

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตสำหรับการแยกน้ำออกจากเอทานอล



นางสาว ชลลดา ฤตวิรุพห์

RCH
TP
248.25
.M46
๗๒๒๗๖

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 84488
วัน,เดือน,ปี...13.๓.๒๕๖1

ทุนวิจัยคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2549

11๑๑๒๕๖๖

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในวงกว้าง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสมบัติของเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ โดยเทคนิคหล่อแบบสารละลาย (Solution casting) จากนั้นนำเยื่อเลือกผ่านมา พิสูจน์เอกลักษณ์พบว่าซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านไคโตซานมีโครงสร้างผลึกเหมือนเดิม และมีการกระจายตัวที่ดีนำเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตมาทดสอบการแยกด้วยกระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation) ด้วยสารละลายเอทานอล พบว่าการเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สพา (Carrier gas) ในช่วง 40–160 มิลลิลิตรต่อนาที มีผลทำให้ค่าฟลักซ์ (Flux) และค่าความสามารถในการแยก (Separation factor) สูงขึ้น เนื่องจากความดันย่อยของเพอร์มิเอต (Permeate) มีค่าต่ำลง แล้วเลือกอัตราการไหลของแก๊สพา 80 มิลลิลิตรต่อนาทีเพื่อใช้ในการศึกษาผลของ ปริมาณ ซีโอไลต์โซเดียมเอในช่วง 0–50 phr พบว่าการเพิ่มปริมาณซีโอไลต์โซเดียมเอทำให้ ค่าฟลักซ์สูงขึ้นเนื่องจากเกิดช่องว่างหรือรอยต่อระหว่างภูมิภาคของซีโอไลต์โซเดียมเอกับไคโตซานแต่ให้ค่าความสามารถในการแยกลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีขนาดเล็กทำให้ ค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกที่สูงกว่า เนื่องจากมีรอยต่อระหว่างภูมิภาคขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้น้ำเกิดอันตรกิริยากับไคโตซานและซีโอไลต์โซเดียมเอได้มากขึ้น

ABSTRACT

This research work involved an improvement in property of composite membrane of chitosan modified with zeolite NaA. The membrane was prepared by solution casting. It was found that zeolite NaA in the composite membrane retained its crystallinity with good distribution. Testing on the vapor permeation of ethanol showed that flux and separation factor were increased by increasing carrier gas flow rate from 40 to 160 ml/min. This is because partial pressure (P_1) of the permeate was decreased with an increase in carrier gas flow rate. Separation factor was decreased while flux was increased with increasing amount of zeolite NaA from 0 to 50 phr. This is resulted from an increased in voids between zeolite NaA and chitosan phase. In addition, flux and separation factor were increased by using zeolite NaA with smaller particle size. This is due to an increase in smaller interfacial voids and hence the interaction with water.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
สารบัญ.....	iii
สารบัญตาราง.....	v
สารบัญรูป.....	vi
บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
ทฤษฎีและหลักการ.....	3
2.1 เทคโนโลยีการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน.....	3
2.2 กระบวนการซีเมชันไอ.....	4
2.2.1 กลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน.....	5
2.2.2 ประสิทธิภาพในการแยก.....	7
2.3 ไคตินและไคโตซาน.....	7
2.3.1 โครงสร้างเคมีของไคตินและไคโตซาน.....	8
2.3.2 สมบัติของไคตินและไคโตซาน.....	9
2.3.3 ประโยชน์ของไคตินและไคโตซาน.....	10
2.4 ซีไอไลต์.....	11
2.5 ซีไอไลต์โซเดียมเอ.....	13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
การดำเนินงานวิจัย.....	16
3.1 สารเคมี.....	16
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	17
3.3 วิธีการทดลอง.....	18
3.3.1 การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซีไอไลต์โซเดียมเอและเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน.....	19
3.3.3 ทดสอบประสิทธิภาพของเยื่อเลือกผ่าน.....	20
3.3.4 ปัจจัยที่ทำการศึกษา.....	21
3.3.5 การคำนวณ.....	21
ผลการทดลองและการอภิปรายผล.....	23
4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์.....	23
4.2 ผลของอัตราการไหลของแก๊ส.....	29
4.3 ผลของปริมาณซีไอไลต์โซเดียมเอ.....	31
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	33
เอกสารอ้างอิง.....	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สมบัติของโคโคซาน.....	16
3.2 สัญลักษณ์แทนเยื่อเลือกผ่านและแสดงองค์ประกอบของเยื่อเลือกผ่าน.....	22
4.1 ปริมาณซีไอไลต์โซเดียมเอทีเดิมและที่มีอยู่จริงจากเทคนิค TGA	28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการแยกของเทคโนโลยีการแยกตัวด้วยเยื่อเลือกผ่าน.....	3
2.2 แผนภาพแสดงกระบวนการซีมีผ่านไอ.....	4
2.3 แผนภาพแสดงกลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน.....	5
2.4 มุมสัมพันธ์กับการเปียกของวัสดุ.....	6
2.5 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส.....	8
2.6 โครงสร้างทางเคมีของไคติน.....	8
2.7 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน.....	9
2.8 โครงสร้างไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์.....	9
2.9 โครงสร้างทุติยภูมิของซีโอไลต์.....	12
2.10 โครงสร้างตติยภูมิของซีโอไลต์.....	12
2.11 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอ.....	13
2.12 โครงสร้างของซีโอไลต์โซเดียมเอ.....	14
2.13 ลักษณะผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	14
3.1 แผนภาพแสดงชุดทดสอบกระบวนการซีมีผ่านไอ.....	20
3.2 แผนภาพแสดงการแยกน้ำจากเอทานอลโดยกระบวนการซีมีผ่านไอ.....	21
4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอจากการสังเคราะห์เทียบกับสารมาตรฐาน.....	23
4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของซีโอไลต์เอเปรียบเทียบกับเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่มีการเติมซีโอไลต์โซเดียมเอ.....	24
4.3 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่เติมซีโอไลต์โซเดียมเอ.....	26
4.4 ภาพ SEM แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่เติมซีโอไลต์โซเดียมเอ.....	27
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของแก๊สพากับค่าฟลักซ์.....	29
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของแก๊สพากับค่าความสามารถในการแยก.....	30
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์กับปริมาณซีโอไลต์.....	31
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการแยกกับปริมาณซีโอไลต์.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ ดังนั้นเมื่อราคาน้ำมันผันผวนและมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้รัฐบาลไทยต้องใช้งบประมาณหนึ่งเพื่อพยุงราคาน้ำมัน ทำให้มีการใช้จ่ายเงินเป็นจำนวนมาก รัฐบาลจึงมีการรณรงค์ ให้ประหยัดพลังงานโดยการใช้น้ำมันให้มีประสิทธิภาพสูงสุด รวมทั้งมองหาแหล่งพลังงานภายในประเทศที่จะนำมาทดแทนน้ำมันที่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ แก๊สโซฮอล์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานแทนน้ำมัน โดยแก๊สโซฮอล์คือ ส่วนผสมของน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่ว (91 หรือ 95) ที่มีการผสมเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5 % ใน สัดส่วน 10% โดยปริมาตร การผสมเอทานอลบริสุทธิ์ลงในน้ำมันเบนซินเป็นการเติมสารเติมแต่งเพื่อปรับค่าออกเทน (Octane) ของน้ำมันเบนซิน ซึ่งสามารถใช้ทดแทนสารเติมแต่งที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ Methyl-tertiary-butyl-ether (MTBE) ดังนั้นการนำเอทานอลมาใช้แทนทำให้ลดการนำเข้า MTBE

เอทานอลได้จากการแปรรูปพืชจำพวก อ้อย ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากในประเทศ โดยนำพืชเหล่านี้มาหมักจนได้เอทานอล 10 % แล้วนำไปผ่านกระบวนการกลั่น แต่เนื่องจากเอทานอลเป็นของผสมคงจุดเดือด (Azeotrope mixtures) ทำให้ได้เอทานอลบริสุทธิ์แค่ 96 % จึงยังคงมีปริมาณน้ำเหลืออยู่ ไม่สามารถนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินไร้สารตะกั่วออกเทน 91 เพื่อผลิตเป็นแก๊สโซฮอล์ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการแยกน้ำจากเอทานอล โดยส่วนใหญ่จะใช้ Molecular sieve หรือการแยกสารด้วยเยื่อเลือกผ่าน (Membrane separation technology)

ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการแยกน้ำออกจากเอทานอล ด้วยกระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation process) โดยใช้โคโตซานเป็นเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตโดยการผสมซีโอไลต์ไฮเดียมเอ (Zeolite A) ซึ่งมีสมบัติในการดูดน้ำที่ดี และโคโตซานเป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) เป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเปลือกกุ้ง กระดองปู ซึ่งมีอยู่มากในประเทศ จากสมบัติดังกล่าว วัสดุทั้งสองชนิดจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากเอทานอล

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

สามารถเตรียมเยื่อเลือกผ่านไคโตซานสำหรับใช้แยกน้ำออกจากเอทานอล โดยการใชเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิต และศึกษาประสิทธิภาพของการแยกโดยพิจารณาจากค่าฟลักซ์ (Flux) และค่าความสามารถในการแยก (Separation Factor)

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถปรับปรุงเยื่อเลือกผ่านจากไคโตซานให้มีประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากเอทานอล ซึ่งเป็นแนวทางการผลิตเอทานอลให้มีความบริสุทธิ์สูง เพื่อใช้ผสมกับน้ำมันเบนซินเป็นแก๊สโซฮอล์ และเป็นการเพิ่มคุณค่าและแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ของไคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้ง กระดองปูที่เป็นวัสดุเหลือทิ้ง

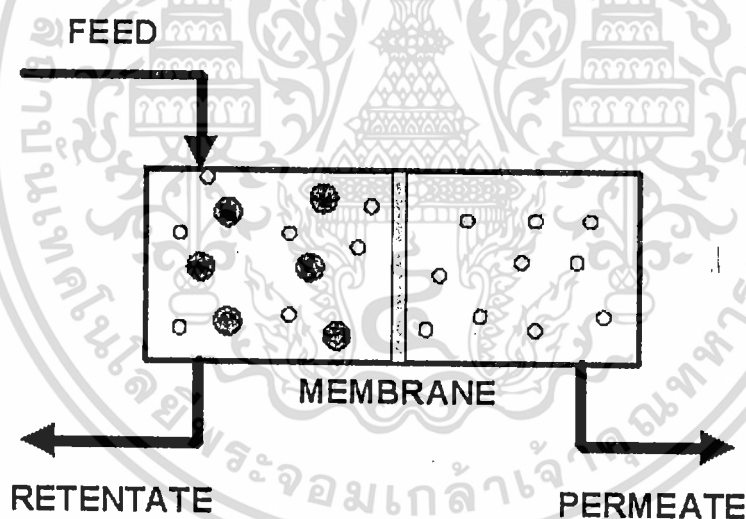


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การแยกสารด้วยเยื่อเลือกผ่าน [1]

เยื่อเลือกผ่านเป็นตัวกลางขวางกั้นระหว่างภูมิภาคของไหล 2 ภูมิภาค ที่มีสมบัติยอมให้สารบางชนิดผ่านได้ โดยการถ่ายโอนมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งเทคโนโลยีการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่านมีหลักการดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยมีสารป้อน (Feed) เข้าทางด้านหนึ่งของเยื่อเลือกผ่าน ส่วนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้ เรียกว่า เพอร์มิเอต (Permeate) และส่วนของสารป้อนที่ไม่สามารถผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้ เรียกว่า รีเทนเตต (Retentate) แรงขับ (Driving force) ที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวล ได้แก่ ความดัน ความเข้มข้น แรงเคลื่อนที่ไฟฟ้า เป็นต้น โดยทั่วไปวัสดุที่นำมาทำเป็นเยื่อเลือกผ่านอาจเป็นพอลิเมอร์ เซรามิกส์ คาร์บอน ซีโอไลต์ ออกไซด์ต่าง ๆ (เช่น อะลูมินา ไททาเนีย หรือเซอร์โคเนีย เป็นต้น) โลหะ (เช่น แพลลาเดียม หรือเงิน เป็นต้น) หรือของเหลว

