

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โมดูลเชื้อเลือกผ่านไคโตซานสำหรับแยกน้ำออกจากเอทานอล



T107860



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107860
วัน,เดือน,ปี..... ๒๓. ๐๖. ๒๕๕๐

b. 1221412
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chitosan Membrane Module for Water/Ethanol Separation



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Bachelor of Science (Industrial Chemistry)

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

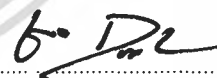
Academic Year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง โมดูลเชื่อมต่อผ่านโคโตซานสำหรับแยกน้ำออกจากเอทานอล
นักศึกษา นางสาวชรียา กวีวิรัชย์
นางสาววันวิสาข์ สีลูกหว่า
นายวาทิต ลำราญวงศ์
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษเรื่องนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.ดร.ปยุตต์มา ศิริพันธ์โนน	
กรรมการ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด	
กรรมการ ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์	



(ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	ไมดูลเยื่อเลือกผ่านไคโตซานสำหรับแยกน้ำออกจากเอทานอล	
นักศึกษา	นางสาววัชรียา	กวีวิรัชชัย
	นางสาววันวิสาข์	สีสุกหว่า
	นายวาทีต	สำราญวงศ์
ภาควิชา	เคมี	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2550	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ชลลดา	ฤตวิรุพห์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ดร.ตะวัน	สุขน้อย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ไมดูลเยื่อเลือกผ่านไคโตซานในการแยกน้ำออกจากเอทานอล โดยทำการเตรียมสารละลายไคโตซานที่มีการเชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 0.05 %wt แล้วทำการขึ้นรูปเป็นเยื่อเลือกผ่านด้วยวิธีการเคลือบหมุน (Spin coating) ด้วยความเร็ว 250 รอบต่อนาที ได้เยื่อเลือกผ่านที่มีความหนาสม่ำเสมออยู่ในช่วง 35 ± 5 ไมโครเมตร จากนั้นจึงทำการออกแบบไมดูลเยื่อเลือกผ่าน โดยเลือกใช้แผ่นพอลิพรอพิลีนเป็นกรอบของไมดูล และใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 5 มิลลิเมตรบีบอัดให้กรอบไมดูลแนบสนิท เมื่อประกอบเป็นไมดูลเยื่อเลือกผ่านและทำการทดสอบการรั่ว พบว่าได้ค่าสัดส่วนอัตราการไหลของเอทานอลขาออกต่อขาเข้าประมาณ 0.96 ซึ่งแสดงว่าไมดูลเยื่อเลือกผ่านที่ประกอบขึ้นด้วยวิธีดังกล่าวมีประสิทธิภาพที่จะใช้ในการทดสอบต่อไป จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากเอทานอลของไมดูลเยื่อเลือกผ่านด้วยกระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation process) โดยใช้อัตราเร็วของเอทานอลที่มีความเข้มข้น 80%v/v ที่ 15 และ 30 กรัมต่อชั่วโมง พบว่าที่อัตราเร็ว 15 กรัมต่อชั่วโมง ได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 83%v/v โดยมีค่า %Yield เท่ากับ 90 เมื่อใช้อัตราเร็ว 30 กรัมต่อชั่วโมง ได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 86%v/v แล้วลดลงเป็น 81%v/v โดยมีค่า %Yield เท่ากับ 98

Special Project Title	Chitosan Membrane Module for Water/Ethanol Separation	
Name	Miss Watchareeya	Kaveevivitchai
	Miss Wanvisa	Srihoogwha
	Mr. Watit	Samranwong
Department	Chemistry	
Program	Industrial Chemistry	
Academic Year	2007	
Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Chonlada Rtvirulh	
Project Co-advisor	Assoc.Prof.Dr.Tawan Sooknoi	

ABSTRACT

This research studied the design and construction of a separating module for water/ethanol separation using chitosan membranes. The chitosan membranes were prepared by spin coating with a spinning rate of 250 rpm using 0.05%wt glutaraldehyde as a crosslinking agent. It was found that the membranes had an average thickness of 35 ± 5 micron with a good thickness distribution. The module was designed and built using polypropylene sheets as membrane frames. The module was primarily tested for leakage. The results showed that the module built by this method was capable of separation testing with a C_{out}/C_{in} approximately of 0.96. The module was then tested for water/ethanol separation by vapor permeation process using 80%v/v ethanol aqueous solution at 15 and 30 g/hr. It revealed that the retentate concentration of 83%v/v and %yield of 90 were obtained when 15 g/hr ethanol solution was fed. With 30 g/hr ethanol solution, the retentate concentration of 86%v/v – 81%v/v and %yield of 98 were obtained.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และรศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย เป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำปรึกษา ช่วยแก้ไขปัญหา และเอาใจใส่ดูแลการทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ให้การช่วยเหลือและแนะนำในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณพี่ปิโตรเคมีและเคมีของไฮโดรคาร์บอนทุกคน ที่ให้คำปรึกษา และขอบคุณเพื่อนๆนักศึกษาที่ให้การช่วยเหลือ และคอยเป็นกำลังใจ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจเสมอมา จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

วัชรียา กวีวิรัชชัย
วันวิสาข์ สีลูกหว่า
วาทิต สรรยาวงค์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	2
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 แก๊สโซฮอลล์	3
2.1.1 การผลิตเอทานอล	3
2.2 การแยกสารด้วยเยื่อเลือกผ่าน	4
2.2.1 ประเภทของกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน	5
2.2.2 โครงสร้างของเยื่อเลือกผ่านสังเคราะห์	7
2.2.3 ประเภทของเยื่อเลือกผ่านสังเคราะห์	8
2.3 กระบวนการซึมผ่านไอ	10
2.3.1 กลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน	11
2.3.2 ประสิทธิภาพในการแยก	13
2.3.3 ตัวแปรที่มีผลต่อการกระทำของกระบวนการซึมผ่านไอ	13
2.4 ไคตินและไคโตซาน	15
2.4.1 โครงสร้างเคมีของไคตินและไคโตซาน	15
2.4.2 สมบัติทางเคมีของไคตินและไคโตซาน	17
2.4.3 ประโยชน์ของไคตินและไคโตซาน	19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	26
3.1 สารเคมี	26
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	27
3.3 วิธีการทดลอง	28
3.3.1 การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน	28
3.3.2 การออกแบบโมดูลเยื่อเลือกผ่าน	29
3.3.3 การออกแบบระบบการทดสอบประสิทธิภาพของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน	29
3.3.4 การทดสอบการรั่วของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน	30
3.3.5 การทดสอบประสิทธิภาพในการแยกของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน	31
3.3.6 ปัจจัยที่ทำการศึกษา	32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย	33
4.1 การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน	33
4.2 การประกอบโมดูลเยื่อเลือกผ่าน	36
4.3 การทดสอบการรั่วของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน	42
4.3.1 ผลของความหนาของแผ่นสแตนเลสที่ใช้ทดสอบการรั่ว	44
4.3.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออก	46
4.4 การทดสอบประสิทธิภาพในการแยกของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน	48
4.4.1 ผลของการใช้ตุ๋บในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ	48
4.4.2 ผลของการใช้ตุ๋บที่มีขนาดท่อทองแดงเพิ่มเข้ามาในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ	48
4.4.3 ผลของการใช้ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube) ที่พันด้วยแผ่นเทปให้ความร้อน (Heating tape) ในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ	51
4.4.3.1 ผลของการใช้อัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง	51
4.4.3.2 ผลของการใช้อัตราเร็วของสารป้อน 15 กรัมต่อชั่วโมง	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปลผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	60
ภาคผนวก ก โครมาโทแกรม	63
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง	72
ภาคผนวก ค การคำนวณ	78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	ประเภทของกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน	5
ตารางที่ 2.2	การแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน	6
ตารางที่ 3.1	สมบัติของโคโตะซาน	26
ตารางที่ 4.1	สภาวะที่ใช้ในการเคลือบหมุน (Spin coating) และผลที่ได้	35
ตารางที่ ข.1	ค่าสัดส่วนของอัตราการผลิตของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้าที่เวลาต่างๆ ในกรณีที่ใช้แผ่นสแตนเลสหนา 1 มิลลิเมตร	73
ตารางที่ ข.2	ค่าสัดส่วนของอัตราการผลิตของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้าที่เวลาต่างๆ ในกรณีที่ใช้แผ่นสแตนเลสหนา 5 มิลลิเมตร	74
ตารางที่ ข.3	ค่าสัดส่วนของอัตราการผลิตของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้าที่เวลาต่างๆ เมื่อทำการเก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออกที่อุณหภูมิต่ำด้วยน้ำแข็ง	75
ตารางที่ ข.4	ค่าสัดส่วนของอัตราการผลิตของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้าที่เวลาต่างๆ เมื่อทำการเก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออกที่อุณหภูมิต่ำเหนือผิวในโตรเจนเหลว	76
ตารางที่ ข.5	ค่าสัดส่วนของอัตราการผลิตของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้าที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ขดท่อทองแดงเพิ่มเข้ามาในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ	76
ตารางที่ ข.6	ค่าสัดส่วนของอัตราการผลิตของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้าที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ท่อโลหะรูปตัวยูในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ ที่อัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง	77
ตารางที่ ข.7	ค่าสัดส่วนของอัตราการผลิตของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้าที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ท่อโลหะรูปตัวยูในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ ที่อัตราเร็วของสารป้อน 15 กรัมต่อชั่วโมง	77
ตารางที่ ค.1	ข้อมูลจากโครมาโทแกรมของเอทานอลที่มีความเข้มข้น 96%v/v	79
ตารางที่ ค.2	ข้อมูลจากโครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพเมมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ขดท่อทองแดง) ที่ 66 นาที	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า	
ตารางที่ ค.3	ข้อมูลจากการคำนวณหา %ความเข้มข้นของเอทานอล กรณีที่ใช้ชุดท่อทองแดง	83
ตารางที่ ค.4	ข้อมูลจากการคำนวณหา %ความเข้มข้นของเอทานอล กรณีที่ใช้ท่อโลหะรูปตัวยู และอัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง	84
ตารางที่ ค.5	ข้อมูลจากการคำนวณหา %ความเข้มข้นของเอทานอล กรณีที่ใช้ท่อโลหะรูปตัวยู และอัตราเร็วของสารป้อน 15 กรัมต่อชั่วโมง	85
ตารางที่ ค.6	ข้อมูลจากการคำนวณหา %Yield กรณีที่ใช้ชุดท่อทองแดง	86
ตารางที่ ค.7	ข้อมูลจากการคำนวณหา %Yield กรณีที่ใช้ท่อโลหะรูปตัวยู และอัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง	86
ตารางที่ ค.8	ข้อมูลจากการคำนวณหา %Yield กรณีที่ใช้ท่อโลหะรูปตัวยู และอัตราเร็วของสารป้อน 15 กรัมต่อชั่วโมง	86

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	หลักการของเทคโนโลยีการแยกตัวด้วยเยื่อเลือกผ่าน	4
รูปที่ 2.2	โครงสร้างภาคตัดขวางของเยื่อเลือกผ่าน	7
รูปที่ 2.3	แผนภาพแสดงกระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation process)	10
รูปที่ 2.4	แผนภาพแสดงกลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน	11
รูปที่ 2.5	มุมสัมผัสผิวกกับการเปียกของผิววัสดุ	12
รูปที่ 2.6	โครงสร้างทางเคมีของไคติน	16
รูปที่ 2.7	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส	16
รูปที่ 2.8	โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน	17
รูปที่ 2.9	โครงสร้างไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์	18
รูปที่ 3.1	ส่วนประกอบต่างๆ ในระบบการทดสอบประสิทธิภาพของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน	29
รูปที่ 3.2	การให้อุณหภูมิที่เตาอบ	32
รูปที่ 4.1	สารละลายไคโตซาน	33
รูปที่ 4.2	การขึ้นรูปด้วยวิธีการเคลือบหมุน (Spin coating)	34
รูปที่ 4.3	เยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่เตรียมได้	35
รูปที่ 4.4	แผ่นพอลิพรอพิลีนที่ใช้เป็นกรอบของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน	36
รูปที่ 4.5	โครงสร้างของหน่วยซ้ำของพอลิพรอพิลีน	37
รูปที่ 4.6	การเตรียมฐานรองรับโมดูลเยื่อเลือกผ่าน	38
รูปที่ 4.7	การใส่แผ่นพอลิพรอพิลีนและเยื่อเลือกผ่าน	39
รูปที่ 4.8	โมดูลเยื่อเลือกผ่าน	41
รูปที่ 4.9	ภาพถ่ายโมดูลเยื่อเลือกผ่าน	42
รูปที่ 4.10	ทิศทางการไหลของไอของสารละลายเอทานอลภายในโมดูล	43
รูปที่ 4.11	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลาที่ใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร	44

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลา ที่ใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร	45
รูปที่ 4.13	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลา ที่เก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออกที่อุณหภูมิต่ำด้วยการใช้น้ำแข็ง	46
รูปที่ 4.14	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลา ที่เก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออกที่อุณหภูมิต่ำเหนือผิวในโตรเจนเหลว	47
รูปที่ 4.15	ส่วนประกอบต่างๆ ในระบบการทดสอบประสิทธิภาพของโมดูลเยื่อเลือกผ่านที่มีการใช้ชุดท่อทองแดง	48
รูปที่ 4.16	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลา ที่ใช้ชุดท่อทองแดงเพิ่มเข้ามาในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ เมื่อใช้อัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง	49
รูปที่ 4.17	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอทานอลขาออกกับเวลา ที่ใช้ชุดท่อทองแดงเพิ่มเข้ามาในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ และมีเอทานอลขาเข้า 96 %v/v อัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง	50
รูปที่ 4.18	ส่วนประกอบต่างๆ ในระบบการทดสอบประสิทธิภาพของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน ที่มีการใช้ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube)	51
รูปที่ 4.19	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลา ที่ใช้ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube) ในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ เมื่อใช้อัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง	52

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 4.20	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอทานอลขาออกกับเวลาที่ใช้ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube) ในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ และมีเอทานอลขาเข้า 80 %v/v อัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง	52
รูปที่ 4.21	ทิศทางการไหลของเพอร์มิเอตและรีเทนเทต	54
รูปที่ 4.22	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลาที่ใช้ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube) ในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ เมื่อใช้อัตราเร็วของสารป้อน 15 กรัมต่อชั่วโมง	55
รูปที่ 4.23	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอทานอลขาออกกับเวลาที่ใช้ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube) ในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ และมีเอทานอลขาเข้า 80 %v/v อัตราเร็วของสารป้อน 15 กรัมต่อชั่วโมง	56
รูปที่ ก.1	โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ชนิดท่อทองแดง) ที่ 66 นาที	64
รูปที่ ก.2	โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ชนิดท่อทองแดง) ที่ 188 นาที	64
รูปที่ ก.3	โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ชนิดท่อทองแดง) ที่ 303 นาที	65
รูปที่ ก.4	โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ชนิดท่อทองแดง) ที่ 373 นาที	65
รูปที่ ก.5	โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ชนิดท่อทองแดง) ที่ 435 นาที	66
รูปที่ ก.6	โครมาโทแกรมของเอทานอลที่มีความเข้มข้น 96%v/v	66
รูปที่ ก.7	โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ท่อโลหะรูปตัวยู, 30 กรัมต่อชั่วโมง) ที่ 60 นาที	67

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ ก.8	โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ท่อโลหะรูปตัวยู, 30 กรัมต่อชั่วโมง) ที่ 102 นาที	67
รูปที่ ก.9	โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ท่อโลหะรูปตัวยู, 30 กรัมต่อชั่วโมง) ที่ 176 นาที	68
รูปที่ ก.10	โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ท่อโลหะรูปตัวยู, 30 กรัมต่อชั่วโมง) ที่ 317 นาที	68
รูปที่ ก.11	โครมาโทแกรมของเอทานอลที่มีความเข้มข้น 80%v/v	69
รูปที่ ก.12	โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ท่อโลหะรูปตัวยู, 15 กรัมต่อชั่วโมง) ที่ 24 นาที	69
รูปที่ ก.13	โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ท่อโลหะรูปตัวยู, 15 กรัมต่อชั่วโมง) ที่ 85 นาที	70
รูปที่ ก.14	โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ท่อโลหะรูปตัวยู, 15 กรัมต่อชั่วโมง) ที่ 152 นาที	70
รูปที่ ก.15	โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ท่อโลหะรูปตัวยู, 15 กรัมต่อชั่วโมง) ที่ 206 นาที	71
รูปที่ ค.1	โครมาโทแกรมของเอทานอลที่มีความเข้มข้น 96%v/v	79
รูปที่ ค.2	โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ขวดทอทองแดง) ที่ 66 นาที	80

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในปัจจุบันวิกฤตพลังงานเป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของโลก ความต้องการในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่น้ำมันเชื้อเพลิงมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ จึงทำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นรัฐบาลจึงสนับสนุนให้มีการใช้แก๊สโซฮอล์ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกที่จะนำมาทดแทนน้ำมันได้ แก๊สโซฮอล์คือ น้ำมันเบนซินที่มีการผสมเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5%v/v ในสัดส่วน 10% v/v จะเห็นได้ว่าเอทานอลที่นำมาใช้เตรียมแก๊สโซฮอล์นั้นต้องมีความบริสุทธิ์สูง โดยส่วนใหญ่เอทานอลที่ใช้จะเตรียมจากการกลั่นลำดับส่วน ซึ่งต้องใช้ต้นทุนในการผลิตสูง ลึนเปลืองพลังงาน และได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์เพียง 96%v/v ดังนั้นการแยกน้ำจากเอทานอลโดยใช้เยื่อเลือกผ่านจึงเป็นทางเลือกที่ดีอีกทางหนึ่ง เนื่องจากเยื่อเลือกผ่านที่ใช้สามารถปรับปรุงสมบัติของเยื่อเลือกผ่านให้เหมาะสมกับความต้องการในการใช้งานได้ ซึ่งมีผู้วิจัย [1-3] พบว่าเยื่อเลือกผ่านไคโตซานมีสมบัติที่ดีในการแยกน้ำออกจากเอทานอล เนื่องจากไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ชอบน้ำ นอกจากนี้ยังพบว่าเยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถเตรียมได้โดยใช้กลุ่มดาวอลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 0.05%wt [3] เป็นสารเชื่อมโยง และผ่านการอบ [2]

จากงานวิจัยข้างต้น ซึ่งมีการใช้เยื่อเลือกผ่านที่มีขนาดเล็ก จึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อย ทำให้ไม่สามารถแยกน้ำออกจากเอทานอลได้บริสุทธิ์ถึง 99.5%v/v และเนื่องจากการเตรียมเยื่อเลือกผ่านที่มีขนาดใหญ่ทำได้ยาก มีความแข็งแรงต่ำ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบให้เยื่อเลือกผ่านมีลักษณะเป็นชั้นซ้อนกัน เพื่อให้ไอของสารละลายเอทานอลสามารถไหลผ่านได้อย่างต่อเนื่องแบบอนุกรม เพื่อให้เกิดการแยกได้อย่างมีประสิทธิภาพ และได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูง ซึ่งการนำเอาเยื่อเลือกผ่านหลายแผ่นมาเรียงต่อกันนี้ เราจะเรียกว่า “โมดูลเยื่อเลือกผ่าน” ซึ่งเป็นแนวทางในการสร้างโมเดลเพื่อพัฒนาให้ใช้ได้จริงในอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อสร้างโมดูลเยื่อเลือกผ่านโคโตซาน
- 2) เพื่อศึกษาผลของอัตราเร็วของสารป้อน (15 และ 30 กรัมต่อชั่วโมง) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1) เตรียมเยื่อเลือกผ่านโคโตซานที่มีการเชื่อมโยงโดยใช้กลูตารอลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 0.05%wt
- 2) ออกแบบและประกอบโมดูลเยื่อเลือกผ่าน
- 3) ทดสอบการรั่วของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน
- 4) ทดสอบประสิทธิภาพในการแยกน้ำจากเอทานอลของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน
- 5) ศึกษาผลของการใช้อัตราเร็วของสารป้อนที่แตกต่างกัน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เพิ่มแนวทางในการนำโคโตซานที่ผลิตจากเปลือกกุ้งและกระดองปู ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้นได้
- 2) สามารถสร้างโมดูลเยื่อเลือกผ่าน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการผลิตเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น และสามารถพัฒนาไปใช้ในอุตสาหกรรมได้จริง

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 แก๊สเอทานอล [4]

แก๊สเอทานอล คือส่วนผสมของน้ำมันเบนซินกับเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5%v/v (Absolute ethanol) ซึ่งเอทานอลสามารถผลิตได้จากพืชที่ปลูกในประเทศ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง รวมทั้งธัญพืช เช่น ข้าวฟ่าง ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น ปัจจุบันประเทศไทยโดยกระทรวงพลังงานอนุญาตให้มีการผลิตแก๊สเอทานอล 2 ชนิด คือ แก๊สเอทานอล 95 และ แก๊สเอทานอล 91 โดยมีส่วนผสมของเอทานอลไม่เกิน 10%v/v และไม่ต่ำกว่า 9%v/v สามารถใช้แทนหรือสลับกับน้ำมันเบนซิน 95 และ 91 ได้ตามปกติ โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ นอกจากนี้แก๊สเอทานอลยังเป็นพลังงานสะอาด จึงปล่อยมลพิษทางท่อไอเสียต่ำกว่าน้ำมันเบนซินทั่วไป ดังนั้นการเติมน้ำมันแก๊สเอทานอล จึงเป็นการช่วยชาติในการลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิง และใช้ทรัพยากรในประเทศมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดมลพิษทางอากาศและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

2.1.1 การผลิตเอทานอล [5]

เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการหมักพืช เพื่อเปลี่ยนแป้งจากพืชเป็นน้ำตาลแล้วเปลี่ยนจากน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ โดยแอลกอฮอล์ที่ได้จากการกลั่นมีความบริสุทธิ์ 96%v/v แต่ไม่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ทั้งนี้เอทานอลที่นำไปผสมในน้ำมันเพื่อใช้เติมเครื่องยนต์ต้องเป็นแอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ตั้งแต่ 99.5%v/v

กระบวนการผลิตเอทานอลประกอบด้วยกระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับผลิตเอทานอล กระบวนการหมัก และการแยกผลิตภัณฑ์เอทานอลและการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบนั้น หากวัตถุดิบที่ใช้เป็นประเภทแป้งหรือเซลลูโลส เช่น มันสำปะหลังและธัญพืช จะต้องนำไปผ่านกระบวนการย่อยแป้งหรือเซลลูโลสให้เป็นน้ำตาลก่อนด้วยการใช้กรดหรือเอนไซม์ ส่วนวัตถุดิบประเภทน้ำตาล เช่น กากน้ำตาลหรือน้ำอ้อย เมื่อปรับความเข้มข้นให้เหมาะสมแล้วสามารถนำไปหมักได้ ในกระบวนการหมักจะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์

ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ยีสต์ การเลือกใช้ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมกับวัตถุดิบที่นำมาหมัก จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหมัก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักคือ เอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณ 8-12%v/v น้ำหมักที่ได้จากการหมัก จะนำมาแยกเอทานอลออกโดยใช้กระบวนการกลั่น

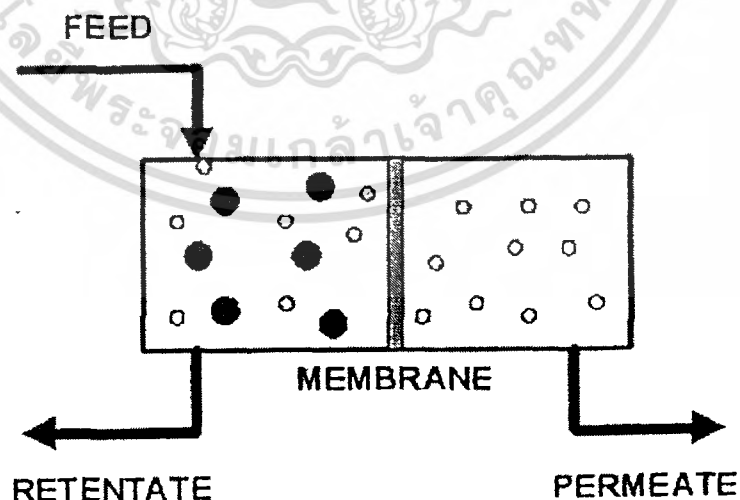
ลำดับส่วน ซึ่งสามารถแยกเอทานอลให้ได้ความบริสุทธิ์ประมาณ 96%v/v จากนั้นจึงเข้าสู่กรรมวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแยกน้ำโดยการดูดซับ (Adsorption separation) เอทานอลที่ความบริสุทธิ์ 96%v/v จะผ่านเข้าไปในหอดูดซับที่บรรจุตัวดูดซับประเภทซีโอไลต์ โมเลกุลของเอทานอลจะไหลผ่านช่องว่างของซีโอไลต์ออกไปได้ แต่โมเลกุลของน้ำจะถูกดูดซับไว้ทำให้เอทานอลที่ไหลออกไปมีความบริสุทธิ์ 99.5%v/v ส่วนซีโอไลต์ที่ดูดซับน้ำไว้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยการไล่น้ำออก เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 99.5%v/v สามารถนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อใช้ในเครื่องยนต์เบนซินได้

