การบำบัดน้ำผิวดินให้เป็นน้ำดื่มด้วยเมมเบรนพอลิซัลโฟน

นางสาวยุวดี วงศ์ศิริ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6179-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SURFACE WATER TREATMENT FOR DRINKING WATER BY POLYSULFONE MEMBRANE

Miss. Yuwadee Wongsiri

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fullfilment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science (Inter-department)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2004

ISBN 974-17-6179-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบำบัดน้ำผิวดินให้เป็นน้ำดื่มด้วยเมมเบรนพอลิซัลโฟน
โดย	นางสาวยุวดี วงศ์ศิริ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขันทอง สุนทราภา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. ชุติมา เอี่ยมโชติชวลิต

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มรว. กัลยา ติงศภัทิย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขันทอง สุนทราภา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร. ชุติมา เอี่ยมโชติชวลิต)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมใจ เพ็งปรีชา)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ยุวดี วงศ์ศิริ: การบำบัดน้ำผิวดินให้เป็นน้ำดื่มด้วยเมมเบรนพอลิซัลโฟน (SURFACE WATER TREATMENT FOR DRINKING WATER BY POLYSULFONE MEMBRANE) อ.ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขันทอง สุนทราภา, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม: ดร. ชุติมา เอี่ยมโชติชวลิต, 114 หน้า. ISBN 974-17-6179-1

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมเมมเบรนพอลิซัลโฟน และเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่มีการปรับปรุงสมบัติ เพื่อประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำผิวดินให้เป็นน้ำดื่ม เมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เตรียมได้มีโครงสร้างแบบไม่สมมาตรตามต้องการ โดยเมมเบรนที่ระเหยตัวทำละลายบางส่วนภายในตู้อบสุญญากาศมีโครงสร้างรูพรุนแบบทรงกระบอก ในขณะที่การระเหยตัวทำละลายภายในตู้อบลมร้อนทำให้เมมเบรนมีโครงสร้างรูพรุนเป็นได้ทั้งแบบฟองน้ำหรือแบบทรงกระบอก การเพิ่มเวลาระเหยตัวทำละลายจาก 3 ไปเป็น 60 นาที หรือการลดอุณหภูมิในอ่างน้ำจาก 20 ไปเป็น 4 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เมมเบรนมีโครงสร้างแน่นขึ้น การเติมสารลดแรงตึงผิวประจุบวกหรือประจุลบทำให้โครงสร้างของเมมเบรนเปลี่ยนจากการมีรูพรุนแบบทรงกระบอกเป็นรูพรุนแบบคล้ายฟองน้ำ เมมเบรนที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำผิวดินให้เป็นน้ำดื่มคือ เมมเบรนพอลิซัลโฟน ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ระเหยตัวทำละลายบางส่วนภายในตู้อบลมร้อน เป็นเวลา 15-60 นาที และทำให้พอลิเมอร์แข็งตัวในอ่างน้ำอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยเมมเบรนพอลิซัลโฟนมีค่าฟลักซ์ในการกรองน้ำผิวดินเท่ากับ 2.67±0.48 ลิตร/ตารางเมตร/นาที สามารถกักกันโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ร้อยละ 100 และสามารถกักกักซีโอดีได้ร้อยละ 83.7±5.91 เหลือความเข้มข้น 7.6±2.7 มิลลิกรัม/ลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต ยุวดี วงศ์ศิริ

ปีการศึกษา 2547 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ขันทอง สุนทราภา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4489083320 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORD : POLYSULFONE MEMBRANE / DRINKING WATER
YUWADEE WONGSIRI: SURFACE WATER TREATMENT FOR DRINKING WATER BY POLYSULFONE MEMBRANE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. KHANTONG SOONTARAPA, Ph.D., THESIS COADVISOR: CHUTIMA EAMCHOTCHAWALIT, Ph.D., pp.114 ISBN 974-17-6179-1

Polysulfone membranes and modified polysulfone were prepared and characterized for surface water purification as drinking water. The polysulfone membranes with asymmetric structure could be prepared successfully. By partial evaporation in vacuum oven, the finger like structure was obtained. By partial evaporation in hot air oven, either finger like structure or sponge like structure was obtained. The increase of evaporation time from 3 to 60 min or the decrease of coagulation temperature from 20 to 4 $^{\circ}C$ provided denser membrane. The addition of cationic or anionic surfactants changed the membrane morphology from finger like to sponge like structure. The appropriate membranes were 10% polysulfone membrane, partial evaporation in hot air oven for 15-60 min and coagulation at 20 $^{\circ}C$. The flux of these membranes were 2.67 ± 0.48 $l/m^2/min$ and the rejection of coliform and COD are 100% and 83.72 ± 5.91%, respectively.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Field of study Environmental Science
Academic year 2004