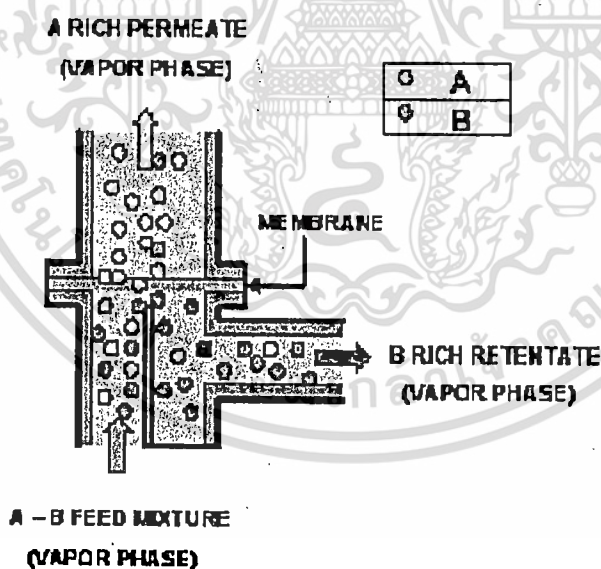


รูปที่ 2.1 หลักการของเทคโนโลยีการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน

เยื่อเลือกผ่านที่มีสมรรถนะสูง คือเยื่อเลือกผ่านที่มีฟลักซ์และค่าการเลือกผ่านสูง มีความแข็งแรงเชิงกล ทนต่อสารเคมีและความร้อนภายใต้สภาวะการแยก มีแนวโน้มการสะสมสารที่ผิวเยื่อเลือกผ่านต่ำ และราคาไม่แพง ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน ได้แก่ การผลิตน้ำดื่มทั้งจากน้ำจืดผิวดินและน้ำเค็ม การแยกแก๊สเพื่อผลิตแก๊สใช้ในอุตสาหกรรมหรือแยกแก๊ส ออกซิเจนออกจากอากาศเพื่อใช้ในกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ การกรองอนุภาคของแข็งจากสารแขวนลอย การบำบัดแก๊สทิ้งในอุตสาหกรรม การแยกน้ำออกจากเอทานอลเพื่อผสมกับน้ำมันแก๊สโซลีนเป็นน้ำมันแก๊สโซลีน การทำไดอะลิซิสในผู้ป่วยโรคไต เป็นต้น

2.2 กระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation process)

กระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation process) เป็นกระบวนการแยกไอผสมที่มีหลายองค์ประกอบผ่านเยื่อเลือกผ่าน (รูปที่ 2.2) ซึ่งจะผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้หนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งองค์ประกอบ ไอของของผสมจะป้อนเข้าทางด้านป้อนของเยื่อเลือกผ่าน และส่วนที่ผ่านออกทางด้านขาออกของเยื่อเลือกผ่านในรูปของไอเรียกว่าเพอร์มิเอต (Permeate) โดยมีการควบคุมความดันไอ (Vapor pressure) ด้านเพอร์มิเอตให้ต่ำโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) หรือใช้แก๊สเฉื่อยเป็นตัวพาเพอร์มิเอตออกไป



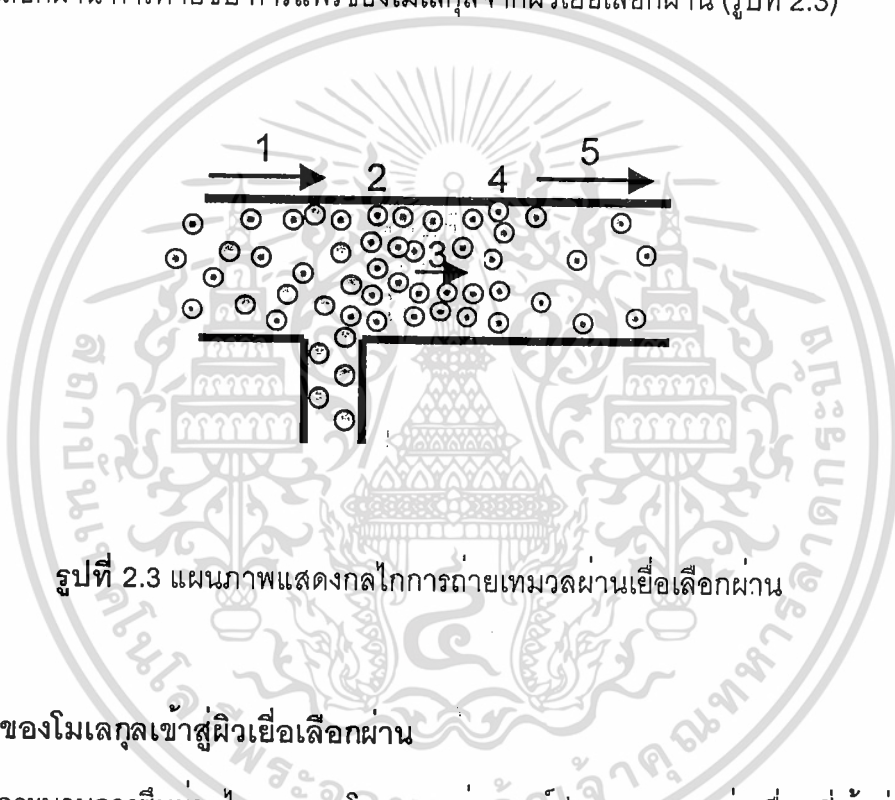
รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงกระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation process)

เยื่อเลือกผ่านที่ใช้ในกระบวนการซึมผ่านไอแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือเยื่อเลือกผ่านชอบน้ำ (Hydrophilic) และเยื่อเลือกผ่านที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) โดยส่วนมากเป็นการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท อีเกส จำกัด (มหาชน) ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เยื่อเลือกผ่านจากพอลิเมอร์ การประยุกต์ใช้กระบวนการซีมผ่านไอน้ำมากที่สุด คือการกำจัดน้ำออกจากตัวทำละลายอินทรีย์ด้วยเยื่อเลือกผ่านชอบน้ำ ตัวอย่างเช่น การกำจัดน้ำออกจากเอทานอล โดยถ้าปริมาณเอทานอลในสารป้อนสูง จะใช้เยื่อเลือกผ่านชอบน้ำ เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinylalcohol; PVA) แต่ถ้าปริมาณเอทานอลในสารป้อนต่ำ นิยมใช้เยื่อเลือกผ่านไม่ชอบน้ำ เช่น พอลิไดเมทิลซิลอกเซน (Polydimethyl siloxane; PDMS) เพื่อดึงเอทานอลออกจากรน้ำ

2.2.1 กลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน

กลไกการถ่ายโอนมวลของสารในกระบวนการซีมผ่านไอน้ำ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ การแพร่ของโมเลกุลเข้าสู่ผิวเยื่อเลือกผ่าน การดูดซับที่ผิวเยื่อเลือกผ่าน การแพร่ของโมเลกุลภายในเยื่อเลือกผ่าน การคายซับ การแพร่ของโมเลกุลจากผิวเยื่อเลือกผ่าน (รูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงกลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน

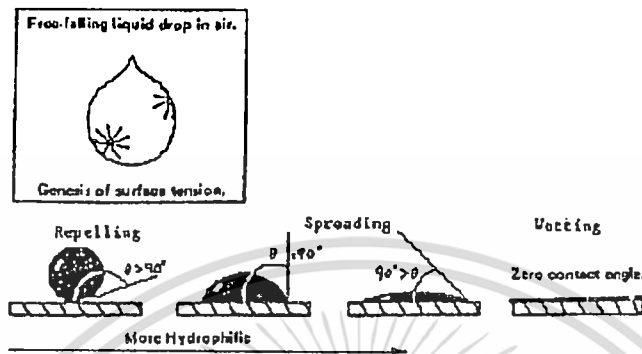
1) การแพร่ของโมเลกุลเข้าสู่ผิวเยื่อเลือกผ่าน

ในกระบวนการซีมผ่านไอน้ำ โมเลกุลแต่ละองค์ประกอบจะแพร่เคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่าน โดยอัตราการแพร่จะขึ้นกับพลังงานจลน์ของโมเลกุล ชั้นนี้โมเลกุลยังไม่เกิดการแยก

2) การดูดซับที่ผิวเยื่อเลือกผ่าน

การดูดซับที่ผิวหน้าเยื่อเลือกผ่านเกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างสารที่ต้องการแยกกับเยื่อเลือกผ่าน อันตรกิริยาดังกล่าวขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น โมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) ระหว่างโมเลกุลของสารป้อนกับผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่าน ความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจน (H-bonds) ความชอบน้ำและความไม่ชอบน้ำ (Hydrophilicity and Hydrophobicity) โดยเมื่อเยื่อเลือกผ่านสัมผัสกับสาร เยื่อเลือกผ่านที่มีอันตรกิริยาที่ดีกับสารนั้น จะก่อให้เกิดการควบแน่นไอน้ำที่ผิวเยื่อเลือกผ่านและมุมสัมผัส (Contact angle) ที่เกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่านกับเส้นสัมผัสของเหลว มีค่าอยู่ระหว่าง 0-90 องศา โดยคามุมสัมผัสที่ต่ำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าแสดงว่าสามารถทำให้เยื่อเลือกผ่านดูดซับได้มากขึ้น เยื่อเลือกผ่านที่ไม่ชอบสารนั้นจะทำให้ค่ามุมสัมผัสมากกว่า 90 องศา ดังตัวอย่างการเปียกของผิววัสดุกับค่ามุมสัมผัสแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 มุมสัมผัสกับการเปียกของผิววัสดุ [2]

3) การแพร่ของโมเลกุลภายในเยื่อเลือกผ่าน

เมื่อโมเลกุลของสารถูกดูดซับที่ผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่านแล้วเกิดการแพร่ของโมเลกุลผ่านเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งการแพร่ของโมเลกุลขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างโมเลกุลของสารที่แพร่ โดยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ หรือมีรูปร่างที่เล็กกว่าจะเกิดการแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านได้ดีกว่า การเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารกับเยื่อเลือกผ่าน จะทำให้เยื่อเลือกผ่านเกิดการบวมตัว มีผลทำให้อัตราการแพร่ของสารในเยื่อเลือกผ่านสูงขึ้น

4) การคายซับจากผิวเยื่อเลือกผ่าน

เมื่อโมเลกุลของสารเคลื่อนที่มาถึงอีกผิวด้านหนึ่งของเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งสารอาจอยู่ในสถานะของแก๊สหรือของเหลวจะเกิดการเคลื่อนที่ออกจากเยื่อเลือกผ่านด้วยการพาของแก๊ส หรือการใช้ปั๊มสุญญากาศ ทำให้เกิดการคายซับของสารที่ผิวของเยื่อเลือกผ่าน

5) การแพร่ของโมเลกุลจากผิวเยื่อเลือกผ่าน

โมเลกุลของสารจะแพร่ออกจากบริเวณผิวของเยื่อเลือกผ่าน โดยการพาไปของแก๊สพาหรือการใช้ปั๊มสุญญากาศทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลออกจากเยื่อเลือกผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ประสิทธิภาพในการแยก

ค่าที่สำคัญในการบอกประสิทธิภาพของเยื่อเลือกผ่าน มีอยู่ด้วยกัน 2 ค่า คือ ฟลักซ์ (Flux) และค่าความสามารถในการแยก (Separation factor)

1) ฟลักซ์ (Flux)

ฟลักซ์เป็นค่าที่บอกถึงอัตราการไหลผ่านเยื่อเลือกผ่าน ถ้าค่าฟลักซ์มีค่าสูง แสดงว่ามีสารผ่านเยื่อเลือกผ่านจำนวนมาก ฟลักซ์หาได้จากจำนวนโมลของสารที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านต่อเวลาหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเยื่อเลือกผ่าน

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

2) ค่าความสามารถในการแยก (Separation factor)

เป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านว่าเยื่อเลือกผ่านมีความเฉพาะเจาะจงในการให้สารนั้นผ่านได้มากน้อยเพียงใด

$$\text{Separation factor } (\alpha) = \frac{Y_A / Y_B}{X_A / X_B}$$

Y_A = สัดส่วน โมลของสาร A ที่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน

Y_B = สัดส่วน โมลของสาร B ที่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน

X_A = สัดส่วนโมลของสาร A ที่อยู่ในสารป้อน

X_B = สัดส่วนโมลของสาร B ที่อยู่ในสารป้อน

2.3 ไคตินและไคโตซาน [3]

