



ความเป็นไปได้ของการเตรียมเมมเบรนจากน้ำยางธรรมชาติ
Possibility of Membrane Preparation from Natural Rubber Latex

ธนิศพร นาคกุล
Thanitporn Narkkun

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Polymer Science and Technology
Prince of Songkla University**

2552

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ความเป็นไปได้ของการเตรียมเมมเบรนจากน้ำยางธรรมชาติ
ผู้เขียน นางสาวธนิตพร นาคกุล
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....

(ดร.วิรัช ทวีปรีดา)

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ บุญทาวน)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ

(ดร.วิรัช ทวีปรีดา)

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิกุล วณิชชาติ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิกุล วณิชชาติ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ ไชยบุญดิษฐ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยีพอลิเมอร์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ ความเป็นไปได้ของการเตรียมเมมเบรนจากน้ำยางธรรมชาติ
ผู้เขียน นางสาวธนิตพร นาคกุล
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์
ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

เมมเบรนเส้นใยกลวงชนิดที่ได้จากน้ำยางธรรมชาติมีความเป็นไปได้ของการเตรียมโดยใช้เครื่องผลิตเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง เมื่อน้ำยางธรรมชาติที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางมากกว่า 50% โดยน้ำหนัก และมีสารละลายคลอรีนในสารละลายกรดทำหน้าที่ช่วยการจับตัวของผิวทั้งด้านในและด้านนอกของท่อกลวง ท่อกลวงที่เตรียมได้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 560 ไมโครเมตร และมีความหนา 160 ไมโครเมตร การผสมสารละลายพอลิเอทิลีนไกลคอลชนิดน้ำหนักโมเลกุล 400 และ 4,000 กรัม/โมล ในน้ำยางธรรมชาติ พบว่าสารละลายพอลิเอทิลีนไกลคอลจะกระจายตัวได้ดีในน้ำยางเมื่อผสมในปริมาณ 1 และ 3 ส่วนในร้อยละของเนื้อยางแห้ง ส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำของเมมเบรนเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการผสมสารแวนิลลอยซีโอไลต์ในปริมาณ 10 ส่วนในร้อยละของเนื้อยางแห้ง ซึ่งจะช่วยให้ค่าการดูดซับน้ำของเมมเบรน นอกจากนั้นการผสมสารละลายพอลิเอทิลีนไกลคอลและซีโอไลต์ในน้ำยางยังช่วยปรับผิวของเมมเบรนโดยการลดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน การปรับปรุงสูตรน้ำยางธรรมชาติผสมน้ำยางสังเคราะห์ชนิดสไตรีนบิวตาไดอีน และคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีนที่มีสภาพความเป็นขั้วที่สูงกว่าน้ำยางธรรมชาติ พบว่าการผสมน้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีนเข้ากับน้ำยางธรรมชาติที่สัดส่วน 25/75 จะให้เมมเบรนที่มีคุณลักษณะความเป็นเมมเบรนดีที่สุด โดยมีค่าความแตกต่างระหว่างการดูดซับน้ำกับเอทานอลสูงที่สุด ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของเมมเบรนยางที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับลักษณะของพันธะเชื่อมโยงโดยเทคนิคการวัดการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ เพื่อประกอบการอธิบายผลการทดลองที่ได้จากการวัดค่าการดูดซับของน้ำและเอทานอล และได้ศึกษาลักษณะของพื้นผิวของเมมเบรนยางโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) และกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscopy, AFM)

Thesis Title	Possibility of Membrane Preparation from Natural Rubber Latex
Author	Thanitporn Narkkun
Major	Program Polymer Science and Technology
Academic Year	2008

ABSTRACT

The hollow fiber membrane from natural rubber latex (NRL) can be prepared by using membrane spinning machine. The concentrated natural rubber latex more than 50% dry rubber content (DRC) was extruded through spinneret. The latex will be coagulated with chlorine in acidic medium both inner and outer surface obtained the hollow fiber with inner diameter 560 μm and 160 μm in thickness. Mixing polyethylene glycol (PEG) solution in NRL for 1 and 3 phr found that PEG was well dispersed in membrane both PEG with average molecular weight 400 g/mol and 4,000 g/mol. Moreover, the water absorption of membrane composited with PEG is increased as well as the composited NRL with zeolite for 10 phr. In addition, the friction coefficient of membrane composite with zeolite was decreased. Blending NRL with styrene butadiene rubber (SBR) and carboxylated styrene butadiene (XSBR) latex found that the 25/75 blend of XSBR with NR is the best proportion which the most difference value between water and ethanol sorption. In this research, the mechanical properties of membrane was studied and compared with the cross-linking in rubber and rubber blends. The structure and morphology of cross-linked membranes were investigated using the X-ray Absorption Spectroscopy (XAS), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Atomic Force Microscopy (AFM), alternatively.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ.....	(6)
รายการตาราง.....	(9)
รายการภาพประกอบ.....	(10)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ.....	(13)
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยาง.....	3
2.1.1 ยางธรรมชาติ.....	3
2.1.2 ยางสังเคราะห์.....	10
2.2 สารเคมีประกอบยาง.....	13
2.2.1 สารทำให้ยางคงรูป.....	14
2.3 กระบวนการปรับปรุงผิว.....	16
2.4 ซีโอไลต์.....	18
2.5 กระบวนการเมมเบรน.....	19
2.5.1 ชนิดของเมมเบรน.....	21
2.5.2 พอลิเมอร์เมมเบรน.....	22
2.5.3 เมมเบรนชนิดเส้นใยกลาง.....	25
2.6 การตรวจสอบเอกสาร.....	28
2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเมมเบรนผสมซีโอไลต์.....	28
2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเมมเบรนยางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์.....	28
2.6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเมมเบรนผสมพอลิเมอร์ชอบน้ำ.....	30
2.6.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเมมเบรนชนิดเส้นใยกลาง.....	32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. วิธีการวิจัย

3.1 สารเคมี.....	34
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	36
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง.....	37
3.3.1 การขึ้นรูปเมมเบรนเมมเบรนชนิดแผ่นจากน้ำยาง.....	37
3.3.1.1 เมมเบรนที่ได้จากน้ำยางคอมโพสิตด้วยซีโอไลต์ชนิด 4□.....	38
3.3.1.2 เมมเบรนที่ได้จากน้ำยางผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติกับ น้ำยางสังเคราะห์ชนิด SBR และ XSBR.....	38
3.3.2 การศึกษาสมบัติของเมมเบรนที่ได้จากน้ำยาง.....	39
3.3.2.1 การทดสอบการทนต่อแรงดึงก่อนและหลังการบ่มแรง.....	39
3.3.2.2 การศึกษาพันธะการเชื่อมโยงด้วยการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์.....	40
3.3.2.3 การทดสอบการดูดซับน้ำและเอทานอล.....	40
3.3.2.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา.....	40
3.3.3 การปรับผิวของฟิล์มยาง.....	41
3.3.3.1 กระบวนการคลอริเนชัน.....	41
3.3.3.2 การผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลลงในน้ำยางธรรมชาติ.....	41
3.3.4 การขึ้นรูปเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวงจากน้ำยางธรรมชาติ.....	41
3.3.4.1 การเตรียมเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวงจากน้ำยางธรรมชาติด้วย เครื่องผลิตเมมเบรนเส้นใยกลวง	41
3.3.4.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียมเส้นใยกลวง.....	43

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของซีโอไลต์ต่อสมบัติของเมมเบรน.....	44
4.1.1 การทนต่อแรงดึงก่อนและหลังการบ่มแรง.....	44
4.1.2 การศึกษาพันธะการเชื่อมโยงด้วยการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์.....	47
4.1.3 การทดสอบการดูดซับน้ำและเอทานอล.....	49
4.1.4 การศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยา.....	50

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 เมมเบรนที่ได้จากน้ำยางผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติกับ น้ำยางสังเคราะห์.....	51
4.2.1 การทนต่อแรงดึงก่อนและหลังการบ่มเร่ง.....	51
4.2.2 การศึกษาพันธะการเชื่อมโยงด้วยการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์.....	55
4.2.3 การทดสอบการดูดซับน้ำและเอทานอล.....	57
4.2.4 การศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยา.....	59
4.3 ผลของการปรับปรุงผิวของฟิล์มยาง.....	60
4.3.1 การคลอริเนชัน.....	60
4.3.2 ผลของการใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล.....	63
4.4 การเตรียมเส้นใยกลวงจากน้ำยางธรรมชาติ.....	71
4.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียมเส้นใยกลวง.....	72
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	75
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	76
บรรณานุกรม.....	77
ภาคผนวก.....	81
ประวัติผู้เขียน.....	87

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ.....	4
2.2 การเปรียบเทียบสมบัติของยางคงรูปชนิดต่างๆ	11
2.3 ผลของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยต่อพื้นที่การแยกของเมมเบรนและจำนวนของ เส้นใยที่บรรจุในโมดูล.....	26
3.1 สูตรน้ำยางธรรมชาติผสมสารเคมี.....	38
4.1 สมบัติการทนแรงดึง และ ระยะยืด ณ จุดขาด ของฟิล์มยางธรรมชาติ ผสมซีโอไลต์ปริมาณต่างๆ.....	45
4.2 สมบัติการทนต่อแรงดึง และระยะยืด ณ จุดขาด ของฟิล์มยางธรรมชาติ (NR) ผสม น้ำยางสไตรีนบิวตาไดอิน (SBR) และน้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอิน (XSBR) ในอัตราส่วนต่างๆ.....	52
4.3 สมบัติการทนแรงดึง และระยะยืด ณ จุดขาด ของฟิล์มยางธรรมชาติผสม PEG 400 และ 4000 ปริมาณต่างๆ.....	67
4.4 ความหนืดของน้ำยางธรรมชาติผสมสารเคมีที่มี %TSC ต่างๆ.....	73
4.5 ลักษณะการจับตัว และการเกาะติดกันของผิวเส้นใยน้ำยางธรรมชาติ ในสารเคมีต่างๆ.....	73
ตารางภาคผนวก	
1ก สูตรต่างๆของเมมเบรนชนิดแผ่นจากน้ำยาง.....	82

รายการภาพประกอบ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ.....	3
2.2 ลักษณะที่เป็นไปได้ของอนุภาคยางธรรมชาติ.....	4
2.3 สถานะการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยางสด.....	6
2.4 ปฏิกริยาออกซิเดชันของยางธรรมชาติ.....	9
2.5 กลไกการเสื่อมสภาพของยางอันเนื่องมาจากโอโซน.....	10
2.6 โครงสร้างทางเคมีของยาง NBR.....	12
2.7 โครงสร้างทางเคมีของยาง SBR.....	12
2.8 โครงสร้างทางเคมีของยาง XSB.....	13
2.9 โครงสร้างการเชื่อมโยงแบบต่างๆ: (1) มอนอซัลฟิดิก (2) ไดซัลฟิดิก (3) พอลิซัลฟิดิก เมื่อ $x \geq 3$ (4) สายโซ่กำมะถัน (5) โครงสร้างแบบวง และ (6) หมู่ไทออล (thiol).....	15
2.10 การเข้าทำปฏิกิริยาของคลอรีนในโมเลกุลของยางธรรมชาติ.....	17
2.11 โครงสร้างของซีโอไลต์ 4A.....	19
2.12 การแบ่งชนิดของเมมเบรนตามโครงสร้าง.....	21
2.13 เมมเบรนชนิดแผ่นและกรอบ (plate and frame membrane).....	24
2.14 เมมเบรนชนิดท่อม้วน (spiral wound membrane).....	24
2.15 การเตรียมเมมเบรนที่มีลักษณะเรียบด้วยการ casting.....	25
2.16 การแบ่งชนิดของเมมเบรนเส้นใยกลวงโดยใช้เส้นผ่านศูนย์กลาง.....	26
2.17 การเตรียมเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวงด้วยกระบวนการ dry-wet spinning.....	27
3.1 ขั้นตอนการเตรียมเมมเบรนชนิดแผ่นจากน้ำยางด้วยกระบวนการ casting.....	38
3.2 ขั้นตอนทดสอบรูปดัมเบลล์ตามมาตรฐาน ASTM D412 แบบ Die C	39
3.3 ภาพจำลองของเครื่องผลิตเมมเบรนท่อกว้าง (membrane spinning machine).....	42
3.4 เครื่องผลิตเมมเบรนท่อกว้าง (membrane spinning machine).....	43
4.1 ผลของปริมาณซีโอไลต์ต่อการทนต่อแรงดึงของฟิล์มยาง.....	46
4.2 ผลของปริมาณซีโอไลต์ต่อระยะยืด ณ จุดขาดของฟิล์มยาง.....	46
4.3 การสลายตัวทางความร้อนของฟิล์มยางธรรมชาติและฟิล์มยางธรรมชาติผสมซีโอไลต์ ปริมาณ 5 และ 10 ph.....	47
4.4 การดูดกลืนพลังงานของฟิล์มยางธรรมชาติและฟิล์มยางธรรมชาติ ที่ผสมซีโอไลต์ที่ปริมาณต่างๆ.....	48

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 การดูดกลืนพลังงานของฟิล์มยางธรรมชาติและฟิล์มยางธรรมชาติ ที่ผสมซีโอไลต์ที่ปริมาณต่างๆ หลังผ่านการบ่มเร่งด้วยโอโซน.....	48
4.6 การดูดกลืนพลังงานของฟิล์มยางธรรมชาติและฟิล์มยางสังเคราะห์ที่ผสมซีโอไลต์.....	49
4.7 ผลของปริมาณซีโอไลต์ต่อค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มยาง.....	50
4.8 ภาพถ่ายภาค SEM ของฟิล์มยางธรรมชาติผสมซีโอไลต์ในปริมาณต่างๆ.....	51
4.9 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของน้ำยางธรรมชาติผสมซีโอไลต์ปริมาณต่างๆ.....	51
4.10 ผลของอัตราส่วนของน้ำยางสไตรีนบิวตาไดอีน (SBR) กับน้ำยางธรรมชาติ (NR) ต่อการทนต่อแรงดึงของฟิล์มยาง.....	53
4.11 ผลของอัตราส่วนของน้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีน (XSBR) กับน้ำยางธรรมชาติ (NR) ต่อการทนต่อแรงดึงของฟิล์มยาง.....	53
4.12 ผลของอัตราส่วนของน้ำยางสไตรีนบิวตาไดอีน (SBR) กับน้ำยางธรรมชาติ (NR) ต่อระยะยืด ณ จุดขาด ของฟิล์มยาง.....	54
4.13 ผลของอัตราส่วนของน้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีน (XSBR) กับน้ำยางธรรมชาติ (NR) ต่อระยะยืด ณ จุดขาดของฟิล์มยาง.....	54
4.14 การดูดกลืนพลังงานของฟิล์มยางสังเคราะห์ SBR ก่อนและหลังผ่านกระบวนการ เชื่อมโยโมเลกุลด้วยพันธะกำมะถัน.....	55
4.15 การดูดกลืนพลังงานของฟิล์มยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับฟิล์มยางสังเคราะห์ SBR และฟิล์มยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์ SBR ที่อัตราส่วนการผสม 25:75.....	56
4.16 การดูดกลืนพลังงานของฟิล์มยางธรรมชาติก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วย Ozone.....	56
4.17 การดูดกลืนพลังงานของฟิล์มยาง SBR ก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วย Ozone.....	57
4.18 ผลของอัตราส่วนของน้ำยางสไตรีนบิวตาไดอีน (SBR) กับน้ำยางธรรมชาติ (NR) ต่อค่าการดูดซับน้ำและเอทานอลของฟิล์มยาง.....	58
4.19 ผลของอัตราส่วนของน้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีน (XSBR) กับน้ำยางธรรมชาติ (NR) ต่อค่าการดูดซับน้ำและเอทานอลของฟิล์มยาง.....	58
4.20 ภาพถ่าย SEM ของฟิล์มยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีน (XSBR) ผสม ยางธรรมชาติ (NR) อัตราส่วนต่างๆ.....	60
4.21 FT-IR สเปกตรัมของ (□) ฟิล์มยางธรรมชาติ (B) ฟิล์มยางธรรมชาติที่ผ่าน การคลอริเนตด้วยสารละลายคลอรีน.....	61

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.22 แสดงภาพ SEM ของฟิล์มยางธรรมชาติหลังการคลอรีเนชัน.....	61
4.23 ภาพ ^{13}C -NMR ของฟิล์มยางธรรมชาติก่อนและหลังผ่านกระบวนการคลอรีเนชัน.....	62
4.24 FT-IR สเปกตรัมของ (□) ฟิล์มยางธรรมชาติผสม PEG 4000 ปริมาณ 5 phr (B) ฟิล์มยางธรรมชาติผสม PEG 4000 ปริมาณ 5 phr ที่ผ่านการต้มในน้ำ ที่อุณหภูมิ 80°C เวลา 8 ชั่วโมง.....	63
4.25 ภาพถ่าย SEM ของฟิล์มยางธรรมชาติผสม PEG 400 และ 4000 ปริมาณ 3 phr	64
4.26 ภาพถ่ายของ SEM ฟิล์มยางธรรมชาติผสม PEG 400 และ 4000 ปริมาณ 10 phr.....	65
4.27 ภาพถ่ายของ SEM ของฟิล์มยางธรรมชาติผสม PEG ปริมาณ 40 phr และ 100 phr....	66
4.28 ผลของปริมาณ PEG 400 ต่อการทนต่อแรงดึงของฟิล์มยาง.....	68
4.29 ผลของปริมาณ PEG 4000 ต่อการทนต่อแรงดึงของฟิล์มยางฟิล์ม.....	68
4.30 ผลของปริมาณ PEG 400 ต่อค่าระยะยืด ณ จุดขาดของฟิล์มยาง.....	69
4.31 ผลของปริมาณ PEG 4000 ต่อค่าระยะยืด ณ จุดขาดของฟิล์มยาง.....	69
4.32 ค่าการดูดซับน้ำและเอทานอลของฟิล์มยางธรรมชาติผสมPEG 400.....	70
4.33 ค่าการดูดซับน้ำและเอทานอลของฟิล์มยางธรรมชาติผสมPEG 4000.....	71
4.34 ลักษณะภายนอกของเส้นใยทอกลวง.....	72
4.35 ลักษณะภาคตัดขวางของเส้นใยทอกลวง.....	72

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

NR	น้ำยางธรรมชาติ
SBR	น้ำยางสไตรีนบิวตาไดอีน
XSBR	น้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีน
NRPEG400-1	น้ำยางธรรมชาติผสมพอลิเอทิลีน 400 ปริมาณ 1 phr
NRPEG400-3	น้ำยางธรรมชาติผสมพอลิเอทิลีน 400 ปริมาณ 3 phr
NRPEG400-5	น้ำยางธรรมชาติผสมพอลิเอทิลีน 400 ปริมาณ 5 phr
NRPEG400-10	น้ำยางธรรมชาติผสมพอลิเอทิลีน 400 ปริมาณ 10 phr
NRPEG4000-1	น้ำยางธรรมชาติผสมพอลิเอทิลีน 4000 ปริมาณ 1 phr
NRPEG4000-3	น้ำยางธรรมชาติผสมพอลิเอทิลีน 4000 ปริมาณ 3 phr
NRPEG4000-5	น้ำยางธรรมชาติผสมพอลิเอทิลีน 4000 ปริมาณ 5 phr
NRPEG4000-10	น้ำยางธรรมชาติผสมพอลิเอทิลีน 4000 ปริมาณ 10 phr
NR-ZEO1	น้ำยางธรรมชาติผสมน้ำยางสังเคราะห์ปริมาณ 1 phr
NR-ZEO3 NR-ZEO1	น้ำยางธรรมชาติผสมน้ำยางสังเคราะห์ปริมาณ 3 phr
NR-ZEO5 NR-ZEO1	น้ำยางธรรมชาติผสมน้ำยางสังเคราะห์ปริมาณ 5 phr
NR-ZEO10 NR-ZEO1	น้ำยางธรรมชาติผสมน้ำยางสังเคราะห์ปริมาณ 10 phr
XSBR-25	น้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีนผสมกับน้ำยางธรรมชาติในอัตราส่วน25:75
XSBR-50	น้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีนผสมกับน้ำยางธรรมชาติในอัตราส่วน50:50
XSBR-75	น้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีนผสมกับน้ำยางธรรมชาติในอัตราส่วน75:25
SBR-25	น้ำยางสไตรีนบิวตาไดอีนผสมกับน้ำยางธรรมชาติในอัตราส่วน25:75
SBR-50	น้ำยางสไตรีนบิวตาไดอีนผสมกับน้ำยางธรรมชาติในอัตราส่วน50:50
SBR-75	น้ำยางสไตรีนบิวตาไดอีนผสมกับน้ำยางธรรมชาติในอัตราส่วน75:25

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่ายางธรรมชาติเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยประเทศไทยสามารถผลิตและส่งออกยางธรรมชาติได้มากเป็นอันดับหนึ่งของโลก ซึ่งการส่งออกส่วนใหญ่อยู่ในรูปของยางแปรรูปขั้นต้น ประกอบด้วย ยางแผ่น ยางแท่ง และน้ำยางข้น ในขณะที่การแปรรูปยางธรรมชาติเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีเพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์ แต่สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับยางได้อย่างมาก โดยอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางสามารถสร้างรายได้จากการส่งออกได้ประมาณ ร้อยละ 38.5 ของการส่งออกยางและผลิตภัณฑ์ยางทั้งหมด (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรมยาง, 2009) เนื่องจากยางธรรมชาติมีสมบัติเด่นหลายด้าน เช่น ความยืดหยุ่น การทนต่อแรงดึง การทนต่อการแตกหัก และสมบัติการเหนียวติดกัน จึงทำให้สามารถแปรรูปยางได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย เช่น ยางรถยนต์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ วัสดุวิศวกรรม เป็นต้น

ในปัจจุบันกระบวนการเมมเบรนได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง ทั้งในด้านงานวิจัยและการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย โดยอาจนำมาแทนกระบวนการเดิมหรือเพิ่มในกระบวนการ อย่างเช่น การทำของเหลวให้บริสุทธิ์ การใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ หรือทางด้านสิ่งแวดล้อม และพลังงาน รวมถึงด้านการแพทย์ เป็นต้น โดยกระบวนการเมมเบรนมีจุดเด่นหลายด้าน เช่น ให้ค่าการเลือกผ่านสูง ใช้พลังงานต่ำ ไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของ pH สามารถดำเนินการได้อย่างง่ายและต่อเนื่อง แต่เทคโนโลยีนี้ยังไม่แพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากวัสดุเมมเบรนมีราคาค่อนข้างสูง เพราะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

ดังนั้นจึงมีความสนใจที่จะเตรียมเมมเบรน จากวัสดุที่สามารถผลิตขึ้นได้ในประเทศ เพื่อลดต้นทุนและขยายการใช้งานของเมมเบรนให้กว้างขวางขึ้น โดยเลือกเตรียมจากน้ำยางธรรมชาติเนื่องจากสามารถเตรียมเป็นฟิล์มบางได้ง่าย และที่สำคัญเป็นการส่งเสริมการใช้งานของยางธรรมชาติให้กว้างขวางขึ้น ซึ่งการเลือกใช้วัสดุประเภทยางมาเป็นวัสดุเมมเบรนนิยมใช้ในกระบวนการเพอแวกเพอเรชัน แยกสารอินทรีย์หรือน้ำออกจากสารละลายอินทรีย์ผสม และกระบวนการแยกแก๊ส เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลในวัสดุประเภทยางมีความยืดหยุ่นสูง ทำให้การซึมผ่านสูงแต่วัสดุประเภทยางมีข้อจำกัดในด้านค่าการแยกต่างหากจากนี้ยางธรรมชาติยังมีข้อด้อยคือไม่ทนต่อความร้อน และตัวทำละลายอินทรีย์ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงสมบัติของน้ำยางเพื่อให้เหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นเมมเบรน โดยอาจจะผสมกับยางสังเคราะห์ พอลิเมอร์ชอบน้ำ หรือวัสดุอนินทรีย์อย่างเช่น ซีโอไลต์ เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาสูตรน้ำยาธรรมชาติสำหรับประยุกต์ใช้งานด้านเมมเบรนสำหรับแยกน้ำออกจากสารละลายเอทานอล
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและคุณลักษณะของเมมเบรนยางที่เตรียมได้
3. เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคนิคการขึ้นรูปน้ำยาคอมเปาวด์เป็นเมมเบรนชนิดเส้นใย
กลวง

1.3 ขอบเขตและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ปรับปรุงสูตรน้ำยาธรรมชาติผสมสารเคมีด้วยการผสมกับ
 - ซีโอไลต์ชนิด 4A
 - น้ำยาสไตรีนบิวตาไดอีนและน้ำยาคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีน
 - พอลิเอทิลีนไกลคอลน้ำหนักโมเลกุล 400 และ 4000 กรัมต่อโมล
2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ การดูดซับน้ำและเอทานอล และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มยางที่เตรียมได้
3. ศึกษาการปรับผิวฟิล์มยางด้วยกระบวนการคลอริเนชัน
4. ศึกษาการขึ้นรูปเส้นใยกลวงจากน้ำยาคอมเปาวด์ด้วยเครื่องผลิตเมมเบรนเส้นใย
กลวง
5. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สูตรน้ำยาธรรมชาติที่สามารถประยุกต์ใช้งานด้านเมมเบรน
2. ได้เทคโนโลยีการผลิตเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวงจากน้ำยา

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

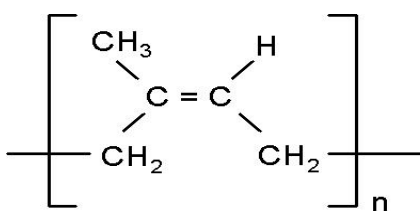
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยาง

ยางสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด เมื่อพิจารณาแหล่งที่มาคือ ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) เป็นยางที่ได้มาจากต้นพืช และยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber, SR) เป็นยางที่ได้มาจากการสังเคราะห์โดยกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน โดยทั้งยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์อาจอยู่ในรูปของยางแท่งหรือน้ำยางก็ได้

2.1.1 ยางธรรมชาติ (Natural rubber)

2.1.1.1 โครงสร้างทางเคมี

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีคือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (*cis*-1,4-polyisoprene) ใน 1 โมเลกุลของยางประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C_5H_8) มาต่อกันเป็นสายยาว ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้าง มีความหนาแน่น 0.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ $20^{\circ}C$ มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) ประมาณ $-72^{\circ}C$



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ

2.1.1.2 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติประกอบด้วยอนุภาคยางไฮโดรคาร์บอน และสารที่ไม่ใช่ยาง (non rubber) แขนงลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นซีรัม โดยส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ (Blackley, 1997)

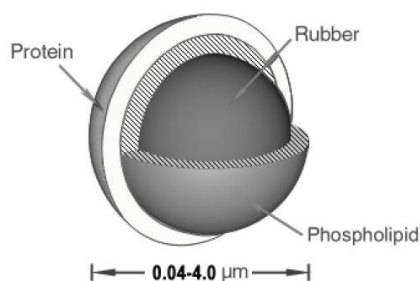
ส่วนประกอบ	% (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	27-48
เนื้อยางแห้ง	25-45
สารพวกโปรตีน	1-1.50
สารพวกเรซิน	1-1.25
ขี้เถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำ	ส่วนที่เหลือจนครบ 100

สารต่างๆ เหล่านี้ กระจายอยู่ใน 2 ส่วนใหญ่ๆ ของน้ำยางคือ

1. ส่วนของอนุภาคยาง มีประมาณ 35 % โดยน้ำหนัก
2. ส่วนที่ไม่ใช่อนุภาคยาง มีประมาณ 65 % โดยน้ำหนัก แบ่งเป็น
 - ส่วนของน้ำ มีประมาณ 55 % โดยน้ำหนัก
 - ส่วนของอนุภาคทูลอยด์ (Lutoid) มีประมาณ 10 % โดยน้ำหนัก

1. ส่วนของเนื้อยาง มีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

1.1 อนุภาคยาง ถูกห่อหุ้มด้วยสารจำพวกไขมันและโปรตีน โดยโปรตีนจะอยู่ชั้นนอกและอาจมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม และทองแดงปะปนอยู่ปริมาณเล็กน้อยประมาณ 0.5 % โดยปกติอนุภาคยางจะแขวนลอยในน้ำ มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.92 กรัมต่อมิลลิลิตร ลักษณะอนุภาคยางเป็นรูปค่อนข้างกลมหรือคล้ายลูกแพร์ มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันมากอยู่ระหว่าง 0.04-4 ไมโครเมตร แสดงดังรูปที่ 2.2 โดยอนุภาคยางส่วนใหญ่จะมีขนาดไม่เกิน 0.4 ไมโครเมตร



รูปที่ 2.2 ลักษณะที่เป็นไปได้ของอนุภาคยางธรรมชาติ (Blackley, 1997)

1.2 โปรตีน (Protein) โปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยางมีอยู่ประมาณ 25 % ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำยาง ส่วนที่เหลือประมาณ 50 % จะอยู่ในชั้นน้ำ และอีก 25 % จะอยู่ในส่วนของสารลูทอยด์

1.3 ไขมัน (Lipid) ไขมันอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟไลปิด ชนิด α -Lecithin ทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยาง

2. ส่วนที่ไม่ใช่น้ำยาง มีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

2.1 ส่วนที่เป็นน้ำหรือซีรัม (Serum)

ซีรัมของน้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารชนิดต่างๆ คือ

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารพวกแป้งและน้ำตาลมีอยู่ในน้ำยางประมาณ 1 % น้ำตาลส่วนใหญ่เป็นชนิดคิวบาชิทอล (Quebrachitol) น้ำตาลเหล่านี้จะถูกแบคทีเรียใช้เป็นอาหารเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายตัวให้กรดโมเลกุลขนาดเล็กๆ ทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพและรวมตัวเป็นก้อน กรดเหล่านี้เป็นกรดที่ระเหยง่าย (Volatile fatty acid, VFA) ประกอบด้วย กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และกรดโฟสโฟโอนิก เป็นต้น ดังนั้นค่า VFA จึงเป็นตัวเลขวัดบ่งบอกถึงความสามารถในการรักษาสภาพของน้ำยาง โดยมาตรฐานสากลของน้ำยางชั้นกำหนดให้มีค่า VFA ไม่เกิน 0.2 หน่วย

โปรตีนและกรดอะมิโนเป็นส่วนที่อยู่ในซีรัมของน้ำยางมีค่า Isoelectric point หลายค่า โปรตีนที่มีค่า Isoelectric point สูงสามารถสลายตัวให้ประจุบวกได้เป็นสาเหตุให้น้ำยางสูญเสียสภาพ

2.2 ส่วนของลูทอยด์และสารอื่นๆ

ลูทอยด์ (Lutoids) เป็นอนุภาคที่ค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5–3 ไมโครเมตร ห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆ ภายในเยื่อบางๆ นี้มีทั้งสารละลายและสารที่แขวนลอย มีค่า pH เท่ากับ 5.5 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีน โดยมีโปรตีนที่ละลายน้ำอยู่ประมาณ 3 % และมีโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำอยู่ประมาณ 2 % นอกจากนี้ยังมีส่วนของสารพวกฟอสโฟไลปิดแขวนลอยอยู่ประมาณ 0.5 % และมีสารโพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยางมีสีเหลืองหรือสีคล้ำเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ

ลูทอยด์ ห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อชั้นเดียวสามารถเกิดการออสโมซิสได้ง่าย ดังนั้นการเติมน้ำลงในน้ำยางสดจะทำให้ลูทอยด์บวมและแตกง่าย ขณะที่ลูทอยด์เกิดการพองตัวมีผลทำให้น้ำยางความหนืดเพิ่มขึ้นและเมื่อลูทอยด์แตกความหนืดก็จะลดลง

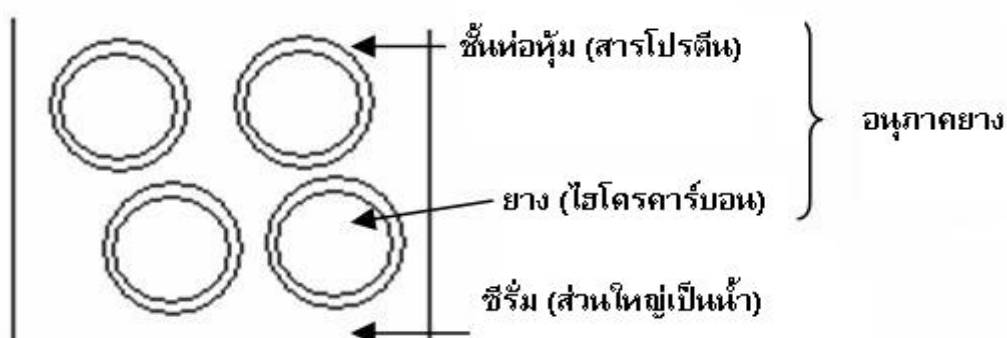
อนุภาคเฟรย์-วิสลิง (frey wyssling) เป็นสารที่ไม่ใช่ยางมีอนุภาคใหญ่กว่ายาง แต่ความหนาแน่นน้อยกว่า มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีผนังล้อมรอบสองชั้น มีปริมาณไม่มากนัก ประกอบด้วย สารเมดสีพวกคาโรตินอยด์ ซึ่งทำให้ยางมีสีเหลืองเข้ม สามารถรวมตัวกับ แอมโมเนียและแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของซีรัม

2.1.1.3 ความเสถียรของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางสดเป็นสารแขวนลอยที่มีอนุภาคยาง (rubber particles) แขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่าซีรัม (serum) โดยน้ำยางธรรมชาติสามารถคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ได้ด้วยปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ

1. ชั้นโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยาง โดยโปรตีนจะดูดซับอยู่รอบผิวของอนุภาคยางพอร์มชั้นเปลือกหรือห่อหุ้ม (hydrated protein envelope) อนุภาคยางไว้ ดังรูปที่ 2.3 ชั้นห่อหุ้มนี้มีความสำคัญต่อความเสถียรของน้ำยาง โดยป้องกันไม่ให้เกิดอนุภาคยางมารวมตัวกัน และจับกันเป็นก้อน (coagulation)

2. อนุมูลลบของคาร์บอกซีเลต (carboxylate, RCOO^-) ซึ่งก่อให้เกิดการผลักกันระหว่างอนุภาคยาง



รูปที่ 2.3 สถานะการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยางสด (วราภรณ์, 2549)

โดยสามารถเพิ่มความเสถียรของน้ำยางธรรมชาติด้วยการเติมสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ซึ่งโดยปกติในการเตรียมน้ำยางผสมสารเคมี จะเติมสารลดแรงตึงผิวลงในน้ำยางเป็นอันดับแรก เพื่อเพิ่มความเสถียรให้กับน้ำยาง ทำให้สามารถเติมสารอื่นๆ ได้ โดยที่น้ำยางไม่เสียสภาพจับตัวเป็นเม็ดหรือเป็นก้อน และช่วยให้การผลิตได้สะดวกด้วย ตัวอย่างสารที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ สบู่ของกรดไขมัน เช่น โปแตสเซียมโอเลเอต (potassium oleate) แอมโมเนียมลอเรต (ammonium laurate) ซัลเฟต (sulphate) ซัลโฟเนตของสารอินทรีย์ (organic sulfonate) เคซีน (casein) และแอมโมเนียเคซีน (ammonium caseinate) เป็นต้น

2.1.1.4 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ (พงษ์ธร, 2548)

1. ยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่น (elasticity) สูง คือเมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไป ยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิมหรือใกล้เคียงได้อย่างรวดเร็ว

2. ยางธรรมชาติ (ในสภาพที่ยังไม่คงรูป) มีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกัน (tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางล้อรถ เป็นต้น

3. มีความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง ดังนั้นยางธรรมชาติจึงมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงมากโดยที่ไม่ต้องใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย ซึ่งสมบัตินี้จะแตกต่างจากยางสังเคราะห์ที่ส่วนใหญ่มักมีค่าความทนทานต่อแรงดึงต่ำ จึงไม่สามารถนำไปใช้งานในทางวิศวกรรมได้ นอกจากจะมีการเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วยเท่านั้น

4. มีความทนทานต่อการฉีกขาด (tear strength) เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยืด ดังนั้นยางธรรมชาติจึงมีความทนทานต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูง

5. ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (dynamic properties) ที่ดี มีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีความต้านทานต่อการล้าตัว (fatigue resistance) ที่สูงมากอีกด้วย

