.029
	Average			0.024
4	1	1.5809	1.6259	0.028
	2	1.6468	1.6947	0.029
	3	1.7957	1.8307	0.019
	4	1.6546	1.7056	0.031
	Average			0.027

ตารางที่ ก.51 ข้อมูลเสถียรภาพของค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 60 ต่อ 40 ในเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส

Sorption No.	Concentration of ethanol (%v/v)	Volume fraction of ethanol in membrane	Water sorption selectivity
1	3.52	0.035	521
2	3.26	0.033	564
3	3.44	0.034	533
4	3.55	0.035	517

ตารางที่ ก.52 ข้อมูลเสถียรภาพของค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 60 ต่อ 40 เอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลตร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์ ในเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส

Sorption No.	Concentration of ethanol (%v/v)	Volume fraction of ethanol in membrane	Water sorption selectivity
1	2.08	0.021	897
2	2.01	0.020	927
3	2.11	0.021	884
4	1.94	0.019	962

ตารางที่ ก.53 ข้อมูลเสถียรภาพของค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 80 ต่อ 20 ในเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส

Sorption No.	Concentration of ethanol (%v/v)	Volume fraction of ethanol in membrane	Water sorption selectivity
1	2.55	0.025	728
2	2.34	0.023	792
3	2.47	0.025	751
4	2.42	0.024	767

ตารางที่ ก.54 ข้อมูลเสถียรภาพของค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์พอลิอะครีลาไมด์ อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อพอลิอะครีลาไมด์เท่ากับ 60 ต่อ 40 เอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลต ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในโครงร่างตาข่ายพอลิอะครีลาไมด์ในเอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส

Sorption No.	Concentration of ethanol (%v/v)	Volume fraction of ethanol in membrane	Water sorption selectivity
1	1.89	0.019	986
2	1.95	0.020	954
3	1.77	0.018	1054
4	1.93	0.019	965

ตารางที่ ก.55 ข้อมูลเสถียรภาพของค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตนพาทาเลท อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อโคโตนพาทาเลทเท่ากับ 60 ต่อ 40 ในเอธานอล ร้อยละ 95 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส

Sorption No.	Concentration of ethanol (%v/v)	Volume fraction of ethanol in membrane	Water sorption selectivity
1	24.56	0.246	58
2	23.12	0.231	63
3	23.86	0.239	61
4	23.19	0.232	63

ตารางที่ ก.56 ข้อมูลเสถียรภาพของค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-โคโตนพาทาเลท อัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อโคโตนพาทาเลท เท่ากับ 60 ต่อ 40 เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกในเมธานอล 16 ชั่วโมง ในเอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส

Sorption No.	Concentration of ethanol (%v/v)	Volume fraction of ethanol in membrane	Water sorption selectivity
1	2.96	0.030	624
2	2.84	0.028	651
3	3.06	0.031	603
4	2.99	0.030	618

ตารางที่ ก.57 ข้อมูลเสถียรภาพของค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ไคโตแซนฟา
ทาเลท อัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อไคโตแซนฟาเท่ากับ 60 ต่อ 40 ใน
เอธานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส

Sorption No.	Concentration of ethanol (%v/v)	Volume fraction of ethanol in membrane	Water sorption selectivity
1	3.00	0.030	614
2	2.94	0.029	628
3	2.85	0.029	647
4	3.03	0.030	608