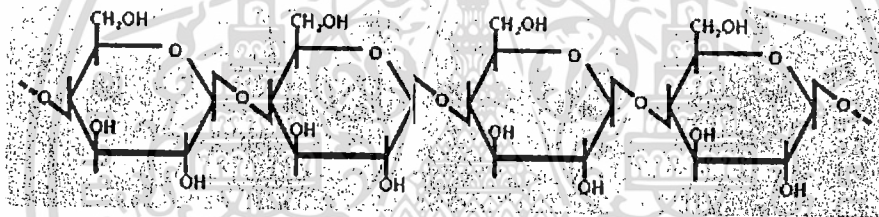
ไคติน (Chitin) เป็นพอลิเมอร์ที่ธรรมชาติได้สร้างเป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตมากมาย ในหลายรูปแบบ คำว่าไคติน (Chitin) มาจากคำว่า Chiton ในภาษากรีก ซึ่งมีความหมายว่าเกราะหุ้ม ไคติน (รูปที่ 2.6) เป็นพอลิเมอร์ที่มีมากที่สุดในโลกเป็นอันดับสอง รองจากเซลลูโลส (Cellulose) (รูปที่ 2.5) พอลิเมอร์ทั้งสองนี้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างป้องกัน และสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้อาจพบในผนังเซลล์ของเห็ด และสาหร่ายบางพันธุ์ เนื่องจากไคตินเป็นสารธรรมชาติจึงพบอยู่ในรูปของสารประกอบที่ปนอยู่กับสารอื่น เช่น เปลือกหุ้มแข็งของแมลงจะประกอบด้วยไคตินในรูปของไคตินโปรตีน (Chitin-protein complex) ขณะที่เปลือกนอกของสัตว์พวกกุ้ง ปู จะพบหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

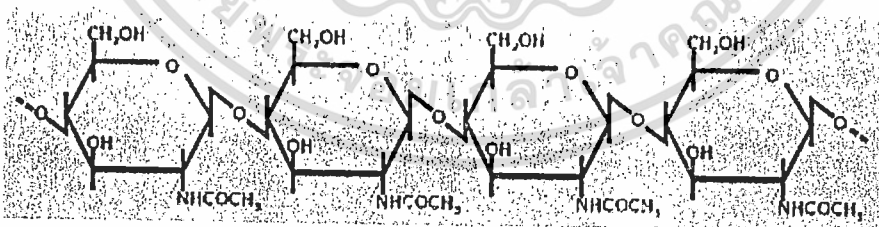
โคโตซาน (รูปที่ 2.6) เป็นอนุพันธ์ของโคตินที่ได้จากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีทิล (Deacetylation) ของโคติน โคโตซานถูกพบครั้งแรกโดยบังเอิญในปี ค.ศ. 1859 โดย Rouget ได้ต้มโคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น

2.3.1 โครงสร้างเคมีของโคตินและโคโตซาน

โคตินเป็นพอลิเมอร์แบบเส้นตรงที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายเซลลูโลส ต่างกันตรงที่หน่วยย่อย (Monomer) ของเซลลูโลสเป็น D-glucose ส่วนหน่วยย่อยของโคติน คือ N-acetyl-D-glucosamine (2-acetamido-2-deoxy-D-glucose) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกลูโคส ชื่อทางเคมีของโคติน คือ Poly β -(1-4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose โคโตซาน คือโคตินในรูปที่มีปริมาณหมู่อะซีทิล ต่ำเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีทิล (Deacetylation) ของโคติน ด้วยด่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างทางเคมีเปลี่ยนไป โดยหมู่อะซีตามิโด (-NHCOCH₃) เปลี่ยนเป็นหมู่เอมิโน (-NH₂) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ดังนั้นโคโตซานคือ พอลิเมอร์ของ D-glucosamine (2-amino-1-deoxy-D-glucose)

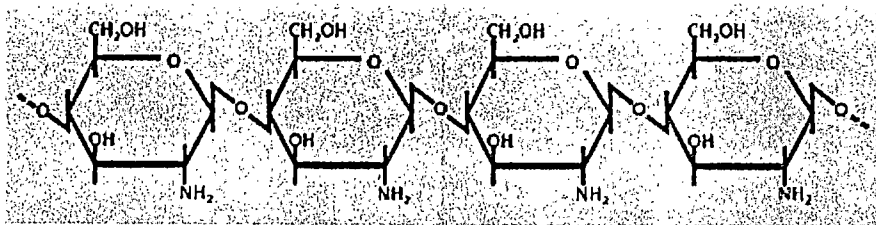


รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส [4]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของโคติน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



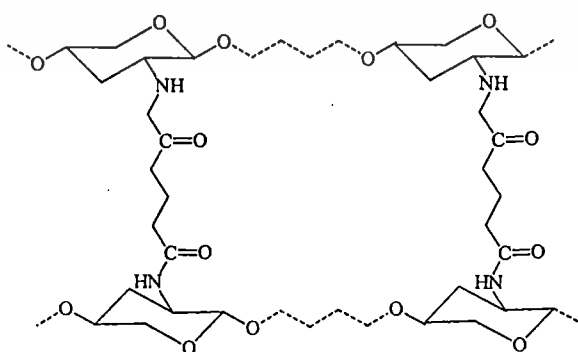
รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน [4]

2.3.2 สมบัติของไคตินและไคโตซาน

1) สมบัติทางเคมี

ไคติน-ไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่าง N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนของ N-acetyl-D-glucosamine มากกว่า คือมีค่าองศาการดีอะซีติเลชัน (Degree of deacetylation; DD) ต่ำ จะแสดงสมบัติเด่นของไคติน แต่ถ้าสัดส่วนของ D-glucosamine มากกว่า คือมีค่า DD สูง จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน

ไคตินในธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 1×10^5 กรัมต่อโมล ส่วนไคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1×10^5 ถึง 1×10^6 กรัมต่อโมล เมื่อไคตินและไคโตซานเกิดการสลายของสายโซ่โมเลกุลโดยกรดหรือด่าง ทำให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์หรือโอลิโกแซคคาไรด์ โดยไค-ตินสามารถต้านทานต่อการเสื่อมสลายโดยกรดได้ดีกว่าไคโตซาน การใช้งานไคโตซานสามารถปรับปรุงได้โดยใช้สารเชื่อมโยง (Crosslinking agents) ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนโครงสร้างของไคโตซานสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ (รูปที่ 2.8) ที่มีความทนทานต่อกรด ด่าง และสารเคมีอื่นได้ดี สารเชื่อมโยงที่สามารถใช้ได้กับไคโตซาน ได้แก่ กลูตารอลดีไฮด์ (Glutaraldehyde; GA) กลูตาริกไดอัลดีไฮด์ (Glutaric dialdehyde; GDI) อีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) ไดเอทิลสควาเรต (Diethyl squarate; DES) เอทิลีนไกลคอลไกลิดิลอีเทอร์ (Ethylene glycol glycidyl ether; EGDE) เป็นต้น



รูปที่ 2.8 โครงสร้างไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยกลูตารอลดีไฮด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สมบัติทางกายภาพ

โคติน-โคโตซานมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน โคตินไม่ละลายในน้ำ กรดเจ็จจาง ดังทั้งเจ็จจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ แต่สามารถละลายในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก กรดฟอร์มิก ความยากในการละลายเป็นผลมาจากสายโซ่โมเลกุลที่ยาวอย่างหนาแน่น พันธะเกิดขึ้นทั้งภายใน และระหว่างโมเลกุล เนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันต่างกัน โคโตซานไม่ละลายน้ำ ดังและตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) แต่สามารถละลายกรดอินทรีย์ทุกชนิด กรดอะซิติก และกรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายโคโตซาน กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริกเข้มข้น กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายโคโตซานได้เช่นเดียวกันโดยทำการละลายที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น สารละลายโคโตซานมีความเหนียวใสมีพฤติกรรมแบบนอนนิวโตเนียน ความหนืดของสารละลายโคโตซานขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น องค์การดีอะซิไลด์ (DD) น้ำหนักโมเลกุล ความแรงของพันธะไอออนิก (Ionic strength) ความเป็นกรด ดัง และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลาย พอลิเมอร์ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้ และการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายพอลิเมอร์มีผลต่อความหนืด เช่น ความหนืดของโคโตซานในกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมี pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของโคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น

2.3.3 ประโยชน์ของโคตินและโคโตซาน

1) วัสดุทางการแพทย์

เนื่องจากโคตินและโคโตซานเป็นสารธรรมชาติ ดังนั้นร่างกายมนุษย์มักจะไม่ทำการต่อต้าน นอกจากนี้โคตินและโคโตซานยังสามารถป้องกันการติดเชื้อ ซึ่งจากข้อดีต่างๆ นี้เองจึงสามารถนำโคตินและโคโตซานมาใช้ในงานในส่วนของวัสดุทางการแพทย์ได้อย่างมากมาย เช่น วัสดุตกแต่งแผล ตัวควบคุมการปลดปล่อยยา ผิวหนังเทียม เป็นต้น

2) อาหารและเครื่องดื่ม

โคตินและโคโตซานเป็นอาหารเสริม (Nutritional additives) ที่ไม่ให้พลังงานและไม่มีการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นจึงมีการนำไปใช้ในอาหารสำหรับการควบคุมน้ำหนัก (Diet food) อีกทั้งโคตินและโคโตซานยังมีสมบัติเป็น barrier จึงมีการนำมาใช้ในเรื่องบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร ตัวอย่างการนำโคตินและโคโตซานไปใช้ในด้านนี้ คือ food stabilizer สารเติมแต่งในอาหาร อาหารเสริมควบคุมน้ำหนัก การถนอมรักษาอาหาร บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เป็นต้น

3) การเกษตร

โคตินและโคโตซานมีสมบัติพิเศษบางอย่างที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้ทางเกษตรกรรม ได้มีการพัฒนาการนำไปใช้ทางเกษตรกรรมอย่างมากมาย เช่น การเคลือบเมล็ดพันธุ์ ส่วนผสมในอาหารสัตว์ ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าไส้เดือน ยาฆ่า/ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เครื่องสำอางค์

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

5) การบำบัดน้ำเสีย

ในการบำบัดน้ำเสียอาศัยสมบัติความเป็น polyelectrolyte และความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนักของโคโตซานเพื่อใช้ในกระบวนการ recoveries ของโลหะซึ่งสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียในสระว่ายน้ำ ในโรงงานอุตสาหกรรม

6) การแยกสาร

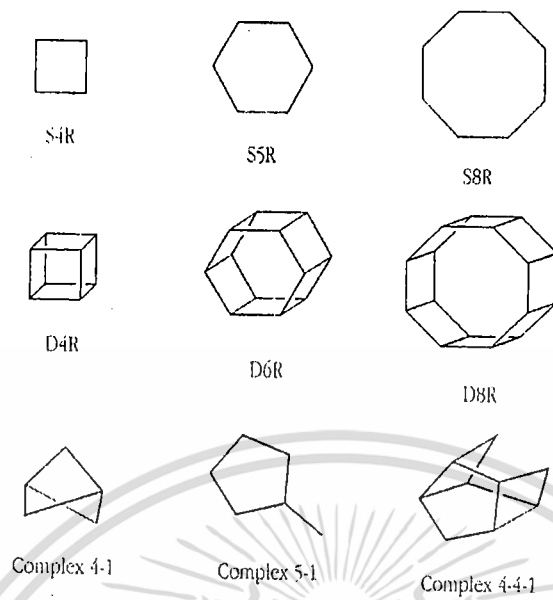
โคตินและโคโตซานในรูปแบบต่างๆ เช่น เยื่อเลือกผ่าน (Membrane) ผง สารละลาย ถูกนำไปพัฒนาใช้เป็นเยื่อเลือกผ่านในการแยกสารและใช้เป็นวัฏภาคคงที่ (Stationary phase) ในงานวิเคราะห์ทางโครมาโทกราฟี

2.4 ซีโอไลต์

ซีโอไลต์คือผลึกที่ประกอบด้วยสารประกอบจำพวกอะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) โครงสร้างประกอบด้วยทรงเหลี่ยมสี่หน้าของซิลิกา $[\text{SiO}_4]$ และอะลูมินา $[\text{AlO}_4]$ เชื่อมกันด้วยอะตอมออกซิเจนเป็นโครงสร้างที่มีรูพรุนสามมิติขนาดใหญ่ (Three dimensional) โดยมีไอออนประจุบวก (Cation) และโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ตามช่องว่างภายในโครงสร้าง

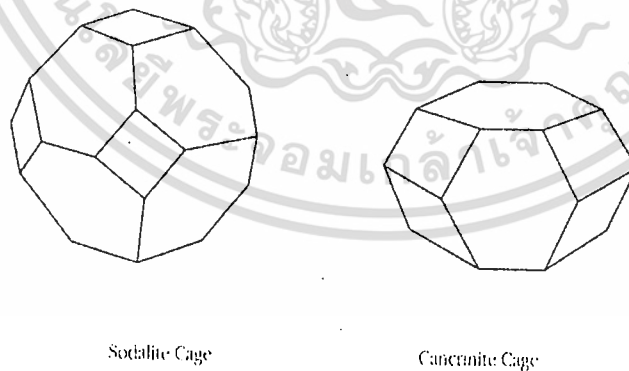
การจัดเรียงโครงสร้างของซีโอไลต์เริ่มจากโครงสร้างปฐมภูมิ (Primary unit) ที่เป็นทรงเหลี่ยมสี่หน้าที่มีออกซิเจนสี่ตัวล้อมรอบ โครงสร้างปฐมภูมิประกอบด้วยอะตอม ซิลิกอน อะลูมิเนียม และออกซิเจนที่เชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายสามมิติ เกิดการจัดเรียงตัวกันเป็นโครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary Building Unit; SBUs) ดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 โครงสร้างทุติยภูมิของซีโอไลต์

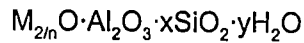
โครงสร้างทุติยภูมิเหล่านี้เชื่อมต่อกันโดยการสร้างพันธะต่อกันระหว่างโครงสร้างทุติยภูมิด้วยกัน เรียกว่าโครงสร้างที่เกิดขึ้นใหม่ว่าโครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary Building Unit หรือ Polyhedral) โครงสร้างตติยภูมิสามารถเชื่อมต่อกันเป็นโครงร่างผลึกซีโอไลต์ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.10 โครงสร้างตติยภูมิของซีโอไลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีโอไลต์มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังนี้

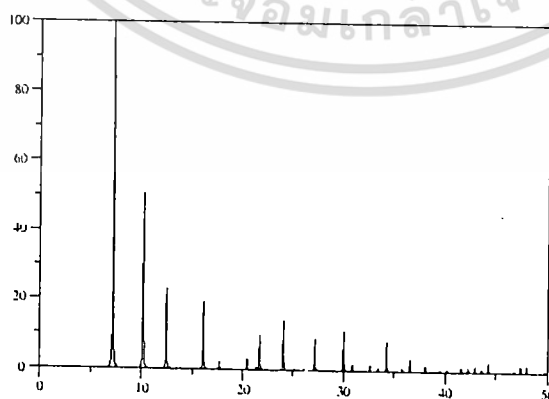


เมื่อ M คือจำนวนไอออนบวกที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุดเท่ากับ n ค่า x มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 2 ค่า y มีค่าอยู่ในช่วง 10-200

หน่วยย่อยของซิลิกาจะไม่มีประจุ แต่หน่วยย่อยของอะลูมินามีประจุลบหนึ่ง ทำให้ประจุสุทธิของโครงสร้างซีโอไลต์มีค่าเป็นลบ โดยมีไอออนบวกของโลหะอัลคาไลด์ที่อยู่ในโครงสร้างทำหน้าที่ดุลประจุสุทธิให้ซีโอไลต์สำหรับทุกตำแหน่งหน่วยอะลูมินาในโครงสร้างของซีโอไลต์ชนิดนั้นๆ อัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินา (Si/Al) และลักษณะโครงสร้างทำให้ซีโอไลต์มีความแตกต่างกัน การนำซีโอไลต์มาประยุกต์ใช้งานเช่น เป็นตัวแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation exchanger) ตัวดูดซับ (Adsorption) ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ต้องพิจารณาถึงอัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินา โครงสร้างของซีโอไลต์ และชนิดของไอออนประจุบวก

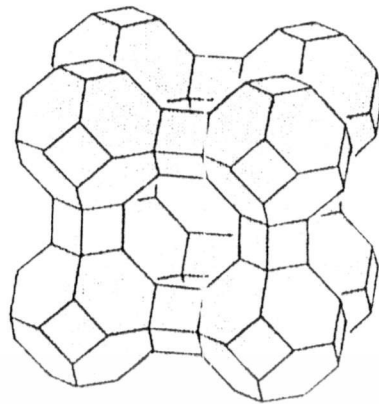
2.5 ซีโอไลต์โซเดียมเอ

ซีโอไลต์โซเดียมเอ (Zeolite NaA) มีสูตรทางเคมี คือ $Na_{12} [(AlO_2)_4 (SiO_2)_4] \cdot 27H_2O$ โดยมี X-Ray Diffraction pattern ดังแสดงในรูปที่ 2.11 มีโครงสร้างเป็นกรงแบบแอลฟา (α -cage) ลักษณะเป็นแบบลูกบาศก์ (Cubic) ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ลักษณะผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงในรูปที่ 2.13 และซีโอไลต์โซเดียมเอมีสัดส่วนช่องว่างต่อปริมาตรเท่ากับ 0.47 มีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนกว้างที่สุดเท่ากับ 4.2 อังสตรอม สลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 700 °C มีอัตราส่วนระหว่างซิลิกอน และอะลูมิเนียมเท่ากับ 1 ทำให้ซีโอไลต์โซเดียมเอมีความเป็นขั้วสูง สามารถดูดซับโมเลกุลต่างๆ ที่มีขั้วสูง เช่น โมเลกุลของน้ำ



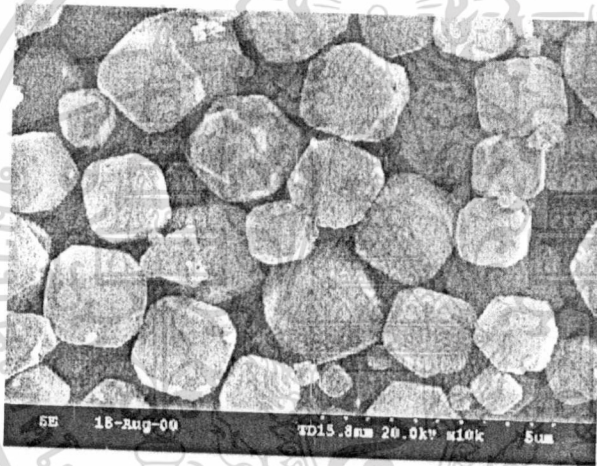
รูปที่ 2.11 แสดง X-Ray Diffraction pattern ของซีโอไลต์โซเดียมเอ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



zeolite A

รูปที่ 2.12 โครงสร้างของซีโอไลต์เอเดี่ยวมอ [6]



รูปที่ 2.13 ลักษณะผลึกของซีโอไลต์เอ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) [7]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Y.M. Lee และคณะ [7] ทำการสังเคราะห์เยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตของไคโตซาน ที่เตรียมโดยการหลอสารละลายบนเยื่อเลือกผ่านอีเทอร์ซัลโฟน พร้อมทำการเชื่อมโยงด้วยกรดซัลฟิวริก เปรียบเทียบกับเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยนำไปทำการแยกของผสมน้ำกับเอทานอลโดยใช้เทคนิคเพอร์แวกเปอเรชัน (Pervaporation) ซึ่งการเชื่อมโยงที่ผิวเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตไคโตซานทำให้ค่าความสามารถในการแยก (Selectivity) มีค่าสูง แต่ทำให้ค่าฟลักซ์ของการแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Permeation flux) ต่ำ นอกจากนี้พบว่าเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตของไคโตซานมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีกว่าเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X.P. Wang และคณะ [8] ทำการศึกษาการใช้เยื่อเลือกผ่านแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์ โดยเยื่อเลือกผ่านประกอบด้วยฟิล์มบางๆ ของไคโตซานอยู่ชั้นบน และรองรับด้วยเยื่อที่ทำจากพอลิอะคริไลไนไตรล์ โดยมีการเชื่อมโยงระหว่างระหว่างชั้นทั้งสองในการประยุกต์ใช้เยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตทำการแยกด้วยเทคนิคเพอร์แวกเปอเรชั่น ต้องมีค่าความสามารถในการแยก (Separation factor) สูงกว่า 8,000 และค่าฟลักซ์ (Flux) ของการซึมผ่านเท่ากับ $264 \text{ g/m}^2\text{h}$ สำหรับสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้น 90 % โดยมวล ที่อุณหภูมิ $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ในกระบวนการแยกใช้อุณหภูมิที่ต่างกัน จากผลการทดลองได้ค่าความสามารถในการแยก และค่าฟลักซ์เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันการทำเชื่อมโยงทำให้คอมโพสิตเยื่อเลือกผ่านมีความแข็งแรง พอที่จะใช้ในกระบวนการแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์ได้

J.H. Kim และคณะ [9] ทำการศึกษาเยื่อเลือกผ่านผสมที่ประกอบด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และไคโตซาน โดยเตรียมจากเทคนิคการหล่อแบบ เยื่อเลือกผ่านผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กับไคโตซานมีอุณหภูมิหลอมเหลวเท่ากับ $230 \text{ }^\circ\text{C}$ สมบัติเชิงกลของเยื่อเลือกผ่านผสมมีค่ามากกว่าเยื่อเลือกผ่านแต่ละชนิด สำหรับการเชื่อมโยงเยื่อเลือกผ่านโดยใช้กลูตาโรลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) ทำให้ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และเสถียรภาพทางความร้อน (Thermal stability) ของเยื่อเลือกผ่านผสมเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นของการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น และความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิล และหมู่อะมิโนในของผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับไคโตซานลดลง ทำให้การบวมตัวของเยื่อเลือกผ่านลดลง

T. Uragami และคณะ [10] ทำการศึกษาการเชื่อมโยงของเยื่อเลือกผ่านควอเทอร์ไนซ์ไคโตซาน (Quaternized Chitosan membrane; q-chito) 2 ชนิด ชนิดแรกเตรียมโดยใช้การหล่อแบบสารละลาย q-chito ที่ประกอบด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ (Glutaraldehyde; GA) ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรดไฮโดรคลอริกบนพอลิอีเทอร์ซัลโฟน (Polyethersulfone) ที่มีรูพรุน ส่วนอีกชนิดหนึ่งเป็นการนำเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมชนิดแรกมาเชื่อมโยงโดยใช้สารละลายกลูตาโรลดีไฮด์และใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วนำเยื่อเลือกผ่านทั้งสองชนิดไปใช้ในการแยกน้ำออกจากของผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำที่อุณหภูมิและความดันสูง ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ (Permeation flux) ลดลง ถ้าเพิ่มอุณหภูมิภายใต้ความดันไอของสารป้อนคงที่ การลดลงของค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์เป็นผลมาจากความหนาแน่นของโพลด์ลง ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างความดันของสารป้อนกับความดันทั้งหมด

M.Y. Kariduraganavar [11] และคณะ พบว่าเยื่อเลือกผ่านโซเดียมอะจินเนตที่ผสม (Sodium aginate) NaY zeolite และ A.A. Kittur [12] พบว่าเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ผสม NaY zeolite สามารถใช้แยกของผสมน้ำกับไอโซโพรพานอล โดยให้ค่าความสามารถในการแยก (Selectivity) และค่าฟลักซ์ของการแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Permeation flux) เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซีโอไลต์เพิ่มขึ้น

E. Okumus [13] และคณะ พบว่าเยื่อเลือกผ่านอะคริไลไนไตรล์ที่ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ 32% โดยน้ำหนัก สามารถใช้แยกของผสมน้ำกับเอทานอล โดยให้ค่าความสามารถในการแยกสูงขึ้น 9 เท่า แต่ทำให้ค่าฟลักซ์ของการแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านลดลง 7 เท่า เมื่อเทียบกับเยื่อเลือกผ่านอะคริไลไนไตรล์ที่ไม่ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

กรดอะซิติก (เกรดวิเคราะห์)	จากบริษัท Fuka chemical
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (เกรดวิเคราะห์)	จากบริษัท Fuka chemical
กลูตาโรลดีไฮด์ (เกรดวิเคราะห์)	จากบริษัท Merck Co., Ltd.
เอทานอล (เกรดวิเคราะห์)	จากบริษัท Fuka chemical
แก๊สฮีเลียม (เกรดHP)	จากบริษัท TIG
น้ำกลั่น	
ไคโตซาน (เกรดการค้า)	จากบริษัท TC Union Co., Ltd.

ตารางที่ 3.1 สมบัติของไคโตซาน

สมบัติ	ค่าที่ได้
องศาการกำจัดหมู่อะซิติก (%DD)	91.15 %
เถ้า	0.33 %
โปรตีน	0.21 %
ความชื้น	4.05 %
สี	ขาว

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัท TC Union Co., Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) ปริมาณเครื่องแก้ว
- 2) ชุดทดสอบกระบวนการซีมีฟานไอ
- 3) หลุมให้ความร้อน (Heating mental)
- 4) ปั๊มดูดของเหลวชนิดเพอร์ริสแตติก (Peristaltic pump) บริษัท WATSON-MARLOW รุ่น 101 V/R

5) เครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส (Mass flow meter) บริษัท SIERRA INSTRUMENTS รุ่น MASSTRAK

6) เครื่องสั่นโดยใช้คลื่นเสียง (Ultrasonic bath) บริษัท NEY DENTAL รุ่น 14H

7) ตู้อบ

8) เครื่องชั่ง บริษัท DENVER INSTRUMENT รุ่น TC-254

9) ไมโครมิเตอร์

Column Parapak Q

Column oven 140 °C

Detector TCD

- Temperature 200 °C

- Filament Temperature 230 °C

Carrier gas 30 ml/min

Run time 7 min

10) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) บริษัท LEO รุ่น LEO1455VP

11) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) บริษัท VARION รุ่น VARION 3800

12) เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน TGA (Thermogravimetric analyzer)

บริษัท PERKINELMER รุ่น PYRIS 1 TGA

13) เครื่อง XRD (X-ray diffractometer) บริษัท BRUKER AG รุ่น D8 ADVANCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตอย่างอังกถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน

1) สังเคราะห์ซีโอไลต์ขนาดอนุภาคเล็ก

ซึ่งซีโอไลต์เตรียมใน 5 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายซีโอไลต์ไฮดรอกไซด์ที่เข้มข้น 18 %wt จำนวน 40 กรัม บ่มจน สารละลายเป็นเนื้อเดียว เติมน้ำปราศจากไอออน 27 กรัม บ่มจนสารละลายต่อ ค่อย ๆ เติมน้ำของซิลิกา น้ำหนัก 3.3 กรัม ลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายบ่มจนหมดภายในเวลา 10 นาที

ถ่ายของผสมในบีกเกอร์ลงในขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ทำการรีฟลักซ์ (Reflux) โดยบ่มจนอยู่เสมอบนเวลาประมาณ 45 นาที เมื่อครบกำหนดเวลานำขวดก้นกลมมาแช่ในน้ำเย็น กรองซีโอไลต์ที่ได้ผ่านกรวยบุชเนอร์ ล้างซีโอไลต์ได้ด้วยน้ำปราศจากไอออน โดยถ่ายซีโอไลต์ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออน 30 มิลลิลิตร กวนของผสมด้วยแท่งแก้วคน แล้วนำไปกรอง ด้วยกรวยบุชเนอร์

นำของแข็งที่ได้จากการกรองมาเติมน้ำละลายซีโอไลต์คอลลอยด์ แบ่งของผสมใส่หลอดแล้วนำไป ใส่เครื่องเหวี่ยงแยกตะกอนที่ 1500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที เทของเหลวใสด้านบนออก แล้วเติมน้ำละลายซีโอไลต์คอลลอยด์ กวนของผสมด้วย แท่งแก้วคน ทำซ้ำข้อ 1.8) 2-3 ครั้งจนค่า pH ของของเหลวที่ผ่านการล้างมีค่าไม่เกิน 9 นำซีโอไลต์ซีโอไลต์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำซีโอไลต์ที่เตรียมได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค XRD และศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM

2) การเตรียมสารละลายโคโคซาน

นำโคโคซานมาละลายในกรดอะซิติก โดยใช้โคโคซาน 2 กรัมละลายในกรดอะซิติกเข้มข้น 2 % (v/v) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำสารละลายมาบ่มจนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เติมน้ำกลูตาโรลดีไฮด์เข้มข้น 0.05 % (w/w) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายโคโคซานที่ได้มาปรับ pH ด้วยสารละลายซีโอไลต์ไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 % ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำไปบ่มจนจนกระทั่งมี pH ประมาณ 6.5 ซึ่งซีโอไลต์ปริมาณ 0-50 phr นำมากระจายตัวในน้ำกลั่นปริมาณ 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปสั่นโดยใช้เครื่อง Ultrasonic bath เป็นเวลา 15 นาที นำซีโอไลต์ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำกลั่นแล้วมาเทลงในสารละลายโคโคซาน แล้วบ่มจนโดยใช้แท่งแม่เหล็ก นำสารละลายมากำจัดฟองอากาศโดยใช้เครื่อง Ultrasonic bath

3) การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน

ใช้ปิเปตดูดสารละลายโคโตะซานที่ได้จากการเตรียมในข้อ 3) ปริมาตร 75 มิลลิลิตร ค่อย ๆ ฉีดลงในแม่แบบที่ทำจากกระจกที่รองด้วยแผ่นใส นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้เยื่อเลือกผ่านโคโตะซานอะซิเตด นำเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้มาทำให้เป็นกลางโดยแช่ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 % (w/v) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง นำเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำเยื่อเลือกผ่านโคโตะซานที่เตรียมได้มาวัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์โดยเลือก เยื่อเลือกผ่าน ให้ความหนา อยู่ในช่วง 30 ± 2 ไมโครเมตร จากนั้นนำเยื่อเลือกผ่าน โคโตะซานที่เตรียมได้ทั้งหมดมาแช่ไว้ในสารละลายเอทานอลเข้มข้น 50 %mol เพื่อที่จะรอนำไปทดสอบต่อไป

3.3.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของเยื่อเลือกผ่าน

3.3.2.1 ศึกษาโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์ด้วยเครื่อง XRD

ศึกษาโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอทีที่ได้จากการสังเคราะห์ โดยทำการเตรียมตัวอย่างแบบเป็นผงใส่ในที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) แล้วทำการเกลี่ยให้พื้นผิวเรียบ แล้วนำไปวิเคราะห์โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสี $\text{CuK}\alpha$ (40 kV, 40 mA) ความยาวคลื่น 1.5406 อังสตรอม มุม 5-60 องศา Step size 0.04°/s ส่วนการศึกษาโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอทีเยื่อเลือกผ่าน โดยทำการเตรียมตัวอย่างตัดเยื่อเลือกผ่านขนาด 4 cm^2 ติดลงบนที่วางตัวอย่างสำหรับฟิล์มบางแล้วนำไปวิเคราะห์โดยใช้สภาวะวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้างต้น

3.3.2.2 ศึกษาสัณฐานวิทยาของเยื่อเลือกผ่าน

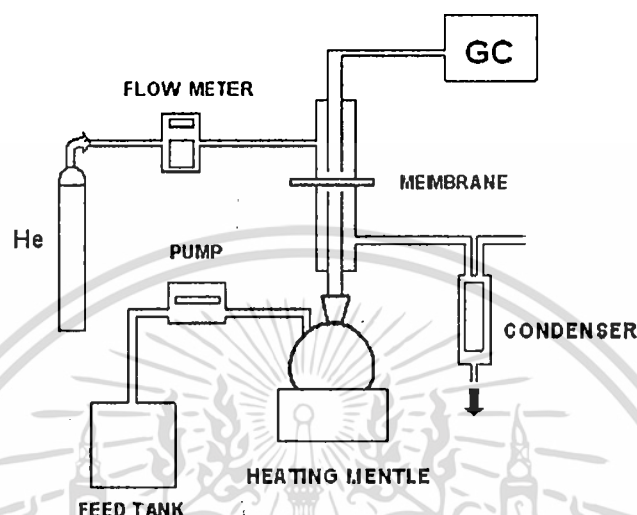
ศึกษาลักษณะพื้นผิวของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ทั้งหมด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ตัดตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมให้มีขนาด 1 cm^2 นำไปวางบนที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) แล้วเคลือบด้วยโลหะทองคำจากนั้นนำไปวิเคราะห์ ส่วนการศึกษาลักษณะภาคตัดขวางของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ ทำการตัดตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยม กว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 4 เซนติเมตร แล้วนำมาแช่ในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 20 นาที ทำการหักนำไปวางบนที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) แล้วเคลือบด้วยโลหะทองคำจากนั้นนำไปวิเคราะห์

3.3.2.3 วิเคราะห์หาปริมาณซีโอไลต์ในเยื่อเลือกผ่านด้วยเครื่อง TGA

นำเยื่อเลือกผ่านโคโตะซานที่เติมซีโอไลต์โซเดียมเอทีปริมาณ 0-50 phr มาตัดเป็นชิ้น เล็ก ๆ ใส่ลงในที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) ปริมาณ 10-20 มิลลิกรัม ทำการวิเคราะห์ภายใต้บรรยากาศของอากาศแห้ง ใช้อัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที ในช่วงอุณหภูมิ 80-700 องศาเซลเซียส

3.3.3 ทดสอบประสิทธิภาพการแยกของเยื่อเลือกผ่าน

ทดสอบประสิทธิภาพของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ด้วยกระบวนการซีมีผ่านไอดังชุดทดสอบในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงชุดทดสอบกระบวนการซีมีผ่านไอ

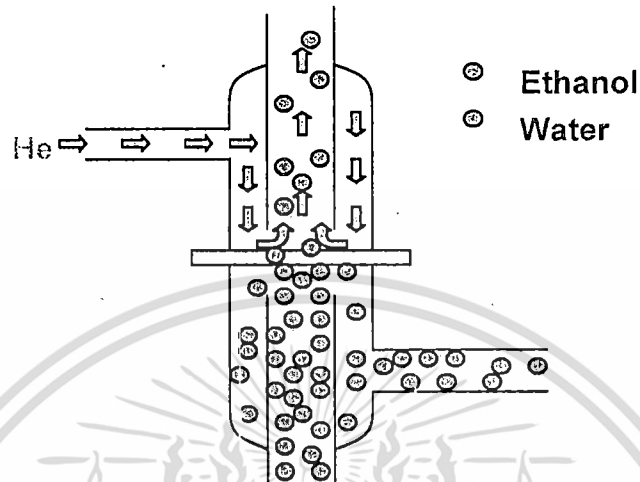
ขั้นตอนการทดสอบ

- 1) บรรจุเอทานอล 96 % (v/v) ลงในขวดกักลมจำนวน 100 มิลลิลิตร
- 2) นำเยื่อเลือกผ่านขนาด 4×4 ตารางเซนติเมตรบรรจุในเซลล์
- 3) ให้ความร้อนโดยใช้หลุมให้ความร้อนที่สเกลเบอร์ 4
- 4) เต็มเอทานอล 96% (v/v) ลงในขวดกักลมโดยใช้ปั๊มเพอร์ริสแตติก ดูเอทานอลจากขวดรูปชมพู่
- 5) เปิดวาล์วแก๊สฮีเลียมแล้วเปิดเครื่องควบคุมอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สฮีเลียม
- 6) เมื่อเอทานอลเริ่มเดือดจะเกิดไอของสารผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำเคลื่อนที่ขึ้นมายังเยื่อเลือกผ่าน โดยสารบางส่วนที่เคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้จะถูกพาเข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ส่วนสารที่ไม่สามารถผ่านเยื่อเลือกผ่านได้จะถูกควบแน่นลงสู่ขวดวัดปริมาตรที่รองรับโดยแก๊สพา (รูปที่ 3.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ทำการทดสอบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

8) นำข้อมูลที่ได้จากเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีมาทำการคำนวณต่อไป



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการแยกน้ำจากเอทานอลโดยกระบวนการซึมผ่านไอ

3.3.4 ปัจจัยที่ทำการศึกษา

- ผลของอัตราการไหลของแก๊สพาในช่อง 40-160 มิลลิลิตรต่อนาที

- ผลของปริมาณฮีโวลต์เอในปริมาณ 0-50 phr

3.3.5 การคำนวณ

คำนวณปริมาณสารที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านและค่าความสามารถในการแยกโดยใช้สูตร

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

$$\text{Flux}_{\text{Ethanol}} = \frac{W_{\text{Ethanol}}}{A \cdot hr}$$

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

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

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

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดเยื่อเลือกผ่าน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Separation factor } (\alpha) = \frac{(Y_{\text{Water}} / Y_{\text{Ethanol}})}{(X_{\text{Water}} / X_{\text{Ethanol}})}$$

Y_{water} = สัดส่วนโมลของน้ำในเฟอรัมเอต

Y_{ethanol} = สัดส่วนโมลของเอทานอลในเฟอรัมเอต

X_{water} = สัดส่วนโมลของน้ำในสารป้อน

X_{ethanol} = สัดส่วนโมลของเอทานอลในสารป้อน

ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์แทนเยื่อเลือกผ่านและแสดงองค์ประกอบของเยื่อเลือกผ่าน

สัญลักษณ์	ปริมาณไคโตซาน(phr)	ปริมาณซีโอไลต์ (phr)	ชนิดซีโอไลต์
CG	100	-	-
CGZ 5	100	5	NaA
CGZ 10	100	10	NaA
CGZ 20	100	20	NaA
CGZ 30	100	30	NaA
CGZ 40	100	40	NaA
CGZ 50	100	50	NaA

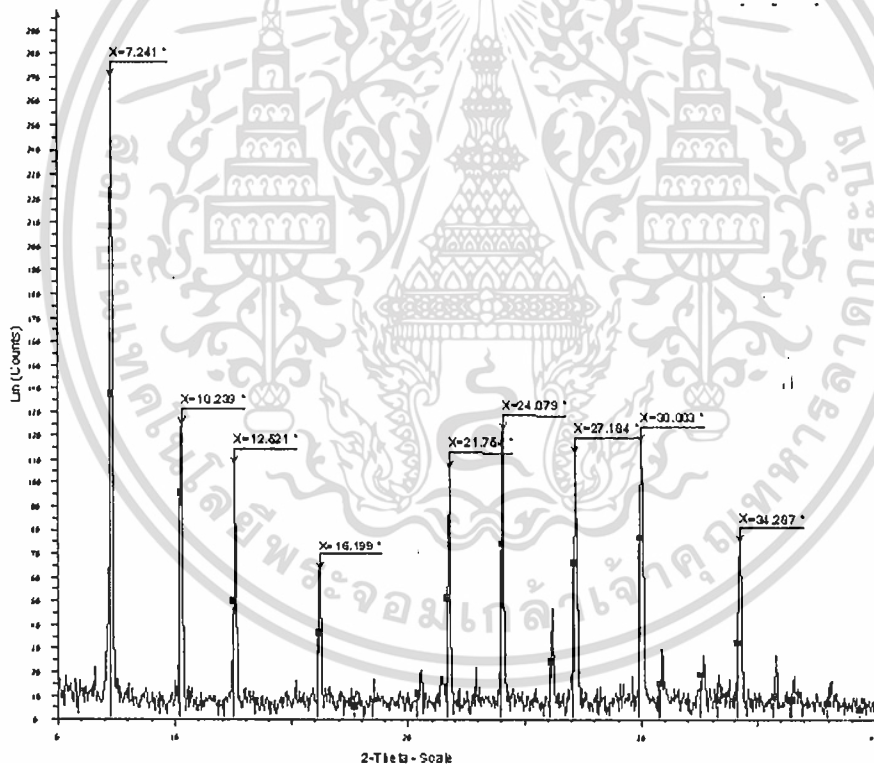
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอและเยื่อเลือกผ่าน

4.1.1 โครงสร้างผลึกซีโอไลต์โซเดียมเอ

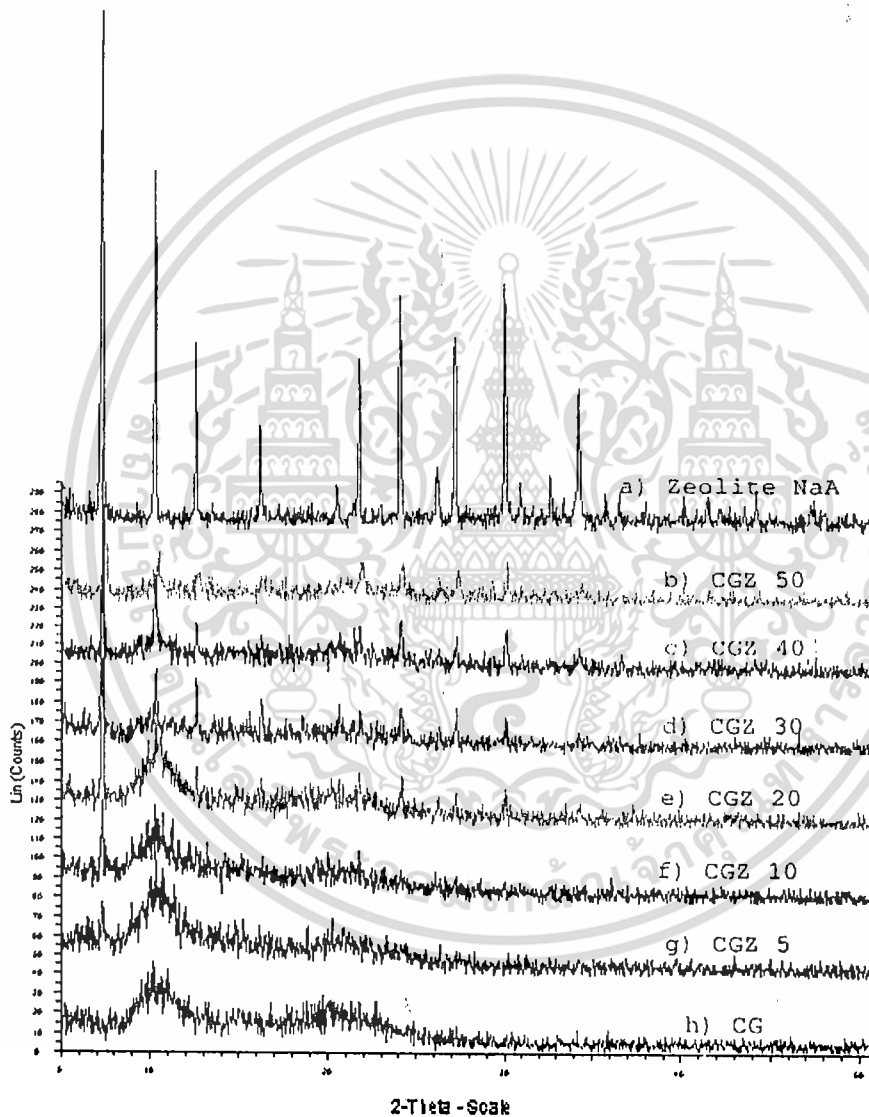
จากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ขึ้น (รูปที่ 4.1) พบว่าซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ มีตำแหน่งของพีกที่เห็นได้ชัดที่ค่า 2θ ประมาณ 10° 13° 16° 22° 24° 27° 30° และ 34° ซึ่งมีตำแหน่งของพีกตรงกับสารมาตรฐาน Sodium Aluminum Silicate Hydrate Zeolite A จึงสรุปได้ว่าซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นซีโอไลต์โซเดียมเอ



รูปที่ 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอจากการสังเคราะห์เทียบกับสารมาตรฐาน

4.1.2 โครงสร้างผลึกซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน

จากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน เปรียบเทียบกับซีโอไลต์โซเดียมเอ (รูปที่ 4.2) พบว่าพิกมีตำแหน่งของพิกที่ค่า 2θ ประมาณ 10° 13° 16° 22° 24° 27° 30° และ 34° ซึ่งตรงกับตำแหน่งพิกของซีโอไลต์โซเดียมเอ แสดงให้เห็นว่าซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านโคโตซานยังมีโครงสร้างผลึกที่เหมือนเดิม โดยความสูงของพิกที่ค่า 2θ ดังกล่าวจะสูงขึ้น เนื่องจากมีปริมาณซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านโคโตซานมากขึ้น



รูปที่ 4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ a) ซีโอไลต์โซเดียมเอ (Zeolite NaA)

เปรียบเทียบกับเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่มีการเติมซีโอไลต์โซเดียมเอ

b) 50 phr c) 40 phr d) 30 phr e) 20 phr f) 10 phr g) 5 phr h) 0 phr

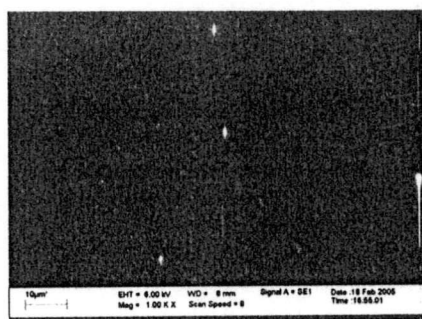
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 สันฐานวิทยาของเยื่อเลือกผ่าน

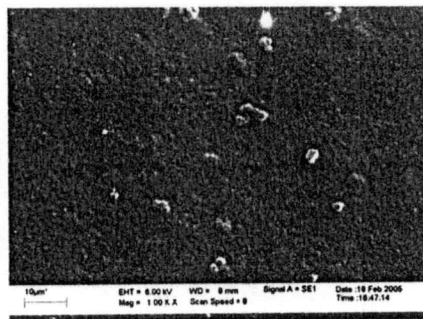
เยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่เตรียมได้นำมาศึกษาสันฐานวิทยาคุณลักษณะพื้นผิว (Surface) และภาคตัดขวาง (Cross Section) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อคุณลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคซีโอโลต์ในเยื่อเลือกผ่านโคโตซาน จากรูปที่ 4.3 พบว่าเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่ไม่เติมซีโอโลต์โซเดียมเอจะมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบ ส่วนเยื่อเลือกผ่านที่มีการเติมซีโอโลต์โซเดียมเอพื้นผิวจะมีความขรุขระ เนื่องจากมีอนุภาคบางส่วนของซีโอโลต์โซเดียมเอกระจายอยู่ที่พื้นผิว โดยเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่เติมซีโอโลต์โซเดียมเอปริมาณมากขึ้น จะเห็นพื้นผิวที่ขรุขระมากขึ้นตามลำดับ ส่วนการกระจายตัวของซีโอโลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านโคโตซาน พบว่ามีการกระจายตัวที่ดีแม้ว่าจะใช้ปริมาณซีโอโลต์โซเดียมเอมากถึง 50 phr เนื่องจากทั้งซีโอโลต์โซเดียมเอ และโคโตซานมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) เหมือนกัน ทำให้อนุภาคซีโอโลต์กระจายตัวอยู่ในเยื่อเลือกผ่านโคโตซานเป็นอนุภาคเดี่ยว ๆ ไม่เกิดการเกาะกลุ่มเป็นก้อน (Aggregate)

จากการเติมซีโอโลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านโคโตซานในปริมาณที่มากขึ้น พบว่าที่พื้นผิวของเยื่อเลือกผ่านจะเกิดช่องว่างขึ้นบางบริเวณ ซึ่งช่องว่างที่เกิดขึ้นนี้อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการแยกของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้

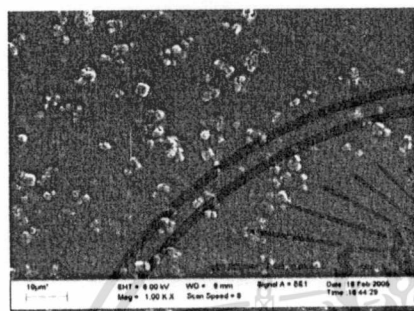
จากรูปที่ 4.4 แสดงลักษณะภาคตัดขวางของเยื่อเลือกผ่าน พบว่าเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่ไม่มีการเติมซีโอโลต์โซเดียมเอจะมีลักษณะภาคตัดขวางที่เรียบ ส่วนเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่เติมซีโอโลต์โซเดียมเอจะมีลักษณะภาคตัดขวางที่ไม่เรียบ เนื่องจากมีการกระจายตัวของอนุภาคซีโอโลต์ในเยื่อเลือกผ่านโคโตซาน และพบช่องว่างภายในเนื้อของเยื่อเลือกผ่านโคโตซานมากขึ้นเมื่อมีการเติมซีโอโลต์โซเดียมเอ