6. มีค่าความต้านทานต่อการขัดถูสูง (abrasion resistance) แต่ด้อยกว่ายาง SBR เล็กน้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ พบว่ายางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูอยู่ในกลุ่มที่สูงมาก

7. เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน และโทลูอีน เป็นต้น ความสามารถในการละลายนี้จะลดลงถ้ายางเกิดการคงรูป เนื่องจากการเชื่อมโยงทางเคมีของโมเลกุลจะเกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ จะไปขัดขวางกระบวนการละลายของยาง ยางคงรูปจึงเพียงแต่เกิดการบวมตัวในตัวทำละลายเท่านั้น ซึ่งการบวมตัวของยางดังกล่าวจะทำให้สมบัติเชิงกลของยางด้อยลง ด้วยเหตุนี้ยางธรรมชาติจึงไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลายไม่มีขั้วต่างๆ แต่ยางจะทนทานต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรือแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังทนทานต่อการกรดและต่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนต่อการกรดในกรดและกรดกำมะถันเข้มข้น

8. เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน) โดยมีแสงแดดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย นอกจากนี้ ยางธรรมชาติ

ยังไม่ทนต่อโอโซนเพราะเมื่อยางถูกยืดและได้รับโอโซนนานๆ จะเกิดรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากที่บริเวณพื้นผิวในทิศตั้งฉากกับทิศทางการยืดตัวของยาง ด้วยเหตุนี้ในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด เช่น สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (anti-degradant) และไข (wax) ลงไปเพื่อยืดอายุการใช้งานของยางธรรมชาติ

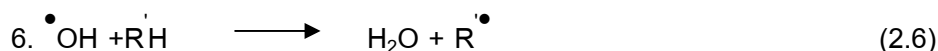
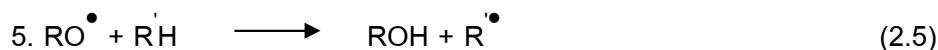
9. ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -55°C จนถึง 70°C แต่หากเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิการใช้งานสูงเกินไป สมบัติเชิงกลต่างๆ ก็จะด้อยลงเนื่องจากความร้อนจะทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ ในบางกรณีที่มีการออกสูตรผสมเคมียางได้อย่างเหมาะสม เช่น มีการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลงไป ยางธรรมชาติอาจสามารถนำไปใช้งานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงถึง 90°C หรืออาจสูงถึง 100°C (ในกรณีที่ยางได้รับอุณหภูมิสูงเป็นช่วงๆ เท่านั้น)

2.1.1.4 การเสื่อมสภาพในยางธรรมชาติ

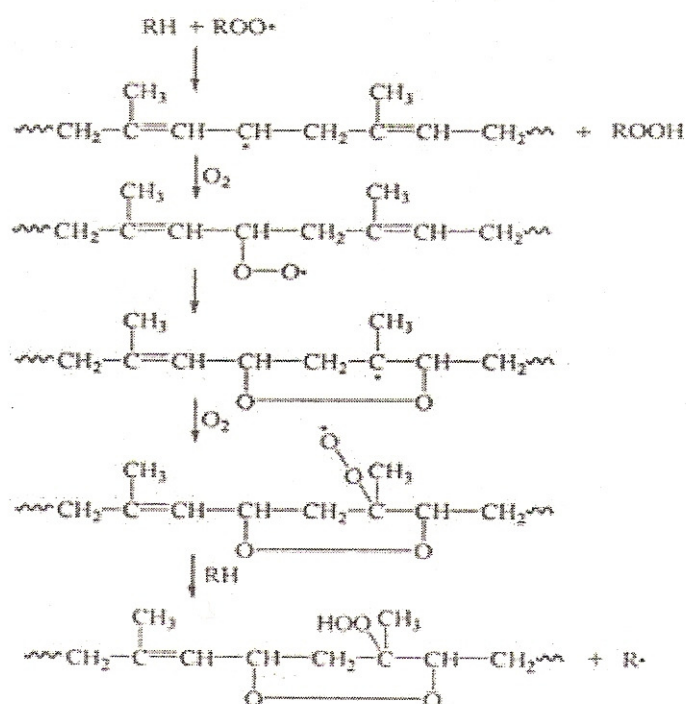
การเสื่อมสภาพในยางธรรมชาติ เกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ โดยสามารถแบ่งกระบวนการเสื่อมสภาพได้เป็นหลายกลุ่มดังนี้

1. การเสื่อมสภาพจากออกซิเจน (oxygen aging)

ยางคงรูปที่มีพันธะคู่หลงเหลืออยู่ในโมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ (เรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน) ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ที่เกิดผ่านอนุมูลอิสระ (free radical) ผลิตภัณฑ์ชนิดแรกที่เกิดในระหว่างการเกิดออกซิเดชัน คือ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) ซึ่งจะแตกตัวต่อไปให้อนุมูลอิสระที่พร้อมจะทำปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไป ดังแสดงในสมการที่ 2.1-2.6



โดยกระบวนการเกิดออกซิเดชันของยางธรรมชาติ จะเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ที่เกิดผ่านอนุมูลอิสระ ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.4 วงแหวนของไฮโดรเปอร์ออกไซด์เกิดเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งสามารถแตกตัวต่อไปให้อนุมูลอิสระพร้อมที่จะทำปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไปได้ (โสภา, 2545)



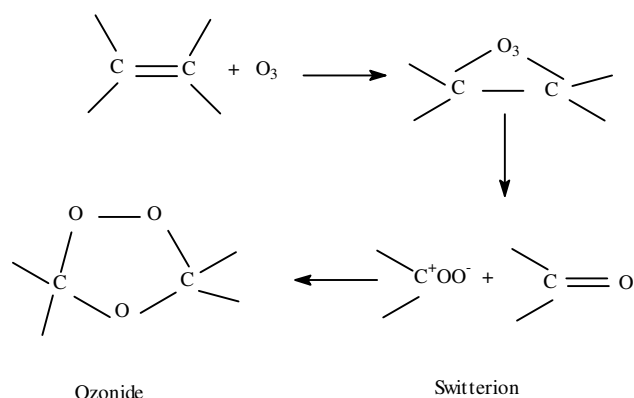
รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของยางธรรมชาติ (Bevilacqua, 1957)

2. การเสื่อมสภาพจากความร้อน (heat aging)

แม้ว่ายางจะอยู่ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน เช่น ในไอน้ำ หรือน้ำมัน เป็นต้น ความร้อนก็สามารถทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ได้ นอกจากนี้ ความร้อนยังสามารถทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงต่อไปได้ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล ส่งผลให้ยางมีความแข็งเพิ่มขึ้น โดยการเสื่อมสภาพจากความร้อนภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะเกิดขึ้นได้ช้ากว่าในสภาวะที่มีออกซิเจนมาก

3. การเสื่อมสภาพจากโอโซน (ozone aging)

ยางคงรูปที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเมื่อใช้งานในสภาวะที่ถูกยึดออกภายใต้สภาพอากาศทั่วไปจะเกิดรอยแตกขึ้นอย่างช้าๆ ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางของความเค้นและรอยแตกนี้จะขยายตัวอย่างช้าๆ โดยสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดรอยแตกขนาดเล็กๆ เหล่านี้คือโอโซน โดยทั่วไปรอยแตกจะไม่เกิดขึ้นถ้ายางไม่อยู่ในสภาวะที่ถูกยึดและปริมาณรอยแตกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามระดับการยึดของยาง ปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากโอโซนของยางได้แก่อุณหภูมิและความชื้นในอากาศ โดยคาดว่า การเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากโอโซนของยางเกิดผ่านกลไกซึ่งแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กลไกการเสื่อมสภาพของยางอันเนื่องมาจากโอโซน (พงษ์ธร, 2548)

2.1.2 ยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber)

ยางสังเคราะห์เป็นยางที่สังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน โดยยางสังเคราะห์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่ชนิดของมอนอเมอร์เริ่มต้น ทำให้ยางแต่ละชนิดมีสมบัติและการนำไปประยุกต์ใช้งานที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.2 โดยสาเหตุสำคัญที่ทำให้มีการผลิตยางสังเคราะห์เนื่องจาก

- การขาดแคลนยางธรรมชาติที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตอาวุธโพรเกรสในช่วงสงครามของบางประเทศ
- ราคาที่ไม่แน่นอนของยางธรรมชาติ
- ความต้องการยางที่มีคุณสมบัติพิเศษบางประการ อย่างเช่น มีความทนทานต่อน้ำมัน สารเคมีและความร้อนสูงๆ เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบสมบัติของยางคงรูปชนิดต่างๆ (พงษ์ธร, 2548)

สมบัติ	ชนิดของยาง							
	NR	IR	SBR	BR	NBR	CR	(X)IIR	EPDM
ความทนทานต่อแรงดึง (กรณีมีสารตัวเติมเสริมแรง)	1	2	5	6	5	3	4	5
ความทนทานต่อแรงดึง (กรณีไม่มีสารตัวเติมเสริมแรง)	1	2	2	4	2	2	3	3
การยืดตัวสูงสุด	1	1	2	3	2	2	2	3
ความต้านทานต่อการขาด (กรณีมีสารตัวเติมเสริมแรง)	4	4	3	1	2	4	3	3
ความทนทานต่อการฉีกขาด	2	2	3	5	3	2	3	3
การกระด้างกระดอง	2	2	3	1	3	3	6	3
การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ	2	2	3	2	3	3	2	2
ความทนทานต่อความร้อน	5	5	4	4	3	3	3	2
ความทนทานต่อการเกิด ออกซิเดชัน	4	4	3	2	3	2	2	1
ความทนทานต่อแสง UV	4	4	3	3	3	2	2	1
ความทนทานต่อโอโซนและ สภาพอากาศ	4	4	4	3	3	2	2	1
ความทนทานต่อน้ำมัน	6	6	5	6	1	2	6	4
ความทนทานต่อน้ำมันเชื้อเพลิง	6	6	6	6	2	3	6	5
ความทนทานต่อการกรด	3	3	3	3	4	2	2	1
ความทนทานต่อตัวทำละลาย	3	3	3	3	4	2	2	1
ความทนทานต่อการติดไฟ	6	6	6	6	6	2	6	6
ความเป็นฉนวนไฟฟ้า	1	1	2	2	5	4	2	2
การซึมผ่านของก๊าซ	5	5	4	4	2	3	1	4

หมายเหตุ 1 = ดีมากที่สุด 6 = ด้อยที่สุด

โดย

NR = ยางธรรมชาติ

IR = ยางไอโซพรีน

SBR = ยางสไตรีนบิวตาไดอีน

BR = ยางบิวตาไดอีน

NBR = ยางไนไตรล์

CR = ยางคลอโรพรีน

X(IIR) = ยางบิวไทล์

EPDM = ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีน

โดยยางสังเคราะห์ที่ผลิตขึ้นมามีหลายชนิด เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ กันแต่ในที่นี้จะยกตัวอย่างยางสังเคราะห์ที่นิยมนำมาใช้งาน

4. มีค่าความทนทานต่อการฉีกขาด (tear strength) ต่ำมาก โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงๆ เนื่องจากยางชนิดนี้ไม่สามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยืด ดังนั้น ในการใช้งานจึงต้องมีการเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไป เพื่อเพิ่มความทนทานต่อการฉีกขาดของยางชนิดนี้

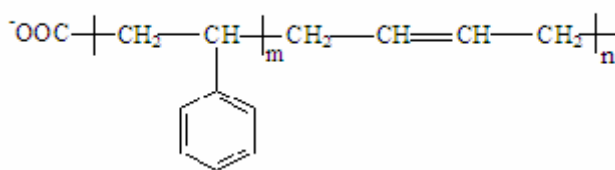
5. เสื่อมสภาพเร็วในสภาวะที่มีออกซิเจน โอโซน แสงแดด หรือความร้อนเช่นเดียวกับยางธรรมชาติ เนื่องจากยาง SBR มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล กล่าวคือ เมื่อเกิดการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากออกซิเจน โอโซน หรือแสงแดด ยางจะมีลักษณะแข็งมากขึ้นเพราะเกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่ (crosslinking) มากกว่าเกิดการตัดขาดของสายโซ่โมเลกุล (chain scission) การเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลงไปจะช่วยยืดอายุการใช้งานของยางชนิดนี้

6. ยาง SBR เป็นยางที่ไม่มีขั้วเช่นเดียวกับยางธรรมชาติ ดังนั้นยางชนิดนี้จึงมีความทนทานต่อน้ำมันปิโตรเลียมและตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนต่ำ (ใกล้เคียงกับยางธรรมชาติ) แต่ยางชนิดนี้จะทนต่อการกัดและต่างเจือจาง แอลกอฮอล์ น้ำ ไกลคอล เกลือ และน้ำมันซิลิโคนได้เป็นอย่างดี

7. สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -50°C จนถึง 100°C

ยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอิน (Carboxylate Styrene Butadiene Rubber, XSBR)

ยาง XSBR เป็นยาง SBR อีกชนิดหนึ่งที่ทำกรปรับปรุงขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานให้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น โดยยาง XSBR มีอัตราการคงรูปเร็วกว่ายาง SBR การกระด้างกระดองต่ำ และสามารถขึ้นรูปได้ง่าย (Vecchio, 2003) ซึ่งโครงสร้างของยาง XSBR แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของยาง XSBR

2.2 สารเคมีประกอบยาง

ยางดิบตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน ดังนั้นการนำยางไปใช้ประโยชน์ จำเป็นต้องผสมยางกับสารเคมีต่างๆ เพื่อช่วยปรับปรุงและแก้ไขข้อเสียต่างๆ ที่มีในยางดังต่อไปนี้ (พรพรรณ, 2528)

1. ยางมีสมบัติเป็นทั้งพลาสติกและอีลาสติก สมบัติเป็นพลาสติกคือ เมื่อใช้น้ำหนักกดลงไปจะแบนและไหลได้ ส่วนสมบัติเป็นอีลาสติกคือ เมื่อเอาแรงออกจะคืนกลับรูปเดิมแต่ไม่เท่าเดิม การที่ยางมีสภาพเป็นทั้งพลาสติกและอีลาสติกนี้ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรง
2. ยางเป็นเทอร์โมพลาสติก ซึ่งที่อุณหภูมิต่ำอย่างแข็งกระด้าง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นยางนิ่ม การมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกทำให้ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่จำกัดเท่านั้น
3. ยางมีราคาแพง การนำยางมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ ถ้าใช้แต่ยางเพียงลำพัง ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ถ้าสามารถผสมสารราคาถูกลงไปได้จะเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิต
4. ยางสามารถละลายในตัวทำละลายหลายๆ ชนิด ยางเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และเมื่อโมเลกุลเหล่านี้อยู่รวมกันจะยึดกันด้วยพันธะอ่อนๆ ได้แก่ พันธะแวนเดอร์วาลส์หรือพันธะไฮโดรเจน โมเลกุลจึงแยกจากกันได้ง่ายโดยใช้ตัวทำละลายที่มีโพลาริตีใกล้เคียงกับยาง ดังนั้นในการนำยางไปใช้งาน จึงจำเป็นต้องผสมสารเคมีต่างๆ ลงไปเพื่อแก้ไขเสียเหล่านี้ ทำให้มีการนำยางไปใช้งานได้กว้างขึ้น โดยสารเคมีประกอบยางมีดังนี้ (ผลชิต, 2531; วราภรณ์, 2549)

2.2.1 สารทำให้ยางคงรูป

สารทำให้ยางคงรูปเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ผสมลงไปยาง เพื่อให้ยางเกิดปฏิกิริยาคัลคาไนซ์เซชัน ซึ่งส่งผลทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยงกันเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ โดยทั่วไปการคงรูปยางแบ่งได้เป็น 3 ระบบใหญ่ๆ ได้แก่ ระบบที่ใช้กำมะถัน (sulphur) ระบบที่ใช้เปอร์ออกไซด์ (peroxide) และระบบที่ใช้สารเคมีอื่นๆ เช่น โลหะออกไซด์ เป็นต้น

ระบบการคงรูปด้วยกำมะถัน

ระบบการคงรูปด้วยกำมะถันเป็นระบบที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน นิยมใช้ในการคงรูปยางแทบทุกชนิดที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล โดยอัตราการคงรูปขึ้นโดยตรงกับปริมาณพันธะคู่ในโซ่โมเลกุลของยาง ระบบนี้ประกอบด้วย

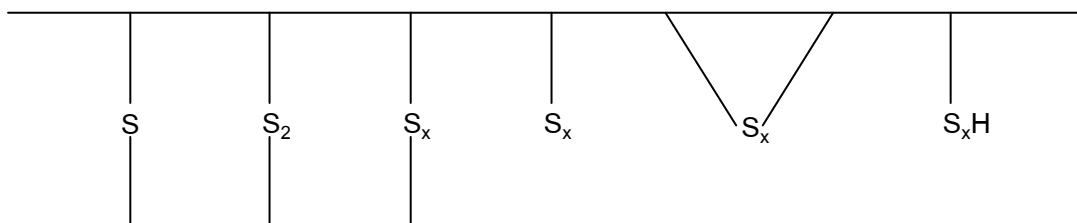
2.2.1.1 กำมะถัน (sulphur)

ทำหน้าที่เป็นสารคงรูป ปริมาณที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 0.5-3.0 phr ระบบการทำให้ยางคงรูปด้วยกำมะถัน มี 3 ระบบ คือ

ระบบธรรมดา (conventional vulcanization, CV system) ระบบนี้ใช้ปริมาณกำมะถันมากและใช้สารตัวเร่งน้อย ทำให้มีพันธะเคมีส่วนใหญ่เป็นแบบ polysulphide crosslinks

ระบบประสิทธิภาพ (efficient vulcanization, EV system) ระบบนี้ใช้ปริมาณกำมะถันน้อยและใช้สารตัวเร่งมากได้พันธะเคมีส่วนใหญ่เป็นแบบ monosulphide และ disulphide crosslinks

ระบบกึ่งประสิทธิภาพ (semi-efficient vulcanization, semi-EV system) ซึ่งจะอยู่กึ่งกลางระหว่าง 2 ระบบข้างต้น



รูปที่ 2.7 โครงสร้างการเชื่อมโยงแบบต่างๆ: (1) มอนอซัลฟิดิก (2) ไดซัลฟิดิก (3) พอลิซัลฟิดิก เมื่อ $x \geq 3$ (4) สายโซ่กำมะถัน (5) โครงสร้างแบบวง และ (6) หมู่ไทโธล (thiol) (พงษ์ธร, 2548)

2.2.1.2 สารตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerators)

สารตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับระบบการคงรูปร่างด้วยกำมะถัน เพราะปฏิกิริยาระหว่างกำมะถันและยางจะเกิดขึ้นได้ช้ามากแม้ที่อุณหภูมิสูงๆ การเติมสารตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปในปริมาณเพียงเล็กน้อยจะช่วยให้ปฏิกิริยาระหว่างยางและกำมะถันเกิดได้เร็วขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายกลุ่มดังนี้

กลุ่มไดไทโอคาร์บาเมต (Dithiocarbamates) สารในกลุ่มนี้มีหลายชนิด ที่นิยมใช้มากที่สุดได้แก่ ซิงค์ไดเอธิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc diethyl dithiocarbamates, ZEDC, ZDC) สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาล์คาร์ไบน์เดี่ยวๆ หรือใช้ร่วมกับ ZMBT (Zinc salt of 2-mercapto benzothiazole) จะทำให้ค่าของโมดูลัสสูง แต่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการโมดูลัสต่ำ ใช้ ZDC เพียงตัวเดียว

กลุ่มแซนเทต (Xanthates) สารกลุ่มนี้ว่องไวต่อปฏิกิริยามาก เกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิห้อง โดยมีกลิ่นเหม็นมาก

กลุ่มไทอาโซล (Thiazole) มักใช้ร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยาตัวอื่นๆ เช่น ใช้ร่วมกับ ZDC ทำให้มีค่าโมดูลัสสูง

กลุ่มไทยูแรม (Thiuram) ไม่มีความว่องไวในปฏิกิริยาเพียงพอที่จะใช้กับระบบการทำให้ยางคงรูปร่างด้วยกำมะถันได้ แต่อาจใช้เป็นตัวช่วยพวกสารเร่งปฏิกิริยากกลุ่มไดไทโอคาร์บาเมตได้เช่นใช้ TMTD (tetra methyl thiuram disulphide) กับ ZDC โดยถ้าใช้ในปริมาณน้อยจะช่วยทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาล์คาร์ไบน์ แต่ถ้าใช้ปริมาณมากโดยที่ใช้กำมะถัน จะทำหน้าที่เป็นสารลัคาร์ไบน์

2.2.1.3 สารกระตุ้น (Activators)

เป็นสารเคมีที่เติมลงไปใบบาง เพื่อเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการงรูป โดยจะเข้าไปกระตุ้นสารตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น ซึ่งซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นตัวที่นิยมใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรม

2.2.1.4 สารป้องกันยางเสื่อมจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidant)

ยางส่วนใหญ่ที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลจะเสื่อมสภาพได้ง่าย โดยเฉพาะในภาวะการใช้งานที่ต้องสัมผัสกับแสงแดด ออกซิเจน โอโซน ความร้อน หรือโลหะที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา รวมทั้งการใช้งานที่ต้องมีการหักงอเชิงกลตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพเพื่อให้ยางมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน โดยมีเพียง 2 กลุ่มใหญ่ๆเท่านั้นที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ กลุ่มอนุพันธ์ของเอมีน และกลุ่มอนุพันธ์ของฟีนอล

โดยการผสมสารเคมีในน้ำยางมีวิธีการเตรียมสารต่างๆ ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม ก่อนที่จะเติมผสมกับน้ำยาง คือจำเป็นต้องเตรียมให้สารต่างๆ อยู่ในเฟสของน้ำ เพื่อป้องกันปัญหาการจับตัวของยาง การเตรียมสารต่างๆนั้น ถ้าเป็นสารประเภทที่ละลายน้ำได้ ให้เตรียมเป็นสารละลาย (solution) สารชนิดที่ไม่ละลายน้ำให้เตรียมเป็นสารแขวนลอยกระจายอยู่ในน้ำ คือดิสเพิซชัน (dispersion) ส่วนสารประกอบของเหลวที่ไม่เข้ากับน้ำให้เตรียมเป็นสารผสมกระจายอยู่ในน้ำ คืออิมัลชัน (emulsion)

2.3 กระบวนการปรับปรุงผิว

โดยปกติยางธรรมชาติจะมีความเหนียวติดกัน การนำไปใช้ในงานบางประเภทจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงผิวเพื่อลดความเหนียวหรือสัมผัสที่แรงเสียดทาน เพื่อให้สามารถใช้งานผลิตภัณฑ์ที่ได้จากยางธรรมชาติได้ง่ายขึ้น อย่างเช่น ในการผลิตถุงมือยาง และถุงยางอนามัย เป็นต้น โดยกระบวนการปรับปรุงผิวยางธรรมชาติเพื่อลดความเหนียวมีดังต่อไปนี้

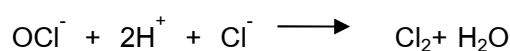
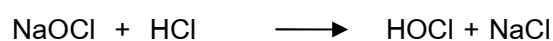
2.3.1 การคลอรีเนชัน (chlorination)

การคลอรีเนชัน เป็นการลดแรงเสียดทานระหว่างผิวของฟิล์มยางหรือผิวของวัสดุที่สัมผัสกับยาง โดยทั่วไปนิยมใช้ในกระบวนการผลิตถุงมือ เกิดจากคลอรีนทำปฏิกิริยากับผิวของยางธรรมชาติทำให้ลดสมบัติการเหนียวติดกัน โดยการคลอรีเนชันเป็นการทำให้ผิวลื่นอย่างถาวร ด้วยการแช่ในสารละลายคลอรีน ตามด้วยการจุ่มในสารละลายที่ทำให้เป็นกลาง อย่างเช่น น้ำแอมโมเนีย (NH_4OH) โซเดียมซัลไฟต์ (sodium sulfite, Na_2SO_3) เป็นต้น และ

ล้างด้วยน้ำก่อนที่อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40-60 °C (พรรษา, 2531; Blackley, 1997)

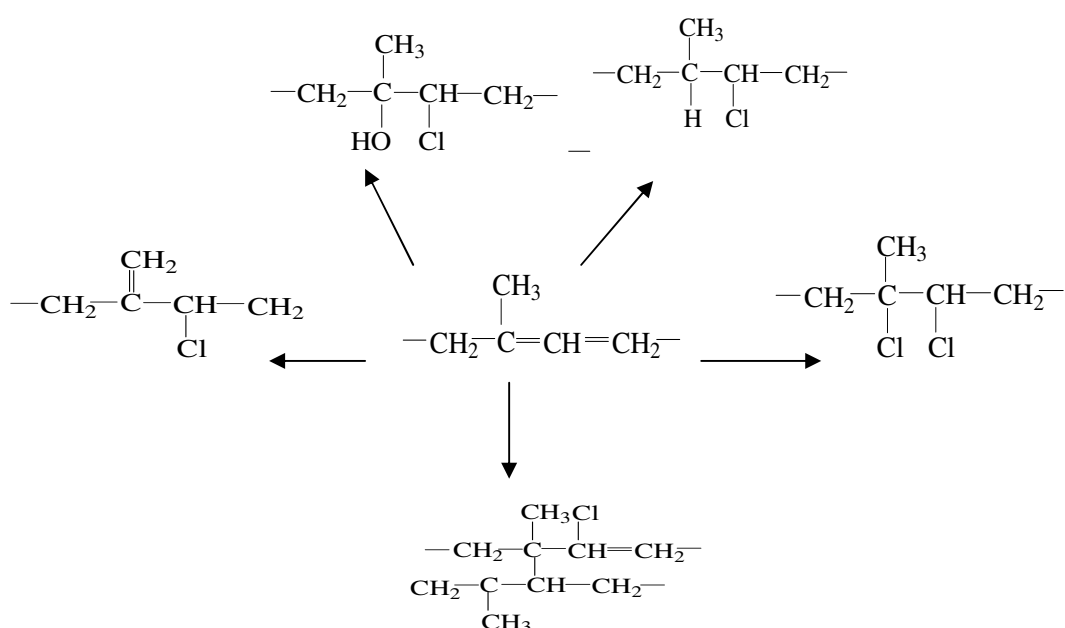
ในกระบวนการคลอรีนชันสามารถเตรียมสารละลายที่มีคลอรีนได้ 3 วิธี
ดังต่อไปนี้

1. ละลายแก๊สคลอรีนลงในน้ำ
2. จากสารผสมระหว่างโซเดียมไฮโปคลอไรต์และกรดไฮโดรคลอริก



3. จากสารอินทรีย์ที่ให้คลอรีน

โดยปฏิกิริยาที่เป็นไปได้เมื่อปรับผิวยางธรรมชาติด้วยกระบวนการคลอรีนชัน
แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การเข้าทำปฏิกิริยาของคลอรีนในโมเลกุลของยางธรรมชาติ (Ho and Khew, 1999)

2.3.2 การทำให้ผิวมัน (lubrication)

การทำคลอรีเนชันเป็นการทำให้ผิวลื่นอย่างถาวร ส่วนการใช้สารบางอย่างเช่น ทัลค์ แป้ง น้ำมันซิลิโคน เป็นการทำให้ผิวมันหรือลื่นแบบชั่วคราว ซึ่งสารเหล่านี้สามารถเช็ดหรือล้างออกได้ ซึ่งการทำให้ผิวมันหรือลื่นแบบชั่วคราวเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วทิ้ง

2.4 ซีโอไลต์ (zeolite)

ซีโอไลต์ (zeolite) เป็นสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (crystalline aluminosilicate) หน่วยย่อยของซีโอไลต์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิคอน(หรืออะลูมิเนียม) หนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม (SiO_4 หรือ AlO_4) สร้างพันธะกันเป็นรูปสามเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedron) ซึ่งโครงสร้างสามเหลี่ยมสี่หน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุมโดยการใช้ออกซิเจนร่วมกัน ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้นและเกิดเป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุล (นิสากร, 2546) หรือมีโครงสร้างคล้ายกับรูปร่างผึ้งเชื่อมติดกันตลอดด้วยระยะที่เท่ากัน ทำให้ซีโอไลต์มีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัว โดยแต่ละชนิดจะมีขนาดของระยะของรูปร่างผึ้งแตกต่างกัน โดยจะมีขนาดอยู่ระหว่าง 2.5-10 อังสตรอม (ยุคล, 2540)

การประยุกต์ใช้ ซีโอไลต์

การประยุกต์ใช้ซีโอไลต์สามารถแบ่งได้เป็นดังนี้ (นิสากร, 2546; ยุคล, 2540)

1. สารดูดซับ (adsorbent)

- ดูดก๊าซ SO_2 , NO_2 และ CO_2 จากก๊าซธรรมชาติ และแยก O_2 จากอากาศ
- ซีโอไลต์มีสมบัติในการดูดซับน้ำและคายน้ำออกดี โดยที่รูปร่างผลึกไม่

เปลี่ยนแปลง

2. สารตัวเร่ง (catalyst)

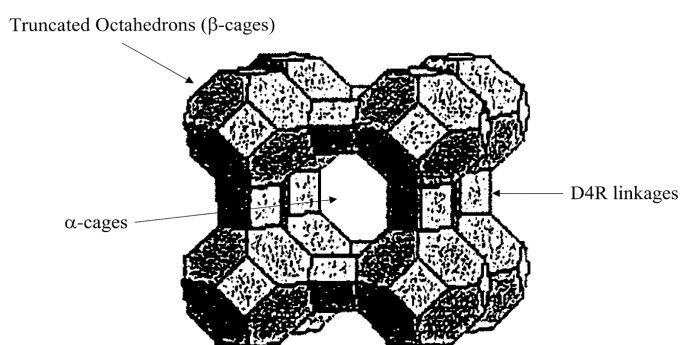
- ใช้เป็นตัวเร่งในกระบวนการ hydrocracking ในอุตสาหกรรมน้ำมัน
- ใช้เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาการเปลี่ยนเมทานอลเป็นแก๊สโซลีน

3. สารแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchanger)

- แยกสารกัมมันตรังสี จากกากของเสียนิวเคลียร์
- กำจัดแอมโมเนีย สารโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว เหล็ก ปรอท แมงกานีส ในน้ำทิ้ง

ซีโอไลต์มีทั้งที่พบตามธรรมชาติ (natural หรือ mineral zeolite) และที่สังเคราะห์ขึ้น (synthetic zeolite) โดยแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ทำให้ซีโอไลต์มีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์แตกต่างกัน จึงทำให้สามารถนำซีโอไลต์ไปประยุกต์ใช้งานได้หลายๆ ด้าน อย่างเช่น มีการใช้ซีโอไลต์ชนิด 4A เป็นวัสดุเมมเบรนสำหรับแยกสารผสมระหว่างน้ำและเอทานอล เป็นต้น

ซีโอไลต์ Na-A หรือซีโอไลต์ 4A เป็นซีโอไลต์สังเคราะห์ทางพาณิชย์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป มีอัตราส่วนของ Si:Al:Na เป็น 1:1:1 ซึ่งมีโครงสร้างเป็นทรงลูกบาศก์ แสดงดังรูปที่ 2.11 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโพรงขนาดใหญ่ (α cage) 11.4 อังสตรอม และโพรงขนาดเล็ก (β cage) 6.6 อังสตรอม รอยต่อระหว่าง α cage เป็น 4.2 อังสตรอม ดังนั้นโมเลกุลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 4.2 Å จึงสามารถผ่านรูของซีโอไลต์ได้ (Breck, 1974)



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของซีโอไลต์ 4A

2.5 กระบวนการเมมเบรน

กระบวนการเมมเบรน เป็นกระบวนการที่ใช้เมมเบรนเพื่อแยกสาร เพิ่มความเข้มข้น หรือทำสารให้บริสุทธิ์ สำหรับสารละลายหรือก๊าซผสม หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรนคือ ต้องมีแรงขับเคลื่อนที่ทำให้สารละลายไหลผ่านเมมเบรนและเกิดการแยก โดยลักษณะสำคัญที่สุดของเมมเบรน คือมีคุณสมบัติในการเลือกผ่านสารหนึ่งมากกว่าสารอื่น การเลือกผ่านสารเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมี หรือทางกายภาพ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากความชอบของเมมเบรนต่อสารนั้นๆ หรือจากขนาดของรูพรุน หรือจากการมีประจุของเมมเบรน โดยเมมเบรนที่มีสมรรถนะสูง คือ เมมเบรนที่มีสมบัติดังต่อไปนี้ (ชนทอง, 2548)

1. มีฟลักซ์และค่าการเลือกผ่านสูง (High flux and selectivity)
2. มีความแข็งแรงเชิงกล (Good mechanical)
3. ทนต่อสารเคมีและความร้อนภายใต้สภาวะการดำเนินการได้ (Chemical and thermal stability under operating condition)
4. มีแนวโน้มจับสิ่งสกปรกไว้ที่ผิวต่ำ (Low fouling tendency)
5. ราคาไม่แพง (Cost effective)

ข้อดีของการกระบวนการกรองด้วยเมมเบรน (รัตนา, 2541)

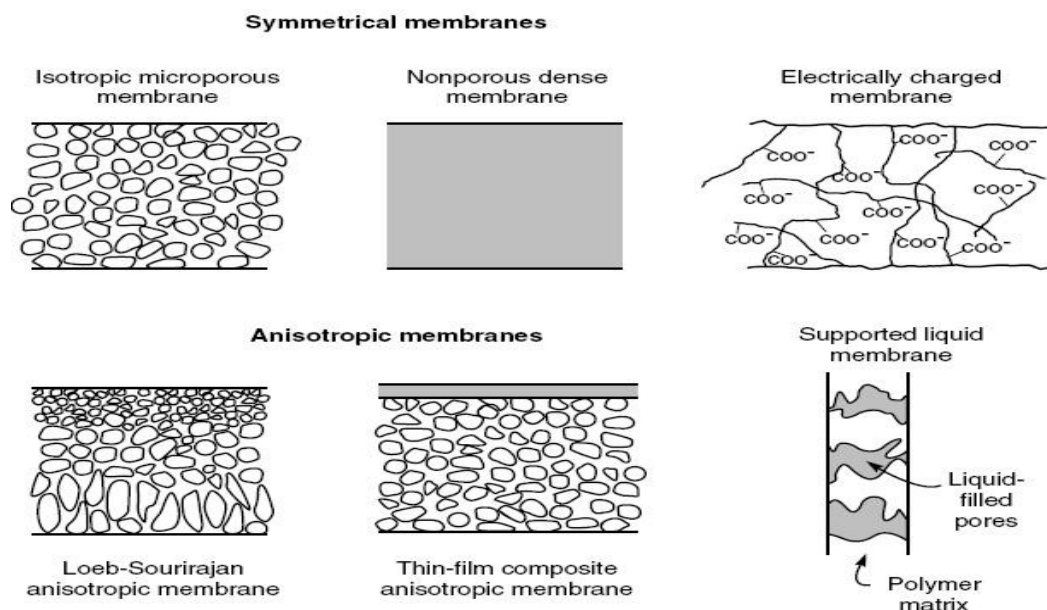
1. เป็นการแยกตามขนาดของโมเลกุล รูปร่าง หรือชนิดของประจุ ซึ่งทำให้สามารถดำเนินการที่อุณหภูมิปกติ จึงเหมาะสำหรับแยกสารที่อาจเสื่อมสภาพเพราะความร้อนได้
2. กระบวนการเมมเบรนส่วนใหญ่ใช้พลังงานในการแยกค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถแยกได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนเฟส ตัวอย่างเช่น การแยกเกลือจากน้ำกร่อยหรือน้ำทะเล ถ้าใช้ออสโมซิสผันกลับ หรืออิเล็กโตรไดอะไลซิส จะมีข้อได้เปรียบทางด้านพลังงานกว่าการกลั่น หรือการต้มระเหย
3. ไม่ก่อให้เกิดของเหลือทิ้ง เพราะกระบวนการเมมเบรนทำให้สามารถแยกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งเพอมีเอท และรีเทนเทท ตัวอย่างเช่น การผลิตน้ำสะอาดจากน้ำทะเล ได้เพอมีเอท คือน้ำจืด ส่วนสารละลายเกลือเข้มข้นสามารถนำไปต้มระเหย ตกผลึกเพื่อผลิตเกลือ หรือในการบำบัดน้ำทิ้งบางชนิดที่ได้น้ำสะอาดกลับไปใช้ในกระบวนการและได้ผลิตภัณฑ์เข้มข้นซึ่งใช้ประโยชน์ต่อไปได้
4. สามารถขยายขนาดจากระดับต้นแบบให้เป็นระดับอุตสาหกรรมได้ไม่ยาก เนื่องจากชุดเมมเบรนมีลักษณะเป็นชุด (modular) หรือหน่วยย่อยๆ มาต่อกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการแยก
5. สามารถดำเนินการแบบกะ (batch) หรือแบบต่อเนื่อง (continuous) ตลอดจนติดตั้งระบบควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติได้ไม่ยาก
6. มีขนาดกะทัดรัดไม่เปลืองพื้นที่ เพราะชุดอุปกรณ์เมมเบรนมีการออกแบบให้มีพื้นที่ในการกรองต่อหน่วยปริมาตรของอุปกรณ์สูง