2.2 การแยกสารด้วยเยื่อเลือกผ่าน [6]

เยื่อเลือกผ่านเป็นตัวกลางขวางกั้น ระหว่างเฟสของไหล 2 เฟส ที่มีสมบัติยอมให้สารบางชนิดผ่านได้ โดยการถ่ายโอนมวลทั้งหมดเกิดขึ้นที่ด้านความหนาของเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งมีขนาดมิติ (Dimension) น้อยกว่าด้านกว้าง-ยาวมากๆ เทคโนโลยีการแยกสารด้วยเยื่อเลือกผ่านมีหลักการดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยมีสารป้อน (Feed) เข้าทางด้านหนึ่งของเยื่อเลือกผ่าน ส่วนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้ เรียกว่า เพอร์มิเอต (Permeate) และส่วนของสารป้อนที่ไม่สามารถผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้ เรียกว่า รีเทนเตต (Retentate) แรงขับ (Driving Force) ที่ทำให้เกิดการถ่ายโอนมวล ได้แก่ ความดัน ความเข้มข้น แรงเคลื่อนที่ไฟฟ้า เป็นต้น โดยวัสดุทั่วไปที่นำมาทำเป็นเยื่อเลือกผ่านอาจเป็นพอลิเมอร์ เซรามิกส์ คาร์บอน ซีโอไลต์ ออกไซด์ต่างๆ (เช่น อะลูมินา ไทเทเนีย หรือเซอร์โคเนีย เป็นต้น) โลหะ (เช่น แพลลาเดียม หรือ เงิน เป็นต้น) หรือของเหลว



รูปที่ 2.1 หลักการของเทคโนโลยีการแยกตัวด้วยเยื่อเลือกผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เยื่อเลือกผ่านที่ดีควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

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

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน ได้แก่ การผลิตน้ำดื่มทั้งจากน้ำจืดผิวดินและน้ำเค็ม การแยกแก๊สเพื่อผลิตใช้ในอุตสาหกรรมหรือแยกแก๊สออกซิเจนออกจากอากาศเพื่อใช้ในกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ การแยกอนุภาคของแข็งขนาดเล็กจากสารแขวนลอย การบำบัดแก๊สทั้งในอุตสาหกรรม การแยกน้ำออกจากเอทานอล และการทำไดอะลิซิส (Dialysis) ในผู้ป่วยโรคไต เป็นต้น

2.2.1 ประเภทของกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน

ลักษณะของกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่านแต่ละประเภท แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประเภทของกระบวนการแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน

กระบวนการ	สารป้อน	เพอร์มิเอต	แรงขับ
ไมโครฟิวเตรชัน	ของเหลว	ของเหลว	ความดัน
อัลตราฟิวเตรชัน	ของเหลว	ของเหลว	ความดัน
นาโนฟิวเตรชัน	ของเหลว	ของเหลว	ความดัน
ออสโมซิสผันกลับ	ของเหลว	ของเหลว	ความดัน
เพอร์เวปพอเรชัน	ของเหลว	ไอ	ความดันย่อย
เยื่อเลือกผ่าน	ของเหลว หรือ	ของเหลว หรือ	แรงเคลื่อนไฟฟ้า
แลกเปลี่ยนไอออน	$[H^+(H_2O)_n]$	$[H^+(H_2O)_n]$	
แยกแก๊สด้วยเยื่อเลือกผ่าน	ไอ	ไอ	ความดันย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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) อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่ารูที่ใหญ่ที่สุดจะถูกกันออกไปทั้งหมด อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูที่ใหญ่ที่สุดแต่ใหญ่กว่ารูที่เล็กที่สุดจะสามารถผ่านออกไปได้เพียงบางส่วนตามการกระจายขนาดรูเยื่อเลือกผ่าน (Pore size distribution) ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูที่เล็กที่สุดจะสามารถผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้ ดังนั้นหลักการแยกสารโดยใช้เยื่อเลือกผ่านมีรูพรุนจึงเป็นการคัดขนาดโมเลกุลสารหรืออนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกัน

เยื่อเลือกผ่านที่ใช้ในกระบวนการเพอร์เวปพอเรชัน และกระบวนการแยกแก๊สด้วยเยื่อเลือกผ่าน มีขนาดรูพรุนน้อยกว่า 0.5 นาโนเมตร ที่เรียกว่าเยื่อเลือกผ่านเนื้อแน่น (Dense Membrane) เนื่องจากไม่สามารถเห็นรูพรุนบนเยื่อเลือกผ่านได้ด้วยเทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (Scanning Electron Microscope) การแยกที่เกิดขึ้นจะเป็นอีกกลไกหนึ่ง ที่เรียกว่า “กลไกการละลาย-การแพร่ (Solution-diffusion)” โมเลกุลสารที่มีขนาดเท่ากันสามารถแยกออกจากกันได้เนื่องจากมีสภาพละลายได้ (Solubility) ในเนื้อเยื่อเลือกผ่านและสภาพการแพร่ (Diffusibility) ภายใต้แรงขับเคลื่อนของความดัน ความเข้มข้น หรือความแตกต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้า เยื่อเลือกผ่านที่ใช้กระบวนการออสโมซิสผันกลับมี 2 ลักษณะคือ เยื่อเลือกผ่านมีรูพรุนขนาด 0.5-2 นาโนเมตร กับเยื่อเลือกผ่านเนื้อแน่น ขึ้นกับการประยุกต์ใช้งาน

ตารางที่ 2.2 การแยกด้วยเยื่อเลือกผ่าน

กระบวนการ	ขนาดรูพรุน (นาโนเมตร)	กลไกการแยก
ไมโครฟิลเตรชัน	50-2,000	การคัดขนาด
อุลตราฟิลเตรชัน	3-100	การคัดขนาด
นาโนฟิลเตรชัน	1-5	การคัดขนาด
เพอร์เวปพอเรชัน	<0.5	การละลาย-การแพร่
แยกแก๊สด้วยเยื่อเลือกผ่าน	<0.5	การละลาย-การแพร่
ออสโมซิสผันกลับ	0.5-2	การคัดขนาด
	<0.5	การละลาย-การแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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



รูปที่ 2.2 โครงสร้างภาคตัดขวางของเยื่อเลือกผ่าน [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ลักษณะทางโครงสร้างของพอลิเมอร์ ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) ความโค้งงอของสายโซ่ (Chain flexibility) อันตรกิริยาของสายโซ่ (Chain interactions) องค์ประกอบโมเลกุล (Molecular composition) มีผลต่อสมบัติของเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ในด้านเสถียรภาพทางเคมี และเสถียรภาพทางด้านความร้อน (Chemical and Thermal stability) ความแข็งแรงของเยื่อเลือกผ่าน (Membrane strength) ค่าการซึมผ่านได้/เปอร์เซ็นต์การคัดสรรของเยื่อเลือกผ่าน (Membrane permeability/selectivity) และค่าการนำไฟฟ้าของเยื่อเลือกผ่าน (Membrane conductivity) ดังนั้นจึงมีความสำคัญต้องเลือกชนิดของพอลิเมอร์ให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน

สมบัติของพอลิเมอร์ที่ต้องคำนึงถึงสำหรับเยื่อเลือกผ่าน ได้แก่

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

ประสิทธิภาพในการแยกของเยื่อเลือกผ่านขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังนี้

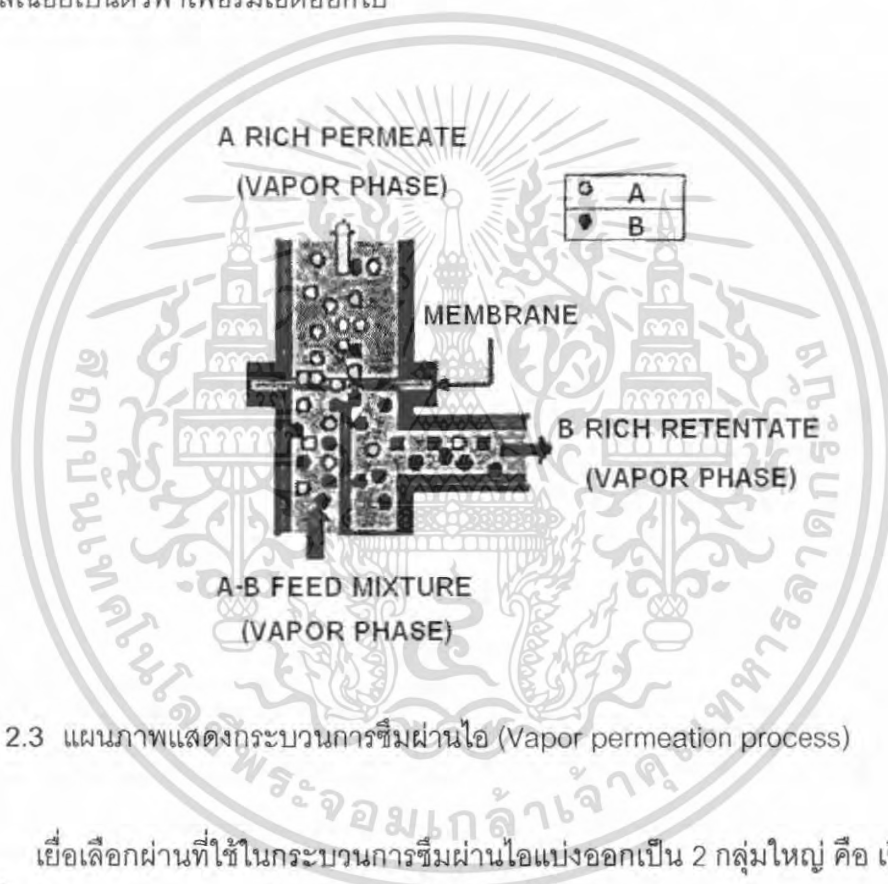
- 1) ระยะระหว่างสายโซ่ (Interaction distance) หรือปริมาตรอิสระของพอลิเมอร์ (Polymer free volume) ซึ่งมีผลต่อค่าการซึมผ่านได้ของแก๊ส (Gas permeability)
- 2) อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดว่า พอลิเมอร์มีลักษณะทางกายภาพแข็งคล้ายแก้ว (Glassy state) หรือมีลักษณะอ่อนนิ่มยืดหยุ่นคล้ายยาง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

2. **เยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์** โดยทั่วไปเยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์มีราคาแพงกว่าเยื่อเลือกผ่านอินทรีย์ แต่เยื่อเลือกผ่านอนินทรีย์มีข้อดีกว่าในเรื่องการมีเสถียรภาพต่อความร้อน ตัวทำละลาย การมีโครงสร้างรูพรุนที่คงที่แน่นอน และสามารถผ่านเข้ากระบวนการฆ่าเชื้อโรค การประยุกต์ใช้เยื่อเลือกผ่าน อนินทรีย์แบบเนื้อแน่นที่สำคัญ 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) ซึ่งจะผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้หนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งองค์ประกอบ ไอของของผสมจะป้อนเข้าทางด้านป้อนของเยื่อเลือกผ่าน และส่วนที่ผ่านออกทางด้านขาออกของเยื่อเลือกผ่านในรูปของไอเรียกว่า เพอร์มิเอต (Permeate) โดยมีการควบคุมความดันไอ (Vapor pressure) ด้านเพอร์มิเอตให้ต่ำโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) หรือใช้แก๊สเฉื่อยเป็นตัวพาเพอร์มิเอตออกไป



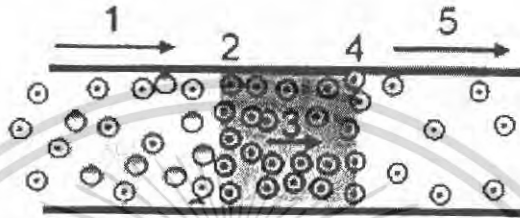
รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงกระบวนการซึมผ่านไอ (Vapor permeation process)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 กลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน

กลไกการถ่ายโอนมวลของสารในระบบการซึมผ่านไอ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ การแพร่ของโมเลกุลสู่ผิวเยื่อเลือกผ่าน การดูดซับที่ผิวเยื่อเลือกผ่าน การแพร่ของโมเลกุลภายในเยื่อเลือกผ่าน การคายซับ การแพร่ของโมเลกุลจากผิวเยื่อเลือกผ่าน (รูปที่ 2.4)



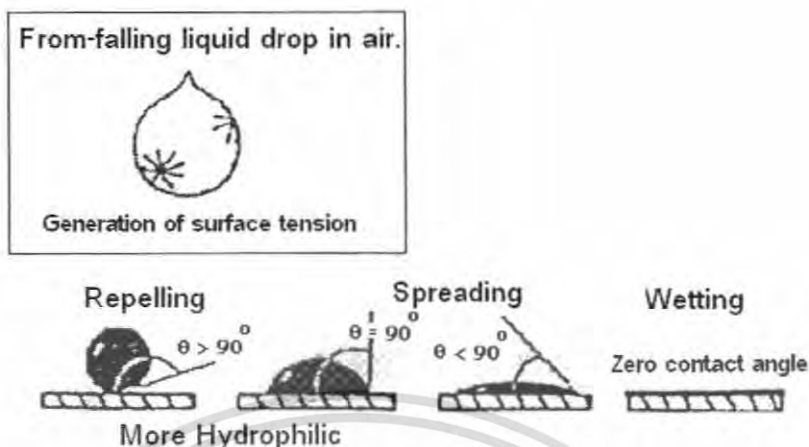
รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงกลไกการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อเลือกผ่าน

1) การแพร่ของโมเลกุลเข้าสู่ผิวเยื่อเลือกผ่าน

ในระบบการซึมผ่านไอ โมเลกุลแต่ละองค์ประกอบจะแพร่เข้าสู่บริเวณผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่าน โดยอัตราการแพร่จะขึ้นอยู่กับพลังงานจลน์ของโมเลกุล ชั้นนี้โมเลกุลยังไม่เกิดการแยก

2) การดูดซับที่ผิวหน้าเยื่อเลือกผ่าน

การดูดซับที่ผิวหน้าเยื่อเลือกผ่านเกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างสารที่ต้องการแยกกับเยื่อเลือกผ่าน อันตรกิริยาดังกล่าวขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น โมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) ระหว่างโมเลกุลของสารป้อนกับผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่าน ความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจน (H-bond) ความชอบน้ำและความไม่ชอบน้ำ (Hydrophilicity and Hydrophobicity) โดยเมื่อเยื่อเลือกผ่านสัมผัสกับสาร เยื่อเลือกผ่านที่มีอันตรกิริยาที่ดีกับสารนั้น จะก่อให้เกิดการควบแน่นไอที่ผิวเยื่อเลือกผ่านและมุมสัมผัส (Contact angle) ที่เกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่านกับเส้นสัมผัสของเหลว มีค่าอยู่ระหว่าง 0-90 องศา โดยค่ามุมสัมผัสที่ต่ำกว่าแสดงว่าสามารถทำให้เยื่อเลือกผ่านดูดซับได้มากขึ้น เยื่อเลือกผ่านที่ไม่ชอบสารนั้นจะทำให้ค่ามุมสัมผัสมากกว่า 90 องศา ดังตัวอย่างการเปียกของผิววัสดุกับค่ามุมสัมผัส แสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 มุมสัมผัสกับการเปียกของผิววัสดุ [8]

3) การแพร่ของโมเลกุลภายในเยื่อเลือกผ่าน

เมื่อโมเลกุลของสารถูกดูดซับที่ผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่านแล้ว จะเกิดการแพร่ของโมเลกุลผ่านเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งการแพร่ของโมเลกุลขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างโมเลกุลของสารที่แพร่ โดยสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ หรือมีรูปร่างที่เล็กกว่าจะเกิดการแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านได้ดีกว่า การเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของสารกับเยื่อเลือกผ่าน จะทำให้เยื่อเลือกผ่านเกิดการบวมตัว มีผลทำให้อัตราการแพร่ของสารในเยื่อเลือกผ่านสูงขึ้น

4) การคายซับจากผิวเยื่อเลือกผ่าน

เมื่อโมเลกุลของสารเคลื่อนที่มาถึงผิวอีกด้านหนึ่งของเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งสารอาจอยู่ในสถานะของแก๊สหรือของเหลวจะเกิดการเคลื่อนที่ออกจากเยื่อเลือกผ่านด้วยการพาของแก๊สหรือการใช้ปั๊มสุญญากาศ ทำให้เกิดการคายซับของสารที่ผิวเยื่อเลือกผ่าน

5) การแพร่ของโมเลกุลจากผิวเยื่อเลือกผ่าน

โมเลกุลของสารจะแพร่ออกจากบริเวณผิวของเยื่อเลือกผ่าน โดยการพาของแก๊สพาหรือการใช้ปั๊มสุญญากาศ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลออกจากเยื่อเลือกผ่าน

2.3.2 ประสิทธิภาพในการแยก

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

1) ฟลักซ์ (Flux)

ฟลักซ์เป็นค่าที่บอกถึงอัตราการไหลของสารผ่านเยื่อเลือกผ่าน ถ้าค่าฟลักซ์มีค่าสูงแสดงว่ามีสารผ่านเยื่อเลือกผ่านจำนวนมาก ฟลักซ์หาได้จากน้ำหนักของสารที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านต่อเวลาต่อพื้นที่หน้าตัดของเยื่อเลือกผ่าน

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

2) ค่าความสามารถในการแยก (Separation factor)

ค่าความสามารถในการแยกเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่าน ว่าเยื่อเลือกผ่านมีความเฉพาะเจาะจงในการให้สารใดสารหนึ่งผ่านเยื่อเลือกผ่านได้มากน้อยเพียงใด โดยหาได้จากสมการ

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

Y_A = เศษส่วนโมลของสาร A ที่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน

Y_B = เศษส่วนโมลของสาร B ที่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน

X_A = เศษส่วนโมลของสาร A ที่อยู่ในสารป้อน

X_B = เศษส่วนโมลของสาร B ที่อยู่ในสารป้อน

2.3.3 ตัวแปรที่มีผลต่อการกระทำของกระบวนการซึมผ่านไฮโดร [9]

1) สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

การดูดซับของตัวทำละลายจะเกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสของเยื่อเลือกผ่าน ปริมาณการดูดซับของตัวทำละลายแต่ละชนิดจะถูกกำหนดโดยสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์กับตัวทำละลาย โดยองค์ประกอบที่มีแรงกระทำมากจะทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ขมวดได้มาก ถ้าแรงกระทำนี้สูงกว่าแรงดึงดูดระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ พอลิเมอร์จะละลายในตัวทำละลายนั้น ในกระบวนการเยื่อเลือกผ่าน พอลิเมอร์จะต้องคงรูปเป็นของแข็ง วัสดุที่ใช้ต้องมีสมบัติที่เหมาะสม เช่น พอลิเมอร์ที่มีโครง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่างแห การบวมตัวจะมากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัยหลัก 2 อย่าง คือ องค์ประกอบเป็นตัวทำละลายที่ดีของพอลิเมอร์หรือไม่ และความยืดหยุ่นของสายโซ่พอลิเมอร์ ซึ่งจะมีแรงต้านต่อการบวมตัว

การแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านด้วยอัตราที่แตกต่างกันของแต่ละองค์ประกอบ ทำให้เกิดความสามารถในการแยก ซึ่งเป็นผลจากความแตกต่างของการดูดซับหรือการแพร่ หรืออาจเกิดจากทั้งสองปรากฏการณ์ ขึ้นกับสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของระบบ ระบบที่มีตัวทำละลายมีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกัน การดูดซับที่ต่างกันจะทำให้เกิดความสามารถในการแยกที่แตกต่างกัน ส่วนการแพร่จะทำให้เกิดความสามารถในการแยกที่แตกต่างกันเมื่อขนาดและรูปร่างของโมเลกุลต่างกันมาก ๆ

2) ความหนาของเยื่อเลือกผ่าน

พลังค์ของสารเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของเยื่อเลือกผ่าน เยื่อเลือกผ่านที่บางจะให้ค่าพลังค์ที่สูง ในระบบสารผสมการเพิ่มขึ้นของค่าพลังค์ของทุกองค์ประกอบจะมีผลให้ค่าความสามารถในการแยกลดลง แรงกระทำระหว่างตัวทำละลายจะเป็นตัวกำหนดความหนาต่ำสุดที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติ เพื่อจะรักษาความสามารถในการแยก เยื่อเลือกผ่านที่บางมากๆ จะทำให้ความต้านทานการแพร่ของเยื่อเลือกผ่านลดลง ตัวทำละลายจะแพร่ออกมาได้มาก พลังค์ที่สูงจะทำให้รักษาความดันออสโมติกให้ต่ำได้ยาก

3) ความเข้มข้นของสารป้อน

ความเข้มข้นของสารป้อน หมายถึง ความเข้มข้นของสารที่ซึมผ่านได้มากกว่า ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการดูดซับที่ผิวสัมผัสเยื่อเลือกผ่านของสารป้อน แอกติวิตี (Activity) ของสารจะเปลี่ยนแปลงมากหรือน้อยตามการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสาร ซึ่งขึ้นกับธรรมชาติของสารผสม

4) อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่อทุกขั้นตอนของการถ่ายเทมวลในกระบวนการซึมผ่านไอ โดยอุณหภูมิจะมีผลต่อค่าพลังค์ของการแพร่ผ่าน สัมประสิทธิ์การแพร่ และสัมประสิทธิ์การกระจาย พลังค์รวมและพลังค์ของแต่ละองค์ประกอบจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าความสามารถในการแยก (Separation factor) ขึ้นกับพลังงานกระตุ้นของการแพร่ผ่านของสาร สารที่แพร่ผ่านได้เร็วจะมีพลังงานกระตุ้นของการแพร่ผ่านสูงกว่า ทำให้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลทำให้ค่าความสามารถในการแยกลดลง

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้พลังค์เพิ่มขึ้น และมักทำให้ค่าความสามารถในการแยกลดลง อุณหภูมิมีผลต่อกระบวนการซึมผ่านไอเป็นอย่างมากเพราะมีการกลายเป็นไอของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพอร์มิเอต ความร้อนที่ใช้ในการกลายเป็นไอมาจากการป้อน ถ้าให้ความร้อนแก่ระบบไม่เพียงพอ อุณหภูมิของของเหลวจะลดลงอย่างรวดเร็ว ถ้าฟลักซ์มีค่ามาก อุณหภูมิก็จะลดลงมาก

5) ความดันเพอร์มิเอต

ความดันเพอร์มิเอต คือความดันรวมของไอที่สัมผัสเยื่อเลือกผ่าน เป็นผลลัพธ์จากไอของสารที่แพร่ผ่านและไอที่ถูกระเหยไปยังปั๊มสุญญากาศ การเพิ่มความดันด้านเพอร์มิเอตจะลดแรงขับของการถ่ายเทมวล ทำให้ฟลักซ์ของสารลดลง การใช้ปั๊มสุญญากาศที่มีกำลังมาก ความดันเพอร์มิเอตจะมีค่าน้อย เยื่อเลือกผ่านด้านเพอร์มิเอตจะไม่มีการบวมตัว ค่าความสามารถในการแยกสูงแต่ค่าใช้จ่ายก็สูงด้วย ในบางระบบอาจเกิดการอิมตัวของไอขององค์ประกอบหนึ่งในเพอร์มิเอต องค์ประกอบนี้จะเกิดการถ่ายเทได้น้อย องค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งมีแรงขับจะมีฟลักซ์สูงขึ้น ค่าความสามารถในการแยกจะลดลงอย่างรวดเร็ว พฤติกรรมนี้จะเกิดกับเยื่อเลือกผ่านที่ยอมให้สารระเหยง่ายผ่านได้มาก

2.4 ไคตินและไคโตซาน [10]

ไคติน (Chitin) เป็นพอลิเมอร์ที่ธรรมชาติสร้างจากองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตมากมายในหลายรูปแบบ ไคตินได้รับการค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1811 โดย Odier คำว่า ไคติน (Chitin) มาจากคำว่า Chiton ในภาษากรีก ซึ่งมีความหมายว่าเกราะหุ้ม ไคติน (รูปที่ 2.6) เป็นพอลิเมอร์ที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส (Cellulose) (รูปที่ 2.7) พอลิเมอร์ทั้งสองนี้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างป้องกันและสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ยังอาจพบในผนังเซลล์ของเห็ดและสาหร่ายบางพันธุ์ เนื่องจากไคตินเป็นสารธรรมชาติจึงพบอยู่ในรูปของสารประกอบที่ปนอยู่กับสารอื่น เช่น เปลือกหุ้มแข็งของแมลงจะประกอบด้วยไคตินในรูปของไคตินโปรตีน (Chitin-protein complex) ขณะที่เปลือกนอกของพวกกุ้ง ปู จะพบหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนต

ไคโตซาน (รูปที่ 2.8) เป็นอนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากปฏิกิริยาการจำกัดหมู่อะซิทิล (Deacetylation) ของไคติน ไคโตซานถูกพบครั้งแรกโดยบังเอิญในปี ค.ศ. 1859 โดย Rouget ได้ต้มไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น