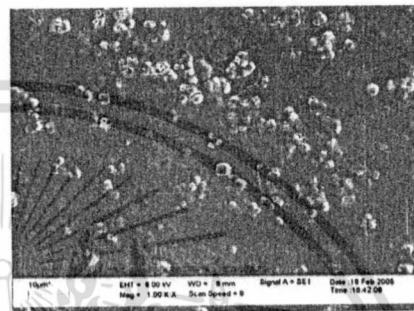
a) CG



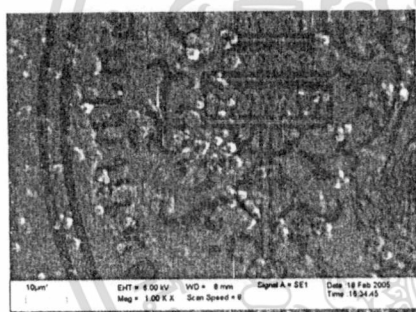
b) CGZ 5



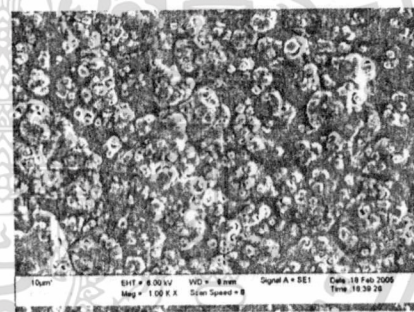
c) CGZ 10



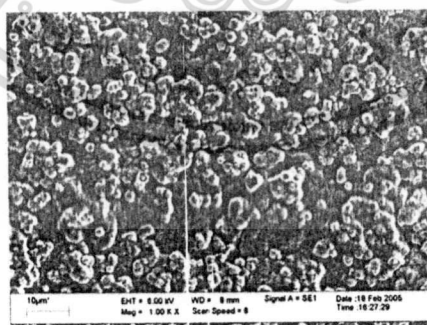
d) CGZ 20



e) CGZ 30



f) CGZ 40

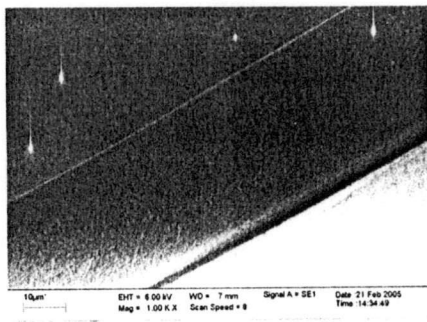


g) CGZ 50

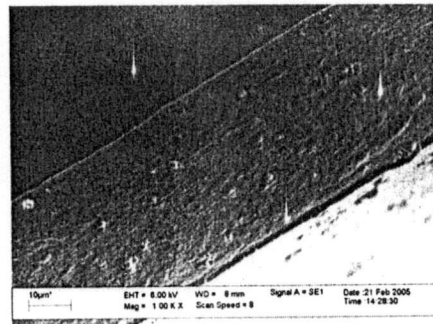
รูปที่ 4.3 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของเปลือกผ่านโคโตซานที่เติม

ซีโอไลต์โซเดียมเอ a) 0 phr b) 5 phr c) 10phr d) 20 phr e) 30 phr f) 40 phr

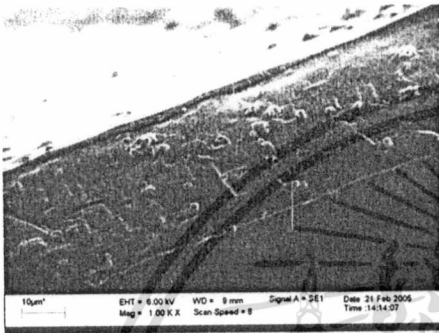
เอกสารนี้เป็น (g) 50 phr ที่กำลังขยาย 1000 เท่า เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



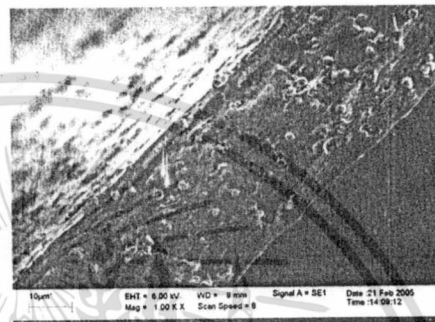
a) CG



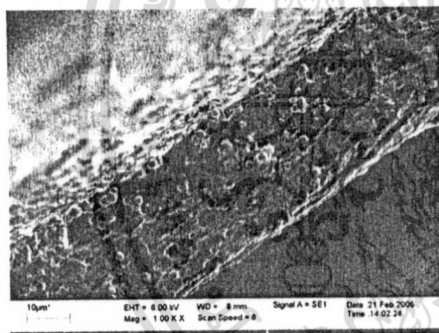
b) CGZ 5



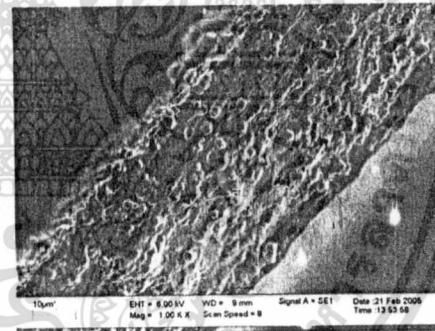
c) CGZ 10



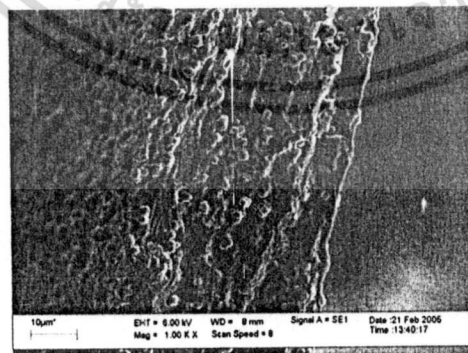
d) CGZ 20



e) CGZ 30



f) CGZ 40



g) CGZ 50

รูปที่ 4.4 ภาพ SEM ภาคตัดขวางของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่มีการเติมซีโอไลต์โซเดียมเอ

a) 0 phr b) 5 phr c) 10 phr d) 20 phr e) 30 phr f) 40 phr g) 50 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ปริมาณซีโอไลท์ในเยื่อเลือกผ่าน

ขั้นตอนการเตรียมเยื่อเลือกผ่านมีการผสมซีโอไลท์โซเดียมเอลงในสารละลายโคโตะซาน โดยสามารถวิเคราะห์หาปริมาณซีโอไลท์โซเดียมเอที่มีอยู่จริงในเยื่อเลือกผ่านโคโตะซานได้โดยใช้ เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน TGA ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1

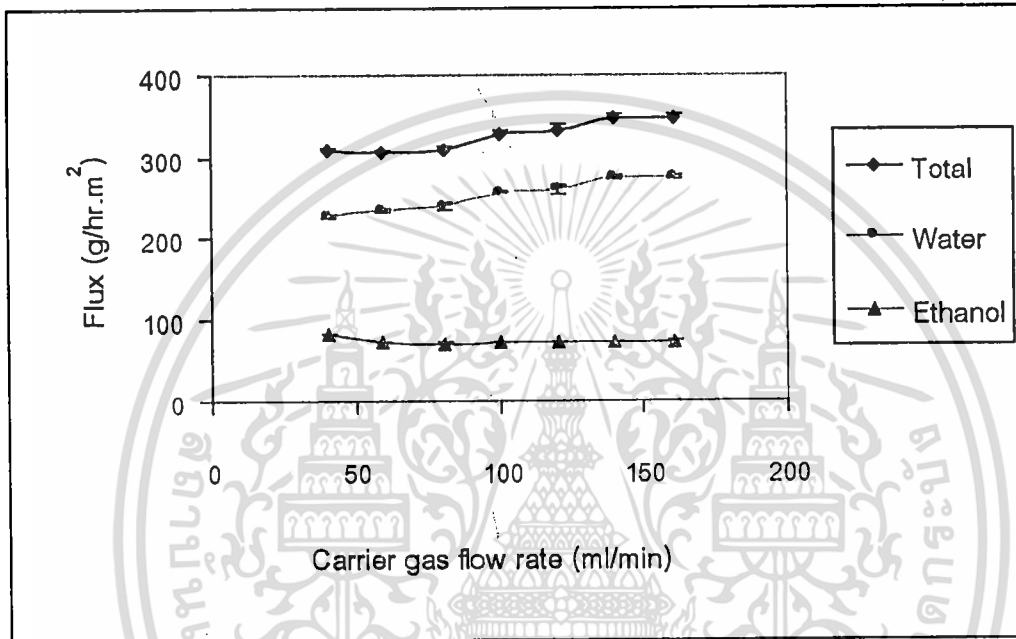
ตารางที่ 4.1 ปริมาณซีโอไลท์โซเดียมเอที่เติมและที่มีอยู่จริงจากเทคนิค TGA

เยื่อเลือกผ่าน	ซีโอไลท์ที่เติม		ซีโอไลท์จาก เทคนิค TGA (%wt)
	phr	%wt	
CG	-	-	-
CGZ 5	5	4.76	2.54
CGZ 10	10	9.09	5.79
CGZ 20	20	16.67	11.43
CGZ 30	30	23.08	17.37
CGZ 40	40	28.57	21.05
CGZ 50	50	33.33	25.79

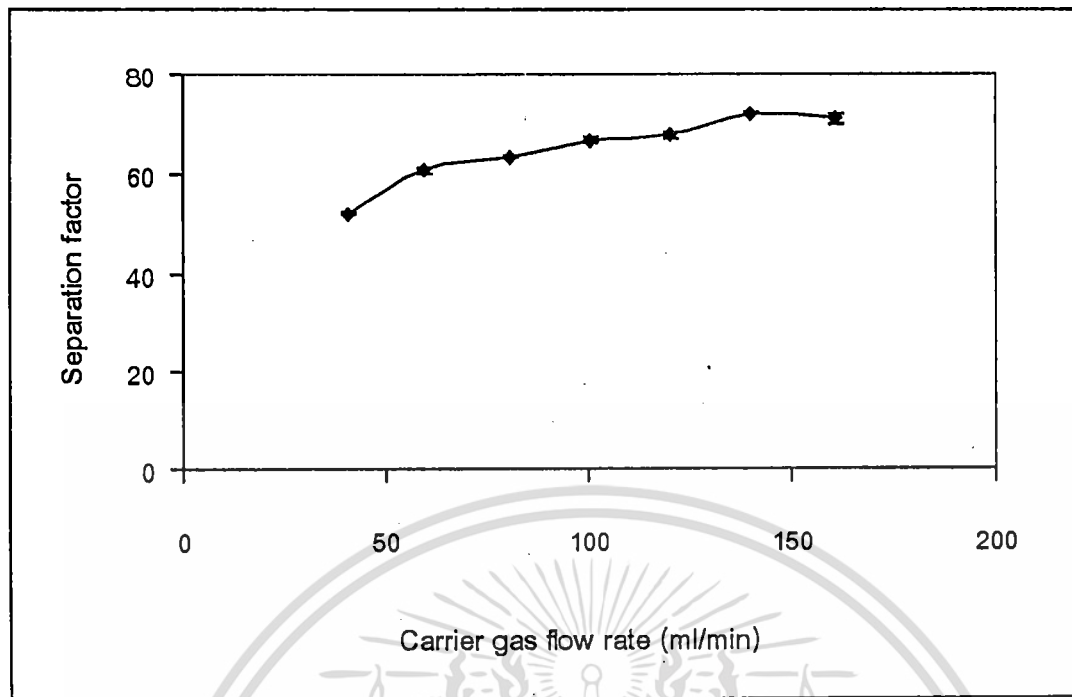
จากการทดลองพบว่าปริมาณซีโอไลท์โซเดียมเอที่มีอยู่จริงในเยื่อเลือกผ่านมีค่าน้อยกว่าที่ได้จากการคำนวณ เนื่องจากซีโอไลท์โซเดียมเอมีน้ำอยู่ในรูปอนุประมาณ 20-30 % ของน้ำหนักซีโอไลท์ เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA ทำให้น้ำในรูปอนุระเหยออกไป ดังนั้นน้ำหนักที่วิเคราะห์ได้จึงน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้

4.2 ผลของอัตราการไหลของแก๊สพา (Carrier gas)

เนื่องจากอัตราการไหลของแก๊สพา มีผลต่อประสิทธิภาพการแยกของเยื่อเลือกผ่าน จึงทำการศึกษาผลของอัตราการไหลของแก๊สพาเพื่อที่จะหาสภาวะที่เหมาะสมในการทดสอบ โดยใช้เยื่อเลือกผ่านโคโตะซานที่ไม่ได้ผสมซีไอโลดต์ (CG) (ความหนา 30 ± 2 ไมโครเมตร) จากการทดลองหาค่าความสามารถในการแยก (Separation factor) ค่าฟลักซ์ของน้ำ เอทานอล และฟลักซ์ของสารโดยรวมเทียบกับอัตราการไหลของแก๊สพา สามารถแสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของแก๊สพา กับค่าฟลักซ์



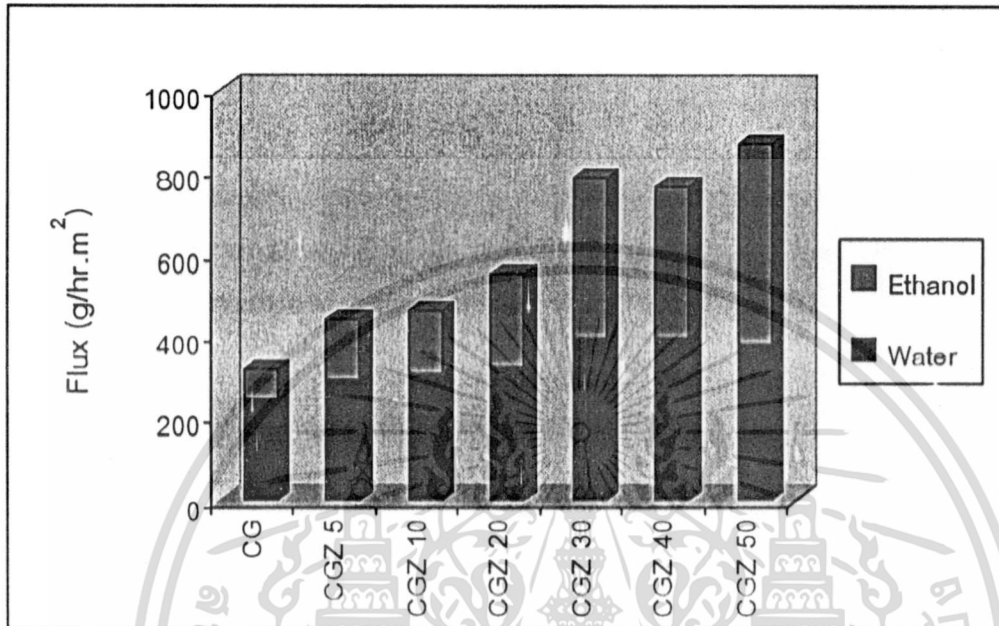
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของแก๊สที่สัมพันธ์กับค่าความสามารถในการแยก

จากผลการทดลองเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สพาในช่วง 40-160 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าค่าพีล็กซ์มีค่าสูงขึ้นเนื่องจากเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สพาทำให้ความดันย่อย (Partial pressure) ของเพอร์มิเอต (Permeate) มีค่าต่ำลงจึงเป็นแรงขับเคลื่อน (Driving force) ทำให้สารเคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านออกมาได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สพา ทำให้ค่าความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านมีค่าสูงขึ้นด้วย เพราะค่าพีล็กซ์ของน้ำสูงขึ้น ในขณะที่ค่าพีล็กซ์ของเอทานอลไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

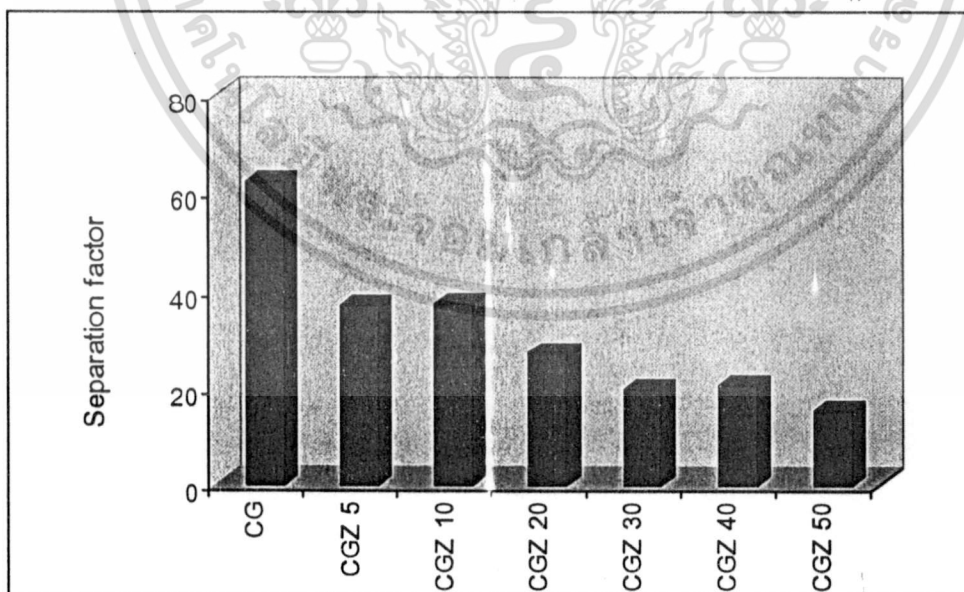
ในการทดลองนี้พบว่าถ้าใช้อัตราการไหลของแก๊สพาต่ำกว่า 40 มิลลิลิตรต่อนาที จะเกิดการควบแน่นของสารที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านออกมา (Permeate) ทำให้ผลของการวิเคราะห์ผิดพลาด ดังนั้นในการศึกษาถึงปัจจัยอื่นๆ จึงต้องเลือกอัตราการไหลของแก๊สพาคงที่ที่ค่าหนึ่งค่าใดก็ได้ ในช่วง 40-160 ml/min ซึ่งในการทดลองนี้ได้เลือกใช้อัตราการไหลของแก๊สพาที่ 80 มิลลิลิตรต่อนาที

4.3 ผลของปริมาณซีโอดีโซเดียมเอ

จากการศึกษาผลของปริมาณซีโอดีโซเดียมเอที่เติมลงในเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของเยื่อเลือกผ่าน โดยวัดจากค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยก ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 (อัตราการไหลแก๊สพา 80 ml/min)



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์กับปริมาณซีโอดี



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการแยกกับปริมาณซีโอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่า เยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่ไม่ผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ (CG) มีค่าฟลักซ์ที่ต่ำ เนื่องจากเยื่อเลือกผ่านไคโตซานเป็นเยื่อเลือกผ่านเนื้อแน่น (Dense membrane) ทำให้มีปริมาณสารที่สามารถผ่านเยื่อเลือกผ่านได้น้อย แต่เมื่อผสมซีโอไลต์โซเดียมเอลงไปพบว่า ค่าฟลักซ์มีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อเติมซีโอไลต์โซเดียมเอจะทำให้เยื่อเลือกผ่านไคโตซานเป็นเยื่อเลือกผ่านแบบมีรูพรุน (Porous membrane) มากขึ้น ทำให้ค่าฟลักซ์มากขึ้น อย่างไรก็ตาม การเพิ่มค่าฟลักซ์ของเอทานอลสูงกว่าค่าฟลักซ์ของน้ำ เพราะเกิดช่องว่างระหว่างภูมิภาคของซีโอไลต์โซเดียมเอกับเยื่อเลือกผ่านไคโตซาน เอทานอลสามารถเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างโดยไม่เกิดกลไกการแยก มีผลทำให้ค่าความสามารถในการแยกลดลง จากการทดลองดังกล่าวทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการแยกของเยื่อเลือกผ่านนอกจากไคโตซานและซีโอไลต์โซเดียมเอแล้ว รูพรุนหรือช่องว่างระหว่างภูมิภาคที่เกิดขึ้นยังมีผลต่อการแยกของเยื่อเลือกผ่านอีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงสมบัติโคโตซานเพื่อใช้ในการแยกน้ำจากเอทานอลด้วยการเติมซีโอไลต์โซเดียมเอ (Zeolite NaA) โดยทำการเตรียมเยื่อเลือกผ่านโคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ พิสูจน์เอกลักษณ์ของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ ศึกษาผลของอัตราการไหลของแก๊สพาและศึกษาผลของปริมาณซีโอไลต์โซเดียมเอที่มีผลต่อเยื่อเลือกผ่าน จากงานวิจัยพบว่าเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่ไม่เติมซีโอไลต์มีพื้นผิวและภาคตัดขวางที่เรียบ เมื่อเติมซีโอไลต์พื้นผิวและภาคตัดขวางมีความขรุขระมากขึ้น เนื่องจากซีโอไลต์โซเดียมเอมีการกระจายตัวในเยื่อเลือกผ่านโคโตซานได้ดีเพราะมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) ที่เหมือนกัน การศึกษาโครงสร้างผลึกของซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน พบว่าซีโอไลต์โซเดียมเอในเยื่อเลือกผ่านมีโครงสร้างเหมือนเดิม และปริมาณซีโอไลต์โซเดียมเอที่อยู่ในเยื่อเลือกผ่านมีปริมาณใกล้เคียงกับที่เติมลงไป

จากผลของอัตราการไหลของแก๊สพา (Carrier gas) พบว่าเมื่ออัตราการไหลของแก๊สพาสูงขึ้นทำให้ค่าฟลักซ์มีค่าสูงขึ้นเนื่องจากความดันย่อย (Partial pressure) ของเพอร์มิเอต (Permeate) มีค่าต่ำลง ดังนั้นจึงมีปริมาณสารเคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านออกมาได้เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความสามารถในการแยกมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากมีสัดส่วนของน้ำในเพอร์มิเอตสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สพา ผลของปริมาณการเติมซีโอไลต์โซเดียมเอในช่วง 0-50 phr พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์โซเดียมเอ ทำให้ค่าฟลักซ์ของน้ำและเอทานอลสูงขึ้น โดยค่าฟลักซ์ของน้ำสูงขึ้นเนื่องจากซีโอไลต์โซเดียมเอสามารถดูดซับน้ำได้ดี ค่าฟลักซ์ของเอทานอลสูงขึ้นเนื่องจากเกิดรูพรุน หรือช่องว่างระหว่างวฏภาคจำนวนมากทำให้การเพิ่มขึ้นของค่าฟลักซ์ของเอทานอลมีค่าสูงกว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำ ทำให้ค่าความสามารถในการแยกมีคาลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์โซเดียมเอ

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลของปริมาณซีโอไลต์โซเดียมเอ พบว่าการเติมซีโอไลต์ในปริมาณมากทำให้ประสิทธิภาพในการแยกของเยื่อเลือกผ่านลดลง ดังนั้นควรสังเคราะห์ซีโอไลต์โซเดียมเอขนาดอนุภาคระดับนาโน แล้วนำไปผสมในเยื่อเลือกผ่านโคโตซานเพื่อทดสอบการแยกต่อไป นอกจากนี้เยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้มีความแข็งแรงระดับหนึ่ง แต่ไม่มีความแข็งแรงสำหรับระบบที่มีความแตกต่างของความดันสูง เช่น ระบบเพอร์แวนพเพอเรชัน จึงควรเตรียมเยื่อเลือกผ่านโคโตซานโดยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การเชื่อมโยง หรือเตรียมเยื่อเลือกผ่านบนตัวรองรับ (Support)

เอกสารอ้างอิง

1. ชันทอง สุนทรภา. 2547. เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 2-19.
2. http://www.gewater.com/library/tp/1159_produced_Water.jsp
3. ภาวดี เมธะคานนท์ อศิรา เพ็ญฟูชาติ และกองเกียรติ คงสุวรรณ. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไคติน-ไคโตซาน. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. หน้า 1-7.
4. <http://ww.kitosato-u.ac.jp/l31/chitin/chitin.html>
5. <http://sogang.ac.kr/~zeolite/egall2.htm>
6. <http://zeolites.ethz.ch/cgi-bin/collection1.py>
7. Y.M. Lee, S.Y. Num and D. J. Woo. 1997. Pervaporation of Ionically Surface Crosslinked Chitosan Composite Membranes for Water-Alcohol Mixtures. *Journal of Membrane Science*. vol. 133: 103-110.
8. X.P. Wang, Z.Q. Shen, F.Y. Zhang and Y.F. Zhang. 1996. A Novel Composite Chitosan Membrane for the Separation of Alcohol-Water Mixtures. *Journal of Membrane Science*. vol. 119: 191-198.
9. J.H. Kim, J.Y. Kim, Y.M. Lee and K.Y. Kim. 1992. Properties and Swelling Characteristics of Cross-linked Poly(vinyl alcohol)/ Chitosan Blend Membrane. *Journal of Applied Polymer Science*. vol. 45: 1711-1717.
10. T. Uragami, Y. Tanaka and S. Nishida. 2002. Permeation and Separation Under High Temperature and High Pressure for Ethanol/Water Vapors Through Cross-linked Quaternized Chitosan Composite Membranes. *Desalination*. vol. 147: 449-454.
11. M.Y. Kariduraganavar, A.A. Kuttur, S.S. Kulkarni and K. Ramesh. 2004. Development of Novel Pervaporation Membrane for the Separation of Water/ Isopropanol Mixtures Using Sodium Aginate and NaY Zeolite. *Journal of Membrane Science*. vol. 238: 165-175.
12. A.A. Kuttur, S.S. Kulkarni, M.I. Araguppi and M.Y. Kariduraganavar. 2004. Preparation and Characterization of Novel Pervaporation Membrane for the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Separation of Water-Isopropanol Mixtures Using Chitosan and NaY Zeolite. *Journal of Membrane Science*. vol. 247: 75-86.

13. O. Okumus, T. Gurkan and L. Yilmaz. 2003. Effect of Fabrication and Process Parameter on the Morphology and Performnce of a PAN-Based Zeolite-filled Pervaporation Membrane. *Journal of Membrane Science*. vol. 223: 23-38.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้