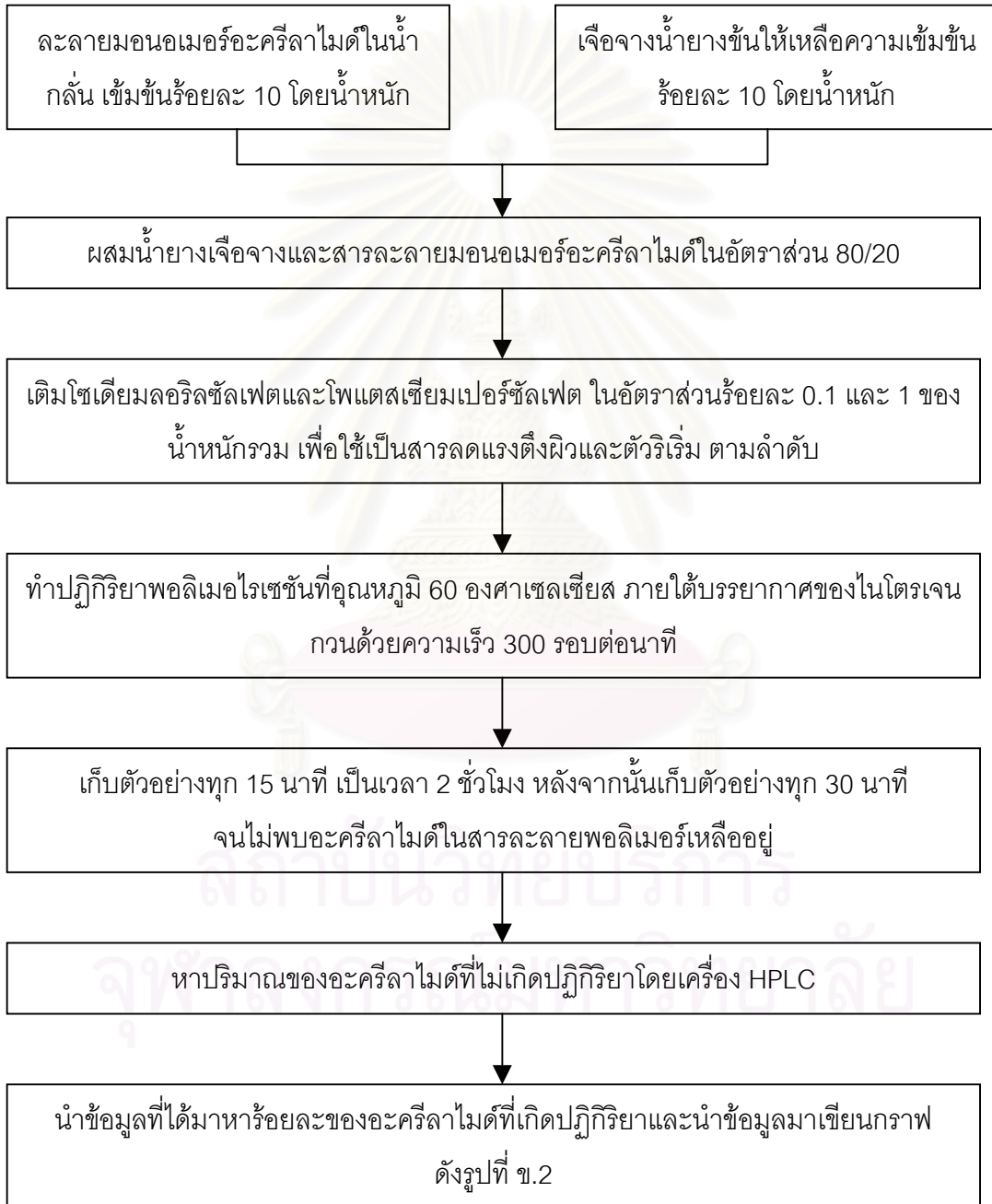
ตารางที่ ก.58 ข้อมูลเสถียรภาพของค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ไคโตแซนฟา
ทาเลท อัตราส่วนน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ต่อไคโตแซนฟาเท่ากับ 80 ต่อ 20 แชน์
เยื่อแผ่นในสารละลายกรดซัลฟูริกในเมธานอล 16 ชั่วโมง ในเอธานอลร้อยละ 95
โดยปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 25 องศาเซลเซียส

Sorption No.	Concentration of ethanol (%v/v)	Volume fraction of ethanol in membrane	Water sorption selectivity
1	2.96	0.030	623
2	3.27	0.033	562
3	3.09	0.031	597
4	3.30	0.033	558

