การประยุกต์ใช้กระบวนการเพอร์เวเพอเรชันเพื่อการแยกน้ำออกจากสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก

นางสาวลลิตา อัตนโถ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-093-4

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

22 มี.ค. 2546
I19437079

APPLICATION OF THE PERVAPORATION PROCESS TO REMOVAL OF WATER FROM CRUDE EXTRACT FROM *CASSIA SIAMEA*

Miss Lalita Attanatho

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-346-093-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้กระบวนการเพอร์เวเพอเรชันเพื่อการแยกน้ำออกจากสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก
โดย	นางสาวลลิตา อัตนโถ
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	คุณวนิดา จันทรเทพเทวัญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(คุณวนิดา จันทรเทพเทวัญ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เหมือนเดือน พิศาลพงศ์)

ลลิตา อัตนโถ : การประยุกต์ใช้กระบวนการเพอร์เวเพอเรชันเพื่อการแยกน้ำออกจากสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก (APPLICATION OF THE PERVAPORATION PROCESS TO REMOVAL OF WATER FROM CRUDE EXTRACT FROM *CASSIA SIAMEA*) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์,อ.ที่ปรึกษาร่วม : คุณวนิดา จันทรเทพเทวัญ, 133 หน้า. ISBN 974-346-093-4

การศึกษาการใช้เยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายกับกรดกลูตาริกเพื่อแยกน้ำออกจากสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กด้วยกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน โดยในขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาการดูดซับสารด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้ พบว่าเยื่อแผ่นมีความสามารถในการดูดซับน้ำและสารสกัดหยาบได้ดีกว่าสารละลายเอทานอล

การสกัดสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กด้วยสารละลายเอทานอลร้อยละ 15 โดยปริมาตรในถังกวน พบว่ามีปริมาณบาราคอลคิดเป็นร้อยละ 1.69-1.95 ของใบขี้เหล็กแห้งและสารบาราคอลเกิดการสลายตัวมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

การศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กจากการแยกสารละลายเอทานอลออกโดยกระบวนการระเหยด้วยเครื่องโรตารีอีเวเพอเรเตอร์ ที่ความดัน -25 นิ้วปรอท อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าสารบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น 37.78 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กที่ผ่านการแยกเอทานอลออกมาทำให้เข้มข้นขึ้นโดยการแยกน้ำออกด้วยกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน ในโมดูลแบบแผ่นเรียบและกรอบ ทำการศึกษาที่ ความดันเพอร์มิเอต 20,30 และ 40 มิลลิบาร์,อุณหภูมิของสายป้อน 30,35 และ 40 องศาเซลเซียส,ความเร็วของสายป้อน 5,80 และ 130 ลิตรต่อชั่วโมง สายป้อนมีการหมุนเวียนกลับเป็นเวลา 1,4 และ 8 ชั่วโมง พบว่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสายป้อนและลดความดันเพอร์มิเอต สารบาราคอลไม่สามารถซึมผ่านเยื่อแผ่นได้เนื่องจากมีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีโครงสร้างซับซ้อน ภาวะการดำเนินงานที่เหมาะสมคือที่ ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์,อุณหภูมิสายป้อน 40 องศาเซลเซียส,ความเร็วของสายป้อน 5 ลิตรต่อชั่วโมง,เวลาในการดำเนินงาน 4 ชั่วโมง ทำให้สารบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น 44.51 เปอร์เซ็นต์

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....ลลิตา อัตนโถ.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2543.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4070397821 MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : PERVAPORATION/BARAKOL

LALITA ATTANATHO : APPLICATION OF THE PERVAPORATION PROCESS TO REMOVAL OF WATER FROM CRUDE EXTRACT FROM *CASSIA SIAMEA* .THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHIRAKARN MUANGNAPOH, Dr. Ing. THESIS CO-ADVISOR :Ms. VANIDA CHANTARATEPTAWAN, M.Sc.(Pharm.). 133 pp. ISBN 974-346-093-4

In the study of using crosslinked polyvinyl alcohol with glutaric acid membrane to remove water from crude extract from *Cassia siamea* by pervaporation process, firstly the systhesized membranes were prepared and tested with sorption process. It was found that sorption ability of water and crude extract in membrane were better than ethanol.

The crude extraction with 15 %(v/v) ethanol solution in stirred tank had barakol content of 1.69-1.95 %(weight/dried leaves weight) and increasing deactivation of barakol was found with increased temperature .

The removal of ethanol from crude extract from *Cassia siamea* by evaporation process with rotary evaporator were studied at pressure -25 inHg. and temperature 60 ^{o}c. It was found that barakol in crude extract was concentrated 37.78 %. The removal of water from crude extract from evaporation process by pervaporation process in plate and frame module were performed at various permeate pressure(20,30,40 mbar.),temperature of feed solution(30 ,35, 40 ^{o}c),feed solution flow rate(5,80,130 lit/hr.) and recycle time(1,4,8 hr.). It was found that water permeation flux was increased with increasing feed temperature and with lowering permeate pressure. Barakol can not permeate through the membranes because of its molecular size and complex structure. The suitable condition in this study is at a permeate pressure 20 mbar, feed temperature 40 ^{o}c ,feed flowrate 5 lit/hr. and recycle time 4 hr. The barakol in crude extract was concentrated 44.51 %.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....Lalita Attanatho.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2543.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลายๆท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับ รองศาสตราจารย์ ดร.จิรกานต์ เมืองนาโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คุณวนิดา จันทรเทพเทวัญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำวิธีการทำงานวิจัยตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ องค์การเภสัชกรรม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทดลอง

ขอขอบคุณ บริษัทไทยแอลกอฮอล์จำกัดที่ได้สนับสนุนวัตถุดิบในการวิจัย

ขอขอบคุณ ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ชัยโย ชัยชาญทิพยุทธ ภาควิชาเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสารบาราคอล

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่สนับสนุนให้ทุนวิจัยในครั้งนี้

ขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ห้องวิจัยวิศวกรรมชีวเคมี ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือจนงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้โอกาสทางการศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และขอบคุณทุกคนในครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจตลอดมาจนงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....ง

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ญ

สารบัญรูป.....ฏ

สัญลักษณ์.....ณ

บทที่

1 บทนำ.....1

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....2

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย.....2

2 ตรวจเอกสาร.....3

2.1 ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ของขี้เหล็ก (*Cassia siamea* Britt.).....3

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน.....8

2.2.1 เยื่อแผ่นที่เลือกน้ำผ่าน (Hydrophilic membrane).....9

2.2.2 เยื่อแผ่นที่เลือกสารอินทรีย์ผ่าน (Hydrophobic membrane).....12

2.2.3 ผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน.....15

3 ทฤษฎีกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน (Pervaporation).....21

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.1 กลไกการถ่ายเทมวลสาร.....22

3.2 ประสิทธิภาพของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน.....30

3.3 เยื่อแผ่นและโมดูล.....31

4 อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย.....36

4.1 เคมีภัณฑ์.....36

4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง.....36

4.3 วิธีการทดลอง.....38

5 ผลการทดลอง วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....50

5.1 การทำให้สารสกัดหยาบเข้มข้นขึ้นโดยใช้การระเหยด้วยเครื่องโรตารี อีเวเพอเรเตอร์.....50

5.2 ผลของอุณหภูมิต่อการสลายตัวของสารบาราคอลในสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก.....51

5.3 เยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายกับกรดกูลตาริก.....53

5.4 ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับน้ำกลั่น เอทานอล 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในเยื่อแผ่น.....56

5.5 กระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของน้ำกลั่น.....59

5.6 กระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....66

5.7 กระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก.....70

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.8 ผลของกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันในการทำให้สารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก
เข้มข้นขึ้น.....93
สรุปผลการทดลอง.....97
ข้อเสนอแนะ.....98
รายการอ้างอิง.....99
ภาคผนวก.....103
ภาคผนวก ก. เส้นกราฟมาตรฐาน.....104
ภาคผนวก ข. การคำนวณ.....106
ภาคผนวก ค. ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพของเยื่อแผ่นก่อนนำมาใช้ในการทดลอง.....115
ภาคผนวก ง. ข้อมูลการทดลอง.....118
ประวัติผู้แต่ง.....133

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีของสารบาราคอล.....7

2.2 แสดงผลจากงานวิจัยที่ใช้เยื่อแผ่นที่เลือกน้ำผ่านในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน.....10

2.3 แสดงผลจากงานวิจัยที่ใช้เยื่อแผ่นที่ยอมให้สารอินทรีย์ผ่านในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน.....14

3.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของโมดูลแต่ละชนิด.....35

4.1 แสดงองค์ประกอบของสารละลายตกตะกอน.....41

4.2 แสดงองค์ประกอบของสารละลายเชื่อมโยง.....41

5.1 ผลของการระเหยในการเพิ่มความเข้มข้นของสารบาราคอลในสารสกัดหยาบ.....51

5.2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเยื่อแผ่นโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งทำปฏิกิริยาโครงร่างตาข่ายกับกรดกูลตาริกกับเยื่อแผ่นที่เลือกน้ำผ่านในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของน้ำ – เอทานอล.....69

5.3 เปรียบเทียบผลของการเพิ่มพื้นที่ถ่ายเทมวลสารของเยื่อแผ่นในการทำให้สารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กเข้มข้นขึ้น โดยกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์.....96

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงลักษณะใบและต้นขี้เหล็ก	4
2.2	แสดงการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของ 5 – acetonyl – 7 – hydroxyl – 2 - methylchromone ไปเป็นสารบาราคอลเมื่อทำปฏิกิริยากับกรด	6
2.3	แสดง Conversion reaction ของบาราคอล แอนไฮโดรบาราคอล และ แอนไฮโดรบาราคอลไฮโดรคลอไรด์	6
2.4	แสดงผลความดันด้านเพอร์มิเอตต่อค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อแผ่นยางซิลิโคนในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน (28)	19
2.5	แสดงผลของความดันด้านเพอร์มิเอต (รูป a) และความดันสายป้อน (รูป b) ต่อค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของเฮกเซนผ่านเยื่อแผ่นพอลิเมอร์พวกยางในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน (28)	20
3.1	แสดงกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน	21
3.2	แสดงกลไกการละลาย – การแพร่ (Solution – Diffusion model) ในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน	22
3.3	แสดงเกรเดียนของศักย์ทางเคมี (μ) และความดัน (P) ในเยื่อแผ่น	25
3.4	โมดูลแบบแผ่นเรียบและกรอบ	32
3.5	โมดูลแบบม้วน	32
3.6	โมดูลแบบท่อ	33
3.7	โมดูลแบบเส้นใยกลวง	34

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	แสดงแผนภาพอุปกรณ์การทดลองเพอร์เวเพอเรชัน	44
4.2	แสดงชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองกระบวนการเพอร์เวเพอเรชัน	45
4.3	แสดงโมดูลแบบแผ่นเรียบและกรอบที่ใช้ในการทดลอง	46
5.1	แสดงเปอร์เซ็นต์การสลายตัวของสารบาราคอลเมื่อได้รับความร้อนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง	52
5.2	ลักษณะของเยื่อแผ่น	53
5.3	แสดงภาพถ่ายบริเวณพื้นผิวด้านหน้า (ก) และด้านหลัง (ข) ของเยื่อแผ่นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด (SEM)	54
5.4	แสดงภาพถ่ายภาคตัดขวางของเยื่อแผ่นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด (SEM)	55
5.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อการดูดซับสารในเยื่อแผ่น	57
5.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิการกระจายตัวของสารกับอุณหภูมิของสารป้อน	58
5.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเพอร์มิเอตและความหนาของเยื่อแผ่นกับเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำกลั่น	60
5.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสายป้อนกับเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำกลั่นที่ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์ ความหนาของเยื่อแผ่น 7.27 ไมโครเมตร	61
5.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเพอร์มิเอต กับค่าเพอร์มิเอบิลิตี ของน้ำกลั่นที่อุณหภูมิต่างๆ	64

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าเพอร์มิเอบิลิตีของน้ำกลั่นที่ความดันเพอร์มิเอตต่างๆ.....65

5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรที่ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์ ความหนาของเยื่อแผ่น 7.27 ไมโครเมตร.....67

5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าการเลือกสารผ่านของเยื่อแผ่นในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร.....68

5.13 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารสกัดหยาบและสารละลายอื่นๆในเยื่อแผ่นที่อุณหภูมิต่างๆ.....71

5.14 แสดงสัมประสิทธิการกระจายตัวของน้ำและเอทานอลในเยื่อแผ่น.....73

5.15 แสดงกลไกการดูดซับสารของเยื่อแผ่น.....74

5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็กกับความดันเพอร์มิเอตและอุณหภูมิของสายป้อน.....77

5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเลือกน้ำผ่านของเยื่อแผ่น และอุณหภูมิในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก.....78

5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเลือกเอทานอลผ่านของเยื่อแผ่นในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก.....79

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของสารสกัดหยาบกับความเร็วของสายป้อน.....81

5.20 แสดงการเปรียบเทียบเพอร์มิเอชันฟลักซ์ของน้ำกลั่น สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และสารสกัดหยาบจากใบขี้เหล็ก ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์.....83

5.21 แสดงผลของเวลาในการดำเนินการต่อค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ที่อุณหภูมิสายป้อนเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์.....85

5.22 แสดงผลของเวลาในการดำเนินการต่อค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์ที่อุณหภูมิสายป้อนเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์.....86

5.23 แสดงผลของเวลาในการดำเนินการต่อค่าการเลือกสารผ่านของเยื่อแผ่นที่อุณหภูมิสายป้อนเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์.....87

5.24 แสดงผลของเวลาในการดำเนินการต่อค่าการเลือกสารผ่านของเยื่อแผ่นที่อุณหภูมิสายป้อนเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์.....88

5.25 เพอร์มิเอบิลิตีของน้ำในสารสกัดหยาบในเยื่อแผ่น.....90

5.26 เพอร์มิเอบิลิตีของเอทานอลในสารสกัดหยาบในเยื่อแผ่น.....91

5.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าเพอร์มิเอบิลิตีของน้ำและเอทานอลในกระบวนการเพอร์เวเพอเรชันของสารละลายเอทานอลความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและสารสกัดหยาบ....92

5.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสารบาราคอลที่เข้มข้นขึ้นกับความดันเพอร์มิเอตและอุณหภูมิของสายป้อน เวลาในการดำเนินงาน 1 ชั่วโมง.....94

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของสารบาราคอลที่เข้มข้นขึ้นกับเวลาในการดำเนินงาน ที่ความดันเพอร์มิเอต 20 มิลลิบาร์.....95

สัญลักษณ์

a	แอคติวิตี(activity)ของสาร	(-)
A	พื้นที่ถ่ายเทมวลสารของเยื่อแผ่น	(m^2)
b	สัมประสิทธิ์พลาสติไซซิง(Plasticizing coefficient)	($m^3.g^{-1}$)
c_i	ความเข้มข้นของสารในเยื่อแผ่น	($g.L^{-1}$)
D_i	สัมประสิทธิ์การแพร่ของสารผ่านเยื่อแผ่น	($m^2.hr^{-1}$)
D_s	ดีกรีการพองตัวของพอลิเมอร์	(%)
D_m	น้ำหนักของเยื่อแผ่นขณะที่แห้ง	(g)
E_D	พลังงานกระตุ้นปรากฏของการแพร่	($J.mol^{-1}K^{-1}$)
E_p	พลังงานกระตุ้นปรากฏของการซึมผ่าน	($J.mol^{-1}K^{-1}$)
F	น้ำหนักสารละลาย	(g)
H	Henry 's law coefficient	($g.L^{-1}bar^{-1}$)
J_p	เพอร์มิเอชันฟลักซ์	($g.m^{-2}hr^{-1}$)
K_i	สัมประสิทธิ์การกระจายตัว(Distribution coefficient)	(-)
l.	ความหนาของเยื่อแผ่น	(m)
p_{il}	ความดันย่อยของสาร i ในด้านเพอร์มิเอต	(mbar)
p_l	ความดันด้านเพอร์มิเอต	(mbar)
P	ค่าเพอร์มิเอบิลิตี(Permeability)	($g.m^{-1}\ hr^{-1}mbar^{-1}$)
R	ค่าคงที่ของก๊าซ	($J.mol^{-1}K^{-1}$)
T	อุณหภูมิ	(^oC)

t	เวลา	(hr)
v	ปริมาตรเชิงโมล	(-)
V	ปริมาตรสารละลาย	(ml)
W	น้ำหนักเพอร์มิเอต	(g)
W_m	น้ำหนักของเยื่อแผ่นที่พองตัวเต็มที่ในสารละลาย	(g)
X	เศษส่วนโดยมวลของสารในสายป้อน	(-)
Y	เศษส่วนโดยมวลของสารในด้านเพอร์มิเอต	(-)
β	Enrichment factor	(-)
α	ค่าการเลือกสารของเยื่อแผ่น(Selectivity)	(-)
μ_i	ศักย์ทางเคมีของสาร i	(-)
γ_i	แอคติวิตี โคอิฟิเซียน(activity coefficient)	(-)