

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลของการเชื่อมโยงที่มีต่อการแยกน้ำจากเอทานอลโดยใช้  
เยื่อเลือกผ่านโคโตะซานผสมซีไอไลต์โซเดียมเอ



T107828



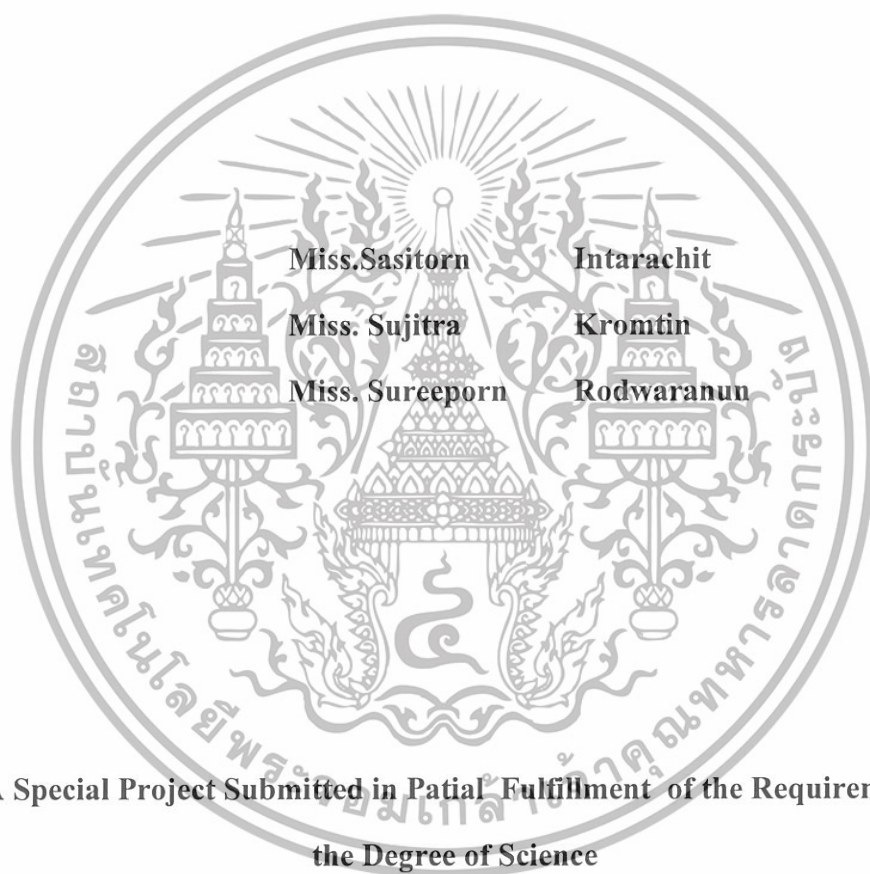
เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....107828  
วัน,เดือน,ปี.....14 พ.ค. 2553

b.....12212040  
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาเคมีอุตสาหกรรม  
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effect of crosslinking on water/ethanol separation using  
Chitosan/Zeolite NaA membrane



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement  
the Degree of Science

Major of Industrial Chemistry

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง ผลของการเชื่อมโยงที่มีต่อการแยกน้ำจากเอทานอลโดยใช้เยื่อเลือกผ่าน  
โกลโคซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ

นักศึกษา นางสาวศศิธร อินทรชิต  
นางสาวสุจิตรา กรมธิน  
นางสาวสุรีย์พร โรจนวรรณันท์

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.ดร.บุณเภา ศรีพันธ์ โนน	
กรรมการ	รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด	
กรรมการ	ผศ.ดร.ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์	
กรรมการ	รศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย	

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	ผลของการเชื่อมโยงที่มีต่อการแยกน้ำจากเอทานอลโดยใช้เยื่อเลือกผ่านไโคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ	
นักศึกษา	นางสาวศศิธร	อินทรชิต
	นางสาวสุจิตรา	กรมธิน
	นางสาวสุรียพร	โรจน์วรรณท์
ภาควิชา	เคมี	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2549	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ชวลดา	ฤตวิรุฬห์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.ตะวัน	สุชน้อย

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสมบัติของเยื่อเลือกผ่านไโคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอโดยการเชื่อมโยงไโคโตซานด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นต่างกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกน้ำจากเอทานอล ทำการทดลองโดยสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอแล้วนำไปวิเคราะห์ขนาดของซีโอไลต์โดยใช้เครื่อง mastersizer พิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เตรียมเยื่อเลือกผ่านไโคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอโดยใช้เทคนิคการหล่อแบบสารละลาย (Solution casting) นำเยื่อเลือกผ่านที่ได้มาศึกษาสัณฐานวิทยาและการเชื่อมโยง จากนั้นนำเยื่อเลือกผ่านมาทดสอบประสิทธิภาพการแยกน้ำจากเอทานอลด้วยกระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation) ของไอร่าเหยเอทานอล ที่อุณหภูมิ 79 °C โดยให้อัตราการไหลของแก๊สพา (Carrier gas) เป็น 80 มิลลิลิตรต่อนาที จากการสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอ พบว่าเมื่อใช้เวลานานขึ้นซีโอไลต์โซเดียมเอมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น จากการเตรียมเยื่อเลือกผ่าน พบว่าเมื่อเชื่อมโยงไโคโตซานด้วยความเข้มข้นกลูตารอลดีไฮด์ที่เพิ่มขึ้น ค่าการบวมน้ำของเยื่อเลือกผ่านลดลง ค่าฟลักซ์ลดลงแต่ค่าความสามารถในการแยกเพิ่มขึ้นตามลำดับ และเมื่อผสมซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านไโคโตซาน พบว่าซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านมีการกระจายตัวที่ดี เมื่อทดสอบประสิทธิภาพการแยก พบว่าค่าฟลักซ์สูงกว่าเยื่อเลือกผ่านที่ไม่ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอแต่ค่าความสามารถในการแยกลดลงและเมื่อความหนาของเยื่อเลือกผ่านไโคโตซานเพิ่มขึ้น ค่าฟลักซ์ลดลง แต่ค่าความสามารถในการแยกเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Effect of crosslinking on water/ethanol separation using Chitosan/Zeolite NaA membrane
Students	Miss.Sasitorn Intarachit Miss.Sujitra Kromtin Miss.Sureeporn Rodwaranun
Department	Chemistry
Major	Industrial Chemistry
Year	2006
Project advisor	Asst.Prof.Dr. Chonlada Rtvirulh
Project co-advisor	Assoc.Prof.Dr. Tawan Sooknoi

### ABSTRACT

This research aims to improve the efficiency of ethanol/water separation of chitosan membrane modified with Zeolite NaA by crosslinking with various concentrations of glutaraldehyde. Zeolite NaA was synthesized and then characterized for particle size, crystal structure and morphology by Mastersizer, X-ray diffraction and Scanning electron microscopy, respectively. The chitosan membrane modified with Zeolite NaA was prepared by solution casting. The morphology and swelling of membrane were observed. Vapor permeation of membrane was tested at 79 °C with a constant carrier gas flow rate of 80 ml/min. According to Zeolite NaA synthesis, it was found that an increment of aging time exhibited narrow size distribution. The swelling and flux were decreased while separation factor was increased when higher glutaraldehyde concentration was used. In addition, good distribution of Zeolite NaA in membrane was observed. From vapor permeation tested, it was found that flux was higher while separation was less than that of pure membrane. Whereas an increment thickness of membrane modified with Zeolite NaA, flux was decreased but separation factor was increased.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และ รศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษาช่วยแก้ปัญหา และเอาใจใส่ดูแลการทำงานพร้อมทั้งคอยช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาต่างๆจนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด และ ผศ.ดร.ปุ่นณมา ศิริพันธ์โนน ที่ได้สละเวลาในการอ่านให้คำแนะนำ และแก้ไขโครงการนี้

ขอขอบพระคุณพี่ๆ ปีโตรเคมีและเคมีของไฮโดรคาร์บอน ที่คอยช่วยเหลือในทุกๆเรื่อง ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการ และคอยให้คำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ให้การช่วยเหลือ และแนะนำการใช้เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่เคารพรักอย่างสูง ที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนงานวิจัยนี้มาตลอด และขอขอบพระคุณเพื่อนๆ ที่เป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุจิตรา กรมธิน

ศศิธร อินทรชิต

สุรียพร โรจน์วรรณท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ก
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....</b>	<b>3</b>
2.1 แก๊สไฮดรอลิก.....	3
2.1.1 การผลิตเอทานอล.....	3
2.2 เทคโนโลยีการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน.....	4
2.2.1 ประเภทของกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน.....	5
2.2.2 โครงสร้างของเยื่อเลือกผ่านสังเคราะห์.....	7
2.2.3 ประเภทของเยื่อเลือกผ่านสังเคราะห์.....	7
2.3 กระบวนการซึมผ่านไอ.....	9
2.3.1 กลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน.....	10
2.3.2 ประสิทธิภาพในการแยก.....	11
2.3.3 ตัวแปรที่มีผลต่อการกระทำของกระบวนการซึมผ่านไอ.....	12
2.4 ไคตินและไคโตซาน.....	14
2.4.1 โครงสร้างเคมีของไคตินและไคโตซาน.....	14
2.4.2 สมบัติของไคตินและไคโตซาน.....	15
2.4.3 ประโยชน์ของไคตินและไคโตซาน.....	17
2.5 ซีไอไลต์.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ซีโอไลต์โซเดียมเอ.....	21
2.7 การบวมตัวของพอลิเมอร์.....	23
2.7.1 สมบัติของพอลิเมอร์.....	23
2.7.2 การละลายของพอลิเมอร์.....	23
2.7.3 การบวมตัวของพอลิเมอร์โครงสร้างตาข่าย.....	23
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
<b>บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>29</b>
3.1 สารเคมี.....	29
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	30
3.3 วิธีการทดลอง.....	31
3.3.1 การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน.....	31
3.3.1.1 การสังเคราะห์ซีโอไลต์เอ.....	31
3.3.1.2 การเตรียมสารละลายโคโตซาน.....	32
3.3.1.3 การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน.....	32
3.3.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอและเยื่อเลือกผ่านโคโตซาน.....	33
3.3.2.1 ศึกษาโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์ด้วยเครื่อง XRD.....	33
3.3.2.2 ศึกษาการบวมตัวของเยื่อเลือกผ่าน.....	33
3.3.2.3 ศึกษาสัณฐานวิทยาของเยื่อเลือกผ่าน.....	34
3.3.2.4 วิเคราะห์หาปริมาณซีโอไลต์ในเยื่อเลือกผ่านด้วยเครื่อง TGA.....	34
3.3.3 ทดสอบประสิทธิภาพของเยื่อเลือกผ่าน.....	35
3.3.4 ปัจจัยที่ทำการศึกษา.....	36
3.3.5 การคำนวณ.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....</b>	<b>39</b>
4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอและเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน.....	39
4.1.1 โครงสร้างผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอ.....	39
4.1.2 สัณฐานวิทยาของซีโอไลต์โซเดียมเอ.....	40
4.1.3 โครงสร้างผลึกซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน.....	42
4.1.4 สัณฐานวิทยาของเยื่อเลือกผ่าน.....	43
4.1.5 ปริมาณซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน.....	53
4.2 การบวมตัวของเยื่อเลือกผ่าน.....	54
4.3 ผลของการเชื่อมโยงของเยื่อเลือกผ่านที่มีต่อความสามารถและ ประสิทธิภาพการแยกน้ำจากเอทานอลในกระบวนการซีมผ่านไอ.....	55
4.4 ผลของความหนาของเยื่อเลือกผ่านที่มีต่อความสามารถและ ประสิทธิภาพการแยกน้ำจากเอทานอลในกระบวนการซีมผ่านไอ.....	58
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>62</b>
<b>เอกสารอ้างอิง.....</b>	<b>65</b>
<b>ภาคผนวก ก โครมาโทแกรม.....</b>	<b>68</b>
<b>ภาคผนวก ข คำนวณ.....</b>	<b>77</b>
<b>ภาคผนวก ค เทอร์โมแกรมของ TGA.....</b>	<b>93</b>
<b>ภาคผนวก ง รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD).....</b>	<b>98</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
2.1 ประเภทของกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน.....	5
2.2 การแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน.....	6
3.1 สมบัติของไคโตซาน.....	29
3.2 สัญลักษณ์แทนซีโอไลต์และแสดงสภาวะในการสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอ.....	38
3.3 สัญลักษณ์แทนการเชื่อมโยงของเยื่อเลือกผ่านและองค์ประกอบของเยื่อเลือกผ่าน.....	38
4.1 ปริมาณซีโอไลต์โซเดียมเอที่เติมและมีอยู่จริงจากเทคนิค TGA.....	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปร่างภาพ

	หน้า
2.1 หลักการแยกของเทคโนโลยีการแยกตัวด้วยเยื่อเลือกผ่าน.....	4
2.2 โครงสร้างภาคตัดขวางของเยื่อเลือกผ่าน.....	7
2.3 แผนภาพแสดงการซึมผ่านไอ.....	9
2.4 แผนภาพแสดงกลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน.....	10
2.5 มุมสัมผัสผิวกับการเปียกของวัสดุ.....	11
2.6 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส.....	15
2.7 โครงสร้างทางเคมีของไคติน.....	15
2.8 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน.....	15
2.9 โครงสร้างไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์.....	16
2.10 โครงสร้างทุติยภูมิของซีโอไลต์.....	20
2.11 โครงสร้างตติยภูมิของซีโอไลต์.....	20
2.12 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ.....	22
2.13 โครงสร้างของซีโอไลต์โซเดียมเอ.....	22
2.14 ลักษณะผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	22
3.1 แผนภาพแสดงชุดทดสอบกระบวนการซึมผ่านไอ.....	35
3.2 แผนภาพแสดงการแยกน้ำจากเอทานอลโดยกระบวนการซึมผ่านไอ.....	36
4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอจากการสังเคราะห์เทียบกับสารมาตรฐาน.....	39
4.2 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงลักษณะผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอที่สังเคราะห์ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า.....	40
4.3 กราฟจากเครื่อง mastersizer แสดงการกระจายขนาดอนุภาคของซีโอไลต์โซเดียมเอ ที่สังเคราะห์ได้.....	41
4.4 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอในปริมาณ 10 phr โดยมีการเชื่อมโยงไคโตซานด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5	ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตนานที่มีการเชื่อมโยงด้วย กลูตารอลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.05 %(w/w) ที่ไม่เติมซีโอไลต์ (0.05_M) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า.....	43
4.6	ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตนานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.07 %(w/w) ที่ไม่เติมซีโอไลต์ (0.07_M) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า.....	44
4.7	ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตนานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.1 %(w/w) ที่ไม่เติมซีโอไลต์ (0.1_M) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า.....	44
4.8	ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตนานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.05 %(w/w) ที่มีการเติมซีโอไลต์ (0.05_Ze6M) a) กำลังขยาย 4,000 เท่า b) กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	45
4.9	ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตนานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.07 %(w/w) ที่มีการเติมซีโอไลต์ (0.07_Ze6M) a) กำลังขยาย 4,000 เท่า b) กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	46
4.10	ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตนานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.1 %(w/w) ที่มีการเติมซีโอไลต์ (0.1_Ze6M) a) กำลังขยาย 4,000 เท่า b) กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	47
4.11	ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวาง (Cross section) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตนานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ 0.05 %(w/w) ที่ไม่เติมซีโอไลต์ (0.05_M) กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	48
4.12	ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวาง (Cross section) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตนานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ 0.07 %(w/w) ที่ไม่เติมซีโอไลต์ (0.07_M) กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	49
4.13	ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวาง (Cross section) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตนานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ 0.1 %(w/w) ที่ไม่เติมซีโอไลต์ (0.1_M) กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.14	ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวาง (Cross section) ของเยื่อเลือกผ่าน ไคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ 0.05 % (w/w) ที่มีการเติมซีโอไลต์ (0.05_Ze6M) a) กำลังขยาย 1,000 เท่า b) กำลังขยาย 4,000 เท่า.....	50
4.15	ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวาง (Cross section) ของเยื่อเลือกผ่าน ไคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ 0.07 % (w/w) ที่มีการเติมซีโอไลต์ (0.07_Ze6M) a) กำลังขยาย 1,000 เท่า b) กำลังขยาย 4,000 เท่า.....	51
4.16	ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวาง (Cross section) ของเยื่อเลือกผ่าน ไคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ 0.1 % (w/w) ที่มีการเติมซีโอไลต์ (0.1_Ze6M) a) กำลังขยาย 1,000 เท่า b) กำลังขยาย 4,000 เท่า.....	52
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่าง % การบวมตัวกับเวลาของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสม ซีโอไลต์โซเดียมเอทีที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์.....	54
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์กับการเชื่อมโยงเยื่อเลือกผ่านที่ผสมซีโอไลต์ โซเดียมเอทีสังเคราะห์ได้ด้วยความเข้มข้นกลูตารอลดีไฮด์ต่างกัน.....	55
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการแยกกับการเชื่อมโยงเยื่อเลือกผ่านที่ ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอทีสังเคราะห์ได้ด้วยความเข้มข้นกลูตารอลดีไฮด์ต่างกัน....	56
4.20	แบบจำลองเยื่อเลือกผ่าน a) เยื่อเลือกผ่านไคโตซาน (M) b) เยื่อเลือกผ่าน ไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ (ZeM).....	57
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์กับความหนาของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสม ซีโอไลต์โซเดียมเอทีความหนา 30 ไมโครเมตร และ 60 ไมโครเมตร.....	58
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการแยกกับความหนาของเยื่อเลือกผ่าน ไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอทีความหนา 30 ไมโครเมตร และ 60 ไมโครเมตร...	59
4.23	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์กับความหนาของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสม ซีโอไลต์โซเดียมเอทีความหนา 30 ไมโครเมตร และ 30 ไมโครเมตร 2 แผ่นประกบ..	60
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการแยกกับความหนาของเยื่อเลือกผ่าน ไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอทีความหนา 30 ไมโครเมตร และ 30 ไมโครเมตร 2 แผ่นประกบ.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในปัจจุบันความต้องการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ประเทศไทยมีแหล่งผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงไม่เพียงพอต่อความต้องการการใช้น้ำมัน จึงต้องนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศทำให้ประเทศไทยสูญเสียงบประมาณในส่วนนี้เป็นจำนวนมาก รัฐบาลจึงสนับสนุนให้มีการใช้แก๊สโซฮอล์เพื่อใช้ทดแทนน้ำมัน ซึ่งแก๊สโซฮอล์คือน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วออกเทน 91 ที่มีการผสมเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5 % ในสัดส่วน 10 % โดยปริมาตร ซึ่งแก๊สโซฮอล์ที่ได้มีสมบัติคล้ายน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วออกเทน 95 จะเห็นได้ว่าเอทานอลที่นำมาใช้ในการเตรียมแก๊สโซฮอล์ต้องมีความบริสุทธิ์สูง โดยส่วนใหญ่เอทานอลที่ใช้จะเตรียมจากการกลั่นลำดับส่วนเพื่อแยกน้ำออกจากเอทานอล เนื่องจากสามารถผลิตได้โดยง่ายและมีราคาถูก แต่วิธีนี้ทำให้ได้เอทานอลบริสุทธิ์เพียง 95 % เท่านั้น ทำให้เอทานอลที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วนนี้ ไม่สามารถนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินได้ ดังนั้นจึงมีการศึกษาการแยกเอทานอลโดยใช้เยื่อเลือกผ่านซึ่งพบว่าสามารถแยกน้ำจากเอทานอลได้ดีกว่า เนื่องจากเยื่อเลือกผ่านที่ใช้สามารถปรับปรุงสัณฐานประกอบเพื่อทำให้สมบัติของเยื่อเลือกผ่านเหมาะสมกับความต้องการในการใช้งาน ซึ่งเยื่อเลือกผ่านที่ใช้ศึกษาคือเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์ซีเดียมเอ เนื่องจากเราต้องการแยกน้ำออกจากเอทานอลเพื่อให้เอทานอลมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ดังนั้นตัวเยื่อเลือกผ่านต้องมีขั้ว ไคโตซานชอบน้ำ ซีโอไลต์-ซีเดียมเอมีขั้วและชอบน้ำ ด้วยคุณสมบัติเด่นของทั้งสองนี้ จึงนำมาเตรียมเป็นเยื่อเลือกผ่านที่ใช้ในการทดลอง

จากโครงการพิเศษของวรภัทร และคณะ ซึ่งทำการศึกษการแยกน้ำออกจากเอทานอลด้วยกระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation process) โดยใช้ไคโตซานซึ่งเป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาตินำมาทำเป็นเยื่อเลือกผ่านผสมกับซีโอไลต์ซีเดียมเอ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยก พบว่าขนาดของซีโอไลต์ซีเดียมเอส่งผลต่อค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยก โดยศึกษาการเตรียมเยื่อเลือกผ่านใน 2 กรณีคือเยื่อเลือกผ่านที่ผ่านการอบและไม่อบ พบว่าเยื่อเลือกผ่านที่ผ่านการอบให้ค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกสูงกว่าเยื่อเลือกผ่านที่ไม่ผ่านการอบ ซึ่งอนุมานว่าเกิดจากการเชื่อมโยงที่ต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของการเชื่อมโยงที่มีต่อความสามารถและประสิทธิภาพในการแยกน้ำจากเอทานอลโดยใช้เยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ผสมซีโอไลต์ซีเดียมเอในกระบวนการซึมผ่านไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อเตรียมเยื่อเลือกผ่านโคโตซานผสมซีโอโลดิวไซด์เดี่ยวที่มีการเชื่อมโยงที่ต่างกัน
- 2) เพื่อให้ทราบผลของการเชื่อมโยงที่มีต่อความสามารถและประสิทธิภาพการแยกน้ำจากเอทานอลในกระบวนการซีมผ่านไอ

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1) สังเคราะห์ซีโอโลดิวไซด์เดี่ยวที่มีขนาดอนุภาค 0.5 – 0.6 ไมโครเมตร เพื่อใช้ผสมกับโคโตซานในการเตรียมเยื่อเลือกผ่าน
- 2) เตรียมเยื่อเลือกผ่านโคโตซานผสมซีโอโลดิวไซด์เดี่ยวที่มีการเชื่อมโยงต่างกันโดยใช้กลูตารอลดีไฮด์ในปริมาณ 0.05-0.1 % (w/w)
- 3) พิสูจน์เอกลักษณ์ของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานผสมซีโอโลดิวไซด์เดี่ยวที่มีการเชื่อมโยงที่ต่างกัน
- 4) ทดสอบประสิทธิภาพในการแยกน้ำจากเอทานอล 95 % ของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานผสมซีโอโลดิวไซด์เดี่ยวด้วยกระบวนการซีมผ่านไอ

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถปรับปรุงเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่ผสมซีโอโลดิวไซด์เดี่ยวเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากเอทานอล
- 2) ได้แนวทางการผลิตเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูงเพื่อนำไปใช้ในการผลิตแก๊สโซฮอลล์
- 3) เพิ่มคุณค่าและแนวทางการนำโคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งและกระดองปู ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 แก๊สเอทานอล [2]

แก๊สเอทานอล คือส่วนผสมของน้ำมันเบนซินกับเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5%(Absolute Ethanol) ซึ่งเอทานอลสามารถผลิตได้จากพืชที่ปลูกในประเทศ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง รวมทั้งธัญพืช เช่น ข้าวฟ่าง ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น ปัจจุบันประเทศไทยโดยกระทรวงพลังงานอนุญาตให้มีการผลิตแก๊สเอทานอล 2 ชนิด คือแก๊สเอทานอล 95 และ แก๊สเอทานอล 91 โดยมีส่วนผสมของเอทานอลไม่เกินร้อยละ 10 และไม่ต่ำกว่าร้อยละ 9 สามารถใช้แทนหรือสลับกับน้ำมันเบนซิน 95 และ 91 ได้ตามปกติโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ นอกจากนี้แก๊สเอทานอลยังเป็นพลังงานสะอาด จึงปล่อยมลพิษทางท่อไอเสียต่ำกว่าเบนซินทั่วไป ดังนั้นการที่เราเติมน้ำมันแก๊สเอทานอล จึงเป็นการช่วยชาติในการลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิง ใช้ทรัพยากรในประเทศมากขึ้นรวมทั้งช่วยลดมลพิษไอเสียทางอากาศและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

#### 2.1.1 การผลิตเอทานอล [3]

เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการหมักพืช เพื่อเปลี่ยนแป้งจากพืชเป็นน้ำตาลแล้วเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ โดยแอลกอฮอล์ที่ได้จากการกลั่นมีความบริสุทธิ์ 95% แต่ไม่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ทั้งนี้เอทานอลที่นำไปผสมในน้ำมันเพื่อใช้เติมเครื่องยนต์ต้องเป็นแอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ตั้งแต่ 99.5% โดยปริมาตร

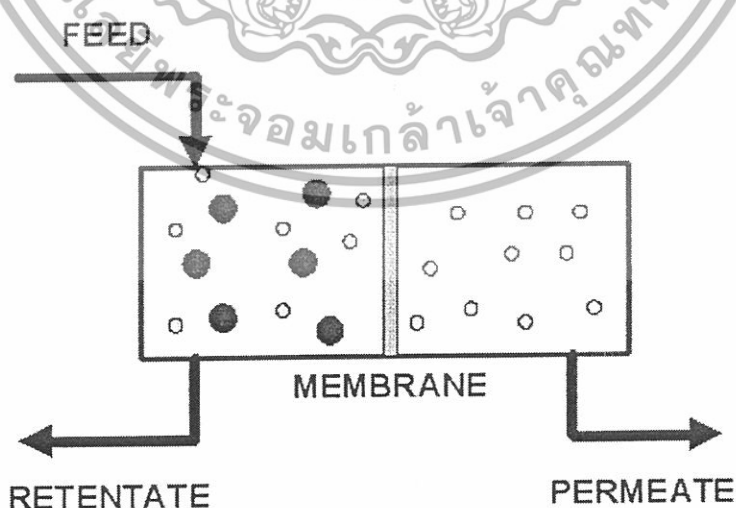
กระบวนการผลิตเอทานอลประกอบด้วย กระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล กระบวนการหมัก และการแยกผลิตภัณฑ์เอทานอลและการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบนั้น หากเป็นประเภทแป้งหรือเซลลูโลส เช่น มันสำปะหลังและธัญพืช จะต้องนำไปผ่านกระบวนการย่อยแป้งหรือเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลก่อนด้วยการใช้กรดหรือเอนไซม์ ส่วนวัตถุดิบประเภทน้ำตาล เช่น กากน้ำตาลหรือน้ำอ้อย เมื่อปรับความเข้มข้นให้เหมาะสมแล้วสามารถนำไปหมักได้ ในกระบวนการหมักจะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ยีสต์ การเลือกใช้นิตของเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับวัตถุดิบที่นำมาหมัก จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหมัก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักคือ เอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8-12 โดยปริมาตร น้ำหมักที่ได้จากกระบวนการหมัก จะนำมาแยกเอทานอลออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้กระบวนการกลั่นลำดับส่วน ซึ่งสามารถแยกเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 95 โดยปริมาตร จากนั้นจึงเข้าสู่กรรมวิธีในการแยกน้ำโดยการดูดซับ (Adsorption separation) เอทานอลที่ความบริสุทธิ์ร้อยละ 95 จะผ่านเข้าไปในหอดูดซับที่บรรจุตัวดูดซับประเภทซีโอไลต์ โมเลกุลของเอทานอลจะไหลผ่านช่องว่างของซีโอไลต์ออกไปได้ แต่โมเลกุลของน้ำจะถูกดูดซับไว้ ทำให้เอทานอลที่ไหลออกไปมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 ส่วนซีโอไลต์ที่ดูดซับน้ำไว้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยการไล่น้ำออก เอทานอลความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 สามารถนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อใช้ในรถยนต์เครื่องยนต์เบนซินได้

## 2.2 การแยกสารด้วยเยื่อเลือกผ่าน [4]

เยื่อเลือกผ่านเป็นตัวกลางขวางกั้น ระหว่างเฟสของไหล 2 เฟส ที่มีสมบัติยอมให้สารบางชนิดผ่านได้ การแยกตัวด้วยเยื่อเลือกผ่านมีหลักการดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยมีสารป้อน (Feed) เข้าทางด้านหนึ่งของเยื่อเลือกผ่าน ส่วนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้ เรียกว่า เพอร์มิเอต (Permeate) และส่วนของสารป้อนที่ไม่สามารถผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้ เรียกว่า รีเทนเตต (Retentate) แรงขับ (Driving force) ที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวล ได้แก่ ความดัน ความเข้มข้น แรงเคลื่อนที่ไฟฟ้า เป็นต้น โดยทั่วไปวัสดุที่นำมาทำเป็นเยื่อเลือกผ่านอาจเป็นพอลิเมอร์ เซรามิกส์ (เช่น อะลูมินา ไททาเนีย หรือ เซอร์โคเนีย เป็นต้น) โลหะ (เช่น แพลลาเดียม หรือ เงิน เป็นต้น)



รูปที่ 2.1 หลักการของเทคโนโลยีการแยกตัวด้วยเยื่อเลือกผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะที่ดีของเยื่อเลือกผ่านควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

- 1) มีค่าฟลักซ์และค่าการเลือกผ่านสูง
- 2) มีความแข็งแรงเชิงกล
- 3) มีแนวโน้มการสะสมสารที่ผิวเยื่อเลือกผ่านต่ำ
- 4) ทนต่อสารเคมีและความร้อนภายใต้สภาวะการดำเนินการ

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน ได้แก่ การผลิตน้ำดื่มทั้งจากน้ำจืดผิวดินและน้ำเค็ม การแยกแก๊สเพื่อผลิตใช้ในอุตสาหกรรมหรือแยกแก๊สออกซิเจนออกจากอากาศเพื่อใช้ในกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ การแยกอนุภาคของแข็งขนาดเล็กจากสารแขวนลอย การบำบัดแก๊สทิ้งในอุตสาหกรรม การแยกน้ำออกจากเอทานอล และการทำไดอะลิซิสในผู้ป่วยโรคไต เป็นต้น

## 2.2.1 ประเภทของกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน

ลักษณะของกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่านแต่ละประเภท แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประเภทของกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน

กระบวนการ	สารป้อน	เพอร์มิเอต	แรงขับ
ไมโครฟิลเตรชัน	ของเหลว	ของเหลว	ความดัน
อัลตราฟิลเตรชัน	ของเหลว	ของเหลว	ความดัน
นาโนฟิลเตรชัน	ของเหลว	ของเหลว	ความดัน
ออสโมซิสผันกลับ	ของเหลว	ของเหลว	ความดัน
เพอแวกพอเรชัน	ของเหลว	ไอ	ความดันย่อย
เยื่อเลือกผ่านแลกเปลี่ยนไอออน	ของเหลว $[H^+(H_2O)_n]$	ของเหลว หรือ $[H^+(H_2O)_n]$	แรงเคลื่อนไฟฟ้า
แยกแก๊สด้วยเยื่อเลือกผ่าน	ไอ	ไอ	ความดันย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าเยื่อเลือกผ่านในกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน กระบวนการอุลตราฟิลเตรชัน และกระบวนการนาโนฟิลเตรชัน มีขนาดรูพรุนระดับ Macropores (>50 nm) Mesopores (2-50 nm) และ Micropores (<2 nm) ตามลำดับ ตามการแบ่งประเภทของ IUPAC (The International Union of Pure and Applied Chemistry) อนุภาคหรือโมเลกุลสารที่มีขนาดใหญ่กว่ารูที่มีขนาดใหญ่ที่สุดจะถูกกันออกไปทั้งหมด อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูที่มีขนาดใหญ่ที่สุดแต่ใหญ่กว่ารูที่มีขนาดเล็กที่สุด อนุภาคนี้สามารถผ่านออกไปเพียงบางส่วนตามการกระจายของขนาดรูเยื่อเลือกผ่าน (Pore size distribution) ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูที่เล็กที่สุดจะสามารถผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้ ดังนั้นหลักการแยกสารโดยใช้เยื่อเลือกผ่านมีรูพรุนจึงเป็นการคัดขนาดโมเลกุลสารหรืออนุภาคที่ขนาดที่แตกต่างกัน

เยื่อเลือกผ่านที่ใช้ในกระบวนการเพอแวนพอเรชัน และกระบวนการแยกแก๊สด้วยเยื่อเลือกผ่าน มีขนาดรูพรุนน้อยกว่า 20 อังสตรอม ซึ่งไม่สามารถเห็นรูพรุนบนเยื่อเลือกผ่านได้ด้วยเทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) กล่าวคือ จะเห็นเยื่อเลือกผ่านเป็นเนื้อแน่น (Dense membrane) การแยกที่เกิดขึ้นเป็นกลไกหนึ่งที่เรียกว่า “กลไกการละลาย-การแพร่ (Solution-diffusion)” โมเลกุลสารที่มีขนาดเท่ากันสามารถแยกออกจากกันได้เนื่องจากมีสภาพละลายได้ (Solubility) ในเนื้อเยื่อเลือกผ่านและสภาพการแพร่ (Diffusivity) ภายใต้แรงขับเคลื่อนของความดัน ความเข้มข้น หรือความแตกต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้า เยื่อเลือกผ่านที่ใช้กระบวนการออสโมซิสผันกลับมี 2 ลักษณะคือ เยื่อเลือกผ่านมีรูพรุนขนาด 5-20 อังสตรอมกับเยื่อเลือกผ่านเนื้อแน่นขึ้นกับการประยุกต์ใช้งาน

ตารางที่ 2.2 การแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน

กระบวนการ	ขนาดรู (อังสตรอม)	กลไกการแยก
ไมโครฟิลเตรชัน	500-20,000	การคัดขนาด
อุลตราฟิลเตรชัน	30-1,0000	การคัดขนาด
นาโนฟิลเตรชัน	10-50	การคัดขนาด
เพอแวนพอเรชัน	< 5	การละลาย-การแพร่
แยกแก๊สด้วยเยื่อเลือกผ่าน	< 5	การละลาย-การแพร่
ออสโมซิสผันกลับ	5-20	การคัดขนาด
	< 5	การละลาย-การแพร่

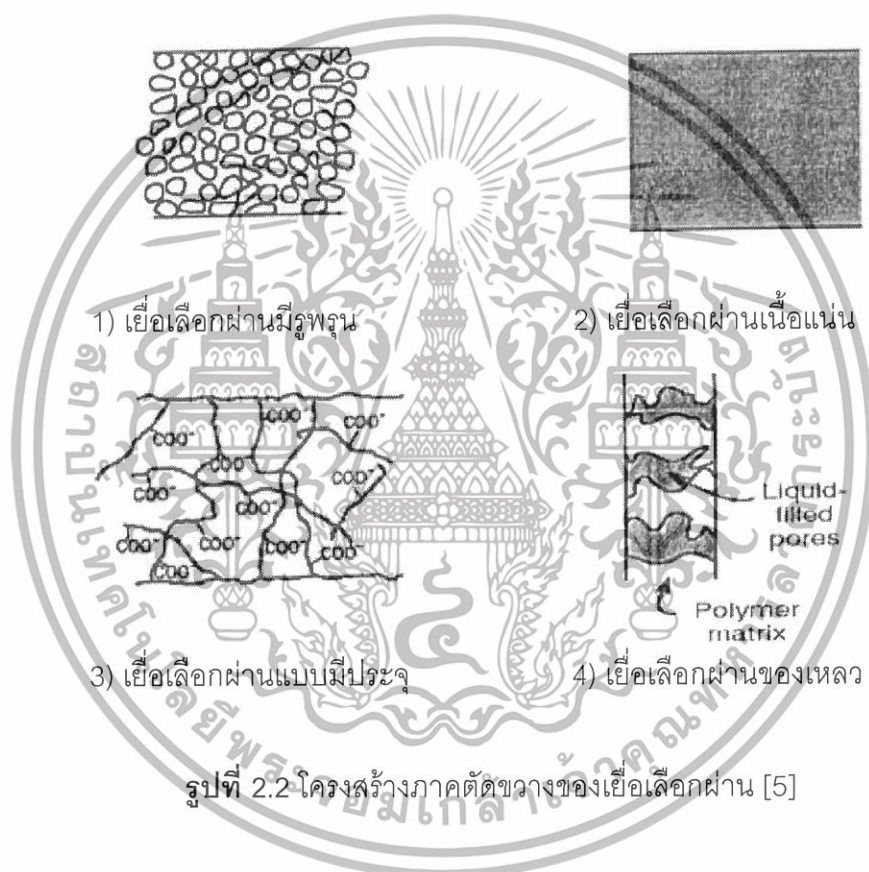
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 โครงสร้างของเยื่อเลือกผ่านสังเคราะห์

เยื่อเลือกผ่านสังเคราะห์สามารถแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ดังนี้

- 1) เยื่อเลือกผ่านมีรูพรุน (Porous membrane)
- 2) เยื่อเลือกผ่านเนื้อแน่น (Dense membrane)
- 3) เยื่อเลือกผ่านแบบมีประจุ (Electrically charged membrane)
- 4) เยื่อเลือกผ่านของเหลว (Liquid membrane) เป็นเยื่อเลือกผ่านที่ใช้

Liquid carrier ทำหน้าที่คัดเลือกสารหรือองค์ประกอบ



## 2.2.3 ประเภทของเยื่อเลือกผ่านสังเคราะห์

1. เยื่อเลือกผ่านอินทรีย์ ส่วนใหญ่สังเคราะห์มาจากพอลิเมอร์ โดยพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่นำมาทำเป็นเยื่อเลือกผ่านแบ่งเป็น 3 ประเภทหลัก คือ

1) เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ทั้งแบบมีโครงสร้างเป็นสายโซ่เชิงเส้น สายโซ่กิ่ง หรือโครงสร้างเชื่อมโยง

2) พอลิเมอร์คล้ายยาง (Rubber polymer)

3) เทอร์โมเซตติง (Thermosetting) ทั้งแบบมีโครงสร้างเป็นสายโซ่เชิงเส้น สายโซ่กิ่ง หรือโครงสร้างเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะทางโครงสร้างของพอลิเมอร์ ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) ความโค้งงอของสายโซ่ (Chain flexibility) มีผลต่อสมบัติของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ในด้านเสถียรภาพทางเคมีและเสถียรภาพทางความร้อน (Chemical and thermal stability) ความแข็งแรงของเยื่อเลือกผ่าน (Membrane strength) ค่าการซึมผ่านได้/เปอร์เซ็นต์การคัดสรรของเยื่อเลือกผ่าน (Membrane permeability/selectivity) และค่าการนำไฟฟ้าของเยื่อเลือกผ่าน (Membrane conduction) ดังนั้นจึงมีความสำคัญต้องเลือกชนิดของพอลิเมอร์ให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน

สมบัติของพอลิเมอร์ที่ต้องคำนึงถึงสำหรับเยื่อเลือกผ่าน ได้แก่

- 1) ความแข็งแรงเชิงกลของฟิล์มพอลิเมอร์ ได้แก่ ความแข็งแรงของฟิล์ม ความสามารถในการโค้งงอของฟิล์ม ความต้านทานต่อการอัดแน่น
- 2) การมีเสถียรภาพต่อปฏิกิริยาเคมี และปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- 3) การมีเสถียรภาพต่อความร้อน
- 4) ความชอบน้ำ/ความสามารถเปียกน้ำได้ (Hydrophilicity/Wettability)
- 5) ลักษณะการดูดซับ (Absorption characteristics) ซึ่งมีผลต่อการเสถียรภาพของเยื่อเลือกผ่าน (Fouling)
- 6) ลักษณะสัณฐานวิทยา (Morphology) และช่วงขนาดรูพรุน
- 7) การมีเสถียรภาพต่อตัวทำละลายต่างๆ ซึ่งขึ้นกับความเป็นผลึก และพันธะไฮโดรเจน

ประสิทธิภาพในการแยกของเยื่อเลือกผ่านขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังนี้

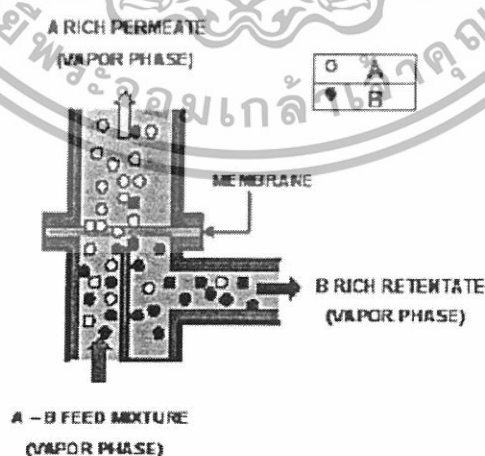
- 1) ระยะระหว่างสายโซ่ (Interaction distance) หรือปริมาตรอิสระของพอลิเมอร์ (Polymer free volume) ซึ่งมีผลต่อค่าการซึมผ่านได้ของแก๊ส
- 2) อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature;  $T_g$ ) ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดว่าพอลิเมอร์มีลักษณะทางกายภาพแข็งคล้ายแก้ว (Glassy state) หรือมีลักษณะอ่อนนิ่มยืดหยุ่นคล้ายยาง (Rubbery state)
- 3) องศาความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสารเกิดขึ้นผ่านส่วนที่เป็นพอลิเมอร์อสัณฐานนั้น
- 4) อันตรกิริยาของสายโซ่ (Chain interaction) หรือความชอบน้ำ (Hydrophilicity)
- 5) การเชื่อมโยง (Crosslinking)
- 6) การบวม (Swellability)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์ โดยทั่วไปเยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์มีราคาแพงกว่าเยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์ แต่เยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์มีข้อดีกว่าในเรื่องการมีเสถียรภาพต่อความร้อน ตัวทำละลาย การมีโครงสร้างรูพรุนที่คงที่แน่นอน และสามารถผ่านเข้ากระบวนการฆ่าเชื้อโรค การประยุกต์ใช้เยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์แบบเนื้อแน่นที่สำคัญ คือการแยกแก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์ และการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจน อย่างไรก็ตามเยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์แบบเนื้อแน่นไม่แพร่หลายในเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากให้ค่าการแพร่ซึมต่ำ ตลาดของเยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์จึงเป็นเยื่อเลือกผ่านประเภทมีรูพรุน เยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์แบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก คือ เยื่อเลือกผ่านโลหะ (Metal membrane) เยื่อเลือกผ่านเซรามิกส์ (Ceramics membrane) เยื่อเลือกผ่านคาร์บอน (Carbon membrane) และเยื่อเลือกผ่านซีโอไลต์ (Zeolite membrane)

### 2.3 กระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation process)

กระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation process) เป็นกระบวนการแยกไอผสมที่มีหลายองค์ประกอบผ่านเยื่อเลือกผ่าน (รูปที่ 2.3) ซึ่งจะผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้นิ่งหรือมากกว่าหนึ่งองค์ประกอบ ไอของของผสมจะป้อนเข้าทางด้านป้อนของเยื่อเลือกผ่าน และส่วนที่ผ่านออกทางด้านขาออกของเยื่อเลือกผ่านในรูปของไอเรียกว่า เพอร์มิเอต (Permeate) โดยมีการควบคุมความดันไอ (Vapor pressure) ด้านเพอร์มิเอตให้ต่ำโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) หรือใช้แก๊สเฉื่อยเป็นตัวพาเพอร์มิเอตออกไป หรือการทำให้ควบแน่นบนผิวที่เย็น



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงกระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation process)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เยื่อเลือกผ่านที่ใช้ในระบบการซึมผ่านไอน้ำแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ เยื่อเลือกผ่านที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และเยื่อเลือกผ่านที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) โดยส่วนมากเป็นเยื่อเลือกผ่านจากพอลิเมอร์ การประยุกต์ใช้ระบบการซึมผ่านไอน้ำมากที่สุด คือการกำจัดน้ำออกจากตัวทำละลายอินทรีย์ด้วยเยื่อเลือกผ่านชอบน้ำ ตัวอย่างเช่น การกำจัดน้ำออกจากเอทานอล โดยถ้าปริมาณเอทานอลในสารป้อนสูง จะใช้เยื่อเลือกผ่านชอบน้ำ เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinylalcohol; PVA) แต่ถ้าปริมาณเอทานอลในสารป้อนต่ำ นิยมใช้เยื่อเลือกผ่านไม่ชอบน้ำ เช่น พอลิไดเมทิลซิลอกเซน (Polydimethyl siloxane; PDMS) เพื่อดึงเอทานอลออกจากน้ำ

### 2.3.1 กลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน

กลไกการถ่ายโอนมวลของสารในระบบการซึมผ่านไอน้ำ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ การแพร่ของโมเลกุลเข้าสู่ผิวเยื่อเลือกผ่าน การดูดซับที่ผิวเยื่อเลือกผ่าน การแพร่ของโมเลกุลภายในเยื่อเลือกผ่าน การคายซับ การแพร่ของโมเลกุลจากผิวเยื่อเลือกผ่าน (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงกลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน

#### 1) การแพร่ของโมเลกุลเข้าสู่ผิวเยื่อเลือกผ่าน

ในระบบการซึมผ่านไอน้ำโมเลกุลแต่ละองค์ประกอบจะแพร่เข้าสู่บริเวณผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่านโดยอัตราการแพร่จะขึ้นอยู่กับพลังงานจลน์ของโมเลกุล ชั้นนี้โมเลกุลยังไม่เกิดการแยก

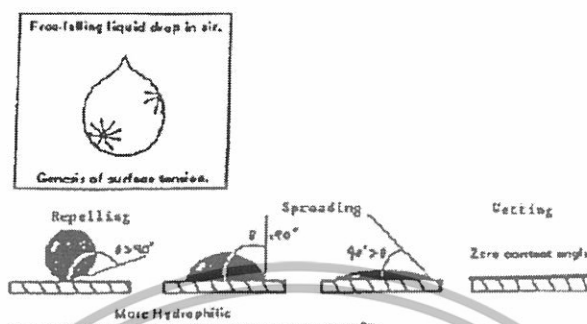
#### 2) การดูดซับที่ผิวหน้าเยื่อเลือกผ่าน

การดูดซับที่ผิวหน้าเยื่อเลือกผ่านเกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดอันตรกิริยา (Interaction)

ระหว่างสารที่ต้องการแยกกับเยื่อเลือกผ่าน อันตรกิริยาดังกล่าวขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น โมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) ระหว่างโมเลกุลของสารป้อนกับผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่าน ความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจน (H-bonds) ความชอบน้ำและความไม่ชอบน้ำ (Hydrophilicity and Hydrophobicity) โดยเมื่อเยื่อเลือกผ่านสัมผัสกับสาร เยื่อเลือกผ่านที่มีอันตรกิริยาที่ดีกับสารนั้น จะก่อให้เกิดการควบแน่นไอน้ำที่ผิวเยื่อเลือกผ่านและมุมสัมผัส (Contact angle) ที่เกิดขึ้นระหว่าง

ผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่านกับเส้นสัมผัสของเหลว มีค่าอยู่ระหว่าง 0-90 องศา โดยค่ามุมสัมผัสที่ต่ำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าแสดงว่าสามารถทำให้เยื่อเลือกผ่านดูดซับได้มากขึ้น เยื่อเลือกผ่านที่ไม่ชอบสารนั้นจะทำให้ค่ามุมสัมผัสมากกว่า 90 องศา ดังตัวอย่างการเปียกของผิววัสดุกับค่ามุมสัมผัส แสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 มุมสัมผัสกับการเปียกของผิววัสดุ [6]

### 3) การแพร่ของโมเลกุลภายในเยื่อเลือกผ่าน

เมื่อโมเลกุลของสารถูกดูดซับที่ผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่าน แล้วเกิดการแพร่ของโมเลกุลผ่านเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งการแพร่ของโมเลกุลขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างโมเลกุลของสารที่แพร่โดยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ หรือมีรูปร่างที่เล็กกว่าจะเกิดการแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านได้ดีกว่า การเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารกับเยื่อเลือกผ่าน จะทำให้เยื่อเลือกผ่านเกิดการบวมตัว มีผลทำให้อัตราการแพร่ของสารในเยื่อเลือกผ่านสูงขึ้น

### 4) การคายซับจากผิวเยื่อเลือกผ่าน

เมื่อโมเลกุลของสารเคลื่อนที่มาถึงอีกด้านหนึ่งของเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งสารอาจอยู่ในสถานะของแก๊สหรือของเหลวจะเกิดการเคลื่อนที่ออกจากเยื่อเลือกผ่าน ด้วยการพาของแก๊สหรือการใช้ปั๊มสุญญากาศ ทำให้เกิดการคายซับของสารที่ผิวเยื่อเลือกผ่าน

### 5) การแพร่ของโมเลกุลจากผิวเยื่อเลือกผ่าน

โมเลกุลของสารจะแพร่ออกจากบริเวณผิวของเยื่อเลือกผ่าน โดยการพาของแก๊สพาหรือการใช้ปั๊มสุญญากาศทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลออกจากเยื่อเลือกผ่าน

## 2.3.2 ประสิทธิภาพในการแยก

ค่าที่สำคัญซึ่งบอกถึงประสิทธิภาพของเยื่อเลือกผ่าน มี 2 ค่า คือ ฟลักซ์ (Flux) และค่าความสามารถในการแยก (Separation factor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ฟลักซ์ (Flux) คืออัตราการไหลของสารที่แพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน ถ้าค่าฟลักซ์มีค่าสูง แสดงว่ามีสารผ่านเยื่อเลือกผ่านจำนวนมาก ฟลักซ์หาได้จากน้ำหนักของสารที่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน ต่อเวลาต่อพื้นที่หน้าตัดของเยื่อเลือกผ่าน

$$\text{Flux} = \frac{(\text{g / hr})}{(\text{m}^2)}$$

2) ค่าความสามารถในการแยก (Separation Factor) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเฉพาะเจาะจงในการเลือกให้สารใดสารหนึ่งผ่านเยื่อเลือกผ่านได้ โดยหาได้จากสมการ

$$\text{Separation Factor} = \frac{Y_A / Y_B}{X_A / X_B}$$

$Y_A$  = สัดส่วนโมลของสาร A ที่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน

$Y_B$  = สัดส่วนโมลของสาร B ที่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน

$X_A$  = สัดส่วนโมลของสาร A ที่อยู่ในสารป้อน

$X_B$  = สัดส่วนโมลของสาร B ที่อยู่ในสารป้อน

### 2.3.3 ตัวแปรที่มีผลต่อการกระทำของกระบวนการซึมผ่านไอ [7]

#### 1) สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

การดูดซึมของตัวทำละลายจะเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสของเยื่อเลือกผ่าน สารป้อน ปริมาณการดูดซึมของตัวทำละลายแต่ละชนิดถูกกำหนดโดยสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์กับตัวทำละลาย โดยองค์ประกอบที่มีแรงกระทำมากทำให้สายโซ่พอลิเมอร์วมได้มาก แต่ถ้าแรงกระทำนี้สูงกว่าแรงดึงดูดระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ พอลิเมอร์จะถูกละลายในตัวทำละลายนั้น ในกระบวนการเยื่อเลือกผ่านพอลิเมอร์จะต้องคงรูปเป็นของแข็ง วัสดุที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสม เช่น พอลิเมอร์ที่มีโครงร่างแห กราฟโคพอลิเมอร์ (graft copolymer) หรือการผสมวัสดุเฉื่อยในพอลิเมอร์หลัก การพองตัวมากหรือน้อยของพอลิเมอร์ขึ้นกับปัจจัยหลัก 2 อย่าง คือ องค์ประกอบเป็นตัวทำละลายที่ดีของพอลิเมอร์หรือไม่ และความยืดหยุ่นของสายโซ่พอลิเมอร์ ซึ่งจะมีแรงต้านการพองตัวมากหรือน้อย

การซึมผ่านของเยื่อเลือกผ่านด้วยอัตราที่แตกต่างกันของแต่ละองค์ประกอบ ทำให้เกิดความสามารถในการแยก ซึ่งเป็นผลจากความแตกต่างของการดูดซึมหรือการแพร่ หรืออาจเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทั้งสองปรากฏการณ์นี้ขึ้นกับสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของระบบ ระบบที่มีตัวทำละลาย มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกัน การดูดซึมที่ต่างกันจะเป็นผลให้เกิดค่าความสามารถในการแยก การแพร่ทำให้เกิดค่าความสามารถในการแยกเมื่อขนาดและรูปร่างของโมเลกุลต่างกันมาก ๆ

## 2) ความหนาของเยื่อผ่าน

พลั๊กซ์ของสารเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของเยื่อเลือกผ่าน เยื่อเลือกผ่านที่บางจะให้พลั๊กซ์สูง ในระบบสารผสม การเพิ่มขึ้นของค่าพลั๊กซ์ของทุกองค์ประกอบจะมีผลให้ค่าความสามารถในการแยกลดลง แรงกระทำระหว่างตัวทำละลายจะเป็นตัวกำหนดความหนาต่ำสุดที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติ เพื่อจะรักษาค่าความสามารถในการแยก เยื่อเลือกผ่านที่บางมากๆ จะทำให้ความต้านทานการแพร่ของเยื่อเลือกผ่านลดลง ตัวทำละลายจะแพร่ออกมาได้มาก พลั๊กซ์ที่สูงทำให้รักษาความดันด้านเพอร์มิเอตให้ต่ำได้ยาก

## 3) ความเข้มข้นของสารป้อน

ความเข้มข้นของสารป้อน หมายถึง ความเข้มข้นของสารที่ซึมผ่านได้มากกว่า ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการดูดซึมที่ผิวสัมผัสเยื่อเลือกผ่านสารป้อน แอคติวิตี (activity) ของสารจะเปลี่ยนแปลงมากหรือน้อยตามการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสาร ซึ่งขึ้นกับธรรมชาติของสารผสม

## 4) อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อทุกขั้นตอนการถ่ายเทมวลในกระบวนการซึมผ่านไอ โดยอุณหภูมิจะมีผลต่อพลั๊กซ์ของการซึมผ่าน สัมประสิทธิ์การแพร่ และสัมประสิทธิ์การกระจายพลั๊กซ์รวมและพลั๊กซ์ของแต่ละองค์ประกอบจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าการเลือกขึ้นกับพลังงานกระตุ้นของการซึมผ่านของสารที่ซึมผ่าน ถ้าสารที่ซึมผ่านได้เร็วจะมีพลังงานกระตุ้นของการซึมผ่านสูงกว่า ทำให้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลทำให้ค่าความสามารถในการแยกลดลง

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้พลั๊กซ์เพิ่มขึ้น และมักทำให้ค่าความสามารถในการแยกลดลง อุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการซึมผ่านไอเป็นอย่างมากเพราะมีการกลายเป็นไอของเพอร์มิเอต ความร้อนที่ใช้ในการกลายเป็นไอมาจากการป้อน ถ้าให้ความร้อนแก่ระบบไม่เพียงพอ อุณหภูมิของของเหลวจะลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้าพลั๊กซ์มีค่ามาก อุณหภูมิก็จะลดลงมาก

## 5) ความดันเพอร์มิเอต

ความดันเพอร์มิเอต คือความดันรวมของไอที่สัมผัสเยื่อเลือกผ่าน เป็นผลลัพธ์จากไอของสารที่ซึมผ่านกับไอที่ถูกดึงไปยังปั๊มสุญญากาศ การเพิ่มความดันด้านเพอร์มิเอต จะลดแรงขับของการถ่ายเทมวลทำให้พลั๊กซ์ของสารลดลง การใช้ปั๊มสุญญากาศที่มีกำลังมากความดันเพอร์มิเอต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีค่าน้อย เยื่อเลือกผ่านด้านเพอร์มิเอตจะไม่มีกรพองตัว ค่าการเลือกสูงแต่ค่าใช้จ่ายก็สูงด้วย ในบางระบบ อาจเกิดการอิมิตัวของไอขององค์ประกอบหนึ่งในเพอร์มิเอต องค์ประกอบนี้จะเกิดการถ่ายเทได้น้อย องค์ประกอบอื่นๆที่แรงขับจะมีฟลักซ์สูงขึ้น ค่าการเลือกจะลดลงอย่างรวดเร็ว พฤติกรรมนี้จะเกิดกับเยื่อเลือกผ่านที่ยอมให้สารระเหยง่ายผ่านได้ดีมาก

## 2.4 ไคตินและไคโตซาน [9]

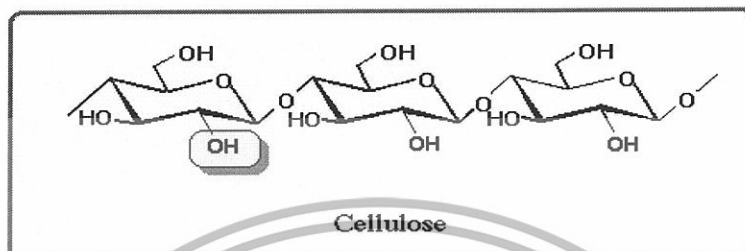
ไคติน (Chitin) เป็นพอลิเมอร์ที่ธรรมชาติสร้างจากองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตมากมายในหลายรูปแบบ ไคตินได้รับการค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1811 โดย Odier คำว่า ไคติน (Chitin) มาจากคำว่า Chiton ในภาษากรีก ซึ่งมีความหมายว่าเกราะหุ้ม ไคติน (รูปที่ 2.7) เป็นพอลิเมอร์ที่มีมากที่สุดในโลกเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (Cellulose) (รูปที่ 2.6) พอลิเมอร์ทั้งสองนี้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ยังอาจพบในผนังเซลล์ของเห็ดและสาหร่ายบางพันธุ์ เนื่องจากไคตินเป็นสารธรรมชาติจึงพบอยู่ในรูปของสารประกอบที่ปนอยู่กับสารอื่น เช่น เปลือกหุ้มแข็งของแมลงจะประกอบด้วยไคตินในรูปของไคตินโปรตีน (Chitin-protein complex) ขณะที่เปลือกนอกของพวกกุ้งปู จะพบหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนต ไคโตซาน (รูปที่ 2.8) เป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซีทิล (Deacetylation) ของไคติน ไคโตซานถูกพบครั้งแรกโดยบังเอิญในปี ค.ศ. 1859 โดย Rouget ได้ต้มไคตินในสารละลายไฮดรอกไซด์เข้มข้น

### 2.4.1 โครงสร้างเคมีของไคตินและไคโตซาน

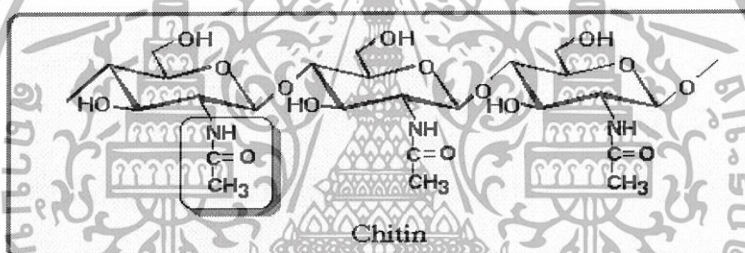
ไคติน มีชื่อทางเคมีว่า Poly [ $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucopyranose] เป็นสารชีวภาพที่มีโครงสร้างคล้ายกับเซลลูโลส แต่จะต่างกันที่ตำแหน่ง C-2 โดยเซลลูโลสจะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล ส่วนไคตินจะประกอบด้วยหมู่อะซีตามิโด (acetamido group) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ ไคตินไม่สามารถละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วและไม่มีขั้ว โดยทั่วไปมักพบไคตินในผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เห็ด รา รวมทั้งเปลือกของแมลงและสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังประเภทมีข้อและปล้อง อาทิ กุ้ง ปู และแกนปลาหมึก

ไคโตซาน หรืออนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซีทิลของไคติน หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยา deacetylation โดยแช่ไคตินในสารละลายด่างเข้มข้น ซึ่งไคโตซานที่ได้นี้ มีชื่อทางเคมีว่า poly [ $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose] เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถ

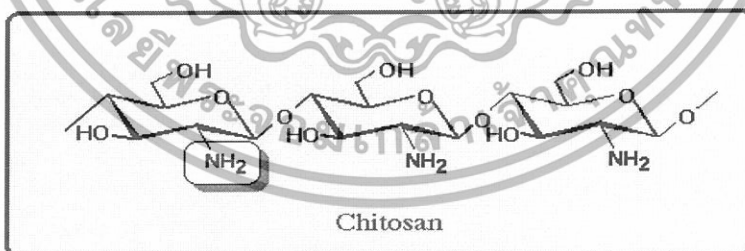
ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์เกือบทั้งหมดและน้ำที่มีค่า pH เป็นกลางหรือด่าง แต่สามารถละลายในกรดอ่อน โครงสร้างของไคโตซานแสดงไว้ในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส [10]



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของไคติน [10]



รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน [10]

## 2.4.2 สมบัติทางเคมีของไคตินและไคโตซาน

### 1) สมบัติทางเคมี

ไคติน-ไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่าง N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนของ N-acetyl-D-glucosamine มากกว่า คือมีองค์การดีอะซีทิลเลชัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Degree of deacetylation; DD) ต่ำจะแสดงสมบัติเด่นของไคติน แต่ถ้าสัดส่วนของ D-glucosamine มากกว่า คือมีค่า DD สูง จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

ไคตินในธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า  $1 \times 10^6$  กรัมต่อโมล ส่วนไคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง  $1 \times 10^5$  ถึง  $1 \times 10^6$  กรัมต่อโมล เมื่อไคตินและไคโตซานเกิดการสลายของสายโซ่โมเลกุลโดยกรดหรือด่าง ทำให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์หรือโอลิโกแซคคาไรด์ โดยไคตินสามารถต้านทานต่อการเสื่อมสลายโดยกรดได้ดีกว่าไคโตซาน การใช้งานไคโตซานสามารถปรับปรุงได้โดยใช้สารเชื่อมโยง (Crosslink agents) ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนโครงสร้างของไคโตซานสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ (รูปที่ 2.9) ที่มีความทนทานต่อกรด ด่าง และสารเคมีอื่นได้ดี สารเชื่อมโยงที่สามารถใช้ได้กับไคโตซาน ได้แก่ กลูตารอลดีไฮด์ (Glutaraldehyde; GA) กลูตาริกไดอัลดีไฮด์ (Glutaric dialdehyde; GDI) อีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) ไดเอทิลสควาเรต (Diethyl squarate; DES) เอทิลีนไกลคอลไกลิไซด์อีเทอร์ (Ethylene glycol glycidyl ether; EGDE)



รูปที่ 2.9 โครงสร้างไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ [11]

## 2) สมบัติทางกายภาพ

ไคตินไคโตซานมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน ไคตินไม่ละลายในน้ำ กรดเจือจาง ด่างเจือจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอื่นๆ แต่สามารถละลายในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก กรดฟอร์มิก ความยากในการละลายเป็นผลมาจากสายโซ่โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่น พันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลเนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันต่างกัน ไคโตซานไม่ละลายน้ำ ด่างและตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) แต่สามารถละลายกรดอินทรีย์ทุกชนิด กรดอะซิติก และกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลาย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โคโตซาน กรดอนินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริกเข้มข้น กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และ กรดฟอสฟอริก สามารถละลายโคโตซานได้เช่นเดียวกันภายใต้การคนโดยทำการละลายที่ อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น สารละลาย โคโตซานมีความเหนียวใสมีพฤติกรรมแบบนอนนิวโตเนียน ความหนืดของสารละลายโคโตซาน ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ionic strength (DD) น้ำหนักโมเลกุล ความเป็นกรด ต่าง อุณหภูมิ และความแรงของพันธะไอออนิก (ionic strength) โดยทั่วไปแล้วความหนืดของ สารละลายพอลิเมอร์ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ชนิดของกรดที่ใช้ และการเปลี่ยนแปลง pH ของ สารละลายพอลิเมอร์มีผลต่อความหนืด เช่น ความหนืดของโคโตซานในกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นเมื่อ สารละลายมี pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของโคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของ สารละลายเพิ่มขึ้น

### 2.4.3 ประโยชน์ของโคตินและโคโตซาน

ปัจจุบันได้มีการค้นคว้าและวิจัยนำโคตินและโคโตซานไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย สามารถสรุปได้ดังนี้

#### 1) วัสดุทางการแพทย์

เนื่องจากโคตินและโคโตซานเป็นสารธรรมชาติ ดังนั้นร่างกายมนุษย์มักจะไม่ทำการต่อต้าน นอกจากนี้โคตินและโคโตซานยังสามารถป้องกันการติดเชื้อ ซึ่งข้อดีต่างๆนี้เองจึงสามารถ นำโคตินและโคโตซานมาใช้งานในส่วนของวัสดุทางการแพทย์ได้อย่างมากมาย เช่น วัสดุตกแต่ง แผล ตัวควบคุมการปลดปล่อยยา ผิวหนังเทียม เป็นต้น

#### 2) อาหารและเครื่องดื่ม

โคตินและโคโตซานเป็นอาหารเสริม (Nutritional additives) ที่ไม่ให้พลังงานและไม่มีการ ดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นจึงมีการนำไปใช้ในอาหารสำหรับควบคุมน้ำหนัก (Diet food) อีกทั้ง โคติน และโคโตซานยังมีสมบัติเป็น barrier จึงมีการนำมาใช้ในเรื่องบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร ตัวอย่างการนำโคตินและโคโตซานไปใช้ในด้านนี้ คือ food stabilizer สารเติมแต่งในอาหาร อาหารเสริมควบคุมน้ำหนัก การถนอมรักษาอาหาร บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เป็นต้น

#### 3) การเกษตร

การนำสารโคตินโคโตซานมาใช้ในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรทั้งพืชและสัตว์ได้เกิดขึ้น อย่างแพร่หลายเนื่องจากการใช้โคตินและโคโตซานให้ผลดีในแง่ของการเป็นสารธรรมชาติที่ช่วยลดความเสี่ยงของเกษตรกรและผู้บริโภคต่อการได้รับสารพิษจากปุ๋ยและยาปราบศัตรูพืช พร้อมทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 167828 ของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีจุดเด่นที่สามารถช่วยเพิ่มผลผลิต ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาพืชผลทางการเกษตร รวมถึงสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้และปลอดภัยต่อสภาพแวดล้อม การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตซานทางด้านการเกษตร สามารถนำไปใช้ได้เกือบทุกขั้นตอน

#### 4) เครื่องสำอาง

ไคตินและไคโตซานถูกใช้เป็นสารทำให้ข้น (Thickening agent) และสารเติมแต่ง (Additive) ในผลิตภัณฑ์ประเภท hair care, skin care และ oral care

#### 5) การบำบัดน้ำเสีย

ในการบำบัดน้ำเสียอาศัยสมบัติความเป็น Polyelectrolyte และความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนักของไคโตซานเพื่อใช้ในกระบวนการ recoveries ของโลหะซึ่งสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียในสระว่ายน้ำ ในโรงงานอุตสาหกรรม

#### 6) ด้านเส้นใยและสิ่งทอ

จากการสำรวจงานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ไคติน-ไคโตซานทางด้านเส้นใยและสิ่งทอพบว่า สามารถใช้ผลิตเป็นเส้นใยและเส้นด้าย ใช้เป็นสารตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ นอกจากนี้ยังได้พัฒนาสารตกแต่งเพื่อป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความไวและสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับเส้นใย ใช้เป็นสารช่วยในกระบวนการสิ่งทอ ใช้เป็นสารเติมแต่งในกระบวนการผลิตกระดาษ

#### 7) ด้านเภสัชกรรม

มีรายงานการใช้ไคโตซานเพื่อควบคุมการปลดปล่อยตัวยาล้ำค่า

#### 8) ด้านการปศุสัตว์

ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกันและลดการติดเชื้อทำให้น้ำหนักตัวของสัตว์เพิ่มขึ้น

#### 9) การแยกสาร

ไคตินและไคโตซานในรูปแบบต่างๆ เช่น เยื่อเลือกผ่าน (Membrane) ผง และสารละลายถูกนำไปใช้พัฒนาเป็นเยื่อเลือกผ่านในการแยกและใช้เป็นวัฏภาคคงที่ (Stationary phase) ในงานวิเคราะห์ทางโครมาโทกราฟี

## 2.5 ซีโอไลต์ [14]

ซีโอไลต์ คือสารประกอบจำพวกอะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) ที่มีโครงสร้างเป็นผลึก รูปทรงแบบสามมิติ ประกอบด้วยทรงเหลี่ยมสี่หน้าของซิลิเกต  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  และอะลูมิเนต  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  ซึ่งอะตอมของโลหะที่เป็นโครงสร้างหลักนี้รวมเรียกว่า T-อะตอม (T-Atom) ส่วนโครงสร้างทรงเหลี่ยมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

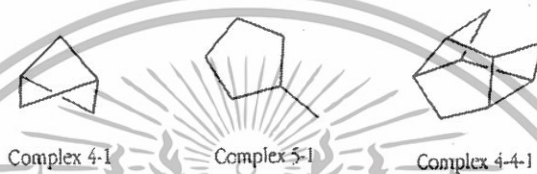
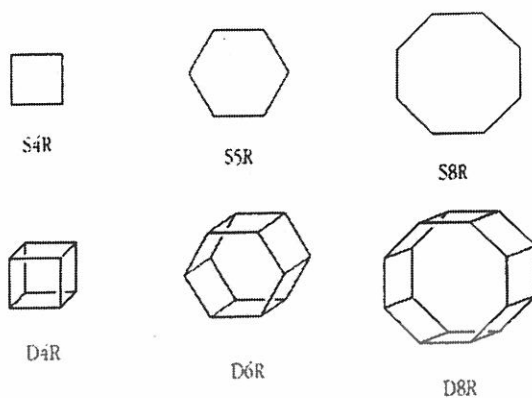
สี่หน้าของซิลิกาและอะลูมินา เรียกว่าหน่วยโครงสร้างปฐมภูมิ (Primary Building Units) ซึ่งสามารถเกิดการจัดเรียงตัวโดยการเชื่อมกันด้วยอะตอมออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ของหน่วยโครงสร้างปฐมภูมิ ซึ่งเรียกว่า Oxygen Bridge เกิดเป็นโครงสร้างที่มีรูพรุนสามมิติขนาดใหญ่ (Three dimensional) ที่แตกต่างกัน ขึ้นกับการจัดเรียงตัวของหน่วยโครงสร้างปฐมภูมิ

โดยปกติ Hybridization ของอะตอมอะลูมิเนียมในโครงผลึกออกไซด์ มักมีโครงสร้างแบบทรงเหลี่ยมแปดหน้า จึงไม่สามารถรับอิเล็กตรอนเพิ่มเติมได้อีก แต่เนื่องจากอะลูมิเนียมในโครงสร้างของซีโอไลต์มีโครงสร้างแบบทรงเหลี่ยมสี่หน้า ดังนั้น ออร์บิทัลที่ว่างของอะลูมิเนียมจึงสามารถรับอิเล็กตรอนจากออกซิเจนทำให้โครงสร้างของอะลูมิเนต  $[AlO_4]^{5-}$  ที่ได้มีประจุลบเกิดขึ้น ทั้งนี้ประจุลบ (-1) ที่เกิดขึ้นจะกระจายอยู่รอบออกซิเจนทั้งสี่อะตอมที่ต่อกับอะลูมิเนียมด้วยความยาวพันธะที่เท่ากัน ดังนั้นประจุลบนี้จะอยู่กับที่บริเวณตำแหน่งของอะลูมินาในโครงสร้างเท่านั้น เราจึงเรียกประจุลบนี้ว่า Negative Framework Charge

เมื่อโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันมี Primary Building Units ของอะลูมินา  $[AlO_4]^{5-}$  เป็นองค์ประกอบจึงต้องมีไอออนประจุบวก (Cation) มาดุลประจุลบที่เกิดขึ้น ซึ่งเราเรียกไอออนบวกที่มาดุลนี้ว่า charge balancing cation หากโครงสร้างมีอะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบมากเท่าใด ก็จะมีประจุลบเกิดขึ้นในโครงสร้างมากเท่านั้น และมี charge balancing cation มากตามไปด้วย แรงกระทำที่เกิดขึ้นระหว่าง charge balancing cation กับ Negative Framework Charge เป็นแรงระหว่างประจุ (Coulombic force) ทำให้ charge balancing cation มีอิสระในการเคลื่อนที่ไปรอบๆ Negative Framework Charge สภาพเช่นนี้ทำให้รูพรุนของซีโอไลต์ที่มีอะลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบอยู่มากมีสนามไฟฟ้าสถิตที่แรงมาก มีความเป็นขั้วสูง ซีโอไลต์จึงสามารถดูดซับน้ำไว้ในรูพรุนได้ดี และ charge balancing cation ก็จะลอยอยู่ในน้ำที่ดูดซับอยู่ภายในรูพรุนนั้น ดังนั้นความเป็นขั้วและความสามารถในการดูดซับน้ำของซีโอไลต์ จึงขึ้นกับปริมาณอะลูมิเนียมในองค์ประกอบ

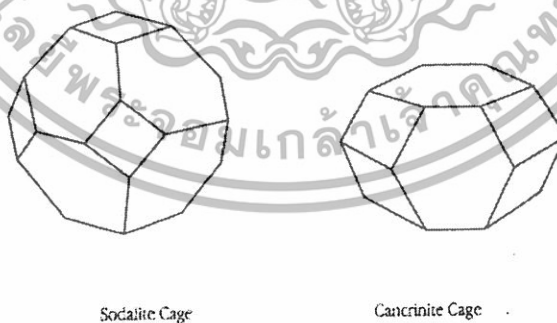
การจัดเรียงโครงสร้างของซีโอไลต์เริ่มจากโครงสร้างปฐมภูมิ (Primary unit) ที่มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมสี่หน้าที่มีออกซิเจนสี่ตัวล้อมรอบ โครงสร้างปฐมภูมิประกอบด้วยอะตอมของซิลิกอน อะลูมิเนียม และออกซิเจน ที่เชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายสามมิติเกิดการจัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary Building Unit; SBUs) ดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทุติยภูมิของซีโอไลต์

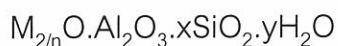
โครงสร้างของทุติยภูมิเหล่านี้เชื่อมต่อกันโดยสร้างพันธะต่อกันระหว่างโครงสร้างทุติยภูมิด้วยกันเอง เรียกว่าโครงสร้างที่เกิดขึ้นใหม่ว่าโครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary Building Unit หรือ Polyhedral) โครงสร้างตติยภูมิสามารถเชื่อมต่อกันเป็นโครงร่างผลึกซีโอไลต์ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.11 โครงสร้างตติยภูมิของซีโอไลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีโอไลต์มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังนี้



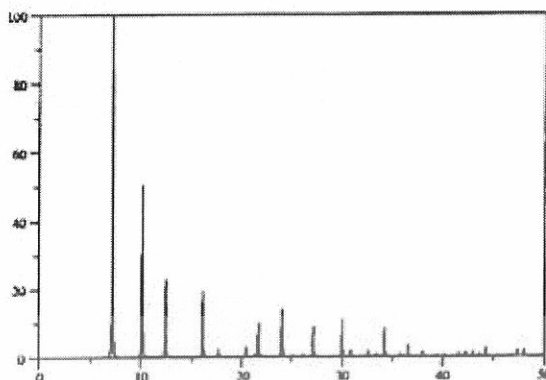
เมื่อ M คือจำนวนไอออนบวกที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุดเท่ากับ n ค่า x มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2 ค่า y มีค่าอยู่ในช่วง 10-200

หน่วยย่อยของซิลิกาไม่มีประจุ แต่หน่วยของอะลูมินามีประจุลบหนึ่ง ทำให้ประจุสุทธิของโครงสร้างซีโอไลต์มีค่าเป็นลบ โดยมีไอออนบวกของโลหะอัลคาไลในโครงสร้างทำหน้าที่ดุลประจุสุทธิให้ซีโอไลต์สำหรับทุกตำแหน่งหน่วยอะลูมินาในโครงสร้างของซีโอไลต์ชนิดนั้นๆ อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินา (Si/Al) และลักษณะโครงสร้างทำให้ซีโอไลต์มีความแตกต่างกัน การนำซีโอไลต์มาประยุกต์ใช้งาน เช่น เป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchange) ตัวดูดซับ (Adsorbent) ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ต้องพิจารณาถึงอัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินา โครงสร้างของซีโอไลต์ และชนิดของไอออนประจุบวก

## 2.6 ซีโอไลต์โซเดียมเอ

ซีโอไลต์โซเดียมเอ (Zeolite NaA) มีสูตรทางเคมี คือ  $Na_{12} [Al_2Si_{12}O_{48}] \cdot 27H_2O$  โดยมี X-ray Diffraction pattern ดังแสดงในรูปที่ 2.12 มีโครงสร้างเป็นกรงแบบแอลฟา ( $\alpha$ -cage) ลักษณะเป็นแบบลูกบาศก์ (Cubic) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ลักษณะผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงในรูปที่ 2.14 และซีโอไลต์โซเดียมเอ มีสัดส่วนช่องว่างต่อปริมาตรเท่ากับ 0.47 มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนกว้างที่สุดเท่ากับ 4.2 อังสตรอม สลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 700 °C มีอัตราส่วนระหว่างซิลิกอนและอะลูมิเนียมเท่ากับ 1 ทำให้ซีโอไลต์โซเดียมเอมีความเป็นขั้วสูง สามารถดูดซับโมเลกุลต่างๆ ที่มีขั้วสูง เช่น โมเลกุลของน้ำ

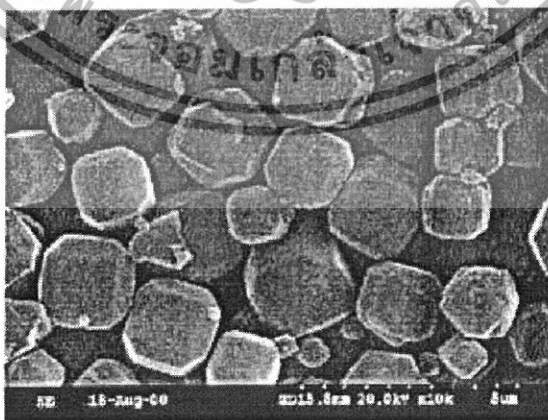
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 X-Ray Diffraction pattern ของซิลิกาไดออกไซด์ [12]



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของซิลิกาไดออกไซด์ [13]



รูปที่ 2.14 ลักษณะผลึกของซิลิกาไดออกไซด์จากห้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 การบวมตัวของพอลิเมอร์ [7]

### 2.7.1 สมบัติของพอลิเมอร์

สารพอลิเมอร์จะแตกต่างกันไปจากสารโมเลกุลเล็กๆในด้านสถานะทางกายภาพ ถ้าพิจารณาความสามารถในการตกผลึก สำหรับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและบริสุทธิ์ ส่วนมากมีคุณสมบัติหลอมตัวที่ชัดเจนและมีช่วงแคบ แต่สำหรับสารพอลิเมอร์ซึ่งมีโมเลกุลยาวมาก จะมีคุณสมบัติหลอมตัวไม่ชัดเจนและมีช่วงกว้างมาก

พอลิเมอร์สังเคราะห์ หรือพอลิเมอร์ที่เกิดจากธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะมีลักษณะของความเป็นผลึกอยู่บ้างเรียกว่า มีลักษณะกึ่งผลึก (semi-crystalline) ซึ่งขึ้นกับชนิดของพอลิเมอร์ ซึ่งความเป็นผลึกของพอลิเมอร์จะพิจารณาในรูปขององศาความเป็นผลึก (degree of crystalline) โดยขึ้นกับชนิดของพอลิเมอร์ พอลิเมอร์ที่มีหมู่ข้างเคียงขนาดใหญ่มักมีองศาความเป็นผลึกต่ำ เนื่องจากความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้าง และหมู่ข้างเคียง ทำให้การจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลไม่ดีเท่าที่ควร ส่วนพอลิเมอร์ที่มีองศาความเป็นผลึกสูง เนื่องจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลดี คือเข้าใกล้ชิดกันมากจึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลมาก ซึ่งเกิดจากพันธะทุติยภูมิ เช่น พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่โมเลกุล อย่างไรก็ตามการเกิดโครงสร้างร่างแหในพอลิเมอร์จะทำให้พอลิเมอร์นั้นสูญเสียความเป็นผลึก

### 2.7.2 การละลายของพอลิเมอร์

โดยทั่วไปพอลิเมอร์สามารถละลายในตัวทำละลายได้อย่างช้าๆ ซึ่งเกิดได้ 2 ลักษณะ คือ ในกรณีแรก โมเลกุลของตัวทำละลายจะซึมผ่านเข้าไปในพอลิเมอร์ ทำให้มีลักษณะบวมตัวขึ้น ขนาดของพอลิเมอร์จะใหญ่ขึ้น กรณีนี้พอลิเมอร์ต้องมีแรงดึงดูดระหว่างสายโซ่โมเลกุลสูง ซึ่งอาจเป็นเพราะการมีโครงสร้างร่างแหในโครงสร้าง มีความเป็นผลึกสูง หรืออาจมีพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรง ส่วนการละลายในลักษณะที่สอง คือ กรณีที่แรงกระทำระหว่างตัวทำละลายกับพอลิเมอร์มากกว่าแรงดึงดูดระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ ก็จะทำให้เกิดการละลายที่สมบูรณ์ สำหรับกระบวนการซึมผ่านไอเยื่อเลือกผ่านพอลิเมอร์จะต้องคงสภาพเป็นของแข็ง ดังนั้นการละลายสำหรับเยื่อเลือกผ่านของกระบวนการซึมผ่านไอจะต้องเป็นแบบการบวมตัวในลักษณะแรก

### 2.7.3 การบวมตัวของพอลิเมอร์โครงสร้างร่างแห

พอลิเมอร์โครงสร้างร่างแหไม่สามารถละลายในตัวทำละลายได้อย่างสมบูรณ์ แต่จะละลายในลักษณะบวมตัวขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของตัวทำละลายที่ซึมผ่านเข้าไปในสายโซ่ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์จะทำให้เอนโทรปี (Entropy) เพิ่มขึ้น ในขณะที่โมเลกุลของตัวทำละลายซึมผ่านเข้าไปในสายโซ่ โครงสร้างร่างแหของพอลิเมอร์จะถูกยืดออกจนกระทั่งถึงจุดสมดุล เราสามารถหาร้อยละการบวมตัวของพอลิเมอร์ต่อน้ำหนักแห้งของพอลิเมอร์ ( $D_s$ ) ได้จาก

$$D_s = \frac{W_m - D_m}{D_m} \times 100 \%$$

กำหนดให้  $D_s$  = ร้อยละการบวมตัวของพอลิเมอร์  
 $W_m$  = น้ำหนักของเยื่อเลือกผ่านที่บวมตัวในสารละลาย  
 $D_m$  = น้ำหนักเริ่มต้นของเยื่อเลือกผ่าน

ร้อยละการบวมตัวของพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ ชนิดของตัวทำละลายของพอลิเมอร์ และบริเวณส่วนที่เป็นโครงสร้างร่างแหของพอลิเมอร์ กล่าวคือพอลิเมอร์ชนิดเดียวกัน ในตัวทำละลายต่างกันจะมีการบวมตัวของพอลิเมอร์ต่างกัน เนื่องจากพอลิเมอร์มีความสามารถในการบวมตัวในสารละลายแต่ละชนิดแตกต่างกัน

บริเวณส่วนที่เป็นโครงสร้างร่างแห มีผลต่อการบวมตัวของพอลิเมอร์ โดยบริเวณส่วนที่เป็นโครงสร้างร่างแหมากน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารเชื่อมโย่ง กล่าวคือที่พอลิเมอร์ชนิดเดียวกัน เมื่อปริมาณสารเชื่อมโย่งมากขึ้น บริเวณส่วนที่เป็นโครงสร้างร่างแหจะมากขึ้น ค่าการบวมตัวของพอลิเมอร์จะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ให้ความสนใจในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยเกี่ยวกับการแยกน้ำออกจากเอทานอล โดยใช้พอลิเมอร์เยื่อเลือกผ่าน ซึ่งตัวอย่างงานวิจัยมีดังนี้

X.P. Wang และคณะ [16] ทำการศึกษาการเตรียมเยื่อเลือกผ่านผสมที่มีโครงสร้าง 3 ชั้น ชั้นบนเป็นชั้นของฟิล์มบางของไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ และรองรับด้วยเยื่อที่ทำจากพอลิอะคริไลไนไตรล์ ( PAN ) ที่มีรูพรุนระดับไมโครเมตร โดยมีการเชื่อมโยงระหว่างชั้นทั้งสอง ในการประยุกต์ใช้เยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตด้วยเทคนิคเพอแวปพอร์ชัน พบว่าการแยกน้ำจากเอทานอลที่มีความเข้มข้น 90 % wt ที่ 70 °C ให้ค่าความสามารถในการแยก (Separation factor) เป็น 1410 และค่าฟลักซ์ (Flux) เป็น 0.33 kg/m<sup>2</sup>h และการแยกน้ำจากไอโซโพรพานอลที่มีความเข้มข้น 90 % wt ที่ 70 °C ให้ค่าความสามารถในการแยก (Separation factor) เป็น 5000 และค่าฟลักซ์ (Flux) เป็น 0.43 kg/m<sup>2</sup>h จากการทดลองพบว่าค่าความสามารถในการแยก (Separation factor) และค่าฟลักซ์ (Flux) เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เราสามารถพัฒนาค่าการระเหยกลายเป็นไอได้โดยปรับปรุงโครงสร้างของฟิล์มด้านบนและตรงกลางของชั้นฟิล์ม

B. Ratroj และคณะ [17] ทำการศึกษาการเตรียมเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน ที่มีความหนาต่างกัน โดยเตรียมจากไคโตซาน 1 กรัม ในสารละลายกรดอะซิติก 1 % v/v ที่อุณหภูมิห้องและความดันปกติ เทสารละลายไคโตซานลงจานพลาสติกอบที่อุณหภูมิ 37 ± 1 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% w/v และน้ำกลั่น จากการทดลองพบว่าเยื่อเลือกผ่านที่มีความหนา 0.032 มิลลิเมตร ให้ค่าฟลักซ์ (Flux) ของการซึมผ่าน ค่าความแข็งแรงดึง การแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจน ดีกว่าเยื่อเลือกผ่านที่มีความหนา 0.05 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงเยื่อเลือกผ่านที่มีความหนา 0.032 มิลลิเมตรด้วย 2 วิธี วิธีแรกเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ 0.5% วิธีที่สองเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ 0.5% และซิงค์ซัลเฟต 0.05% พบว่าเยื่อเลือกผ่านทั้ง 2 ชนิดนี้ มีความบาง และมีความแข็งแรงมากขึ้น มีสมบัติในการคัดแยกดีขึ้น คือ มี Molecular Weight Cutoff น้อยกว่า 48,000 g/mol ซึ่งเยื่อเลือกผ่านที่ไม่ได้ทำการ Crosslink จะมี Molecular Weight Cutoff มากกว่า 66,000 g/mol โดยที่การผสมซิงค์ซัลเฟต 0.05% ไม่ช่วยให้คุณสมบัติ ในการคัดแยกเปลี่ยนไป และจากการทดสอบการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน พบว่าความหนาของเยื่อเลือกผ่านมีผลต่อการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน คือ ก๊าซออกซิเจนจะสามารถซึมผ่านเยื่อเลือกผ่านที่มีขนาดบางได้ดีกว่าเยื่อเลือกผ่านที่มีขนาดหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J.Y. Lai และคณะ [18] ทำการศึกษาเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตระหว่างไคโตซานกับอนุภาคนาโน ด้วยเทคนิคเพอร์แวกเพอร์เรชัน ในการแยกน้ำจากไอโซโพรพานอล และแยกน้ำจากเตตระฟลูออโรโพรพานอล อนุภาคนาโนที่ใช้ในการทดลองมี 3 ชนิดคือ ซิลิกา เคลล์ และซีโอไลต์-5A ในการประยุกต์ใช้เยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตนี้พบว่า การแยกสารละลายไอโซโพรพานอลที่มีความเข้มข้น 96.5 %w ที่อุณหภูมิ 70°C ให้ค่าความสามารถในการแยก (Separation factor) เป็น 250 และค่าฟลักซ์ (Flux) ของการซึมผ่านเป็น 750 g/m<sup>2</sup>h และการแยกสารละลายเตตระฟลูออโรโพรพานอล ที่มีความเข้มข้น 98 %w ที่อุณหภูมิ 70°C มีค่าความสามารถในการแยก (Separation factor) เป็น 440 และค่าฟลักซ์ (Flux) ของการซึมผ่านเป็น 500 g/m<sup>2</sup>h และพบว่าเมื่อผสมอนุภาคนาโนในเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตทำให้เยื่อเลือกผ่านสามารถใช้งานได้นานขึ้น

O. Andac และคณะ [19] ทำการศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์ซีเดียมเอ จากสารละลายซีเดียมอะลูมิโนซิลิเกต โดยใช้เทคนิคอัลตราซาวด์ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน และนำผลมาเปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิมภายใต้สภาวะที่คล้ายคลึงกัน จากการทดลองพบว่าการใช้เทคนิคอัลตราซาวด์จะช่วยเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดผลึก ช่วยพัฒนาอายุผลได้และการกระจายขนาดอนุภาคของซีโอไลต์เอ แต่จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA และการทดลองการดูดซับน้ำ จะพบว่า ค่าความจุของการดูดซับน้ำในรูปผลลด ซึ่ง เป็นผลมาจากการเกิดส่วนที่ไม่เป็นผลึกขึ้นในโครงสร้าง

M. Zeng และคณะ [20] ทำการศึกษาการเชื่อมโยงของเยื่อเลือกผ่านที่มีโครงสร้างสอดประสานระหว่างไคโตซานกับพอลิเอทิลีนไกลคอล (CS/PEG semi-IPN membrane) ซึ่งเตรียมโดยใช้การสกัดของพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) จาก CS/PEG semi-IPN membrane และศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีต่อการบวมตัวของเยื่อเลือกผ่าน ทำการทดลองโดยแช่เยื่อเลือกผ่านในสารละลายบัฟเฟอร์ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 3.2-11 ผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอลและปริมาณสารเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น ทำให้เยื่อเลือกผ่านมีการบวมตัวลดลง เยื่อเลือกผ่านที่ได้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เยื่อเลือกผ่านมีการบวมตัวลดลง ซึ่งมีอัตราส่วนการบวมตัวอยู่ในช่วง 120-220 และเยื่อเลือกผ่านที่ได้มีความแข็งแรงเชิงกลที่ดีทั้งภาวะที่แห้งและบวมตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W. Liguang และคณะ [21] ทำการศึกษาการเติมซีโอไลต์ลงในเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตระหว่างไคโตซานกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อใช้ในการแยกน้ำออกจากเอทานอลโดยทำการทดลองที่ 60 °C พบว่าค่าฟลักซ์ของการซึมผ่าน (Permeate flux) ของเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตที่มีการเติมซีโอไลต์เท่ากับ 250 g/m<sup>2</sup>h ในขณะที่เยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตที่ไม่มีการเติมซีโอไลต์มีค่าฟลักซ์ของการซึมผ่าน (Permeate flux) เท่ากับ 190 g/m<sup>2</sup>h จากผลการทดลองพบว่า การเติมซีโอไลต์ที่ซอบน้ำลงในเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตจะทำให้ค่าฟลักซ์ของการซึมผ่านเพิ่มขึ้น แต่จะทำให้ค่าความสามารถในการแยก (Separation factor) ลดลง

D.A. Musale และคณะ [22] ทำการศึกษาความต้านทานต่อสารละลายอินทรีย์และความเป็นกรด-ด่างของเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตระหว่างไคโตซานกับพอลิอะครีโลไนไทรล์ที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นต่างกัน และเวลาที่ใช้ในการเกิดการเชื่อมโยงต่างกัน โดยความต้านทานต่อกรด-ด่างจะวัดจากการแพร่ผ่านของสารละลายกรด (pH 2.5) และสารละลายเบส (pH 11) การบวมตัวในสารละลายที่มีค่ากรด-ด่างในช่วง 2.5-11 ส่วนความต้านทานต่อสารละลายจะวัดจากการบวมตัวในตัวทำละลายอินทรีย์ การจุ่มในตัวทำละลายอินทรีย์และการซึมผ่านของตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งสารละลายที่ใช้คือ เมทานอล เอทานอล ไอโซโพรพานอล ผลการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นของกลูตาโรลดีไฮด์เพิ่มขึ้นเยื่อเลือกผ่านจะมีความคงทนมากขึ้น และที่ค่า pH 11 เยื่อเลือกผ่านจะคงทนมากกว่าที่ pH 2.5 และเมื่อค่า pH มากขึ้นเยื่อเลือกผ่านจะบวมตัวน้อยลง