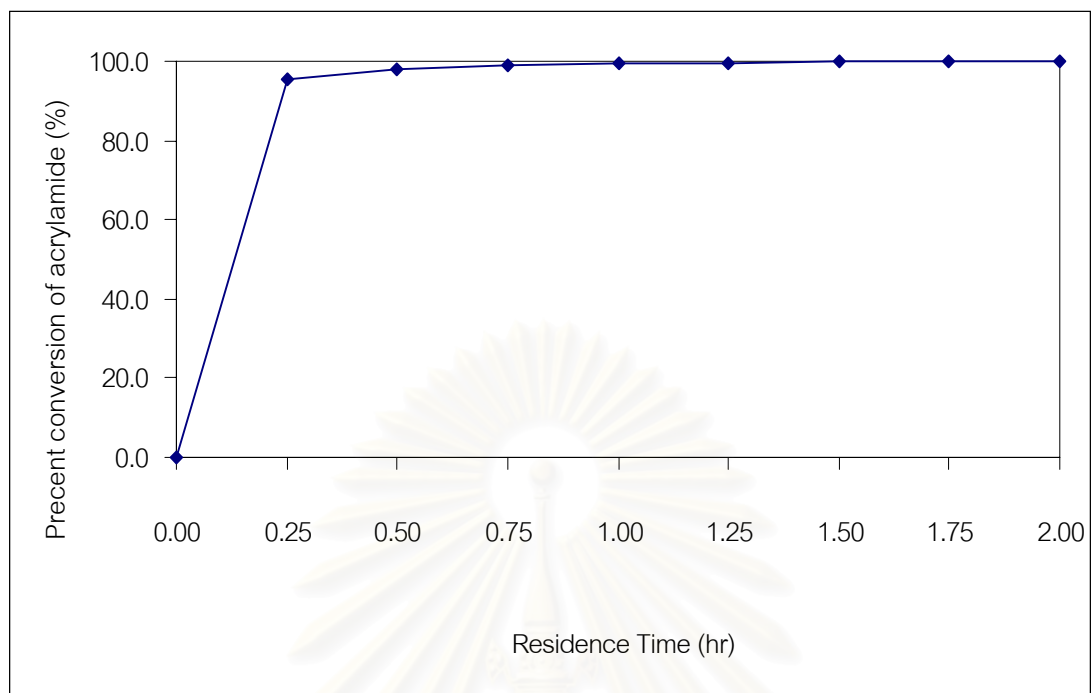
ภาคผนวก ข

การหาเวลาในการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันพอลิอะครีลาไมด์

การหาเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของพอลิอะครีลาไมด์ในน้ำอย่างธรรมชาติ สำหรับการเตรียมเยื่อแผ่นยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์นั้น ดังได้แสดงในรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 แผนภาพวิธีการหาเวลาในการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันอะครีลาไมด์



รูปที่ ข.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกับร้อยละของการเกิดปฏิกิริยาของมอนอเมอร์อะครีลาไมด์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ

1. ค่าการดูดซับรวม

$$Total\ sorption = \left(\frac{\text{Weight of wet membrane} - \text{Weight of dried membrane}}{\text{Weight of dried membrane}} \right)$$

จากข้อมูลในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.25 การดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิเอครีลาไมด์ ที่อัตราส่วน 80 ต่อ 20 ตัวอย่างที่ 1 ของเยื่อแผ่นที่ไม่ใช้เอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลต

Weight of membrane dried membrane = 3.1367 g

Weight of membrane wet membrane = 3.3280 g

$$Total\ sorption = \left(\frac{3.3280 - 3.1367}{3.1367} \right)$$

$Total\ sorption = 0.061$ g/g of dried membrane

2. ค่าการเลือกดูดซับน้ำของเยื่อแผ่น

$$Water\ sorption\ selectivity = \frac{Y_i/Y_j}{X_i/X_j}$$

Y_i = Volume fraction of water in membrane

Y_j = Volume fraction of ethanol in membrane

X_i = Volume fraction of water in feed

X_j = Volume fraction of ethanol in feed

จากข้อมูลในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.37 การดูดซับของเยื่อแผ่นน้ำยางธรรมชาติ-พอลิอะครีลาไมด์ ที่อัตราส่วน 80 ต่อ 20 ของเยื่อแผ่นที่ไม่ใช้เออีดีเอ็นไกลดคอลไดเมธาครีเลต

$$Y_i = 1 - 0.206 = 0.794$$

$$Y_j = 0.206$$

$$X_i = 0.05$$

$$X_j = 0.95$$

$$\text{Water sorption selectivity} = \frac{0.794/0.206}{0.05/0.95}$$

$$\text{Water sorption selectivity} = 73$$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายทรงศักดิ์ กล้าคลัง เกิดเมื่อวันที่ 12 มีนาคม พุทธศักราช 2518 ที่จังหวัดชัยนาท สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี เทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ และสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2543



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย