

การพัฒนาแผ่นเชื้อเพลิงประกอบแอลจีเนต/เซลโลเฟนเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลให้มาก
กว่าร้อยละ 95



นางสาวณัฐทิพย์ โล่ห์สถาพรพิพิธ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1193-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF COMPOSITE ALGINATE/CELLOPHANE MEMBRANE TO
CONCENTRATE ETHANOL HIGHER THAN 95%



Miss Nattatip Losatapronpipit

ศูนย์วิทยทรัพยากร

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

for the Degree of Master of Science in Biotechnology

Program of Biotechnology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1193-8

ณัฐทิพย์ โล่ห์สถาพรพิพิธ: การพัฒนาแผ่นเยื่อเชิงประกอบแอลจินต/เซลโลเฟนเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลให้มากกว่าร้อยละ 95 (DEVELOPMENT OF COMPOSITE ALGINATE/CELLOPHANE MEMBRANE TO CONCENTRATE ETHANOL HIGHER THAN 95%) อาจารย์ที่ปรึกษา: ศศ.ดร.สุรพงษ์ นวังคสัตถุศาสน์, 124 หน้า. ISBN 974-03-1193-8.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลให้มากกว่า 95.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรโดยหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการเพอร์แวกเซอร์ชัน และทดสอบหาเอกลักษณ์ของเยื่อแผ่นที่ผลิตได้ สำหรับในงานวิจัยนี้ได้สร้างโมดูลขึ้นมาซึ่งมีพื้นที่เยื่อแผ่นเท่ากับ 18.1 ตารางเซนติเมตร และเยื่อแผ่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลักษณะโครงสร้างเป็นเยื่อแผ่นเชิงประกอบ โดยที่แอลจินตจะทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านซึ่งเคลือบบนเซลโลเฟนที่ทำหน้าที่เป็นชั้นรองรับ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการคือ อุณหภูมิของสารป้อน 60 องศาเซลเซียส, ความดันสารป้อน 259 มิลลิเมตรปรอท, ความดันเพอร์มิเอต -400 มิลลิเมตรปรอท และความเข้มข้นของแอลจินตที่เคลือบบนเซลโลเฟนเท่ากับ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ได้ความหนาของเยื่อแผ่นเท่ากับ 46.7 ± 2.3 ไมโครเมตร ที่สภาวะดังกล่าวได้ค่าฟลักซ์ของสารละลายและค่าการเลือกของเยื่อเท่ากับ 291.7 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง และ 2960 ตามลำดับ สามารถเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลจาก 95.0 เปอร์เซ็นต์เป็น 99.5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หลังจากนั้นนำเยื่อแผ่นมาเก็บรักษาในเอทานอลที่ความเข้มข้นในช่วง 95.0 - 99.7 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่าเยื่อแผ่นที่เก็บรักษาในเอทานอล 99.7 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะให้ค่าฟลักซ์และค่าการเลือกที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงนำเยื่อแผ่นมาเก็บรักษาในเอทานอล 99.7 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเป็นเวลา 5 - 30 วัน พบว่าเยื่อแผ่นที่เก็บรักษาเป็นเวลา 5 วันจะให้ค่าฟลักซ์และค่าการเลือกที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตามเยื่อแผ่นที่เก็บรักษานาน 30 วันยังคงให้ค่าฟลักซ์และการเลือกที่ดีเช่นกันคือมีค่าเท่ากับ 725.4 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมงและ 725 ตามลำดับ สำหรับผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองและความมีอายุของเยื่อแผ่นต่อเพอร์แวกเซอร์ชันของเอทานอล 95.0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเยื่อแผ่นจะให้ค่าฟลักซ์ลดลงเมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองและความมีอายุของเยื่อแผ่น ทั้งนี้เนื่องจากเกิดกระบวนการรีเล็กเซชันขึ้นในเยื่อแผ่น ในขณะที่ค่าการเลือกของเยื่อแผ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อนำเยื่อแผ่นที่ผ่านการใช้งานในกระบวนการเพอร์แวกเซอร์ชันแล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยจะแช่เยื่อแผ่นในเอทานอลสมบูรณ์เป็นเวลาต่าง ๆ กันก่อนนำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าเยื่อแผ่นจะให้ค่าฟลักซ์สูงขึ้นแต่จะให้ค่าการเลือกลดลงเมื่อแช่เยื่อแผ่นเป็นเวลานานขึ้น อย่างไรก็ตามเยื่อแผ่นที่นำกลับมาใช้ใหม่นี้สามารถเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลจาก 95.0 เปอร์เซ็นต์ได้เป็น 98.3 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