S. Sridhar และคณะ [23] ทำการศึกษาการใช้เยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตระหว่างไคโตซานกับไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลสโดยใช้กลูตาโรลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมโยงสำหรับการแยกน้ำจาก 2-บิวทานอลด้วยกระบวนการซึมผ่านไอ ทำการศึกษาประสิทธิภาพการซึมผ่านไอโดยการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆดังนี้ องค์ประกอบของสารป้อน ความหนาของเยื่อเลือกผ่าน และความดันเพอร์มิเอต ผลการทดลองพบว่าเยื่อเลือกผ่านที่ผ่านการเชื่อมโยงจะมีประสิทธิภาพในการแยกสารละลายบิวทานอล 77 wt% ได้ดีกว่า และพบว่าเยื่อเลือกผ่านที่ผสมระหว่างไคโตซาน 70 wt% และไฮดรอกซีเอทิลเซลลูโลส 30 wt.% จะให้ค่าฟลักซ์ (flux) และค่าความสามารถในการแยกที่ดีที่สุดคือ 2.1 kg/m<sup>2</sup>h และ 554 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

O.G. Nik และคณะ [24] ทำการศึกษาเยื่อเลือกผ่านซีโอไลต์โซเดียมเอในการแยกน้ำออกจากเอทิลีนไกลคอลด้วยกระบวนการซีมผ่านไอ โดยใช้ความเข้มข้นของเอทิลีนไกลคอลมากกว่า 70 wt % เป็นต้นไป และใช้อัตราการไหลเท่ากับ 1.5 ลิตรต่อนาที ทำการทดลองที่อุณหภูมิในช่วง 50-70 °C ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 70 °C และที่ความเข้มข้นของเอทิลีนไกลคอลเท่ากับ 70 wt % จะให้ค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกดีที่สุดคือ 0.94 kg/m<sup>2</sup>h และ 1177 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมี

- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| 1) กรดอะซิติก (เกรดวิเคราะห์)        | จากบริษัท Fuka chemical                   |
| 2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (เกรดวิเคราะห์) | จากบริษัท Fuka chemical                   |
| 3) กลูตารอลดีไฮด์ (เกรดวิเคราะห์)    | จากบริษัท Merck Co.,Ltd.                  |
| 4) เอทานอล (เกรดวิเคราะห์)           | จากบริษัท Fuka chemical                   |
| 5) แก๊สฮีเลียม (เกรด HP)             | จากบริษัท TIG                             |
| 6) น้ำกลั่น                          |   |
| 7) ไคโตซาน (เกรดการค้า)              | จากบริษัท TC Union Global Public Co.,Ltd. |

ตารางที่ 3.1 สมบัติของไคโตซาน\*

สมบัติ	ค่าที่ได้
องค์การกำจัดหมู่อะซิติก	89.01 %
เถ้า	0.55 %
โปรตีน	0.45 %
ความชื้น	6.68 %
สี	ขาว

\*ข้อมูลจากบริษัท TC Union Global Public Co.,Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- 2) ชุดทดสอบกระบวนการซีเมนต์ผ่านไอ
- 3) หลุมให้ความร้อน (Heating mantle)
- 4) เทอร์โมมิเตอร์
- 5) ปั๊มดูดของเหลวชนิดเพอร์ริสแตติก (Peristaltic pump) : WATSON – MARCOW รุ่น 101 V/R
- 6) เครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส (Mass flow meter) : บริษัท SIERRA INSTRUMENTS รุ่น MASSTRAK
- 7) เครื่องสั่นโดยใช้คลื่นเสียง (Ultrasonic bath) : บริษัท NEY PENTAL รุ่น 14 H
- 8) ตู้อบ
- 9) เครื่องชั่ง
- 10) ถังมือกันความร้อน
- 11) ไมโครมิเตอร์
- 12) ขวดพอลิพรอพิลีนที่มีฝาปิด ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 13) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) : บริษัท LEO รุ่น 1455 VP
- 14) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) : บริษัท VARION รุ่น VARION 3800
- 15) เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analyzer) : บริษัท PERKIN ELMER รุ่น PYRIS 1 TGA
- 16) เครื่อง XRD (X-ray diffractometer) : บริษัท BRUKER AG รุ่น D8 ADVANCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน

##### 1) การสังเคราะห์ซีโอไลต์เอ

- 1.1) ชั่งซีโอไลต์อะลูมิเนต 5 กรัม ใส่ลงในขวดพอลิพรอพิลีนขนาด 250 มิลลิลิตร
- 1.2) เติมน้ำละลายซีโอไลต์ไฮดรอกไซด์เข้มข้น 15 %wt จำนวน 48 กรัม ปั่นจนจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
- 1.3) เติมน้ำปราศจากไอออน 18 กรัม ปั่นจนสารละลายต่อ
- 1.4) เติมน้ำของซิลิกา 3.3 กรัม โดยใช้ช้อนตักสารค่อยๆ เติมลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายปั่นจน อยู่จนหมดภายในเวลา 10 นาที
- 1.5) ปั่นจนสารละลายต่อจนละลายซิลิกาละลายหมด
- 1.6) ทำการปั่นจน โดยใช้เวลาในการปั่นจน (Aging time) เท่ากับ 3 และ 6 ชั่วโมง โดยทำการปั่นจนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในช่วง 0-5 องศาเซลเซียส
- 1.7) ปิดฝาขวดพอลิพรอพิลีนให้สนิทแล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 1.8) เมื่อครบกำหนดเวลานำขวดพอลิพรอพิลีนมาแช่ในน้ำเย็น
- 1.9) แบ่งของผสมใส่หลอดแล้ว นำไปใส่เครื่องเหวี่ยงแยกตะกอนที่ 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที
- 1.10) เทของเหลวใสด้านบนออก แล้วเติมน้ำปราศจากไอออนลงไป กวนของผสมด้วยแท่งแก้วคนแล้วนำใส่เครื่องเหวี่ยงแยกตะกอนที่ 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาทีอีกครั้ง
- 1.11) ทำซ้ำข้อ 1.10) จนค่า pH ของของเหลวที่ผ่านการล้างมีค่าไม่เกิน 9
- 1.12) นำซีโอไลต์ซีโอไลต์เอที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน
- 1.13) นำซีโอไลต์ที่เตรียมได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค (X-ray diffractometer) และศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) การเตรียมสารละลายโคโตซาน

- 2.1) ชั่งโคโตซาน 2 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมกรดอะซิติกเข้มข้น 2 % (v/v) ปริมาตร 80 มิลลิลิตรลงไปเพื่อละลายโคโตซาน
- 2.2) นำสารละลายมาปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 2.3) นำสารละลายมาเติมกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 0.05 % (w/w) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร
- 2.4) นำสารละลายโคโตซานที่ได้มาปรับ pH ให้มีค่าประมาณ 6.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 % (w/w) ปริมาตร 5.5 มิลลิลิตร
- 2.5) ชั่งซีโอไลต์ปริมาณ 10 phr นำมากระจายตัวในน้ำกลั่นปริมาณ 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปล้างโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 15 นาที
- 2.6) นำซีโอไลต์ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำกลั่นแล้วมาเทลงในสารละลายโคโตซาน นำไปปั่นกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 2.7) ปรับปริมาตรน้ำให้เป็น 98 มิลลิลิตร
- 2.8) นำสารละลายมากำจัดฟองอากาศโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก
- 2.9) ทำการทดสอบซ้ำโดยเปลี่ยนความเข้มข้นของกลูตาโรลดีไฮด์เป็น 0.07 และ 0.1 % (w/w)

## 3) การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน

- 3.1) ใช้หลอดฉีดยา (Syringe) (ดูดสารละลายโคโตซานที่ได้จากการเตรียมในข้อ 2) ปริมาตร 65 มิลลิลิตร ค่อยๆ ฉีดลงในแม่แบบที่ทำจากกระจกที่รองด้วยแผ่นใส
- 3.2) นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงได้เยื่อเลือกผ่านอะซิเตด
- 3.3) นำเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้มาทำให้เป็นกลาง โดยแช่ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10% (w/v) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง
- 3.4) นำเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ไปอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- 3.5) นำเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่เตรียมได้มาวัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์โดยเลือกเยื่อเลือกผ่านให้มีความหนาอยู่ในช่วง  $30 \pm 2$  ไมโครเมตร
- 3.6) นำเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่เตรียมได้ทั้งหมดมาแช่ไว้ในสารละลายเอทานอลเข้มข้น 50 %mol เพื่อรอจะนำไปทดสอบต่อไป
- 3.7) ทำการทดสอบซ้ำโดยเปลี่ยนปริมาตรของสารละลายในข้อ 3.1 เพื่อให้ได้ความหนาของเยื่อเลือกผ่านเป็น 60 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของเยื่อเลือกผ่าน

#### 1) ศึกษาโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอด้วยเครื่อง XRD

- 1.1) สภาวะในการทดสอบใช้แหล่งกำเนิดรังสี  $\text{CuK}\alpha$  (40 kV, 40 mA) ความยาวคลื่น 1.5406 อังสตรอม มุม 5-60 องศา Step size 0.04 °/s
- 1.2) ศึกษาโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยทำการเตรียมตัวอย่างแบบเป็นผงใส่ในที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) แล้วทำการเกลี่ยให้พื้นผิวเรียบแล้วนำไปวิเคราะห์
- 1.3) ศึกษาโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน โดยตัดเยื่อเลือกผ่านขนาด  $4 \times 4 \text{ cm}^2$  ตัดลงบนที่วางตัวอย่างสำหรับฟิล์มบางแล้วนำไปวิเคราะห์

#### 2) ศึกษาการบวมตัวของเยื่อเลือกผ่าน

- 2.1) นำเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้มาตัดให้มีขนาด  $4 \times 4 \text{ cm}^2$  ซึ่งน้ำหนักเริ่มต้นของเยื่อเลือกผ่าน
  - 2.2) นำเยื่อเลือกผ่านมาแช่น้ำเป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นนำเยื่อเลือกผ่านมาชั่งน้ำให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนักของเยื่อเลือกผ่าน
  - 2.3) ทำซ้ำข้อ 2.2 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นเพิ่มระยะเวลาในการแช่โดยชั่งทุกๆ 30 นาทีเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และชั่งทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ตามลำดับ
  - 2.4) คำนวณหาร้อยละการบวมตัวของเยื่อเลือกผ่าน
- ร้อยละการบวมตัวของพอลิเมอร์ต่อน้ำหนักแห้งของพอลิเมอร์ ( $D_s$ )

$$D_s = \frac{W_m - D_m}{D_m} \times 100 \%$$

กำหนดให้  $D_s$  = ร้อยละการบวมตัวของพอลิเมอร์

$W_m$  = น้ำหนักของเยื่อเลือกผ่านที่บวมตัวในสารละลาย

$D_m$  = น้ำหนักเริ่มต้นของเยื่อเลือกผ่าน

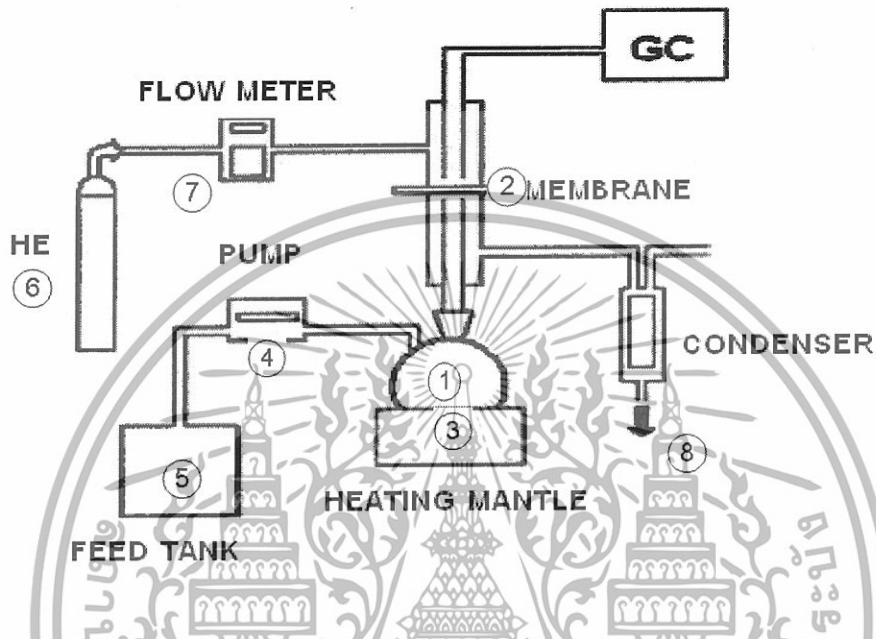
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) **ศึกษาสัณฐานวิทยาของเยื่อเลือกผ่าน**
- 3.1) ศึกษาลักษณะพื้นผิว โดยนำเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ทั้งหมดมาศึกษาลักษณะพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ตัดตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมให้มีขนาด  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  นำไปวางบนที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) แล้วเคลือบด้วยโลหะทองคำ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ที่กำลังขยาย 1,000 และ 4,000 เท่า
- 3.2) ศึกษาลักษณะภาคตัดขวาง โดยนำเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ทั้งหมดมาศึกษาลักษณะภาคตัดขวาง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ตัดตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยม กว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 4 เซนติเมตร นำมาแช่ในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 20 นาที ทำการหักแล้วใส่ในเดซีเคเตอร์ นำไปวางบนที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) แล้วเคลือบด้วยโลหะทองคำ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ที่กำลังขยาย 1,000 และ 4,000 เท่า
- 4) **วิเคราะห์หาปริมาณซีโอไลต์ในเยื่อเลือกผ่านด้วยเครื่อง TGA**  
นำเยื่อเลือกผ่านโคไตซานที่เติมซีโอไลต์โซเดียมเอ ปริมาณ 0-50 phr มาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ลงในที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) ปริมาณ 10-20 มิลลิกรัม ทำการวิเคราะห์ภายใต้บรรยากาศของอากาศแห้ง ใช้อัตราการให้ความร้อน  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ต่อ นาที ในช่วงอุณหภูมิ  $50-700 \text{ }^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 ทดสอบประสิทธิภาพการแยกของเยื่อเลือกผ่าน

ทดสอบประสิทธิภาพของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ด้วยกระบวนการซึมผ่านไอดังชุดทดสอบในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงชุดทดสอบกระบวนการซึมผ่านไอ

- |   |                            |   |  |
|---|----------------------------|---|--|
| ① | ขวดกักลมขนาด 250 มิลลิลิตร | ⑤ | ขวดรูปชมพู่                            |
| ② | เซลล์                      | ⑥ | วาล์วฮีเลียม                           |
| ③ | หลุมให้ความร้อน            | ⑦ | เครื่องควบคุมอัตราการไหลของแก๊สฮีเลียม |
| ④ | ปั๊มเพอร์ริสแตติก          | ⑧ | ขวดวัดปริมาตร                          |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) บรรจุเอทานอล 96 % (v/v) ลงในขวดกักกลขนาด 100 มิลลิลิตร (1)
- 2) นำเยื่อเลือกผ่านขนาด 4x4 ตารางเซนติเมตร บรรจุในเซลล์ (2)
- 3) ให้ความร้อนโดยใช้หลุมให้ความร้อนที่สเกลเบอร์ 4 (3)
- 4) เติมเอทานอล 96% (v/v) ลงในขวดกักกล โดยใช้ปั๊มเพอร์ริสแตติก(4) ดูดเอทานอลจากขวดรูปชมพู่ (5)
- 5) เปิดวาล์วแก๊สฮีเลียม(6) แล้วเปิดเครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สฮีเลียม (7)
- 6) เมื่อเอทานอลเริ่มเดือดจะเกิดไอของสารผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำเคลื่อนที่ขึ้นมายังเยื่อเลือกผ่าน โดยสารบางส่วนที่เคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้จะถูกพาเข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีโดยแก๊สพา ส่วนสารที่ไม่สามารถผ่านเยื่อเลือกผ่านได้จะถูกควบแน่นลงสู่ขวดวัดปริมาตรที่รองรับ (8)
- 7) ทำการทดสอบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 8) นำข้อมูลที่ได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีมาทำการคำนวณต่อไป



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการแยกน้ำจากเอทานอลโดยกระบวนการซึมผ่านไอ

#### 3.3.4 ปัจจัยที่ทำการศึกษา

- 1) ผลของปริมาณสารเชื่อมโยง 0.05 - 0.1%(w/w) ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกของเยื่อเลือกผ่าน
- 2) ผลของความหนาของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอดีไฮดรอกไซด์ (ความหนา 30, 60 ไมโครเมตร และ 30 ไมโครเมตร 2 แผ่นประกบ ) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเยื่อเลือกผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.5 การคำนวณ

คำนวณปริมาณสารที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านและค่าความสามารถในการแยกโดยใช้สูตร

$$\text{Flux}_{\text{water}} = \frac{W_{\text{water}}}{A \times \text{hr}}$$

$$\text{Flux}_{\text{ethanol}} = \frac{W_{\text{ethanol}}}{A \times \text{hr}}$$

$$\text{Flux}_{\text{All}} = \text{Flux}_{\text{water}} + \text{Flux}_{\text{ethanol}}$$

กำหนดให้

$$W_{\text{water}} = \text{น้ำหนักของน้ำในเพอร์มิเอต (g)}$$

$$W_{\text{ethanol}} = \text{น้ำหนักของเอทานอลในเพอร์มิเอต (g)}$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดเยื่อเลือกผ่าน}$$

Separation factor ( $\alpha$ )

$$= \frac{(Y_{\text{water}} / Y_{\text{ethanol}})}{(X_{\text{water}} / X_{\text{ethanol}})}$$

กำหนดให้

$$Y_{\text{water}} = \text{สัดส่วนโมลของน้ำในเพอร์มิเอต}$$

$$Y_{\text{ethanol}} = \text{สัดส่วนโมลของเอทานอลในเพอร์มิเอต}$$

$$X_{\text{water}} = \text{สัดส่วนโมลของน้ำในสารป้อน}$$

$$X_{\text{ethanol}} = \text{สัดส่วนโมลของเอทานอลในสารป้อน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองนี้เพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจและการรายงานผลจึงขอใช้สัญลักษณ์แสดงในตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์แทนซีโอไลต์และแสดงสภาวะในการสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอ

สัญลักษณ์	เวลาในการบ่ม (Aging) (ชั่วโมง)
Ze3	3
Ze6	6

ตารางที่ 3.3 สัญลักษณ์แทนการเชื่อมโยงของเยื่อเลือกผ่านและองค์ประกอบของเยื่อเลือกผ่าน

สัญลักษณ์	ความเข้มข้นของ กลูตาโรลดีไฮด์ %(w/w)	ชนิดซีโอไลต์	ปริมาณซีโอไลต์ (phr)
0.05_M	0.05	-	-
0.07_M	0.07	-	-
0.1_M	0.1	-	-
0.05_Ze3M	0.05	Ze3	10
0.07_Ze3M	0.07	Ze3	10
0.1_Ze3M	0.1	Ze3	10
0.05_Ze6M	0.05	Ze6	10
0.07_Ze6M	0.07	Ze6	10
0.1_Ze6M	0.1	Ze6	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

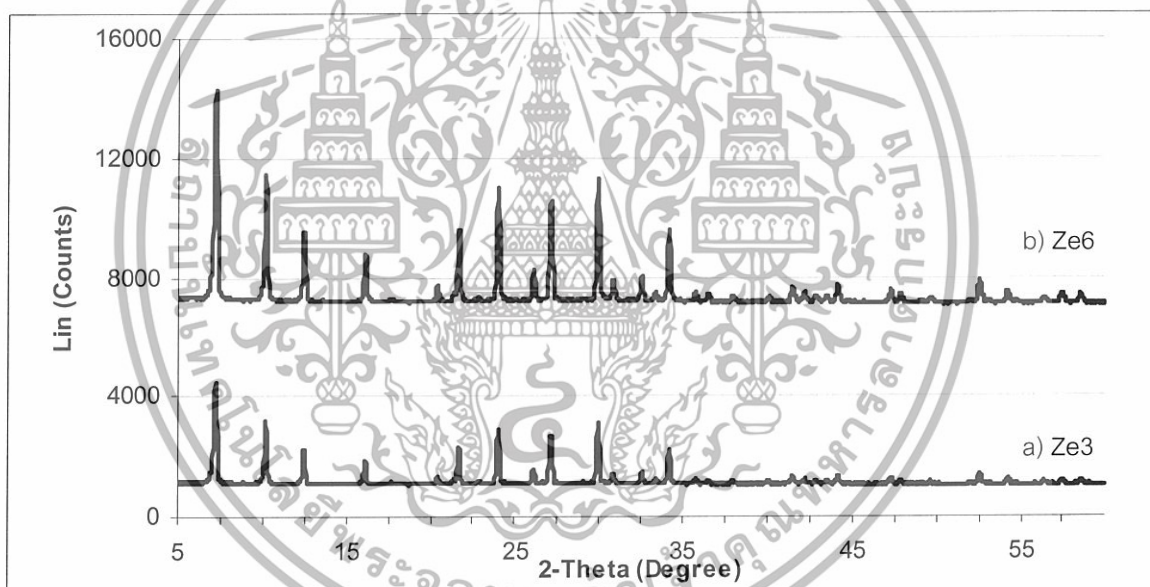
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

#### 4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอและเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน

##### 4.1.1 โครงสร้างผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอ

จากรูปการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอที่สังเคราะห์ขึ้น (รูปที่ 4.1) พบว่าซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ขึ้น มีตำแหน่งของพีคที่เห็นได้ชัดที่ค่า  $2\theta$  ประมาณ  $10^\circ$   $13^\circ$   $16^\circ$   $22^\circ$   $24^\circ$   $27^\circ$   $30^\circ$  และ  $34^\circ$  ซึ่งมีตำแหน่งที่ตรงกับสารมาตรฐาน Sodium Aluminum Silicate Hydrate Zeolite A จึงสรุปได้ว่าซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นซีโอไลต์โซเดียมเอ

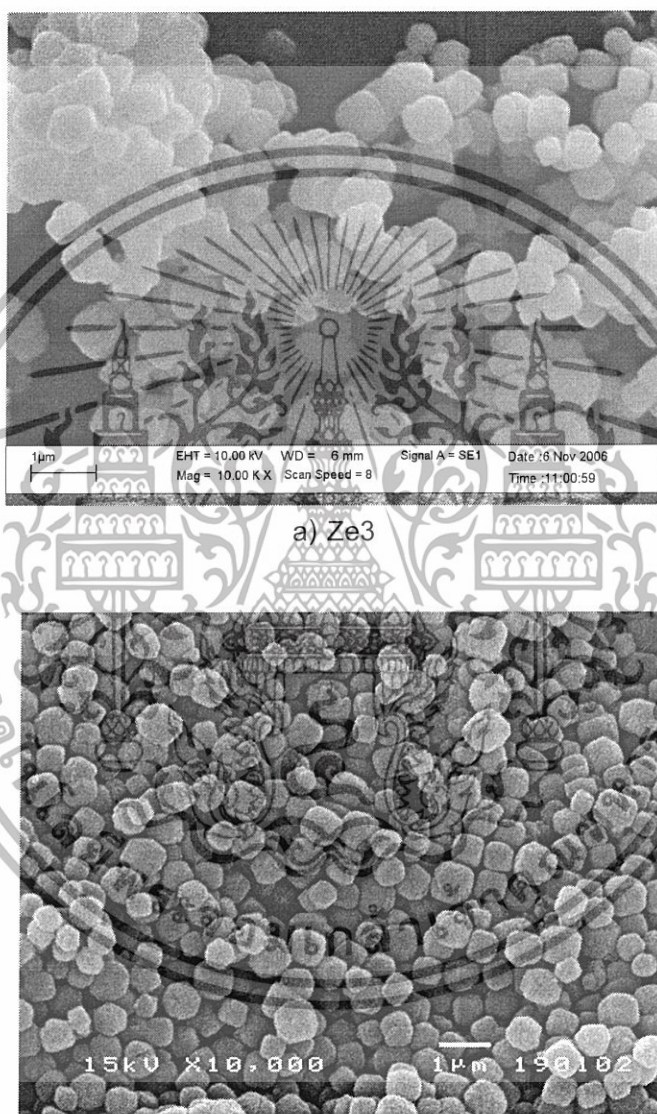


รูปที่ 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ a) Ze3 (บ่ม 3 ชั่วโมง)  
b) Ze6 (บ่ม 6 ชั่วโมง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 สัณฐานวิทยาของซีโอไลต์โซเดียมเอ

จากการสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอโดยใช้เวลาบ่ม (Aging) ที่ต่างกัน โดยทำการบ่มที่เวลา 3 และ 6 ชั่วโมง แล้วนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า ซีโอไลต์โซเดียมเอที่ได้มีขนาดใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.2)

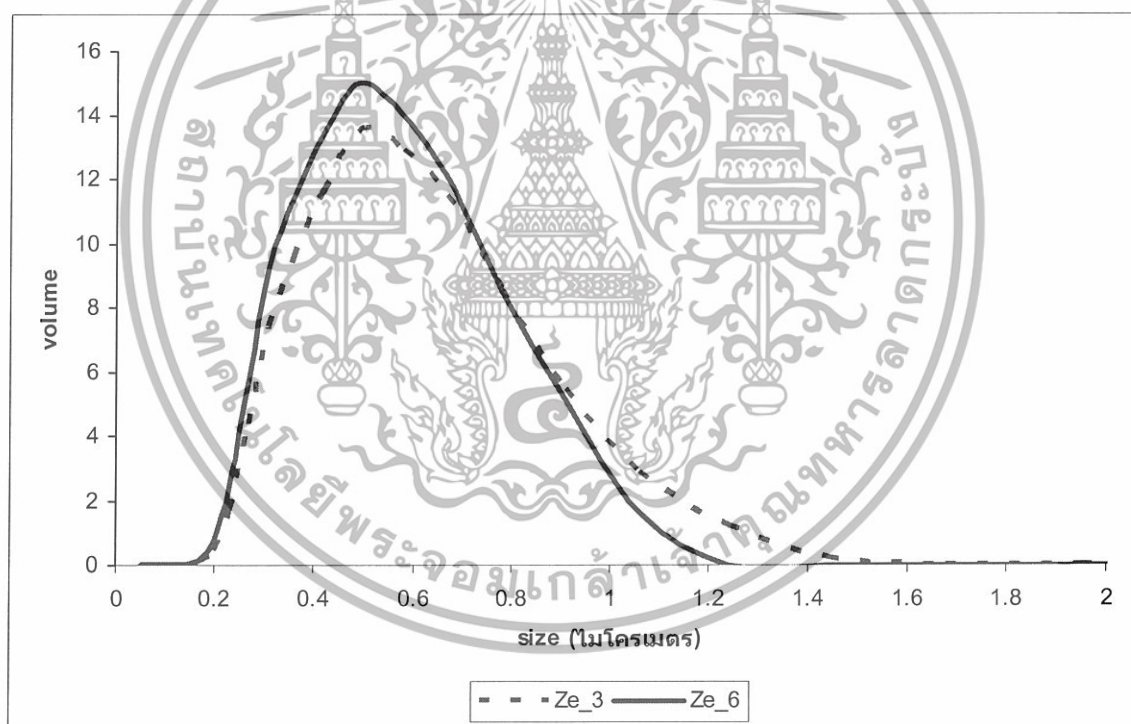


b) Ze6

รูปที่ 4.2 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงลักษณะผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอที่สังเคราะห์ที่ a) Ze3 (บ่ม 3 ชั่วโมง) b) Ze6 (บ่ม 6 ชั่วโมง) กำลังขยาย 10,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ขนาดของซีโอไลต์โดยใช้เครื่อง mastersizer (รูปที่ 4.3) พบว่าเมื่อใช้เวลาในการบ่ม 6 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง อนุภาคเฉลี่ยของซีโอไลต์โซเดียมอยู่ที่ประมาณ 500 ไมโครเมตรใกล้เคียงกัน แต่เมื่อใช้เวลาในการบ่ม 6 ชั่วโมง ซีโอไลต์โซเดียมจะมีการกระจายขนาดอนุภาคแคบกว่า เมื่อใช้เวลาในการบ่ม 3 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อใช้เวลาในการบ่มนาน จะทำให้ metastable gel เกิดขึ้นได้ดี ทำให้เกิด Zeolite precursor พร้อมกันอย่างสม่ำเสมอเป็นจำนวนมาก เมื่อให้ความร้อนในการตกผลึกที่ 100 °C จะเกิดเป็นนิวเคลียสซีโอไลต์ได้พร้อมกันจำนวนมากด้วย ซึ่งนิวเคลียสเหล่านี้จะเจริญเติบโตเป็นผลึกซีโอไลต์โซเดียมเอ โดยการเคลื่อนที่ของซิลิกาและอะลูมินาจากสารละลายเข้าไปสร้างผลึก ผลึกก็จะเติบโตไปพร้อมกัน มีความสมบูรณ์และขนาดใกล้เคียงกัน ดังนั้นการกระจายขนาดอนุภาคของซีโอไลต์โซเดียมเอจากการบ่ม 6 ชั่วโมงจึงแคบกว่าเมื่อใช้เวลาในการบ่ม 3 ชั่วโมง

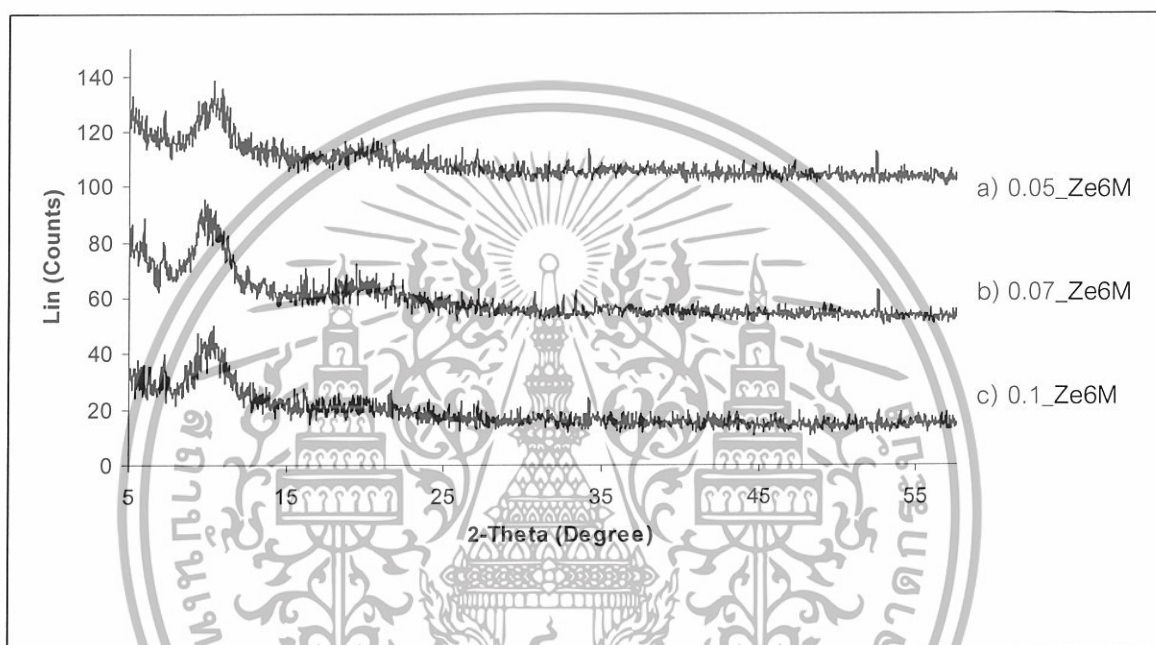


รูปที่ 4.3 กราฟจากเครื่อง mastersizer แสดงการกระจายขนาดอนุภาคของซีโอไลต์โซเดียมเอที่สังเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3 โครงสร้างผลึกซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน

จากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านเปรียบเทียบกับซีโอไลต์โซเดียมเอ (รูปที่ 4.4) พบว่า มีตำแหน่งของพีคที่ค่า  $2\theta$  ประมาณ  $7^\circ$   $10^\circ$   $13^\circ$   $16^\circ$  ซึ่งตรงกับตำแหน่งพีคของซีโอไลต์โซเดียมเอ แสดงให้เห็นว่ามีซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านโคโคโตซาน แต่เนื่องจากซีโอไลต์โซเดียมเอมีปริมาณน้อย ทำให้เห็นพีคไม่ชัดเจนนัก



รูปที่ 4.4 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเยื่อเลือกผ่านโคโคโตซานที่ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอในปริมาณ 10 phr โดยมีการเชื่อมโยงโคโคโตซานด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นต่างกัน  
a) 0.05\_Ze6M b) 0.07\_Ze6M c) 0.1\_Ze6M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

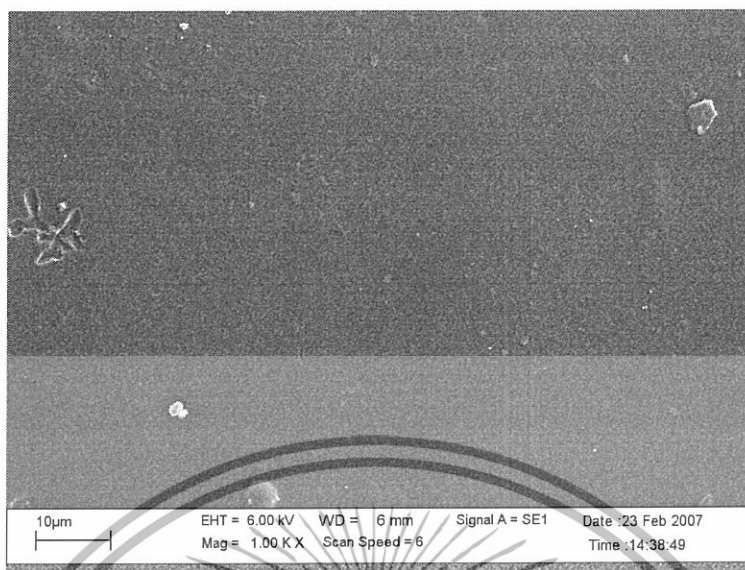
#### 4.1.4 สัณฐานวิทยาของเยื่อเลือกผ่าน

เยื่อเลือกผ่านโคโตะซานที่เตรียมได้เมื่อนำมาศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และภาคตัดขวาง (Cross section) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อดูลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคซีโอโลดโซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านโคโตะซาน เยื่อเลือกผ่านโคโตะซานที่ไม่เติมซีโอโลดโซเดียมเอ (รูปที่ 4.5-4.7) มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบ และพบว่าเมื่อเชื่อมโยงโคโตะซานด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นสูงขึ้นลักษณะพื้นผิวของเยื่อเลือกผ่านยังเป็นผิวเรียบอยู่ ส่วนเยื่อเลือกผ่านที่มีการเติมซีโอโลดโซเดียมเอมีลักษณะพื้นผิวที่มีความขรุขระ (รูปที่ 4.8-4.10) เนื่องจากมีอนุภาคบางส่วนของซีโอโลดโซเดียมเอกระจายตัวอยู่ที่พื้นผิว โดยซีโอโลดโซเดียมเอสามารถกระจายตัวได้ดีบนเยื่อเลือกผ่าน และเมื่อเชื่อมโยงเยื่อเลือกผ่านโคโตะซานด้วยความเข้มข้นของกลูตารอลดีไฮด์ที่สูงขึ้นซีโอโลดโซเดียมเอยังสามารถกระจายตัวได้ดี



รูปที่ 4.5 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตะซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.05 % (w/w) ที่ไม่เติมซีโอโลด (0.05\_M) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



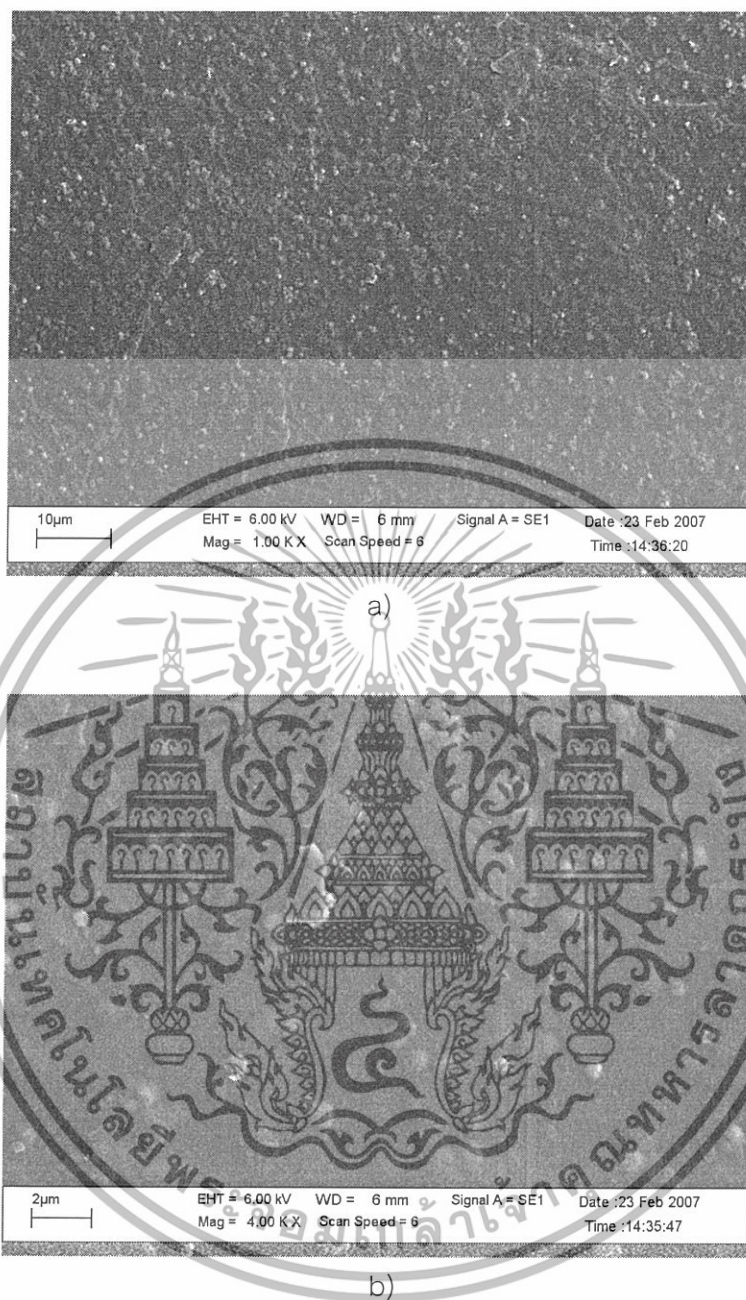
รูปที่ 4.6 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.07 % (w/w) ที่ไม่เติมซีโอไลต์ (0.07\_M) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



รูปที่ 4.7 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.1 % (w/w) ที่ไม่เติมซีโอไลต์ (0.1\_M) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 4.9 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของเยื่อเลือกผ่านโคโคซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.07 % (w/w) ที่มีการเติมซีโอไลต์ (0.07\_Ze6M)

a) กำลังขยาย 1,000 เท่า

b) กำลังขยาย 4,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



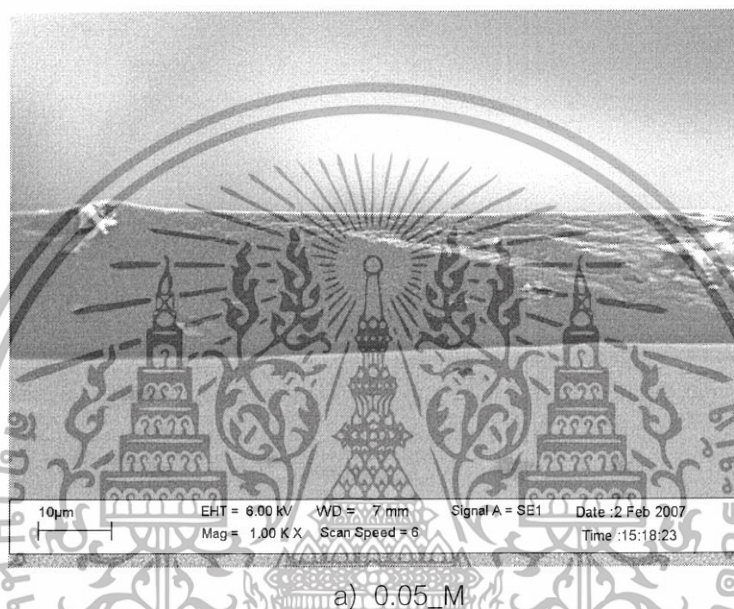
รูปที่ 4.10 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของเยื่อเลือกผ่านโคโคซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.1 % (w/w) ที่มีการเติมซีโอไลต์ (0.1\_Ze6M)

a) กำลังขยาย 1,000 เท่า

b) กำลังขยาย 4,000 เท่า

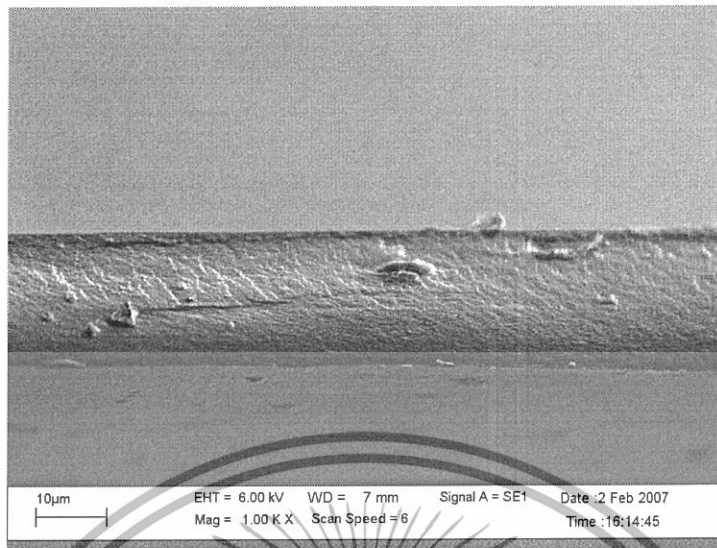
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบภาคตัดขวาง (Cross section) ของเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน (0.05\_M) กับเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอโลต์โซเดียมเอ (0.05\_Ze6M) พบว่าซีโอโลต์โซเดียมเอกระจายตัวได้ดีทั่วทั้งเยื่อเลือกผ่านโดยไม่เกิดการรวมตัวของซีโอโลต์โซเดียมเอที่เยื่อเลือกผ่านด้านใดด้านหนึ่ง และความเข้มข้นของสารเชื่อมโยงกลูตารอลดีไฮด์ที่สูงขึ้นไม่ส่งผลต่อการกระจายตัวของซีโอโลต์โซเดียมเอ (รูปที่ 4.11-4.16)



รูปที่ 4.11 ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวาง (Cross section) ของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ 0.05 %(w/w) ที่ไม่เติมซีโอโลต์ (0.05\_M) กำลังขยาย 1,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



a) 0.07\_M

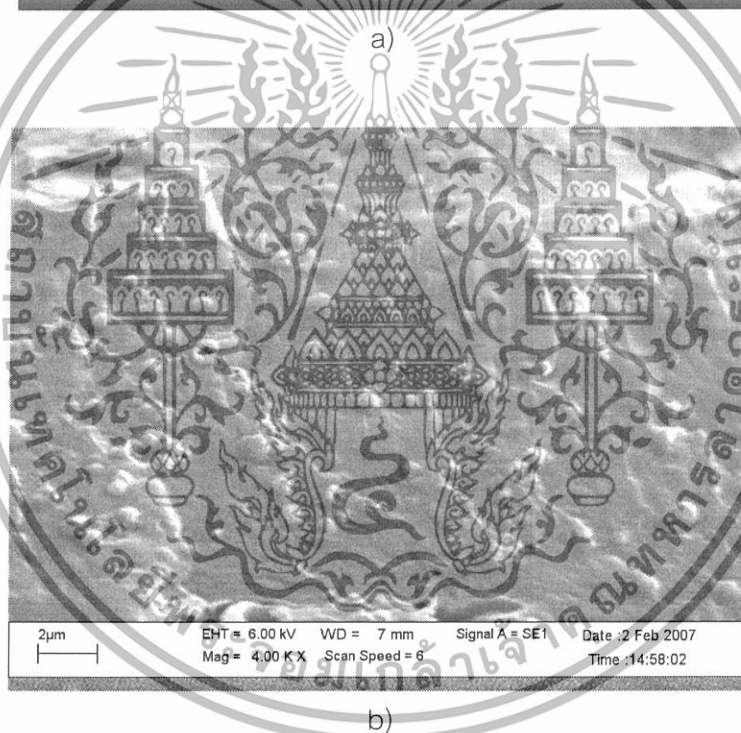
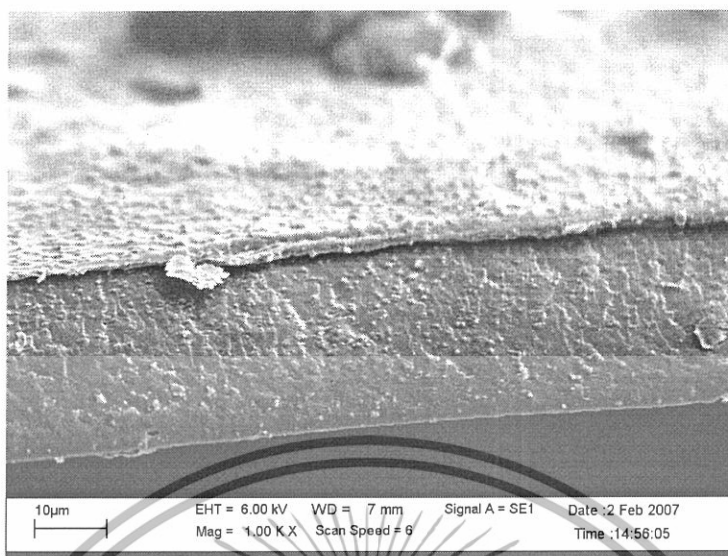
รูปที่ 4.12 ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวาง (Cross section) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ 0.07 % (w/w) ที่ไม่เติมซีโอไลต์ (0.07\_M) กำลังขยาย 1,000 เท่า



a) 0.1

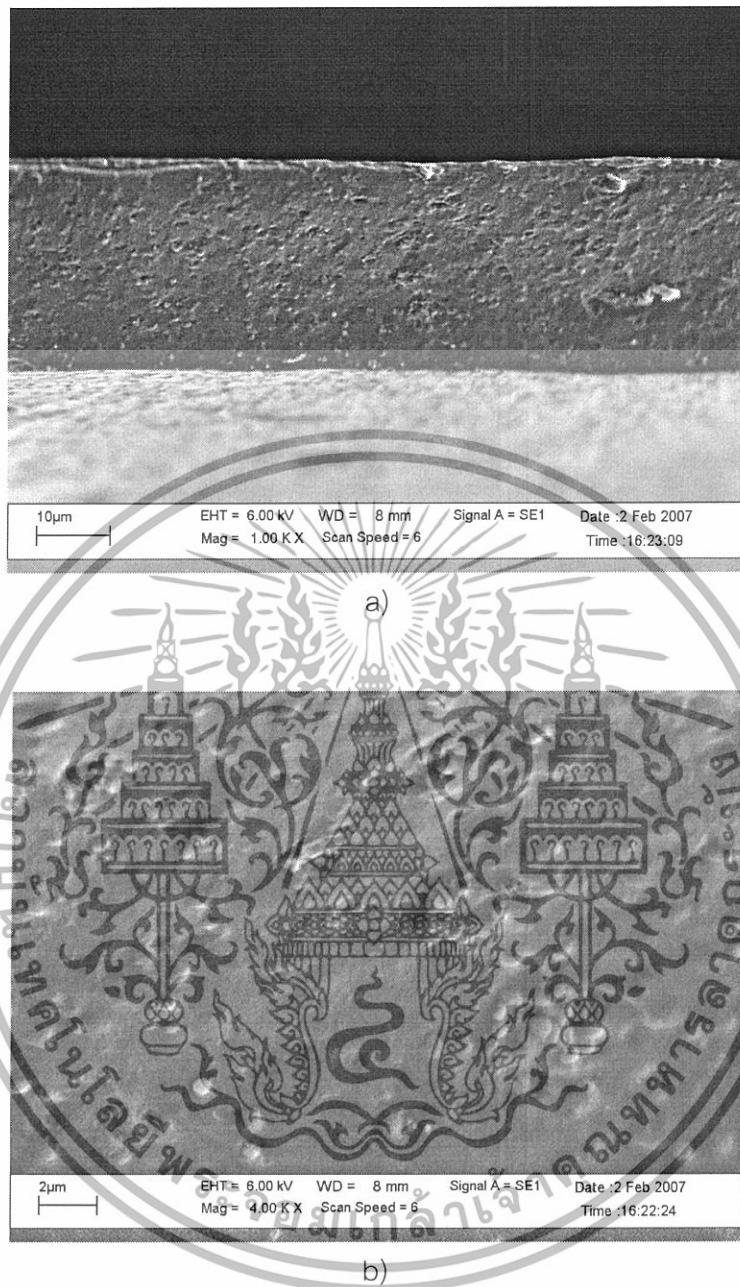
รูปที่ 4.13 ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวาง (Cross section) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ 0.1 % (w/w) ที่ไม่เติมซีโอไลต์ (0.1\_M) กำลังขยาย 1,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



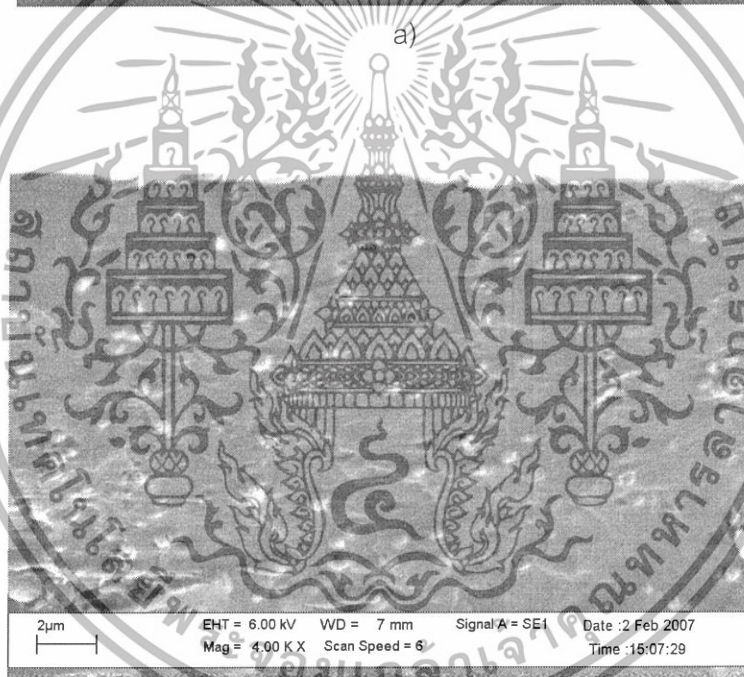
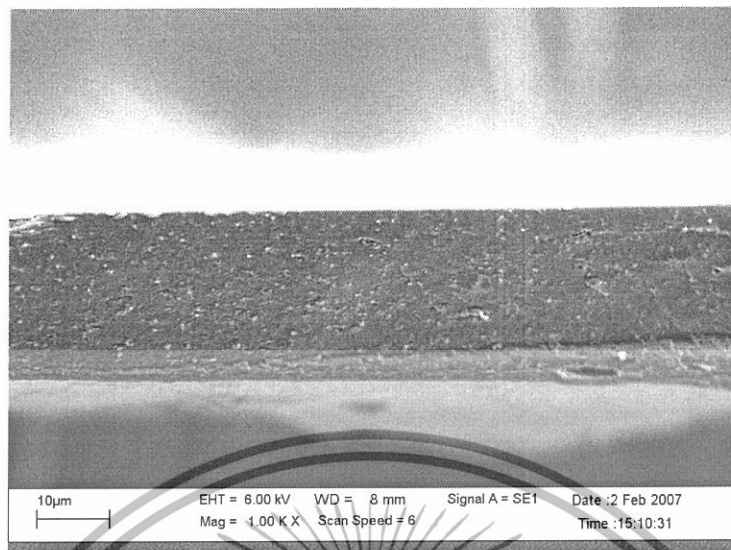
รูปที่ 4.14 ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวาง (Cross section) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตนานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ที่ 0.05 % (w/w) ที่มีการเติมซีโอไลต์ (0.05\_Ze6M)  
 a) กำลังขยาย 1,000 เท่า      b) กำลังขยาย 4,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.15** ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวาง (Cross section) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ที่ 0.07 % (w/w) ที่มีการเติมซีโอไลต์ (0.07\_Ze6M)  
 a) กำลังขยาย 1,000 เท่า      b) กำลังขยาย 4,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวาง (Cross section) ของเยื่อเลือกผ่านโคโตนานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ที่ 0.1 % (w/w) ที่มีการเติมซีโอไลต์ (0.1\_Ze6M)  
 a) กำลังขยาย 1,000 เท่า      b) กำลังขยาย 4,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.5 ปริมาณซีโอไลท์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน

ในขั้นตอนการเตรียมเยื่อเลือกผ่านมีการผสมซีโอไลท์ลงในสารละลายโคโตซาน ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาปริมาณซีโอไลท์โซเดียมเอที่มีอยู่จริงในเยื่อเลือกผ่านโคโตซานได้ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน TGA ผลการทดลองแสดงในตาราง 4.1

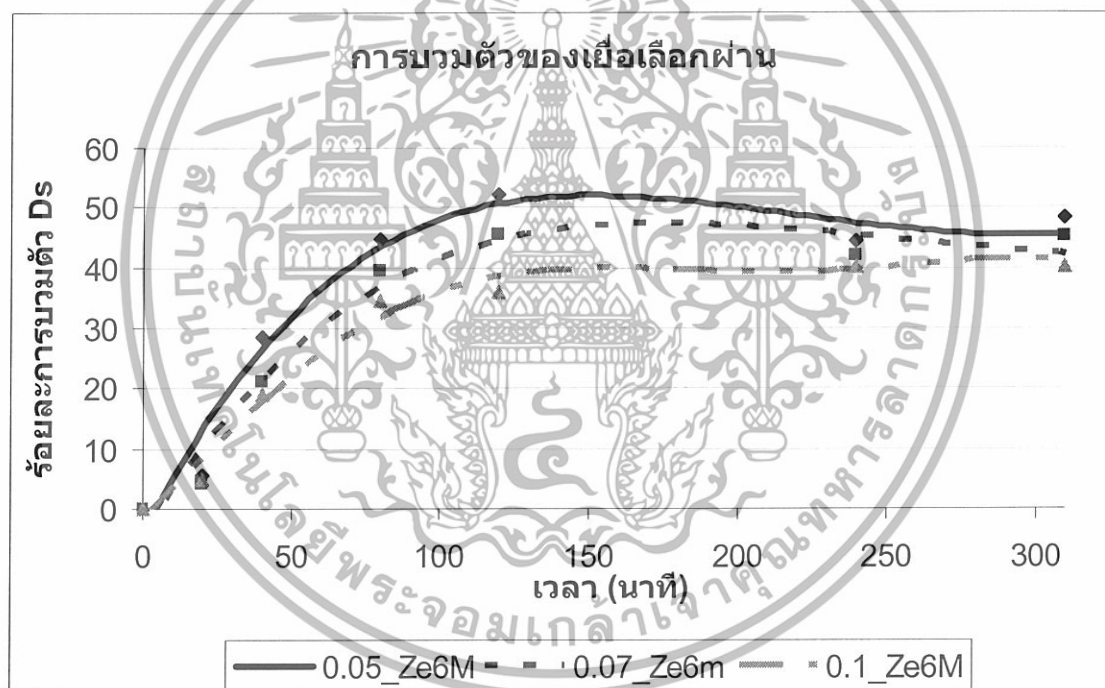
ตารางที่ 4.1 ปริมาณซีโอไลท์โซเดียมเอที่เติมและมีอยู่จริงจากเทคนิค TGA

เยื่อเลือกผ่าน	ซีโอไลท์ที่เติม		ซีโอไลท์จากเทคนิค TGA (%wt)	อุณหภูมิสลายตัว (°C)	
	phr	%wt		หมู่ไฮดรอกซี	สายโซ่หลัก
0.05_M	-	-	-	287	541
0.05_Ze6M	10	9.09	6.80	285	539
0.07_Ze6M	10	9.09	7.28	284	539
0.1_Ze6M	10	9.09	7.31	285	539

จากการทดลองพบว่าปริมาณซีโอไลท์โซเดียมเอที่มีอยู่จริงในเยื่อเลือกผ่านมีค่าน้อยกว่าที่ได้จากการคำนวณ เนื่องจากซีโอไลท์โซเดียมเอมีน้ำอยู่ในรูพรุนประมาณ 20-30% ของน้ำหนักซีโอไลท์ เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA ทำให้น้ำในรูพรุนระเหยออกไป ดังนั้นน้ำหนักที่วิเคราะห์ได้จึงน้อยกว่าน้ำหนักที่คำนวณได้

## 4.2 การบวมตัวของเยื่อเลือกผ่าน

จากการศึกษาการบวมตัวของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานผสมซีไอไลต์โซเดียมเอทีที่มีการเชื่อมโยงโดยใช้กลูตาโรลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.05-0.1 % (w/w) (รูปที่ 4.17) พบว่าเยื่อเลือกผ่านที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ 0.05 % (w/w) มีการบวมตัวมากที่สุด และเยื่อเลือกผ่านที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ 0.07 % (w/w) และ 0.1 % (w/w) มีการบวมตัวน้อยลงมาตามลำดับ เนื่องจากเยื่อเลือกผ่านที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นมากขึ้น ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โคโตซานมากขึ้น ความหนาแน่นการเชื่อมโยงมากขึ้นส่งผลให้สายโซ่มีโอกาสเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้น้อยลง ร้อยละการบวมตัวจึงลดลง

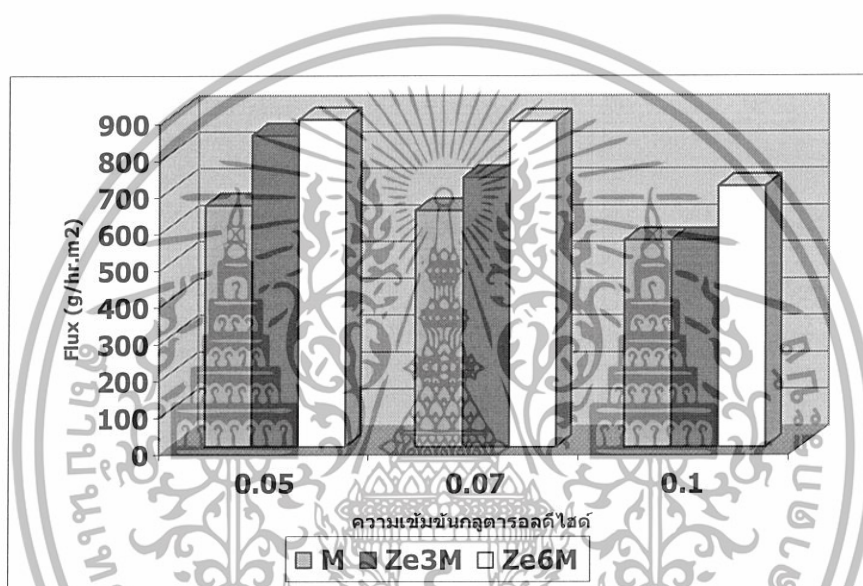


รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการบวมตัวของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานผสมซีไอไลต์โซเดียมเอทีที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ความเข้มข้นต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

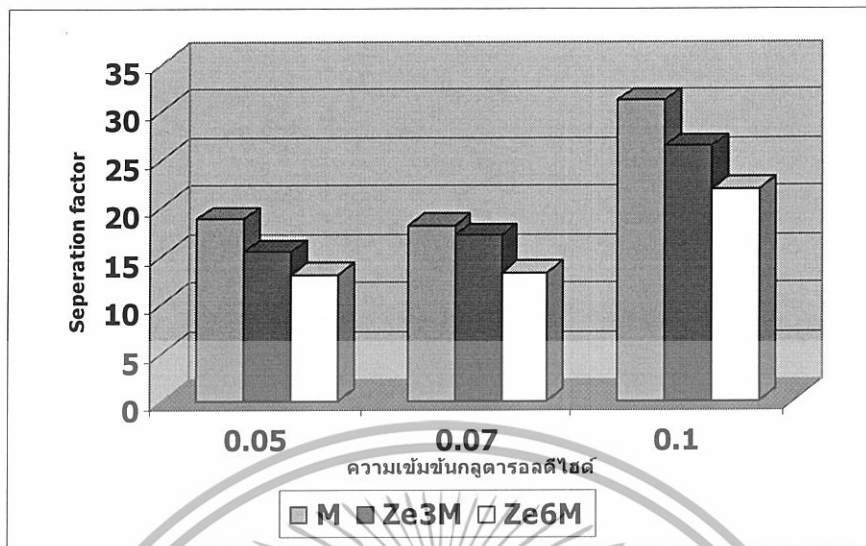
#### 4.3 ผลของการเชื่อมโยงของเยื่อเลือกผ่านที่มีต่อความสามารถและประสิทธิภาพการแยกน้ำจากเอทานอลในกระบวนการซีมผ่านไอ

จากการศึกษาผลของการเชื่อมโยงเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอโลต์โซเดียมเอด้วย ความเข้มข้นของกลูตารอลดีไฮด์ในช่วงความเข้มข้น 0.05-0.1%(w/w) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเยื่อเลือกผ่าน โดยวัดจากค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกได้ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์กับการเชื่อมโยงเยื่อเลือกผ่านที่ผสมซีโอโลต์โซเดียมเอที่สังเคราะห์ได้ด้วยความเข้มข้นกลูตารอลดีไฮด์ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการแยกกับการเชื่อมโยงเยื่อเลือกผ่านที่ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอทิลีนไดอะไมด์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยความเข้มข้นกลูตาโรลดีไฮด์ต่างกัน

จากการศึกษาผลของการเชื่อมโยงเยื่อเลือกผ่านโคไตซานด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นต่างกันในช่วง 0.05-0.1 % (w/w) พบว่าเยื่อเลือกผ่านที่เชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นที่สูง (0.1, Ze6M) ให้ค่าฟลักซ์ต่ำกว่าเยื่อเลือกผ่านที่เชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 0.07 % และ 0.05 % (w/w) ตามลำดับ (รูป 4.18) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อมีการเชื่อมโยงเยื่อเลือกผ่านมากขึ้น สายโซ่โคไตซานจึงเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากขึ้น ช่องว่างระหว่างสายโซ่ลดลง ทำให้ไอของสารผสมแพร่ผ่านได้ยากขึ้น ค่าฟลักซ์จึงลดลง ค่าความสามารถในการแยกเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.19) เนื่องจากสารที่ผ่านเข้ามาเป็นไอผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำ เมื่อผ่านช่องว่างระหว่างสายโซ่ น้ำเกิดอันตรกิริยากับสายโซ่ได้ดีกว่า ดังนั้นถ้ามีการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ต่ำ ช่องว่างระหว่างสายโซ่จึงกว้าง น้ำที่แพร่เข้าไปจะเกิดอันตรกิริยากับสายโซ่ โดยน้ำที่อยู่บริเวณสายโซ่จะเกิดอันตรกิริยาได้ดีกว่าน้ำที่ห่างออกไป เอทานอลจึงสามารถแพร่ผ่านไปได้โดยละลายรวมไปกับน้ำ แต่เมื่อมีการเชื่อมโยงมากขึ้น สายโซ่เข้ามาใกล้กันมาก ช่องว่างระหว่างสายโซ่จะแคบ น้ำจึงเกิดอันตรกิริยากับสายโซ่และเกิดอันตรกิริยากันเองได้ดี จึงเกิด capillary condensation เอทานอลจึงละลายในน้ำได้น้อยลงและแพร่ผ่านไปได้ยากขึ้น ค่าความสามารถในการแยกจึงสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาผลของการผสมซีโอโลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่เชื่อมโยง ด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ พบว่าค่าฟลักซ์ของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานผสมซีโอโลต์โซเดียมเอ (ZeM) มีค่าสูงกว่าเยื่อเลือกผ่านที่ไม่ผสมซีโอโลต์โซเดียมเอ (M) ซึ่งสามารถอธิบายได้จากแบบจำลองเยื่อเลือกผ่าน (รูปที่ 4.20) โดยเยื่อเลือกผ่านที่ไม่เติมซีโอโลต์โซเดียมเอ (รูปที่ 4.20a) ระยะเวลาของการแพร่ (diffusion path) ของไอผสมผ่านสายโซ่ที่ขิดติดกันของโคโตซานต้องเคลื่อนที่เป็นระยะทางที่ยาวต่อเนื่อง ไอผสมจึงเคลื่อนที่ผ่านไปได้ยาก แต่ในเยื่อเลือกผ่านที่มีซีโอโลต์โซเดียมเอกระจายอยู่ (รูปที่ 4.20b) ระยะเวลาของการแพร่ของไอผสมผ่านสายโซ่ของโคโตซานในแต่ละช่วงจะลดน้อยลง เนื่องจากมีซีโอโลต์โซเดียมเออยู่ ดังนั้นไอผสมจึงเคลื่อนที่ได้ง่ายกว่า ประกอบกับซีโอโลต์โซเดียมเอมีคุณสมบัติชอบน้ำเป็นอย่างมาก น้ำจึงเคลื่อนเข้าไปบริเวณที่มีซีโอโลต์ ทำให้ความเข้มข้นของน้ำในบริเวณนั้นสูงขึ้น จึงมีแรงผลักดัน (Driving force) ให้สารเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ สารจึงแพร่ผ่านไปได้มากขึ้น ค่าฟลักซ์จึงมากขึ้น แต่พบว่าค่าความสามารถในการแยกกลดลง เนื่องจากการเติมซีโอโลต์โซเดียมเอ ระยะเวลาของการแพร่ของไอผสมผ่านสายโซ่โคโตซานจะลดลงความจำเพาะเจาะจงของเยื่อเลือกผ่านลดลง ค่าความสามารถในการแยกจึงลดลงด้วย



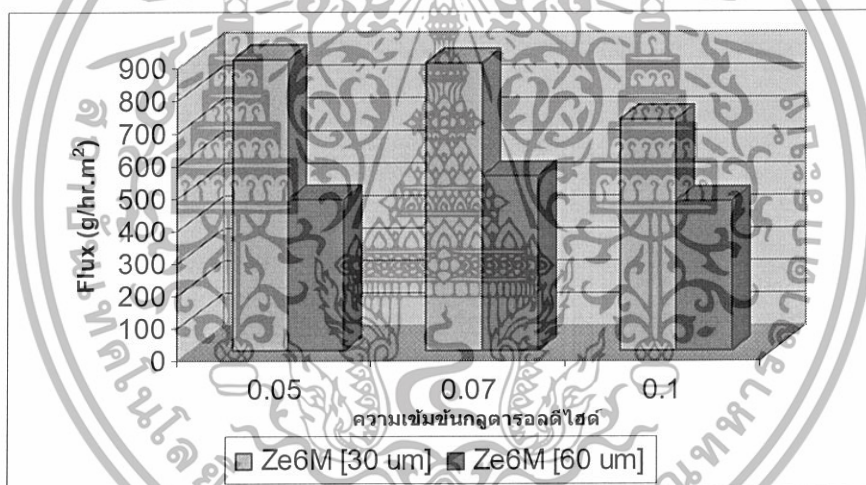
รูปที่ 4.20 แบบจำลองเยื่อเลือกผ่าน a) เยื่อเลือกผ่านโคโตซาน (M) b) เยื่อเลือกผ่านโคโตซานผสมซีโอโลต์โซเดียมเอ (ZeM)

การเติมหรือไม่เติมซีโอโลต์โซเดียมเอ ทำให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์กับค่าความสามารถในการแยกเมื่อความเข้มข้นของกลูตาโรลดีไฮด์เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน โดยพิจารณาจากร้อยละการเปลี่ยนแปลง (ภาคผนวก ข) แสดงว่าการเติมซีโอโลต์โซเดียมเอไม่มีผลต่อการเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

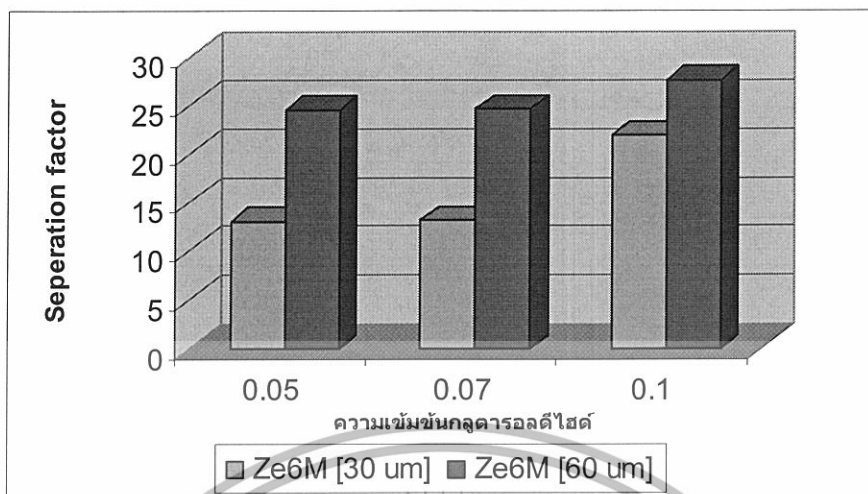
#### 4.4 ผลของความหนาของเยื่อเลือกผ่านที่มีต่อความสามารถและประสิทธิภาพการแยกน้ำจากเอทานอลในกระบวนการซึมผ่านไอ

จากการศึกษาเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์ซีเดียมเอพบว่ายื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ผสมซีโอไลต์ซีเดียมเอ (Ze6) ที่ความหนา  $30 \pm 3$  ไมโครเมตร ให้ค่าฟลักซ์ดีที่สุดเมื่อเทียบกับซีโอไลต์ซีเดียมเอ (Ze3) จึงได้ศึกษาผลของความหนาของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์ซีเดียมเอ (Ze6) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเยื่อเลือกผ่าน ที่ความหนา 30 ไมโครเมตร, 60 ไมโครเมตร ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.21 และ รูปที่ 4.22



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์กับความหนาของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์ซีเดียมเอที่ความหนา 30 ไมโครเมตร และ 60 ไมโครเมตร

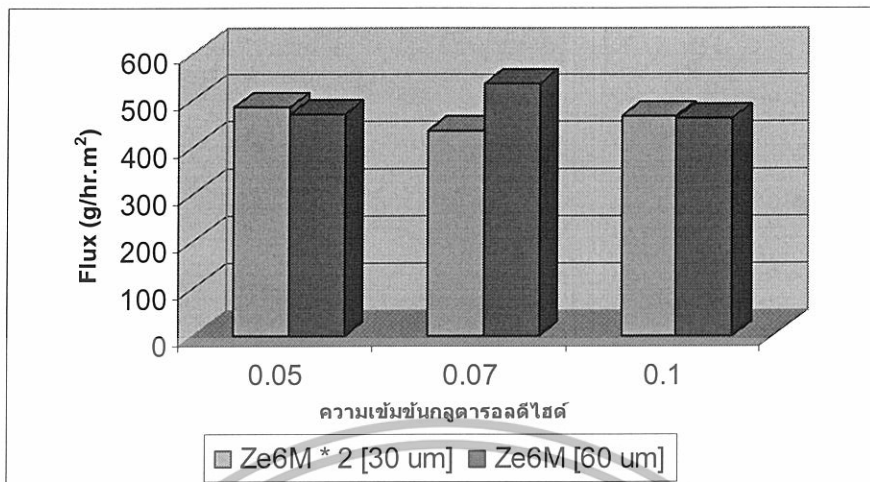
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



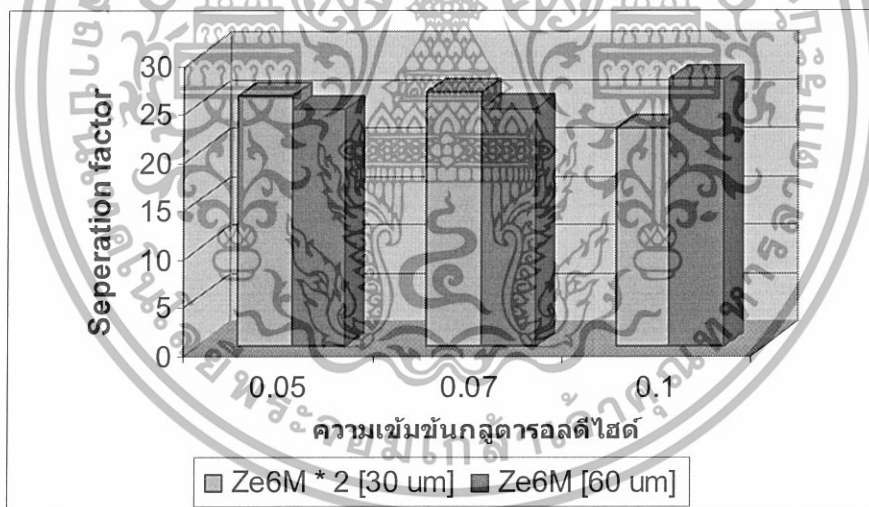
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการแยกกับความหนาของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีไอไลต์โซเดียมเอทีความหนา 30ไมโครเมตร และ 60 ไมโครเมตร

จากการศึกษาผลของความหนาของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีไอไลต์โซเดียมเอ (Ze6) พบว่าค่าฟลักซ์ของเยื่อเลือกผ่านที่ความหนา 60 ไมโครเมตร มีค่าต่ำกว่าเยื่อเลือกผ่านที่ความหนา 30 ไมโครเมตร (รูปที่ 4.21) เนื่องจากเมื่อความหนามากขึ้น ระยะทางในการเคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านของไอผสมจะมากขึ้น ไอผสมจึงเคลื่อนที่ผ่านไปได้ยากขึ้น ทำให้ไอของเอทานอลและน้ำเคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านได้น้อยลง แต่พบว่าค่าความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านมีค่ามากขึ้น (รูปที่ 4.22) เนื่องจากเมื่อระยะทางในการเคลื่อนที่ของสารผ่านเยื่อเลือกผ่านมากขึ้น เยื่อเลือกผ่านจะมีความจำเพาะเจาะจงในการแยกมากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์กับความหนาของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอทีความหนา 30 ไมโครเมตร และ 30 ไมโครเมตร 2 แผ่นประกบ



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการแยกกับความหนาของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอทีความหนา 30 ไมโครเมตร และ 30 ไมโครเมตร 2 แผ่นประกบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.23-4.24 เมื่อเปรียบเทียบเยื่อเลือกผ่านโคโตซานผสมซีโอโลต์โซเดียมเอทีความหนา 60 ไมโครเมตร และที่ความหนา 30 ไมโครเมตร 2 แผ่นประกบ พบว่าค่าฟลักซ์ (รูปที่ 4.23) และค่าความสามารถในการแยก (รูปที่ 4.24) มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าเยื่อเลือกผ่านที่ความหนา 30 ไมโครเมตร 2 แผ่นประกบ สามารถประกบกันได้แบบสนิท ไม่มีรอยต่อระหว่างแผ่น แสดงว่ารอยต่อระหว่างแผ่นไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยก ในการนำเยื่อเลือกผ่านไปใช้งานสามารถนำเยื่อเลือกผ่านมาซ้อนทับกันจนได้ความหนาที่ต้องการ แทนการใช้เยื่อเลือกผ่านชั้นเดียวที่ความหนาที่เท่ากัน เนื่องจากการเตรียมเยื่อเลือกผ่านโดยมีการกระจายตัวของซีโอโลต์โซเดียมเอทีที่ดีที่ความหนามากๆ เตรียมได้ยากกว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอนแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงสมบัติของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยความเข้มข้นของกลูตารอลดีไฮด์ที่ต่างกัน เพื่อใช้ในการแยกน้ำออกจากเอทานอลด้วยการเติมซีโอไลต์-ซีโอไลต์เดี่ยวที่สังเคราะห์โดยใช้เวลาดำ 3 และ 6 ชั่วโมง พิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์ซีโอไลต์เดี่ยวที่สังเคราะห์ได้ พิสูจน์เอกลักษณ์ของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์ซีโอไลต์เดี่ยวที่มีการเชื่อมโยงที่ต่างกัน ศึกษาการบวมตัวของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่มีการเชื่อมโยงต่างกัน ศึกษาผลของการเชื่อมโยงและความหนาที่มีต่อความสามารถและประสิทธิภาพการแยกน้ำจากเอทานอลในกระบวนการซีมผ่านไคโต จากการศึกษาสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ซีโอไลต์เดี่ยว พบว่าเมื่อเวลาในการบ่มนานขึ้น ทำให้อนุภาคผลึกซีโอไลต์ซีโอไลต์เดี่ยวที่ได้มีการกระจายของขนาดอนุภาคแคบ และผลึกมีขนาดใกล้เคียงกัน

จากการศึกษาต้นฐานวิทยาของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.05-0.1 %w/w พบว่าเมื่อทำการผสมซีโอไลต์ซีโอไลต์เดี่ยวลงในเยื่อเลือกผ่านไคโตซานทำให้พื้นที่ผิวและภาคตัดขวางมีความขรุขระมากขึ้น เนื่องจากซีโอไลต์ซีโอไลต์เดี่ยวมีการกระจายตัวในเยื่อเลือกผ่านไคโตซานได้ดีจากสมบัติความมีขั้วที่เหมือนกัน และเมื่อมีการเชื่อมโยงเยื่อเลือกผ่านด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นมากขึ้น พื้นที่ผิวและภาคตัดขวางยังคงเรียบอยู่ และซีโอไลต์ซีโอไลต์เดี่ยวยังสามารถกระจายตัวได้ดี จากการศึกษาปริมาณซีโอไลต์ซีโอไลต์เดี่ยวในเยื่อเลือกผ่านโดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA พบว่าซีโอไลต์ซีโอไลต์เดี่ยวที่อยู่ในเยื่อเลือกผ่านมีปริมาณใกล้เคียงกับที่เติมลงไป

จากผลของการบวมตัวของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์ซีโอไลต์เดี่ยวที่มีการเชื่อมโยงต่างกัน พบว่าเยื่อเลือกผ่านที่มีการเชื่อมโยงด้วยความเข้มข้นกลูตารอลดีไฮด์มาก จะมีการบวมตัวของเยื่อเลือกผ่านน้อย เนื่องจากเยื่อเลือกผ่านที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่ความเข้มข้นมากขึ้น ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายไซไคโตซานมากขึ้น ความหนาแน่นการเชื่อมโยงมากขึ้นส่งผลให้สายไซมีโอกาสเกิดอันตรกิริยากับน้ำได้น้อยลง ร้อยละการบวมตัวจึงลดลง

จากการทดสอบประสิทธิภาพการแยกด้วยกระบวนการซีมผ่านไคโต พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารเชื่อมโยงสูงขึ้น ค่าฟลักซ์น้อยลง แต่ค่าความสามารถในการแยกมากขึ้น เนื่องจากเมื่อมีการเชื่อมโยงเยื่อเลือกผ่านมากขึ้น สายไซไคโตซานเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากขึ้น ช่องว่างระหว่างสายไซจะแคบลง น้ำจึงเกิดอันตรกิริยากับสายไซและเกิดอันตรกิริยากันเองได้ดี จึงเกิด capillary เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

condensation เอทานอลจึงละลายในน้ำได้น้อยลงและแพร่ผ่านไปได้ยากขึ้น ค่าฟลักซ์จึงลดลง ค่าความสามารถในการแยกจึงสูงขึ้น และการผสมซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน พบว่าค่าฟลักซ์เพิ่มสูงขึ้น แต่ค่าความสามารถในการแยกลดลง เนื่องจากกระยะทางของการแพร่ของไอผสมผ่านสายโซ่ของไคโตซานในแต่ละช่วงจะลดน้อยลง เนื่องจากมีซีโอไลต์โซเดียมเออยู่ ไอผสมจึงเคลื่อนที่ได้ง่ายกว่า ประกอบกับซีโอไลต์โซเดียมเอมีคุณสมบัติชอบน้ำเป็นอย่างมาก น้ำจึงเคลื่อนเข้าไปบริเวณที่มีซีโอไลต์ ทำให้ความเข้มข้นของน้ำในบริเวณนั้นสูงขึ้น จึงมีแรงผลักดัน (Driving force) ให้สารเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ สารจึงแพร่ผ่านไปได้มากขึ้น ค่าฟลักซ์จึงมากขึ้น ค่าความสามารถในการแยกจึงลดลง และพบว่าการเติมหรือไม่เติมซีโอไลต์โซเดียมเอ ทำให้แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์กับค่าความสามารถในการแยกเมื่อความเข้มข้นของกลูตาโรลดีไฮด์เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกัน โดยพิจารณาจากร้อยละการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าการเติมซีโอไลต์โซเดียมเอไม่มีผลต่อการเชื่อมโยง

จากการศึกษาผลของความหนาของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ พบว่าเมื่อความหนาของเยื่อเลือกผ่านมากขึ้น ค่าฟลักซ์ลดลง ค่าความสามารถในการแยกเพิ่มขึ้น เนื่องจากกระยะทางในการเคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านของไอผสมจะมากขึ้น ไอผสมจึงเคลื่อนที่ผ่านไปได้ยากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอที่ความหนา 60 ไมโครเมตร และที่ความหนา 30 ไมโครเมตร 2 แผ่นประกบ พบว่าค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่ารอยต่อระหว่างแผ่นไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการเตรียมเยื่อเลือกผ่านโคโตซานผสมซีโอโลต์โซเดียมเอวี่อื่น เพื่อเป็นการปรับปรุงการควบคุมความหนาและความเรียบของเยื่อเลือกผ่านให้สม่ำเสมอมากขึ้นกว่าเดิม
2. จากการศึกษาพบว่าการผลิตซีโอโลต์โซเดียมเอวี่ที่มีขนาดอนุภาคเล็กในเยื่อเลือกผ่านทำให้ค่าฟลักซ์สูงขึ้น ดังนั้นควรสังเคราะห์ซีโอโลต์โซเดียมเอวี่ให้มีขนาดอนุภาคเล็กลงโดยการควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการบ่ม
3. จากการทดลองพบว่าเมื่อผสมซีโอโลต์โซเดียมเอวี่ทำให้ค่าฟลักซ์สูงขึ้นแต่ค่าความสามารถในการแยกกลดลง และเมื่อเพิ่มความหนาของเยื่อเลือกผ่านทำให้ค่าความสามารถในการแยกสูงขึ้น ดังนั้นอาจมีการปรับความหนาของเยื่อเลือกผ่านให้เหมาะสม เพื่อเพิ่มค่าความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านโดยค่าฟลักซ์ของเยื่อเลือกผ่านต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
4. เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของเยื่อเลือกผ่านที่ให้โสมผ่านมีขนาดเล็ก ทำให้เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ของเอทานอลที่กลั่นได้ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงควรเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของเยื่อเลือกผ่านหรือผ่านเยื่อเลือกผ่านที่มีจำนวนชั้นมากขึ้น เพื่อให้เอทานอลที่กลั่นได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น
5. จากการศึกษาการประกับเยื่อเลือกผ่านในการทดสอบกระบวนการซีมีผ่านไอ พบว่าการนำเยื่อเลือกผ่านไปใช้งานสามารถนำเยื่อเลือกผ่านมาซ้อนทับกันจนได้ความหนาที่ต้องการ แทนการใช้เยื่อเลือกผ่านชั้นเดียวที่ความหนาที่เท่ากัน เนื่องจากการเตรียมเยื่อเลือกผ่านที่มีซีโอโลต์-โซเดียมเอวี่กระจายตัวได้ดีที่ความหนามาก ๆ นั้นเตรียมได้ยากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. วรภัทร วิริยาอุท, วสวัตดี บุญปรีชา และสุदारัตน์ พัฒนาไพบูลย์กุล 2548. การปรับปรุงเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอเพื่อใช้สำหรับการแยกน้ำจากเอทานอล. โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. กระทรวงพลังงาน. 2549.การผลิตแก๊สโซฮอลล์. [online]. Available : <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=517>
3. กระทรวงพลังงาน. 2549.การผลิตแก๊สโซฮอลล์. [online]. Available : <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=518>
4. ชันทอง สุนทรภา. 2547. เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร:จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 2-19.
5. R.W. Baker. Membrane Technology and Applications. John Wiley & sons. NewYork. Page 1-14.
6. GE. 2006. Water and Process Technologies. [online]. Available: [http://www.gewater.com/library/tp/1159\\_produced\\_Water.jsp](http://www.gewater.com/library/tp/1159_produced_Water.jsp)
7. กมลวรรณ อภิภาณิษฐ์. 2538. การสังเคราะห์เยื่อเลือกผ่านเพื่อใช้แยกน้ำออกจากสารผสมบิวทานอล-น้ำโดยกระบวนการเพอร์เวอเรชัน. โครงการพิเศษวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 21-37.
8. สถาบันวิจัยและพัฒนา องค์การเภสัชกรรม. 1997.ไคติน-ไคโตซาน. [online]. Available: <http://www.gpo.or.th/rdl/html/index.html>
9. ศูนย์ชีวภาพไคติน-ไคโตซาน. 2005. การประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตซาน. [online]. Available: <http://www.material.chula.ac.th/chitosan/clitosan%20in%20thailand/3applications.pdf>
10. <http://www.kitosato-u.ac.jp/131/chitin.html>
11. <http://www.chemistry.ohio-state.edu/structures.htm>
12. <http://sogang.ac.kr/~Zeolite/egall2.htm>
13. <http://zeolites.ethz.ch/cgi.-bin/collectionl.py>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. ตะวัน สุขน้อย. 2549. **หนังสือประกอบการเรียนวิชาซีโอไลต์และสารมีรูพรุนที่เกี่ยวข้อง**.ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.  
หน้า 2-3.
15. Y.M. Lee, S.Y. Num and D.J. Woo. 1997. Pervaporation of Ionically Surface Crosslinked Chitosan Composite Membrane for Water-alcohol Mixtures. *Journal of Membrane Science*. 133: 103-110.
16. X.P. Wang, Y.F. Feng and Z.Q. Shen. 2000. Pervaporation Properties of a Three-layer Structure Composite Membrane. *Journal of Applied Polymer Science*. 75: 740 -745.
17. B. Ratroj and R. Virojrid. 2001. **Preparation of Chitosan Membrane**. King Mongkut' s Institute of Technology North Bangkok.
18. J.Y. Lai, Y.H. Su, K.R. Lee, P.Y. Ko, S.T. Kao and D.M. Wang. **Dehydration of isopropanol and tetrafluoropropanol by pervaporation with chitosan-nanoparticle composite membranes**. Membrane Research and Development center Chung Yuan University, Chung Li, Taiwan.
19. O. Andac, M. Tatlier, A. Sirkecioglu, I. Ece and A.E. Senatalar. 2005. Effects of ultrasound on zeolite A synthesis. *Journal of Microporous and Mesoporous Materials*. 79: 225-233.
20. M. Zeng, Z. Fang. 2004. Preparation of Sub-micrometer Porous Membrane from Chitosan/Polyethylene Glycol Semi-IPN. *Journal of membrane science*. 245: 95-102.
21. W. Liguang, Z. Changlou and L.Moe. **Zeolite-filled PVA-CS composite membrane for ethanol-water azeotrope separation**. Department of Chemical Engineering, Zhejiang University,
22. D.A. Musale, A. Kumar. Solvent and pH resistance of surface crosslinked chitosan/poly(acrylonitrile) composite nanofiltration membranes. *Journal of Applied Polymer Science*. 77: 1782-1793.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

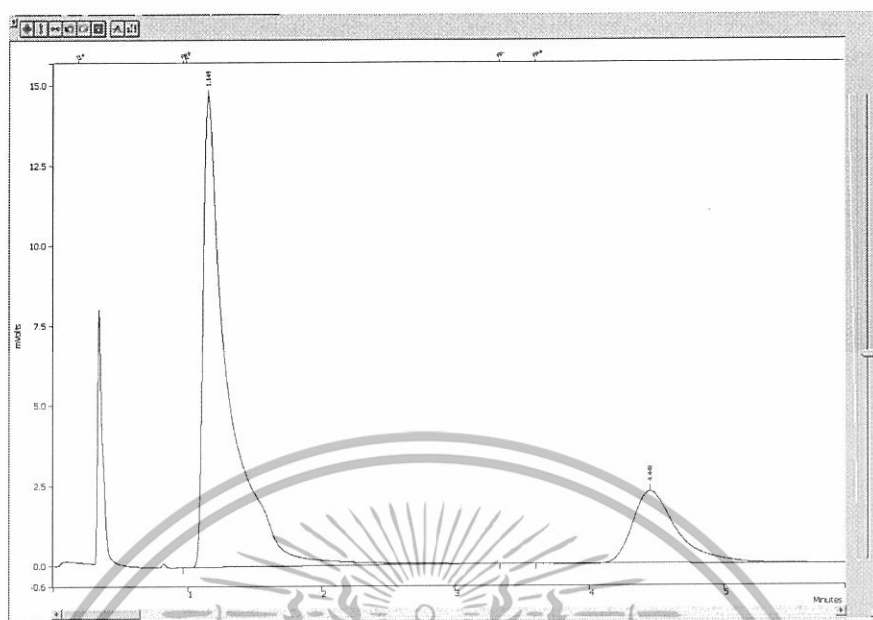
23. S. Sridhar , D.Ganga , B. Smitha and M. Ramakrishna. Dehydration of 2-Butanol by Pervaporation Through Blend Membranes of Chitosan and Hydroxy Ethyl Cellulose. *Separation Science and Technology*. 40: 2889-2908.
24. O.G. Nik , A. Moheb and T. Mohammadi Separation of Ethylene Glycol/Water Mixtures using NaA Zeolite Membranes. *Chemical Engineering & Technology*. 29: 1340-1346.



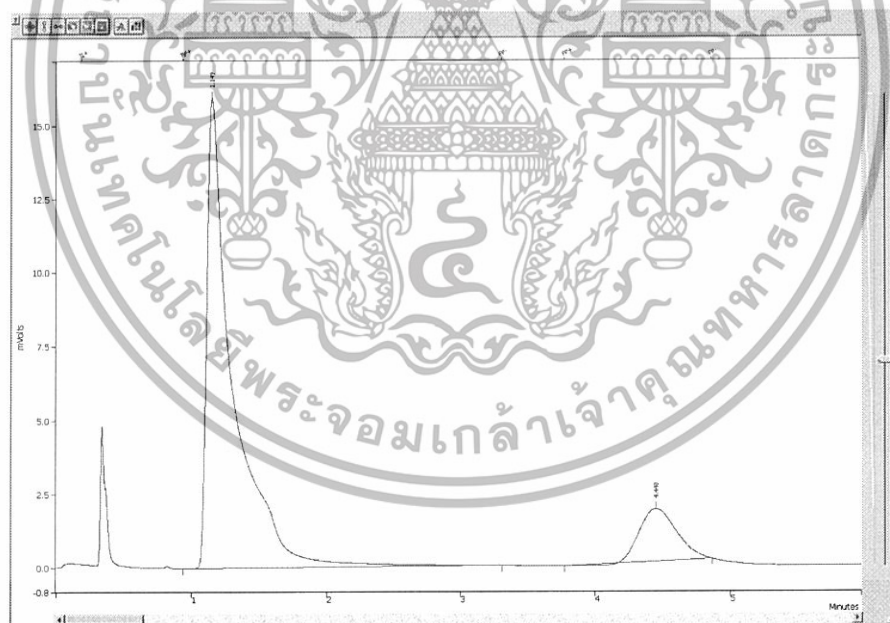
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

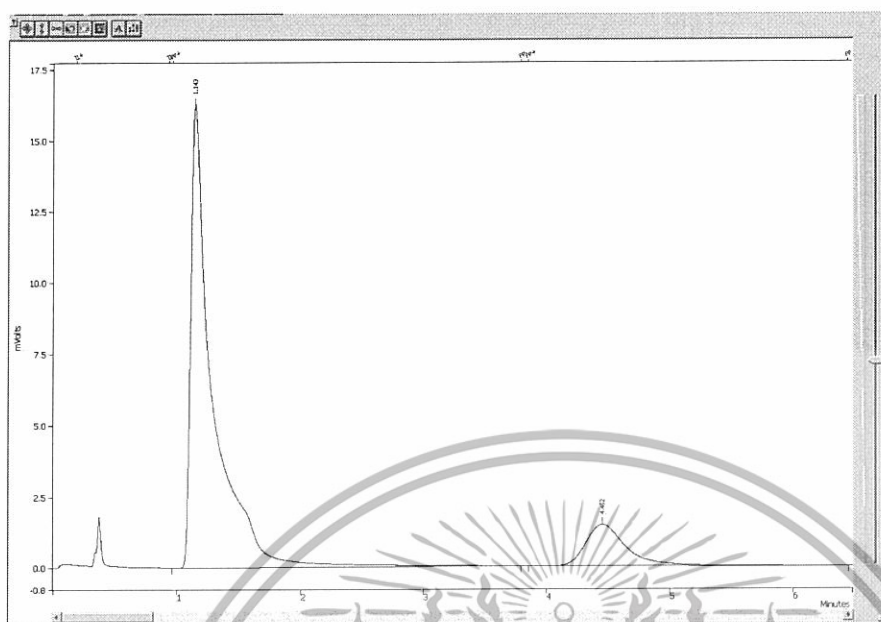


รูปที่ ก.1 โครมาโทแกรมของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 0.05 % (w/w) (หนา  $30 \pm 3$  ไมโครเมตร)



รูปที่ ก.2 โครมาโทแกรมของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 0.07% (w/w) (หนา  $30 \pm 3$  ไมโครเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

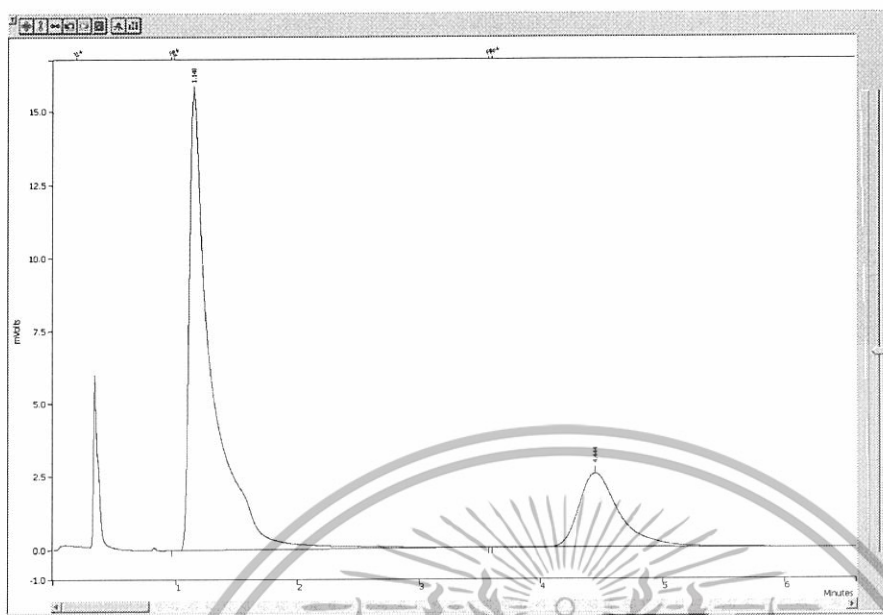


รูปที่ ก.3 โครมาโทแกรมของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 0.1 % (w/w) (หนา  $30 \pm 3$  ไมโครเมตร)

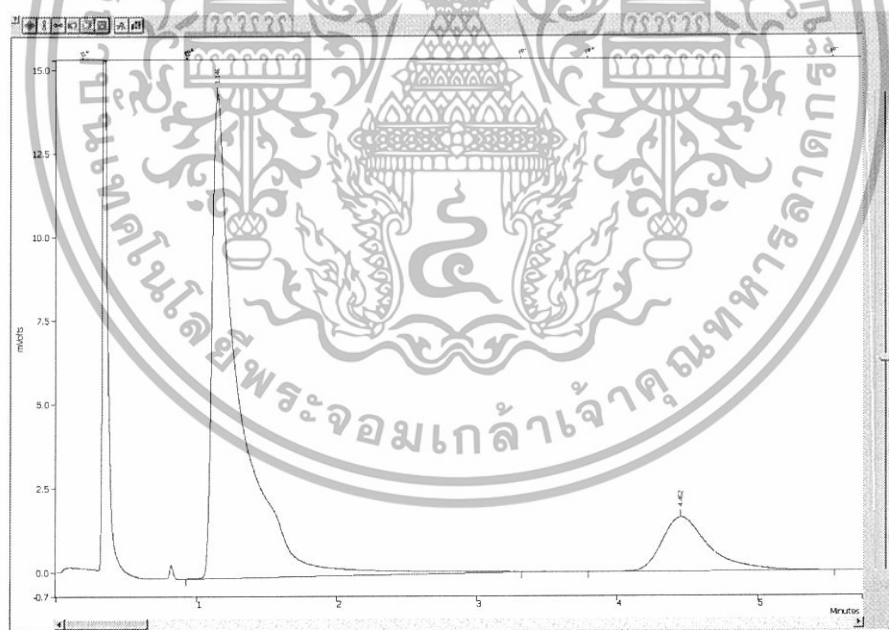


รูปที่ ก.4 โครมาโทแกรมของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 0.05 % (w/w) ผสมซีไอไลต์โซเดียมเอ (0.05\_Ze3M) (หนา  $30 \pm 3$  ไมโครเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

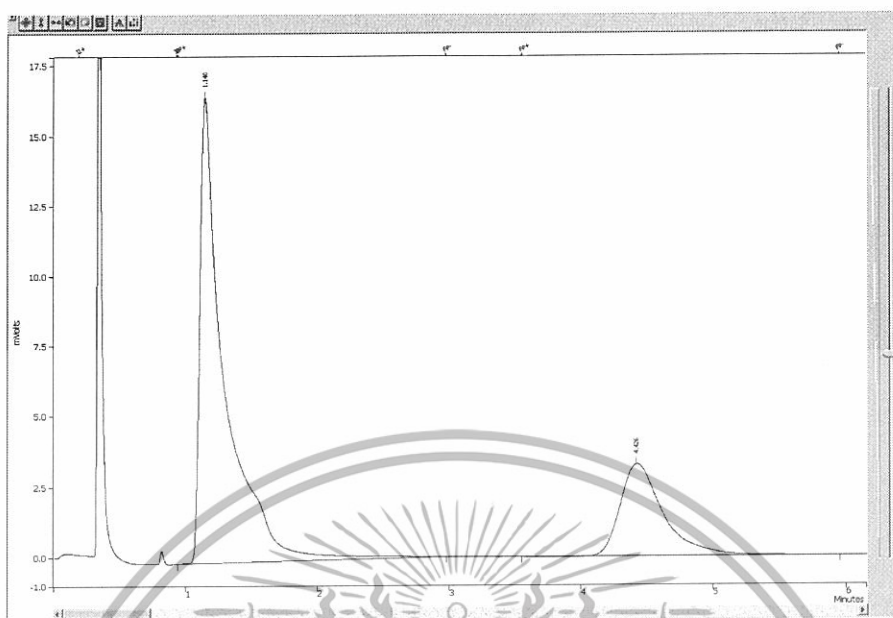


รูปที่ ก.5 โครมาโทแกรมของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น  
0.07 % (w/w) ผสมซีไอไลต์โซเดียมเอ (0.07\_Ze3M) (หนา 30±3 ไมโครเมตร)



รูปที่ ก.6 โครมาโทแกรมของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น  
0.1 % (w/w) ผสมซีไอไลต์โซเดียมเอ (0.1\_Ze3M) (หนา 30±3 ไมโครเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

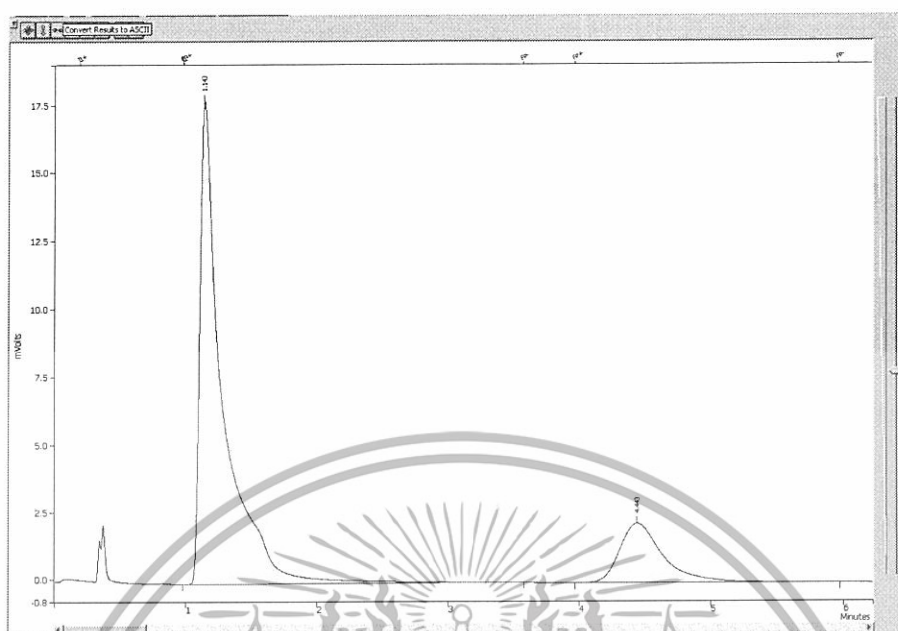


รูปที่ ก.7 โครมาโทแกรมของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 0.05 % (w/w) ผสมซีไอไลต์โซเดียมเอ (0.05\_Ze6M) (หนา  $30 \pm 3$  ไมโครเมตร)

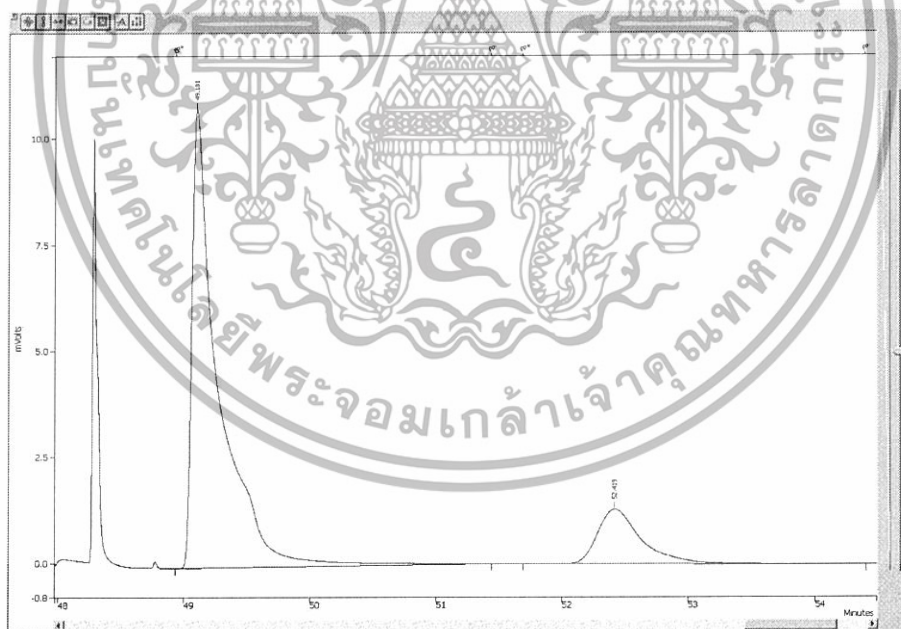


รูปที่ ก.8 โครมาโทแกรมของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 0.07 % (w/w) ผสมซีไอไลต์โซเดียมเอ (0.07\_Ze6M) (หนา  $30 \pm 3$  ไมโครเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

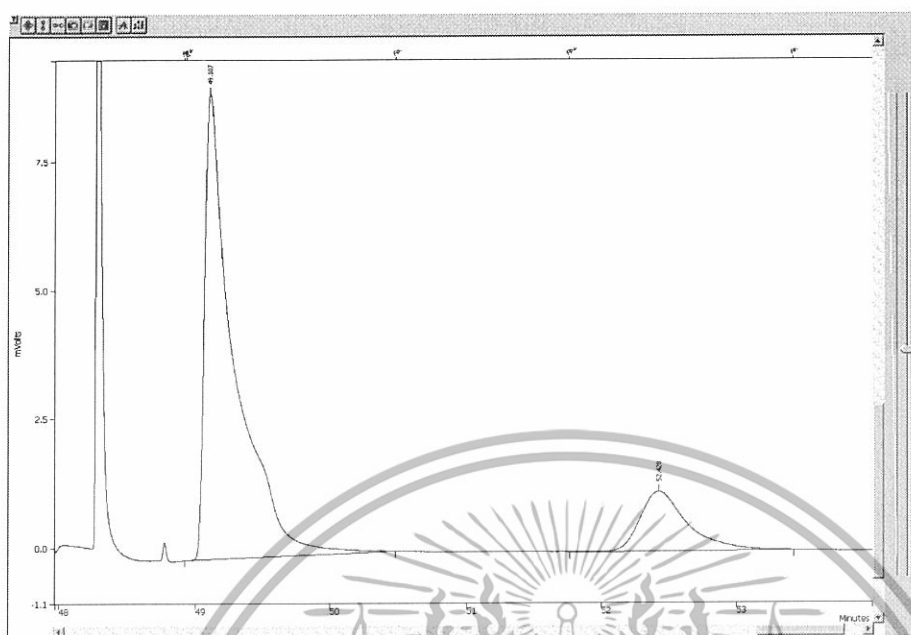


รูปที่ ก.9 โครมาโทแกรมของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 0.1 % (w/w) ผสมซีไอไลต์โซเดียมเอ (0.1\_Ze6M) (หนา  $30 \pm 3$  ไมโครเมตร)

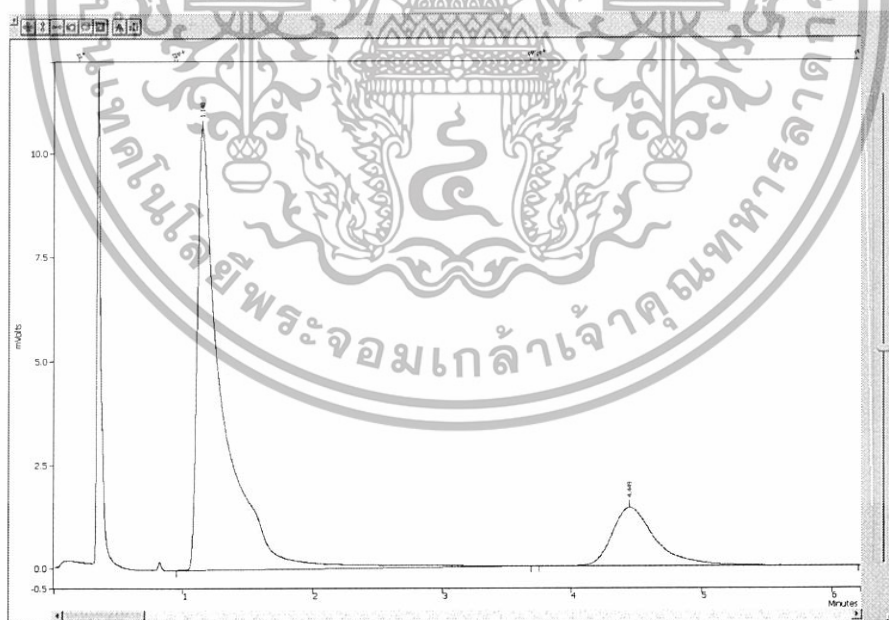


รูปที่ ก.10 โครมาโทแกรมของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 0.05 % (w/w) ผสมซีไอไลต์โซเดียมเอ (0.05\_Ze6M) (หนา  $30 \pm 3$  ไมโครเมตร 2 แผ่นประกบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

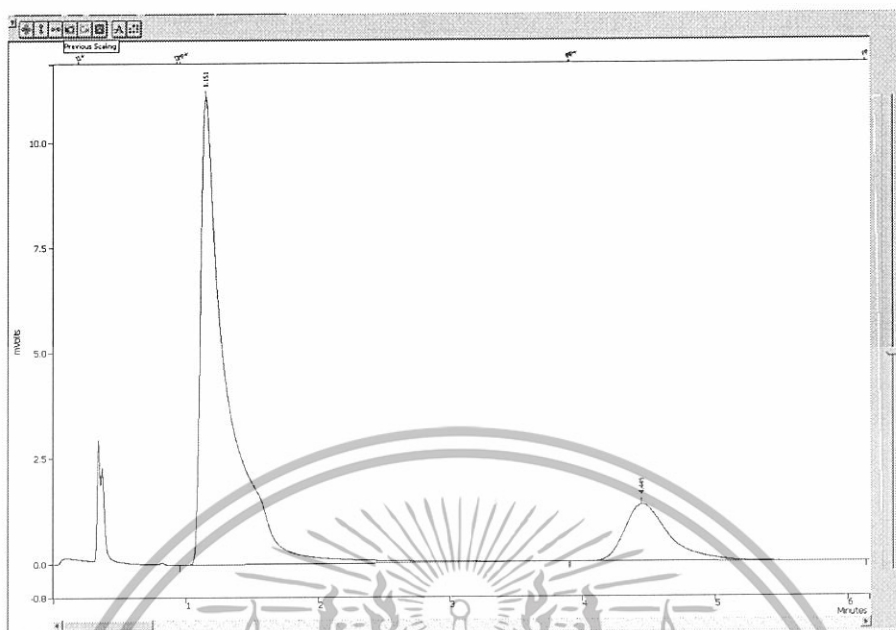


รูปที่ ก.11 โครมาโทแกรมของเยื่อเลือกผ่านโคโตะซานเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 0.07 % (w/w) ผลผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ (0.07\_Ze6M) (หนา  $30 \pm 3$  ไมโครเมตร 2 แผ่น ประกบ)



รูปที่ ก.12 โครมาโทแกรมของเยื่อเลือกผ่านโคโตะซานเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 0.1 % (w/w) ผลผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ (0.1\_Ze6M) (หนา  $30 \pm 3$  ไมโครเมตร 2 แผ่น ประกบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

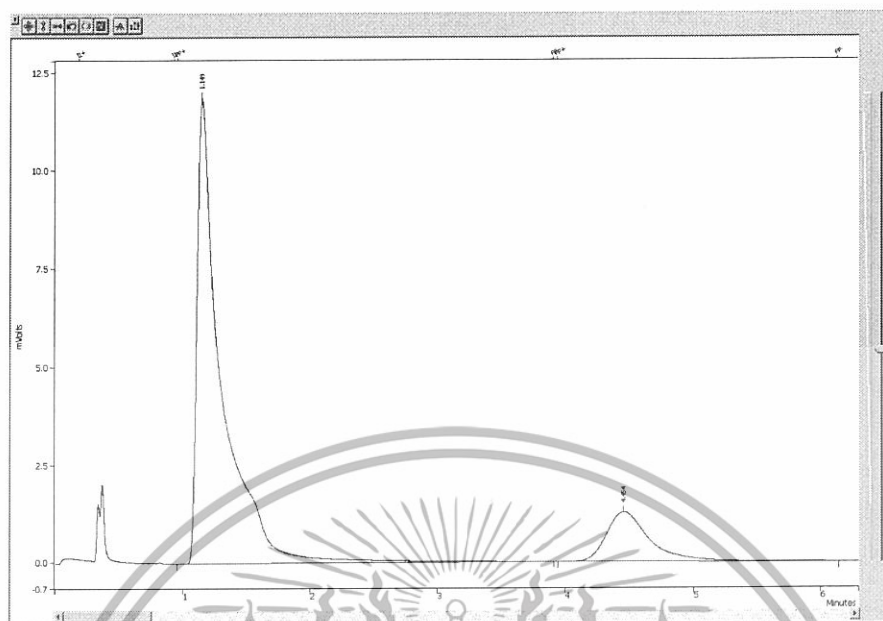


รูปที่ ก.13 โครมาโทแกรมของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 0.05 % (w/w) ผสมซีไอไลต์โซเดียมเอ (0.05\_Ze6M) (หนา  $60 \pm 3$  ไมโครเมตร)



รูปที่ ก.14 โครมาโทแกรมของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 0.07 % (w/w) ผสมซีไอไลต์โซเดียมเอ (0.07\_Ze6M) (หนา  $60 \pm 3$  ไมโครเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.15 โครมาโทแกรมของเยื่อเลือกผ่านโคโตะซานเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 0.1 % (w/w) ผสมซีไอไลต์โซเดียมเอ (0.1\_Ze6M) (หนา  $60 \pm 3$  ไมโครเมตร)

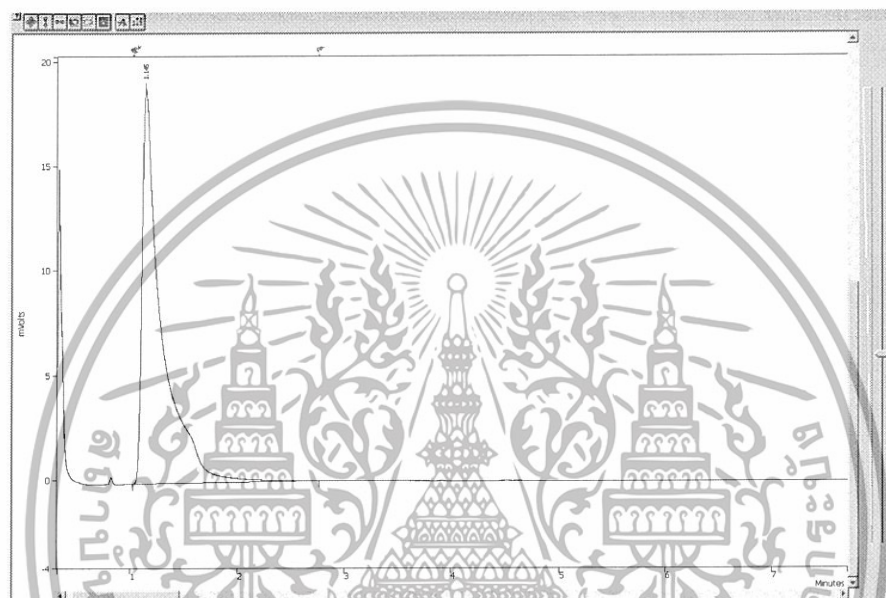
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตัวอย่างการคำนวณ**  
การคำนวณหาค่า Resopnse factor (Rf)

1. การคำนวณหาค่า response factor ของน้ำ



รูปที่ ข.1 โครมาโทแกรมของน้ำ

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลในการคำนวณและสภาวะในการทดสอบ

ข้อมูล	ค่า
พื้นที่ใต้กราฟ	192819.5
ความดันไอ	1.687 kPa
ความดันบรรยากาศ	104.66 kPa
อุณหภูมิ	15 <sup>0</sup> C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{สูตร Response factor (Rf)} = \frac{C_s}{A_s}$$

$$C_s = \frac{P_i \times 100}{P_{atm}}$$

Rf = Response factor

Cs = เปอร์เซนต์โดยโมลของสาร

As = พื้นที่ใต้กราฟของสาร

Pi = ความดันไอของสาร

Patm = ความดันบรรยากาศ

จากสูตร

$$C_s = \frac{1.687 \times 100}{104.66}$$

$$= 1.6118 \% \text{mol}$$

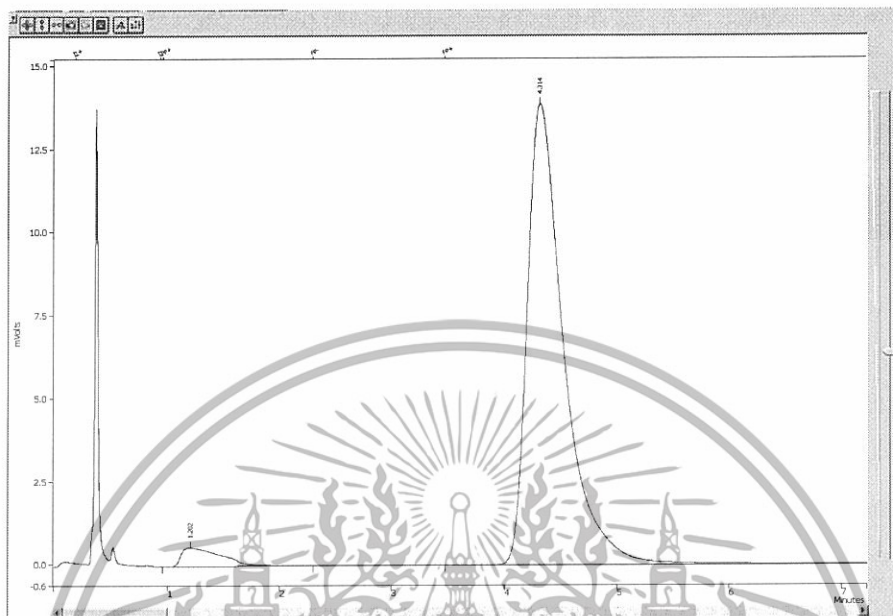
$$A_s = 192819.5$$

$$R_f = \frac{1.6118 \times 100}{192819.5}$$

$$R_{f_{\text{water}}} = 8.3595 \times 10^{-6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การคำนวณหาค่า Response factor เอทานอล



รูปที่ ข.2 โครมาโทแกรมของเอทานอล

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลในการคำนวณและสภาวะในการทดสอบ

ข้อมูล	ค่า
พื้นที่ใต้กราฟ	324165.3 Counts
ความดันไอ	4.2813 kPa
ความดันบรรยากาศ	104.66 kPa
อุณหภูมิ	15°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{สูตร Response factor (Rf)} = \frac{C_s}{A_s}$$

$$C_s = \frac{P_i \times 100}{P_{atm}}$$

Rf = Response factor

Cs = เปอร์เซ็นต์โดยโมลของสาร

As = พื้นที่ใต้กราฟของสาร

Pi = ความดันไอของสาร

Patm = ความดันบรรยากาศ

จากสูตร

$$C_s = \frac{4.2813 \times 100}{104.66}$$

$$= 4.0907 \% \text{mol}$$

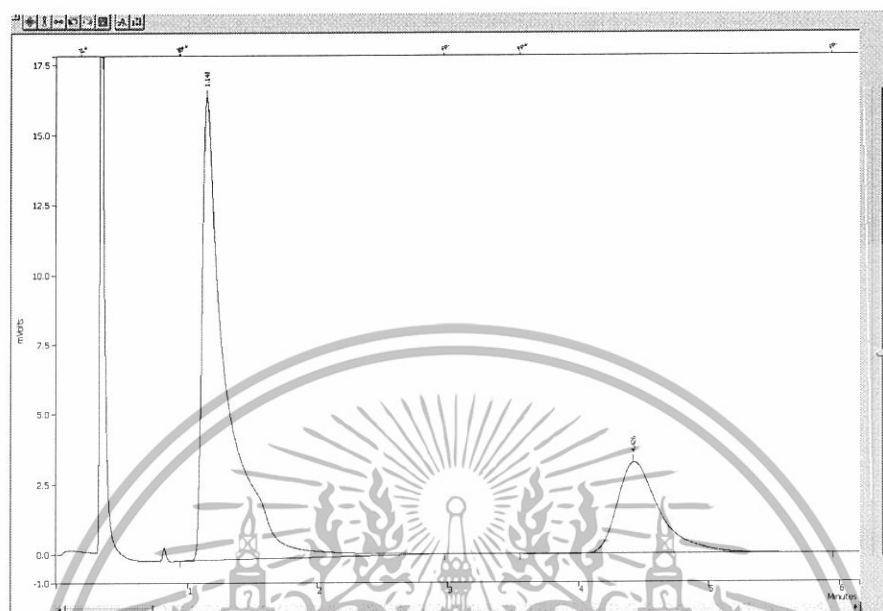
$$A_s = 324165.3$$

$$R_f = \frac{4.0907}{324165.3}$$

$$R_{f_{\text{ethanol}}} = 1.262 \times 10^{-5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าฟลักซ์ (Flux) และหาค่าความสามารถในการแยก (Separation factor )



รูปที่ ข.3 โครมาโทแกรมของน้ำและเอทานอลเมื่อใช้เยื่อเลือกผ่านโคโตนานผสมซีโอไลต์โซเดียม-เอ 0.05\_Ze3 หนา  $30 \pm 3$  ไมโครเมตร

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลในการคำนวณและสภาวะในการทดสอบ

ข้อมูล	ค่า
พื้นที่ใต้กราฟของน้ำ	211123 Counts
พื้นที่ใต้กราฟของเอทานอล	76256 Counts
อัตราการไหลของซีเลียม	79.2602 ml/min
ความดัน	1.0316 atm
อุณหภูมิ	298 K
พื้นที่หน้าตัดของเยื่อเลือกผ่าน	$1.8 \text{ cm}^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. ค่าฟลักซ์ (Flux)

$$\text{สูตร} \quad R_f = \frac{C_s}{A_s}$$

$$C_s = R_f \times A_s$$

$R_f$  = Response factor

$C$  = เปอร์เซ็นต์โดยโมลของสาร

$A$  = พื้นที่ใต้กราฟของสาร

น้ำ

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad C_{\text{water}} &= A_{\text{water}} \times R_{f_{\text{water}}} \\ &= 211123 \times 8.3595 \times 10^{-6} \\ &= 1.7649 \% \text{mol} \end{aligned}$$

เอทานอล

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร} \quad C_{\text{ethanol}} &= A_{\text{ethanol}} \times R_{f_{\text{ethanol}}} \\ &= 76256 \times 1.262 \times 10^{-6} \\ &= 0.9623 \% \text{mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_t &= C_{\text{water}} + C_{\text{ethanol}} \\ &= 1.764883 + 0.962274 \\ &= 2.7272 \% \text{mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{\text{He}} &= 100 - C_t \\ &= 100 - 2.7272 \\ &= 97.2728 \% \text{mol} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{เปอร์เซ็นต์โดยโมล} \quad 97.2728 \text{ \%mol} \quad \text{คิดเป็นอัตราการไหล} &= 79.2602 \text{ ml/min} \\
 \text{เปอร์เซ็นต์โดยโมลของน้ำ} \quad 1.7649 \text{ \%mol} \quad \text{คิดเป็นอัตราการไหล} &= \frac{79.2602 \times 1.7649}{97.2728} \\
 \text{อัตราการไหลของน้ำ} &= 1.4381 \text{ ml/min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{เปอร์เซ็นต์โดยโมลของเอทานอล} \quad 0.9623 \text{ \%mol} \quad \text{คิดเป็นอัตราการไหล} &= \frac{79.2602 \times 0.9623}{97.2728} \\
 \text{อัตราการไหลของเอทานอล} &= 0.7841 \text{ ml/min}
 \end{aligned}$$

สูตร

P =  
 V =  
 N =  
 R =  
 T =

ความดัน  
 ปริมาตร  
 โมล  
 ค่าคงที่ของแก๊ส  
 อุณหภูมิสัมบูรณ์

$$\begin{aligned}
 PV &= nRT \\
 n &= \frac{PV}{RT}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำ

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร} \quad n &= \frac{PV}{RT} \\
 &= \frac{1.0316 \times (1.4381 \times 10^{-3})}{0.082 \times 298} \\
 &= 1.607 \times 10^{-5} \text{ mol/min} \\
 &= 0.0656 \text{ g/hr}
 \end{aligned}$$

เอทานอล

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร} \quad n &= \frac{PV}{RT} \\
 &= \frac{1.0316 \times (0.7841 \times 10^{-3})}{0.082 \times 298} \\
 &= 3.3102 \times 10^{-5} \text{ mol/min} \\
 &= 0.0914 \text{ g/hr}
 \end{aligned}$$

ค่าฟลักซ์ (Flux)

$$\text{Flux} = \frac{\text{อัตราการไหล}}{\text{พื้นที่หน้าตัดเยื่อเลือกผ่าน}}$$

น้ำ

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร} \quad \text{Flux}_{\text{water}} &= \frac{0.0656}{1.8 \times 10^{-4}} \\
 &= 364.44 \text{ g/hr.m}^2
 \end{aligned}$$

เอทานอล

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร} \quad \text{Flux}_{\text{ethanol}} &= \frac{0.0914}{1.8 \times 10^{-4}} \\
 &= 507.72 \text{ g/hr.m}^2
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ค่าความสามารถในการแยก (Separation factor)

$$\text{สูตร Separation factor } (\alpha) = \frac{Y_{\text{water}} / Y_{\text{ethanol}}}{X_{\text{water}} / X_{\text{ethanol}}}$$

$$Y_{\text{water}} = \text{สัดส่วนโมลของน้ำในเพอร์มิเอต}$$

$$Y_{\text{ethanol}} = \text{สัดส่วนโมลของเอทานอลในเพอร์มิเอต}$$

$$X_{\text{water}} = \text{สัดส่วนโมลของน้ำในสารป้อน}$$

$$X_{\text{ethanol}} = \text{สัดส่วนโมลของเอทานอลในสารป้อน}$$

สารละลายเอทานอล 95%(v/v) คิดเป็น 85.4356 %mol

ประกอบด้วยเอทานอล = 85.4356 mol

ประกอบด้วยน้ำ = 100-85.4356

= 14.5644 mol

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร Separation factor } (\alpha) &= \frac{Y_{\text{water}} / Y_{\text{ethanol}}}{X_{\text{water}} / X_{\text{ethanol}}} \\ &= \frac{1.7649 / 0.9633}{11.76 / 88.24} \\ &= 13.76 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลจากการคำนวณของเยื่อเลือกผ่านโคไตซานผสมซีโอไลต์เตรียมเอชที่เชื่อมโยงด้วยกลูตาไรลไฮโดรเจนที่ความเข้มข้น 0.05, 0.07 และ 0.1 % (w/w) (หนา 30 ± 3 ไมโครเมตร)

โคไตซาน	Area (Counts)		α <sub>n</sub>	ฟลักซ์ (g/hr.m <sup>2</sup> )		
	น้ำ	เคทานอล		น้ำ	เคทานอล	รวม
0.05M	190983	50975	18.6231	327.3925	331.6852	659.0777
	190584	49882	18.9914	326.6513	330.2977	656.9490
	190670	50646	18.7133	326.8333	335.4014	662.2348
	190236	50279	18.8070	326.0619	332.9402	659.0021
	ค่าเฉลี่ย		18.784±0.16	ค่าเฉลี่ย		659.316±2.18
0.07M	182702	50056	18.1427	312.9381	325.6674	638.6055
	182774	50210	18.0942	313.0696	331.9446	645.0142
	182096	50214	18.0256	311.8903	331.9780	643.8683
	181925	50354	17.9586	311.5985	332.9092	644.5077
	ค่าเฉลี่ย		18.055±0.08	ค่าเฉลี่ย		642.999±2.97
0.1M	202667	32810	31.1788	346.1567	212.8907	559.0474
	203355	32872	30.7498	347.3774	216.6221	563.9995
	203329	33326	30.3270	347.3525	219.6263	566.9788
	203634	31322	32.3158	347.7928	206.3715	554.1643
	ค่าเฉลี่ย		31.143±0.86	ค่าเฉลี่ย		561.047±5.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลจากการคำนวณของเยื่อเลือกผ่านโคโคซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอทีซีอิมเมอที่เชื่อมโยงด้วยกอลลูตาโรลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.05, 0.07 และ 0.1 % (w/w) (หนา 30 ± 3 ไมโครเมตร)**

โคโคซาน	Area (Counts)		α <sub>n</sub> น้ำ	ฟลักซ์ (g/hr.m <sup>2</sup> )		
	น้ำ	เคทานอล		น้ำ	เคทานอล	รวม
0.05_Ze3M	219227	69847	15.6013	377.6418	464.1558	841.7976
	219237	70817	15.3883	377.7069	470.6614	848.3682
	219067	70693	15.4033	377.4024	469.8228	847.2252
	218792	71042	15.3084	376.9368	472.1525	849.0893
	ค่าเฉลี่ย		15.425±0.12	ค่าเฉลี่ย		846.620±3.31
0.07_Ze3M	200814	58493	17.0649	344.8699	387.5209	732.3909
	200893	58925	16.9465	345.0272	390.4074	735.4346
	200880	57768	17.2847	344.9529	382.684	727.6369
	201878	58239	17.2301	346.7174	385.8607	732.5781
	ค่าเฉลี่ย		17.132±0.15	ค่าเฉลี่ย		732.010±3.23
0.1_Ze3M	188678	36200	25.9075	322.8056	238.9232	561.7289
	188911	35475	26.4697	323.1805	234.121	557.3015
	188619	35197	26.6375	322.6614	232.2722	554.9336
	187680	35286	26.4380	321.0331	232.8435	553.8766
	ค่าเฉลี่ย		26.363±0.32	ค่าเฉลี่ย		556.960±3.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลจากการคำนวณของเยื่อเลือกผ่านโคไตซานผสมซีโอดีไซเคียมเอทีซีเอมโดยกวดูตารอลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.05, 0.07 และ 0.1 % (w/w) (หน้า 30 ± 3 ไมโครเมตร)**

โคไตซาน	Area (Counts)		น้ำ	ค่าเฉลี่ย	ฟลักซ์ (g/hr.m <sup>2</sup> )		
	น้ำ	เขตขาด			น้ำ	เขตขาด	รวม
0.05_Ze6M	211123	76256	13.7618	364.2603	507.5517	871.8121	
	211600	78507	13.3974	365.2049	522.7082	887.9131	
	207757	81127	12.7293	358.5757	540.1577	898.7333	
	211375	82562	12.7259	365.0016	549.9856	914.9872	
	ค่าเฉลี่ย	13.145±0.51	ค่าเฉลี่ย			893.361±7.65	
0.07_Ze6M	208352	78995	13.1103	359.5215	525.8438	885.3654	
	210061	78754	13.2583	362.5124	524.3002	886.8126	
	209201	78483	13.2496	360.9889	522.4390	883.4279	
	208629	79101	13.1101	360.013	526.5692	886.5822	
	ค่าเฉลี่ย	13.182±0.08	ค่าเฉลี่ย			885.547±1.55	
0.1_Ze6M	220775	50849	21.7958	379.3993	333.7855	713.1848	
	221226	50402	21.8174	380.1917	334.1521	714.3438	
	220682	49803	22.0255	379.2097	330.1399	709.3496	
	220891	50056	21.9349	379.5881	331.8338	711.4219	
	ค่าเฉลี่ย	21.893±0.11	ค่าเฉลี่ย			712.075±2.18	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตาราง ข.2** ข้อมูลจากการคำนวณของเยื่อเลือกผ่านโคไตซานผสมซีไอไลโตซีเต็มเอทีไฮโดรเจลที่เชื่อมโยงด้วยกอลลูตาราลดที่ไฮโดรเจลที่ความเข้มข้น 0.05, 0.07 และ 0.1 % (w/w) (หนา  $30 \pm 3$  ไมโครเมตร 2 แผ่นประกบ)

โคไตซาน	Area (Counts)		น้ำ	ค่าเฉลี่ย	น้ำ	ฟลักซ์ (g/hr.m <sup>2</sup> )	
	น้ำ	เดทานอด				เดทานอด	รวม
0.05_Ze6M	164772	31500	26.0008	ค่าเฉลี่ย	282.3379	208.2219	490.5597
	162746	31659	25.5521		278.8240	209.2411	488.0650
	161561	30878	26.0076		276.7381	204.0382	480.7763
	160102	30950	25.7128		274.2075	204.4905	478.6980
	ค่าเฉลี่ย		$25.818 \pm 0.22$	ค่าเฉลี่ย			$484.525 \pm 5.68$
0.07_Ze6M	146453	28079	25.9257	ค่าเฉลี่ย	252.4604	186.7268	439.1872
	145246	27518	26.2362		250.3361	182.9642	433.3003
	145941	27632	26.2530		251.5525	183.7357	435.2882
	145103	27364	26.3579		250.0817	181.9345	432.0161
	ค่าเฉลี่ย		$26.193 \pm 0.19$	ค่าเฉลี่ย			$434.948 \pm 3.13$
0.1_Ze6M	146191	32752	22.1869	ค่าเฉลี่ย	252.1543	217.9282	470.0824
	145262	32043	22.5337		250.5093	213.1744	463.6837
	146589	32019	22.7566		252.8255	213.0381	465.8636
	146799	32582	22.3954		253.2105	216.8035	470.0140
	ค่าเฉลี่ย		$22.468 \pm 0.24$	ค่าเฉลี่ย			$467.411 \pm 3.17$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.2 (ต่อ) ข้อมูลจากการคำนวณของเยื่อเลือกผ่านโคไคซานผสมซีโอไลต์ซีเต็มเมอที่เชื่อมโยงด้วยกูดารอลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 0.05, 0.07 และ 0.1 % (w/w) (หนา  $60 \pm 3$  ไมโครเมตร )

โคไคซาน	Area (Counts)		α <sub>n</sub> น้ำ	ฟลักซ์ (g/hr.m <sup>2</sup> )		
	น้ำ	เขตงานอด		น้ำ	เขตงานอด	รวม
0.05_Ze6M	152750	31220	24.3199	263.6392	207.8699	471.5091
	152897	31261	24.3114	263.8976	208.1466	472.0441
	152591	30952	24.5050	263.3521	206.0756	469.4277
	153277	30902	24.6549	264.5498	205.7534	470.3032
	ค่าเฉลี่ย		24.482±0.18	ค่าเฉลี่ย		468.997±3.56
0.07_Ze6M	177982	35632	24.8284	308.0235	237.891	545.9145
	174776	36284	23.9431	302.4178	242.1981	544.6159
	172716	35222	24.3743	298.7601	235.0358	533.7959
	175056	34755	25.0365	302.85	231.9518	534.8018
	ค่าเฉลี่ย		24.635±0.40	ค่าเฉลี่ย		537.698±5.89
0.1_Ze6M	158881	28444	27.7648	274.2662	189.4108	463.677
	158490	28630	27.5166	273.5887	190.6476	464.2363
	157299	28220	27.7066	271.4910	187.8885	459.3795
	158380	28410	27.7104	273.3885	189.1755	462.5641
	ค่าเฉลี่ย		27.637±0.11	ค่าเฉลี่ย		462.283±1.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.3 แสดงค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอเทียบกับเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่ไม่ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ ที่ความหนา 30 ไมโครเมตร

ความเข้มข้น	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์
กลูตาโรลดีไฮด์ (w/w)	Ze6M
0.05	35.51
0.07	37.71
0.1	26.93

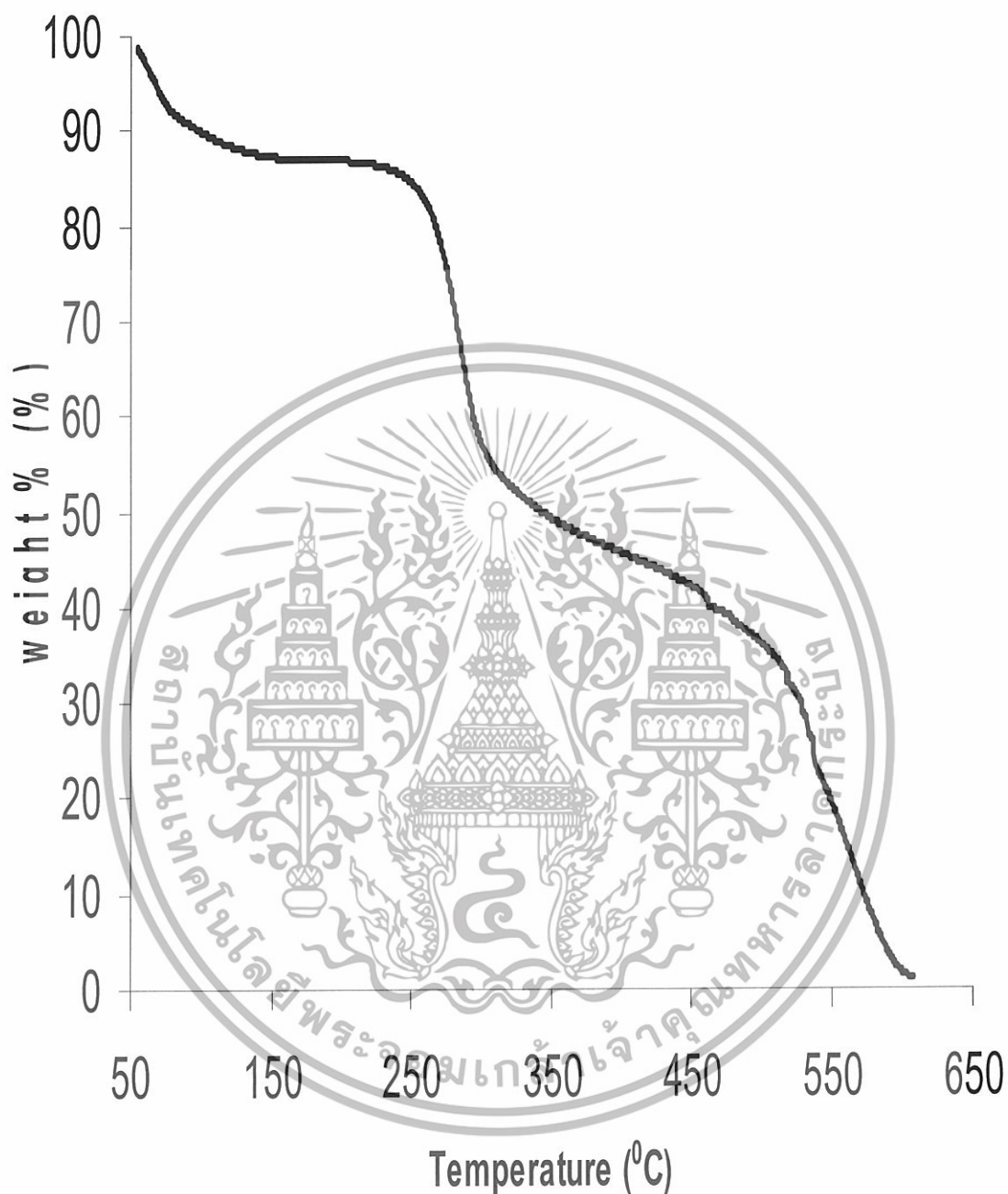
ความเข้มข้น	ร้อยละการเปลี่ยนแปลงค่า
กลูตาโรลดีไฮด์ (w/w)	ความสามารถในการแยก
	Ze6M
0.05	30.32
0.07	27.07
0.1	29.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



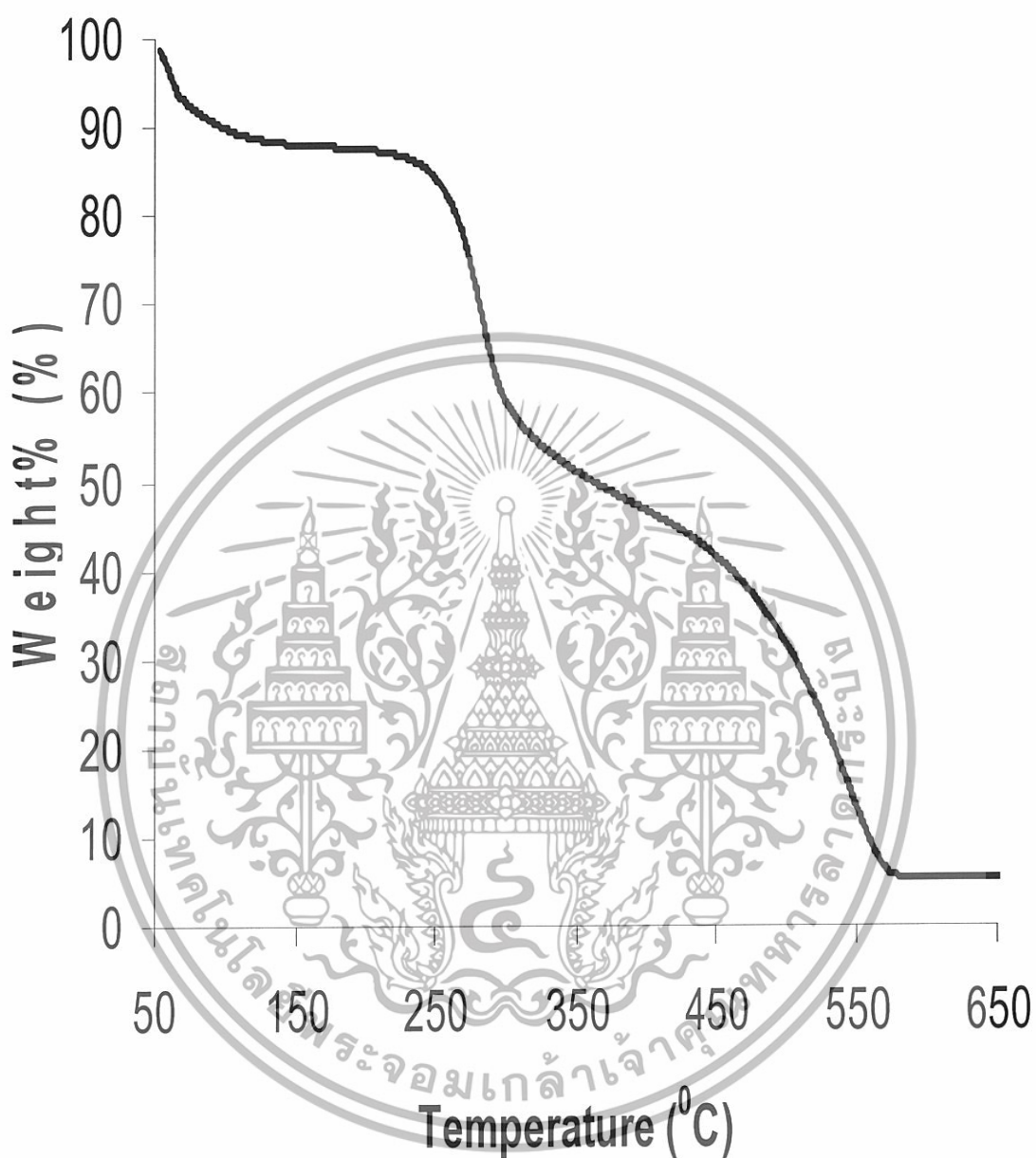
ภาคผนวก ค  
เทอร์โมแกรมของ TGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



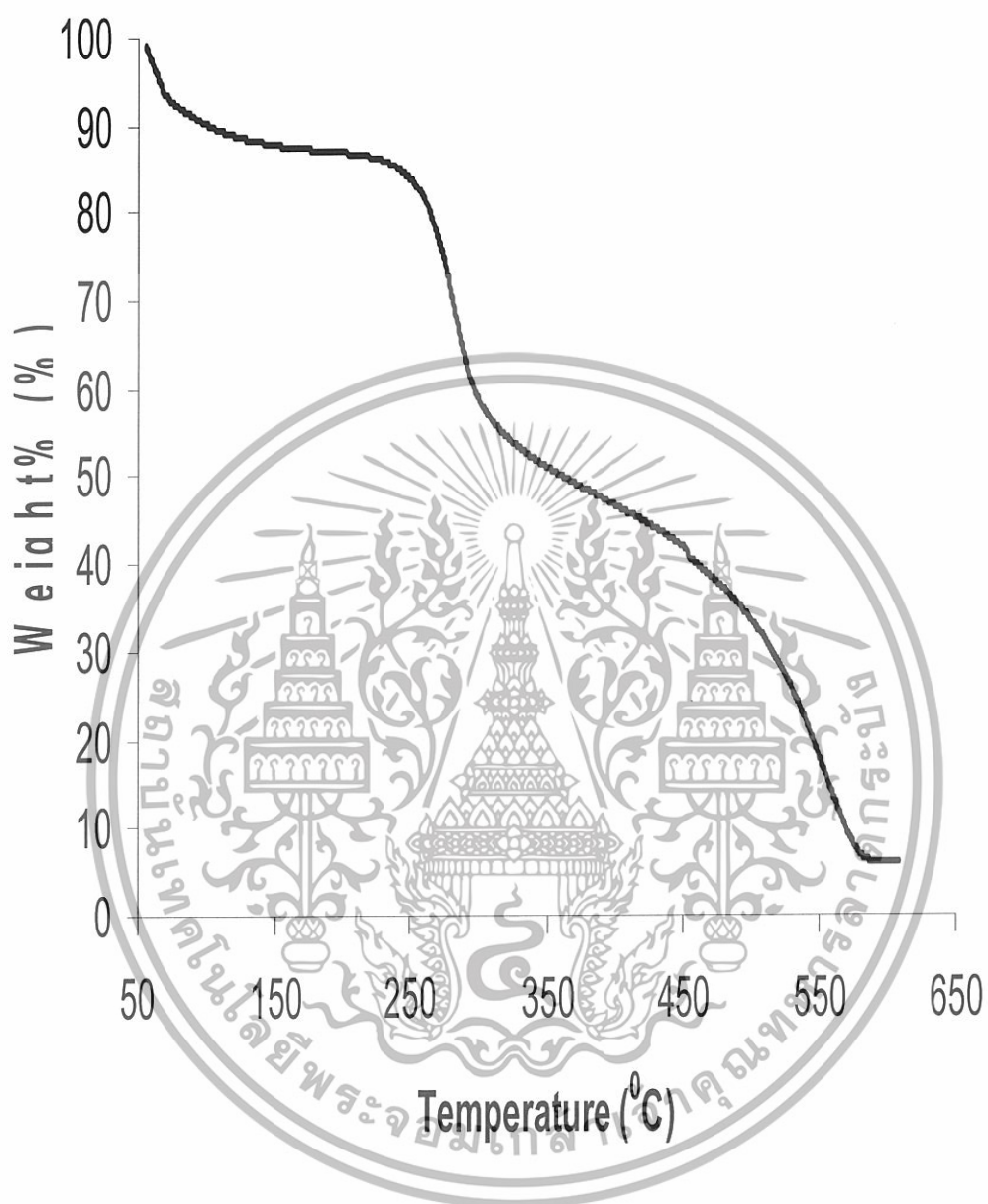
รูปที่ ค.1 TGA เทอร์โมแกรมของเยื่อเลือกผ่านโคโตซาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



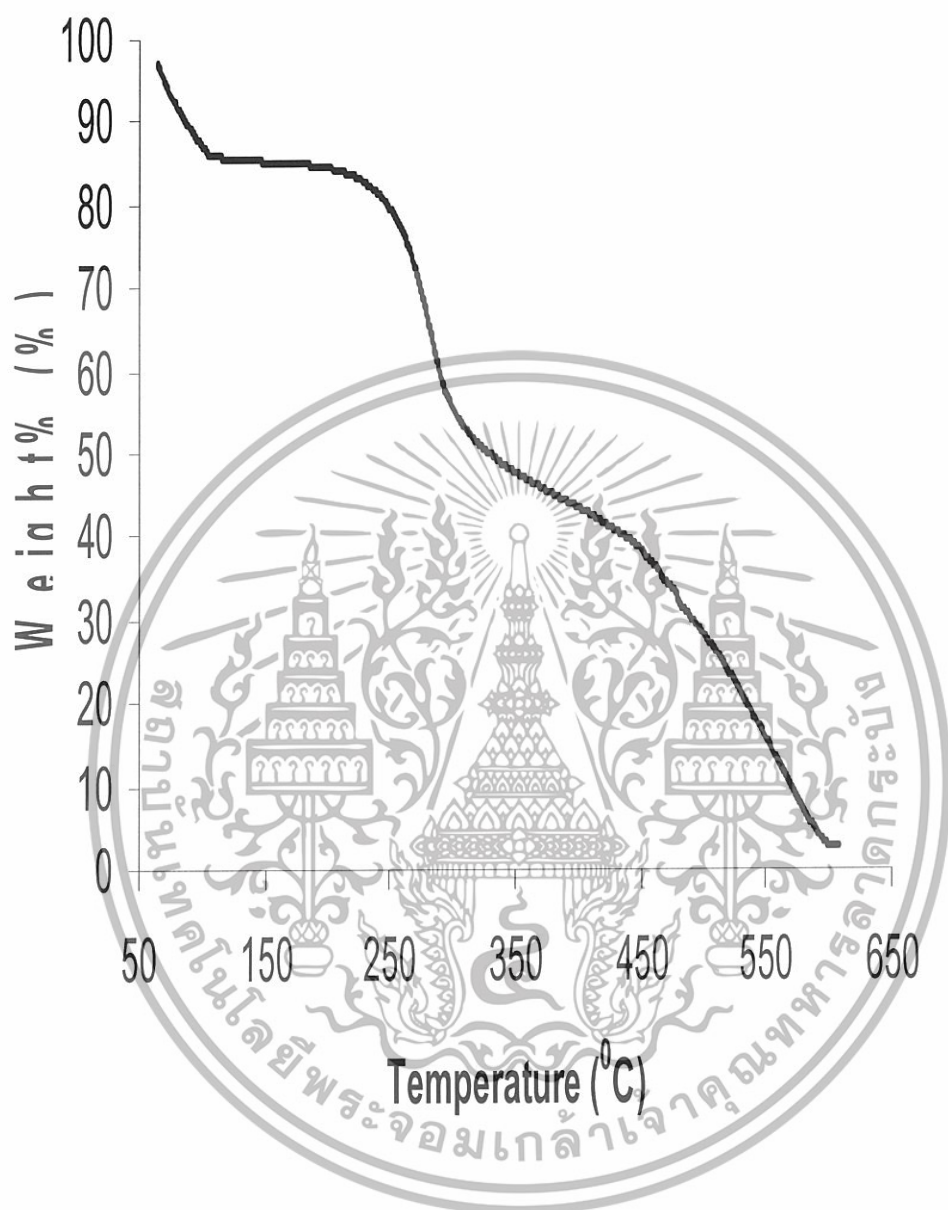
รูปที่ ค.2 TGA เทอร์โมแกรมของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่  
ความเข้มข้น 0.05 %(w/w)ผสมซีโพลิไซเตียมเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 TGA เทอร์โมแกรมของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่  
ความเข้มข้น 0.07 % (w/w) ผสมซีโอโลต์โซเดียมเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

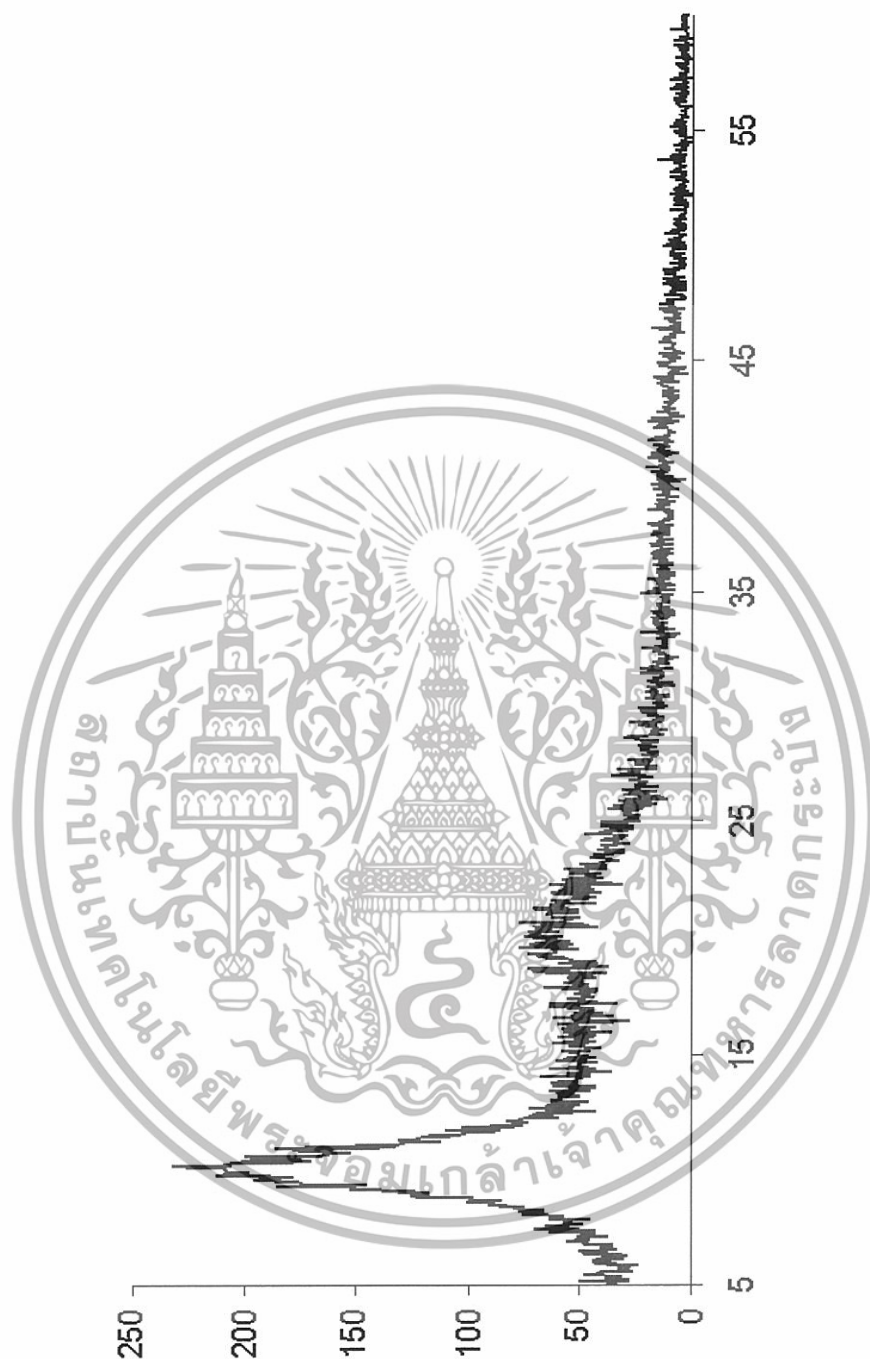


รูปที่ ค.4 TGA เทอร์โมแกรมของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์ที่  
ความเข้มข้น 0.1 % (w/w) ผสมซีไอโอดีโซเดียมเอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้