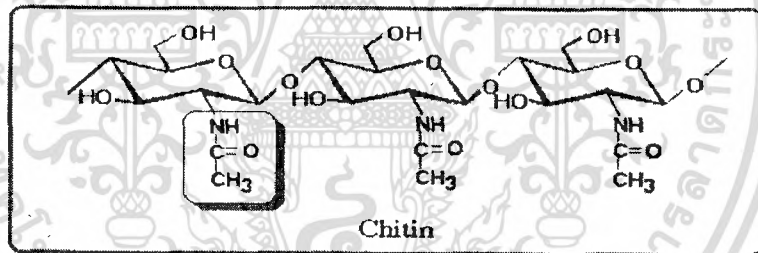
2.4.1 โครงสร้างเคมีของไคตินและไคโตซาน

ไคติน (Chitin) มีชื่อทางเคมีคือ Poly(β -1,4-N-acetyl-D-glucosamine) หรือ Poly(β -1,4-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose) จัดเป็นพอลิเมอร์อินทรีย์โมเลกุลใหญ่ยาว (Linear macro-molecule biopolymer) ที่มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส (Cellulose) เป็นโครงสร้างของ

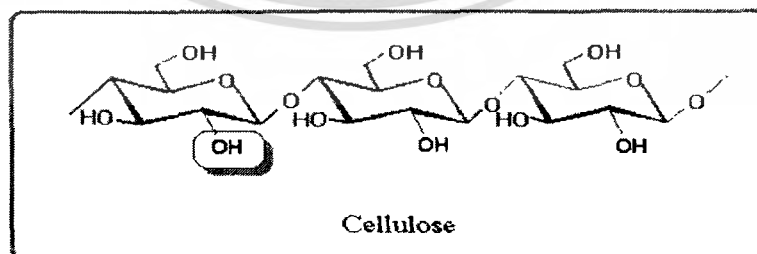
เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่าย หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไคตินต่างจากเซลลูโลสที่คาร์บอน (Carbon) ตำแหน่งที่ 2 เป็น NH-CO-CH₃ (Acetamido group) แทนที่จะเป็นหมู่ -OH (Hydroxyl group) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.6 และ 2.7 ไคตินไม่สามารถละลายในตัวทำละลายมีขั้วและไม่มีขั้ว โดยทั่วไปมักพบไคตินในผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เห็ด รา รวมทั้งเปลือกของแมลงและสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังประเภทมีข้อปล้อง อาทิ กุ้ง ปู และแกนปลาหมึก

ไคโตซาน (Chitosan) เป็นอนุพันธ์ของไคติน ได้จากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิทธิลของไคติน หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยา Deacetylation โดยแซ่ไคตินในสารละลายต่างเข้มข้น ซึ่งจะทำให้โครงสร้างทางเคมีเปลี่ยนไป โดยหมู่อะซิทธิล (-NHCOCH₃) เปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโน (-NH₂) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ดังนั้นไคโตซานจึงมีชื่อทางเคมีว่า Poly(β -1,4-2-amino-2-deoxy-D-glucose) เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์เกือบทั้งหมดและในน้ำที่มีค่า pH เป็นกลางหรือด่าง แต่สามารถละลายในกรดอ่อน เช่น กรดอะซิติก โครงสร้างของไคโตซานแสดงไว้ในรูปที่ 2.8

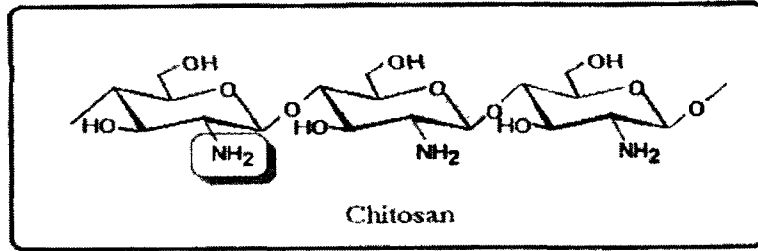


รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของไคติน [11]



รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน [11]

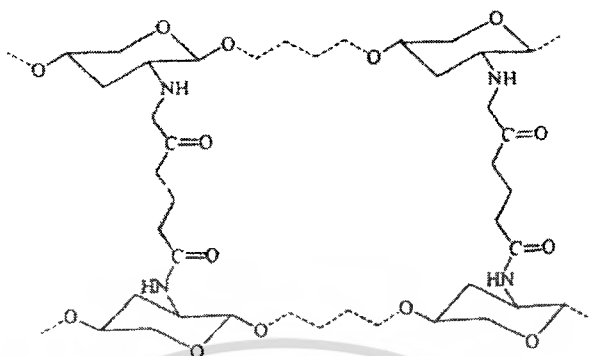
2.4.2 สมบัติทางเคมีของไคตินและไคโตซาน

1) สมบัติทางเคมี

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

ไคตินในธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 1×10^6 กรัมต่อโมล ส่วนไคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 1×10^5 ถึง 1×10^6 กรัมต่อโมล เมื่อไคตินและไคโตซานเกิดการสลายของสายโซ่โมเลกุลโดยกรดหรือด่าง ทำให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็นโอลิโกเมอร์หรือโอลิโกแซคคาไรด์ โดยไคตินสามารถต้านทานต่อการเสื่อมสลายโดยกรดได้ดีกว่าไคโตซาน การใช้งานไคโตซานสามารถปรับปรุงได้โดยใช้สารเชื่อมโยง (Crosslinking agents) ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนโครงสร้างของไคโตซานสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ (รูปที่ 2.9) ที่มีความทนทานต่อกรด ต่าง และสารเคมีอื่นได้ดี สารเชื่อมโยงที่สามารถใช้ได้กับไคโตซาน ได้แก่ กลูตารัลดีไฮด์ (Glutaraldehyde, GA) กลูตาริกไดอัลดีไฮด์ (Glutaric dialdehyde, GDI) อีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) ไดเอทิลสควอเรต (Diethyl squarate, DES) เอทิลีนไกลคอลไกลิไซด์อีเทอร์ (Ethylene glycol glycidyl ether, EGGE) เป็นต้น

107860



รูปที่ 2.9 โครงสร้างไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยกลูตาโรลดีไฮด์ [12]

2) สมบัติทางกายภาพ

ไคติน-ไคโตซานมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน ไคตินไม่ละลายในน้ำ กรดเจือจาง ต่างทั้งเจือจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ แต่สามารถละลายในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น กรดซัลฟูริก กรดฟอสฟอริก กรดฟอร์มิก ความยากในการละลายเป็นผลมาจากสายโซ่โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่น พันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล เนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันต่างกัน ไคโตซานไม่ละลายน้ำ ต่างและตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic solvent) แต่สามารถละลายในกรดอินทรีย์ทุกชนิด เช่น กรดอะซิติก แต่กรดฟอร์มิกเป็นกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริกเข้มข้น กรดไฮโดรคลอริก กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้เช่นเดียวกันภายใต้การคน โดยการทำให้ละลายที่อุณหภูมิปานกลาง อย่างไรก็ตามในบางครั้งอาจมีตะกอนขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น สารละลายไคโตซานมีความเหนียวใส มีพฤติกรรมแบบนอนนิวโตเนียน (Non-newtonian) ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น องศาดีอะซิทิเลชัน (DD) น้ำหนักโมเลกุล ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และความแรงของพันธะไอออนิก (Ionic strength) โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้และการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลายพอลิเมอร์มีผลต่อความหนืด เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมี pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น

2.4.3 ประโยชน์ของไคตินและไคโตซาน

ปัจจุบันได้มีการค้นคว้าและวิจัย นำไคตินและไคโตซานไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย สามารถสรุปได้ดังนี้

1) วัสดุทางการแพทย์

เนื่องจากไคตินและไคโตซานเป็นสารธรรมชาติ ดังนั้นร่างกายมนุษย์มักจะไม่ทำการต่อต้าน นอกจากนี้ไคตินและไคโตซานยังสามารถป้องกันการติดเชื้อ ซึ่งจากข้อดีต่างๆ นี้เอง จึงสามารถนำไคตินและไคโตซานมาใช้งานในส่วนของวัสดุทางการแพทย์ได้อย่างมากมาย เช่น วัสดุตกแต่งแผล ตัวควบคุมการปลดปล่อยยา ผิวหนังเทียม เป็นต้น

2) อาหารและเครื่องดื่ม

ไคตินและไคโตซานเป็นอาหารเสริม (Nutritional additives) ที่ไม่ให้พลังงานและไม่มีการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นจึงมีการนำไปใช้ในอาหารสำหรับการควบคุมน้ำหนัก (Diet food) อีกทั้งไคตินและไคโตซานยังมีสมบัติเป็นตัวกั้น (Barrier) จึงมีการนำมาใช้ในด้านบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร ตัวอย่างการนำไคตินและไคโตซานไปใช้ในด้านนี้ คือ สารเติมแต่งในอาหาร อาหารเสริม ควบคุมน้ำหนัก การถนอมรักษาอาหาร บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เป็นต้น

3) การเกษตร

มีการนำไคตินและไคโตซานมาใช้ในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรทั้งพืชและสัตว์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นสารธรรมชาติที่ช่วยลดความเสี่ยงของเกษตรกรและผู้บริโภคต่อการได้รับสารพิษจากปุ๋ยและยาปราบศัตรูพืช นอกจากนี้ยังมีจุดเด่นที่ช่วยเพิ่มผลผลิต ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาพืชผลทางการเกษตร รวมถึงสามารถย่อยสลายทางชีวภาพ และปลอดภัยต่อสภาพแวดล้อม การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตซานทางการเกษตร สามารถนำไปใช้ได้เกือบทุกขั้นตอน

4) เครื่องสำอาง

มีการใช้ไคตินและไคโตซานเป็นสารทำให้ข้น (Thickening agent) และสารเติมแต่ง (Additive) ในผลิตภัณฑ์ประเภทดูแลเส้นผม ผิวพรรณ และช่องปาก

5) การบำบัดน้ำเสีย

ในการบำบัดน้ำเสียอาศัยสมบัติความเป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) และความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนักของไคโตซาน เพื่อใช้ในกระบวนการคืนสภาพ (Recovery) ของโลหะ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียในสระว่ายน้ำ และในโรงงานอุตสาหกรรม

6) ด้านเส้นใยและสิ่งทอ

ใช้ผลิตเป็นเส้นใยและเส้นด้าย ใช้เป็นสารตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ นอกจากนี้ยังได้พัฒนาสารตกแต่งเพื่อป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความว่องไวและสามารถสร้างพันธะที่แข็งแรงกับเส้นใย ใช้เป็นสารช่วยในกระบวนการสิ่งทอ ใช้เป็นสารเติมแต่งในกระบวนการผลิตกระดาษ

7) ด้านเภสัชกรรม

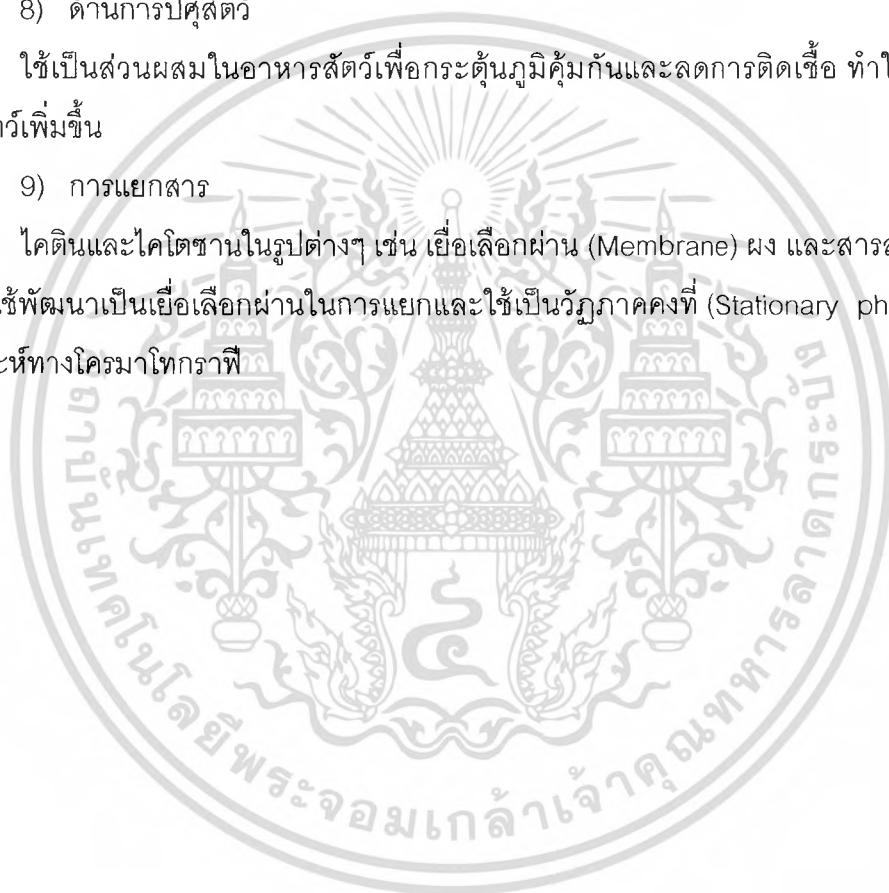
ใช้โคโตซานเพื่อควบคุมการปลดปล่อยตัวยาสำคัญ

8) ด้านการปศุสัตว์

ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกันและลดการติดเชื้อ ทำให้น้ำหนักตัวของสัตว์เพิ่มขึ้น

9) การแยกสาร

โคตินและโคโตซานในรูปต่างๆ เช่น เยื่อเลือกผ่าน (Membrane) ผง และสารละลาย ได้ถูกนำไปใช้พัฒนาเป็นเยื่อเลือกผ่านในการแยกและใช้เป็นวัฏภาคคงที่ (Stationary phase) ในงานวิเคราะห์ทางโครมาโทกราฟี



2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันได้มีนักวิจัยทำการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับการใช้เยื่อเลือกผ่าน และ โมดูลเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้เป็นจำนวนมาก โดยสามารถยกตัวอย่างได้ดังนี้

พงษ์ศักดิ์ ศิริศรัย และคณะ [1] ทำการศึกษาการแยกน้ำออกจากเอทานอลด้วยกระบวนการซึมผ่านไอ โดยใช้เยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์ซีเดียมเอที่เตรียมจากเทคนิคการหล่อแบบ พบว่าเมื่ออัตราการผลิตของแก๊สพาสสูงขึ้น ค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกมีค่าสูงขึ้น เมื่อปริมาณซีโอไลต์ซีเดียมเอที่ใส่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าฟลักซ์ของน้ำและเอทานอลสูงขึ้น แต่ค่าความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านลดลง และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้ซีโอไลต์ซีเดียมเอกับซิลิกาไลต์ พบว่าค่าฟลักซ์ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมซีโอไลต์ซีเดียมเอมีค่าสูงกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าซีโอไลต์ซีเดียมเอที่มีขนาดเล็กทำให้ค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกสูงกว่า

วรภัทร วิริยาวุฒิ และคณะ [2] ทำการศึกษาการแยกน้ำออกจากเอทานอลด้วยกระบวนการซึมผ่านไอ โดยใช้เยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์ซีเดียมเอที่เตรียมจากเทคนิคการหล่อแบบ โดยศึกษาการเตรียมเยื่อเลือกผ่านในสองกรณี คือ เยื่อเลือกผ่านที่ผ่านการอบและไม่ผ่านการอบ พบว่าเยื่อเลือกผ่านที่ผ่านการอบและมีการผสมซีโอไลต์ให้ค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกสูงกว่ากรณีที่ไม่มีการผสมซีโอไลต์ ส่วนเยื่อเลือกผ่านที่มีการผสมซีโอไลต์และไม่ผ่านการอบทำให้ค่าฟลักซ์ของน้ำและเอทานอลสูงขึ้น แต่ค่าความสามารถในการแยกของเยื่อเลือกผ่านลดลง การใช้ซีโอไลต์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กลงทำให้ค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยกสูงขึ้น

ศศิธร อินทรชิต และคณะ [3] ทำการศึกษาการเตรียมเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์ซีเดียมเอ โดยใช้กอลลูตารอลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นต่างกันในการเชื่อมโยง แล้วทดสอบประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากเอทานอลด้วยกระบวนการซึมผ่านไอ พบว่าเมื่อทำการเชื่อมโยงด้วยกอลลูตารอลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการบวมตัวของเยื่อเลือกผ่านลดลง ค่าฟลักซ์ลดลง แต่ค่าความสามารถในการแยกเพิ่มขึ้น และเมื่อผสมซีโอไลต์ซีเดียมเอในเยื่อเลือกผ่าน พบว่าค่าฟลักซ์สูงกว่าเยื่อเลือกผ่านที่ไม่มีการผสมซีโอไลต์ แต่ค่าความสามารถในการแยกลดลง และเมื่อความหนาของเยื่อเลือกผ่านไคโตซานเพิ่มขึ้น ค่าฟลักซ์ลดลง แต่ค่าความสามารถในการแยกเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Y.J. Fu และคณะ [13] ทำการศึกษาการแยกของผสมระหว่างน้ำและเอทานอลด้วยเทคนิคเพอร์เวปพอร์ชัน โดยใช้เยื่อเลือกผ่านพอลิซัลโฟนที่มีการเติมซีโอไลต์ โดยใช้ 3-aminopropyl-trimethoxysilane (APTMS) เป็นคัปปลิงเอเจนต์ (Coupling agent) ซึ่งพบว่า APTMS สามารถช่วยเพิ่มผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคซีโอไลต์และสายโซ่พอลิซัลโฟน และลดการเกิดช่องว่างขนาดเล็กในรอยต่อระหว่างพอลิเมอร์และซีโอไลต์ นอกจากนี้ในงานวิจัยยังทำการศึกษาผลของชนิดซีโอไลต์ ปริมาณซีโอไลต์ที่ใส่องค์ประกอบของสารป้อน และความเข้มข้นของคัปปลิงเอเจนต์ที่ใช้ ซึ่งจากการทดลองพบว่าชนิดของซีโอไลต์มีผลต่อประสิทธิภาพในการแยกของเยื่อเลือกผ่าน และเมื่อใช้คัปปลิงเอเจนต์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นทำให้เยื่อเลือกผ่านมีประสิทธิภาพดีขึ้น และยังพบว่าเยื่อเลือกผ่านพอลิซัลโฟนที่ผสมซีโอไลต์ 13X ที่ใช้ APTMS มีประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากเอทานอลได้ดีกว่าเยื่อเลือกผ่านพอลิซัลโฟน

R.Y.M. Huang และคณะ [14] ทำการศึกษาการเตรียมเยื่อเลือกผ่านอัลจินเนต (Alginate) เพื่อใช้แยกน้ำออกจากเอทานอล และแยกน้ำออกจากไอโซโพรพานอลด้วยเทคนิคเพอร์เวปพอร์ชัน ซึ่งแม้ว่าเยื่อเลือกผ่านไซโตเดียมอัลจินเนตจะละลายน้ำและไม่แข็งแรงทางเชิงกล แต่กลับมีประสิทธิภาพในการแยกน้ำได้เป็นอย่างดี โดยทำการเชื่อมโยงเยื่อเลือกผ่านไซโตเดียมอัลจินเนตด้วยไอออนไดวาเลนต์และไตรวาเลนต์หลายชนิดเพื่อควบคุมความสามารถในการละลายน้ำของเยื่อเลือกผ่านดังกล่าว ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเยื่อเลือกผ่านที่ทำการเชื่อมโยงด้วย Ca^{2+} มีความสามารถในการแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์ได้สูงที่สุดทั้งในแง่ของฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยก (Separation factor)

S.H. Chen และคณะ [15] ทำการศึกษาการแยกน้ำจากเอทานอลด้วยเทคนิคเพอร์เวปพอร์ชัน โดยการใช้เยื่อเลือกผ่านพอลิซัลโฟนซัลโฟเนต จากผลการทดลองพบว่าองค์การแทนที่ของเยื่อเลือกผ่านพอลิซัลโฟนส่งผลต่อประสิทธิภาพในการแยก โดยเมื่อองค์การแทนที่เพิ่มขึ้นด้วยการเพิ่มปริมาณกรดคลอโรซัลโฟนิกในสารละลาย และทำให้ค่าฟลักซ์และค่าความสามารถในการแยก (Separation factor) เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีองค์การแทนที่เท่ากับ 2 นอกจากนี้ยังพบว่าปัจจัยสำคัญในการแยกคือค่าความแตกต่างในการแพร่ในเยื่อเลือกผ่านแทนที่จะเป็นความสามารถในการละลายของน้ำและเอทานอลในเยื่อเลือกผ่าน

I.F.J. Vankelecom และคณะ [16] ทำการศึกษาการแยกน้ำจากแอลกอฮอล์ด้วยเทคนิคเพอร์เมปพรेशन โดยใช้เยื่อเลือกผ่าน PDMS ที่มีการเติมซีโอไลต์ พบว่าชนิดของซีโอไลต์มีผลอย่างมากต่อการแยก โดยในงานวิจัยพบว่าซีโอไลต์ทุกชนิดต่างช่วยลดการบวมตัวของ PDMS และการใช้ซีโอไลต์ Y สามารถช่วยเพิ่มค่าฟลักซ์ของน้ำ ในขณะที่ซีโอไลต์ ZSM-5 ทำให้ทั้งฟลักซ์ของน้ำและเอทานอลลดลง นอกจากนี้ในกรณีที่เป็นแอลกอฮอล์ที่มีโซ่กิ่ง การแพร่จะขึ้นกับอุณหภูมิทั้งในด้านความเฉพาเจาะจงและฟลักซ์

Y.L. Liu และคณะ [17] ทำการศึกษาการเตรียมเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตระหว่างไคโตซานและ PTFE โดยใช้เทคนิคการหล่อ (Casting) γ -(glycidyloxypropyl)trimethoxysilane (GPTMS) ซึ่งประกอบด้วยสารละลายไคโตซานลงบนพื้นผิวของฟิล์ม Poly(tetrafluoroethylene) จากการทดลองพบว่าการยึดติดระหว่างชั้นไคโตซานและ PTFE ค่อนข้างดี ซึ่งส่งผลให้เกิดการแยกน้ำออกจากไอโซโพรพานอลที่มีประสิทธิภาพสูง โดยให้ค่าฟลักซ์เท่ากับ $1730 \text{ g/m}^2\text{hr}$ และค่าความสามารถในการแยก (Separation factor) เท่ากับ 775 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในการแยกน้ำออกจากสารละลายไอโซโพรพานอลที่มีความเข้มข้น 70 %wt นอกจากนี้ยังพบว่าเยื่อเลือกผ่านนี้สามารถคงสภาพอยู่ได้ในกระบวนการแยกได้นานถึง 45 วัน

K.R. Lee และคณะ [18] ทำการศึกษาการแยกน้ำจากเอทานอลด้วยเทคนิคเพอร์เมปพรेशन โดยใช้เยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตระหว่างพอลิคาร์บอเนต (PC) ที่เคลือบด้วยพอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) ด้วยวิธีการจุ่ม ซึ่งทำการปรับปรุงพื้นผิวของเยื่อเลือกผ่านดังกล่าวด้วยพลาสมาอากาศ (Air plasma) เพื่อปรับปรุงการแยกตัวระหว่างภูมิภาคของ PAA และ PC ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลของ PAA องค์ประกอบของสารละลายที่ใช้เคลือบ และเวลาที่ใช้ในการผ่านพลาสมาที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกน้ำจากเอทานอล เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเยื่อเลือกผ่านที่ผ่านและไม่ผ่านพลาสมาพบว่าการผ่านพลาสมาสามารถยับยั้งการแยกตัวระหว่างภูมิภาคของคอมโพสิตได้ จากการทดลองพบว่าเยื่อเลือกผ่านที่เตรียมจากสารละลายที่ใช้เคลือบที่มีส่วนประกอบคือ PAA/ethylene glycol (EG)/aluminiumnitrate = 1/2/0.05 ที่ผ่านพลาสมาที่ 5 W/30 s เป็นเยื่อเลือกผ่านที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด นอกจากนี้ยังได้ความเข้มข้นของน้ำในเพอร์มิเอตประมาณ 100 %wt และมีอัตราการเพอร์มิเอตเท่ากับ $133 \text{ g/m}^2\text{hr}$ โดยมีความเข้มข้นของเอทานอลในสารป้อนเท่ากับ 90 %wt ที่ 25 องศาเซลเซียส

J. Marriott และคณะ [19] ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งแบบจำลองนี้ได้พัฒนามาจากสมดุลทางมวล โมเมนตัม และพลังงาน ซึ่งสามารถใช้อธิบายการแยกของเยื่อเลือกผ่านได้โดยทั่วไป ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลองที่มีอยู่ในปัจจุบันที่สามารถใช้อธิบายกระบวนการได้ในรูปแบบที่จำกัด โดยแบบจำลองนี้สามารถนำไปประยุกต์กับการแยกแก๊ส เพอร์เวปพอเรชัน และรีเวอร์สออสโมซิส ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนี้สอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดลองเป็นอย่างดี

Y.M. Lee และคณะ [20] ทำการสังเคราะห์เยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตของไคโตซานที่เตรียมโดยการหล่อแบบสารละลายบนเยื่อเลือกผ่านอีเทอร์ซัลโฟน พร้อมทำการเชื่อมโยงด้วยกรดซัลฟิวริก เปรียบเทียบกับเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยนำไปทำการแยกของผสมน้ำกับเอทานอลโดยใช้เทคนิคเพอร์เวปพอเรชัน ซึ่งการเชื่อมโยงที่ผิวเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตไคโตซานทำให้ค่าความสามารถในการแยก (Selectivity) มีค่าสูง แต่ทำให้ค่าฟลักซ์ของการแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Permeation flux) ต่ำ โดยถ้าทำการเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลในสารป้อน ทำให้ค่าฟลักซ์ของการแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน (Permeation flux) ลดลง และความเข้มข้นของน้ำในส่วนที่แพร่ผ่านลดลงอย่างมากที่ความเข้มข้นของเอทานอลในสารป้อนมากกว่า 97%wt และผลของสมบัติทางความร้อน เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พบว่าเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตของไคโตซานมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีกว่าเยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