ภาควิชา.....เทคโนโลยีชีวภาพ.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีชีวภาพ.....

ปีการศึกษา.....2544.....

ลายมือชื่อนิสิต.....ณัฐทิพย์ โล่ห์สถาพรพิพิธ.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....สุรพงษ์ นวังคสัตถุศาสน์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....-.....

4172566023: MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEYWORD: PERVAPORATION / ETHANOL-WATER MIXTURE / COMPOSITE
MEMBRANE NATTATIP LOSATAPRONPIPIT: DEVELOPMENT OF
COMPOSITE ALGINATE/CELLOPHANE MEMBRANE TO
CONCENTRATION ETHANOL HIGHER THAN 95%. THESIS ADVISOR:
ASST. PROF. SURAPONG NAVANKASATTUSUS, Ph.D., 124 pp. ISBN 974-
03-1193-8.

The purpose of this research was to concentrate ethanol higher than 95.0%v/v by optimizing operating conditions of pervaporation to separate ethanol-water mixture and to characterize the membrane. Membrane module was built in this study, with an effective membrane area of 18.1 cm². The membrane used in this research was fabricated in a composite form, consisted of alginate that was a selective dense layer and cellophane that was a support layer. The optimum operating conditions for this process were at feed temperature of 60°C, feed pressure of 259 mmHg, permeation pressure of -400 mmHg and alginate concentration, which was coated on the surface of cellophane, was 2%wt/wt. The membrane thickness was 46.7±2.3 μm. The permeation flux and separation factor from the pervaporation process were found to be 291.7 g/m².h and 2960, respectively. The concentration of ethanol was increased from 95.0%v/v to 99.5%v/v under the above-mentioned condition. Post pervaporation soaking of the membrane in ethanol at various concentrations in the range of 95.0-99.7%v/v for 5 days, showed that a flux and separation factor of membrane kept in 99.7%v/v ethanol was the best. Consequently the membrane was preserved in 99.7%v/v ethanol for periods from 5-30 days. Membrane kept for 30 days still showed high flux and separation factor. The flux and separation factor for membrane kept for 30 days were 725.4 g/m².h and 725 respectively. For effect of operation time and membrane aging to pervaporation of ethanol-water mixture, the result demonstrated that the flux decreased with operation time and membrane aging due to occurrence of a relaxation process in membrane whereas the separation factor remained unchange. The pervaporation separation of ethanol-water mixture using reconditioned membrane, exhibited an increasing flux with an increasing period of membrane reconditioning in absolute ethanol, while the separation factor decreased. However, reconditioned membrane can concentrate ethanol from 95.0%v/v to 98.3%v/v.

ProgramBiotechnology.....

Field of studyBiotechnology.....

Academic year.....2001.....

Student's signature *Surapong Navankasattusus*

Advisor's signature *Surapong Navankasattusus*

Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาระดับปริญญาโทบริหารธุรกิจ และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยความสมบูรณ์โดยได้รับ ความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงษ์ นวังคสัตถุศาสน์ ที่รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ตลอดจนให้คำแนะนำแนวทางการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยดีตลอดมา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชันทอง สุนทรภา ที่กรุณาได้รับเป็นประธาน กรรมการและกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบุคลากรทุกท่านในสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพและวิศวกรรมพันธุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการตั้งชื่อและจัดหาสารเคมี รวมทั้งช่วยเหลือซ่อมบำรุงอุปกรณ์ ในการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่สาว น้องชาย และน้องสาว ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่สำคัญในการทำวิจัยตลอดเวลาจนสำเร็จสมบูรณ์

และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณเพื่อนทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ท
คำย่อ	ถ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ประวัติความเป็นมา	1
1.2 การผลิตเชื้อเพลิงเอทานอล	2
1.3 กระบวนการเฟอร์แวนเพอเรชัน	4
1.3.1 ทฤษฎีของกระบวนการเฟอร์แวนเพอเรชัน	6
1.3.2 การประเมินสมรรถนะของระบบเฟอร์แวนเพอเรชัน	9
1.3.3 ตัวแปรที่มีผลต่อการกระทำของกระบวนการ เฟอร์แวนเพอเรชัน	12
1.4 โมดูลของเชื้อ	15
1.4.1 โมดูลแบบเรียบและกรอบ	15
1.4.2 โมดูลแบบม้วน	16
1.4.3 โมดูลแบบเส้นใยกลวง	16
1.4.4 โมดูลแบบท่อ	18
1.5 การผลิตเชื้อแผ่นเพื่อใช้ในการแยกสาร	18
1.6 เชื้อแผ่นแอลจีเนต	20
1.7 เชื้อแผ่นสมมาตร/ไม่สมมาตร	20
1.8 มุลเหตุในการวิจัย	21
1.9 ขั้นตอนการดำเนินวิจัย	21
2. วิธีการทดลอง	
2.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	23
2.2 วิธีการทดลอง	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.1 การเตรียมเชื้อแผ่น	24
2.2.2 การทดลองหาดีกรีการพองตัวของเชื้อแผ่น	24
2.2.3 การทดลองเพอร์แวกเพอเรชัน	25
2.2.4 การเก็บรักษาเชื้อแผ่น	26
2.2.5 ผลของระยะเวลาในการทดลองและอายุของเชื้อแผ่น	26
2.2.6 การนำเชื้อแผ่นที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่	26
2.3 วิธีวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล	26
3. ผลการทดลอง	
3.1 โมดูลของเชื้อแผ่น	28
3.2 เชื้อแผ่นเชิงประกอบแอลจินेट/เซลโลเฟน	29
3.3 ผลของอุณหภูมิต่อสัมประสิทธิ์การกระจาย	29
3.4 ผลของอุณหภูมิต่อกระบวนการเพอร์แวกเพอเรชันของ 95%เอทานอล	31
3.5 ผลของความดันเพอร์มิเอตต่อกระบวนการเพอร์แวกเพอเรชันของ 95% เอทานอล	39
3.6 ผลของความหนาของเชื้อแผ่นต่อกระบวนการเพอร์แวกเพอเรชันของ 95% เอทานอล	39
3.7 ค่าการซึมผ่านและสัมประสิทธิ์การแพร่ของกระบวนการเพอร์แวกเพอเรชัน ของ 95%เอทานอล	39
3.8 สภาพที่เหมาะสมของกระบวนการเพอร์แวกเพอเรชันเมื่อใช้เซลโลเฟน เคลือบด้วยแอลจินेटเป็นเชื้อแผ่นเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอล	71
3.9 การเก็บรักษาเชื้อแผ่นที่ผลิตได้	71
3.9.1 ความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเก็บรักษาเชื้อแผ่น	71
3.9.2 ระยะเวลาที่เก็บรักษาเชื้อแผ่น	74
3.10 ผลของระยะเวลาในการทดลองและความมีอายุของเชื้อแผ่นต่อ เพอร์แวกเพอเรชันของสารละลายผสมน้ำและเอทานอล	74
3.11 การนำเชื้อแผ่นที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่	77
4. วิจัยผลการทดลอง	79
5. สรุปผลการทดลอง	84

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
รายการอ้างอิง	85
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	89
ภาคผนวก ข กราฟมาตรฐาน	90
ภาคผนวก ค การคำนวณ	93
ภาคผนวก ง ข้อมูลในการทดลอง	96
ภาคผนวก จ ตัวอย่างการคำนวณ	116
ภาคผนวก ฉ CERTIFICATE OF ANALYSIS	123
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	124