ข้อด้อยของการกระบวนการกรองด้วยเมมเบรน (รัตนา, 2541)

1. เกิด concentration polarization (CP) เป็นการสะสมของโมเลกุลหรืออนุภาค ของตัวถูกละลายที่ไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้ ทำให้ความเข้มข้นบริเวณผิวหน้าเมมเบรนสูงกว่าในบริเวณที่อยู่ห่างออกไป ซึ่งจะลดสมรรถนะของการแยกทั้งในแง่ของฟลักซ์และการกักกัน และส่งผลต่อเนื่องให้เกิดการอุดตัน
2. การเกิดการอุดตันของเมมเบรน เป็นการสะสมหรืออุดตันของตัวถูกละลายทั้งบนผิวหน้าเมมเบรนและภายในรูพรุน ทำให้ฟลักซ์ลดลงและการกักกันโมเลกุลเปลี่ยนแปลง
3. ความคงตัวของเมมเบรน โดยเมมเบรนที่ใช้ส่วนใหญ่ผลิตจากพอลิเมอร์จึงมีความคงตัวจำกัด เช่น ค่า pH ของสารละลายที่ใช้กรอง อุณหภูมิการใช้งาน หรือสารละลายบางชนิด

2.5.1 ชนิดของเมมเบรน

เมมเบรนสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด เมื่อพิจารณาตามโครงสร้าง คือเมมเบรนแบบสมมาตร (isotropic membrane) และเมมเบรนไม่สมมาตร (anisotropic membrane) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การแบ่งชนิดของเมมเบรนตามโครงสร้าง (Mulder, 1996)

เมมเบรนแบบสมมาตร (isotropic membrane) เป็นเมมเบรนที่มีองค์ประกอบและโครงสร้างเหมือนกันตลอดทั้งแผ่น สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

(1) เมมเบรนแบบมีรูพรุน (microporous membrane) เป็นเมมเบรนที่มีโครงสร้างและการทำงานค่อนข้างเหมือนการกรองทั่วไป มีรูพรุนมากแต่กระจายไม่สม่ำเสมอ ขนาดรูพรุนเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.01-10 ไมโครเมตร การแยกเกิดจากการคัดขนาด ใช้ในกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน (microfiltration) และกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration)

(2) เมมเบรนแบบไม่มีรูพรุนหรือแบบแน่น (Nonporous, Dense membrane) ส่วนมากผลิตจากพอลิเมอร์ คำว่าแน่นหมายความว่า เป็นเมมเบรนที่มีความหนาแน่นของเนื้อพอลิเมอร์สูง และมีจำนวนช่องว่างในเนื้อพอลิเมอร์น้อย (น้อยกว่า 40%) permeant เคลื่อนที่ด้วยการแพร่ภายใต้แรงขับ การแยกสารสัมพันธ์กับความสามารถในการแพร่และละลายในวัสดุ เมมเบรนส่วนใหญ่ใช้ในกระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis) กระบวนการแยกแก๊ส (Gas separation) และกระบวนการเพอแวปอเรชัน (Pervaporation)

(3) เมมเบรนแบบมีประจุ (Electrically charged membrane) ซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งชนิดรูพรุนหรือเนื้อแน่น แต่ส่วนใหญ่เป็นแบบรูพรุนโดยที่ผนังของรูพรุนจะมีประจุบวกหรือลบตรึงอยู่โดยเมมเบรนที่มีประจุบวกตรึงอยู่ เรียกว่าเมมเบรนแลกเปลี่ยนประจุลบเพราะจะจับไอออนลบในสารละลาย ส่วนเมมเบรนที่มีประจุลบตรึงอยู่ เรียกว่าเมมเบรนแลกเปลี่ยนประจุบวก การแยกด้วยเมมเบรนที่มีประจุโดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยการกันไอออนที่มีประจุเดียวกับประจุที่ตรึงที่ผิวเมมเบรนออกไป

เมมเบรนไม่สมมาตร (anisotropic membrane) ประกอบด้วยชั้นผิวที่มีโครงสร้างแน่นกว่าชั้นล่าง โดยชั้นผิวทำหน้าที่กักกันสาร ส่วนชั้นล่างทำหน้าที่เสริมความแข็งแรง สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

(1) เมมเบรนมีชั้นผิว (Skinned membrane) เป็นเมมเบรนที่ชั้นผิวกับชั้นล่างเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน

(2) เมมเบรนเชิงประกอบ (Composite membrane) เป็นเมมเบรนที่มีชั้นผิวกับชั้นล่างเป็นวัสดุคนละชนิด โดยชั้นล่างเป็นชั้นรองรับ และมีการสร้างชั้นผิวชั้นบนชั้นรองรับ ให้ฟลักซ์สูงเนื่องจากชั้นผิวจะบางมาก

(3) เมมเบรนของเหลว (liquid membrane) สามารถสร้างขึ้นโดยทำให้เกิดฟิล์มของเหลวบนและภายในรูพรุนของชั้นรองรับ เรียกว่า supported liquid membrane (SLM) ซึ่งมีความสามารถกักกันโมเลกุลขนาดเล็กที่ชั้นรองรับเดิมไม่สามารถกักกันได้ หรือเมมเบรนของเหลวอาจอยู่ในรูปของอิมัลชันจำนวนมาก และอิมัลชันนี้มีความสามารถในการเลือกผ่านสาร เรียกว่า emulsion liquid membrane (ELM)

2.5.2 พอลิเมอร์เมมเบรน

โดยทั่วไปแล้วพอลิเมอร์ส่วนใหญ่สามารถนำมาผลิตเป็นเมมเบรนได้ แต่เนื่องจากสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของพอลิเมอร์แตกต่างกัน จึงทำให้ในทางปฏิบัติมีพอลิเมอร์ที่สามารถนำมาผลิตเป็นเมมเบรนได้จำนวนจำกัด โดยตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อสถานะภาพการซึมผ่านสารของเมมเบรน รวมถึงสมบัติทางกล และทางความร้อน ได้แก่ สถานะของพอลิเมอร์ ซึ่งหมายถึง เฟสหรือวัฏภาคที่พอลิเมอร์นั้นปรากฏหรือเป็นอยู่ ตัวอย่างเช่น พอลิเมอร์แข็งที่อยู่ในสถานะยืดหยุ่น (rubbery) หรือสถานะแก้ว (glassy) จะมีคุณสมบัติต่างกันอย่างชัดเจน โดยพอลิเมอร์ที่อยู่ในสภาวะแก้วจะมีความคงทนต่อความร้อนและสารเคมี เนื่องจากสายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนไหวได้จำกัด คือไม่สามารถหมุนรอบแกนของสายโซ่หลักได้อย่างอิสระ ซึ่งจะทำให้สภาพการซึมผ่านสารของเมมเบรนที่ผลิตจากพอลิเมอร์นั้นๆ ต่ำ

การเลือกพอลิเมอร์สำหรับผลิตเมมเบรนในกระบวนการไมโครฟิลเตรชันและกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน ส่วนใหญ่พิจารณาจากกระบวนการผลิต แนวโน้มการอุดตัน

ความต้านทานสารเคมีและความร้อน ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่นิยมใช้สำหรับเตรียมเมมเบรนในกระบวนการนี้คือ cellulose acetate, polysulfone, polyvinylidene fluoride, polyamide เป็นต้น ส่วนการเลือกพอลิเมอร์สำหรับผลิตเมมเบรนที่ใช้ในกระบวนการแยกก๊าซและกระบวนการเพอแวนพอเรชันพิจารณาจากค่าฟลักซ์และค่าการแยก พอลิเมอร์ที่นิยมนำมาใช้เตรียมเมมเบรน ในกระบวนการนี้คือ polydimethyl siloxane, polyvinyl alcohol, polyacrylonitrile เป็นต้น

พอลิเมอร์เมมเบรนส่วนใหญ่เตรียมโดยการเปลี่ยนเฟส (phase inversion) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้สารละลายพอลิเมอร์ที่มีสถานะของเหลวเปลี่ยนเป็นสถานะของแข็ง ซึ่งกระบวนการแข็งตัว (solidification) เริ่มจากของเหลว 1 เฟส แยกออกเป็นของเหลว 2 เฟส (liquid-liquid demixing) โดยเฟสที่มีความเข้มข้นของพอลิเมอร์มากกว่าจะแข็งตัวกลายเป็นเฟสเมทริกซ์ เทคนิคที่ใช้เตรียมเมมเบรนโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนเฟส (Mulder, 1996) มีดังนี้

1. การแยกเฟสโดยการระเหยของตัวทำละลาย (Precipitation by solvent evaporation)

เป็นเทคนิคที่ง่ายที่สุดสำหรับการเตรียมเมมเบรนโดยการเปลี่ยนเฟส โดยละลายพอลิเมอร์ในตัวทำละลาย ปาดบนชั้นรองรับ แล้วระเหยตัวทำละลายภายใต้บรรยากาศของก๊าซเฉื่อยเพื่อป้องกันไอน้ำ ซึ่งการเตรียมเมมเบรนโดยวิธีนี้จะได้เมมเบรนที่มีโครงสร้างแบบแน่น

2. การแยกเฟสด้วยไอของตัวไม่ละลาย (Precipitation from the vapour phase)

โดยนำฟิล์มที่ขึ้นรูปแล้ว ตั้งไว้ภายใต้บรรยากาศของไอของสารที่ไม่ใช่ตัวทำละลายและไอของสารที่เป็นตัวทำละลาย แล้วไอของสารที่ไม่ใช่ตัวทำละลายแพร่เข้าไปในฟิล์ม ซึ่งจะได้เป็นเมมเบรนที่มีรูพรุน

3. การแยกเฟสโดยการควบคุมการระเหย (Precipitation by evaporation)

โดยละลายพอลิเมอร์ในสารผสมระหว่างสารที่เป็นตัวทำละลายและสารที่ไม่ใช่ตัวทำละลาย โดยสารที่เป็นตัวทำละลายจะระเหยเร็วกว่าสารที่ไม่ใช่ตัวทำละลาย ในระหว่างการระเหยทำให้ส่วนประกอบของส่วนผสมเปลี่ยน ปริมาณสารที่ไม่ใช่ตัวทำละลายเพิ่มขึ้น ทำให้การละลายลดลงจึงเกิดการแยกเฟส

4. การแยกเฟสโดยการควบคุมการระเหย (Thermal precipitation)

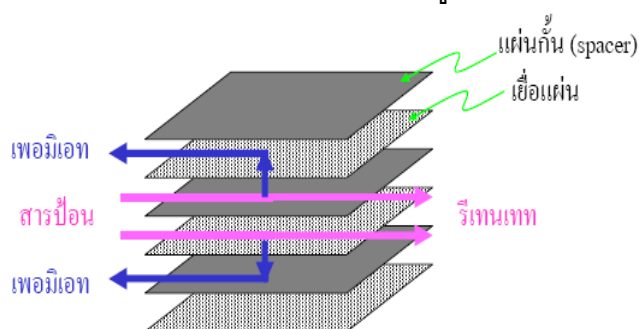
โดยการลดอุณหภูมิของสารละลายพอลิเมอร์ เพื่อทำให้เกิดการแยกเฟส จากนั้นจึงระเหยตัวทำละลายออกไป

5. การแยกเฟสด้วยการจุ่ม (Immersion precipitation)

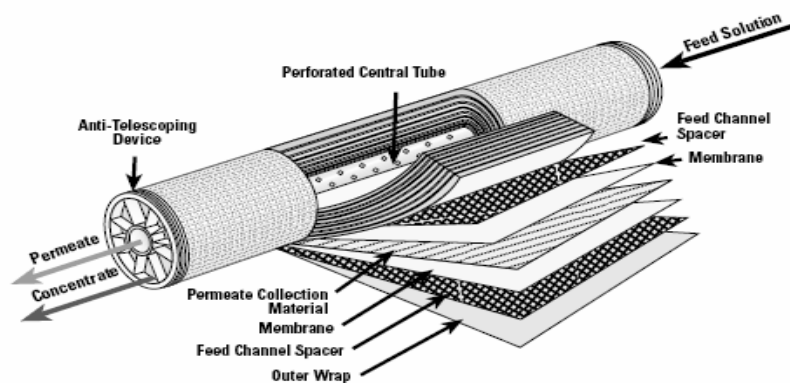
เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการผลิตเมมเบรน โดยปาดสารละลายพอลิเมอร์บนชั้นรองรับ แล้วจุ่มในอ่างจับตัวซึ่งเป็นสารที่ไม่ใช่ตัวทำละลาย การแยกเฟสเกิดขึ้นเนื่องจากเกิด

การแลกเปลี่ยนระหว่างตัวทำละลายและสารที่ไม่ใช่ตัวทำละลาย โดยสามารถเตรียมอยู่ใน 2 รูปแบบคือ เมมเบรนที่มีลักษณะเรียบและเมมเบรนที่มีลักษณะเป็นท่อ

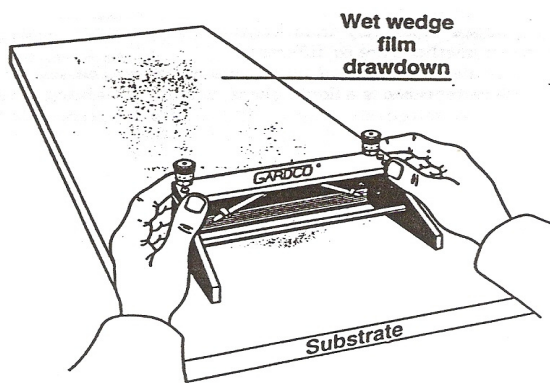
(1) เมมเบรนที่มีลักษณะเรียบ (Flat membrane) เช่น เมมเบรนชนิดแผ่นและกรอบ (plate and frame membrane) และเมมเบรนชนิดท่อม้วน (spiral wound membrane) ดังแสดงในรูปที่ 2.13-2.14 ตามลำดับ วิธีการเตรียมคือ ละลายพอลิเมอร์ในตัวทำละลายหรือตัวทำละลายผสมที่เหมาะสม แล้วปาดบนชั้นรองรับด้วยมีดปาด (casting knife) แล้วแช่ในอ่างของสารที่ไม่ใช่ตัวทำละลาย (non solvent) ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างตัวทำละลายและสารที่ไม่ใช่ตัวทำละลาย ทำให้เกิดการแยกเฟส ตัวแปรสำคัญที่กำหนดโครงสร้างของเมมเบรนคือ การเลือกใช้คู่ของตัวทำละลายและสารที่ไม่ใช่ตัวทำละลาย นอกจากนี้ยังมีความเข้มข้นของพอลิเมอร์ เวลาการระเหย ความชื้น อุณหภูมิ และส่วนประกอบของสารละลายพอลิเมอร์ ซึ่งการเตรียมเมมเบรนที่มีลักษณะเรียบด้วยการ casting แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.13 เมมเบรนชนิดแผ่นและกรอบ (Ref)



รูปที่ 2.14 เมมเบรนชนิดท่อม้วน (Wagner, 2001)

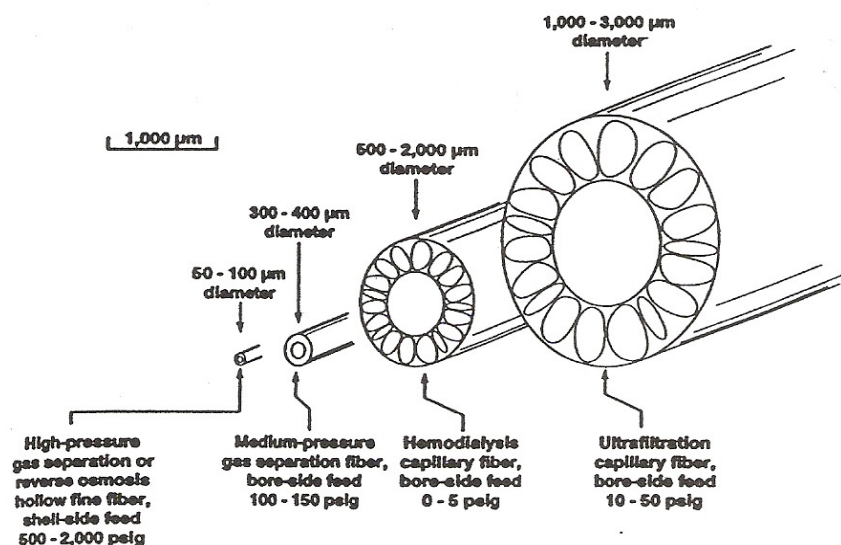


รูปที่ 2.15 การเตรียมเมมเบรนที่มีลักษณะเรียบด้วยการ casting (Baker, 2000)

(2) เมมเบรนที่มีลักษณะเป็นท่อ มีหลายชนิด เช่น เมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง (Hollow fiber membrane) เมมเบรนชนิดท่อ (Tubular membrane) เป็นต้น

2.5.3 เมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง

เมมเบรนเส้นใยกลวง (Hollow Fiber Membrane) เป็นเมมเบรนที่เป็นแบบท่อบางหรือเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 50-3000 ไมโครเมตร ซึ่งจุดเด่นของเมมเบรนเส้นใยกลวงคือ มีพื้นที่ผิวสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับโมดูลชนิดอื่นๆ ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นโครงสร้างรูปพรุนที่มีชั้นคัดเลือกอยู่ที่ผิวทั้งด้านนอกและด้านใน สามารถแบ่งชนิดของเมมเบรนเส้นใยกลวงเมื่อพิจารณาเส้นผ่านศูนย์กลางดังแสดงในรูปที่ 2.16 โดยชนิดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50-200 ไมโครเมตร เรียกว่า Hollow fine fibers สามารถทนต่อความดันสูงๆจากภายนอก ดังนั้นจึงใช้ใน กระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis) กระบวนการแยกแก๊ส (Gas separation) โดยในการแยกจะป้อนสารจากด้านนอกแล้วเพอร์มิเอต ถูกขจัดออกทางด้านในรูกลวง เมมเบรนเส้นใยกลวงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 200-500 ไมโครเมตร โดยทั่วไปนิยมป้อนสารด้านในท่อกลวง แล้วเพอร์มิเอตถูกขจัดออกด้านนอก ใช้ในกระบวนการแยกแก๊ส (Gas separation) ที่ความดันต่ำๆ และกระบวนการอัลตราฟิเตรชัน (Ultrafiltration) ส่วนเมมเบรนเส้นใยกลวงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 500 ไมโครเมตร เรียกว่า capillary โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยกลวงจะมีผลต่อการบรรจุเมมเบรนลงในโมดูล ดังแสดงในตารางที่ 2.5



รูปที่ 2.16 การแบ่งชนิดของเมมเบรนเส้นใยกลางโดยใช้เส้นผ่าศูนย์กลาง
(Baker, 2000)

ตารางที่ 2.3 ผลของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยต่อพื้นที่การแยกของเมมเบรนและจำนวนของเส้นใยที่บรรจุในโมดูล (Baker, 2000)

Module use	High-pressure RO And gas separation	Low-pressure Ultrafiltration		Ultrafiltration	
Fiber diameter (μm)	100	250	500	1000	2000
Number of fiber per Module (thousands)	2000	500	80	20	5
Membrane area (m^2)	630	310	130	63	31
Packing density (cm^2/cm^3)	200	100	40	20	10

เส้นผ่านศูนย์กลางสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามกระบวนการผลิต แต่ส่วนใหญ่แล้วอยู่ในช่วงดังต่อไปนี้ (U.S. EPA, 2005)

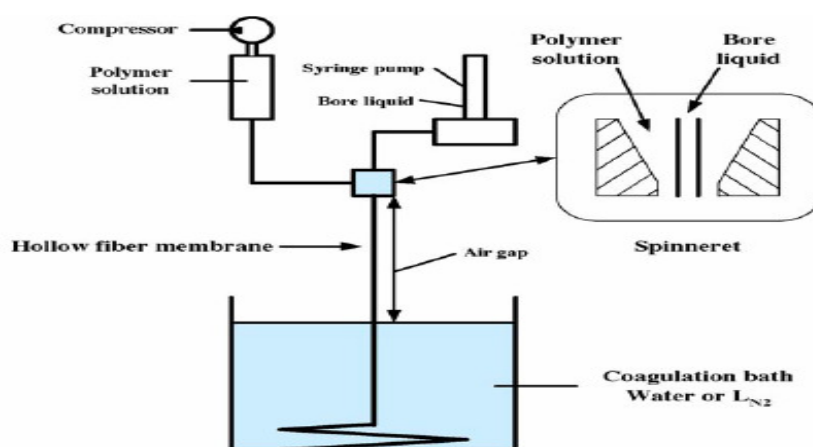
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.5 – 2.0 มิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.3 – 1.0 มิลลิเมตร

ความหนาของเส้นใย 0.1 – 0.6 มิลลิเมตร

ความยาวของเส้นใย 1 – 2 เมตร

เมมเบรนชนิดเส้นใยกลวงสามารถเตรียมโดยกระบวนการ spinning โดยการอัตราส่วนผสมของโพลิเมอร์และของไหลที่ทำให้เกิดรูกลวงผ่านหัวสปินเนอร์ สัมผัสกับสารที่ไม่ใช่ตัวทำละลายทำให้เกิดการจับตัวอย่างรวดเร็วเกิดเป็นท่อกลวง ดังแสดงในรูปที่ 2.17 โดยตัวแปรหลักที่มีผลต่อการเตรียมเส้นใยคือ ตัวทำละลาย ต้องสามารถละลายโพลิเมอร์พร้อมทั้งยอมให้เกิดการแข็งตัวเมื่อสัมผัสกับสารที่ไม่ใช่ตัวทำละลาย ความหนืดต้องเหมาะสม เพราะถ้าต่ำเกินไปจะทำให้เส้นใยแตกออกและไม่สามารถรักษาโครงรูปของเส้นใยได้ แต่ถ้าสูงเกินไปต้องใช้ความดันในการอัตราส่วนผสมมาก อัตราการอัตราส่วนผสมของโพลิเมอร์และสารที่ทำให้เกิดรูกลวง ต้องมีอัตราที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ได้เป็นเส้นใยที่มีรูเปิด และระยะเวลาการสัมผัสของเส้นใยกับของเหลวที่ใช้จับตัว ต้องเพียงพอเพื่อให้เกิดการจับตัวได้อย่างสมบูรณ์



รูปที่ 2.15 การเตรียมเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวงด้วยกระบวนการ dry-wet spinning

ข้อดีของเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง (Yee, 2008)

1. เนื้อที่ในการกรองต่อหน่วยปริมาตรของอุปกรณ์สูง
2. สามารถดำเนินการกรองได้ 2 แบบ คือ จากผิวภายในเมมเบรนออกสู่ผิวด้านนอก (Inside-out) และจากผิวด้านนอกเมมเบรนท่อกลวงเคลื่อนสู่ผิวด้านในเมมเบรนท่อกลวง (Outside-in)
3. ใช้ค่าใช้จ่ายต่ำ เมมเบรนเส้นใยแบบท่อกลวงใช้ค่าใช้จ่ายต่ำในทางปฏิบัติเมื่อเปรียบเทียบกับเมมเบรนชนิดอื่น

ข้อเสียของเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง (Yee, 2008)

1. เป็นเมมเบรนที่มีการปนเปื้อนได้ง่าย เมมเบรนเส้นใยแบบทอกลวงจะมีการปนเปื้อนมากกว่าเมมเบรนชนิดอื่นๆซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้าง และจะมีการปนเปื้อนมากขึ้นถ้าเพิ่มอัตราในการป้อน
2. มีราคาแพง เมมเบรนเส้นใยแบบทอกลวงมีราคาแพงมากกว่าเมมเบรนชนิดอื่นๆที่หาได้ง่ายตามท้องตลาด นอกจากนี้เมมเบรนชนิดนี้จะมีวิธีการผลิตและค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าเมมเบรนชนิดอื่น
3. มีการวิจัยน้อย

2.6 การตรวจสอบเอกสาร

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเมมเบรนผสมซีโอไลต์

Adnadjevic and Jovanovic (2000) เตรียมเมมเบรนคอมโพสิตของพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS) กับซีโอไลต์ชนิด NaA พบว่าการเติมซีโอไลต์ชนิด NaA ในปริมาณเพิ่มขึ้นส่งผลให้ เวลาที่ใช้ในการบวมตัวในโทลูอีโนลดลง ความแข็งและความเสถียรทางความร้อนเพิ่มขึ้น โดยจุดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากคือ เมื่อเติมซีโอไลต์ลงไป 20% แต่ที่ความเข้มข้นสูงกว่านี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่มาก จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าซีโอไลต์ชนิด NaA ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง โดยทำให้เกิดพันธะใหม่ระหว่างซีโอไลต์กับพอลิเมอร์

Naowanon *et al.*, (2008) เตรียมเมมเบรนจากน้ำยางธรรมชาติที่เชื่อมโยงด้วยพอลิอะคริลิกแอซิด (polyacrylic acid, PAA) และผสมซีโอไลต์ชนิด 4A พบว่าการบวมตัวทั้งในน้ำและเอทานอลเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PAA เพิ่มขึ้น ตรงข้ามกับการเติมซีโอไลต์ การเติมซีโอไลต์ทำให้ระดับการบวมตัวในน้ำและเอทานอลลดลง โดยระดับการบวมตัวในสารละลายของเอทานอลและน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำในสารละลายผสมเพิ่มขึ้น การเลือกดูดซับน้ำของเมมเบรนเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PAA และซีโอไลต์เพิ่มขึ้นแต่จะลดลงเมื่อปริมาณน้ำในส่วนผสมเพิ่มขึ้น เมื่อทดสอบในกระบวนการเพอแวกพอเรชัน พบว่าฟลักซ์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PAA เพิ่มขึ้น โดยเมมเบรนที่ผสมซีโอไลต์มีความเสถียรต่อความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเมมเบรนที่ไม่ผสมซีโอไลต์

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเมมเบรนจากยางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์

George *et al.*, (2000) ศึกษาการผสมยางสไตรีนบิวตาไดอีน (SBR) กับยางธรรมชาติ (NR) พบว่าที่อัตราส่วนผสมของ SBR:NR เท่ากับ 70:30 ยางธรรมชาติกระจายตัวอยู่ในยาง SBR ซึ่งเป็นเมทริกซ์โดยมีขนาดเฉลี่ย 3.2 ไมโครเมตร ที่อัตราส่วนการผสม

SBR:NR เท่ากับ 50:50 และ 30:70 อย่างผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยมีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ คล้ายแก้ว (T_g) 2 ค่า เมื่อปริมาณของยางธรรมชาติมากขึ้น โมดูลัสสะสม (Storage modulus) จะมีค่าลดลง ขณะที่โมดูลัสสูญเสีย (Loss modulus) และ $\tan\delta$ เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืด ณ จุดขาด มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น

George *et al.*, (2001) เตรียมเมมเบรนจากยางธรรมชาติ (NR) อย่างสไตรีนบิวตาไดอีน (SBR) และเมมเบรนยางธรรมชาติผสมยางสไตรีนบิวตาไดอีน (NR/SBR) สำหรับทดสอบการซึมผ่านของแก๊สไนโตรเจน (N_2) และ ออกซิเจน (O_2) โดยศึกษาผลของชนิดระดับการเชื่อมโยง อัตราส่วนการผสม และสัณฐานวิทยาในเมมเบรนยาง SBR และเมมเบรน ของยางผสม NR/SBR พบว่าเมมเบรน SBR ที่เชื่อมโยงด้วยระบบประสิทธิภาพ (efficient vulcanization, EV) ให้แก๊สซึมผ่านได้สูงสุด และระบบการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ (dicumyl peroxide, DCP) ต่ำสุด เนื่องจากระบบการวัลคาไรซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ ประกอบด้วยพันธะคาร์บอนที่แข็งและเสถียร โดยค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ลดลงจากระบบ DCP ไปยังระบบ EV เนื่องจากระดับการเชื่อมโยงลดลง ซึ่งแปรผกผันกับการซึมผ่านของแก๊ส ส่วนในเมมเบรนผสม NR/SBR ค่าการซึมผ่านมีแนวโน้มเช่นเดียวกับเมมเบรนยาง SBR โดยการซึมผ่านของแก๊สเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ NR เพิ่มขึ้น ซึ่งการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจน (O_2) เร็วกว่าแก๊สไนโตรเจน (N_2) โดยค่าการเลือก O_2/N_2 ลดลงเมื่อปริมาณยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น

Popovic *et al.*, (2005) ศึกษาการผสมน้ำยางธรรมชาติ (NR) กับน้ำยางสไตรีนบิวตาไดอีน (SBR) พบว่าเมื่อน้ำยาง SBR ในน้ำยางผสมเพิ่มขึ้น ความทนต่อแรงดึง โมดูลัส และความต้านทานต่อการฉีกขาดลดลง ยกเว้นที่อัตราส่วนการผสมระหว่างน้ำยาง NR : SBR เป็น 80:20 มีการเสริมกันบ้างเล็กน้อย ส่งผลให้ความทนต่อแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด ความแข็ง และความต้านทานต่อการฉีกขาด ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มยางธรรมชาติและฟิล์มยาง SBR โดยระดับการเชื่อมโยงที่คำนวณด้วยการวัดการบวมพองสัมพันธ์กับสมบัติของการวัลคาไรซ์ การศึกษาความเข้ากันได้ของน้ำยางผสมด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter, DSC พบว่าที่อัตราส่วนการผสม 50:50 ฟิล์มยางผสมแสดงอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ค่าเดียวประมาณ -62°C ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำยางธรรมชาติกับน้ำยาง SBR สามารถผสมเข้ากันได้

Ray and Ray (2006) เตรียมเมมเบรนจากยางธรรมชาติ (NR) และยางสไตรีนบิวตาไดอีน (SBR) ผสมเขมาดำในปริมาณ 5, 10 และ 20 phr (NR-5, NR-10, NR-20 และ SBR-5, SBR-10, SBR-20) สำหรับใช้ในกระบวนการแยกสารผสม โทลูอีน-เมทานอล ในกระบวนการเพอแวกพอเรชัน ที่มีโทลูอีนถึง 11% โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติม ค่าการเลือก (selectivity) และสมบัติเชิงกลสูงขึ้น โดย NR-20 และ SBR-20 มีความหนาแน่นการเชื่อมโยงสูงสุด ให้ค่าการแยกโทลูอีนพร้อมค่าฟลักซ์ที่ดี และเมื่อพิจารณาชนิดของยางที่เติมเขมาดำปริมาณเท่ากันพบว่า เมมเบรนยาง SBR แสดงการดูดซับโทลูอีนสูงกว่า

เมมเบรนยางธรรมชาติ เนื่องจากพารามิเตอร์การละลายใกล้เคียงกันและยางธรรมชาติผสมกับเขม่าดำเข้ากันได้ดีกว่ายาง SBR ส่งผลให้เมมเบรน SBR มีปริมาตรอิสระมากกว่าจึงเกิดการดูดซับได้สูงกว่า

Stephen *et al.*, (2005) เตรียมเมมเบรนจากน้ำยางธรรมชาติ (NR) น้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีน (XSBR) และน้ำยางธรรมชาติผสมกับน้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีน (NR/XSBR) ซึ่งการผสมนี้เป็นการรวมคุณสมบัติเด่นทางด้านสมบัติเชิงกลของน้ำยางธรรมชาติ และความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพและตัวทำละลายของน้ำยาง XSBR จากการศึกษาสภาพการซึมผ่านของก๊าซพบว่าเมมเบรนจากน้ำยางธรรมชาติ ให้ค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไนโตรเจน (O_2, N_2) สูงกว่าเมมเบรนจากน้ำยาง XSBR เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในโครงสร้างร่างแหสูงกว่า และพบว่าการแยกออกซิเจนและไนโตรเจน (O_2/N_2) ลดลงเมื่อปริมาณ XSBR ในส่วนผสมเพิ่มขึ้น

2.6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเมมเบรนผสมพอลิเมอร์ขอบน้ำ

โสธยา (2543) เตรียมแผ่นฟิล์มยางที่มีรูพรุนโดยการผสมพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำลงในน้ำยางธรรมชาติที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แล้วขึ้นรูปแผ่นฟิล์มยางตามกระบวนการผลิตถุงมือ จากนั้นจึงทำการสกัดเอาพอลิเมอร์ออกด้วยน้ำร้อน โดยใช้พอลิเมอร์ 3 ชนิด คือ พอลิเอทิลีนไกลคอล แป้ง และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จากนั้นจึงทำการทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มยางในด้าน การทนต่อแรงดึง ความสามารถในการซึมผ่านของอากาศ และความสามารถในการสะท้อนน้ำ และตรวจสอบสภาพพื้นผิวของแผ่นฟิล์มยาง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) พบว่าแผ่นฟิล์มยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเมอร์ความเข้มข้น 1-10% มีขนาดของช่องว่างระหว่างอนุภาคอย่างใหญ่ขึ้น และมีปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคอย่างมากขึ้นกว่าแผ่นฟิล์มยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยางที่ไม่ได้ผสมพอลิเมอร์ เมื่อทดสอบหาความสามารถให้อากาศซึมผ่านด้วยเครื่องทดสอบหาความสามารถให้อากาศซึมผ่านผ้า (air permeable tester for fabrics) พบว่าแผ่นฟิล์มยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยางและน้ำยางผสมพอลิเมอร์ไม่สามารถให้อากาศซึมผ่านได้ แผ่นฟิล์มยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความทนต่อแรงดึงสูงกว่าแผ่นฟิล์มยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยางที่ไม่ได้เติมพอลิเมอร์ ส่วนแผ่นฟิล์มยางที่ขึ้นรูปจากน้ำยางผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลหรือแป้งจะมีความทนต่อแรงดึงต่ำกว่าเล็กน้อย

Gan *et al.*, (2004) เตรียมฟิล์มบางจาก poly(aryl amide ether), PAAE ที่มีรูพรุนขนาดนาโนเมตร จากกระบวนการเตรียม 2 ขั้นตอน ขั้นแรกเตรียมฟิล์มนาโนคอมโพสิตของ PEG/PAAE ด้วยการ casting ขั้นต่อมาสกัด PEG ออก ด้วยการแช่น้ำเป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่ารูพรุนมีขนาดต่างๆ กันปกคลุมสม่ำเสมอผิวหน้า และเมื่อปริมาณ PEG เพิ่มขึ้นขนาดของรูพรุนใหญ่ขึ้นและการกระจายของขนาดไม่เปลี่ยนแปลง การศึกษาฐานวิทยาศาสตร์ด้วย

AFM พบว่า PAAE ที่เตรียมโดยไมใส่ PEG มีลักษณะของผิวค่อนข้างเรียบ โดยรูพรุนขนาดนาโนเมตรสามารถสังเกตได้หลังจากการล้างฟิล์มด้วยน้ำเพื่อสกัด PEG ออก โดยปริมาณ PEG มาก ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีรูขนาดใหญ่ ส่งผลให้สมบัติเชิงกลต่ำลง

Hsu *et al.*, (2003) ศึกษาการแยกน้ำออกจากสารละลายผสมของน้ำและเอทานอล ด้วยกระบวนการเพอแวกพอเรชัน จากเมมเบรนพอลิซัลโฟน-พอลิเอทิลีนไกลคอล (PSF-PEG) พบว่าตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการแยกน้ำและเอทานอลคือ การเลือกแพร่ผ่านของเพอมีเอท ส่วนการเลือกกละลายมีผลเพียงเล็กน้อย โดย PEG ทำให้ความสามารถในการเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้ความแตกต่างในการแพร่ของเพอมีเอทเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PEG ในเมมเบรนเพิ่มขึ้น การผสม PEG ปริมาณที่เหมาะสมสามารถเตรียมเมมเบรนที่มีประสิทธิภาพสำหรับใช้ในกระบวนการเพอแวกพอเรชัน

Kim and Lee (1998) ศึกษาผลของสารตัวเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ซึ่งเป็นสารก่อรูพรุน ต่อโครงสร้างของเมมเบรนและสมบัติการซึมผ่านของเมมเบรนพอลิซัลโฟน โดยใช้เอ็น-เมทิล-ไพโรลิโดน (N-methyl-2-pyrrolidone, NMP) เป็นตัวทำละลายและเติม PEG น้ำหนักโมเลกุล 600, 2000 และ 6000 กรัมต่อโมล เตรียมเมมเบรนด้วยวิธีการเปลี่ยนเฟส จากนั้นแช่ในอ่างน้ำร้อนอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อขจัด PEG และ NMP ออก วิเคราะห์ผลการเติม PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ กันด้วย SEM พบว่าเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของ PEG เพิ่มขึ้น ขนาดรูพรุนที่ผิวหน้าด้านบนใหญ่ขึ้น ชั้นผิวด้านบนกลายมาเป็นรูพรุนเพิ่มขึ้น ภาคตัดขวางมีลักษณะเป็น finger like ซึ่งอิทธิพลของการเพิ่มขนาดรูพรุนและความพรุนของผิวหน้าด้านบน ส่งผลให้ฟลักซ์ของน้ำเพิ่มขึ้นและการกักกันลดลง

Klamklang *et al.*, (2002) ปรับปรุงสมบัติความชอบน้ำในน้ำยางธรรมชาติ โดยการผสมกับพอลิอะครีลาไมด์และอนุพันธ์โคโตแซนฟาทาเลท ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติชอบน้ำกับน้ำยางธรรมชาติด้วยวิธีการผสมที่แตกต่างกันคือ การผสมทางกล การสังเคราะห์โครงสร้างแหพอลิเมอร์กึ่งอินเตอร์พินิเตอร์ติง และการสังเคราะห์โครงสร้างแหพอลิเมอร์อินเตอร์พินิเตอร์ติง โดยเตรียมเป็นเมมเบรนเพื่อแยกสารผสมของเอทานอลและน้ำ (เอทานอลร้อยละ 95 โดยปริมาตร) ผลทดลองการดูดซับพบว่า เมมเบรนแสดงแนวโน้มความชอบน้ำสูงขึ้นเมื่อปริมาณพอลิอะครีลาไมด์หรือโคโตแซนฟาทาเลทและความหนาแน่นของโครงสร้างตาข่ายเพิ่มขึ้น เมมเบรนที่เหมาะสมจะนำไปใช้ในกระบวนการเพอแวกพอเรชันเพื่อแยกน้ำออกจากสารละลายอะซีโอโทรบคือ เมมเบรนที่เตรียมโดยเทคนิคการสังเคราะห์โครงสร้างแหพอลิเมอร์อินเตอร์พินิเตอร์ติงจากน้ำยางพรีวัลคาไนซ์และพอลิอะครีลาไมด์ โดยมีค่าทนต่อแรงดึง 16 ± 0.081 นิวตันต่อตารางเมตร ค่าการดูดซับรวม 1.6 ± 0.003 กรัมต่อกรัม และค่าการเลือกดูดซับน้ำ 231 ± 8.9

Malhototra and Walpalage (2001) เตรียมเมมเบรนคอมโพสิตจากน้ำยางธรรมชาติ โดยชั้นแรกเตรียมจากน้ำยางธรรมชาติผสมสารเคมีสำหรับยางคือ กำมะถัน สารป้องกันการเสื่อมสภาพ สารตัวเร่ง และสารกระตุ้น แล้วอบให้เกิดการวัลคาไรซ์ที่ 120°C เป็น

เวลา 12 นาที หลังจากนั้นก็เคลือบอีกชั้นด้วยน้ำยางธรรมชาติผสมกับสารเคมีเหมือนชั้นแรก พร้อมกับผสมพอลิเมอร์ชอบน้ำคือ กรดอัลจินิก (alginic acid) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxy methyl cellulose) เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose) แล้วอบอีกครั้งที่ 120 °C เป็นเวลา 12 นาที แล้วศึกษาการแยกสารผสมเอทานอลและน้ำโดยกระบวนการเพอแวปพอเรชัน

Moonart *et al.*, (2006) เตรียมเมมเบรนจากยางธรรมชาติผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เชื่อมขวางโดยใช้กรดมาลิกเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70°C แล้วศึกษาการบวมตัว (degree of swelling) การเลือกดูดซับน้ำ (water sorption selectivity) ของเมมเบรนในสารละลายผสมของเอทานอลกับน้ำ พบว่าการบวมตัว (degree of swelling) จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของ PVA ในเมมเบรนเพิ่มขึ้น โดยที่ความเข้มข้นของเอทานอลสูงพบว่าการเลือกดูดซับน้ำ (sorption selectivity of water) ดีกว่าความเข้มข้นของเอทานอลต่ำ

Rafat (2006) เตรียมเมมเบรนเส้นใยกลางจากพอลิอีทิลีนไกลคอล (PEG) เพื่อประยุกต์ใช้เป็นไทเทเนียม ด้วยการผสมกับพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) แล้ววิเคราะห์ผิวด้วย AFM การวัดมุมสัมผัส (contact angle) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ในด้านความหยาบของผิว ขนาดรูพรุน และสมบัติการเปียกน้ำ (wettability) ผลการทดลองพบว่า น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) มีผลต่อผิวของเมมเบรนเส้นใยกลาง โดยเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) เพิ่มขึ้นพบว่าขนาดรูพรุนเพิ่มขึ้น ค่ามุมสัมผัสลดลง โดยสมบัติการเปียกน้ำขึ้นกับฐานวิทยาศาสตร์ของผิว และความหยาบของผิว

2.6.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเมมเบรนชนิดเส้นใยกลาง

Khayet (2003) ศึกษาผลของระยะห่างระหว่างสปินเนอเรทกับอ่างแยกเฟส ต่อลักษณะฐานวิทยาศาสตร์ สภาพการซึมผ่าน และสัมประสิทธิ์การแยก ของเมมเบรนโพลีไวนิลิดีนฟลูออไรด์ (PVDF) ชนิดเส้นใยกลาง เตรียมเมมเบรนเส้นใยกลางด้วยกระบวนการ spinning โดยใช้ เอ็น-ไดเมทิลอะเซตาไมด์ (DMAC) เป็นตัวทำละลาย ใช้สารละลายเอทานอล 50% โดยปริมาตร เป็นสารที่ทำให้ผิวด้านในและด้านนอกทอแข็งตัว ผลการทดลองพบว่า ขนาดรูพรุน มีการกระจายแบบสม่ำเสมอ โดยขนาดรูพรุน และความหยาบของผิวด้านในและด้านนอกของเส้นใยเป็นผลจากระยะห่างระหว่างสปินเนอเรทกับอ่างแยกเฟส การเพิ่มระยะห่างระหว่างสปินเนอเรทกับอ่างแยกเฟสจาก 1-80 เซนติเมตร ทำให้ฟลักซ์ลดลง ประสิทธิภาพการแยกเพิ่มขึ้น เนื่องจากขนาดรูพรุนลดลง ภาพจาก AFM พบว่าที่ระยะห่างระหว่างสปินเนอเรทกับอ่างแยกเฟสน้อย ผิวด้านในของเมมเบรนเส้นใยกลางมีขนาดรูพรุนเล็กลง ผิวด้านในจึงควบคุมการแยก ในขณะที่ระยะห่างระหว่างสปินเนอเรทกับอ่างแยกเฟสเพิ่มขึ้น ขนาดรูพรุนที่ผิวด้านในใหญ่กว่าผิวด้านนอกผิวด้านนอกจึงควบคุมการแยก ซึ่งจุดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้คือที่ระยะห่างระหว่างสปินเนอเรทกับอ่างแยกเฟส 20.3 เซนติเมตร

Qin and Chung (1999) ศึกษาผลของความเร็วในการอัดรีดสารละลายพอลิเมอร์ ต่อสัณฐานวิทยา ประสิทธิภาพการแยก สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อน ของเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง ที่เตรียมจากพอลิเอทีเธอร์ซัลโฟน (P E S) ใช้เอ็น-เมทิล-ไพร์โรลิโดน (N M P) เป็นตัวทำละลาย ใช้ไดเอทิลีนไกลคอล (D G) เป็นสารเติมแต่ง ในอัตราส่วนของ PES:NMP:DG เป็น 18:42:40 ต่อน้ำหนัก โดยใช้น้ำเป็นสารที่ทำให้ผิวด้านนอกท่อนแข็งตัว สารผสมของน้ำและ N M P เป็นสารที่ทำให้ผิวด้านในท่อนแข็งตัว พบว่าเมื่อความเร็วในการอัดรีดสารละลายพอลิเมอร์สูง ทำให้เมมเบรนเส้นใยกลวงมีขนาดรูพรุนเล็กลงและมีชั้นผิวที่แน่นกว่า เนื่องจากโมเลกุลมีการจัดเรียงตัวได้ดี ส่งผลให้การซึมผ่านของน้ำ สัมประสิทธิ์การขยายตัว เนื่องจากความร้อนและระยะยืด ้น จุลขาดลดลง แต่ประสิทธิภาพในการแยก โมดูลัสสะสม การทนต่อแรงดึง โมดูลัสของยังเพิ่มขึ้น พบว่าความเร็วในการอัดรีดจะมีอิทธิพลในช่วงหนึ่งเท่านั้น

Wang *et al.*, (1999) เตรียมเมมเบรนพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ (PVDF) ชนิดเส้นใยกลวง โดยใช้ เอ็น-ไดเมทิลอะเซตาไมด์ (DMAC) เป็นตัวทำละลาย พอลิไวนิลไพร์โรลิโดน (PVP) เป็นสารเติมแต่ง ใช้น้ำเป็นสารที่ทำให้ผิวด้านนอกท่อนแข็งตัว และใช้น้ำหรือเอทานอลเป็นสารที่ทำให้ผิวด้านในท่อนแข็งตัว ศึกษาอิทธิพลของความเร็วในการอัดรีดของพอลิเมอร์ ระยะห่างระหว่างสปินเนอร์กับอ่างแยกเฟส น้ำหนักโมเลกุลของ PVP ต่อสมบัติของเมมเบรนในด้านฟลักซ์ของน้ำ ความพรุนของผิว ลักษณะภาคตัดขวาง ผลการทดลองพบว่า เมมเบรนเส้นใยกลวงที่สามารถซึมผ่านได้สูง เตรียมจากสารละลายพอลิเมอร์ที่มี PVP น้ำหนักโมเลกุลต่ำ และใช้เอทานอลเป็นสารที่ทำให้ผิวด้านในท่อนแข็งตัว โดยเมื่อความเร็วในการอัดรีดของพอลิเมอร์ต่ำ ระยะห่างระหว่างสปินเนอร์กับอ่างแยกเฟสต่ำ ฟลักซ์ของน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความเร็วในการอัดรีดของพอลิเมอร์สูง ปริมาตรรูพรุนที่ผิวด้านในลดลง และระยะห่างระหว่างสปินเนอร์กับอ่างแยกเฟสต่ำ มีแนวโน้มให้เกิดชั้นผิวด้านในที่บาง โดยเมื่อใช้เอทานอลความเข้มข้นมากกว่า 50% ไม่สามารถเตรียมเป็นท่อนกลมได้ เนื่องจากแอลกอฮอล์เป็นตัวไม่ละลายที่อ่อน ทำให้อัตราการแข็งตัวช้า โดยการใช้แอลกอฮอล์เป็นสารที่ทำให้ผิวด้านในท่อนแข็งตัว ทำให้เกิดโครงสร้างรูพรุนที่ผิวด้านใน ดังนั้นจึงทำให้ฟลักซ์เพิ่มขึ้น

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

1. น้ำยางข้น ชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia Concentrated Latex, HA-Latex) ซึ่งมีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 60% ผลิตโดยบริษัท ฉลอง อุตสาหกรรมน้ำยางข้น
2. น้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีน (carboxylated styrene butadiene, XSBR) ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณ 50% ผลิตโดยบริษัท Synthomer
3. น้ำยางสไตรีนบิวตาไดอีน (styrene butadiene, SBR) ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดประมาณ 47% ผลิตโดยบริษัท Synthomer นำเข้าโดยบริษัท ดีทแฮล์ม จำกัด
4. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide, KOH) มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว ชุบน้ำหนักโมเลกุล 56.11 กรัมต่อโมล ทำหน้าที่เป็นสารรักษาสภาพน้ำยาง เตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายเข้มข้น 10 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผลิตโดยบริษัท Merck
5. โพแทสเซียมโอเลเอต (potassium oleate, $C_{18}H_{33}KO_2$) มีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองขุ่น ทำหน้าที่เป็นสารรักษาสภาพน้ำยาง เตรียมอยู่ในรูปสารละลายอิ่มตัว 10% โดยปริมาตร ผลิตโดยบริษัท Lucky Four Co., Ltd
6. กำมะถัน (sulfur, S) มีลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีเหลือง ทำหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์ (vulcanizing agent) เตรียมอยู่ในรูปสารละลายดีสเพิชั่น 50% ผลิตโดยบริษัท Lucky Four Co., Ltd
7. ซิงค์ไดบูทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc-N-dibutyl dithiocarbamate, ZBDC) มีลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีขาว ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่ง เตรียมอยู่ในรูปสารละลายดีสเพิชั่น 50% ผลิตโดยบริษัท Lucky Four Co., Ltd
8. โลวิน็อก ซีพีแอล (Lowinox CPL) มีลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีเทา ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพ อยู่ในรูปสารละลายดีสเพิชั่น 50% ผลิตโดยบริษัท Lucky Four Co., Ltd
9. ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide, ZnO) มีลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีขาว ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น เตรียมอยู่ในรูปสารละลายดีสเพิชั่น 50% ผลิตโดยบริษัท Lucky Four Co., Ltd

10. พอลิเอทิลีนไกลคอล (polyethylene glycol, PEG) น้ำหนักโมเลกุล 400 กรัมต่อโมล มีลักษณะเป็นของเหลวใส ทำหน้าที่เป็นสารปรับผิวฟิล์มยาง ผลิตโดยบริษัท P.C. DRUG CENTER Co., Ltd

11. พอลิเอทิลีนไกลคอล (polyethyl glycol, PEG) น้ำหนักโมเลกุล 4000 กรัมต่อโมล มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวขุ่น ทำหน้าที่เป็นสารปรับผิวฟิล์มยาง ผลิตโดยบริษัท HONAM PETROCHEMICAL Corporation

12. ซีโอไลต์ชนิด 4A มีลักษณะเป็นผงสีขาว ทำหน้าที่เป็นสารเติมแต่ง ผลิตโดยบริษัท PQ Corporation

13. เอทานอล (ethanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) มีลักษณะเป็นของเหลวใส น้ำหนักโมเลกุล 46.07 กรัมต่อโมล ใช้เป็นสารสำหรับทดสอบการดูดซับ ความบริสุทธิ์ 99.5% เกรดวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท Merck

14. กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, HCl) มีลักษณะเป็นของเหลวใส น้ำหนักโมเลกุล 36.5 กรัมต่อโมล ใช้เป็นส่วนผสมในการเตรียมสารละลายสำหรับการคลอรีเนชันโดยการผสมกับโซเดียมไฮเปอร์คลอไรด์ เพื่อลดความเหนียวของผิวท่อกลวง พร้อมทั้งใช้เป็นสารทำให้เมมเบรนเส้นใยกลวงแข็งตัว ความเข้มข้น 35% เกรดทางการค้า ผลิตโดยบริษัทอาซาฮีเคมีภัณฑ์ จำกัด แบ่งบรรจุโดย บริษัท เคมีธุรกิจ และบริษัท เอส.ที. เคมีธุรกิจ

15. โซเดียมไฮเปอร์คลอไรด์ (sodium hyperchloride, NaOCl) มีลักษณะเป็นของเหลวใสสีเหลืองแกมเขียว น้ำหนักโมเลกุล 74.44 กรัมต่อโมล ใช้เป็นส่วนผสมสำหรับการเตรียมสารละลายสำหรับการคลอรีเนชัน โดยผสมกับกรดไฮโดรคลอริกเพื่อลดความเหนียวของท่อกลวง ความเข้มข้น 10% เกรดทางการค้า ผลิตโดยบริษัทอาซาฮีเคมีภัณฑ์ จำกัด แบ่งบรรจุโดย บริษัท เคมีธุรกิจ และบริษัท เอส.ที. เคมีธุรกิจ

16. โซเดียมซัลไฟต์ (sodium sulfite, Na_2SO_3) มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวขุ่น น้ำหนักโมเลกุล 126.04 กรัมต่อโมล ใช้เป็นสารสำหรับปรับสภาพให้เป็นกลางหลังการคลอรีเนชันเตรียมในรูปสารละลายเข้มข้น 5% เกรดทางการค้า ผลิตโดยบริษัท ADITYA ABIRLA GROUP

17. อะซิโตน (acetone, CH_3COCH_3) มีลักษณะเป็นของเหลวใส น้ำหนักโมเลกุล 58.08 กรัมต่อโมล ใช้เป็นสารสำหรับทดสอบการจับตัวของน้ำยาง ความบริสุทธิ์ 99.5% เกรดวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท Lab scan

18. แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) มีลักษณะเป็นผงสีขาว น้ำหนักโมเลกุล 147.01 กรัมต่อโมล ใช้เป็นสารสำหรับทดสอบการจับตัวของน้ำยาง เตรียมอยู่ในรูปสารละลายเข้มข้น 50% ผลิตโดย บริษัท Ajax

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

1. กระจกใสใช้ในการเตรียมแผ่นฟิล์มยาง
2. มีดปาดฟิล์ม (casting knife)
3. เครื่องชั่งระบบดิจิทัลความละเอียด 2 ตำแหน่งและ 4 ตำแหน่ง ผลิตโดยบริษัท

Mettler Co., Ltd

4. ชุดกวนผสมสารเคมีกับน้ำยาง ผลิตโดยบริษัท MERIT TECH Co., Ltd
5. ใบพัดกวนน้ำยางผสมสารเคมี ชนิด 4 ใบพัด
6. เครื่องวัดความหนา (thickness) ความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร
7. เครื่องเตรียมเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง (membrane spinning machine) ซึ่งแสดง

ดังรูปที่ 3.4

8. ตู้อบความร้อน (hot air oven) ใช้สำหรับวัลคาร์ไนซ์ฟิล์มยาง ผลิตโดยบริษัท

MEMMERT Co., Ltd

9. ตู้อบสุญญากาศ (vacuum oven) ใช้สำหรับอบฟิล์มยางก่อนนำไปทดสอบการดูดซับ
10. เครื่องบ่มแรงยางแบบเกียร์ (gear aging oven) ใช้ในการบ่มแรงขึ้นทดสอบ ผลิต

โดยบริษัท Tabai Espec Corp

11. อ่างน้ำร้อน (water bath) ใช้สำหรับต้มฟิล์มยางเพื่อสกัดพอลิเอทิลีนไกลคอล ผลิต

โดยบริษัท MERIT TECH Co., Ltd

12. เครื่องทดสอบแรงดึง (universal testing machine) ยี่ห้อ LLOYD instrument รุ่น LR10K ใช้สำหรับทดสอบการทนต่อแรงดึง (tensile strength) และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ผลิตโดย บริษัท อินโทรเอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด

13. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) ผลิตโดยบริษัท Jeol รุ่น JSM-5200 LV

14. กล้องจุลทรรศน์ (Polarization Microscope) รุ่น JPL-1350A (HBC) พร้อม DCE-PW130 อุปกรณ์นำภาพจากกล้องออกคอมพิวเตอร์ ใช้หาเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและความหนาเมมเบรนเส้นใยกลวง

15. เครื่องอัลตราโซนิก รุ่น UC4604 ใช้สำหรับทำความสะอาดหัวสปินเนอร์และแผ่นฟิลเตอร์

16. เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer, (FT-IR) รุ่น EQUINOX 55 ทดสอบด้วยเทคนิค ATR โดยทดสอบในช่วงเลขคลื่น $400-4000\text{ cm}^{-1}$

17. เครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer รุ่น RVDV-II + ผลิตโดยบริษัท Viscometer Brookfield Engineering Inc. จัดจำหน่ายโดยบริษัท ไชแอนติฟิคโปรดักส์ จำกัด

18. เครื่องทดสอบการสลายตัวของพอลิเมอร์ (Thermogravimetric Analyzer, TGA) รุ่น TGA 7 ใช้สำหรับวิเคราะห์ความเสถียรทางความร้อน ผลิตโดยบริษัท PERKIN ELMER
19. เครื่องวัดการดูดกลืนรังสีเอกซ์ (X-ray absorption spectroscopy, XAS) beamline 8 ณ ห้องปฏิบัติการแสงสยาม ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3.1 การขึ้นรูปเมมเบรนเมมเบรนชนิดแผ่นจากน้ำยาง

การเตรียมเมมเบรนยางธรรมชาติประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. บ่มน้ำยางโดยการผสมน้ำยางกับสารเคมี ดังแสดงในตารางที่ 3.1 พร้อมกวนอย่างต่อเนื่องด้วยชุดกวนผสมสารเคมีกับน้ำยางเป็นเวลา 1 วัน
2. ขึ้นรูปเมมเบรนชนิดแผ่น โดยการเทน้ำยางผสมสารเคมีจากข้อ 1 บนแผ่นกระจก ปาดด้วยมีดปาดฟิล์ม (casting knife) แล้วตั้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องจนได้ฟิล์มใสก่อนที่จะอบให้เกิดการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 15 นาที
3. ล้างเมมเบรนยางโดยการแช่ในน้ำประมาณ 5 นาที จากนั้นอบให้แห้งก่อนที่จะนำฟิล์มยางไปทดสอบสมบัติต่อไป

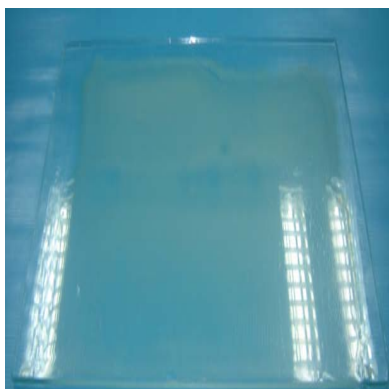
โดยสามารถสรุปขั้นตอนการเตรียมเมมเบรนยางธรรมชาติดังกล่าวประกอบที่แสดงในรูปที่ 3.1



(a) ชุดกวนน้ำยางผสมสารเคมี



(b) การปาดน้ำยางด้วย casting knife



(c) ฟิล์มยางที่ผ่านการระเหยน้ำจนแห้ง



(d) เมมเบรนชนิดแผ่นจากน้ำยาง

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมเมมเบรนชนิดแผ่นจากน้ำยางด้วยกระบวนการ casting

ตารางที่ 3.1 สูตรน้ำยางธรรมชาติผสมสารเคมี

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)	น้ำหนักเปียก (g)
60% HA-Latex	100	167
10% KOH	0.25	2.5
10% Potassium Oleate	0.20	2.0
50% Sulphur	1.0	2.0
50% ZBDC	1.0	2.0
50% Lowinox CPL	0.75	1.5
50% ZnO	0.5	1.0

3.3.1.1 เมมเบรนที่ได้จากน้ำยางคอมพอสิตด้วยซีโอไลต์ชนิด 4A

การเตรียมเมมเบรนจากน้ำยางธรรมชาติผสมซีโอไลต์ชนิด 4 A มีขั้นตอนและกระบวนการเตรียมเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1 เพียงแต่เติมซีโอไลต์ชนิด 4A ลงในสูตรน้ำยางธรรมชาติผสมสารเคมีซึ่งแสดงในตารางที่ 3.1 ในปริมาณ 1, 3, 5 และ 10 phr

3.3.1.2 เมมเบรนที่ได้จากน้ำยางผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติกับน้ำยาง

สังเคราะห์ชนิด SBR และ XSBR

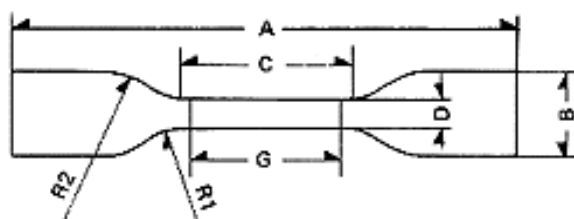
การเตรียมเมมเบรนจากน้ำยางธรรมชาติผสมน้ำยางสังเคราะห์ชนิด SBR และ XSBR มีขั้นตอนและกระบวนการเตรียมเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1 แต่ใช้น้ำยางธรรมชาติผสมกับน้ำยางสังเคราะห์ในอัตราส่วนการผสมเป็น 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 และ 100:0 แทนการใช้ น้ำยางธรรมชาติ และผสมสารเคมีที่แสดงในตารางที่ 3.1

3.3.2 การศึกษาสมบัติของเมมเบรนที่ได้จากน้ำยาง

3.3.2.1 การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึงก่อนและหลังการบ่มเร่ง

ตัดตัวอย่างชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบลล์ตามมาตรฐาน ASTM D412 ด้วยเครื่องตัดชิ้นทดสอบ die C ดังแสดงในรูปที่ 3.2 วัดความหนา 3 แห่ง ในช่วง G หาค่าเฉลี่ย แล้วนำไปทดสอบสมบัติการดึง โดยใช้ความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที บันทึกค่าความเค้น ณ จุดขาด (stress at break) หรือค่าความทนต่อแรงดึง (tensile strength) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% elongation at break)

การทดสอบการทนต่อแรงดึงหลังการบ่มเร่ง มีวิธีการเช่นเดียวกับก่อนการบ่มเร่ง เพียงแต่นำฟิล์มยางที่ตัดเป็นรูปดัมเบลล์ ไปทดสอบด้วยเครื่องบ่มเร่งยางแบบเกียร์ (gear-aging oven) ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นนำชิ้นงานออกจากเครื่องบ่มเร่งและนำไปทดสอบแรงดึง เปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าของเมมเบรนยางที่ไม่ได้ผ่านการบ่มเร่ง



รูปที่ 3.2 ชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ตามมาตรฐาน ASTM D412 แบบ Die C

การคำนวณ

$$\text{Tensile strength (MPa)} = \frac{F}{A}$$

เมื่อ F = แรงที่ใช้ยืดจนขาด (นิวตัน)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะไม่ยืด (ตารางเมตร)

$$\text{Elongation at break (\%)} = \left(\frac{L - L_0}{L_0} \right) \times 100$$

เมื่อ L = ระยะที่ชิ้นทดสอบสามารถยืดตัวได้จนขาด (มิลลิเมตร)

L_0 = ระยะที่กำหนดก่อนการทดสอบ (มิลลิเมตร)

3.3.2.2 การศึกษาการเชื่อมโยงพันธะในโมเลกุลยางด้วยเทคนิคการวัดการดูดกลืนรังสีเอกซ์

ดูดกลืนรังสีเอกซ์

เตรียมชิ้นงานขนาด 15 mm x 26 mm ตามสูตรต่างๆที่ต้องการศึกษาด้วยเทคนิคการวัดการดูดกลืนรังสีเอกซ์ (XAS) โดยที่ขนาดของตัวอย่างนั้น ควรจะเป็นฟิล์มบางที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.15-0.20 มิลลิเมตร โดยที่สภาวะในการทดลองนั้นจะอยู่ในช่วงพลังงานของ (X-ray Absorption Near Edge Structure, XANES) ของ S-K edge absorption โดยใช้ Transmission-mode ที่ช่วงพลังงาน 2450, 2465, 2485 และ 2520 eV Step 0.2, 0.1 และ 0.2 eV

3.3.2.3 การทดสอบการดูดซับน้ำและเอทานอล

นำตัวอย่างที่ต้องการทดสอบแช่ในน้ำกลั่นประมาณ 5 นาที แล้วอบให้แห้งด้วยตู้อบสูญญากาศจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งสารระบบดิจิทัลแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วนำไปแช่ในน้ำกลั่น บันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักที่เวลา 24 ชั่วโมง ก่อนชั่งน้ำหนักแต่ละครั้งต้องซับตัวอย่างด้วยกระดาษทิชชู เพื่อกำจัด สารละลายที่อยู่บริเวณผิวหน้าออก แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับดังสมการ 3.1

การทดลองการดูดซับเอทานอลทำเช่นเดียวกับการดูดซับน้ำแต่เปลี่ยนจากน้ำกลั่นเป็นเอทานอล

$$S = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ S = ค่าการดูดซับ (%)

Ws = น้ำหนักของตัวอย่างหลังแช่ในสารละลาย

Wd = น้ำหนักของตัวอย่างก่อนแช่ในสารละลาย

3.3.2.4 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา

นำเมมเบรนที่เตรียมได้ทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM เตรียมชิ้นตัวอย่างโดย ตัดเมมเบรนเป็นชิ้นเล็กๆ แช่ในไนโตรเจนเหลวจากนั้นหักให้เมมเบรนขาดจากกัน หลังจากนั้นติดบนแท่งทองเหลือง ฉาบด้วยไอทองคำ แล้วถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น JSM-5200 LV

3.3.3 การปรับผิวของฟิล์มยาง

3.3.3.1 กระบวนการคลอริเนชัน

ทดลองโดยนำฟิล์มยางที่ได้ไปแช่ในสารละลายคลอรีน ที่เตรียมจากสารผสมของโซเดียมไฮเพอร์คลอไรด์กับกรดไฮโดรคลอริก ตามด้วยการปรับสภาพของเมมเบรนให้เป็นกลางหรือเพื่อการกำจัดคลอรีนที่เหลือ โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ตามด้วยการแช่เมมเบรนในน้ำกลั่นก่อนนำไปอบแห้ง

3.3.2.2 การผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลลงในน้ำยางธรรมชาติ

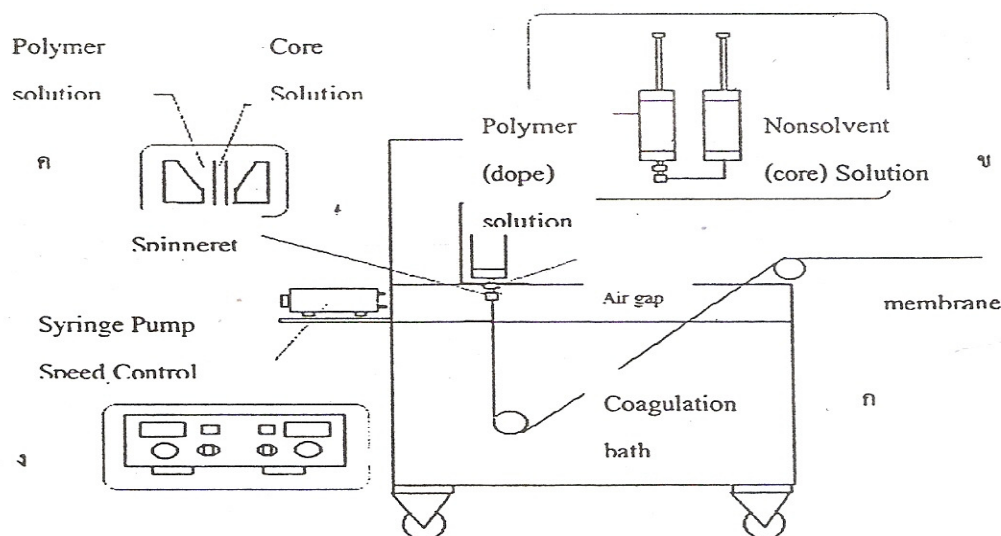
การปรับผิวฟิล์มยางด้วยการผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลลงในน้ำยางธรรมชาติ มีขั้นตอนและกระบวนการเตรียมเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.1 เพียงแต่ผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลน้ำหนักโมเลกุล 400 และ 4000 กรัมต่อโมล ลงในสูตรน้ำยางธรรมชาติผสมสารเคมีที่แสดงในตารางที่ 3.1 และหลังจากขั้นตอนการอบให้เกิดการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 15 นาทีนำเมมเบรนไปต้มในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 80°C ประมาณ 8 ชั่วโมง

3.3.4 การขึ้นรูปเมมเบรนชนิดเส้นใยกลางจากน้ำยางธรรมชาติ

3.3.4.1 การเตรียมเมมเบรนชนิดเส้นใยกลางจากน้ำยางธรรมชาติด้วยเครื่องผลิตเมมเบรนเส้นใยกลาง

เครื่องผลิตเมมเบรนเส้นใยกลาง (Membrane spinning machine) ประกอบด้วยแท่งคัสแตนเลส ดังรูป 3.3 โดยมีกระบอกลำสำหรับใส่สารละลายพอลิเมอร์ (dope) และกระบอกลำสำหรับใส่สารให้ผิวด้านในท่อกลางแข็งตัว (core) ดังรูปที่ 3.3(ข) ที่ฉีดลงตรงกลางของหัวฉีด (spinneret) ที่แสดงในรูป 3.3(ค) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.73 มิลลิเมตร ทำให้เกิดเป็นท่อกลาง เมื่อใส่สารละลายทั้งสองลงในกระบอกลำแล้ว ปิดฝาให้แน่นประกอบเข้ากับเครื่อง

โดยควบคุมแรงดันของสารละลายพอลิเมอร์ (dope) และสารที่ทำให้ผิวด้านในท่อกลางแข็งตัว (core) ด้วยปุ่มปรับค่าศักย์ไฟฟ้า (speed control) ที่แสดงในรูป 3.3(ง)



รูปที่ 3.3 ภาพจำลองเครื่องผลิตเมมเบรนทอกลวง (membrane spinning machine)
(สถานวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมมเบรน)

ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยกลวงจากน้ำยางธรรมชาติด้วยเครื่องผลิตเมมเบรนทอกลวง (membrane spinning machine) มีดังต่อไปนี้

1. นำน้ำยางธรรมชาติผสมสารเคมีที่แสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งผ่านการกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 วัน เทลงในกระบอกลบสำหรับใส่สารละลายพอลิเมอร์ (dope) ปิดด้วยฝาปิดที่เป็นชุดประกอบหัวฉีด แล้วนำไปประกอบเข้ากับเครื่องผลิตเมมเบรนทอกลวง
2. เติมสารผสมระหว่างสารละลายคลอรีน 5% และกรดไฮโดรคลอริก 10% ในอัตราส่วน 1:2 ลงในกระบอกลบสำหรับใส่สารที่ทำให้ผนังด้านในท่อแข็งตัว (core) ปิดด้วยฝาปิดที่เป็นชุดประกอบหัวฉีด แล้วนำไปประกอบเข้ากับเครื่องผลิตเมมเบรนทอกลวง
3. เติมสารผสมระหว่างสารละลายคลอรีน 5% และ กรดไฮโดรคลอริก 10% ในอัตราส่วน 1:2 ลงในอ่าง ที่ใช้เป็นสารที่ทำให้ผนังด้านนอกท่อแข็งตัว (coagulation bath)
4. ขึ้นรูปเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง โดยปรับศักย์ไฟฟ้าที่ dope และที่ core เป็น 4 โวลต์
5. แช่เมมเบรนเส้นใยกลวงในสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) เพื่อกำจัดคลอรีนส่วนที่เหลือ หรือเพื่อหยุดปฏิกิริยาการคลอรีนชันที่อาจเกิดต่อไป
6. ล้างเมมเบรนเส้นใยกลวงด้วยน้ำกลั่น แล้วนำมาตั้งให้แห้งก่อนที่จะนำไปอบให้เกิดการวัลคาร์ไนซ์ที่อุณหภูมิ $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 15 นาที

3.3.4.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียมเส้นใยกลาง

ในการทดลองได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียมเมมเบรนเส้นใยกลางดังต่อไปนี้

- สมบัติของน้ำยางธรรมชาติ ได้แก่ ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC) และความหนืด
- ชนิดของสารเคมีที่ทำให้เส้นใยจากน้ำยางเกิดการแข็งตัว ได้แก่ เอทานอล อะซิโตน สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ โซเดียมไฮโปคลอไรด์ กรดไฮโดรคลอริก สารละลายคลอรีน และสารละลายสำหรับการคลอรีนชั้นผสมกับกรดไฮโดรคลอริกในอัตราส่วนต่างๆ
- ค่าความดันในการอัดรีดน้ำยางผ่านสปินเนอร์



รูปที่ 3.4 เครื่องผลิตเมมเบรนท่อกกลาง (membrane spinning machine)
(สถานวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเมมเบรน)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาคือความเป็นไปได้ในการเตรียมเมมเบรนจากน้ำยางธรรมชาติ โดยการปรับปรุงสูตรน้ำยางธรรมชาติผสมสารเคมี ด้วยการผสมกับซีโอไลต์ชนิด 4A น้ำยางสังเคราะห์ สไตรีนบิวตาไดอีน (styrene butadiene, SBR) และน้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีน (carboxylated styrene butadiene, XSBR) แล้วขึ้นรูปเป็นเมมเบรนชนิดแผ่นด้วยกระบวนการ casting ศึกษาสมบัติของเมมเบรนในด้านการทนต่อแรงดึง (tensile properties) การเชื่อมโยงพันธะในโมเลกุลยาง (crosslinking) และศึกษาคุณลักษณะความเป็นเมมเบรนในด้านการดูดซับ (sorption) และลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology) พร้อมทั้งศึกษาการปรับผิวฟิล์มยาง ด้วยกระบวนการคลอรีเนชัน และการผสมสารละลายพอลิเอทิลีนไกลคอล (polyethylene glycol, PEG) ลงในสูตรน้ำยาง เพื่อลดสมบัติการเหนียวติดกันของฟิล์มยาง ก่อนที่จะขึ้นรูปน้ำยางธรรมชาติเป็นเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวงด้วยเครื่องผลิตเมมเบรนเส้นใยกลวง (membrane spinning machine)

4.1 ผลของซีโอไลต์ต่อสมบัติของเมมเบรน

การนำซีโอไลต์มาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุเมมเบรน เนื่องจากโมเลกุลมีช่องว่างที่สม่ำเสมอจึงสามารถแสดงคุณสมบัติคล้าย sieve บนโมเลกุล แต่การขึ้นรูปเป็นเมมเบรนค่อนข้างยาก ในงานวิจัยนี้จึงได้ผสมซีโอไลต์ลงในน้ำยางธรรมชาติ โดยน้ำยางธรรมชาติจะช่วยทำให้การขึ้นรูปเมมเบรนทำได้ง่ายและอนุภาคซีโอไลต์ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำยางธรรมชาติจะทำหน้าที่ในการแยกสาร ซึ่งผลของการผสมซีโอไลต์ลงในน้ำยางธรรมชาติต่อสมบัติของฟิล์มยางแสดงดังต่อไปนี้

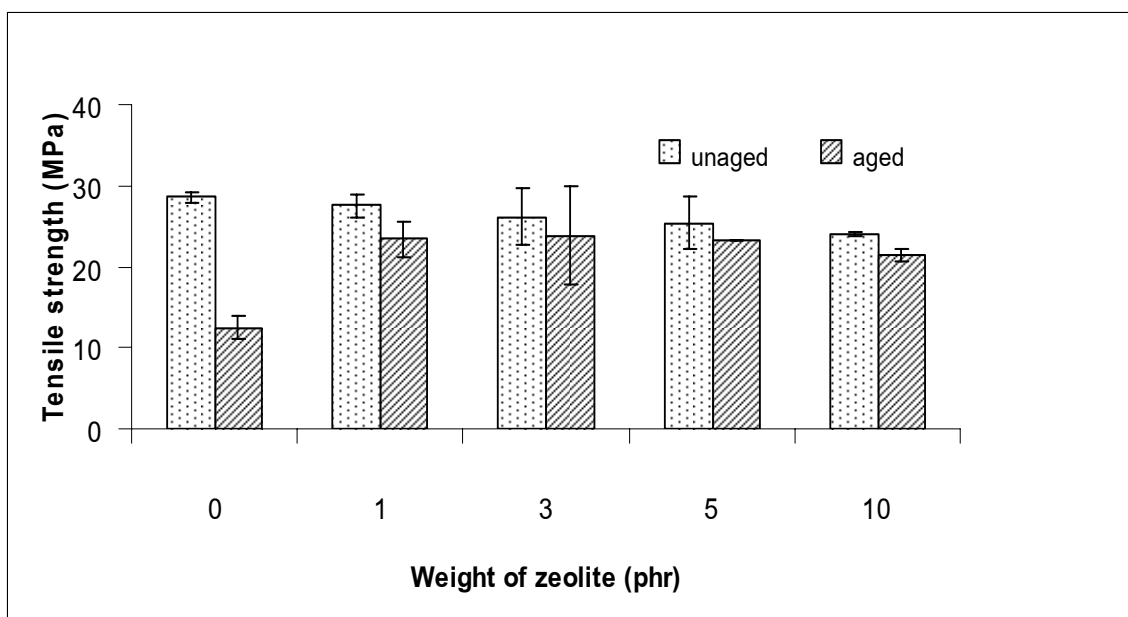
4.1.1 การทนต่อแรงดึงก่อนและหลังการบ่มแรง

การทนต่อแรงดึงของเมมเบรนยางธรรมชาติผสมซีโอไลต์ชนิด 4A ก่อนและหลังการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 7 วัน แสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่าการทนต่อแรงดึงก่อนการบ่มแรงของฟิล์มยางธรรมชาติผสมซีโอไลต์ปริมาณต่างๆ มีแนวโน้มใกล้เคียงกับฟิล์มยางธรรมชาติ อาจเนื่องมาจากการผสมซีโอไลต์ในวัสดุประเภทยางทำให้ได้เมมเบรนที่มีจุดบกพร่องน้อยซึ่งจะต่างกับวัสดุประเภทแก้วที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์และซีโอไลต์ไม่เพียงพอจึงเกิดจุดบกพร่องได้ง่าย (Boom *et al.*, 1998) และผลการทดลองของ Al-

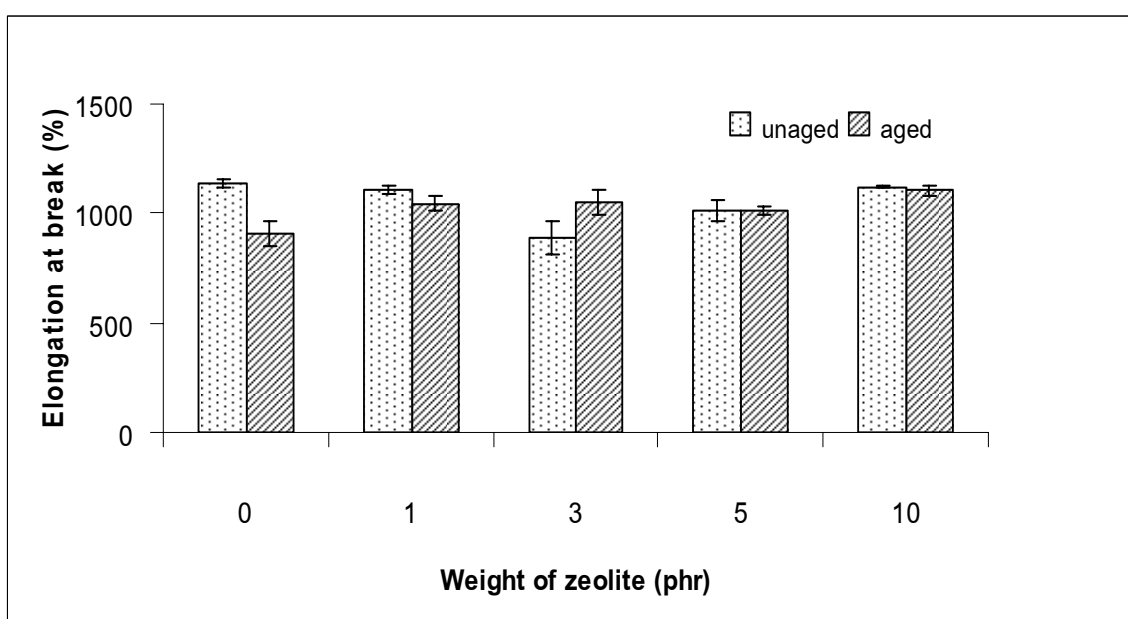
ghamdi and Mark, 1998 พบว่าการผสมซีโอไลต์ลงในพอลิไดเมทิลซิลอกเซน (PDMS) ทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเนื่องจากซีโอไลต์สามารถทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมเสริมแรง แต่สมบัติหลังการบ่มแรงของฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมซีโอไลต์จะไม่แตกต่างจากสมบัติก่อนการบ่มแรงมากนัก ไม่เหมือนกับฟิล์มยางธรรมชาติซึ่งจะลดลงมาก อาจเป็นผลจากซีโอไลต์ที่ภายในช่องว่างมีโมเลกุลของน้ำ เมื่อได้รับความร้อนทำให้น้ำระเหยออกโดยโครงสร้างของซีโอไลต์ไม่เปลี่ยนแปลง (สุณี, 2536) ดังนั้นซีโอไลต์ที่ผสมในฟิล์มยางจึงช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ส่วนระยะยืด ณ จุดขาด ที่แสดงในรูปที่ 4.2 พบว่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกันทั้งก่อนและหลังการบ่มแรง และการศึกษาผลของการผสมซีโอไลต์ลงในน้ำยางธรรมชาติต่อเสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermo Gravimetric Analysis (TGA) โดยทำการวิเคราะห์ตั้งแต่อุณหภูมิ 100 °C จนถึง 800 °C ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อน 10 °C /min ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.3 พบว่าการผสมซีโอไลต์มีผลทำให้น้ำยางธรรมชาติเกิดการสลายตัวในช่วงอุณหภูมิที่สูงขึ้น

ตารางที่ 4.1 สมบัติการทนแรงตึง และ ระยะยืด ณ จุดขาด ของฟิล์มยางธรรมชาติผสมซีโอไลต์ ปริมาณต่างๆ

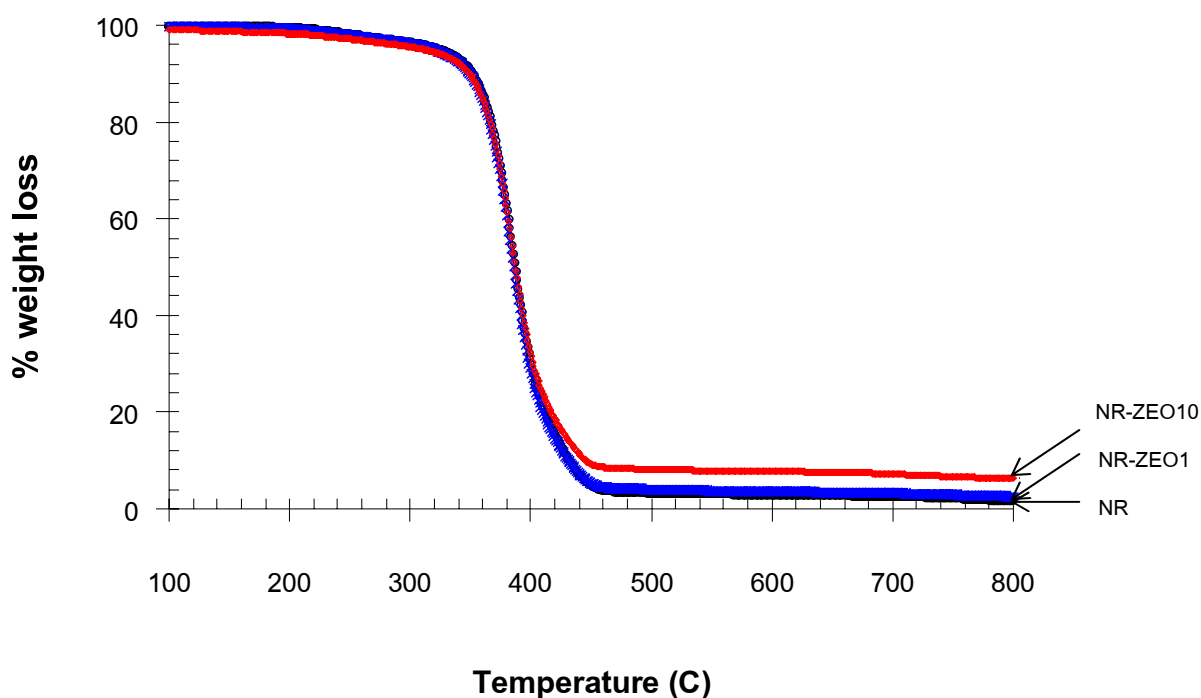
	การทนแรงดึง (MPa)		ระยะยืด ณ จุดขาด (%)	
	ก่อนบ่มแรง	หลังบ่มแรง	ก่อนบ่มแรง	หลังบ่มแรง
NR	28.6±0.63	15.08±1.43	1134.60±17.16	940.10±58.16
NRZEO-1	27.5±1.35	23.39±2.16	1110.60±21.51	1044.67±30.66
NRZEO-3	26.2±3.51	23.86±5.97	889.08±80.56	1052.13±54.57
NRZEO-5	25.4±3.26	23.18±0.04	1013.40±44.14	1013.67±20.50
NRZEO-10	24.0±0.34	21.32±0.76	1122.00±3.46	1104.67±25.65



รูปที่ 4.1 ผลของปริมาณซีโอไลต์ต่อการทนต่อแรงดึงของฟิล์มยาง



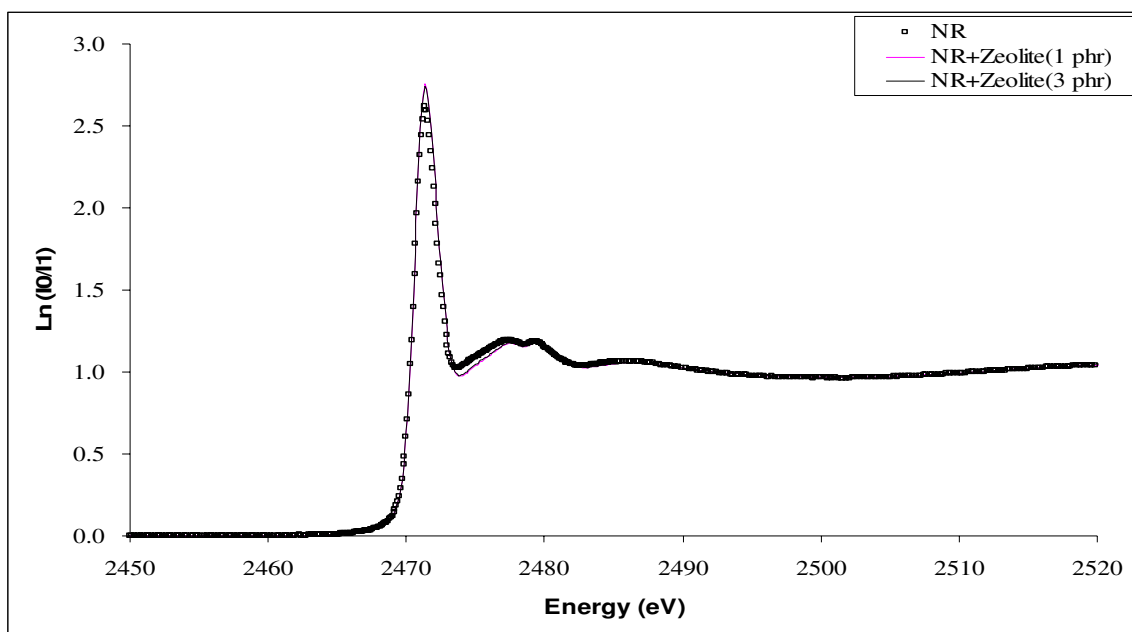
รูปที่ 4.2 ผลของปริมาณซีโอไลต์ต่อระยะยืด ณ จุดขาดของฟิล์มยาง



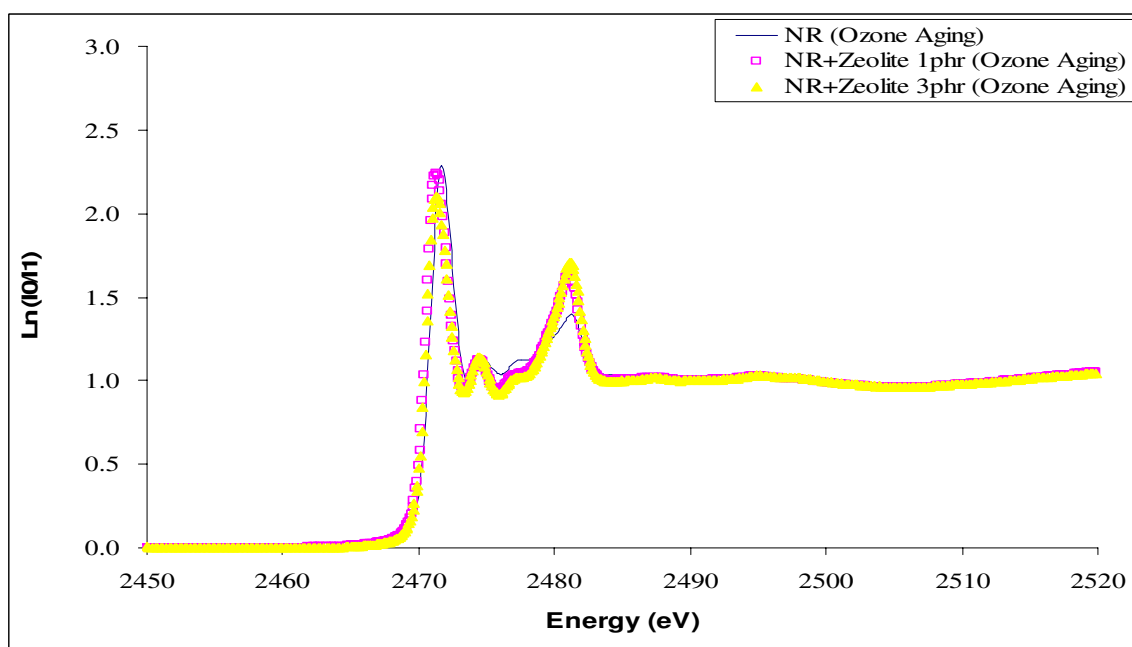
รูปที่ 4.3 การสลายตัวทางความร้อนของฟิล์มยางธรรมชาติและฟิล์มยางธรรมชาติผสมซีโอไลต์ปริมาณ 5 และ 10 phr

4.1.2 การศึกษาพันธะการเชื่อมโยงด้วยการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์

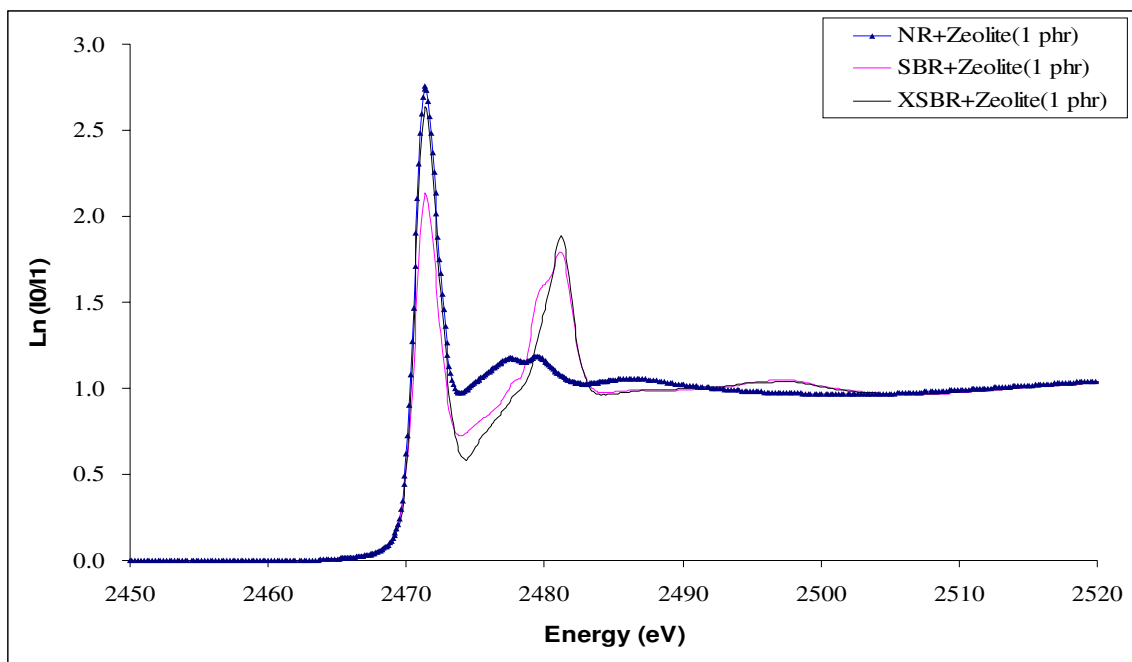
จากการศึกษาผลของการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่างนั้น พบว่าฟิล์มยางที่ไม่ผสมและผสมซีโอไลต์ในปริมาณต่างๆ จะให้ผลการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ที่มีลักษณะคล้ายกัน ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.4 ฟิล์มยางธรรมชาติที่ผ่านการบ่มแรงด้วยโอโซนจะให้ผลการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ที่แตกต่างกับฟิล์มยางธรรมชาติผสมซีโอไลต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ฟิล์มยางธรรมชาติจะเกิดการเสื่อมสภาพหลังจากการบ่มแรงด้วยโอโซน ทำให้พันธะก้ำะถันที่เชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยางเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยสเปกตรัมของฟิล์มยางที่ผ่านการบ่มแรงด้วยโอโซนจะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับสเปกตรัมของฟิล์มยางสังเคราะห์ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งมีจำนวนพันธะคู่ต่ำกว่ายางธรรมชาติ มีกลไกการเชื่อมโยงพันธะที่ไม่ซับซ้อน ดังนั้นการเพิ่มสารตัวเติมซีโอไลต์ในสูตรน้ำยางธรรมชาติ จะทำให้ได้ฟิล์มยางที่ทนต่อการใช้งานที่สภาวะอุณหภูมิสูง



รูปที่ 4.4 การดูดกลืนพลังงานของฟิล์มยางธรรมชาติและฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมซีโอไลต์
ที่ปริมาณต่างๆ



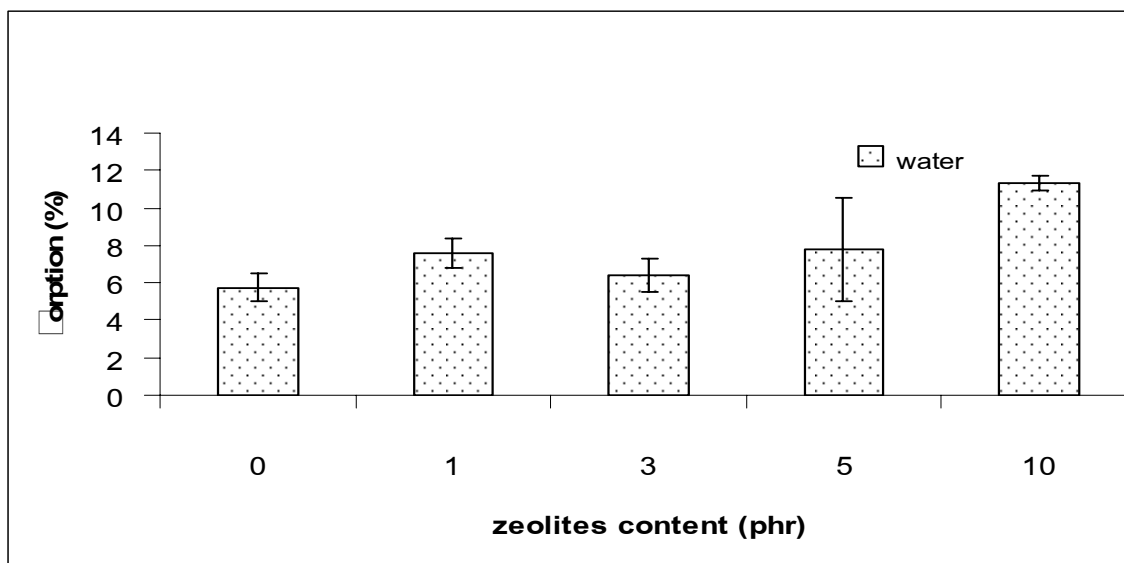
รูปที่ 4.5 การดูดกลืนพลังงานของฟิล์มยางธรรมชาติและฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมซีโอไลต์ที่
ปริมาณต่างๆ หลังผ่านการบ่มเร่งด้วยโอโซน



รูปที่ 4.6 การดูดกลืนพลังงานของฟิล์มยางธรรมชาติและฟิล์มยางสังเคราะห์ที่ผสมซีโอไลต์

4.1.3 การทดสอบการดูดซับน้ำและเอทานอล

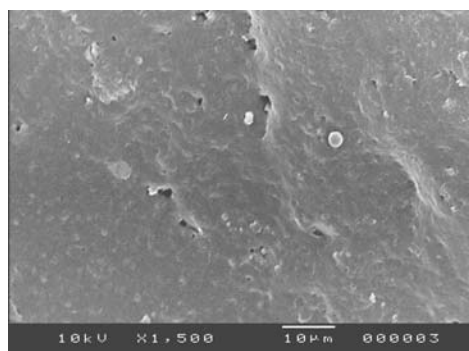
เนื่องจากคุณสมบัติการชอบน้ำและการยอมให้เฉพาะโมเลกุลของน้ำเท่านั้นที่สามารถผ่านรูพรุนของผลึกซีโอไลต์ชนิด NaA จึงได้มีการศึกษาการใช้ซีโอไลต์ชนิด NaA อย่างกว้างขวางในกระบวนการเพอแวปพอเรชัน เพื่อขจัดน้ำออกจากแอลกอฮอล์หรือสารอื่นๆซึ่งในการทดลองนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการแยกน้ำออกจากเอทานอลจาก ฟิล์มยางธรรมชาติผสมซีโอไลต์ ด้วยการทดสอบการดูดซับ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่าการผสมซีโอไลต์ลงในฟิล์มยางในปริมาณ 1, 3 และ 5 phr แทบจะไม่มีผลต่อสมบัติการดูดซับน้ำของฟิล์มยางเนื่องจากการดูดซับน้ำใกล้เคียงกับฟิล์มยางธรรมชาติที่ไม่ผสมซีโอไลต์ แต่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 10 phr ซึ่งอาจเป็นผลจากซีโอไลต์ซึ่งมีสมบัติชอบน้ำแยกชั้นออกมาทำให้มีโอกาสน้ำสัมผัสกับน้ำมากขึ้นจึงเกิดการดูดซับได้มากขึ้น แต่เมื่อทดสอบการดูดซับเอทานอลพบว่าเมมเบรนยางธรรมชาติผสมซีโอไลต์ไม่สามารถดูดซับเอทานอลได้เลยเช่นเดียวกับฟิล์มยางธรรมชาติ อาจเป็นเพราะฟิล์มยางธรรมชาติมีลักษณะเนื้อแน่นทึบและขนาดรูพรุนของซีโอไลต์เล็กกว่าโมเลกุลของเอทานอล จึงทำให้เอทานอลไม่สามารถดูดซับเข้าไปในฟิล์มยางได้เลย



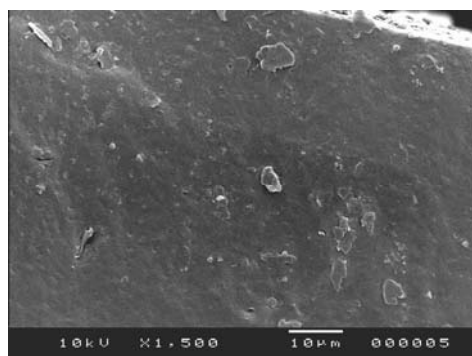
รูปที่ 4.7 ผลของปริมาณซีโอไลต์ต่อค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มยาง

4.1.4 การศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยา

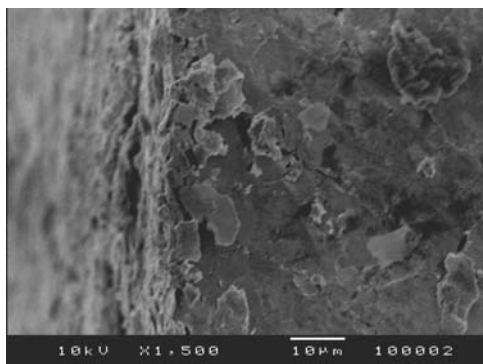
เมื่อพิจารณาภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของฟิล์มยางธรรมชาติผสมซีโอไลต์ในรูปที่ 4.8 พบว่าภาคตัดขวางมีลักษณะแน่น ซีโอไลต์สามารถกระจายตัวได้ดีในยางธรรมชาติเมื่อผสมในปริมาณ 1 และ 3 phr แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 5 phr พบว่าซีโอไลต์เริ่มแยกชั้นและแยกอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 10 phr แต่ในการทดลองของ ชีรวัช และคณะ, 2009 พบว่าซีโอไลต์สามารถกระจายตัวได้อย่างดีถึง 10 phr เมื่อผสมในพอลิอะคริลิกแอซิดกับยางธรรมชาติ และผลของการทดสอบสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Friction Coefficient) ด้วยเครื่อง Rubber friction testing ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อผสมซีโอไลต์ลงในฟิล์มยางในปริมาณมากขึ้น เนื่องจากเมื่อปริมาณซีโอไลต์เพิ่มขึ้นจะเกิดการแยกชั้นมาที่ผิวจึงส่งผลให้สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานลดลง



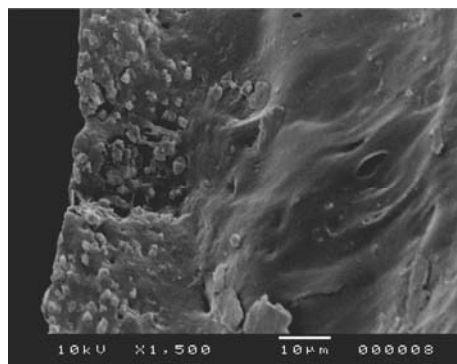
(a) NR-ZEO1



(b) NR-ZEO3

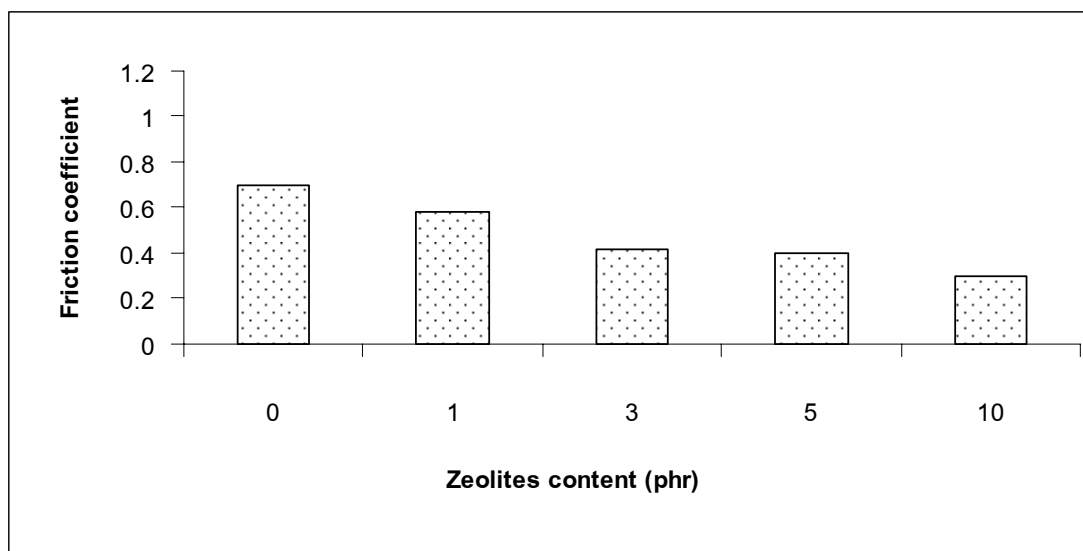


(c) NR-ZEO5



(d) NR-ZEO10

รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายภาค SEM ของฟิล์มยางธรรมชาติผสมซีโอไลต์ในปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของน้ำยางธรรมชาติผสมซีโอไลต์ปริมาณต่างๆ

4.2 เมมเบรนที่ได้จากน้ำยางผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติกับน้ำยางสังเคราะห์ชนิด

BR และ XBR

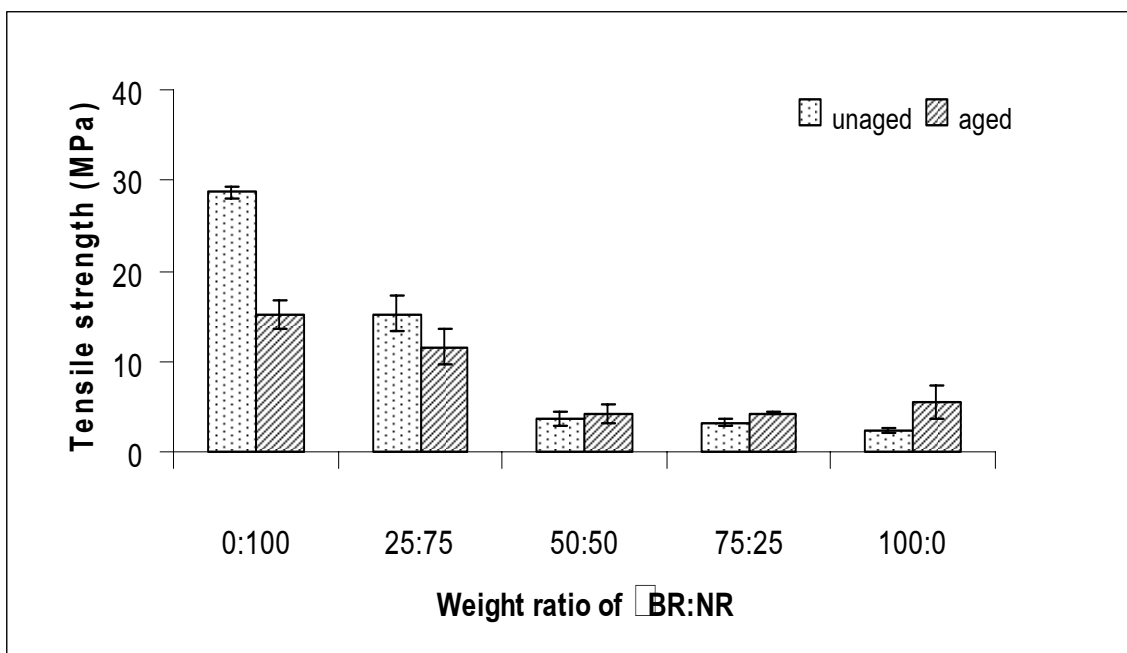
4.2.1 การทนต่อแรงดึงก่อนและหลังการบ่มเร่ง

การทนต่อแรงดึงของฟิล์มยางธรรมชาติผสมน้ำยางสังเคราะห์ชนิด SBR และ XBR แสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.10-4.11 พบว่าฟิล์มยางธรรมชาติมีความทนต่อแรงดึงสูงสุดเนื่องจากยางธรรมชาติสามารถเกิดผลึกเมื่อได้รับแรงดึง ทำให้โมเลกุลของยางมีความแข็งแรงมากขึ้น (พงษ์ธร, 2548) ในขณะที่ฟิล์มยาง SBR และ XBR มีการทนต่อแรงดึงต่ำสุด

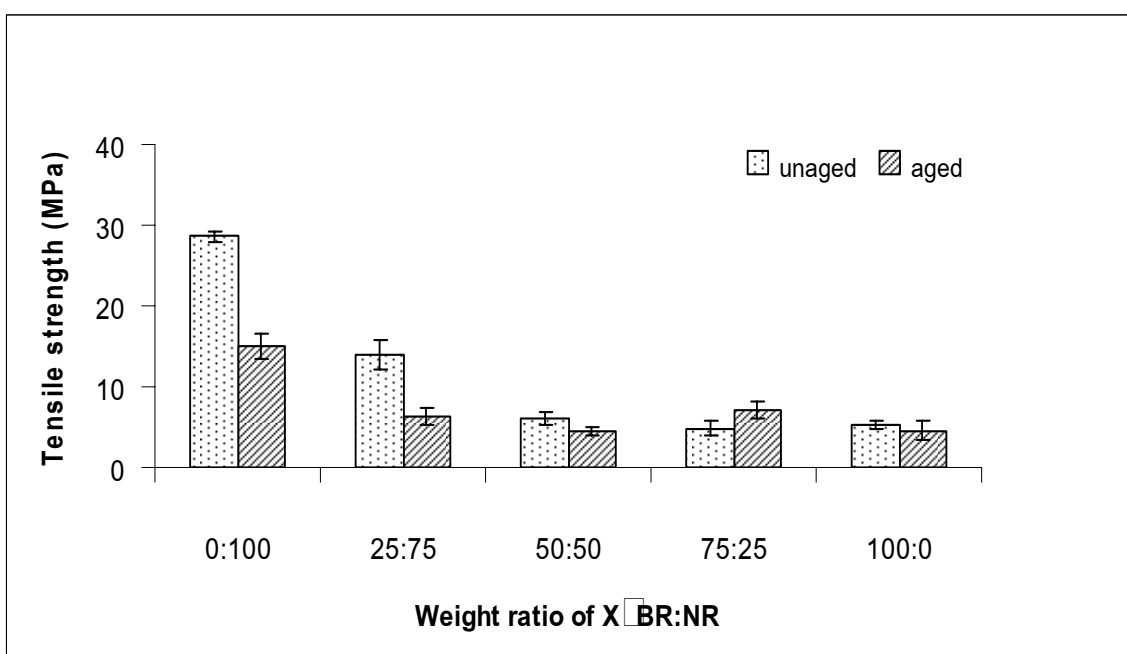
เนื่องจากยางไม่สามารถเกิดการตกผลึกเมื่อถูกยืด (พงษ์ธร, 2548) ทำให้เมื่อผสมน้ำยาง SBR หรือน้ำยาง X S B R ลงในน้ำยางธรรมชาติส่งผลให้การทนต่อแรงดึงของฟิล์มยางผสมลดลง และผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงภายหลังการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 7 วัน พบว่าฟิล์มยางธรรมชาติมีค่าความทนต่อแรงดึงลดลงอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากยางธรรมชาติมีพันธะคู่ที่ไม่เสถียรต่อความร้อน จึงทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ทำให้การทนต่อแรงดึงลดลง แต่การผสมน้ำยาง SBR 50 ส่วนขึ้นไปส่งผลให้การทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากยาง SBR มีอัตราเร็วในการคงรูปช้ากว่ายางธรรมชาติ (พงษ์ธร, 2548) ดังนั้นการบ่มแรงจึงเสมือนเป็นการคงรูปยาง SBR ให้เกิดการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นทำให้การทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นภายหลังการบ่มแรง ส่วนในฟิล์มยางผสม XSBR พบว่าลดลงเพียงเล็กน้อยภายหลังจากการบ่มแรง เนื่องจาก XSBR มีพลังงานเชื่อมแน่น (cohesive energy density) สูง จึงมีความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพได้มากกว่า (Stephen *et al.*, 2006) ส่วนระยะยืด ณ จุดขาดของฟิล์มยางผสม SBR และ XSBR ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.12-4.13 มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณน้ำยางธรรมชาติในส่วนผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งจะใกล้เคียงกันทั้งก่อนและหลังการบ่มแรง

ตารางที่ 4.2 สมบัติการทนต่อแรงดึง และระยะยืด ณ จุดขาด ของฟิล์มยางธรรมชาติ (NR) ผสมน้ำยางสไตรีนบิวตาไดอีน (SBR) และน้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีน (XSBR) ในอัตราส่วนต่างๆ

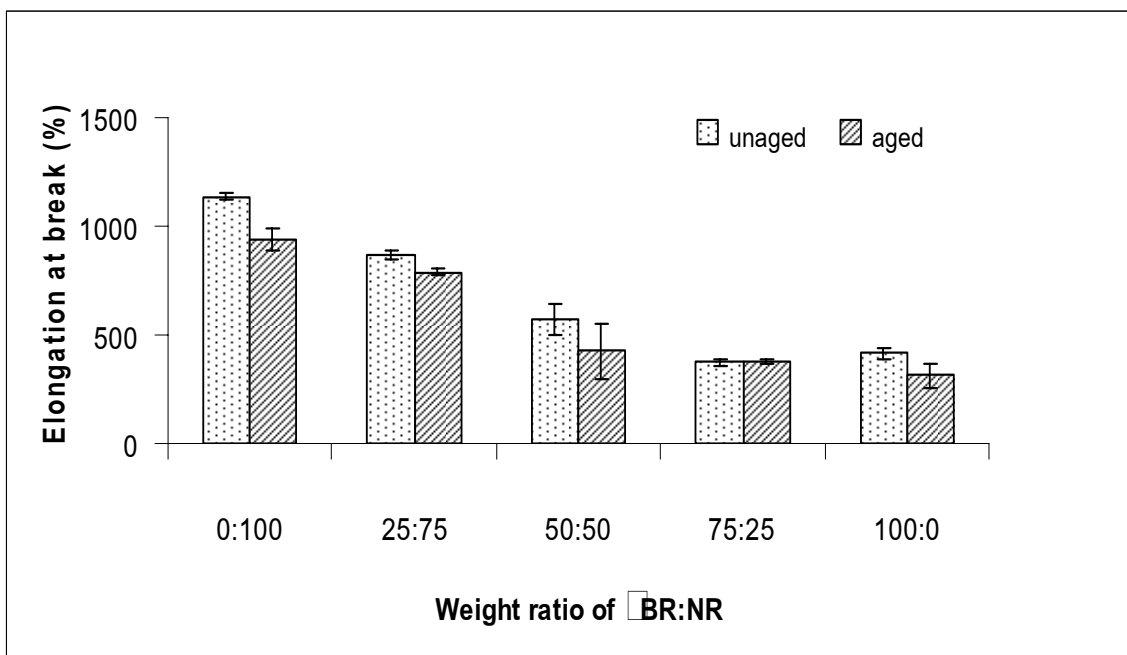
	ค่าการทนแรงดึง (MPa)		ระยะยืด ณ จุดขาด (%)	
	ก่อนบ่มแรง	หลังบ่มแรง	ก่อนบ่มแรง	หลังบ่มแรง
NR	28.63±0.63	15.08±1.55	1134.60±17.16	940.10±53.56
SBR	2.26±0.23	5.51±1.78	414.16±26.97	312.47±56.20
SBR-25	15.22±2.01	11.60±2.02	867.84±23.07	789.40±16.25
SBR-50	3.59±0.27	4.26±1.05	569.26±70.67	427.20±127.63
SBR-75	3.26±0.27	4.27±0.21	373.47±16.93	377.40±6.77
XSBR	5.34±0.57	4.56±1.15	422.16±17.15	333.50±58.17
XSBR-25	14.06±1.85	6.37±1.03	905.36±53.91	883.16±39.13
XSBR-50	6.06±0.68	4.53±0.60	622.58±25.71	505.50±47.66
XSBR-75	4.86±0.98	7.12±1.14	528.50±15.31	436.16±44.44



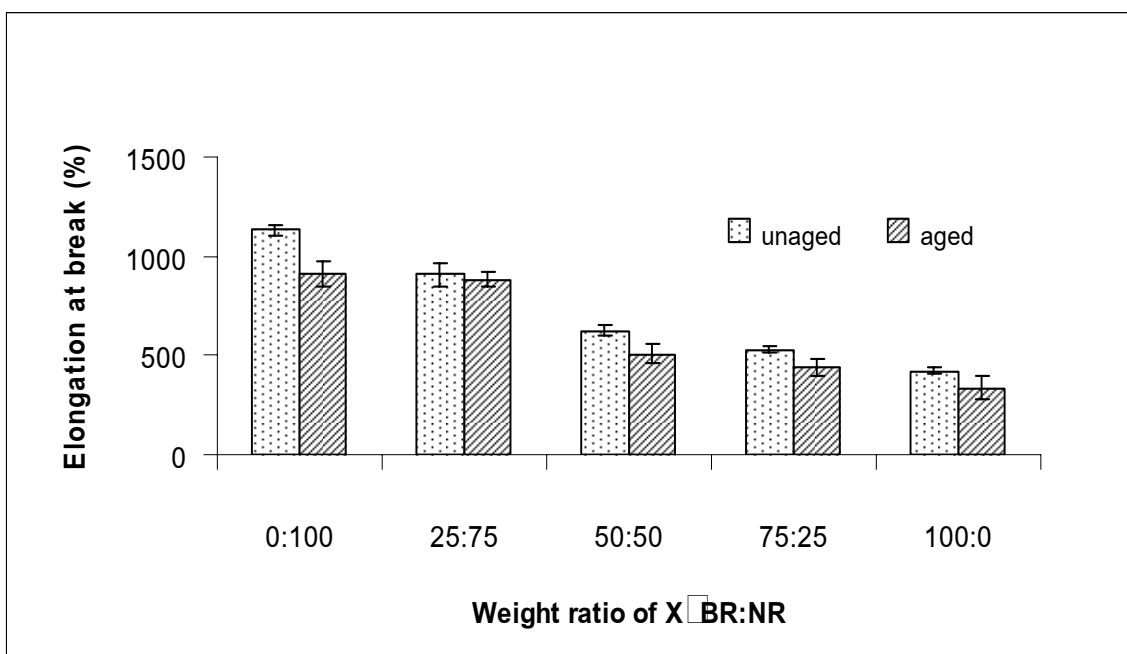
รูปที่ 4.10 ผลของอัตราส่วนของน้ำยางสไตรีนบิวตาไดอิน (SBR) กับน้ำยางธรรมชาติ (NR) ต่อการทนต่อแรงดึงของฟิล์มยาง



รูปที่ 4.11 ผลของอัตราส่วนของน้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอิน (XSBR) กับน้ำยางธรรมชาติ (NR) ต่อการทนต่อแรงดึงของฟิล์มยาง



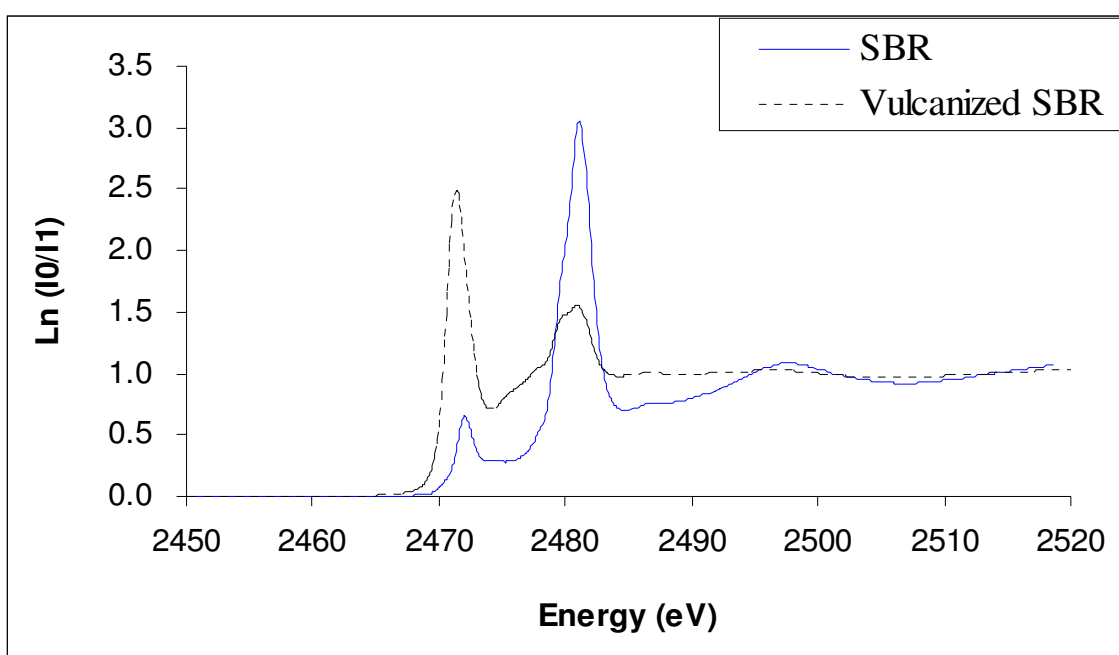
รูปที่ 4.12 ผลของอัตราส่วนของน้ำยางสไตรีนบิวตาไดอิน (SBR) กับน้ำยางธรรมชาติ (NR) ต่อระยะยืด ณ จุดขาดของฟิล์มยาง



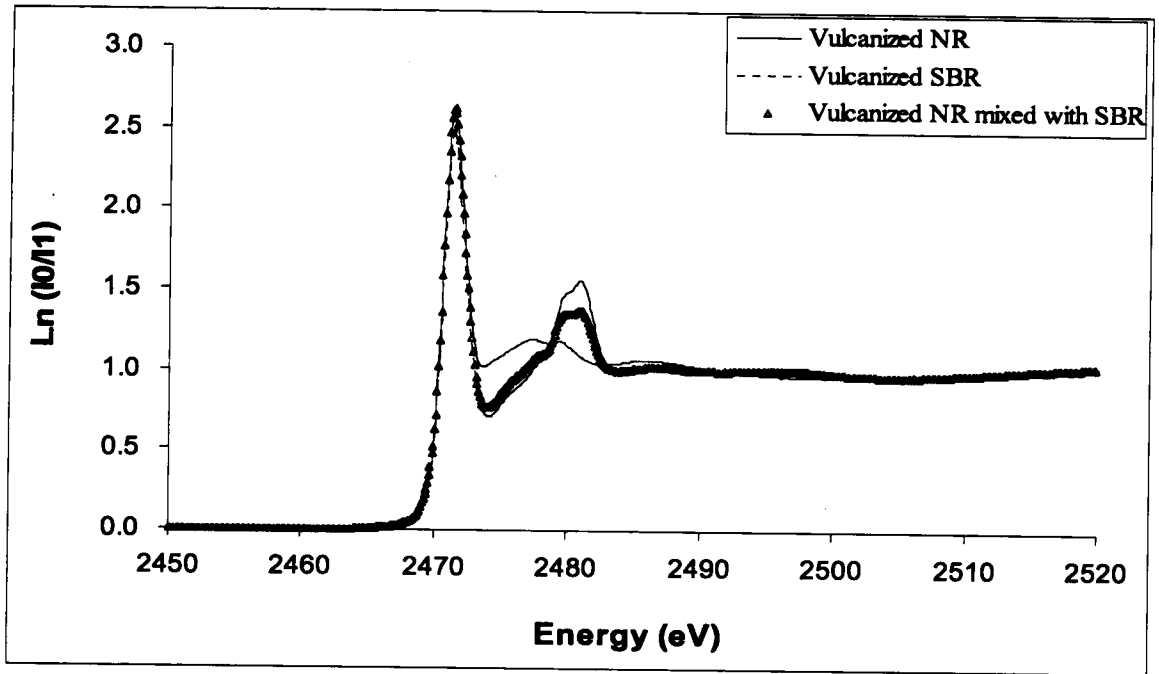
รูปที่ 4.13 ผลของอัตราส่วนของน้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอิน (XSBR) กับน้ำยางธรรมชาติ (NR) ต่อระยะยืด ณ จุดขาดของฟิล์มยาง

4.2.2 การศึกษาพันธะการเชื่อมโยงด้วยการวัดการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์

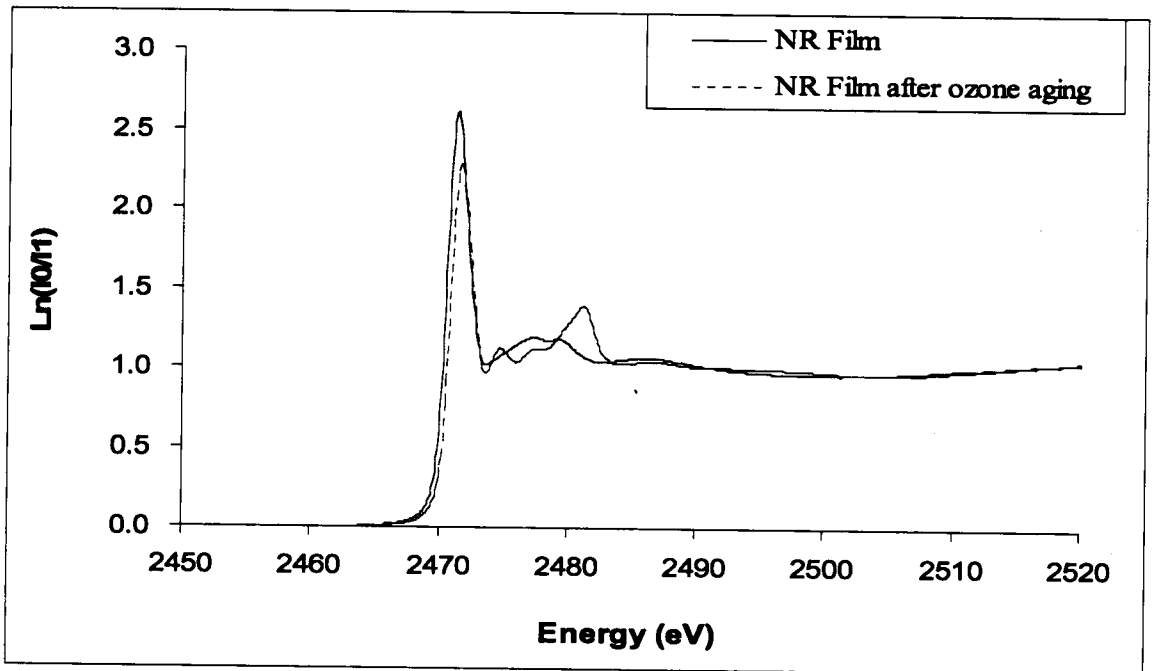
ฟิล์มยางสังเคราะห์ก่อนและหลังผ่านกระบวนการเชื่อมโยงโมเลกุลด้วยพันธะกำมะถัน จะให้ผลการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ที่มีลักษณะแตกต่างกัน โดยกำมะถันจะเกิดปฏิกิริยาหลังได้รับความร้อนทำให้ oxidation state ของกำมะถันเกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้อยู่ในสภาวะที่ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ขณะที่ฟิล์มยางที่ได้จากการผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์จะให้ผลการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ที่แตกต่างไปจากยางธรรมชาติ โดยสเปกตรัมที่ได้จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับสเปกตรัมของยางสังเคราะห์ เพียงแต่ปริมาณของกำมะถันที่มี oxidation state สูงจะลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของยางธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ฟิล์มยางสังเคราะห์หลังผ่านการบ่มแรงด้วยโอโซนจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.16 อย่างที่พบในฟิล์มยางธรรมชาติ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.17 ซึ่งผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการทำงานของยางธรรมชาติที่มียางสังเคราะห์เป็นองค์ประกอบจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน และให้ฟิล์มยางที่ทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน



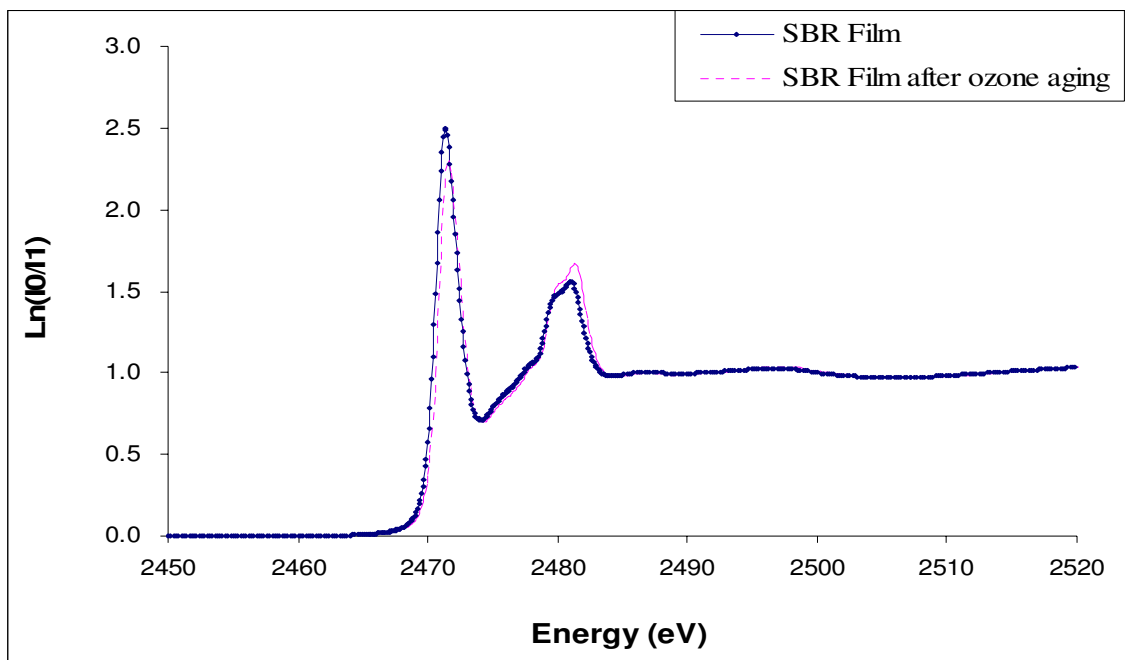
รูปที่ 4.14 การดูดกลืนพลังงานของฟิล์มยางสังเคราะห์ SBR ก่อนและหลังผ่านกระบวนการเชื่อมโยงโมเลกุลด้วยพันธะกำมะถัน



รูปที่ 4.15 การดูดกลืนพลังงานของฟิล์มยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับฟิล์มยางสังเคราะห์ SBR และฟิล์มยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์ SBR ที่อัตราส่วนการผสม 25:75



รูปที่ 4.16 การดูดกลืนพลังงานของฟิล์มยางธรรมชาติก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วย Ozone



รูปที่ 4.17 การดูดกลืนพลังงานของฟิล์มยาง SBR ก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วย Ozone

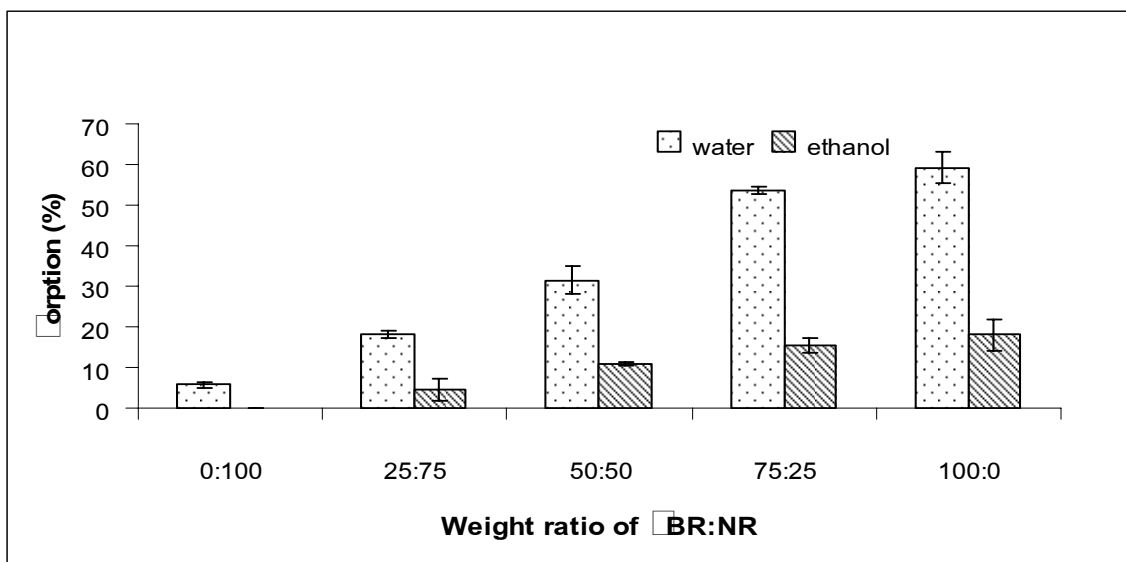
4.2.3 การทดสอบการดูดซับน้ำและเอทานอล

ผลการทดลองการดูดซับน้ำและเอทานอลของฟิล์มยางธรรมชาติผสมน้ำยาง SBR ในอัตราส่วนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.18 พบว่าทั้งการดูดซับน้ำและเอทานอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำยาง SBR ในส่วนผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งผลนี้จะตรงข้ามกับการทนต่อแรงดึง ซึ่งฟิล์มยางที่สามารถดูดซับได้มากจะมีค่าการทนต่อแรงดึงต่ำ

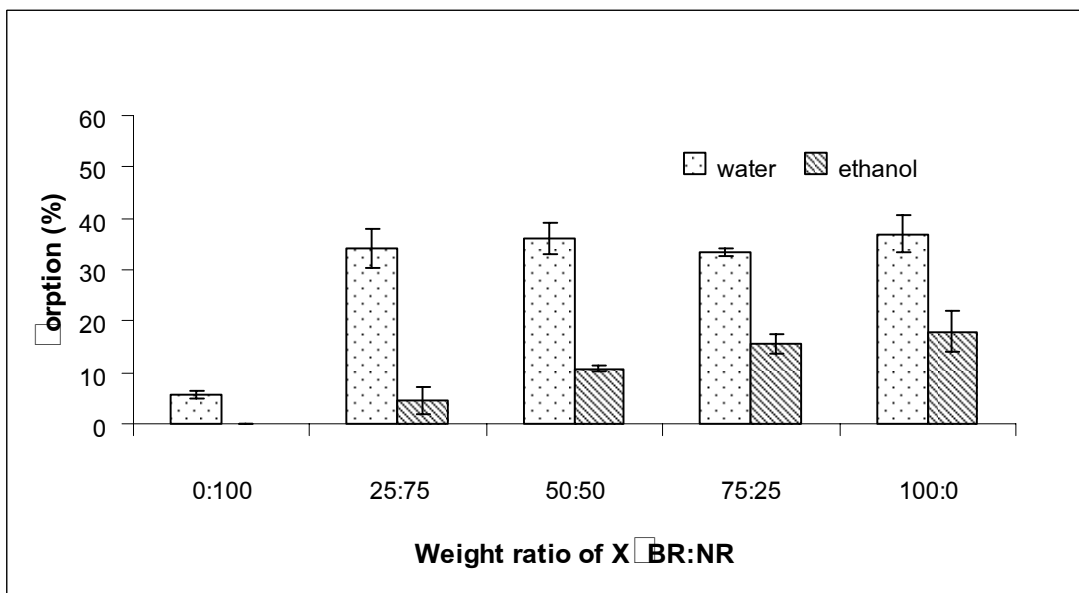
ผลการทดลองการดูดซับน้ำและเอทานอลของฟิล์มยางธรรมชาติผสมยาง XSBR ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.19 พบว่าการผสมน้ำยาง XSBR ลงในน้ำยางธรรมชาติ ทำให้การดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณของน้ำยาง XSBR ที่ผสมลงไปไม่มีผลต่อการดูดซับน้ำโดยค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วนผสม ส่วนการดูดซับเอทานอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อปริมาณน้ำยาง XSBR ในส่วนผสมเพิ่มขึ้น อาจเป็นผลจากหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) ที่อยู่ปลายสายโซ่ของน้ำยาง XSBR แสดงความเป็นขั้วทำให้ฟิล์มยางผสมมีขั้วเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จึงทำให้เกิดการดูดซับเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมน้ำยาง SBR และน้ำยาง XSBR ในอัตราส่วนผสมเดียวกันพบว่า ที่อัตราส่วนผสมของน้ำยาง XSBR : น้ำยางธรรมชาติ เป็น 25:75 และ 50:50 ฟิล์มยางผสม XSBR สามารถการดูดซับน้ำสูงกว่าฟิล์มยางผสม SBR แต่ที่อัตรา

ส่วนผสม 75:25 และ 100:0 พบว่าฟิล์มยางผสม SBR สามารถเกิดการดูดซับน้ำสูงกว่าฟิล์มยางผสม XSBR ส่วนการดูดซับเอทานอลพบว่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.18 ผลของอัตราส่วนของน้ำยางสไตรีนบิวตาไดอีน (SBR) กับน้ำยางธรรมชาติ (NR) ต่อค่าการดูดซับน้ำและเอทานอลของฟิล์มยาง

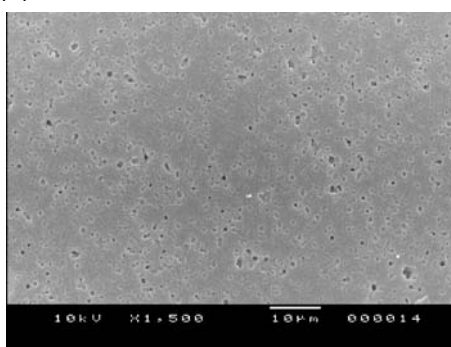


รูปที่ 4.19 ผลของอัตราส่วนของน้ำยางคาร์บอกซิเลตสไตรีนบิวตาไดอีน (XSBR) กับน้ำยางธรรมชาติ (NR) ต่อค่าการดูดซับน้ำและเอทานอลของฟิล์มยาง

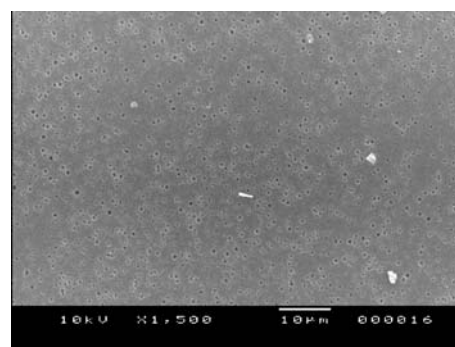
4.2.4 การศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยา

เมื่อพิจารณาภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของฟิล์มยางธรรมชาติผสมน้ำยาง XSBR ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ซึ่งสกัดเฟสยางธรรมชาติด้วยการแช่ในปิโตรเลียมอีเธอร์ 72 ชั่วโมง (George *et al.*, 2001) ดังนั้นส่วนที่เป็นช่องว่างในภาพถ่ายคือเฟสของยางธรรมชาติ โดยเมื่อผสมน้ำยาง XSBR ลงในน้ำยางผสมในปริมาณมากขึ้นสังเกตเห็นส่วนของช่องว่างหรือเฟสของยางธรรมชาติน้อยลง เมื่อพิจารณาในส่วนของผิวด้านบนที่สัมผัสกับอากาศกับผิวด้านล่างที่สัมผัสกับกระจก พบว่ายางธรรมชาติปรากฏที่บริเวณผิวด้านบนมากกว่าด้านล่าง

(a) XSBR-25

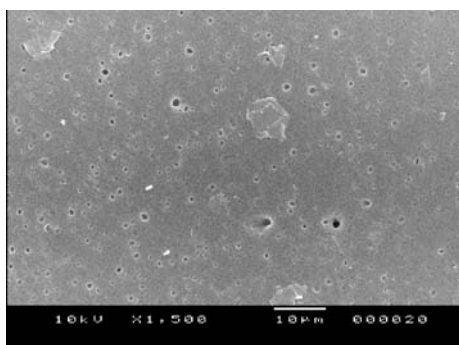


ผิวด้านบนที่สัมผัสกับอากาศ

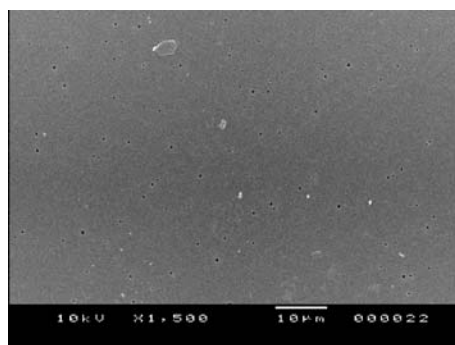


ผิวด้านล่างที่สัมผัสกับกระจก

(b) XSBR-50

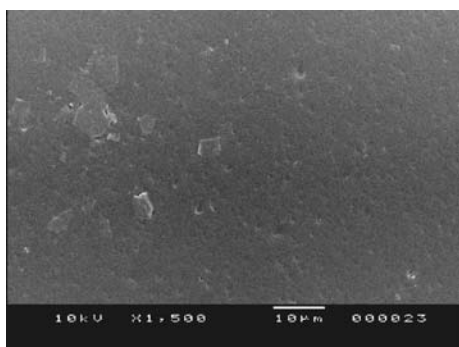


ผิวด้านบนที่สัมผัสกับอากาศ

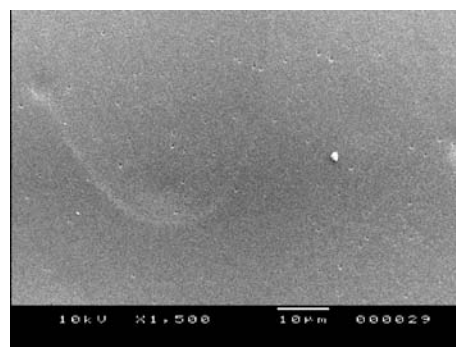


ผิวด้านล่างที่สัมผัสกับกระจก

(b) XSBR-75



ผิวด้านบนที่สัมผัสกับอากาศ



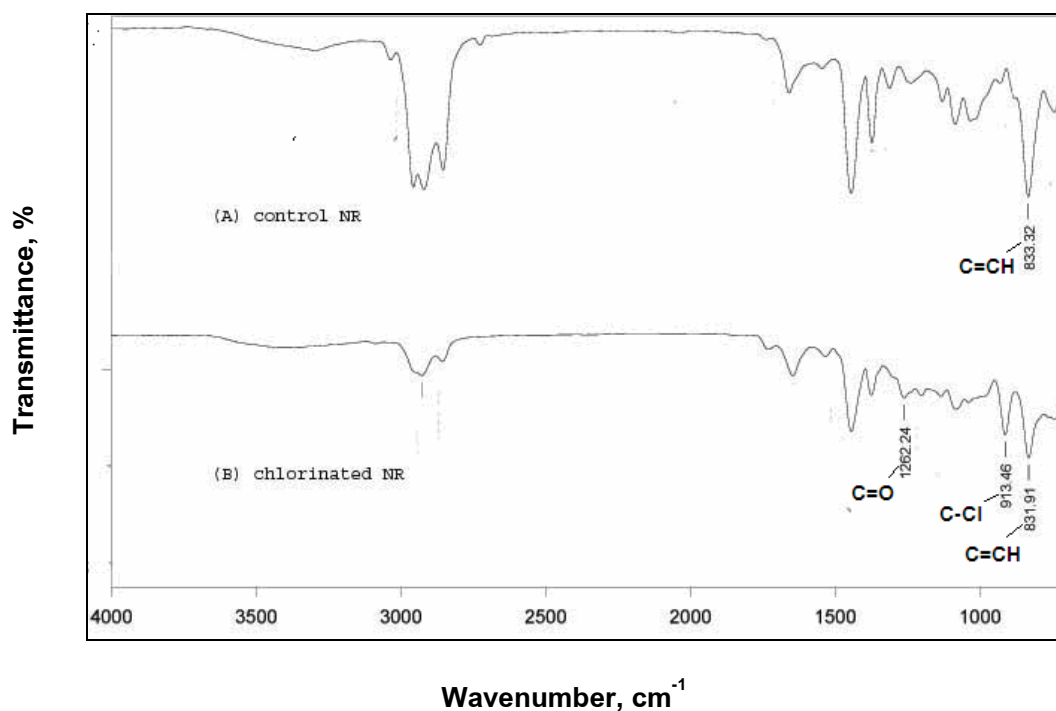
ผิวด้านล่างที่สัมผัสกับกระจก

รูปที่ 4.20 ภาพถ่าย SEM ของฟิล์มยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีน (XSBR) ผสมยางธรรมชาติ (NR) อัตราส่วนต่างๆ

4.3 ผลของการปรับปรุงผิวของฟิล์มยาง

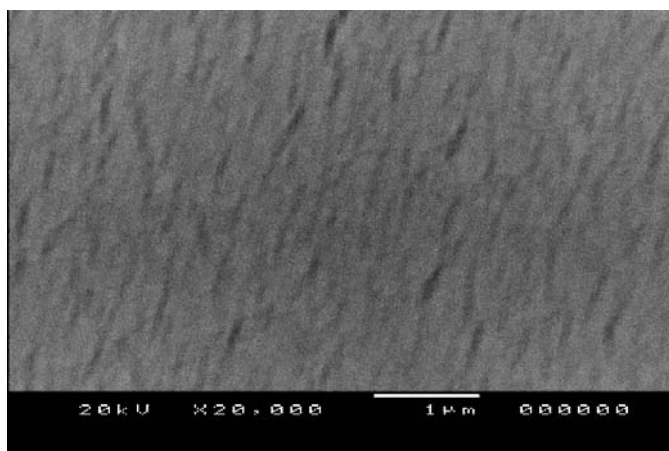
4.3.1 การคลอรีเนชัน

กระบวนการใช้สารละลายโซเดียมไฮเปอร์คลอไรด์ร่วมกับกรดไฮโดรคลอริก เพื่อปรับปรุงผิวของยางธรรมชาติ เรียกว่ากระบวนการคลอรีเนชัน ซึ่งมีผลต่อผิวของยางธรรมชาติในระดับโครงสร้างโมเลกุล ดังผลการทดสอบที่ได้จากเทคนิค ATR-IR Spectroscopy ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.21 พบว่าหลังการคลอรีเนชันพีกที่แสดงลักษณะเฉพาะของยางธรรมชาติที่ตำแหน่ง เลขคลื่น $\sim 833\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพันธะการยืดของ $\text{C}=\text{CH}$ มีความเข้มลดลง เนื่องจากการเข้าทำปฏิกิริยาของ Cl ตรงตำแหน่ง $\text{C}=\text{C}$ และมีพีกใหม่เพิ่มขึ้นมาจากสเปกตรัมของฟิล์มยางธรรมชาติที่ตำแหน่งเลขคลื่น $\sim 913\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ $\text{Cl}-\text{C}$ และที่ตำแหน่งเลขคลื่น $\sim 1262\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งอาจจะเป็นการยืดของพันธะ $\text{C}-\text{O}$ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Ho and Khew, 1999)



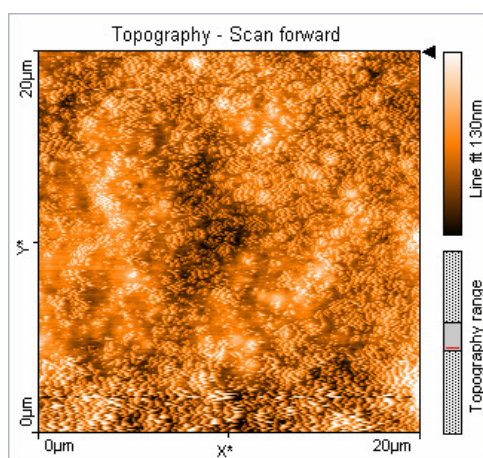
รูปที่ 4.21 ATR-IR สเปกตรัมของ (A) ฟิล์มยางธรรมชาติ (B) ฟิล์มยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการคลอรีเนชัน

ฟิล์มยางที่ผ่านกระบวนการคลอรีเนชันจะเกิดการแตกที่ผิว ซึ่งเป็นผลมาจากพันธะภายในโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติถูกทำลาย ดังแสดงด้วยภาพจาก SEM ในรูปที่ 4.22 ซึ่งผิวที่หยาบขึ้นนี้ส่งผลให้สามารถลดความเสียหายได้ เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสของยางลดลงจึงทำให้สามารถลดความเหนียวติดกันของยางธรรมชาติได้ (Nah *et al.*, 2002)

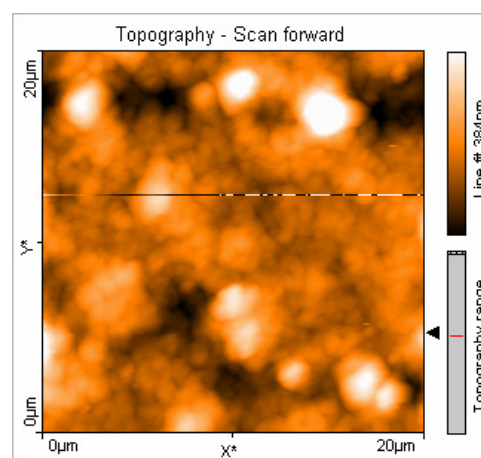


รูปที่ 4.22 ภาพ SEM ของฟิล์มยางธรรมชาติหลังการคลอรีเนชัน

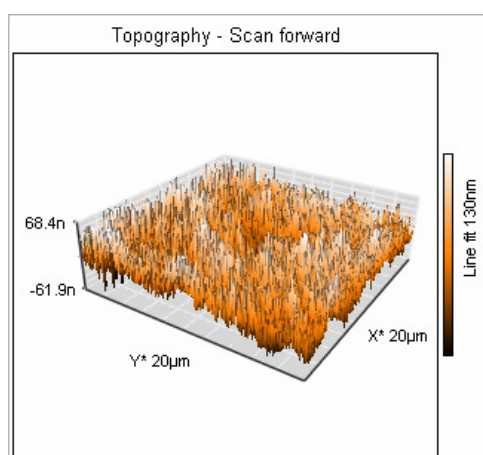
เช่นเดียวกันกับผลการทดลองที่ได้จากเครื่อง Atomic Force Microscopy (AFM) ที่แสดงในรูปที่ 4.23 โดยเมื่อเปรียบเทียบภาพพื้นผิว 2 มิติ ของฟิล์มยางก่อนการคลอรีเนชัน (รูปที่ 4.23a) และหลังผ่านการคลอรีเนชันรูปที่ 4.23(b) พบว่าลักษณะของพื้นผิวหยาบขึ้นหลังผ่านการคลอรีเนชัน และสังเกตเห็นผิวของฟิล์มยางที่ได้มีความขรุขระเพิ่มขึ้น และมีลักษณะเป็นร่องลึกหลังจากผ่านกระบวนการคลอรีเนชัน ดังแสดงด้วยภาพ 3 มิติ ในรูปที่ 4.23(d) เมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มยางธรรมชาติในรูปที่ 4.23(c) ซึ่งมีพื้นผิวที่เรียบและสม่ำเสมอ



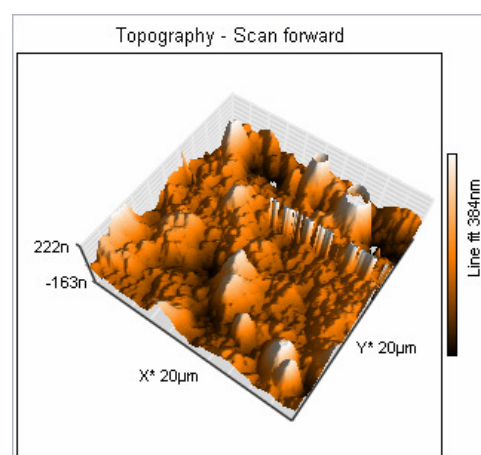
(a)



(b)



(c)

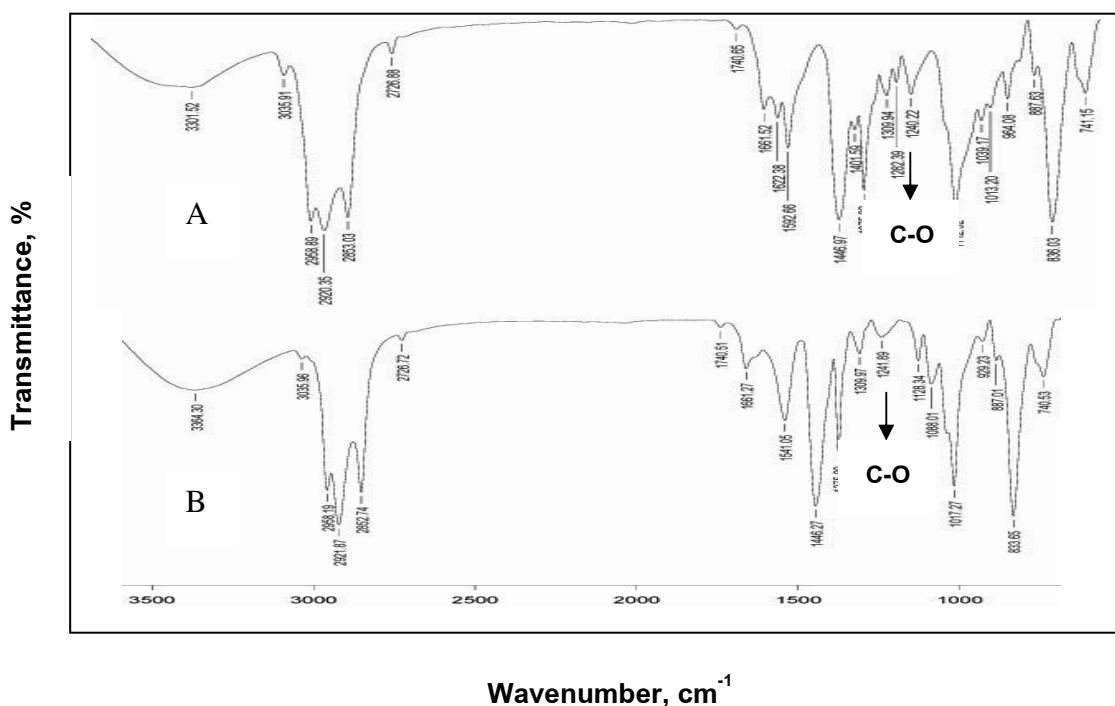


(d)

รูปที่ 4.23 ภาพ AFM ของฟิล์มยางธรรมชาติก่อนและหลังผ่านกระบวนการคลอรีเนชัน

4.3.2 ผลของการผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล

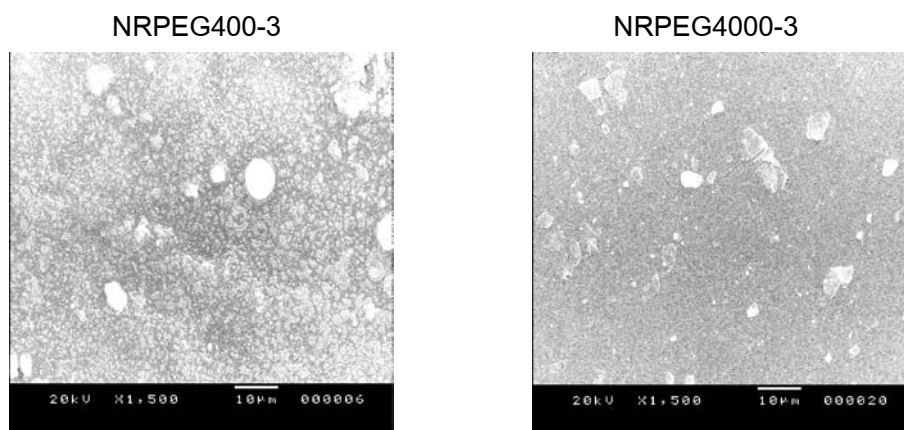
การผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ในสูตรน้ำยางธรรมชาติมีผลทำให้ผิวของฟิล์มยางที่ได้ไม่เหนียวติดกันเองเมื่อผสมในปริมาณมากเกินไป เนื่องจาก PEG เกิดการซึมออกมาที่ผิวของฟิล์มยาง แต่เมื่อนำฟิล์มยางที่ได้ไปต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 80 °C เพื่อล้าง PEG ออกจากฟิล์มยางพบว่าผิวของฟิล์มยางจะมีความเหนียวเพิ่มขึ้น ดังนั้นการผสม PEG ในน้ำยางธรรมชาติจึงเป็นเพียงการเคลือบผิวของฟิล์มยาง แต่ยังคงมี PEG แทรกอยู่ที่ผิวของฟิล์มยางดังผลการทดลองด้วยเทคนิค ATR-IR spectroscopy ที่แสดงในรูปที่ 4.24 โดยพันธะการยึดของ C-O ในโมเลกุลของ PEG ปรากฏที่ตำแหน่งเลขคลื่น $\sim 1240\text{ cm}^{-1}$ (Chen *et al.*, 2008) ATR-IR สเปกตรัมของฟิล์มยางผสม PEG ที่ผ่านการต้ม รูปที่ 4.24(B) ยังคงปรากฏพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น $\sim 1241\text{ cm}^{-1}$ แสดงให้เห็นว่ายังคงมี PEG แทรกอยู่ในฟิล์มยางหลังจากผ่านการต้ม



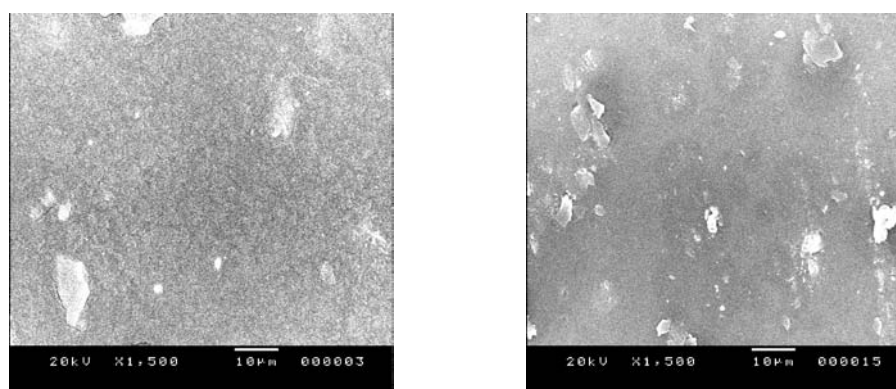
รูปที่ 4.24 ATR-IR สเปกตรัมของ (A) ฟิล์มยางธรรมชาติผสม PEG 4000 ปริมาณ 5 phr
(B) ฟิล์มยางธรรมชาติผสม PEG 4000 ปริมาณ 5 phr หลังต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 80°C เวลา 8 ชั่วโมง

ดังนั้นการผสมสารละลาย PEG จึงเป็นเพียงการเคลือบผิว โดย PEG จะแทรกอยู่ที่ฟิล์มยางจนถึงจุดอิ่มตัวก่อนที่แพร่ออกมาที่ผิว มีผลทำให้ผิวมีลักษณะที่ลื่นไม่เหนียวติดกัน นอกจากนี้การผสมสารละลาย PEG ยังทำให้ผิวของฟิล์มยางที่ได้มีลักษณะที่แน่นมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.25-4.26 โดยพบว่า การผสม PEG ในปริมาณน้อยคือ 1 และ 3 phr ทำให้ PEG

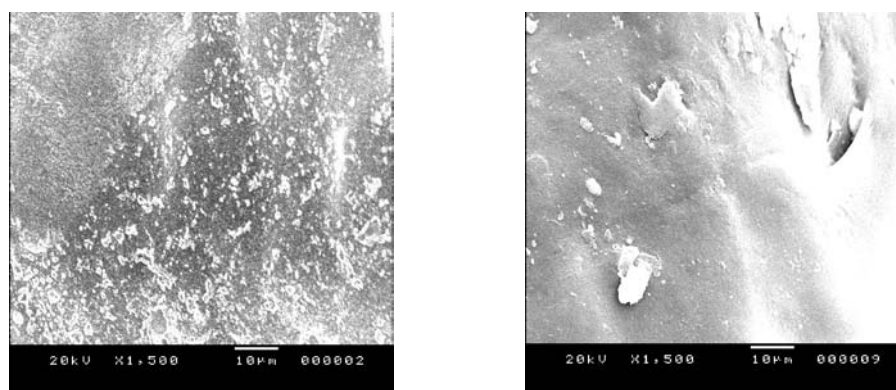
สามารถกระจายได้ดีเมื่อพิจารณาภาคตัดขวาง แต่การต้มด้วยน้ำก็ไม่สามารถสกัด PEG ออกได้
ยังคงทำให้บริเวณผิวและภาคตัดขวางมีลักษณะเหนียวแน่น โดยเมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอล
เพิ่มเป็น 5 และ 10 phr PEG จะแยกออกมาที่ชั้นผิวสังเกตได้จากภาคตัดขวางซึ่งมีลักษณะ
เรียบและผิวมีลักษณะเป็นเกล็ดชัดเจนขึ้น



(a) ผิวด้านบนที่สัมผัสกับอากาศ



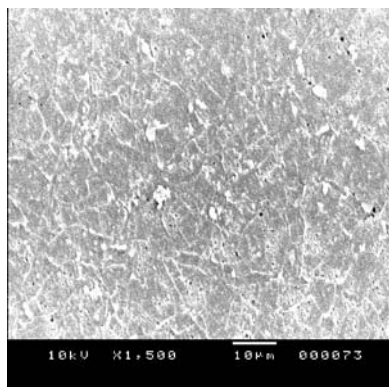
(b) ผิวด้านล่างที่สัมผัสกับแผ่นกระจก



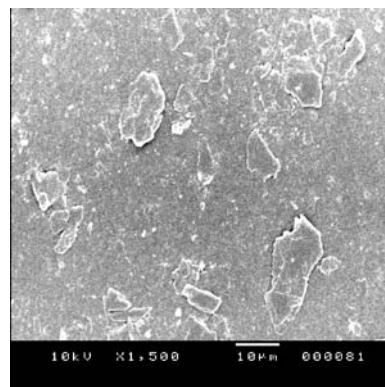
(c) ภาคตัดขวาง

รูปที่ 4.25 ภาพถ่าย SEM ของฟิล์มยางธรรมชาติผสม PEG 400 และ 4000 ปริมาณ 3 phr

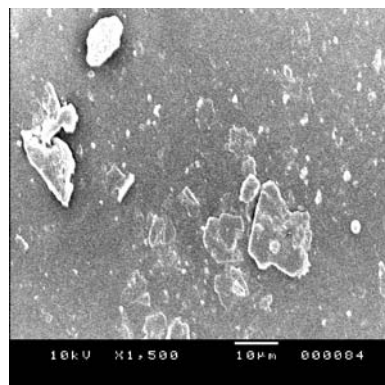
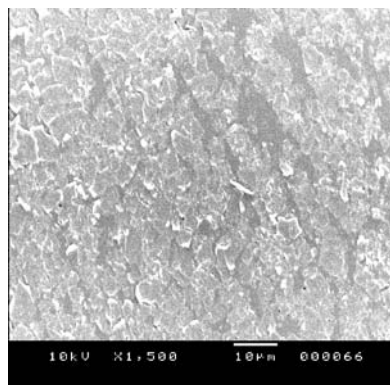
NRPEG400-10



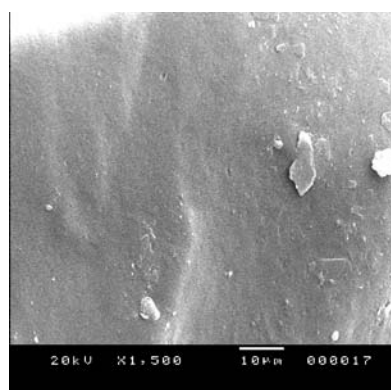
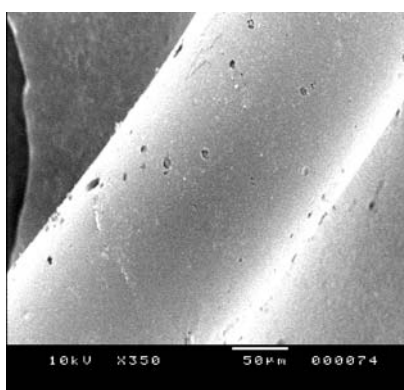
NRPEG4000-10



(a) ผิวด้านบนที่สัมผัสกับอากาศ



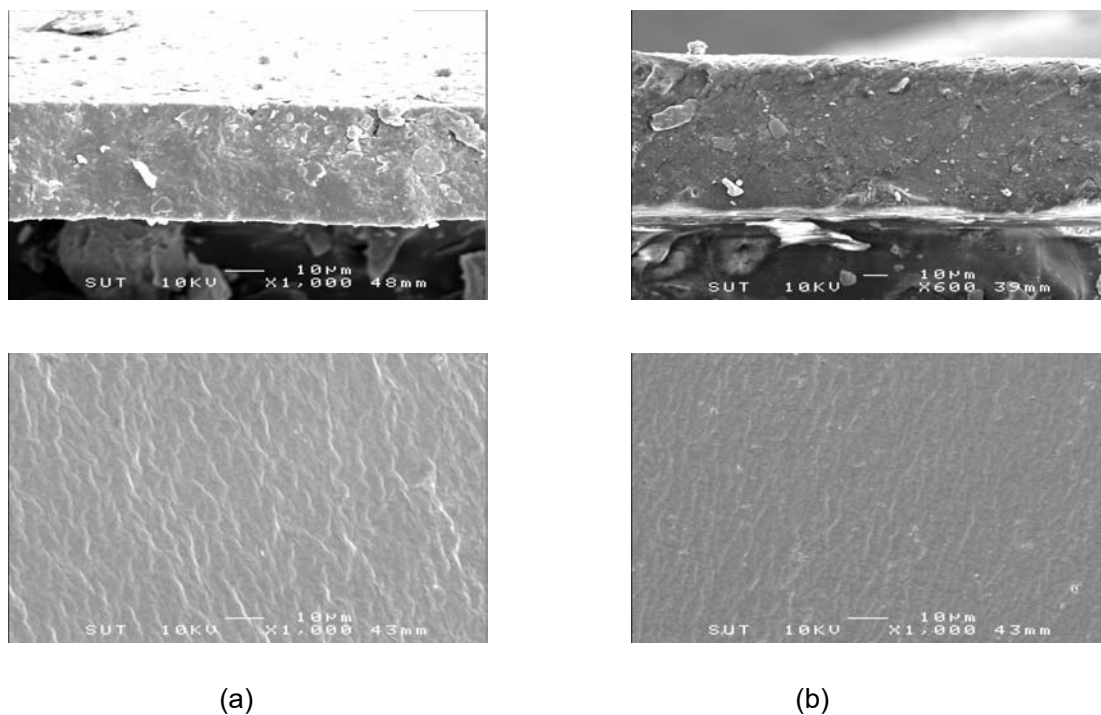
(b) ผิวด้านล่างที่สัมผัสกับแผ่นกระจก



(c) ภาคตัดขวาง

รูปที่ 4.26 ภาพถ่ายของ SEM फिल्मยางธรรมชาติผสม PEG 400 และ 4000 ปริมาณ 10 phr

แต่เมื่อผสมสารละลายพอลิเอทิลีนไกลคอลในปริมาณที่สูง คือ 40 phr จะทำให้พื้นผิวของฟิล์มยางมีลักษณะขรุขระเป็นลูกคลื่นอย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกันกับการผสมสารละลายพอลิเอทิลีนไกลคอลในปริมาณ 100 phr ดังแสดงในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ภาพถ่ายของ SEM ของ (a) ฟิล์มยางธรรมชาติผสม PEG ปริมาณ 40 phr และ (b) ฟิล์มยางธรรมชาติผสม PEG ปริมาณ 100 phr

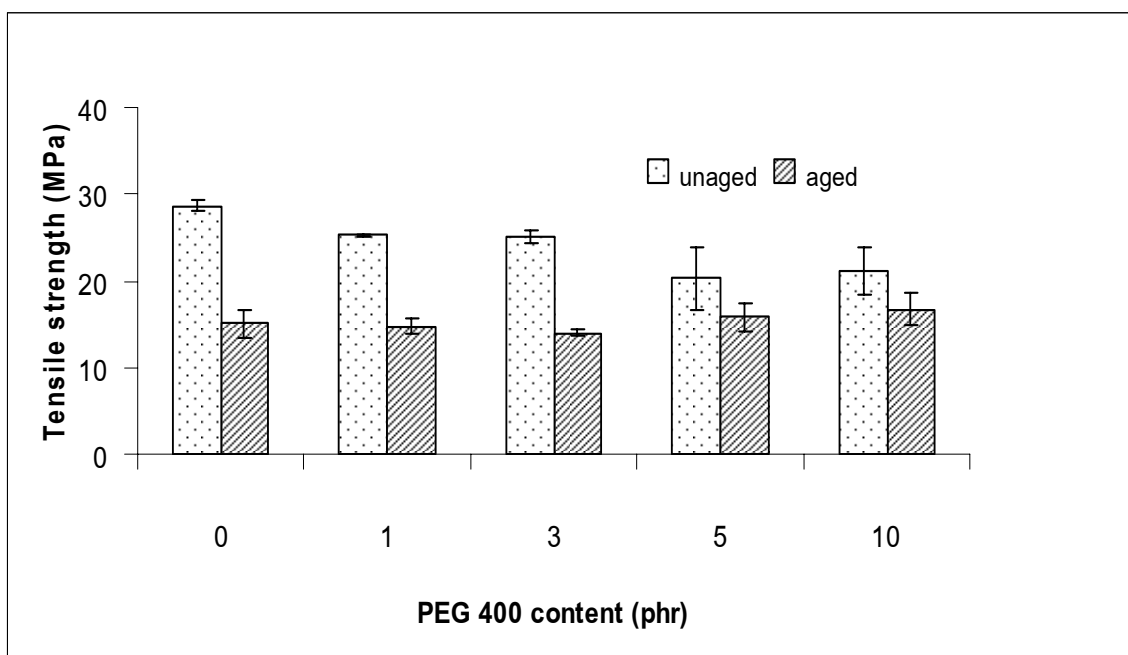
การผสมสารละลาย PEG จะมีผลต่อสมบัติทางกลของฟิล์มยางต่อไปนี้ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สมบัติการทนแรงดึง และระยะยืด ณ จุดขาด ของฟิล์มยางธรรมชาติผสม
พอลิเอทิลีนไกลคอล 400 และ 4000 ปริมาณต่างๆ

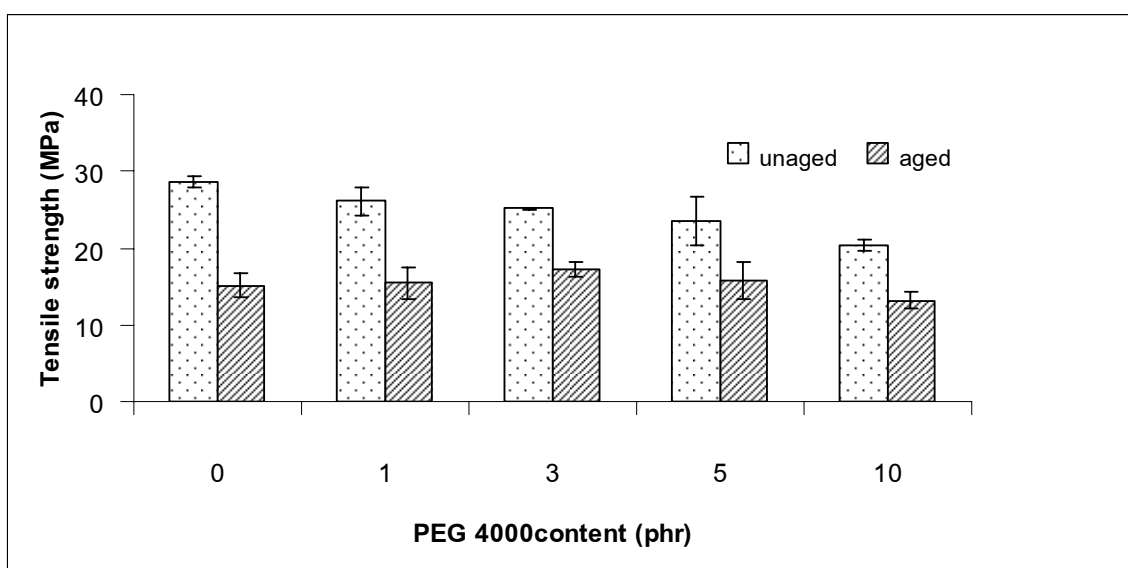
	ค่าการทนแรงดึง (MPa)		ระยะยืด ณ จุดขาด (%)	
	ก่อนบ่มแรง	หลังบ่มแรง	ก่อนบ่มแรง	หลังบ่มแรง
NR	28.63±0.63	15.08±1.55	1134.6±27.89	940.1±67.85
NRPEG400-1	25.23±0.60	14.77±0.93	978.5±67.22	879.3±35.67
NRPEG400-3	25.05±0.75	13.98±0.38	938.8±34.55	863.7±27.12
NRPEG400-5	20.25±3.50	15.84±1.60	876.9±12.99	760.2±25.11
NRPEG400-10	21.11±2.80	16.77±1.94	899.4±33.55	844.5±32.94
NRPEG4000-1	26.16±1.80	15.44±2.13	1087.5±32.77	879.3±35.67
NRPEG4000-3	25.14±0.14	17.12±0.98	1066.0±71.15	863.7±27.12
NRPEG4000-5	23.62±3.15	15.77±3.32	1124.0±27.45	760.2±45.11
NRPEG4000-10	20.36±0.71	13.21±1.13	1031.95±53.76	844.5±32.94

ผลของการผสม PEG 400 และ PEG 4000 ในปริมาณ 1, 3, 5 และ 10 phr ลงในน้ำยางธรรมชาติต่อสมบัติการทนต่อแรงดึง แสดงดังรูปที่ 4.28-4.29 พบว่าการทนต่อแรงดึงก่อนการบ่มแรงของฟิล์มยางธรรมชาติผสม PEG ในปริมาณ 1 และ 3 phr ใกล้เคียงกับฟิล์มยางธรรมชาติ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 5 และ 10 phr จะลดลงเล็กน้อยเนื่องจากการผสม PEG ลงในน้ำยางธรรมชาติทำให้เกิดการแทรกซึมในน้ำยางของอนุภาค PEG ทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีช่องว่างมากขึ้น จึงทำให้ความแข็งแรงลดลง (โสธญา, 2543) และภายหลังการบ่มแรงพบว่าลดลงใกล้เคียงกับฟิล์มยางธรรมชาติ ส่วนระยะยืด ณ จุดขาด ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.30-4.31 พบว่าทั้งก่อนและหลังการบ่มแรงมีค่าใกล้เคียงกับฟิล์มยางธรรมชาติ

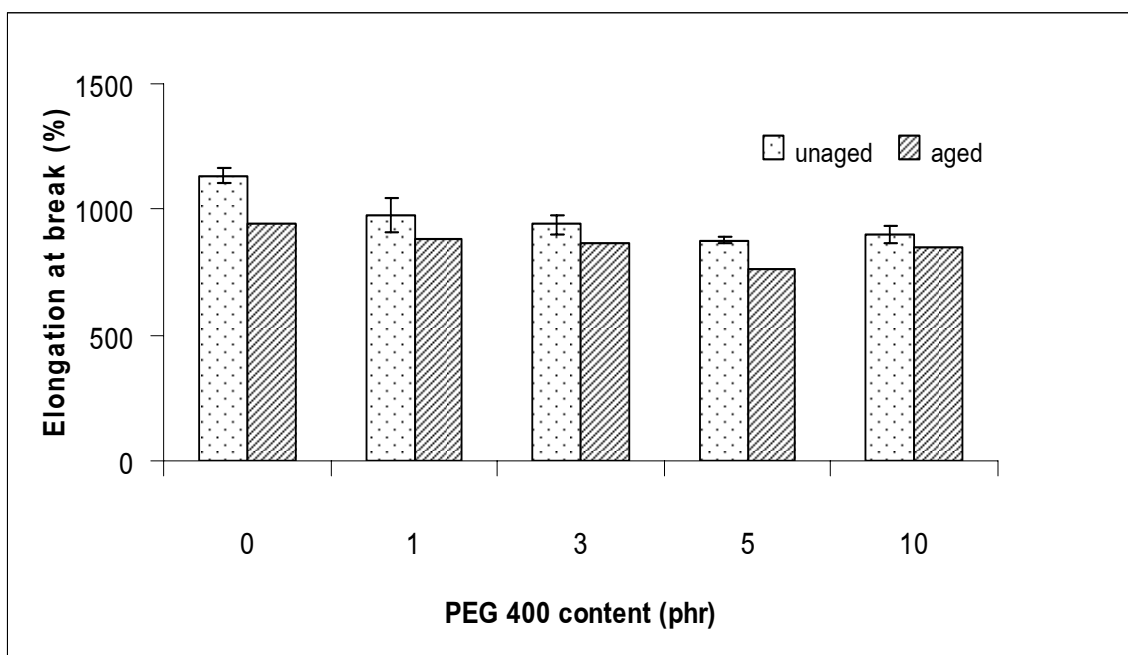
โดยเมื่อพิจารณาผลของน้ำหนักรีด PEG ต่อสมบัติการทนต่อแรงดึง พบว่าน้ำหนักรีดของ PEG แทบจะไม่มีผลต่อสมบัตินี้ เนื่องจากการทนต่อแรงดึงของฟิล์มยางที่ผสม PEG 400 และ PEG 4000 มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน



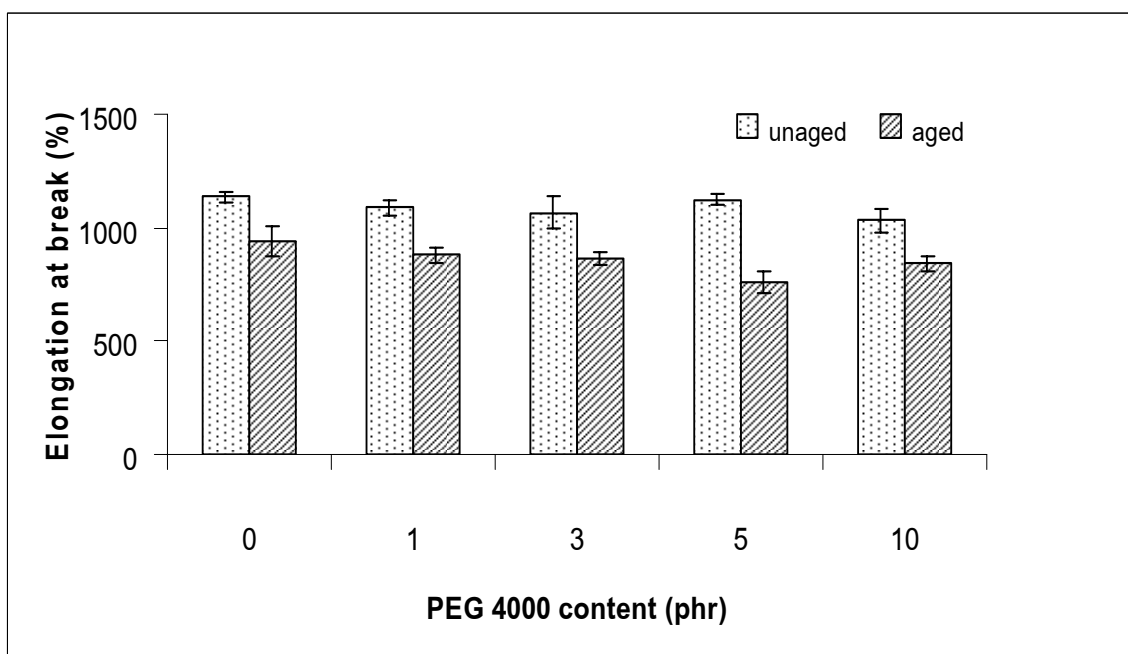
รูปที่ 4.28 ผลของปริมาณ PEG 400 ต่อการทนต่อแรงดึงของฟิล์มยาง



รูปที่ 4.29 ผลของปริมาณ PEG 4000 ต่อการทนต่อแรงดึงของฟิล์มยางฟิล์ม



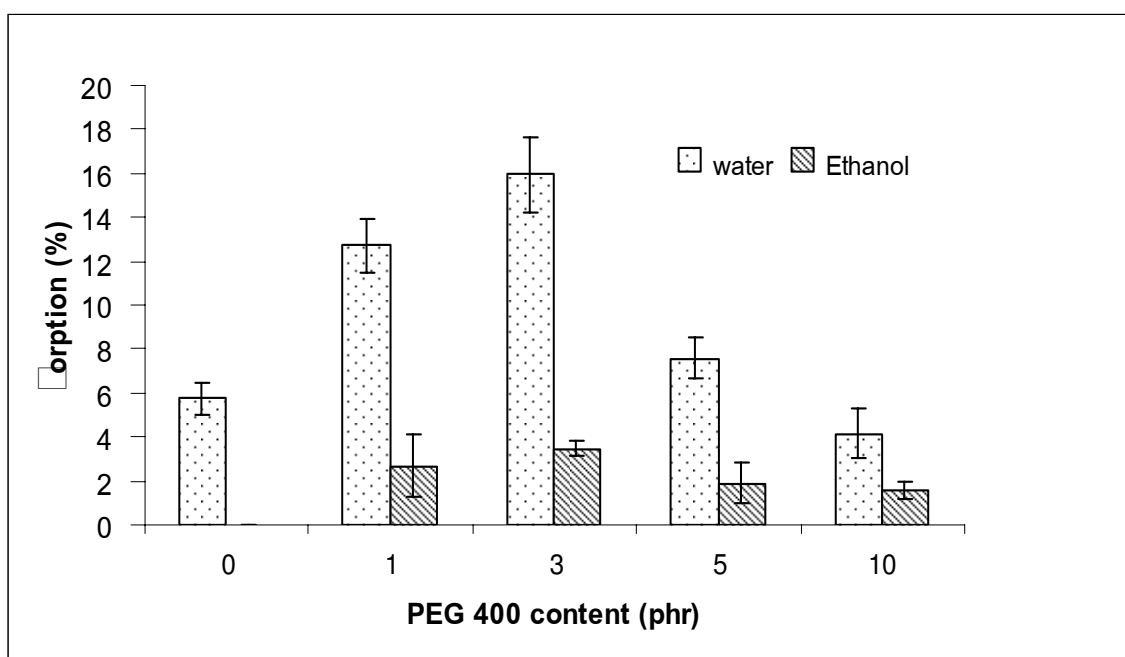
รูปที่ 4.30 ผลของปริมาณ PEG 400 ต่อค่าระยะยืด ณ จุดขาดของฟิล์มยาง



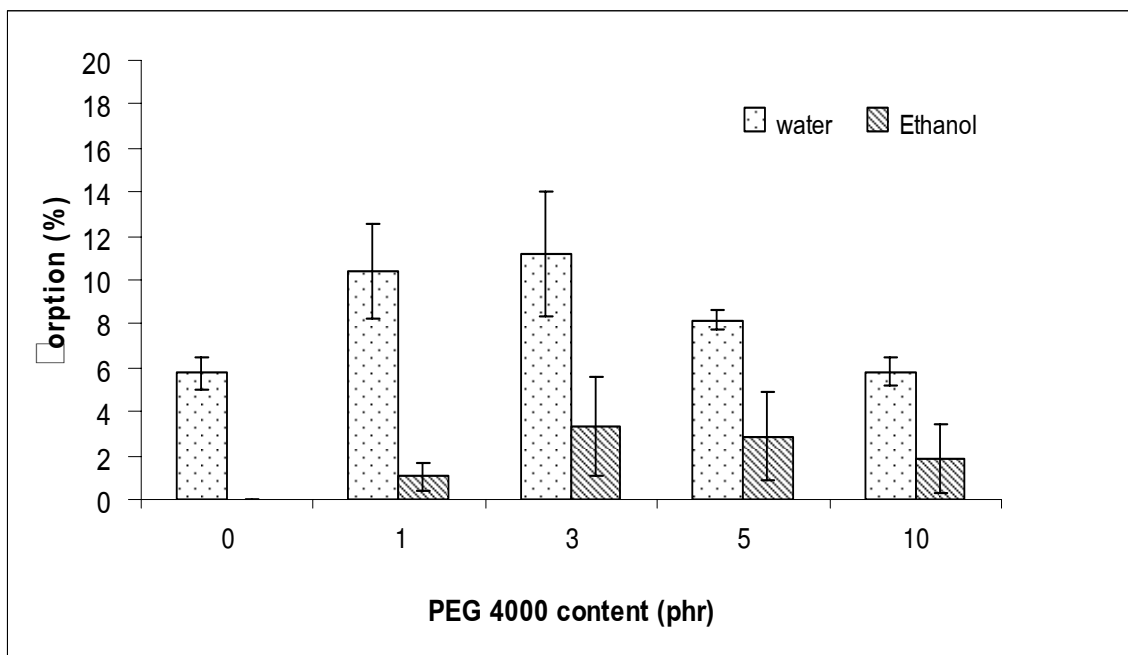
รูปที่ 4.31 ผลของปริมาณ PEG 4000 ต่อค่าระยะยืด ณ จุดขาดของฟิล์มยาง

ผลการทดสอบการดูดซับน้ำและเอทานอล

ผลของการผสม PEG ลงในน้ำยางธรรมชาติต่อสมบัติการดูดซับแสดงดังรูปที่ 4.32-4.33 พบว่าการดูดซับน้ำและเอทานอลของฟิล์มยางผสม PEG 400 และ PEG 4000 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PEG ในฟิล์มยางเพิ่มจาก 1 เป็น 3 phr อาจเนื่องจาก PEG สามารถกระจายตัวได้ดีในฟิล์มยางจึงทำให้ค่าการดูดซับเพิ่มขึ้นและที่สำคัญ PEG เป็นพอลิเมอร์ชอบน้ำ แต่หลังจากเพิ่มปริมาณเป็น 5 และ 10 phr ค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องจาก PEG แยกชั้นออกมาที่ผิว ส่วนผลการดูดซับเอทานอลในฟิล์มยางผสม PEG ในปริมาณต่างๆ พบว่าเกิดการดูดซับเพิ่มเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มยางธรรมชาติ และเมื่อเปรียบเทียบการผสม PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 400 และ 4000 ที่มีปริมาณเท่ากัน พบว่าฟิล์มยางที่ผสม PEG 400 สามารถดูดซับน้ำได้สูงกว่าฟิล์มยางผสม PEG 4000 เล็กน้อย ส่วนการดูดซับเอทานอลในฟิล์มยางผสม PEG 400 และ 4000 มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.32 ค่าการดูดซับน้ำและเอทานอลของฟิล์มยางธรรมชาติผสม PEG 400



รูปที่ 4.33 ค่าการดูดซับน้ำและเอทานอลของฟิล์มยางธรรมชาติผสม PEG 4000

4.4 การเตรียมเส้นใยกลวงจากน้ำยางธรรมชาติ

การเตรียมเส้นใยกลวงจากน้ำยางธรรมชาติโดยการอัดรีดผ่านดายน์ตามวิธีการในหัวข้อ 3.3.4 พบว่า การปรับศักย์ไฟฟ้าของน้ำยางธรรมชาติที่ dope และศักย์ไฟฟ้าของสารผสมของสารละลายคลอรีน 5% และ กรดไฮโดรคลอริก 10% ที่ core เป็น 4 โวลต์ เป็นค่าศักย์ไฟฟ้าอย่างน้อยที่สุดที่ทำให้สามารถเตรียมเส้นใยกลวงจากน้ำยางธรรมชาติได้ โดยเมื่อปรับศักย์ไฟฟ้าที่ core ต่ำกว่า 4 โวลต์ ปรากฏว่าน้ำยางจะออกมาลักษณะเป็นก้อน อาจเนื่องมาจากแรงดันของสารที่ทำให้ผนังด้านในท่อแข็งตัวน้อยเกินไปทำให้ไหลออกมาลักษณะเป็นหยด จึงทำให้น้ำยางธรรมชาติไม่สามารถจับตัวเป็นเส้นใยกลวงได้ แต่เมื่อศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นทำให้แรงดันที่ใช้สูงพอทำให้สารที่ทำให้ผนังด้านในท่อแข็งตัวออกมาเป็นสายอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้น้ำยางเกิดเป็นท่อกลวงได้ เมื่อใช้ศักย์ไฟฟ้าที่ dope ต่ำกว่า 4 โวลต์ พบว่าน้ำยางจะออกมาเป็นเส้นตัน อาจเนื่องจากปริมาณน้ำยางน้อยเกินไปจึงไม่สามารถคงรูปเป็นโครงท่อได้ โดยเส้นใยกลวงที่เตรียมได้มีลักษณะภายนอกแสดงดังรูปที่ 4.34 และมีลักษณะภาคตัดขวางแสดงดังรูปที่ 4.35 เส้นใยกลวงที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นเส้นสีขาวขุ่น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 420-850 ไมโครเมตร และหนาประมาณ 145-180 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.34 ลักษณะภายนอกของเส้นใยท่อกลวง



รูปที่ 4.35 ลักษณะภาคตัดขวางของเส้นใยท่อกลวง

4.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียมเส้นใยกลวง

ผลของปริมาณเนื้อเยื่อแห้งของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติที่มีปริมาณเนื้อเยื่อแห้ง (% D R C) ต่างกัน พบว่ามีความสามารถในการจับตัวเป็นเส้นใยได้แตกต่างกัน โดยน้ำยางธรรมชาติที่มี %DRC สูง สามารถจับตัวเป็นเส้นใยกลวงได้ดีกว่าน้ำยางที่มี %DRC ต่ำ อาจเนื่องจากที่ %DRC สูง น้ำยางมีความหนืดและปริมาณเนื้อเยื่อสูงจึงสามารถคงรูปการเป็นเส้นใยกลวงได้ดีกว่า และเมื่อ %DRC ต่ำกว่า 50% พบว่าน้ำยางไม่สามารถจับตัวเป็นท่อกลวงได้ โดยจะมีลักษณะเป็นเส้นตันเนื่องจากปริมาณเนื้อเยื่อแห้งและความหนืดต่ำเกินไป

ตารางที่ 4.4 ผลของปริมาณเนื้อยางแห้งต่อความหนืดของน้ำยางธรรมชาติ

ปริมาณเนื้อยางแห้ง (% DRC)	ความหนืด (Cps)
45	12.3
50	20.5
60	47.3

ผลของสารเคมีที่ทำให้เกิดการจับตัว

การเลือกชนิดของสารเคมีสำหรับใช้เป็นสารทำให้ผิวด้านในและผิวด้านนอกแข็งตัว ให้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.5 การใช้เอทานอล ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) ในการจับตัวพบว่าน้ำยางจะจับตัวเป็นก้อน และเมื่อใช้อะซิโตน (CH_3COCH_3), กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 10% และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เข้มข้น 50% พบว่าน้ำยางสามารถจับตัวเป็นเส้นได้ แต่มีการเกาะติดกันของผิว และเมื่อใช้สารละลายคลอรีนเข้มข้น 3% พบว่าความสามารถในการจับตัวเป็นเส้นลดลง แต่สามารถลดการเกาะติดกันของผิวได้เล็กน้อย การใช้สารละลายคลอรีนเข้มข้น 5% กับสารผสมของสารละลายคลอรีน 5% และ กรดไฮโดรคลอริก 10% ในอัตราส่วน 1:1 พบว่า น้ำยางสามารถจับตัวเป็นเส้นได้แต่มีลักษณะนิ่ม การเกาะติดกันของผิวลดลงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมระหว่างสารละลายคลอรีน 5% และ กรดไฮโดรคลอริก 10% เป็น 1:2 พบว่าน้ำยางสามารถจับตัวเป็นเส้นและไม่เหนียวติดกัน แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของสารละลายคลอรีน 5% และกรดไฮโดรคลอริก 10% เป็น 1:3 พบว่าความสามารถในการจับตัวเป็นเส้นลดลง

ตารางที่ 4.5 แสดงลักษณะการจับตัว และการเกาะติดกันของผิวเส้นใยน้ำยางธรรมชาติในสารเคมีต่างๆ

สารละลาย	ลักษณะการจับตัว	การเกาะติดกันของผิว
Ethanol	จับตัวลักษณะเป็นก้อน	ติดกัน
Acetone	จับตัวเป็นเส้น	ติดกัน
50% CaCl_2	จับตัวเป็นเส้น	ติดกัน
10% HCl	จับตัวเป็นเส้น	ติดกัน
NaOCl	จับตัวเป็นก้อน	ติดกัน
3% Chlorine solution	จับตัวเป็นเส้น	ติดกันเล็กน้อย
5% Chlorine solution	จับตัวเป็นเส้นที่มีลักษณะนิ่ม	ไม่ติดกัน
5%Chlorine solution : 10%HCl ในอัตราส่วน 1:1	จับตัวเป็นเส้นที่มีลักษณะนิ่ม	ไม่ติดกัน
5%Chlorine solution : 10%HCl ในอัตราส่วน 1:2	จับตัวเป็นเส้นแข็ง	ไม่ติดกัน
5%Chlorine solution : 10%HCl ในอัตราส่วน 1:3	จับตัวเป็นเส้นที่มีลักษณะนิ่ม	ไม่ติดกัน

งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารผสมระหว่างสารละลายคลอรีน 5 % และ กรดไฮโดรคลอริก 10% ในอัตราส่วน 1:2 เป็นสารเคมีที่ทำให้ผิวด้านในและด้านนอกของเส้นใยกลวงเกิดการแข็งตัวและสามารถลดการเหนียวติดกันของเส้นใยกลวงที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติ

ปัญหาและอุปสรรคในการเตรียมเส้นใยกลวงจากน้ำยาง

1. ไม่สามารถเตรียมเส้นใยกลวงแบบต่อเนื่องได้ เพราะจำเป็นต้องนำเส้นใยกลวงที่เตรียมได้ผ่านขั้นตอนการอบเพื่อให้เกิดการวัลคาไรซ์
2. ไม่สามารถควบคุมความสม่ำเสมอของขนาดเส้นใยได้ เนื่องจากไม่สามารถใช้เครื่องดึงเส้นใยกลวงเพื่อม้วนเก็บเส้นใยได้ เพราะเส้นใยกลวงยังไม่ผ่านการคงรูปด้วยการอบทำให้ไม่สามารถคงโครงสร้างการเป็นท่อกลวงได้
3. หัว spinneret มีขนาดเล็ก จึงเกิดการอุดตันได้ง่าย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลองที่ได้ สามารถสรุปได้ว่า

1. การพัฒนาสูตรน้ำยางธรรมชาติด้วยการผสมกับซีโอไลต์ชนิด 4A, น้ำยางสไตรีนบิวตาไดอีน (SBR), น้ำยางคาร์บอกซีเลตสไตรีนบิวตาไดอีน (XSBR) และพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) น้ำหนักโมเลกุล 400 และ 4000 กรัมต่อโมล สำหรับประยุกต์ใช้งานด้านเมมเบรน เพื่อขจัดน้ำออกจากสารละลายเอทานอล จากการศึกษสมบัติเบื้องต้นของเมมเบรนในด้านการดูดซับ พบว่า การผสมซีโอไลต์ชนิด 4A ลงในน้ำยางธรรมชาติแทบจะไม่มีผลต่อการดูดซับน้ำ फिल्मยางผสมซีโอไลต์ไม่สามารถดูดซับเอทานอลได้เลยเช่นเดียวกับ फिल्मยางธรรมชาติ ส่วนการผสมน้ำยาง SBR ลงในน้ำยางธรรมชาติในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การดูดซับน้ำและเอทานอลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การผสมน้ำยาง XSBR ลงในน้ำยางธรรมชาติทำให้การดูดซับน้ำและเอทานอลเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการผสมน้ำยาง SBR แต่พบว่าปริมาณ XSBR ที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการดูดซับน้ำของ फिल्मยางผสมเนื่องจากการดูดซับน้ำใกล้เคียงกันทุกอัตราส่วนการผสม ในส่วนของ फिल्मยางผสม PEG พบว่าการผสม PEG ลงไปในปริมาณน้อยทำให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นและลดลงใกล้เคียงกับ फिल्मยางธรรมชาติเมื่อผสมปริมาณมากขึ้น फिल्मยางผสม PEG สามารถดูดซับเอทานอลเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยน้ำหนักโมเลกุลแทบจะไม่มีผลต่อสมบัติการดูดซับเนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน

2. ผลของการพัฒนาสูตรน้ำยางต่อสมบัติของ फिल्मยาง

2.1 การปรับปรุงสมบัติความเป็นเมมเบรนของน้ำยางธรรมชาติด้วยการผสมซีโอไลต์ชนิด 4A ลงในน้ำยางธรรมชาติพบว่า ซีโอไลต์สามารถกระจายตัวได้ดีใน फिल्मยาง เมื่อผสมลงไปปริมาณ 1 และ 3 phr แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 5 และ 10 phr ซีโอไลต์จะเกิดการแยกชั้น โดยเมื่อผสมซีโอไลต์ในปริมาณมากขึ้นทำให้การทนต่อแรงดึงก่อนการบ่มแรงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย และหลังการบ่มแรงจะแตกต่างกับก่อนการบ่มแรงเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการผสมซีโอไลต์จึงช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้

2.2 การปรับปรุงสมบัติความเป็นเมมเบรนของน้ำยางธรรมชาติด้วยการผสมกับน้ำยางสังเคราะห์ชนิด XSBR และ SBR ส่งผลให้สมบัติการทนต่อแรงดึงก่อนการบ่มแรงมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณยางสังเคราะห์ในส่วนผสมเพิ่มขึ้น แต่เกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

น้อยภายหลังจากการปั๊มแรง

2.3 การผสม PEG 400 และ PEG 4000 ลงในน้ำยางธรรมชาติแล้วต้มในน้ำร้อน พบว่า PEG สามารถกระจายตัวได้ดีเมื่อผสมลงไปปริมาณ 1 และ 3 phr แต่เมื่อปริมาณเพิ่มขึ้นพบว่า PEG แยกชั้นปกคลุมที่ผิวลักษณะเป็นเกล็ด โดยการต้มฟิล์มยางด้วยน้ำร้อนไม่สามารถขจัด PEG ออกจากฟิล์มยางได้หมด เนื่องจากยังคงเห็นอนุภาค PEG หลังผ่านการต้ม โดยการผสม PEG ลงไปปริมาณ 1 และ 3 phr ส่งผลให้การทนต่อแรงดึงก่อนปั๊มแรงลดลงเล็กน้อย แต่จะลดลงมากเมื่อผสมในปริมาณ 5 และ 10 phr และภายหลังจากการปั๊มแรงลดลงใกล้เคียงกับฟิล์มยางธรรมชาติ

3. สามารถเตรียมเส้นใยกลวงจากน้ำยางธรรมชาติ ได้โดยการอัดรีดน้ำยางผ่านดายด้วยเครื่องผลิตเมมเบรนแบบท่อกลวง โดยใช้สารผสมระหว่างสารละลายคลอรีน 5% กับกรดไฮโดรคลอริก 10% ในอัตราส่วน 1:2 เป็นสารที่ทำให้ผิวด้านในและด้านนอกท่อกลวงแข็งตัว โดยควบคุมศักย์ไฟฟ้าของน้ำยางธรรมชาติที่ Dope เป็น 4 โวลต์ และศักย์ไฟฟ้าของสารผสมระหว่างสารละลายคลอรีน 5% กับกรดไฮโดรคลอริก 10% ในอัตราส่วน 1:2 ที่ core เป็น 4 โวลต์ พบว่าเส้นใยกลวงที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นเส้นสีขาวขุ่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 560 ไมโครเมตร และหนาประมาณ 160 ไมโครเมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. พัฒนาเครื่องผลิตเมมเบรนแบบท่อกลวง ให้เหมาะสมกับการใช้งานกับวัสดุประเภทยาง เพื่อให้สามารถผลิตเส้นใยกลวงได้อย่างต่อเนื่อง
2. นำเมมเบรนที่เตรียมได้ทดสอบการใช้งานจริง

บรรณานุกรม

- ชั้นทอง สุนทราภา. 2547. เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
- ธีรวัชร เนาวนนท์, ปวีณา ชาร์ไลส และสิทธิพงษ์ อำนวยพานิชย์. 2552. การเตรียมและการศึกษาสมบัติของเยื่อเลือกผ่านผสมจากยางธรรมชาติ พอลิอะคริลิกและซีโอไลต์สำหรับการแยกของผสมระหว่างน้ำและเอทานอลโดยกระบวนการเพอร์แวกพอร์ชัน. การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 12. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 12-13 กุมภาพันธ์ 2552. หน้า 449-458.
- นิสากร ปานประสงค์. 2546. ซีโอไลต์ เคมีที่ไม่ธรรมดา. อพเทค. 18, 192.(กันยายน): 83-85.
- ผลชิต บัวแก้ว. 2531. สารเคมีผสมน้ำยาง. ศูนย์วิจัยยางสงขลา: สงขลา.
- พงษ์ธร แซ่อูย. 2548. ยาง : ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค): กรุงเทพฯ.
- พรรษา ช่วยปล้อง. 2531. ผลิตภัณฑ์ประเภทจุ่มแบบและหล่อเป่า. ศูนย์วิจัยยางสงขลา: สงขลา.
- พรพรรณ นิธิอุทัย. 2528. สารเคมีสำหรับยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์: ปัตตานี.
- ยุคล มั่นทะจิตร. 2540. ซีโอไลต์. ข่าวสารการธรณี. 42, 4: 58-61.
- รัตนา จิระรัตนานนท์. 2541. กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี: กรุงเทพฯ.
- วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2549. ยางธรรมชาติ : การผลิตและการใช้งาน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว): กรุงเทพฯ.
- เสาวนีย์ ก่ออุณิกุลรังษี. 2546. การผลิตยางธรรมชาติ. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์: สงขลา.
- โสภา อิสระ. 2545. การพัฒนาการผลิตยางธรรมชาติโดยเทคนิคการลดน้ำหนักโมเลกุล. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- โสธญา รอดประเสริฐ. 2543. การเตรียมฟิล์มที่มีรูพรุนจากยางธรรมชาติผสมพอลิเมอร์ละลายน้ำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.
- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรมยาง. 2009. สรุปภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมไทยปี 2551 แนวโน้มปี 2552. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.ryt.com/s/oie/502175/>. (วันที่สืบค้น 21 กุมภาพันธ์ 2552)

- Adnadjevic, B. and Jovanovic, J. 2000. Investigation of the effects of NAA-type zeolite on PDMS composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 77(6): 1171-1176.
- Al-ghamdi, A.M.S. and Mark, J.E. 1998. Zeolites as reinforcing fillers in an elastomer. *Polymer Bulletin*. 20:537-542.
- Baker, R.W. 2000. *Membrane technology and applications*. Mc Graw-Hill Companies: New York.
- Bevilacqua, E.M. 1957. The reaction of molecular oxygen with rubber, *Rubber Chemistry and Technology*.
- Blackley, D.C. 1997. *Polymer Latices Science and Technology Second edition* Volume 2: Type of latices. Chapman & Hall: London.
- Boom, J.P., Punt, I.G.M., Zwijnenberg, H., de Boer, R., Bargeman, D., Smolders, C.A. and Strathmann, H. 1998. Transport through zeolite filled polymeric membranes. *Journal of Membrane Science*. 138:237-258.
- Breck, D.W. 1974. *Zeolite Molecular Sieves: Structure, Chemistry and Use*. John Wiley & Sons Inc: New York.
- Gan, D., Lu, S. and Cao, W.W. 2004. Formation of nanoporous poly(aryl amide ether)(PAAE) films by selective removal of poly(ethylene glycol)(PEG) from PEG/PAAE composite film. *European Polymer Journal*. 40: 2481-2486.
- George, S.C., Ninan, K.N. and Thomas, S. 2001. Permeation of nitrogen and oxygen gases through styrene-butadiene rubber, natural rubber and styrene-butadiene rubber / natural rubber blend membranes. *European Polymer Journal*. 37: 183-191.
- Ho, C.C. and Khew, M.C. 1999. Surface characterisation of chlorinated unvulcanised natural rubber latex films. *International Journal of Adhesion & Adhesives*. 19: 387-398.
- Hsu, C.S., Rey, M.L., Chen, S.H., Hung, M.Y., Tsia, H.A. and Lai, J.Y. 2003. Pervaporation separation of a water-ethanol mixture by PSF-PEG membrane. *Journal of applied polymer science*. 87(13): 2158-2164.
- Khayet, M. 2003. The effects of air gap length on the internal and external morphology of hollow fiber membranes. *Chemical engineering science*. 58(14): 3091-3104.
- Kim, J.H. and Lee, K.H. 1998. Effect of PEG additive on membrane formation by phase inversion. *Journal of Membrane Science*. 138: 153-163.

- Klamklang, S., Soontarapa, K. and Damronglerd, K. 2002. Preparation and Characterization of Hydrophilic Pervaporation Membranes from Natural Rubber Latex Based Polymer. *ScienceAsia*. 28:135-143.
- Malhoyra, V.N. and Walpalage, S. 2001. Composite membrane comprising natural rubber latex and hydrophilic colloid layers. UK Patent. 2, 360, 004, September 12.
- Moonart, U., Amnuaypanich, S., Poonsawat, C. and Ruksakulpiwat, C. 2006. Water sorption selectivity from ethanol/water mixtures of natural rubber-poly(vinyl alcohol) semi-interpenetrating polymer network membranes, The 32nd congress on science and technology of Thailand, Queen Sirikit National Convention Center, October 10-12, 2006.
- Mulder, M. 1996. Basic principles of membrane technology. Kluwer academic publishers: Netherland.
- Nah, C., Kim, D.H., Kim, D.J., Kim, D.W. and Chang, Y-W. 2002. Effect of Chlorination on Friction Properties of Natural Rubber. *Journal of the Korean Industrial and Engineering Chemistry*. 13(4): 321-325.
- Patthana, J., Poonsawat, C. and Amnuaypanich, S. 2008. Preparation and Characterization of Zeolite-Filled Natural Natural Rubber/ poly(vinyl alcohol) Semi-IPN Membranes. The 6th Regional Symposium on Membrane Science & Technology. Phuket Grace Land Resort and Spa, August 13-15, 2008. P 23.
- Popovic, R., Milenkovic, D., Popovic, R. and Plavsic, M. 2005. Properties of natural rubber/carboxylated styrene-butadiene lattices blends. UK Patent 2, 360, 004,
- Qin, J. and Chung, T.S. 1999. Effect of dope flow rate on morphology, separation performance, thermal and mechanical properties of ultrafiltration hollow fibre membranes. *Journal of Membrane Science*. 157: 35-51.
- Rafat, M., DE, D., Khulbe, K.C., Nguyen T. and Matsuur, T. 2006. Surface characterization of hollow fiber membranes used in artificial kidney. *Journal of Applied Polymer Science*. 101(6): 4386-4400.
- Ray, S. and Ray, S.K. 2006. Separation of organic mixtures by pervaporation using crosslinked and filled rubber membrane. *Journal of membrane science*. 285: 108-119.

- Stephen, R., Thomas, S. and Joseph, K. 2005. Gas permeation studies of natural rubber and carboxylated styrene-butadiene rubber latex membranes. *Journal of Applied Polymer Science*. 98(3): 1125–1134.
- Stephen, R., Jose, S., Joseph, K., Thomas, Sabu. And Oommen, Z. 2006. Thermal stability and ageing properties of sulphur and gamma radiation vulcanized natural rubber (NR) and carboxylated styrene butadiene rubber (XSBR) lattices and their blends membranes. *Polymer Degradation and Stability*. 91: 1717–1725.
- United States Environmental Protection Agency. 2005. Membrane filtration guidance manual. www.epa.gov/OGWDW/disinfection/lt2/pdfs/guide_lt2_membranefiltration_final.pdf (accessed 13/09/08)
- Wagner, J. 2001. Membrane Filtration Handbook Practical Tips and Hints. B.Se. Chemical Engineering. USA.
- Vecchio, R.J.D. 2003. Fundamental of rubber technology. Rubber division, Akron.
- Wang, D., Li, K. and Teo, W.K. 1999. Preparation and characterization of polyvinylidene fluoride (PVDF) hollow fiber membranes. *Journal of Membrane Science*. 163: 211-220.
- Yee, F.C. 2006. Hollow fiber membranes. <http://www.cheresources.com/hmembranes.shtml>. (accessed 3/9/08).

ภาคผนวก

สารเคมี	ความเข้มข้น									
	100%	50%	25%	10%	50%	10%	50%	10%	50%	10%
MS	150	-	-	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
XPER	-	100	-	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
X530-25	75	25	-	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
X530-50	50	50	-	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
X530-75	25	75	-	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
S800	-	1	100	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
S500-25	75	-	25	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
S500-50	50	-	50	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
S500-75	25	-	75	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

ภาคผนวก ก

ตารางที่ 1ก สูตรต่างๆของเมมเบรนชนิดแผ่นจากน้ำยาง (หน่วยเป็น phr)

สูตร	สารเคมี											
	60% NR	50% XSBR	47% SBR	10% KOH	10% Potassium oleate	50% sulphur	50% ZDBC	50% lovinox	50% ZnO	zeolite	PEG 400	PEG 4000
NR	100	-	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	-	-
XSBR	-	100	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	-	-
XSBR-25	75	25	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	-	-
XSBR-50	50	50	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	-	-
XSBR-75	25	75	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	-	-
SBR	-	-	100	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	-	-
SBR-25	75	-	25	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	-	-
SBR-50	50	-	50	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	-	-
SBR-75	25	-	75	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	-	-

ตารางที่1ก สูตรต่างๆของเมมเบรนชนิดแผ่นจากน้ำยาง (หน่วยเป็น phr) (ต่อ)

สูตร	สารเคมี											
	60% NR	50% XSBR	47% SBR	10% KOH	10% Potassium oleate	50% sulphur	50% ZDBC	50% Iovinox	50% ZnO	zeolite	PEG 400	PEG 4000
NR-zeo1	100	-	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	1	-	-
NR-zeo3	100	-	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	3	-	-
NR-zeo5	100	-	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	5	-	-
NR-zeo10	100	-	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	10	-	-
NRPEG400-1	100	-	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	1	-
NRPEG400-3	100	-	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	3	-
NRPEG400-5	100	-	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	5	-
NRPEG400-10	100	-	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	10	-
NRPEG400-1	100	-	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	-	1
NRPEG400-3	100	-	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	-	3
NRPEG400-5	100	-	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	-	5
NRPEG400-10	100	-	-	0.25	0.2	1	1	0.75	0.5	-	-	10

ภาคผนวก ข
เอกสารการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

1. การประชุมวิชาการนานาชาติ The 1st Thai-Japan Rubber Symposium

Chlorination of Natural Rubber Latex Membrane

Tanitporn Najkul¹, Wirach Taweepreda^{*,1,2#}, Pikul Wanichapichart^{2,3#} and Krisda Suchiva^{4,5}

¹*Polymer Science Program, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Songkla 90112, Thailand*

²*Membrane Science and Technology Research Center, ³Department of Physics, Prince of Songkla University, Thailand*

[#]*NANOTEC Center of Excellence at Prince of Songkla University, Thailand*

⁴*National Metal and Materials Technology Center, Pathumthani, Thailand*

⁵*Department of Chemistry, Faculty of Science, Mahidol University, Rama VI Rd., Bangkok, 10400, Thailand*

Abstract: Natural rubber latex (NRL) film before and after chlorination by chlorine gas was investigated. It was found that the NR surface is not only decreased surface tacky but also the surface roughness is increased. The NR surface is alveolus after immersing in sodium hypochlorite solution. These porous membrane increases the transport properties of NR latex membrane.

CHLORINATION OF NATURAL RUBBER LATEX MEMBRANE

Tanittaporn Najkul¹, Wirach Taweepreda^{*,1,#}, Pikul Wanichapichart^{2,3,#}, and Krisda Suchiva^{4,5}

¹Polymer Science Program, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Songkla 90112, Thailand

²Membrane Science and Technology Research Center, ³Department of Physics, Prince of Songkla University, Thailand

[#]NANOTEC Center of Excellence at Prince of Songkla University, Thailand

⁴National Metal and Materials Technology Center, Pathumthani, Thailand

⁵Department of Chemistry, Faculty of Science, Mahidol University, Rama VI Rd., Bangkok, 10400, Thailand

*Corresponding Author E-Mail Address: wirach.t@psu.ac.th

Abstract: Natural rubber latex (NRL) film before and after chlorination by chlorine gas was investigated. It was found that the NR surface is not only decreased surface tacky but also the surface roughness is increased. The NR surface is alveolus after immersing in sodium hypochlorite solution. These porous membrane increases the transport properties of NR latex membrane.

Introduction

Natural rubber (NR) products are often chemically modified surface by chlorination to reduce surface frictional resistance such as NR latex glove. In this work, the NR latex membrane was prepared and investigated the surface morphology transformation after the chlorination.

Materials and Methods

Preparation of NR latex membrane

High ammonia concentrated NR latex with 60% DRC (dry rubber content) was purchased from Chalong Latex Industry, Songkla, Thailand. NR latex membrane was prepared from compound latex (in accordance with the formulation given in Table 1) by casting on a glass plated and followed by drying at room temperature. The membrane was immersed in water bath at 50°C for 1 hour before dried and vulcanized at 120°C in oven for 15 minutes.

Table 1 Formulation of compounding ingredients

Ingredient	Weight	
	Dry	Wet
60% HA-Latex	100.00	167.00
10% KOH	0.25	2.50
50% Sulfur dispersion	1.50	3.00
50% Winstay-L dispersion	1.00	2.00
50% ZnO dispersion	1.50	3.00
50% ZDEC dispersion	1.00	2.00
75% CaCO ₃ dispersion	10.00	13.33

Chlorination of NR membrane

The membrane was immersed in the solution contained in a closed chlorination bath. Chlorine gas was generated from sodium hypochlorite solution (10% w/w) acidified with hydrochloric acid (10%

w/w). The chlorinated membrane was washed free chlorine by immersing the membrane in sodium sulfide solution (5% w/w) for 15 minutes. The membrane was washed with water and dried at 50°C.

Scanning electron microscopy analysis

Surface morphology of the NR films were studied using scanning electron microscope, JEOL JSM-5800 LV.

Fourier Transform Infrared Spectroscopy

The spectra of the NR film surface were obtained using a Bruker model EQUINOX55. The samples were cut (2 cm x 5 cm) and placed onto the ZnSe element.

Results and Discussion

The FTIR-ATR spectrum of the chlorinated NR latex film surface is different from that of the the control film. The peak at 914 cm⁻¹ appeared on the chlorinated surface as shown in figure 1.

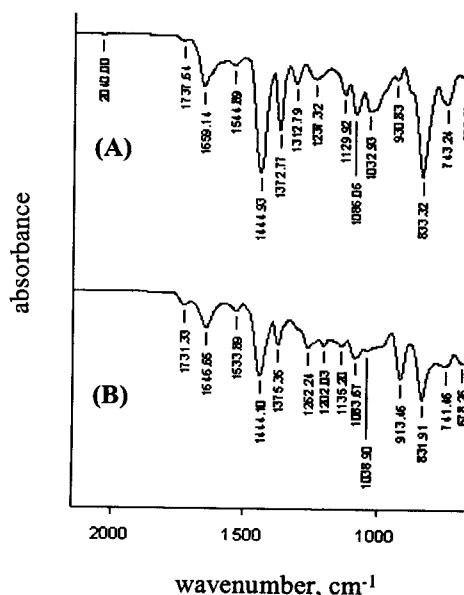


Figure 1 FTIR-ATR spectra for (A) control and (B) chlorinated NR Latex films.

The morphology of the NR latex membrane has been analysed from scanning electron micrographs (SEM). The SEM of NR surface after immersing in sodium hypochlorite solution and acidified hypochlorite solution are presented in Figure 2 (A and B), respectively. The surface of the chlorinated membrane shows the cracking surface roughening. The NR surface, immersed in pure sodium hypochlorite solution, is alveolus with pore size 1 μm as shown in figure 2(A).

3. Thomas, S.; Stephen, R.; Joseph, K.; Oommen, Z., *Composites Sci. Tech.*, **67**, p.1187-1194 (2007)

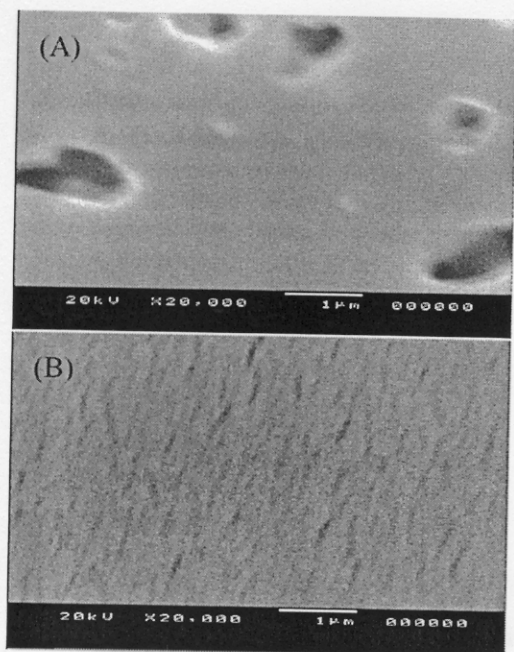


Figure 2 SEM images of NR latex films after immersing in the solution contained (A) NaOCl and (B) NaOCl + HCl.

Conclusions

The porous membrane from NR latex can be prepared by immersing the membrane in sodium hypochlorite solution. On the other hand, the chlorination of NR latex membrane gave the cracking surface roughening which reduce the strength of the membrane.

Acknowledgement

This work has been partially support by the National Nanotechnology Center (NANOTEC), NSTDA, Ministry of Science and Technology, Thailand, through its program of Center of excellence network. The authors wish to thank Polymer Science Program, Membrane Science and Technology Research Center and Graduate School, Prince of Songkla University for supporting facilities and funding.

References

1. Ho, C.C. and Khew, M.C., *Inter. J. Adhesion & Adhesives*, **19**, p.387-398 (1999)
2. Thomas, S.; Stephen, R.; Varghese, S.; Joseph, K.; Oommen, Z., *J. Mem. Sci.*, **282**, p.162-170 (2006)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวธนิตพร นาคกุล	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	4910220118	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ศึกษาศาสตร์เคมี)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการการศึกษา)

ทุนศูนย์เครือข่ายความเป็นเลิศด้านนาโนเทคโนโลยีภาคใต้ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
วิทยาเขตหาดใหญ่

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Tanitporn Najkul., Wirach Taweepreda., Pikul Wanichapichart and Krisda Suchiva., 2007. "Chlorination of Natural Rubber Latex Membrane." 1st Thai-Japan Rubber Symposium, August 20-22, 2007, Chonburi, Thailand.