X.P. Wang และคณะ [21] ทำการศึกษาการใช้เยื่อเลือกผ่านแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์ โดยโครงสร้างเยื่อเลือกผ่านประกอบด้วยฟิล์มบางๆ ของไคโตซานอยู่ชั้นบนและรองรับด้วยเยื่อที่ทำจากพอลิอะคริไลไนไตรล์ โดยมีการเชื่อมโยงระหว่างชั้นทั้งสอง ในการใช้เยื่อเลือกผ่านคอมโพสิตทำการแยกด้วยเทคนิคเพอร์เวปพอเรชัน ต้องมีค่าความสามารถในการแยก (Separation factor) สูงกว่า 8,000 และค่าฟลักซ์ของการซึมผ่านเท่ากับ $264 \text{ g/m}^2\text{hr}$ สำหรับสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้น 90%wt ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในกระบวนการแยกที่ใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองได้ค่าความสามารถในการแยกและค่าฟลักซ์เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันการทำการเชื่อมโยงทำให้คอมโพสิตเยื่อเลือกผ่านมีความแข็งแรงพอที่จะใช้ในกระบวนการแยกน้ำออกจากแอลกอฮอล์ได้

J.H. Kim และคณะ [22] ทำการศึกษาเยื่อเลือกผ่านผสมที่ประกอบด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และไคโตซาน โดยเตรียมจากเทคนิคการหล่อแบบ เยื่อเลือกผ่านผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับไคโตซานมีคุณสมบัติหุ้มห่อและลอมเหลวเท่ากับ 230 องศาเซลเซียส สมบัติเชิงกลของเยื่อเลือกผ่านผสมมีค่ามากกว่าเยื่อเลือกผ่านแต่ละชนิด สำหรับการเชื่อมโยงเยื่อเลือกผ่านโดยใช้กลูตาโรลดีไฮด์ ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและเสถียรภาพทางความร้อนของเยื่อเลือกผ่านผสมเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นของการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น และความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิล และหมู่อะมิโนในของผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับไคโตซานลดลง ทำให้การบวมตัวของเยื่อเลือกผ่านลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

- 1) กรดอะซิติก (เกรดวิเคราะห์) (Fluka Chemika)
- 2) กลูตาโรลดีไฮด์ (เกรดวิเคราะห์) (Merk)
- 3) ไคโตซาน (เกรดการค้า) (TC Union Global Public Co.,Ltd.)
- 4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (เกรดวิเคราะห์) (Fluka Chemika)
- 5) โทลูอีน (เกรดวิเคราะห์) (Fisher Scientific)
- 6) น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)
- 7) ไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen)
- 8) เอทานอล (เกรดการค้า)

ตารางที่ 3.1 สมบัติของไคโตซาน*

สมบัติ	ค่าที่ได้
องค์การกำจัดหมู่อะซิทิล (DD)	89.01%
เถ้า	0.55%
โปรตีน	0.45%
ความชื้น	6.68%
สี	ขาว

*ข้อมูลจากบริษัท TC Union Global Public Co.,Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) กรอบของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน
- 2) กระดาษกรองเบอร์ 42
- 3) กระดาษยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์
- 4) ชุดท่อทองแดง
- 5) เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography, GC) (Varian 3800)
- 6) เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller)
- 7) เครื่องชั่ง
- 8) เครื่องปั่นกวนด้วยแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
- 9) เครื่องอุลตราโซนิก (Ultrasonic bath) (NEY PENTAL รุ่น 14H)
- 10) ชุดเครื่องมือปั่นกวนเชิงกล (Mechanical stirrer)
- 11) ตู้อบ
- 12) ถังมือกั้นความร้อน
- 13) ท่อเทฟลอนและซิลิโคน
- 14) ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube)
- 15) เทอร์โมมิเตอร์
- 16) แท่งสแตนเลสยาว 25 เซนติเมตร
- 17) นี้อัดพร้อมแหวนรองสแตนเลส
- 18) นาฬิกาจับเวลา
- 19) ปีมควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย (Agilent 1100 Series)
- 20) แผ่นเทปให้ความร้อน (Heating tape)
- 21) แผ่นสแตนเลส
- 22) แผ่นไนลอนติดถ่ายเอกสาร
- 23) เม็ดแก้วขนาดเล็ก (Glass bead)
- 24) แม่พิมพ์กระจกรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร
- 25) ไมโครมิเตอร์
- 26) ไยแก้ว (Glass wool)
- 27) หลุมให้ความร้อน (Heating mantle)
- 28) อุปกรณ์เครื่องแก้วและพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน

1) การเตรียมสารละลายโคโตซาน

- 1.1 ชั่งโคโตซาน 2 กรัม ใส่ในขวดสามคอขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดอะซิติกเข้มข้น 2 %v/v ปริมาตร 80 มิลลิลิตรลงไปเพื่อละลายโคโตซาน
- 1.2 ทำการปั่นกวนด้วยใบพัดกวน เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 1.3 เติมหกสูตรอลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 0.05 %wt ปริมาณ 1 กรัม ลงในสารละลายที่กำลังปั่นกวน แล้วปั่นกวนต่อนาน 1 ชั่วโมง
- 1.4 ทำการปรับ pH โดยค่อยๆ หยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 %wt ที่ละหยดจนกระทั่งสารละลายมีค่า pH ประมาณ 6.5
- 1.5 ปรับปริมาตรน้ำให้เป็น 98 มิลลิลิตร
- 1.6 กำจัดฟองอากาศด้วยเครื่องอุตราโซนิกจนกระทั่งปราศจากฟอง

2) การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน

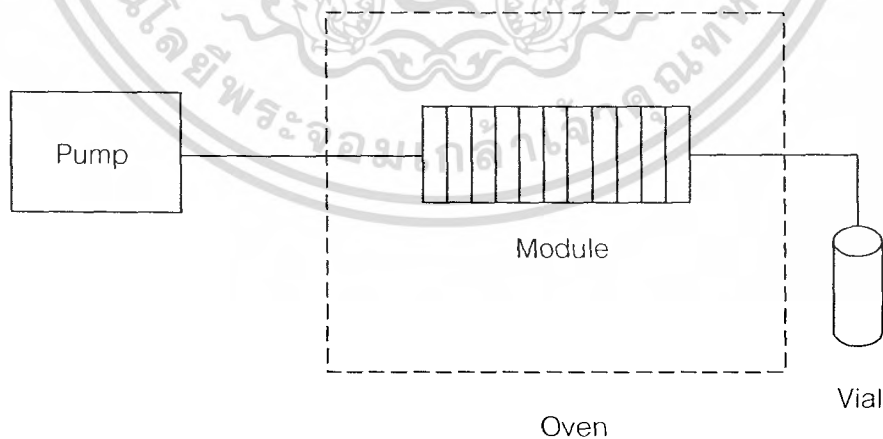
- 2.1 วางแม่พิมพ์กระจกกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร ลงบนจานหมุนให้ได้ระนาบและกึ่งกลาง
- 2.2 เทสารละลายโคโตซานที่เตรียมได้ประมาณ 43 มิลลิลิตร ลงบนจุดศูนย์กลางของแม่พิมพ์
- 2.3 หมุนด้วยความเร็ว 250 รอบต่อนาที จนกระทั่งสารละลายโคโตซานกระจายตัวออกจนเต็มแม่พิมพ์ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 5 วินาที
- 2.4 นำแม่พิมพ์ไปอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 2.5 นำแม่พิมพ์ที่มีเยื่อเลือกผ่านที่แห้งแล้วไปแช่ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 %w/v เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เยื่อเลือกผ่านจะร่อนออกจากแม่พิมพ์ หลังจากนั้นจึงทำการล้างเยื่อเลือกผ่านที่ได้ด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้งจนกระทั่งสารละลายมี pH เป็นกลาง
- 2.6 นำเยื่อเลือกผ่านที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- 2.7 วัดความหนาของเยื่อเลือกผ่านโดยใช้ไมโครมิเตอร์ และเลือกเยื่อเลือกผ่านที่มีความหนาในช่วง 35 ± 5 ไมโครเมตร เพื่อนำไปประกอบเป็นโมดูลเยื่อเลือกผ่านต่อไป โดยก่อนที่จะประกอบโมดูล จะนำเยื่อเลือกผ่านที่ได้แช่ในสารละลายเอทานอลเข้มข้น 50%mol นานประมาณ 1 ชั่วโมง

3.3.2 การออกแบบโมดูลเยื่อเลือกผ่าน

- 1) ออกแบบกรอบของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งจะทำหน้าที่จับและตรึงเยื่อเลือกผ่านไว้ โดยให้เยื่อเลือกผ่านมีลักษณะเรียงเป็นชั้นซ้อนกัน
- 2) ออกแบบแผ่นสแตนเลสที่จะใช้ประกบด้านหัวและท้ายของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน เพื่อให้สามารถขันน็อตเพื่อบีบอัดให้กรอบของโมดูลเยื่อเลือกผ่านแต่ละชั้นแนบสนิทกัน
- 3) ออกแบบการต่อท่อเพื่อเป็นทางเดินของไอของสารละลายเอทานอลในโมดูล โดยให้ไอของสารละลายเอทานอลมีทางเข้าสู่โมดูลที่ปลายด้านหนึ่ง และไหลต่อเนื่องในโมดูลผ่านเยื่อเลือกผ่านแต่ละชั้น โดยสารที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่านไปได้ (เพอร์มิเอต) จะสามารถเคลื่อนที่ออกจากโมดูลผ่านทางช่องรูเปิด ส่วนสารที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อเลือกผ่าน (รีเทนเทต) จะยังคงไหลต่อไปในโมดูล และออกจากโมดูลที่ทางออกซึ่งจะอยู่ที่ปลายอีกด้านหนึ่ง

3.3.3 การออกแบบระบบการทดสอบประสิทธิภาพของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน

ในการทดสอบประสิทธิภาพของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน จะใช้ปัมป์ในการป้อนสารละลายเอทานอลเข้าสู่โมดูลซึ่งอยู่ในตู้อบที่มีการควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่าจุดเดือดของเอทานอล (80 องศาเซลเซียส) ซึ่งจะทำให้สารละลายเอทานอลเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ โดยเมื่อสารเคลื่อนที่ออกจากโมดูลจะเข้าสู่ส่วนเก็บสาร (Vial) ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบต่างๆ ในระบบการทดสอบประสิทธิภาพของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน

3.3.4 การทดสอบการรั่วของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน

ในกรณีที่จะทำการทดสอบว่าโมดูลเยื่อเลือกผ่านรั่วหรือไม่ จะทำการประกอบโมดูลโดยใช้แผ่นใสชนิดถ่ายเอกสารซึ่งสามารถทนความร้อนได้แทนเยื่อเลือกผ่าน โดยทำการตัดให้มีขนาดเท่ากับเยื่อเลือกผ่านที่ใช้จริงและทำการประกอบเข้ากับโมดูลที่ออกแบบไว้ จากนั้นจึงทำตามขั้นตอน ดังนี้

- 1) บรรจุสารละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้นที่ต้องการทดสอบลงในขวดซึ่งเป็นส่วนสารป้อนของปั๊ม
- 2) เทียบอัตราการไหลของสารจากปั๊ม โดยตั้งค่าอัตราการไหลที่ต้องการทดสอบที่ปั๊ม และสูมเก็บสารที่ขาออกของปั๊มลงในขวดเก็บสาร แล้วจึงชั่งน้ำหนักสารที่เก็บได้เทียบกับช่วงระยะเวลาที่เก็บสาร เพื่อดำเนินหาอัตราการไหลของปั๊ม
- 3) ทำการต่อส่วนประกอบต่างๆ ในระบบ โดยต่อท่อขาออกของสารละลายเอทานอลจากปั๊มเข้ากับทางเข้าของไอของสารละลายเอทานอลของโมดูล ซึ่งอยู่ภายในตู้อบ แล้วต่อท่อทางออกของไอของสารละลายเอทานอลจากโมดูลออกนอกตู้อบ และเข้าสู่ส่วนเก็บสารต่อไป ดังรูปที่ 3.1
- 4) เปิดตู้อบโดยตั้งอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
- 5) เมื่ออุณหภูมิคงที่แล้ว (ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง) จึงทำการเปิดปั๊ม โดยตั้งอัตราการไหลตามที่ต้องการทดสอบ พร้อมทั้งเริ่มจับเวลา
- 6) สูมเก็บสารจากปลายขาออกเป็นระยะๆ โดยแต่ละครั้งจะเก็บประมาณ 7 มิลลิลิตร ลงในขวดเก็บสารที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส พร้อมจดช่วงระยะเวลาที่เก็บสารจนกระทั่งครบ 5 ชั่วโมง ตั้งขวดที่เก็บสารตัวอย่างเอทานอลทิ้งไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนัก
- 7) นำค่าน้ำหนักสารละลายเอทานอลไปคำนวณหาอัตราการไหล แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลขาออกต่อขาเข้า (C_{out}/C_{in}) กับเวลา

3.3.5 การทดสอบประสิทธิภาพในการแยกของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน

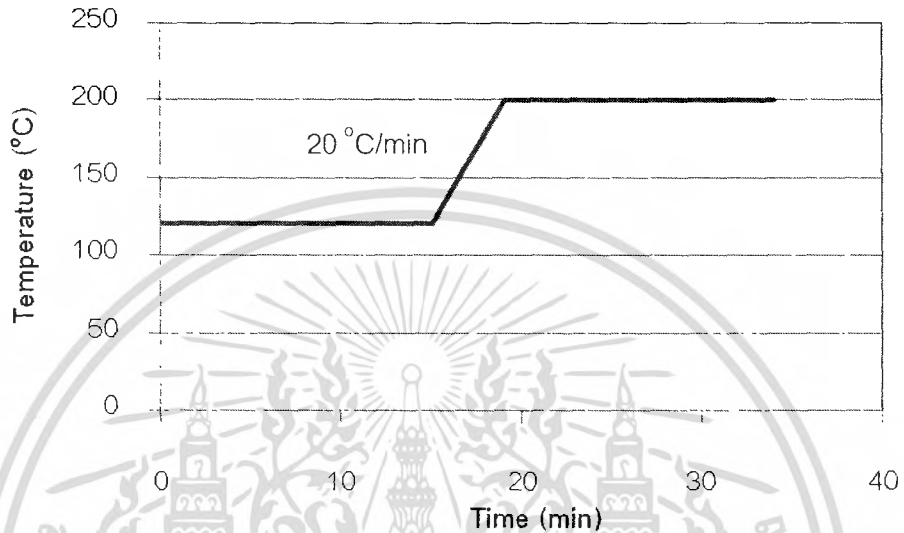
- 1) ทำการทดลองเช่นเดียวกับในข้อ 1) – 3) ของการทดสอบการรั่วของโมดูลเยื่อเลือกผ่านในข้อ 3.3.4 แต่ในที่นี้จะใช้เยื่อเลือกผ่านที่เตรียมได้ในการประกอบโมดูลแทนที่จะใช้แผ่นใสชนิดถ่ายเอกสาร
- 2) ทดสอบการรั่วของเยื่อเลือกผ่าน โดยเปิดปั๊มเพื่อผ่านสารละลายเอทานอลเข้าไปในโมดูลเยื่อเลือกผ่าน แล้วสูมเก็บสารจากปลายขาออกเป็นระยะๆ โดยแต่ละครั้งจะเก็บประมาณ 7 มิลลิลิตรลงในขวดเก็บสาร พร้อมจดช่วงระยะเวลาที่ใช้เก็บสาร แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนัก
- 3) นำค่าน้ำหนักสารละลายเอทานอลไปคำนวณหาอัตราการไหลของสารละลายเอทานอลผ่านโมดูลเยื่อเลือกผ่าน แล้วเปรียบเทียบกับค่าอัตราการไหลของสารละลายเอทานอลขาเข้าก็จะทราบว่าเยื่อเลือกผ่านรั่วหรือไม่
- 4) หากพบว่าเยื่อเลือกผ่านไม่รั่ว จึงให้ความร้อนโดยตั้งอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งเริ่มจับเวลา
- 5) เมื่ออุณหภูมิคงที่และไอของสารละลายเอทานอลขาออกไหลอย่างสม่ำเสมอแล้ว สูมเก็บสารจากปลายขาออกเป็นระยะๆ โดยแต่ละครั้งจะเก็บประมาณ 7 มิลลิลิตรลงในขวดเก็บสารที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส พร้อมจดช่วงระยะเวลาที่ใช้เก็บสารจนกระทั่งครบ 5 ชั่วโมง ตั้งขวดที่เก็บสารตัวอย่างเอทานอลทิ้งไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนัก
- 6) นำค่าน้ำหนักสารละลายเอทานอลไปคำนวณหาอัตราการไหล แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลขาออกต่อขาเข้า (C_{out}/C_{in}) กับเวลา และคำนวณหา %Yield
- 7) หาค่าความบริสุทธิ์ของสารละลายเอทานอลที่ได้ ด้วยการฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี โดยใช้โทลูอีนเป็นอินเทอร์นอลสแตนดาร์ด (Internal standard) ปริมาณ 10%wt ของน้ำหนักสารละลาย ซึ่งใช้สภาวะในการวิเคราะห์ดังนี้

ชนิดคอลัมน์

: Porapak Q

อุณหภูมิที่เตาอบ

: ใช้การโปรแกรมอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การให้อุณหภูมิที่เตาอบ

อุณหภูมิที่ทำการฉีด (Injector) : 180 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิที่ตัวตรวจวัด (TCD Detector) : 200 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิที่ขดลวด (Filament) : 230 องศาเซลเซียส

3.3.6 ปัจจัยที่ทำการศึกษา

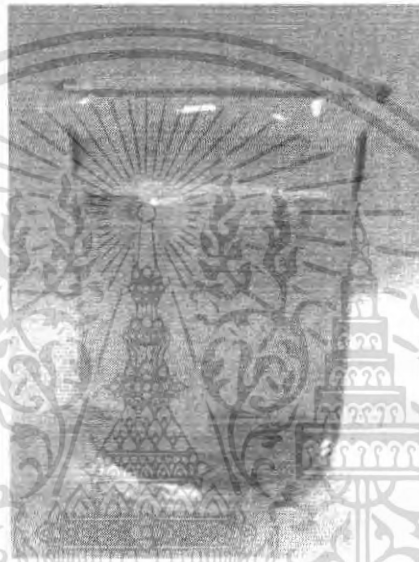
ในการทดสอบประสิทธิภาพในการแยกน้ำจากเอทานอลของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน จะทำการศึกษามลของการใช้อัตราเร็วของสารป้อน (15 และ 30 กรัมต่อชั่วโมง) ที่มีต่อประสิทธิภาพในการแยกของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

4.1 การเตรียมเยื่อเลือกผ่าน

สารละลายโคโตะซานที่เตรียมได้มีลักษณะค่อนข้างหนืด สีเหลืองใส ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 สารละลายโคโตะซาน

เมื่อได้สารละลายโคโตะซานแล้ว จะทำการเตรียมเยื่อเลือกผ่านโดยนำเอาสารละลายที่ได้มาขึ้นรูปด้วยวิธีการเคลือบหมุน (Spin coating) ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การขึ้นรูปด้วยวิธีการเคลือบหมุน (Spin coating)

การขึ้นรูปด้วยวิธีการเคลือบหมุน (Spin coating) ใช้หลักการคือทำการหมุนแม่พิมพ์ กระดาษวงกลมด้วยความเร็วรอบสูง สารละลายโคโตะซานที่อยู่บนแม่พิมพ์จะเคลื่อนที่แผ่ออก ด้วยแรงหนีศูนย์กลาง และเคลือบบนผิวแม่พิมพ์จนเต็ม ทำให้ได้ฟิล์มของสารละลายโคโตะซานที่ เรียบ และมีความหนาสม่ำเสมอทั่วทุกบริเวณ โดยในการขึ้นรูปดังกล่าวต้องทำการหาความเร็ว รอบและปริมาณสารละลายที่ต้องใช้ เพื่อให้ได้เยื่อเลือกผ่านที่มีความหนาตามต้องการ ซึ่งได้มีการทดลอง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สภาวะที่ใช้ในการเคลือบหมุน (Spin coating) และผลที่ได้

สภาวะ	ปริมาณสารละลายไคโตซาน (มิลลิลิตร)	ความเร็ว (รอบต่อนาที)	ลักษณะเยื่อเลือกผ่าน
1	40	250	ความหนา 35 ± 12 ไมโครเมตร
2	40	300	ความหนา 35 ± 10 ไมโครเมตร
3	43	250	ความหนา 35 ± 5 ไมโครเมตร
4	43	300	ความหนา 35 ± 15 ไมโครเมตร
5	45	250	ความหนา 35 ± 22 ไมโครเมตร

จากตารางที่ 4.1 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ ความเร็ว 250 รอบต่อนาที และสารละลายไคโตซาน 43 มิลลิลิตร เนื่องจากทำให้ได้เยื่อเลือกผ่านที่มีความหนาสม่ำเสมอประมาณ 35 ไมโครเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงความหนาที่ต้องการ (35 ± 5 ไมโครเมตร) ดังรูปที่ 4.3

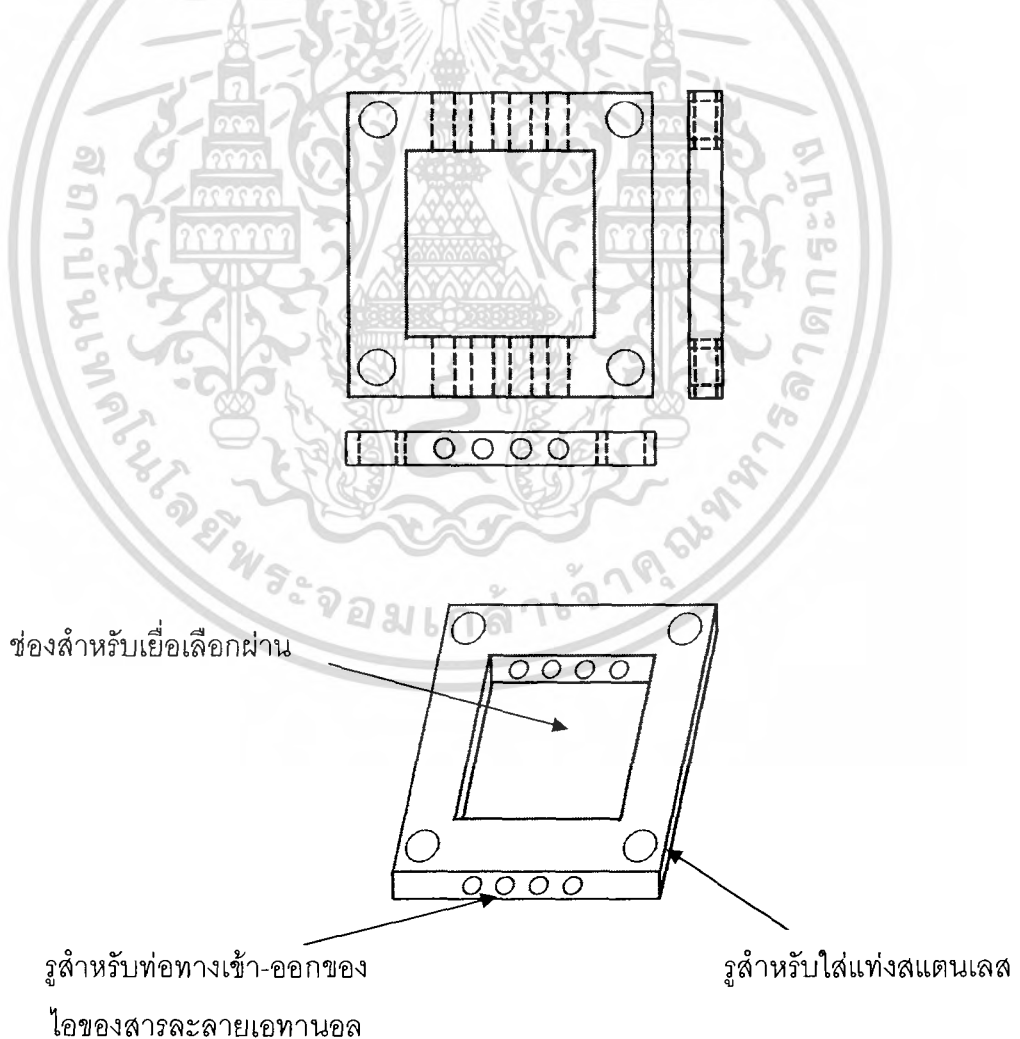


รูปที่ 4.3 เยื่อเลือกผ่านไคโตซานที่เตรียมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การประกอบโมดูลเยื่อเลือกผ่าน

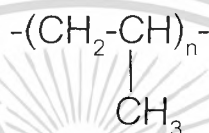
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบโมดูลเยื่อเลือกผ่าน ให้มีเยื่อเลือกผ่านหลายๆ แผ่นเรียงเป็นชั้นซ้อนกัน เพื่อให้เอทานอลสามารถไหลผ่านได้อย่างต่อเนื่องและสามารถเกิดการแยกได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากเยื่อเลือกผ่านที่ใช้มีความหนาอยู่ในช่วง 35 ± 5 ไมโครเมตร เท่านั้น ไม่สามารถคงรูปเป็นแผ่นเรียบและตั้งได้เอง ดังนั้นจึงต้องมีกรอบของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งจะทำหน้าที่จับและตรึงเยื่อเลือกผ่านไว้ ในที่นี้เลือกใช้แผ่นพอลิพรอพิลีนขนาด $8 \times 8 \times 0.8$ เซนติเมตร ที่มีการเจาะช่องสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 5×5 เซนติเมตรบริเวณกึ่งกลาง ซึ่งจะเป็นตำแหน่งสำหรับเยื่อเลือกผ่าน และมีการเจาะรูด้านข้างเพื่อเป็นทางเข้า-ออกของไอของสารละลายเอทานอลผ่านโมดูลเยื่อเลือกผ่าน และมีการเจาะรูที่มุมทั้งสี่มุมเพื่อเป็นช่องสำหรับแท่งสแตนเลส ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผ่นพอลิพรอพิลีนที่ใช้เป็นกรอบของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

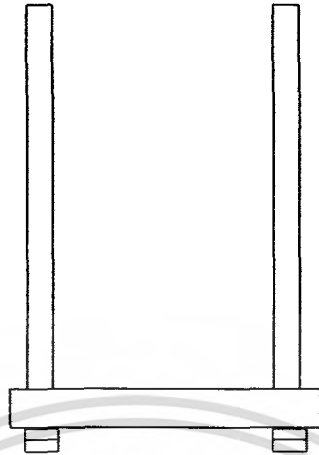
ในงานวิจัยนี้เลือกใช้พอลิเมอร์ชนิดพอลิพรอพิลีนเป็นกรอบของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน เนื่องจากพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) เป็นพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงเหนียว คงรูป ทนทาน ต่อสารเคมีและตัวทำละลาย เช่น เอทานอล สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้พอลิพรอพิลีนยังมีความหนาแน่นต่ำ เมื่อนำมาประกอบเป็นโมดูลทำให้โมดูลเยื่อเลือกผ่านมีน้ำหนักเบา ง่ายต่อการดำเนินงานและเคลื่อนย้าย ซึ่งพอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างของหน่วยซ้ำดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 โครงสร้างของหน่วยซ้ำของพอลิพรอพิลีน

การออกแบบให้กรอบของโมดูลเยื่อเลือกผ่านเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสนั้น เพื่อให้สามารถรับแรงกดอัดได้เท่ากันทุกด้าน ทำให้กรอบของโมดูลเยื่อเลือกผ่านแต่ละชั้นแนบสนิทกัน ไม่มีการร้าวเกิดขึ้น และนอกจากนี้ยังทำให้คำนวณพื้นที่ในการแพร่ผ่านได้ง่ายอีกด้วย

การประกอบโมดูลเยื่อเลือกผ่าน ในขั้นแรกทำได้โดยเตรียมฐานรองรับโมดูลเยื่อเลือกผ่าน โดยเสียบแท่งสแตนเลสซึ่งมีน็อตล็อคอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งเข้าสู่ที่มุมทั้งสี่ของแผ่นสแตนเลสขนาด 8x8 เซนติเมตร (รูปที่ 4.6) ซึ่งรูดังกล่าวจะอยู่ตรงกันกับรูที่มุมทั้งสี่ของแผ่นพอลิพรอพิลีน จากนั้นเลื่อนแผ่นสแตนเลสลงจนสุดปลายด้านที่มีน็อต แผ่นสแตนเลสดังกล่าวจะทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของโมดูลเยื่อเลือกผ่านในระหว่างที่ทำการประกอบ โดยมีน็อตล็อคทำหน้าที่ป้องกันการหลุดออกของโมดูลจากแกนสแตนเลสทั้งสี่ และจะทำหน้าที่รับแรงกระทำจากการขันน็อตเพื่อบีบอัดโมดูลเมื่อทำการประกอบโมดูลเสร็จ หากขันน็อตบีบอัดบนแผ่นพอลิพรอพิลีนโดยตรง อาจทำให้แผ่นพอลิพรอพิลีนโก่งตัวหรือเสียหายได้ การเตรียมฐานรองรับโมดูลเยื่อเลือกผ่านแสดงได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การเตรียมฐานรองรับโมดูลเยื่อเลือกผ่าน

จากนั้นจึงใส่แผ่นใสชนิดถ่ายเอกสาร (ขนาด 8x8 เซนติเมตร ซึ่งมีการเจาะรูที่มุมทั้งสี่ ตรงกันกับรูของแผ่นสแตนเลส) เข้าแกนสแตนเลสทั้งสี่มุม แล้วเลื่อนลงจนสุดให้แนบสนิทกับแผ่นสแตนเลส จากนั้นจึงใส่แผ่นพอลิพรอพิลีน โดยกำหนดให้ด้านที่มีการเจาะรูเข้าหาตัว (ดังรูปที่ 4.7) ซึ่งรูดังกล่าวนี้จะเป็นทางเข้า-ออกของไอของสารละลายเอทานอล แล้วเลื่อนลงจนสุดให้แนบสนิทกับแผ่นสแตนเลสและแผ่นใสด้านล่างเพื่อไม่ให้โมดูลเกิดการรั่ว

การใช้แผ่นใสชนิดถ่ายเอกสารซึ่งทำจากพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate, PET) คั่นกลางระหว่างแผ่นสแตนเลสและแผ่นพอลิพรอพิลีนนั้น เนื่องจากสแตนเลสสามารถนำความร้อนได้ดี อาจทำให้แผ่นพอลิพรอพิลีนเกิดการเสียหายทางความร้อน (Thermal degradation) ดังนั้นจึงต้องใช้แผ่นพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตซึ่งทนทานต่อความร้อนได้ดีกว่าพอลิพรอพิลีนมากกั้นกลาง นอกจากนี้พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตยังทนทานต่อแอลกอฮอล์ได้ดีอีกด้วย

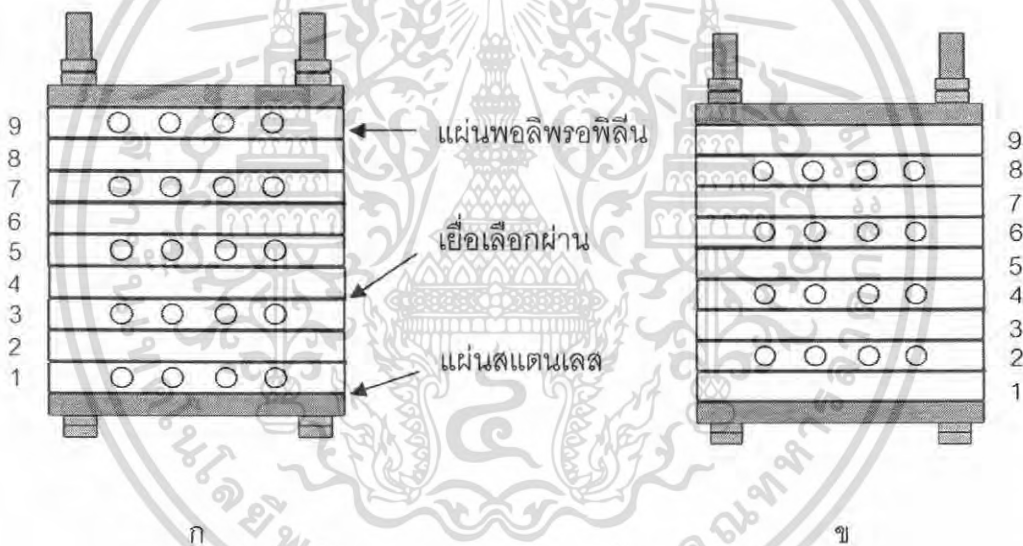
เมื่อใส่แผ่นพอลิพรอพิลีนเรียบร้อยแล้ว จึงวางเยื่อเลือกผ่านลงบนช่องสี่เหลี่ยมกลางแผ่นพอลิพรอพิลีน โดยเยื่อเลือกผ่านจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าช่องสี่เหลี่ยมดังกล่าว และมีส่วนปลายของแต่ละด้านยื่นออกมากรอบของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน เพื่อให้สามารถจับและขึงเยื่อเลือกผ่านให้เรียบและตึงในขณะที่ใส่แผ่นพอลิพรอพิลีนอีกแผ่นหนึ่ง โดยให้ด้านที่มีการเจาะรูตั้งฉากกับแผ่นก่อนหน้านี้ (ดังรูปที่ 4.7) โดยจะต้องกดแผ่นพอลิพรอพิลีนให้แน่น เพื่อไม่ให้เยื่อเลือกผ่านเกิดการเลื่อนหลุดได้ การวางเยื่อเลือกผ่านจะต้องระวังไม่ให้มีส่วนใดของเยื่อเลือกผ่านเกยบริเวณแกนสแตนเลส หรือไม่ให้เกิดการพับของเยื่อเลือกผ่าน เนื่องจากหากความหนาบริเวณใดไม่สม่ำเสมอ อาจทำให้การกักอัดโมดูลไม่แนบสนิท และอาจทำให้เกิดการรั่วได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจึงวางเยื่อเลือกผ่านสลับกับแผ่นพอลิพรอพิลีน โดยจะต้องวางแผ่นพอลิพรอพิลีนให้ด้านที่มีการเจาะรูตั้งฉากกับแผ่นก่อนหน้าเสมอ จนกระทั่งได้จำนวนชั้นของเยื่อเลือกผ่านตามที่ต้องการ แล้วจึงใส่แผ่นโกลด์ทาร์เยื่อเลือกผ่าน และแผ่นสแตนเลสตามลำดับ ในลักษณะเช่นเดียวกันกับตอนต้น หลังจากนั้นจึงใส่น้ำที่แกนสแตนเลสทั้งสี่ แล้วขันน็อตให้แน่น

การใช้สแตนเลสเป็นแผ่นประกบด้านหัวและท้ายของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน เนื่องจากสแตนเลสทนทานต่อการกัดกร่อนและการเกิดสนิม เมื่อทำการขันน็อตสแตนเลสที่หัวและท้ายของโมดูลเยื่อเลือกผ่านเพื่อบีบอัดให้แผ่นพอลิพรอพิลีนทั้งหมดแนบสนิทกัน เยื่อเลือกผ่านไคโตซานซึ่งมีความนิ่มจะถูกบีบอัดให้เกิดการแนบสนิทได้ดียิ่งขึ้น และป้องกันไม่ให้โมดูลเกิดการรั่ว

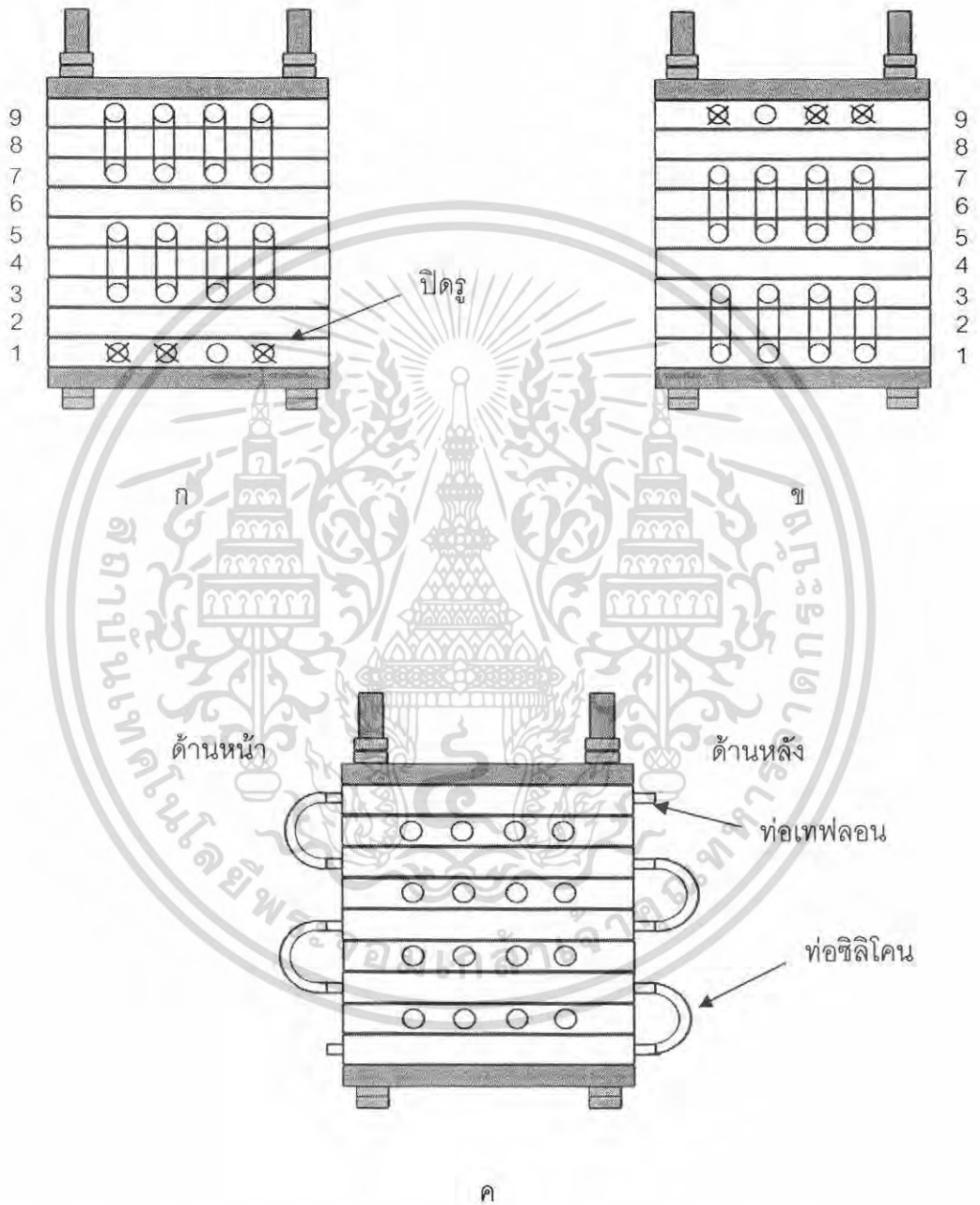
ลักษณะการเรียงชั้นของแผ่นพอลิพรอพิลีนกับเยื่อเลือกผ่าน ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การใส่แผ่นพอลิพรอพิลีนและเยื่อเลือกผ่าน ก) ด้านหน้า ข) ด้านข้าง

เมื่อทำการเรียงชั้นเยื่อเลือกผ่านและแผ่นพอลิพรอพิลีนเรียบร้อยแล้ว จึงทำการต่อท่อเพื่อเป็นทางเดินของไอของสารละลายเอทานอลในโมดูล โดยเสียบท่อเทพลอนที่ยาวประมาณ 3 เซนติเมตร เข้ารูทุกรูของแผ่นพอลิพรอพิลีนที่ 1, 3, 5, 7, 9, ... โดยให้มีส่วนที่ยื่นออกมายาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร สำหรับต่อท่อซิลิโคน จากนั้นเชื่อมต่อท่อเทพลอนเข้าด้วยกันด้วยท่อซิลิโคน โดยในด้านหน้าของโมดูลให้ใช้ท่อซิลิโคนเชื่อมต่อเทพลอนโดยเริ่มจากชั้นที่ 3 ต่อเข้ากับชั้นที่ 5 และต่อชั้นที่ 7 กับชั้นที่ 9 (รูปที่ 4.7) ทำต่อเนื่องจนครบจำนวนชั้นทั้งหมด ส่วนด้านหลังเริ่มเชื่อมจากชั้นที่ 1 เข้ากับชั้นที่ 3 และต่อชั้นที่ 5 กับชั้นที่ 7 ทำต่อเนื่องจนครบจำนวนชั้นทั้งหมดเช่นเดียวกัน แล้วจึงทำการปิดรูที่เหลือในด้านหน้าและหลังของโมดูล โดยเว้นรูของแผ่นพอลิพรอพิลีนที่ปลายด้านหนึ่งในรูปที่ 4.7 เป็นทางเข้าของไอของสารละลายเอทานอล และอีกหนึ่งรูของแผ่นพอลิพรอพิลีนที่ปลายอีกด้านหนึ่งเป็นทางออกของไอของสารละลายเอทานอล ในขั้นนี้จะได้โมดูลเยื่อเลือกผ่านที่เสร็จสมบูรณ์ ดังรูปที่ 4.8





รูปที่ 4.8 โมดูลเยื่อเลือกผ่าน ก) ด้านหน้า ข) ด้านหลัง และ ค) ด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ท่อเทฟลอนเสียบเข้ารูของแผ่นพอลิพรอพิลีน เนื่องจากเทฟลอนหรือพอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene, PTFE) มีความแข็งแรงเหนียว (Toughness) สูง จึงสามารถแนบสนิทกับรูของแผ่นพอลิพรอพิลีนได้ดี นอกจากนี้เทฟลอนยังมีเสถียรภาพทางความร้อนสูง ทนทานต่อสารเคมี และมีอัตราการซึมผ่านของแก๊สและไอน้ำต่ำ เมื่อทำการเสียบท่อเทฟลอนเข้ารูต่างๆ ข้างต้นแล้ว จึงเชื่อมท่อเทฟลอนที่ยื่นออกมาด้วยท่อยางซิลิโคนหรือยางพอลิซิลอกเซน (Polysiloxane rubber) เนื่องจากซิลิโคนมีความยืดหยุ่นดี สามารถโค้งงอทนทานต่อตัวทำละลาย เช่น เอทานอล และทนทานต่อความร้อนสูง

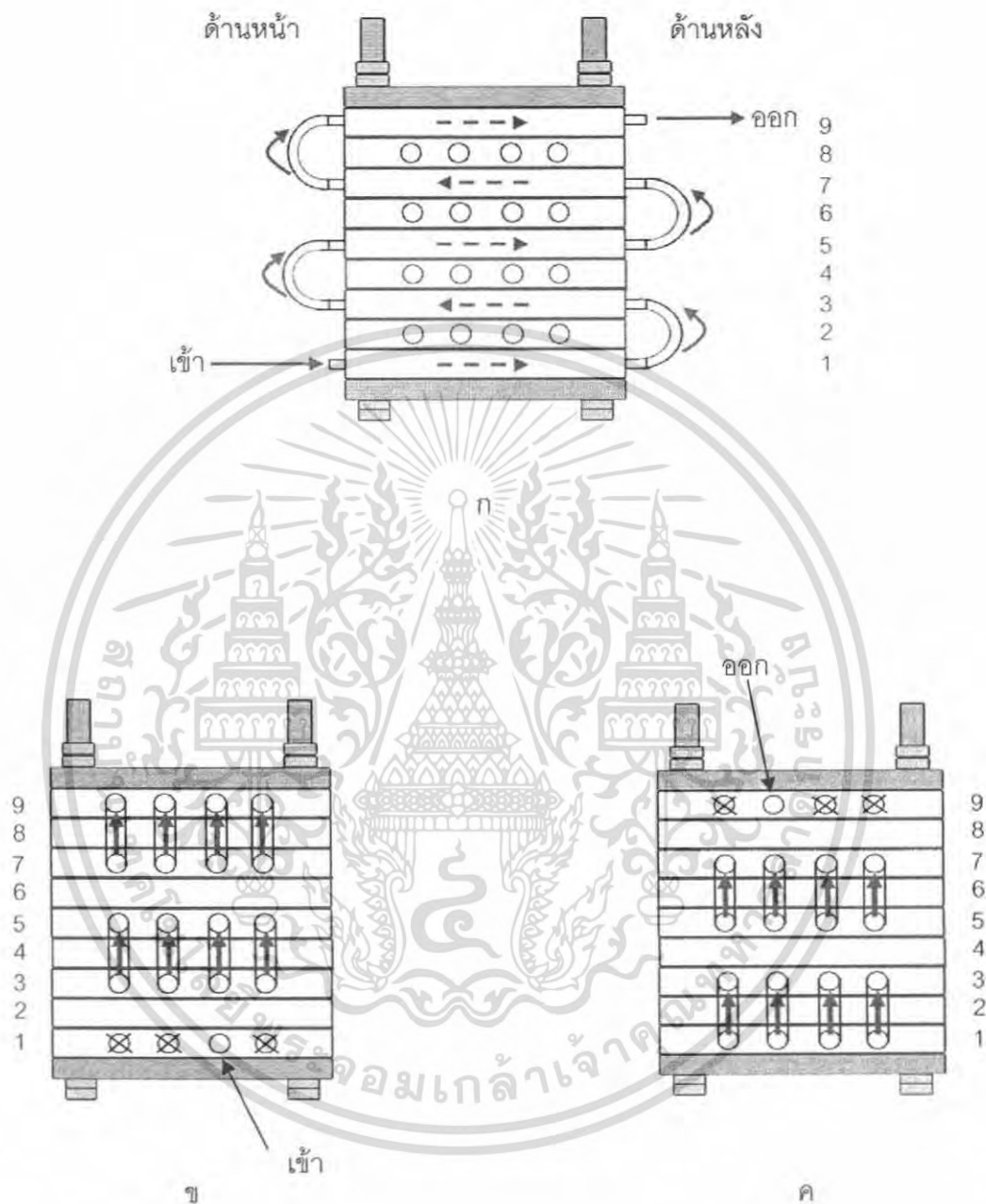
การวางแผ่นพอลิพรอพิลีนให้ด้านที่มีการเจาะรูตั้งฉากกับแผ่นกอนหน้าเสมอ เพื่อให้เพอร์มิเอตสามารถเคลื่อนที่ออกจากโมดูลทางช่องรูเปิดด้านข้างได้สะดวก โดยไม่มีท่อทางเดินของไอของสารละลายเอทานอลมาขวาง ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายโมดูลเยื่อเลือกผ่าน

4.3 การทดสอบการรั่วของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน

ในการทดสอบการรั่วของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน จะใช้แผ่นใสชนิดถ่ายเอกสารแทนเยื่อเลือกผ่าน (จำนวน 10 ชั้น) เพื่อไม่ให้เกิดการแพร่ผ่านเกิดขึ้น ซึ่งจากการทดลองเมื่อทำการเปิดปั๊มเพื่อป้อนสารละลายเอทานอลเข้าสู่โมดูล เอทานอลจะสามารถกลายเป็นไอ และไหลอย่างต่อเนื่องในโมดูล ดังแสดงในรูปที่ 4.10

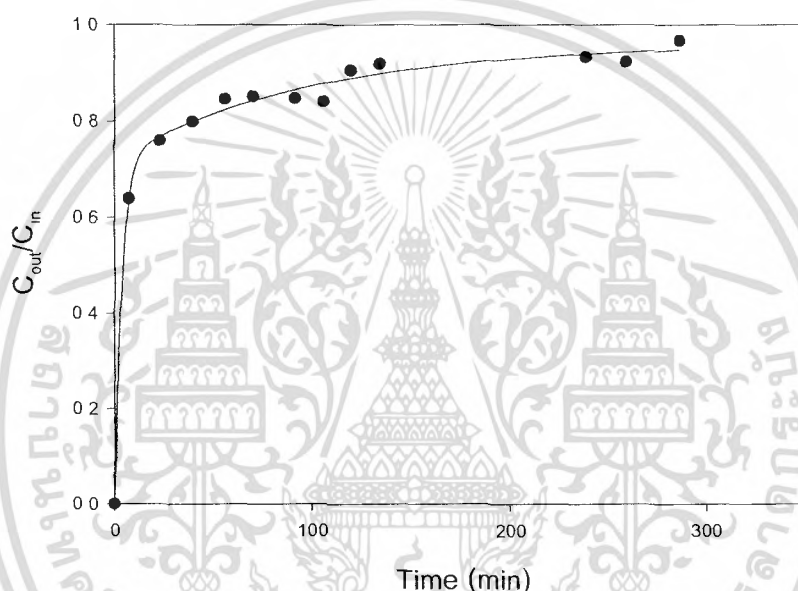


รูปที่ 4.10 ทิศทางการไหลของไอของสารละลายเอทานอลภายในโมดูล ก) ด้านข้าง
ข) ด้านหน้า และ ค) ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

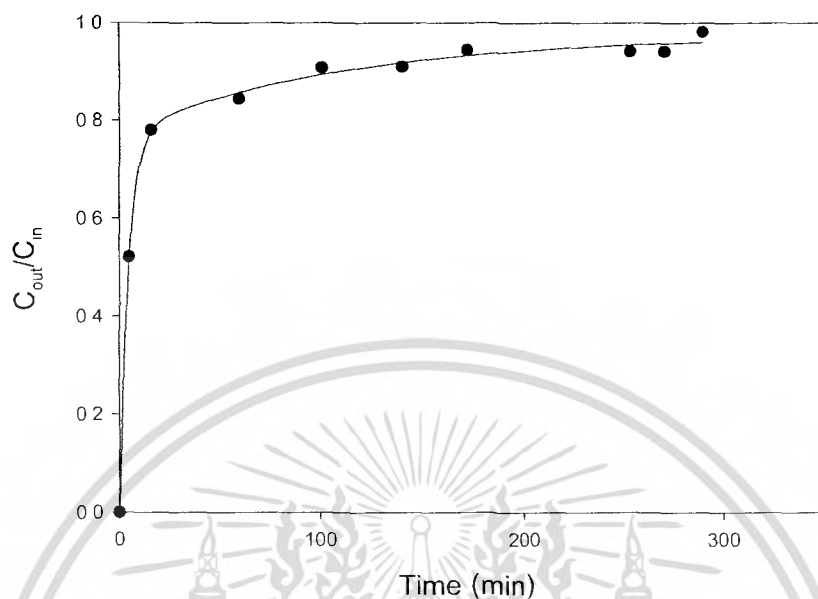
4.3.1 ผลของความหนาของแผ่นสแตนเลสที่ใช้ทดสอบการรั่ว

เมื่อใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 1 มิลลิเมตรในการประกบด้านหัวและท้ายของโมดูลในการทดสอบการรั่วของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน โดยใช้อัตราเร็วของสารป้อน 60 กรัมต่อชั่วโมง (ซึ่งเป็นค่าอัตราเร็วของสารป้อนที่ให้ค่าฟลักซ์ที่เหมาะสมจากงานวิจัย [3]) และเก็บสารขาออกที่อุณหภูมิต่ำเหนือผิวไนโตรเจนเหลว จากนั้นนำข้อมูลมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลา ได้ผลดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลา ที่ใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร

เมื่อใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร โดยใช้อัตราเร็วของสารป้อนเท่ากัน และเก็บสารขาออกที่อุณหภูมิต่ำเหนือผิวไนโตรเจนเหลว พบว่าได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลา ดังรูปที่ 4.12



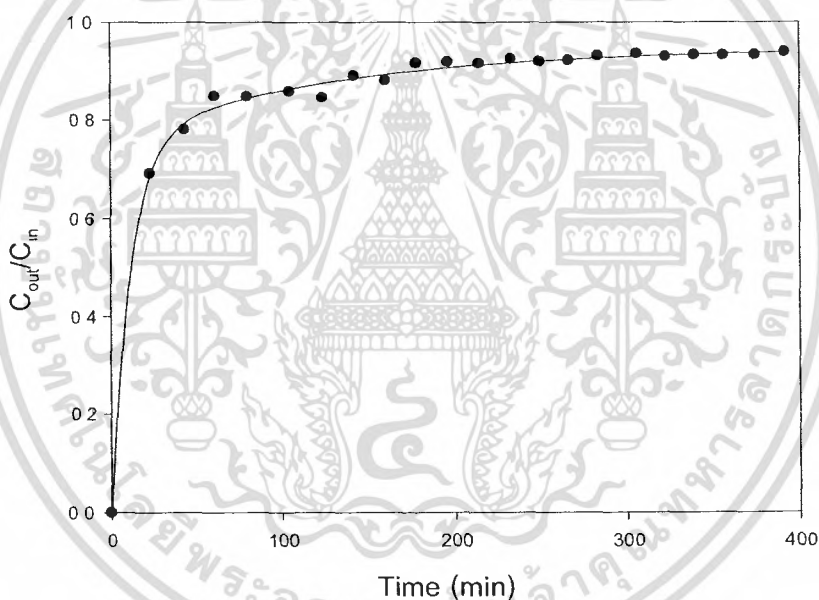
รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอล ใช้ออกต่อขาเข้ากับเวลา ที่ใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 พบว่าใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ประมาณ 250 นาที ซึ่งเมื่อทำการหาค่าสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอล ใช้ออกต่อขาเข้า (C_{out}/C_{in}) ที่สภาวะคงตัว พบว่าในกรณีที่ใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ได้ค่า C_{out}/C_{in} เท่ากับ 0.93 ส่วนในกรณีที่ใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร ได้ค่า C_{out}/C_{in} เท่ากับ 0.96 การที่ค่า C_{out}/C_{in} มีค่าไม่เท่ากับ 1 นั้น อาจมีสาเหตุมาจากการที่ไอของสารละลายเอทานอลส่วนหนึ่งเกิดการรั่วไหลออกจากโมดูลเยื่อเลือกผ่าน หรืออาจเกิดจากการที่ไอของสารละลายเอทานอลบางส่วนเกิดการควบแน่นและยังคงค้างอยู่ภายในโมดูลเยื่อเลือกผ่าน เมื่อเปรียบเทียบค่า C_{out}/C_{in} ของกรณีที่ใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 1 และ 5 มิลลิเมตร พบว่ากรณีที่ใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร ได้ค่า C_{out}/C_{in} น้อยกว่า ทั้งนี้ น่าจะมีสาเหตุมาจากแผ่นสแตนเลสที่บางทำให้น้ำหนักกดไม่มากพอ และเมื่อชันน็อตทำให้เกิดการโก่งตัวหรือโค้งงอ จึงทำให้โมดูลเยื่อเลือกผ่านมีโอกาสเกิดการรั่วได้มากกว่าการใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 5 มิลลิเมตร

ดังนั้นจึงเลือกใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 5 มิลลิเมตรในการประกอบโมดูลเยื่อเลือกผ่าน และสามารถสรุปได้ว่าการประกอบโมดูลด้วยเทคนิคดังกล่าวสามารถนำไปใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการแยกของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน

4.3.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออก

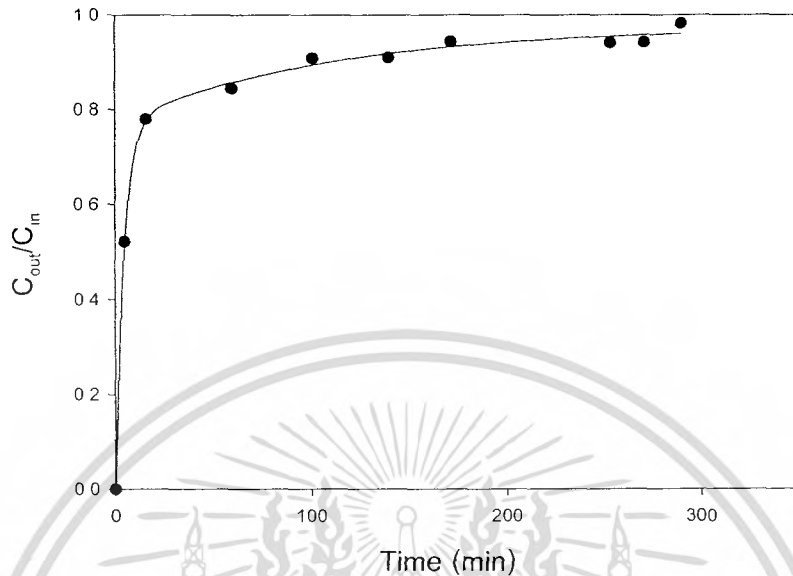
ในการทดสอบการรั่วของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน เมื่อเก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียสด้วยการใช้น้ำแข็ง โดยใช้อัตราเร็วของสารป้อน 60 กรัมต่อชั่วโมง จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลา ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลา ที่เก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออกที่อุณหภูมิต่ำกว่าด้วยการใช้น้ำแข็ง

ส่วนการเก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออกที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของเอทานอล (-114 องศาเซลเซียส) เหนือผิวไนโตรเจนเหลว ซึ่งใช้อัตราเร็วของสารป้อนเท่ากัน พบว่าได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลา ดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลา ที่เก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออกที่อุณหภูมิห้องเหนือผิวไนโตรเจนเหลว

จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 พบว่าการเก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออกด้วยการใช้น้ำแข็ง ที่สภาวะคงตัว (Steady state) มีค่า C_{out}/C_{in} เท่ากับ 0.93 ส่วนการเก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออกเหนือผิวไนโตรเจนเหลว ที่สภาวะคงตัวมีค่า C_{out}/C_{in} เท่ากับ 0.96 ซึ่งมีค่ามากกว่ากรณีที่ใช้น้ำแข็ง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออกเหนือผิวไนโตรเจนเหลวสามารถกักเก็บและควบแน่นไอของสารละลายเอทานอลที่ออกจากโมดูลเยื่อเลือกผ่านได้ดีกว่าการใช้น้ำแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากที่บริเวณเหนือผิวไนโตรเจนเหลวมีอุณหภูมิต่ำกว่าน้ำแข็ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การเก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออกเหนือผิวไนโตรเจนเหลว

4.4 การทดสอบประสิทธิภาพในการแยกของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน

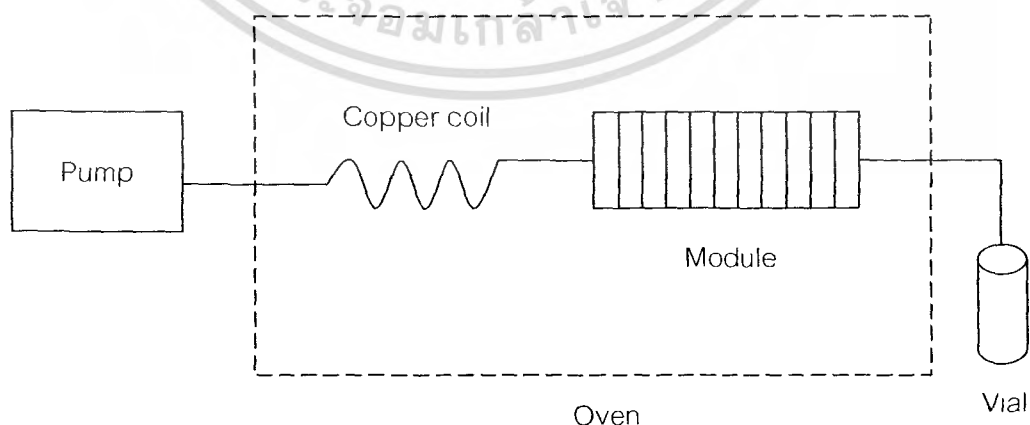
ในการทดสอบประสิทธิภาพในการแยกของโมดูลเยื่อเลือกผ่านจะใช้เยื่อเลือกผ่านจำนวน 5 ชั้น

4.4.1 ผลของการใช้ตู้อบในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ

ในกรณีที่ใช้ตู้อบที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นแหล่งให้ความร้อน เพื่อให้สารละลายเอทานอลที่ไหลเข้าสู่โมดูลเยื่อเลือกผ่านกลายเป็นไอ โดยใช้อัตราเร็วของสารป้อน 60 กรัมต่อชั่วโมง พบว่าสารละลายเอทานอลไม่สามารถเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอได้ทั้งหมด โดยสังเกตพบของเหลวบางส่วนค้างอยู่ในท่อซิลิโคน เนื่องจากตู้อบไม่สามารถให้พลังงานได้เพียงพอที่จะเปลี่ยนสถานะของสารละลายเอทานอลให้เป็นแก๊สได้ทั้งหมดที่อัตราเร็วของสารป้อนดังกล่าว ดังนั้นจึงไม่ได้นำโมดูลเยื่อเลือกผ่านมาทดสอบประสิทธิภาพในการแยกน้ำจากเอทานอล เนื่องจากเยื่อเลือกผ่านโคโตะซานจะสามารถแยกน้ำออกจากเอทานอลได้ในสภาวะที่เป็นไอ (Vapor permeation) เท่านั้น

4.4.2 ผลของการใช้ตู้อบที่มีชุดท่อทองแดงเพิ่มเข้ามาในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ

ในกรณีข้างต้นที่ใช้ตู้อบที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 110 องศาเซลเซียส พบว่าสารละลายเอทานอลไม่สามารถเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงทำการลดอัตราเร็วของสารป้อนลง และปรับเปลี่ยนระบบการให้ความร้อนแก่สารละลายเอทานอล โดยให้สารละลายเอทานอลไหลผ่านชุดท่อทองแดงยาว 5 เมตรก่อนเข้าสู่โมดูล ดังรูปที่ 4.15



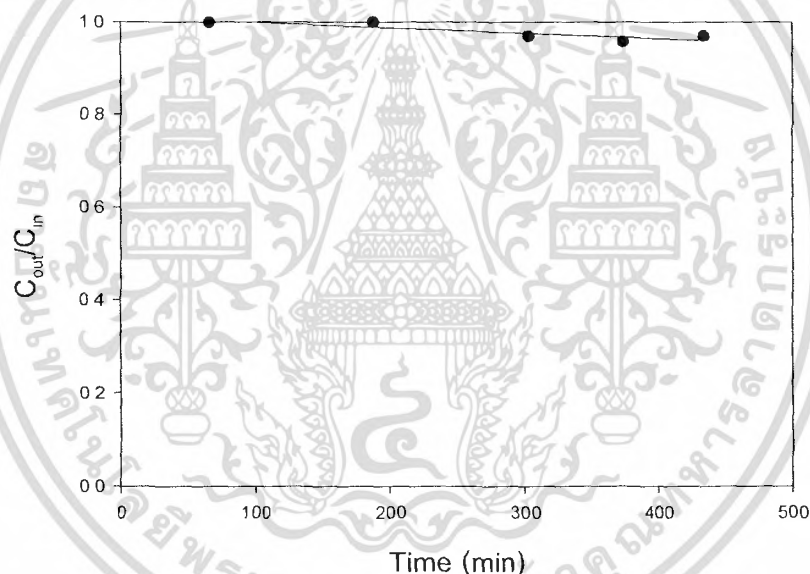
รูปที่ 4.15 ส่วนประกอบต่างๆ ในระบบการทดสอบประสิทธิภาพของโมดูลเยื่อเลือกผ่านที่มีการ

ใช้ชุดท่อทองแดง

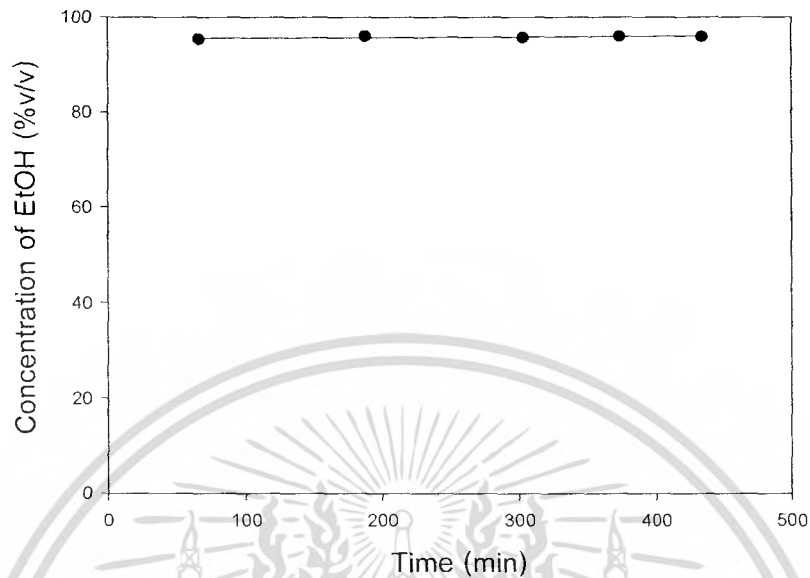
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกใช้ชุดท่อทองแดงเพิ่มเข้ามาในระบบการให้ความร้อนแก่สารละลายเอทานอล เนื่องจากโลหะทองแดงมีความสามารถในการนำความร้อน (Thermal conductivity) สูง เมื่อสารละลายเอทานอลเคลื่อนที่ผ่านชุดท่อทองแดงซึ่งอยู่ภายในตู้อบก่อนเข้าสู่โมดูล สารละลายเอทานอลจะมีโอกาสเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำได้มากขึ้น

จากการทดลองที่ใช้สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 96%v/v อัตราเร็ว 30 กรัมต่อชั่วโมง ในการทดสอบประสิทธิภาพการแยกของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน ที่ใช้ชุดท่อทองแดงเพิ่มเข้ามาในระบบการให้ความร้อนเพื่อทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ พบว่าได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลา ดังรูปที่ 4.16 และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของเอทานอลขาออก ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลา ที่ใช้ชุดท่อทองแดงเพิ่มเข้ามาในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ เมื่อใช้อัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง

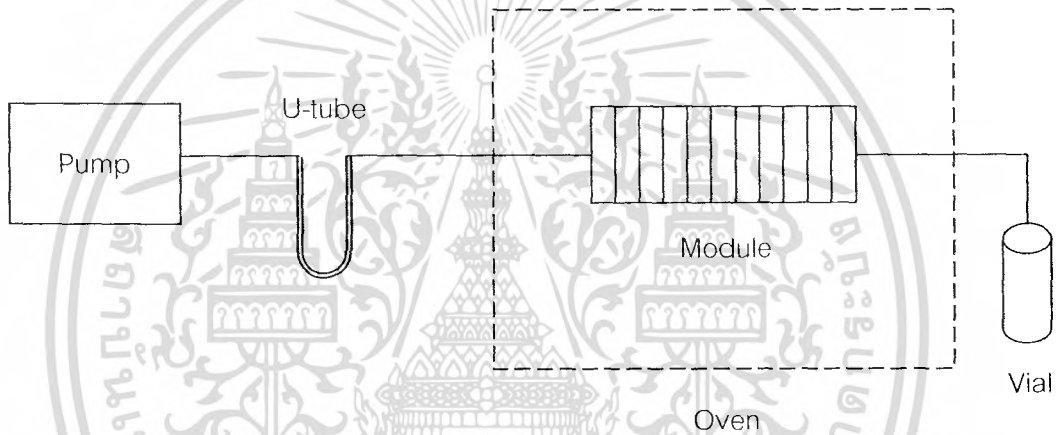


รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอทานอลที่ออกกับเวลาที่ใช้รดท่อทองแดงเพิ่มเข้ามาในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ และมีเอทานอลเข้า 96 %v/v อัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 4.16 พบว่าค่า C_{out}/C_{in} มีค่าประมาณ 0.98 และได้ค่า %Yield เท่ากับ 98 แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการประกอบโมดูลข้างต้นสามารถนำไปใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการแยกของโมดูลเยื่อเลือกผ่านได้ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของเอทานอลที่ขาออกยังคงเท่ากับความเข้มข้นของสารป้อนเริ่มต้นคือ 96%v/v (รูปที่ 4.17) แสดงว่าโมดูลเยื่อเลือกผ่านไม่สามารถทำให้สารละลายเอทานอลมีความบริสุทธิ์สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากระบบให้ความร้อนที่ใช้ทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอไม่มีพลังงานไม่มากพอที่จะเปลี่ยนให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอได้อย่างสมบูรณ์ การแยกระหว่างน้ำและเอทานอลผ่านเยื่อเลือกผ่านซึ่งเกิดขึ้นในสถานะแก๊สจึงไม่สามารถเกิดขึ้นได้ แม้ว่าจะใช้อัตราเร็วของสารป้อนช้าลง เพื่อให้มีเวลาในการแลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้นก็ตาม

4.4.3 ผลของการใช้ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube) ที่พันด้วยแผ่นเทปให้ความร้อน (Heating tape) ในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ

จากการที่สารละลายเอทานอลไม่สามารถกลายเป็นไอได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงทำการเปลี่ยนวิธีการในการให้ความร้อนแก่สารละลายเอทานอลโดยใช้ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube) ที่มีเม็ดแก้วขนาดเล็ก (Glass bead) บรรจุอยู่ภายใน แล้วพันท่อตัวยูดังกล่าวด้วยแผ่นเทปให้ความร้อน (Heating tape) และพันฉนวนความร้อนทับอีกชั้นหนึ่ง โดยให้ความร้อนที่ท่อตัวยูประมาณ 180 องศาเซลเซียส และตั้งอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสที่ตู้อบ เพื่อป้องกันการควบแน่นของไอของสารละลายเอทานอลที่มาจากท่อตัวยู ดังรูปที่ 4.18



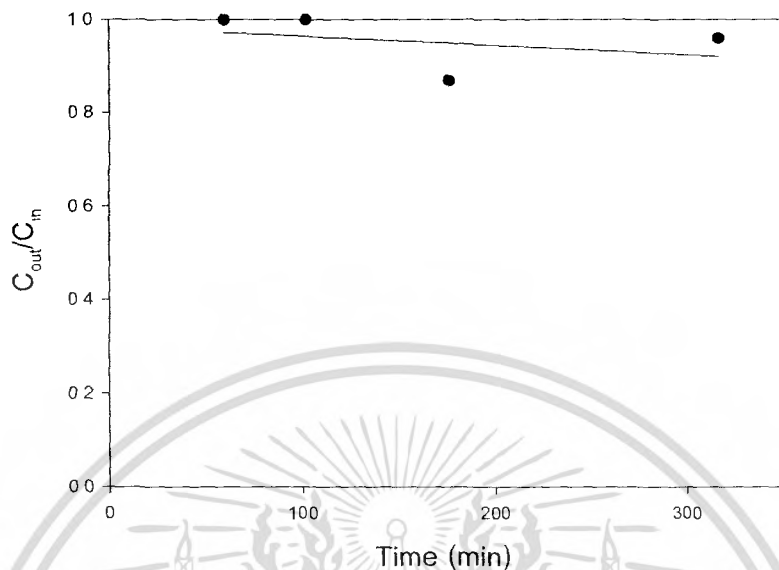
รูปที่ 4.18 ส่วนประกอบต่างๆ ในระบบการทดสอบประสิทธิภาพของโมดูลเยื่อเลือกผ่านที่มีการใช้ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube)

ในกรณีของการแยกสารประเภทอะซีโอโทรปิก (Azeotropic) ที่มีความเข้มข้นสูง (96%v/v) ในโมดูลเยื่อเลือกผ่านที่มีขนาดเล็ก อาจทำให้สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นได้ไม่ชัดเจน ดังนั้นจึงเลือกใช้เอทานอลที่มีความเข้มข้นลดลงเป็น 80%v/v ในการทดสอบประสิทธิภาพในการแยกน้ำจากเอทานอลของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน

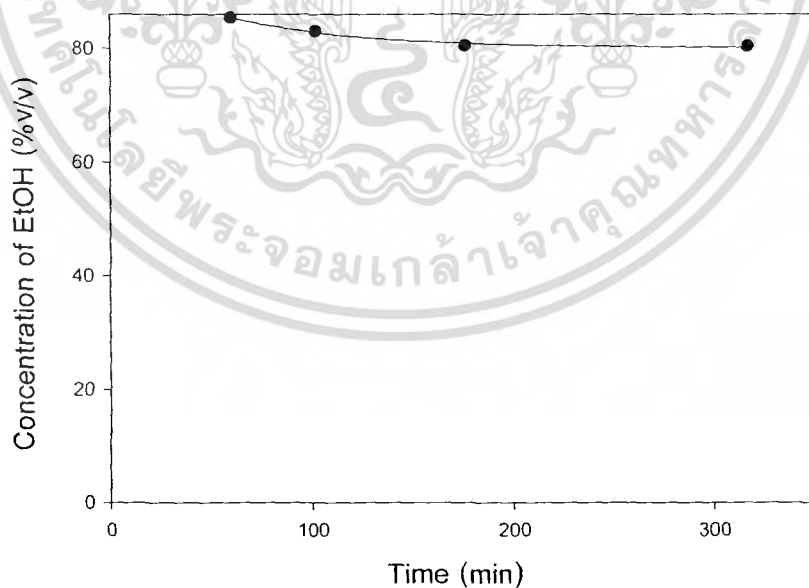
4.4.3.1 ผลของการใช้อัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง

จากการทดลองที่ใช้เอทานอลความเข้มข้น 80%v/v อัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง ในการทดสอบประสิทธิภาพการแยกของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน และใช้ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube) ในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ พบว่าได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลา ดังรูปที่ 4.19 และ

เอกสารประกอบชี้แจงความเข้มข้นของเอทานอลขาออก ดังรูปที่ 4.20. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