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 คุณสมบัติของ fuel-grade ethanol สำหรับผสมในน้ำมัน	2
1.2 Typical utility requirement to produce 1000 liters of absolute alcohol (99%v/v)	4
1.3 ข้อเปรียบเทียบสำหรับ โมดูลของเชื้อในแต่ละแบบ	18
1.4 ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่ใช้ในกระบวนการเพอร์แวกเซอร์ชัน	19
3.1 สัมประสิทธิ์การกระจายของน้ำและเอทานอลที่อุณหภูมิของสารป้อนต่างๆ	30
3.2 ผลของความหนาของเยื่อแผ่นต่อค่าฟลักซ์ของน้ำและเอทานอล	47
3.3 ผลของความหนาของเยื่อแผ่นต่อค่าการเลือกของเยื่อแผ่น	48
3.4 ผลของความหนาของเยื่อแผ่นต่อค่าการซึมผ่านเยื่อแผ่นของเอทานอล	67
3.5 ผลของความหนาของเยื่อแผ่นต่อค่าการซึมผ่านเยื่อแผ่นของน้ำ	68
3.6 ผลของความหนาของเยื่อแผ่นต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเอทานอล	69
3.7 ผลของความหนาของเยื่อแผ่นต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ	70
3.8 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาเยื่อแผ่นที่มีต่อเพอร์แวกเซอร์ชันของเอทานอล 95% โดยปริมาตร	75
ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอทานอลกับค่าสัดส่วนของพื้นที่ใต้กราฟ	89
ง-1 ข้อมูลการทดลองการหาความเข้มข้นของเอทานอลและน้ำในเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลกอฮอล์/เซลโลเฟนในสารละลาย 95%เอทานอลที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 48 ชั่วโมงเมื่อใช้แอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักเคลือบที่ผิวหน้าของเซลโลเฟน	96
ง-2 ข้อมูลการทดลองการหาความเข้มข้นของเอทานอลและน้ำในเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลกอฮอล์/เซลโลเฟนในสารละลาย 95%เอทานอลที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 48 ชั่วโมงเมื่อใช้แอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักเคลือบที่ผิวหน้าของเซลโลเฟน	96
ง-3 ข้อมูลการทดลองการหาความเข้มข้นของเอทานอลและน้ำในเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลกอฮอล์/เซลโลเฟนในสารละลาย 95%เอทานอลที่อุณหภูมิต่างๆ เป็นเวลา 48 ชั่วโมงเมื่อใช้แอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 3% โดยน้ำหนักเคลือบที่ผิวหน้าของเซลโลเฟน	96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-15 ค่าการซึมผ่านของเอทานอลและน้ำผ่านเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/เซลโลเฟน ที่ความดัน -350 มิลลิเมตรปรอท	104
ง-16 ค่าการซึมผ่านของเอทานอลและน้ำผ่านเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/เซลโลเฟน ที่ความดัน -400 มิลลิเมตรปรอท	105
ง-17 ค่าการซึมผ่านของเอทานอลและน้ำผ่านเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/เซลโลเฟน ที่ความดัน -450 มิลลิเมตรปรอท	105
ง-18 ค่าการซึมผ่านของเอทานอลและน้ำผ่านเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/เซลโลเฟน ที่ความดัน -500 มิลลิเมตรปรอท	106
ง-19 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเอทานอลและน้ำผ่านเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/ เซลโลเฟนที่ความดัน -300 มิลลิเมตรปรอท	106
ง-20 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเอทานอลและน้ำผ่านเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/ เซลโลเฟนที่ความดัน -350 มิลลิเมตรปรอท	107
ง-21 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเอทานอลและน้ำผ่านเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/ เซลโลเฟนที่ความดัน -400 มิลลิเมตรปรอท	107
ง-22 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเอทานอลและน้ำผ่านเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/ เซลโลเฟนที่ความดัน -450 มิลลิเมตรปรอท	108
ง-23 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเอทานอลและน้ำผ่านเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/ เซลโลเฟนที่ความดัน -500 มิลลิเมตรปรอท	108
ง-24 ข้อมูลการทดลองการหาค่าดีกรีการพองตัวของเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/ เซลโลเฟนเมื่อแช่เยื่อแผ่นในสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆเป็นเวลา 5 วัน	109
ง-25 ข้อมูลการทดลองการหาค่าฟลักซ์และค่าการเลือกของเยื่อแผ่นเชิงประกอบ แอลจีเนต/เซลโลเฟน เมื่อนำเยื่อแผ่นไปแช่ในเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 5 วัน	110
ง-26 ข้อมูลการทดลองการหาค่าดีกรีการพองตัวของเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/ เซลโลเฟนเมื่อเก็บรักษาเยื่อแผ่นใน 99.7%เอทานอลที่เวลาต่างๆ	111
ง-27 ข้อมูลการทดลองการหาค่าฟลักซ์และค่าการเลือกของเยื่อแผ่นเชิงประกอบ แอลจีเนต/เซลโลเฟน เมื่อนำเยื่อแผ่นมาเก็บรักษาใน 99.7%เอทานอลที่เวลาต่างๆ	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-28 ข้อมูลการทดลองการหาค่าฟลักซ์ของสารละลายและค่าการเลือกของเยื่อแผ่น เชิงประกอบแอลจีเนต/เซลโลเฟนเมื่อแปรระยะเวลาในการทดลองและความมี อายุของเยื่อแผ่น (รอบที่1)	113
ง-29 ข้อมูลการทดลองการหาค่าฟลักซ์ของสารละลายและค่าการเลือกของเยื่อแผ่น เชิงประกอบแอลจีเนต/เซลโลเฟนเมื่อแปรระยะเวลาในการทดลองและความมี อายุของเยื่อแผ่น (รอบที่2)	113
ง-30 ข้อมูลการทดลองการหาค่าฟลักซ์ของสารละลายและค่าการเลือกของเยื่อแผ่น เชิงประกอบแอลจีเนต/เซลโลเฟนเมื่อแปรระยะเวลาในการทดลองและความมี อายุของเยื่อแผ่น (รอบที่3)	113
ง-31 ข้อมูลการทดลองการหาค่าฟลักซ์ของสารละลายและค่าการเลือกของเยื่อแผ่น เชิงประกอบแอลจีเนต/เซลโลเฟนที่ผ่านการใช้งานแล้วและนำกลับมาใช้ใหม่	114
ง-32 ข้อมูลการทดลองการหาค่าฟลักซ์ของสารละลายและค่าการเลือกของเยื่อแผ่น เชิงประกอบแอลจีเนต/เซลโลเฟนที่ไม่เคยผ่านการใช้งานมาก่อน (ข้อมูลที่ได้ เปรียบเทียบกับตารางที่ ง-34)	114
ง-33 ข้อมูลการทดลองการหาค่าฟลักซ์ของสารละลายและค่าการเลือกของเยื่อแผ่น เซลโลเฟนที่อุณหภูมิสารป้อน 60 องศาเซลเซียส ความดันเพอร์มิเอต -400 มิลลิเมตร และเวลาที่ใช้ในการทดลอง 5 ชั่วโมง	114
ง-34 ข้อมูลการทดลองการหาค่าฟลักซ์ของสารละลายและค่าการเลือกของเยื่อแผ่น แอลจีเนต/เซลโลเฟนที่ความเข้มข้นแอลจีเนต 2% โดยน้ำหนัก เมื่อวางโมดูลใน แนว 90 องศา อุณหภูมิของสารป้อน 60 องศาเซลเซียส, ความดันเพอร์มิเอต -400 มิลลิเมตรปรอท และเวลาที่ใช้ในการทดลอง 5 ชั่วโมง	115