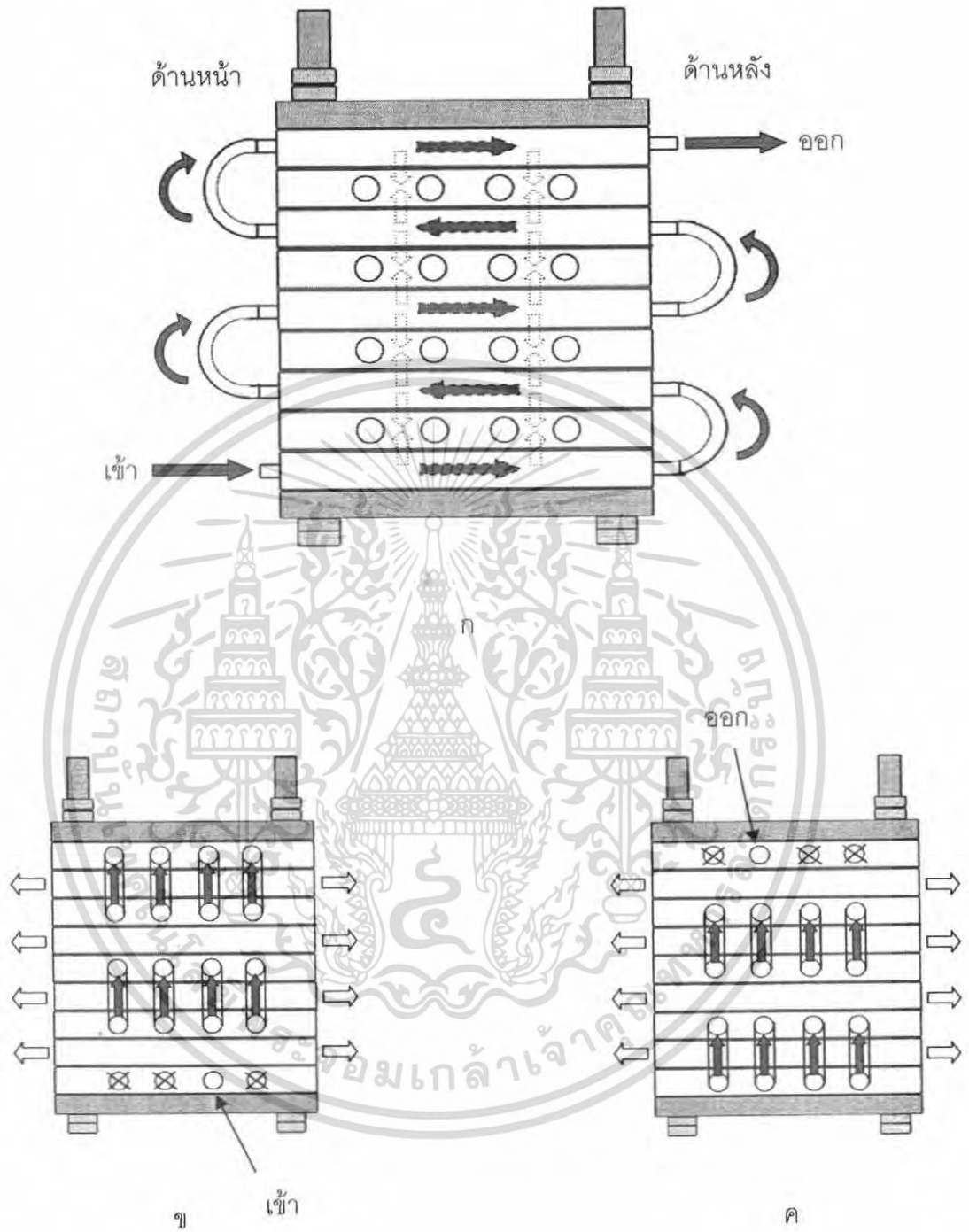
รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลาที่ใช้ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube) ในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ เมื่อใช้อัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอทานอลขาออกกับเวลาที่ใช้ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube) ในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ และมีเอทานอลขาเข้า 80 %v/v อัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการประกอบโมดูลเพื่อใช้ทดสอบความสามารถในการแยกของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน
 นี้มีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับค่า C_{out}/C_{in} ที่พบในช่วง 0.98-0.99 (รูปที่ 4.19) และได้ค่า %Yield
 อยู่ในช่วง 98-99 เมื่อพิจารณารูปที่ 4.20 พบว่าสารละลายเอทานอลขาออกมีความเข้มข้นสูงกว่า
 80%v/v ทั้งนี้เนื่องจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส แก่สารละลายเอทานอล
 โดยใช้ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube) ที่มีเม็ดแก้วขนาดเล็ก (Glass bead) บรรจุอยู่ภายใน สามารถ
 เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเม็ดแก้วกับสารละลายเอทานอล ทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็น
 ไอได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงทำให้เกิดการแยกโดยเยื่อเลือกผ่าน โดยไอของสารละลายเอทานอล
 จะเคลื่อนที่ภายในโมดูลเยื่อเลือกผ่าน ดังรูปที่ 4.21 เมื่อไอของสารละลายเอทานอลเคลื่อนที่เข้าสู่
 โมดูล โมเลกุลของน้ำและเอทานอลจะแพร่เข้าสู่บริเวณผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่าน และเกิดการดูด
 ซึบที่ผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่าน โดยเยื่อเลือกผ่านจะดูดซับโมเลกุลของน้ำได้มากกว่าโมเลกุล
 ของเอทานอล เนื่องจากเยื่อเลือกผ่านโคโตะซานมีสภาพขั้วที่ใกล้เคียงกับน้ำมากกว่า โมเลกุลที่
 เกิดการดูดซับนี้ (ซึ่งเป็นโมเลกุลของน้ำมากกว่าเอทานอล) จะแพร่ผ่านเยื่อเลือกผ่านเข้าสู่ชั้นที่ 2
 ด้วยผลของความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (Concentration gradient) จากบริเวณที่มีความเข้มข้นมาก
 ไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อย และจะเกิดการคายซับจากผิวเยื่อเลือกผ่าน จากนั้นจะมีโอกาส
 แพร่ออกจากโมดูลได้ทางช่องรูเปิดที่อยู่ในชั้นเลขคู่ (รูปที่ 4.21) ส่วนสารที่ไม่สามารถเคลื่อนที่
 ผ่านเยื่อเลือกผ่านได้ จะมีความเข้มข้นของเอทานอลสูงขึ้น โดยรีเทนเตนต์นี้จะเคลื่อนที่ต่อเนื่องเพื่อ
 ทำหน้าที่เป็นสารป้อนของชั้นถัดไป โมเลกุลของน้ำในรีเทนเตนต์จะเกิดการดูดซับบนผิวเยื่อเลือก
 ผ่าน และเกิดกลไกดังกล่าวข้างต้นที่เยื่อเลือกผ่านทุกชั้น ทำให้เกิดการแยกน้ำออกจากเอทานอล
 ได้มากขึ้น เสมือนเป็นการดึงน้ำออกจากเอทานอลอย่างต่อเนื่อง ทำให้รีเทนเตนต์มีความเข้มข้น
 ของเอทานอลสูงขึ้น



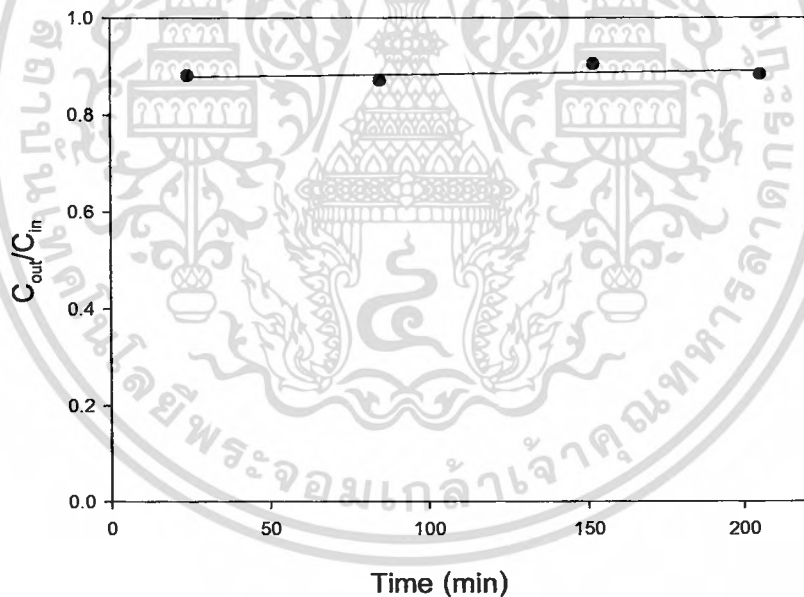
รูปที่ 4.21 ทิศทางการไหลของเพอร์มิเอตและลิเทียมเทต ก) ด้านข้าง ข) ด้านหน้า และ ค) ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

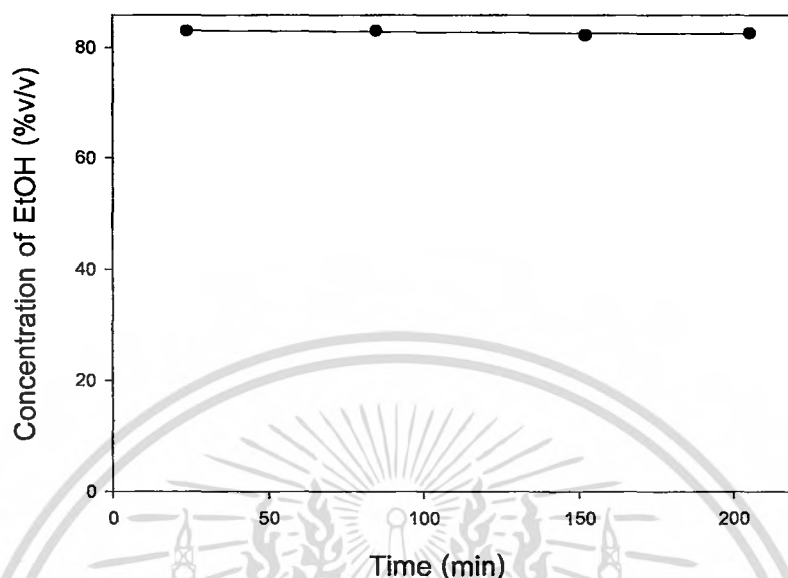
จากรูปที่ 4.20 พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป ความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลขาออกมีค่าลดลง เนื่องจากในตอนเริ่มต้นเยื่อเลือกผ่านยังคงปราศจากโมเลกุลใดๆ โขของสารละลายเอทานอลที่เคลื่อนที่เข้ามาจึงมีโอกาสที่จะเกิดการดูดซับและแพร่ผ่านได้มาก ซึ่งส่งผลให้เยื่อเลือกผ่านมีความสามารถในการแยกสูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปบริเวณผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่านจะเต็มไปด้วยโมเลกุลของสารที่เกิดการดูดซับ ดังนั้นโมเลกุลที่เข้ามาใหม่จึงมีโอกาสที่จะดูดซับได้น้อยลง ส่งผลให้เอทานอลที่ออกจากโมดูลมีความเข้มข้นลดลง

4.4.3.2 ผลของการใช้อัตราเร็วของสารป้อน 15 กรัมต่อชั่วโมง

เมื่อลดอัตราเร็วของสารป้อนเป็น 15 กรัมต่อชั่วโมง พบว่าได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของโฆของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลา ดังรูปที่ 4.22 และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของเอทานอลขาออก ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอัตราการไหลของโฆของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้ากับเวลาที่ใช้ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube) ในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ เมื่อใช้อัตราเร็วของสารป้อน 15 กรัมต่อชั่วโมง



รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอทานอลขาออกกับเวลา ที่ใช้ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube) ในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ และมีเอทานอลขาเข้า 80 %v/v อัตราเร็วของสารป้อน 15 กรัมต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 4.22 พบว่า C_{out}/C_{in} มีค่าประมาณ 0.90 และได้ %Yield เท่ากับ 90 เมื่อพิจารณารูปที่ 4.23 พบว่าการใช้อัตราเร็วของสารป้อน 15 กรัมต่อชั่วโมง ให้เอทานอลขาออกที่มีความเข้มข้นคงที่ประมาณ 83%v/v เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.20 ซึ่งใช้อัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง แม้ว่าในช่วงแรกสารละลายเอทานอลจะมีความเข้มข้นสูงถึง 86%v/v แต่เมื่อเวลาผ่านไปความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลลดลงเป็น 81%v/v เนื่องจากเมื่อป้อนไอของสารละลายเอทานอลที่มีอัตราเร็วสูง (30 กรัมต่อชั่วโมง) เข้ามายังเยื่อเลือกผ่าน โมเลกุลของน้ำจะเกิดการดูดซับที่บริเวณผิวหน้าของเยื่อเลือกผ่านเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดความเข้มข้นที่แตกต่างกันมากระหว่างผิวของเยื่อเลือกผ่าน (ดังกลไกการแยกน้ำออกจากเอทานอลผ่านเยื่อเลือกผ่านในหัวข้อที่ 4.4.3.1) เป็นผลให้โมเลกุลของน้ำสามารถแยกออกมาได้มากขึ้นเนื่องจากผลของแรงขับนี้ ดังนั้นความเข้มข้นของสารละลายเอทานอลในช่วงแรกจึงมีค่าสูง (86%v/v) แต่เมื่อเวลาผ่านไปโมเลกุลที่เกิดการดูดซับไม่สามารถคายซับได้ทันก่อนที่โมเลกุลใหม่จะเคลื่อนที่เข้ามา ดังนั้นโมเลกุลที่เข้ามาภายหลังจึงไม่เกิดการแยก เป็นผลให้เอทานอลที่ขาออกมีความเข้มข้นลดลงเป็น 81%v/v ส่วนในกรณีที่ใช้อัตราเร็วของสารป้อนต่ำ (15 กรัมต่อชั่วโมง) กระบวนการดูดซับและ

คายซ์บจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ได้ทันก่อนที่โมเลกุลใหม่จะเคลื่อนที่เข้ามาดูดยบ ดังนั้นจึงพบว่า ความเข้มข้นของเอทานอลซาออกมีค่าคงที่ (83%v/v)

เมื่อเปรียบเทียบค่า %Yield ของการใช้อัตราเร็วของสารป้อนที่แตกต่างกันที่สภาวะคงตัว พบว่าเมื่อใช้อัตราเร็วของสารป้อนต่ำ (15 กรัมต่อชั่วโมง) จะให้ค่า %Yield ที่ต่ำกว่า (90%) เนื่องจากโมเลกุลสามารถดูดยบและคายซ์บออกจากโมดูลเยื่อเลือกผ่านได้มากกว่า และมีประสิทธิภาพในการแยกสูง (ความเข้มข้นของเอทานอลซาออก 83%v/v) ในทางตรงกันข้ามเมื่อใช้อัตราเร็วของสารป้อนสูง (30 กรัมต่อชั่วโมง) จะให้ค่า %Yield ที่สูงกว่า (98-99%) แต่มี ประสิทธิภาพในการแยกต่ำ (ความเข้มข้นของเอทานอลซาออก 81%v/v)



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ทำการออกแบบและประกอบโมดูลเยื่อเลือกผ่านไคโตซานเพื่อใช้ในการแยกน้ำออกจากเอทานอล โดยใช้แผ่นพอลิพรอพิลีนเป็นกรอบของโมดูล และใช้แผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 5 มิลลิเมตรในการประกบด้านหัวและท้ายเพื่อประกอบเป็นโมดูล เนื่องจากทำให้โมดูลมีโอกาสเกิดการรั่วได้ต่ำกว่า และพบว่าวิธีการที่ใช้ในการประกอบโมดูลดังกล่าวมีประสิทธิภาพ โดยพิจารณาจากค่าสัดส่วนระหว่างอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้า (C_{out}/C_{in}) ที่ใกล้เคียง 1.0 โดยในการทดสอบประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากเอทานอลของโมดูลจะใช้ท่อโลหะรูปตัวยู (U-tube) ที่พันด้วยแผ่นเทปให้ความร้อน (Heating tape) ในการทำให้สารละลายเอทานอลกลายเป็นไอ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนสารละลายเอทานอลให้กลายเป็นไอได้อย่างสมบูรณ์ และเลือกวิธีการเก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออกเหนือผิวของไนโตรเจนเหลว เนื่องจากสามารถควบแน่นไอของสารละลายได้ดี

การทดสอบประสิทธิภาพในการแยกน้ำออกจากเอทานอลของโมดูลเยื่อเลือกผ่านไคโตซานความหนา 35 ± 5 ไมโครเมตร ซึ่งเตรียมจากเทคนิคการเคลือบหมุน (Spin coating) ด้วยความเร็ว 250 รอบต่อนาที โดยป้อนเอทานอลที่มีความเข้มข้น 80%v/v ด้วยอัตราเร็ว 15 และ 30 กรัมต่อชั่วโมง พบว่าที่อัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง ได้เอทานอลขาออกที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 86%v/v และลดลงเหลือ 81%v/v โดยได้ค่า %Yield อยู่ในช่วง 98-99 เนื่องจากเมื่อใช้อัตราเร็วของสารป้อนที่ 30 กรัมต่อชั่วโมง จะทำให้เกิดความเข้มข้นที่แตกต่างกันมากระหว่างผิวของเยื่อเลือกผ่าน ดังนั้นในช่วงต้นประสิทธิภาพในการแยกจึงสูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปโมเลกุลไม่สามารถคายซับได้ทันก่อนที่โมเลกุลใหม่จะเข้ามาดูดซับ จึงทำให้ความสามารถในการแยกลดลง %Yield จึงมีค่าสูง ส่วนที่อัตราเร็วของสารป้อน 15 กรัมต่อชั่วโมง ได้เอทานอลขาออกมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 83%v/v และได้ %Yield เท่ากับ 90 เนื่องจากเมื่อใช้อัตราเร็วของสารป้อนที่ 15 กรัมต่อชั่วโมง การดูดซับและคายซับของโมเลกุลจากผิวเยื่อเลือกผ่านจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ก่อนที่โมเลกุลใหม่จะเข้ามาดูดซับ ความสามารถในการแยกจึงมีค่าสูง ส่งผลให้ %Yield ลดลง

ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรเพิ่มจำนวนชั้นของเยื่อเลือกผ่าน หรือใช้อัตราเร็วของสารป้อนที่ต่ำลง เช่น 7.5 กรัมต่อชั่วโมง เพื่อให้ประสิทธิภาพในการแยกของโมดูลเยื่อเลือกผ่านดียิ่งขึ้น
- 2) ควรใช้แก๊สพา (Carrier gas) ในการพาเพอร์มิเอตออกจากโมดูลเยื่อเลือกผ่าน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแยก
- 3) ควรศึกษาผลของการใช้เยื่อเลือกผ่านที่บางลง เพื่อเพิ่มค่าฟลักซ์ แต่อย่างไรก็ตาม จะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการแยกด้วย
- 4) ควรปรับปรุงความสามารถในการนำความร้อนของโมดูลเยื่อเลือกผ่าน เพื่อป้องกันไม่ให้โอของสารละลายเอทานอลเกิดการควบแน่นภายในโมดูลได้
- 5) ควรทดลองใช้โมดูลเยื่อเลือกผ่านโคโคซานในการแยกสารละลายผสมอื่นที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ



เอกสารอ้างอิง

- [1] พงษ์ศักดิ์ ศิริศรัย, สุธี เตตติวงศ์ และสุรภาส สิทธิสา. 2547. **การปรับปรุงเยื่อเลือกผ่านไคโตซานสำหรับการแยกน้ำออกจากเอทานอล**. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [2] วรภัทร วิริยาอุทร, วสวัตดี บุญปรีชา และสุดาร์ตน์ พัฒนาไพบูลย์กุล. 2548. **การปรับปรุงเยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอเพื่อใช้สำหรับการแยกน้ำจากเอทานอล**. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [3] ศศิธร อินทรชิต, สุจิตรา กรมทิน และสุรียพร โรจน์วรรณันท์. 2549. **ผลของการเชื่อมโยงที่มีผลต่อการแยกน้ำจากเอทานอลโดยใช้เยื่อเลือกผ่านไคโตซานผสมซีโอไลต์โซเดียมเอ**. โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] กระทรวงพลังงาน. 2549. **การผลิตแก๊สโซฮอลล์**. [Online]. Available: <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=517>
- [5] กระทรวงพลังงาน. 2549. **การผลิตแก๊สโซฮอลล์**. [Online]. Available: <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=518>
- [6] ชันทอง สุนทรภา. 2547. **เทคโนโลยีการแยกด้วยเมมเบรน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 2-19.
- [7] R.W.Baker. **Membrane Technology and Applications**. John Wiley & sons. New York. 1-14.
- [8] GE. 2006. **Water and Process Technologies**. [Online]. Available: http://www.gewater.com/library/tp/1159_produced_Water.jsp
- [9] กมลวรรณ อภิภาณิชย์. 2538. **การสังเคราะห์เยื่อเลือกผ่านเพื่อใช้แยกน้ำออกจากสารผสมบิวทานอล-น้ำโดยกระบวนการเพอร์แวนพอเรชั่น**. โครงการงานพิเศษวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 21-37.

- [10] สถาบันวิจัยและพัฒนา องค์การเภสัชกรรม. 1997. **ไคตินและไคโตซาน**. [Online].
Available: <http://www.gpo.or.th/rdi/html/index.html>
- [11] ศูนย์ชีวภาพไคติน-ไคโตซาน. 2005. **การประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตซาน**. [Online].
Available: <http://www.material.chula.ac.th/chitosan/chitosan%20in%20thailand/3applications.pdf>
- [12] <http://www.kitosato-u.ac.jp/131/chitin/chitin.html>
- [13] Y.J. Fu, C.C. Hu, K.R. Lee and J.Y. Lai. 2006. Separation of ethanol/water mixtures by pervaporation through zeolite-filled polysulfone membrane containing 3-aminopropyltrimethoxysilane. **Desalination**. vol. 193: 119-128.
- [14] R.Y.M. Huang, R. Pal and G.Y. Moon. 1999. Characteristics of sodium alginate membranes for the pervaporation dehydration of ethanol-water and isopropanol-water mixtures. **Journal of Membrane Science**. Vol. 160: 101-113.
- [15] S.H. Chen, K.C. Yu, S.S. Lin, D.J. Chang and R.M. Liou. 2001. Pervaporation separation of water/ethanol mixture by sulfonated polysulfone membrane. **Journal of Membrane Science**. vol. 183: 29-36.
- [16] I.F.J. Vankelecom, D. Depra, S.D. Beukelaer and J.B. Uytterhoeven. 1995. Influence of zeolites in PDMS Membrane: Pervaporation of water/alcohol Mixtures. **The Journal of Physical Chemistry**. vol. 99: 13193-13197.
- [17] Y.L. Liu, C.H. Yu, K.R. Lee and J.Y. Lai. 2007. Chitosan/poly(tetrafluoroethylene) composite membrane using in pervaporation dehydration process. **Journal of Membrane Science**, vol. 287: 230-236.
- [18] K.R. Lee, M.Y. Teng, H.H. Lee and J.Y. Lai. 2000. Dehydration of ethanol/water mixtures by pervaporation with composite membrane of polyacrylic acid and plasma-treated polycarbonate. **Journal of Membrane Science**. vol. 164: 13-23.
- [19] J. Marriott and E. Sorensen. 2003. A general approach to modeling membrane modules. **Chemical Engineering Science**. vol. 58: 4975-4990.
- [20] 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

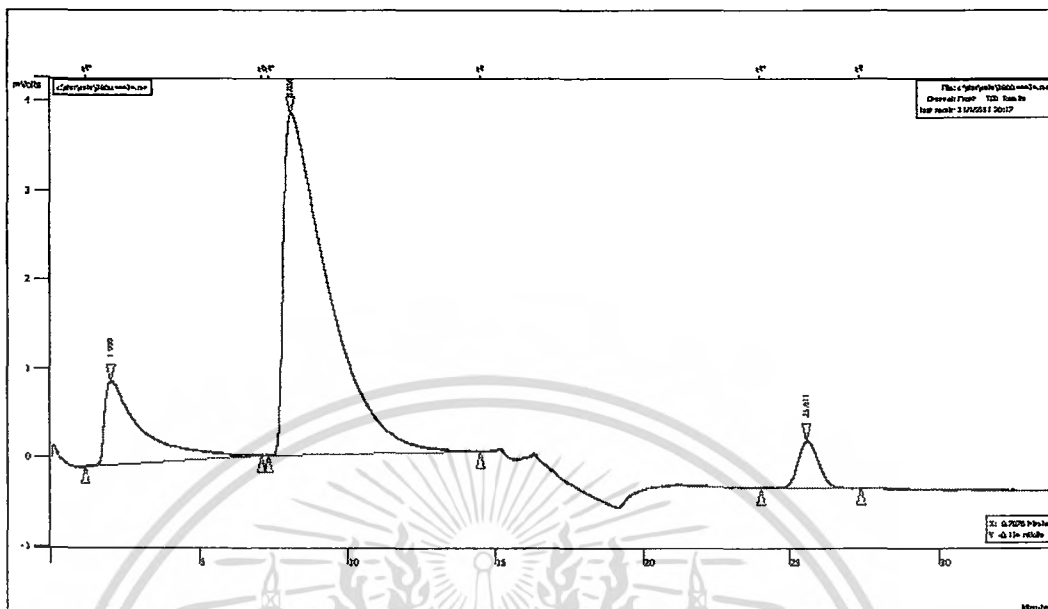
- [21] X.P. Wang, Y.F. Feng and Z.Q. Shen. 2000. A novel composite chitosan membrane for the separation of alcohol-water mixtures. **Journal of Membrane Science**. Vol. 109: 191-198.
- [22] J.H. Kim, J.Y. Kim, Y.M. Lee and K.Y. Kim. 1992. Properties and swelling characteristics of cross-linked poly(vinyl alcohol)/chitosan blend membrane. **Journal of Applied Polymer Science**. Vol. 45: 1711-1717.



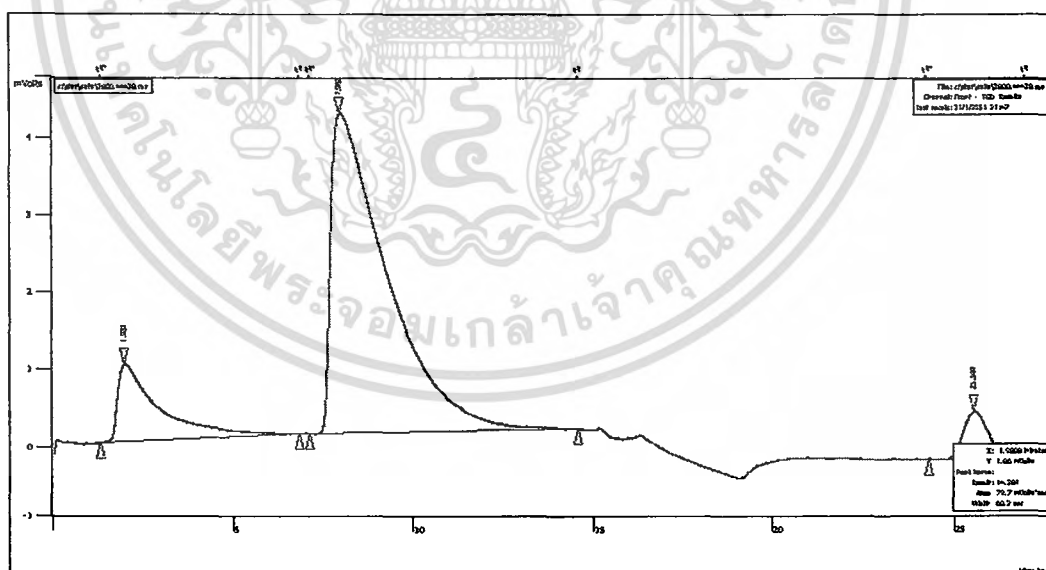
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

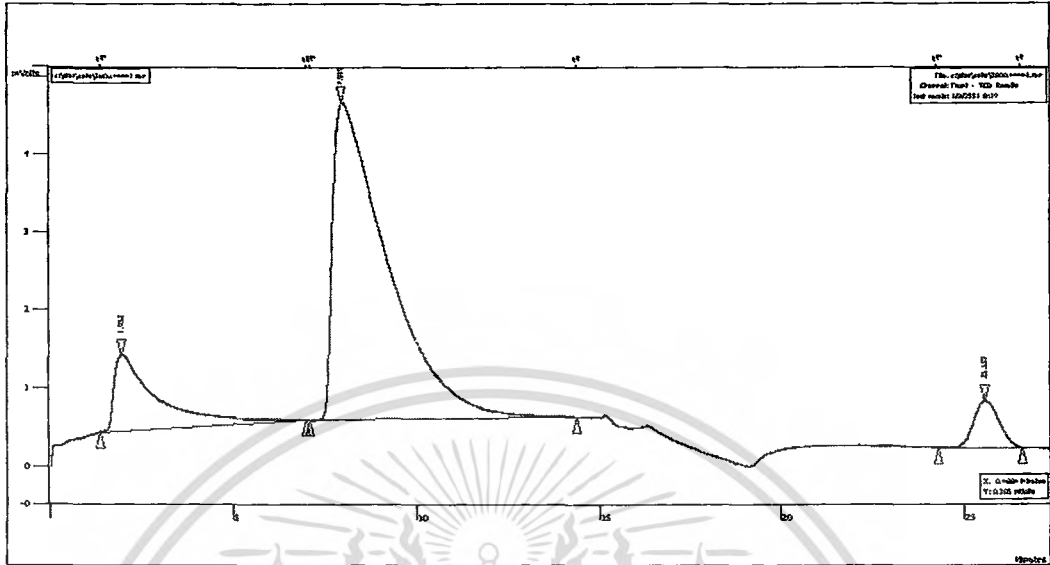


รูปที่ ก.1 โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ชุดท่อทองแดง) ที่ 66 นาที

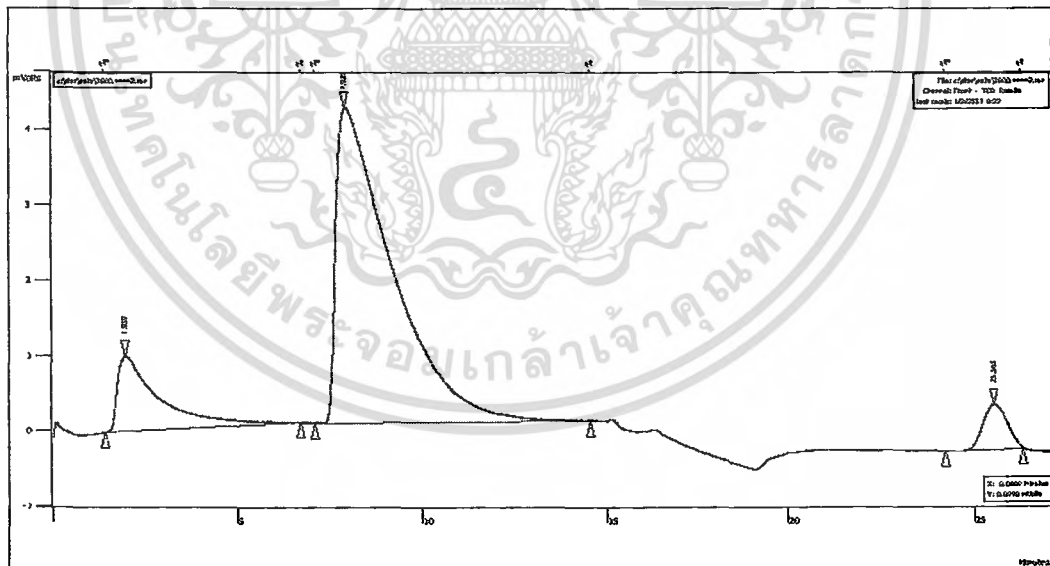


รูปที่ ก.2 โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ชุดท่อทองแดง) ที่ 188 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

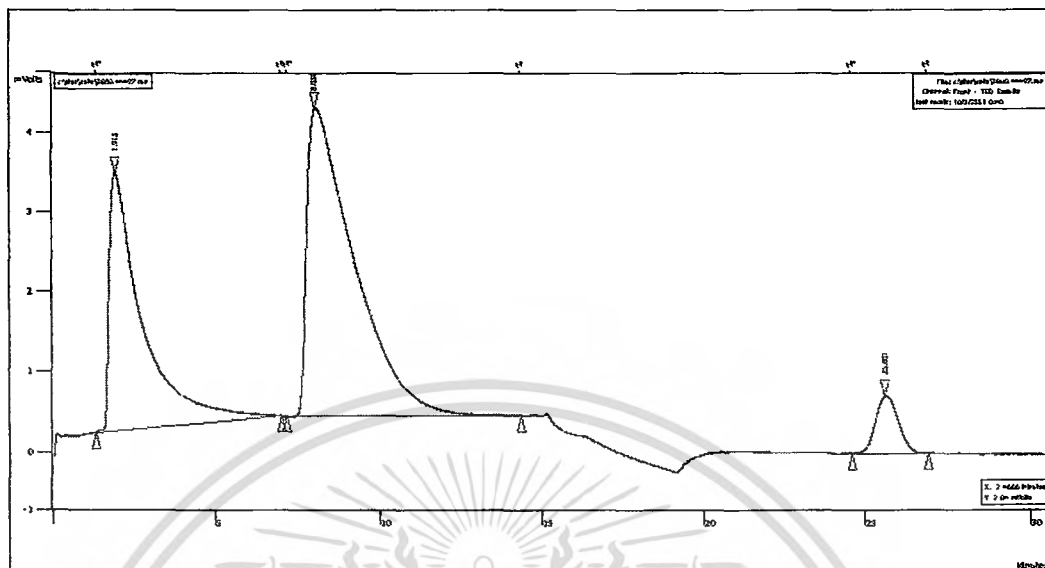


รูปที่ ก.3 โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพไมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ชุดท่อทองแดง) ที่ 303 นาที

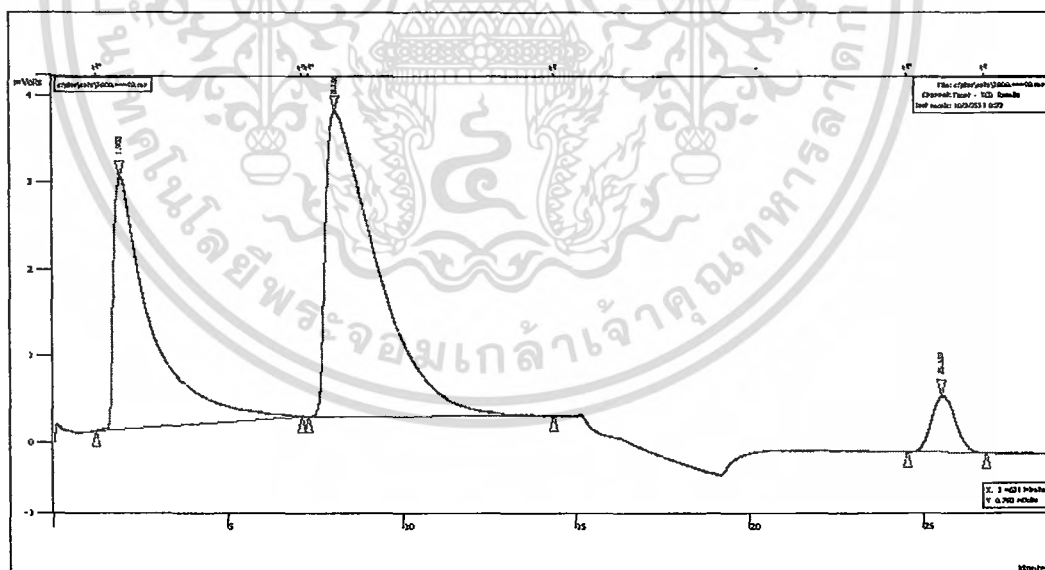


รูปที่ ก.4 โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพไมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ชุดท่อทองแดง) ที่ 373 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

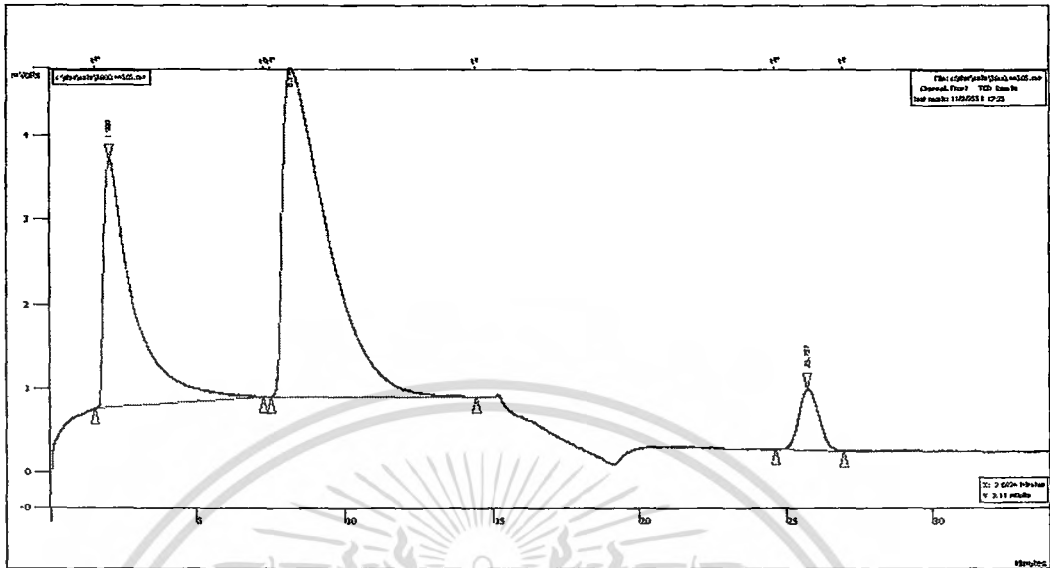


รูปที่ ก.9 โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพไมคูลเยื่อเลือกผ่าน
(ท่อโลหะรูปตัวยู, 30กรัมต่อชั่วโมง) ที่ 176 นาที



รูปที่ ก.10 โครมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพไมคูลเยื่อเลือกผ่าน
(ท่อโลหะรูปตัวยู, 30กรัมต่อชั่วโมง) ที่ 317 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.15 โคโรมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพไมคูลเยื่อเลือกผ่าน (ท่อโลหะรูปตัวยู, 15กรัมต่อชั่วโมง) ที่ 206 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ค่าสัดส่วนของอัตราการใช้ของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้า
ที่เวลาต่างๆ ในกรณีที่ใช้แผ่นสแตนเลสหนา 1 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	C_{out}/C_{in}
0	0.00
8	0.64
24	0.76
40	0.80
57	0.85
71	0.85
92	0.85
106	0.84
120	0.91
134	0.92
239	0.93
259	0.92
287	0.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ค่าสัดส่วนของอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้า
ที่เวลาต่างๆ ในกรณีที่ใช้แผ่นสแตนเลสหนา 5 มิลลิเมตร

เวลา (นาที)	C_{out}/C_{in}
0	0.00
5	0.52
16	0.78
60	0.84
101	0.91
140	0.91
172	0.94
254	0.94
271	0.94
290	0.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ค่าสัดส่วนของอัตราไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้า
ที่เวลาต่างๆ เมื่อทำการเก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออกที่อุณหภูมิต่ำ
ด้วยน้ำแข็ง

เวลา (นาที)	C_{out}/C_{in}
23	0.69
43	0.78
61	0.85
80	0.85
105	0.86
124	0.85
142	0.89
160	0.88
178	0.92
196	0.92
214	0.92
232	0.93
249	0.92
266	0.92
283	0.93
306	0.94
323	0.93
340	0.93
357	0.93
375	0.93
392	0.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ค่าสัดส่วนของอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้า
ที่เวลาต่างๆ เมื่อทำการเก็บไอของสารละลายเอทานอลขาออกที่อุณหภูมิค่า
เหนือผิวไนโตรเจนเหลว

เวลา (นาที)	C_{out}/C_{in}
0.0	0.00
5.0	0.52
16.0	0.78
60.0	0.84
101.0	0.91
140.0	0.91
172.0	0.94
253.5	0.94
270.5	0.94
290.0	0.98

ตารางที่ ข.5 ค่าสัดส่วนของอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้า
ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ชุดท่อทองแดงเพิ่มเข้ามาในการทำให้สารละลายเอทานอล
กลายเป็นไอ

เวลา (นาที)	C_{out}/C_{in}
66	1.00
188	1.00
303	0.97
373	0.96
435	0.97

ตารางที่ ข.6 ค่าสัดส่วนของอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้า ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ท่อโลหะรูปตัวยูในการทำให้สารละลายเอทานอล กลายเป็นไอ ที่อัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	C_{out}/C_{in}
60	1.00
102	1.00
176	0.87
317	0.96

ตารางที่ ข.7 ค่าสัดส่วนของอัตราการไหลของไอของสารละลายเอทานอลขาออกต่อขาเข้า ที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้ท่อโลหะรูปตัวยูในการทำให้สารละลายเอทานอล กลายเป็นไอ ที่อัตราเร็วของสารป้อน 15 กรัมต่อชั่วโมง

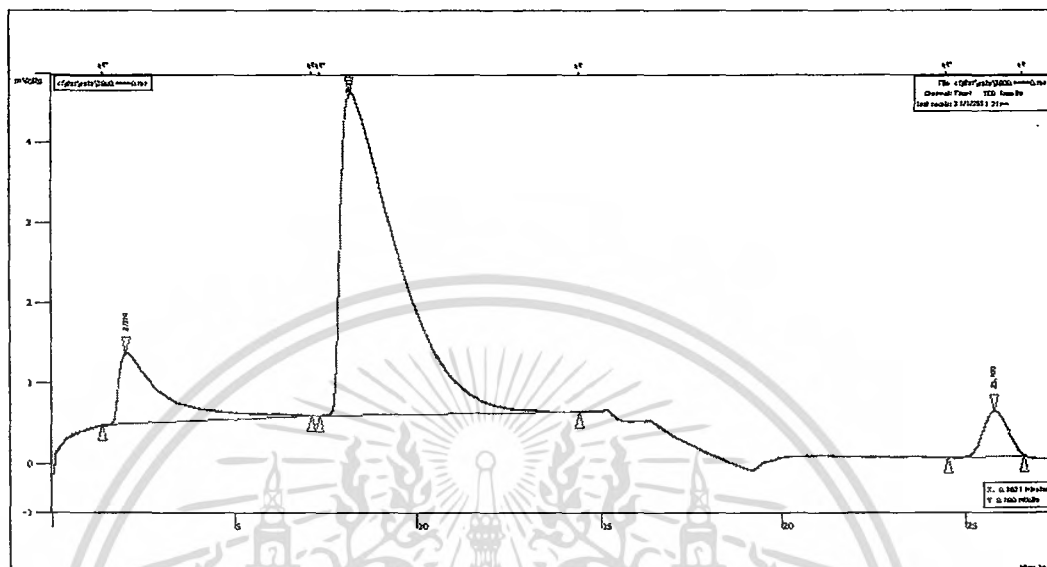
เวลา (นาที)	C_{out}/C_{in}
24	0.88
85	0.87
152	0.91
206	0.88



ภาคผนวก ค
การคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาความเข้มข้นของเอทานอลขาออก

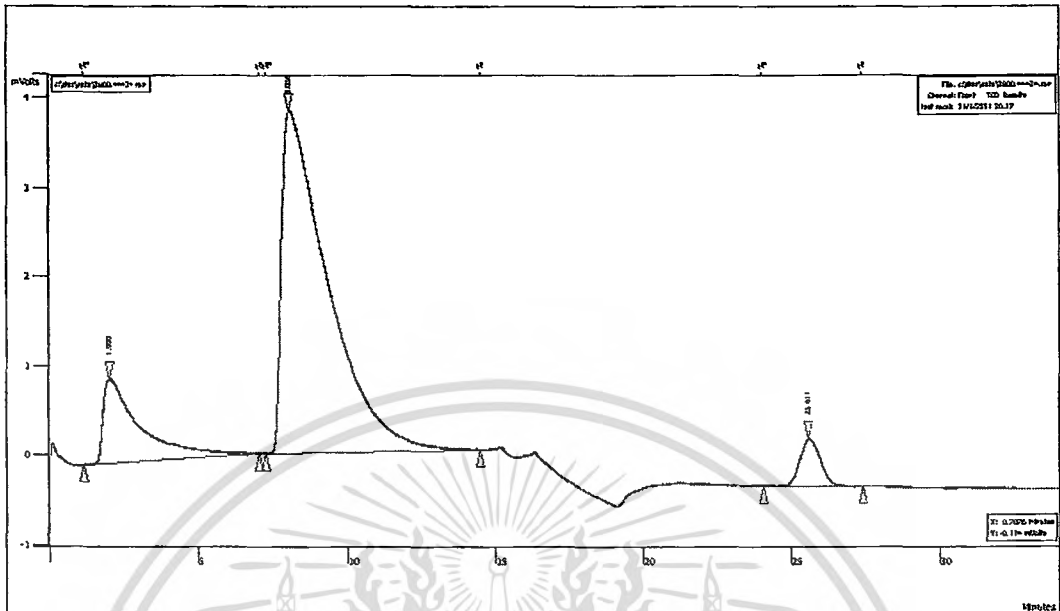


รูปที่ ค.1 โครมาโทแกรมของเอทานอลที่มีความเข้มข้น 96%v/v

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลจากโครมาโทแกรมของเอทานอลที่มีความเข้มข้น 96%v/v

ข้อมูล	ค่า
พื้นที่ใต้กราฟของน้ำ	74754
พื้นที่ใต้กราฟของเอทานอล	433797
พื้นที่ใต้กราฟของโทลูอีน	25574

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 โคโรมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ชุดท่อทองแดง) ที่ 66 นาที

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลจากโคโรมาโทแกรมของการทดสอบประสิทธิภาพโมดูลเยื่อเลือกผ่าน (ชุดท่อทองแดง) ที่ 66 นาที

ข้อมูล	ค่า
พื้นที่ใต้กราฟของน้ำ	82687
พื้นที่ใต้กราฟของเอทานอล	408633
พื้นที่ใต้กราฟของโทลูอีน	25539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Area ratio ของน้ำ} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของน้ำ}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของโทลูอิน}}$$

$$\text{Area ratio ของน้ำ (เอทานอล 96\%v/v)} = \frac{74754}{25574} = 2.92$$

$$\text{Area ratio ของน้ำ (กรณีที่ใช้ชุดท่อทองแดง ที่เวลา 66 นาที)} = \frac{82687}{25539} = 3.24$$

$$\text{Area ratio ของเอทานอล} = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟของเอทานอล}}{\text{พื้นที่ใต้กราฟของโทลูอิน}}$$

$$\text{Area ratio ของเอทานอล (เอทานอล 96\%v/v)} = \frac{433797}{25574} = 16.96$$

$$\text{Area ratio ของเอทานอล (กรณีที่ใช้ชุดท่อทองแดง ที่เวลา 66 นาที)} = \frac{408633}{25539} = 16.00$$

$$\text{Area ratio ของน้ำ} = 2.92 \text{ มีความเข้มข้นของน้ำ} = 4\%v/v$$

$$\begin{aligned} \text{Area ratio ของน้ำ} = 3.24 \text{ มีความเข้มข้นของน้ำ} &= \frac{4 \times 3.24}{2.92} \\ &= 4.43\%v/v \end{aligned}$$

$$\text{Area ratio ของเอทานอล} = 16.96 \text{ มีความเข้มข้นของเอทานอล} = 96\%v/v$$

$$\begin{aligned} \text{Area ratio ของเอทานอล} = 16.00 \text{ มีความเข้มข้นของเอทานอล} &= \frac{96 \times 16.00}{16.96} \\ &= 90.56\%v/v \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \% \text{ ความเข้มข้นของน้ำที่ Normalize} &= \frac{\text{ความเข้มข้นของน้ำ} \times 100}{\text{ความเข้มข้นของน้ำ} + \text{ความเข้มข้นของเอทานอล}} \\ &= \frac{4.43 \times 100}{4.43 + 90.56} = 4.66\%v/v \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ ความเข้มข้นของเอทานอลที่ Normalize} &= \frac{\text{ความเข้มข้นของเอทานอล} \times 100}{\text{ความเข้มข้นของน้ำ} + \text{ความเข้มข้นของเอทานอล}} \\ &= \frac{90.56 \times 100}{4.43 + 90.56} = 95.34\%v/v \end{aligned}$$

การคำนวณหา %Yield

$$\begin{aligned} \%Yield &= \frac{C_{out}}{C_{in}} \times 100 \\ \text{จากตารางที่ ข.5 ที่เวลา 66 นาที มีค่า } C_{out}/C_{in} \text{ เท่ากับ } 1.00 \\ \text{ดังนั้น } \%Yield &= 1.00 \times 100 \\ &= 100 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลจากการคำนวณหา %ความเข้มข้นของเอทานอล กรณีที่ใช้ชุดท่อทองแดง

เวลา (นาที)	พื้นที่ใต้กราฟ			Area ratio ของน้ำ	% ความเข้มข้น ของน้ำ	Area ratio ของเอทานอล	% ความเข้มข้น ของเอทานอล	%ความเข้มข้น ที่ Normalize	
	น้ำ	เอทานอล	โทลูอีน					น้ำ	เอทานอล
96%v/v	74754	433797	25574	2.9230	4.0000	16.9624	96.0000	4.0000	96.0000
66	82687	408633	25539	3.2377	4.4305	16.0004	90.5551	4.6644	95.3356
188	79678	449004	29258	2.7233	3.7266	15.3464	86.8538	4.1142	95.8858
303	79585	426271	27602	2.8833	3.9456	15.4435	87.4035	4.3193	95.6807
373	79249	447500	27005	2.9346	4.0158	16.5710	93.7848	4.1061	95.8939
435	68245	382838	25364	2.6906	3.6819	15.0938	85.4242	4.1321	95.8679

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลจากการคำนวณหา %ความเข้มข้นของเอทานอล กรณีที่ใช้ท่อโลหะรูปตัวยู และอัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง

เวลา (นาท)	พื้นที่ใต้กราฟ			% ความเข้มข้น ของน้ำ		% ความเข้มข้น ของเอทานอล		%ความเข้มข้น ที่ Normalize	
	น้ำ	เอทานอล	โทลูอีน	Area ratio ของน้ำ	Area ratio ของเอทานอล	Area ratio ของเอทานอล	Area ratio ของเอทานอล	น้ำ	เอทานอล
80%v/v	219653	353249	30229	7.2663	20.0000	11.6858	80.0000	20.0000	80.0000
60	183149	432448	36853	4.9697	13.6788	11.7344	80.3330	14.5501	85.4499
102	202043	400747	34685	5.8251	16.0332	11.5539	79.0973	16.8539	83.1461
176	226298	386179	33624	6.7303	18.5246	11.4852	78.6271	19.0677	80.9323
31	216430	357932	30257	7.1531	19.6883	11.8297	80.9855	19.5565	80.4435

ตารางที่ ค.5 ข้อมูลจากการคำนวณหา %ความเข้มข้นของเอทานอล กรณีที่ใช้ท่อโลหะรูปตัวยู และอัตราเร็วของสารป้อน 15 กรัมต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	พื้นที่ได้กราฟ			Area ratio	% ความเข้มข้น	Area ratio	% ความเข้มข้น	%ความเข้มข้น ที่ Normalize	
	น้ำ	เอทานอล	โทลูอีน	ของน้ำ	ของน้ำ	ของเอทานอล	ของเอทานอล	น้ำ	เอทานอล
80%v/v	219653	353249	30229	7.2663	20.0000	11.6858	80.0000	20.0000	80.0000
24	193564	382941	33084	5.8507	16.1036	11.5748	79.2404	16.8900	83.1100
85	185431	367377	31980	5.7983	15.9595	11.4877	78.6441	16.8699	83.1301
152	225744	421598	34865	6.4748	17.8215	12.0923	82.7831	17.7144	82.2856
206	210329	403481	34527	6.0917	16.7671	11.6860	80.0013	17.3270	82.6730

ตารางที่ ค.6 ข้อมูลจากการคำนวณหา %Yield กรณีที่ใช้ชุดท่อทองแดง

เวลา (นาที)	%Yield
66	100
188	100
303	97
373	96
435	97

ตารางที่ ค.7 ข้อมูลจากการคำนวณหา %Yield กรณีที่ใช้ท่อโลหะรูปตัวยู และอัตราเร็วของสารป้อน 30 กรัมต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	%Yield
60	100
102	100
176	87
317	96

ตารางที่ ค.8 ข้อมูลจากการคำนวณหา %Yield กรณีที่ใช้ท่อโลหะรูปตัวยู และอัตราเร็วของสารป้อน 15 กรัมต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	%Yield
24	88
85	87
152	91
205	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้