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
1.1	กระบวนการเพอร์แวกเซอร์ชันร่วมกับการกลั่นเพื่อผลิตเอทานอลบริสุทธิ์	5
1.2	กระบวนการเพอร์แวกเซอร์ชัน	5
1.3	เกรเดียนต์ศักย์ทางเคมี, ความดัน และแอกติวิตีผ่านเยื่อแผ่น	6
1.4	การเกิด concentration polarization ทางด้านสารป้อนและเพอร์มิเอต	13
1.5	โมดูลแบบเรียบและกรอบ	15
1.6	โมดูลแบบม้วน	16
1.7	โมดูลแบบเส้นใยกลวง	16
1.8	โมดูลแบบท่อ	17
2.1	กระบวนการเพอร์แวกเซอร์ชัน	25
3.1	โมดูลของเยื่อแผ่น	28
3.2	ภาพถ่ายของเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/เซลโลเฟน	29
3.3	ผลของอุณหภูมิต่อค่าฟลักซ์ของน้ำสำหรับเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/เซลโลเฟน ที่ความดันเพอร์มิเอต -300 มิลลิเมตรปรอท	31
3.4	ผลของอุณหภูมิต่อค่าฟลักซ์ของเอทานอลสำหรับเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/ เซลโลเฟนที่ความดันเพอร์มิเอต -300 มิลลิเมตรปรอท	32
3.5	ผลของอุณหภูมิต่อค่าฟลักซ์ของน้ำสำหรับเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/เซลโลเฟน ที่ความดันเพอร์มิเอต -350 มิลลิเมตรปรอท	32
3.6	ผลของอุณหภูมิต่อค่าฟลักซ์ของเอทานอลสำหรับเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/ เซลโลเฟนที่ความดันเพอร์มิเอต -350 มิลลิเมตรปรอท	33
3.7	ผลของอุณหภูมิต่อค่าฟลักซ์ของน้ำสำหรับเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/เซลโลเฟน ที่ความดันเพอร์มิเอต -400 มิลลิเมตรปรอท	33
3.8	ผลของอุณหภูมิต่อค่าฟลักซ์ของเอทานอลสำหรับเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/ เซลโลเฟนที่ความดันเพอร์มิเอต -400 มิลลิเมตรปรอท	34
3.9	ผลของอุณหภูมิต่อค่าฟลักซ์ของน้ำสำหรับเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/เซลโลเฟน ที่ความดันเพอร์มิเอต -450 มิลลิเมตรปรอท	34
3.10	ผลของอุณหภูมิต่อค่าฟลักซ์ของเอทานอลสำหรับเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/ เซลโลเฟนที่ความดันเพอร์มิเอต -450 มิลลิเมตรปรอท	35
3.11	ผลของอุณหภูมิต่อค่าฟลักซ์ของน้ำสำหรับเยื่อแผ่นเชิงประกอบแอลจีเนต/เซลโลเฟน ที่ความดันเพอร์มิเอต -500 มิลลิเมตรปรอท	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.46 ผลของความดันเพอร์มิเอตต่อค่าการซึมผ่านของน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	57
3.47 ผลของความดันเพอร์มิเอตต่อค่าการซึมผ่านของเอทานอลที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	57
3.48 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำที่ความดันเพอร์มิเอต -300 มิลลิเมตรปรอท	58
3.49 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเอทานอลที่ความดันเพอร์มิเอต -300 มิลลิเมตรปรอท	58
3.50 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำที่ความดันเพอร์มิเอต -350 มิลลิเมตรปรอท	59
3.51 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเอทานอลที่ความดันเพอร์มิเอต -350 มิลลิเมตรปรอท	59
3.52 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำที่ความดันเพอร์มิเอต -400 มิลลิเมตรปรอท	60
3.53 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเอทานอลที่ความดันเพอร์มิเอต -400 มิลลิเมตรปรอท	60
3.54 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำที่ความดันเพอร์มิเอต -450 มิลลิเมตรปรอท	61
3.55 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเอทานอลที่ความดันเพอร์มิเอต -450 มิลลิเมตรปรอท	61
3.56 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำที่ความดันเพอร์มิเอต -500 มิลลิเมตรปรอท	62
3.57 ผลของอุณหภูมิต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเอทานอลที่ความดันเพอร์มิเอต -500 มิลลิเมตรปรอท	62
3.58 ผลของความดันเพอร์มิเอตต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	63
3.59 ผลของความดันเพอร์มิเอตต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเอทานอลที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	63
3.60 ผลของความดันเพอร์มิเอตต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.61 ผลของความดันเพอร์มิเอตต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเอทานอลที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	64
3.62 ผลของความดันเพอร์มิเอตต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	65
3.63 ผลของความดันเพอร์มิเอตต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเอทานอลที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	65
3.64 ผลของความดันเพอร์มิเอตต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	66
3.65 ผลของความดันเพอร์มิเอตต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของเอทานอลที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	66
3.66 ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์และค่าการเลือกของเยื่อแผ่นที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ	72
3.67 ค่าฟลักซ์ของสารละลายเมื่อเก็บรักษาเยื่อในเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ	73
3.68 ค่าการเลือกของเยื่อแผ่นเมื่อเก็บรักษาเยื่อในเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ	73
3.69 ดัชนีการพองตัวของเยื่อแผ่นที่แช่ในเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ	75
3.70 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองต่อค่าฟลักซ์ของสารละลาย	76
3.71 ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองต่อค่าการเลือก	76
3.72 ผลของเวลาที่ใช้ในการแช่เยื่อแผ่นต่อค่าฟลักซ์ของสารละลาย	78
3.73 ผลของเวลาที่ใช้ในการเก็บรักษาเยื่อแผ่นต่อค่าการเลือก	78
ข-1 กราฟมาตรฐานของเอทานอลสัมบูรณ์	90
ข-2 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของเอทานอลในด้านรีเทนเทรตเมื่อใช้โพรพานอลเป็นสารมาตรฐานเปรียบเทียบภายใน วิเคราะห์ด้วยก๊าซโครมาโทกราฟี	91
ข-3 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของเอทานอลในด้านเพอร์มิเอตเมื่อใช้โพรพานอลเป็นสารมาตรฐานเปรียบเทียบภายใน วิเคราะห์ด้วยก๊าซโครมาโทกราฟี	92

คำย่อ

S_i	สัมประสิทธิ์การกระจาย (distribution coefficient) ขององค์ประกอบ i
γ	สัมประสิทธิ์แอกติวิตี (activity coefficient)
J_i	ฟลักซ์ขององค์ประกอบ i ที่ผ่านเยื่อแผ่น
D_i	สัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusion coefficient) ขององค์ประกอบ i
D_j	สัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusion coefficient) ขององค์ประกอบ j
D_i^0	สัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusion coefficient) ขององค์ประกอบ i เมื่อไม่มีตัวทำละลายในพอลิเมอร์
D_j^0	สัมประสิทธิ์การแพร่ (diffusion coefficient) ขององค์ประกอบ j เมื่อไม่มีตัวทำละลายในพอลิเมอร์
L_i	ค่าคงที่ หรือ phenomenological coefficient
E_p	พลังงานกระตุ้นปรากฏของการซึมผ่าน
R	ค่าคงที่ของก๊าซ (gas constant)
T	อุณหภูมิ
P_p	ความดันรวมด้านเพอร์มิเอต
P_i	ความดันย่อย (partial pressure) ขององค์ประกอบ i
P_i^0	ความดันไออิ่มตัวขององค์ประกอบ i
\bar{P}_i	สัมประสิทธิ์การซึมผ่านขององค์ประกอบ i
β	แฟคเตอร์การแยก (separation factor)
α	ค่าการเลือก (selectivity)
μ_i	ศักย์ภาพเคมีขององค์ประกอบ i
μ_i^0	ศักย์ภาพเคมีขององค์ประกอบ i ที่ความเข้มข้นต่ำ
x	ระยะทางการแพร่ในเยื่อแผ่น