Student's signature Yuwadee Wongsiri
Advisor's signature Khantong Soontarapa
Coadvisor's signature Ch Eamchotchawalit

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขันทอง สุนทราภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. ชุติมา เอี่ยมโชติชวลิต อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำแนะนำในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกตลอดการทำการวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สนอง เอกสิทธิ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ FTIR และคำแนะนำ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในห้องปฏิบัติการ Non-waste ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจและให้คำแนะนำ ทำให้การทำงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เนื่องจากทุนบางส่วนของงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย และบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

คุณความดีและประโยชน์ทั้งหลายอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้บิดา มารดา ซึ่งเป็นผู้ให้ทุกอย่างแก่ผู้วิจัยตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฎ

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ..... ฒ

บทที่

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรคที่เกิดจากน้ำเป็นสื่อ..... 5

2.2 แหล่งของน้ำดื่มน้ำใช้..... 6

2.3 เชื้อนลำตะคอง..... 7

2.4 กระบวนการเมมเบรน..... 9

2.5 วัสดุสำหรับผลิตเมมเบรน..... 17

2.6 การแบ่งชนิดของเมมเบรน..... 20

2.7 วิธีการผลิตเมมเบรนจากพอลิเมอร์..... 22

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 24

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การวางแผนการทดลอง..... 30

3.2 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 33

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3.3 วิธีการทดลอง..... 35

4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำในเขื่อนลำตะคอง.....43

4.2 การเตรียมเมมเบรนพอลิซัลโฟน.....44

4.2.1 ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา..... 44

4.2.2 ผลการศึกษาฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์.....47

4.2.3 ผลการศึกษา MWCO.....47

4.2.4 ผลการศึกษาค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง..... 50

4.2.5 อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว.....50

4.2.6 สมรรถนะของเมมเบรนในการบำบัดน้ำผิวดินจากเขื่อนลำตะคอง..... 52

4.3 การเตรียมเมมเบรนแอมิเนเตดพอลิซัลโฟนและเมมเบรนซัลโฟเนเตดพอลิซัลโฟน..... 56

4.3.1 ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา.....56

4.3.2 ผลการศึกษาโครงสร้างทางเคมีของเมมเบรน..... 57

4.3.3 ผลการศึกษาฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์..... 59

4.3.4 ผลการศึกษา MWCO..... 59

4.3.5 ผลการศึกษาค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง..... 60

4.3.6 อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว..... 61

4.3.7 สมรรถนะของเมมเบรนในการบำบัดน้ำผิวดินจากเขื่อนลำตะคอง..... 62

4.4 การเตรียมเมมเบรนชนิดที่มีการเติมสารลดแรงตึงผิว..... 64

4.4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา.....64

4.4.2 ผลการศึกษาโครงสร้างทางเคมีของเมมเบรน..... 67

4.4.3 ผลการศึกษาฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์..... 69

4.4.4 ผลการศึกษา MWCO..... 71

4.4.5 ผลการศึกษาค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง..... 71

4.4.6 อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว.....73

4.4.7 สมรรถนะของเมมเบรนในการบำบัดน้ำผิวดินจากเขื่อนลำตะคอง.....75

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง.....82

5.2 ข้อเสนอแนะ.....83

รายการอ้างอิง.....84

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลการทดลอง.....88

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์น้ำ.....103

ภาคผนวก ค ค่ามาตรฐาน.....111

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....114

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณภาพน้ำในเขื่อนลำตะคอง..... 8
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของโมดูลเมมเบรนแบบต่างๆ 17
ตารางที่ 2.3 อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วของพอลิเมอร์.....20
ตารางที่ 3.1 ชนิดของเมมเบรนที่ใช้ในการทดลอง.....30
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์น้ำในเขื่อนลำตะคอง.....44
ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดที่เติมลงในสารละลายพอลิซัลโฟน..... 64
ตารางที่ 4.3 ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วของเมมเบรนที่มีการเติมสารลดแรงตึงผิว.....73
ตารางที่ 4.4 ฟลักซ์จากการกรองน้ำผิวดินของเมมเบรนที่มีการเติมสารลดแรงตึงผิว.....75
ตารางที่ 4.5 ค่าร้อยละการกักกันซีโอดีของเมมเบรนที่มีการเติมสารลดแรงตึงผิว.....78
ตารางที่ 4.6 ลักษณะสมบัติของเมมเบรนทั้งหมด..... 80
ตารางที่ ก.1 ค่านอร์มัลไลซ์ฟลักซ์ของเมมเบรน.....88
ตารางที่ ก.2 ค่าร้อยละการกักกันตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุล 1000, 4000, 6000, 10000, 47000.....90
ตารางที่ ก.3 ค่าความต้านแรงดึงของเมมเบรน.....91
ตารางที่ ก.4 อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วของเมมเบรน.....94
ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบฟลักซ์จากการกรองน้ำผิวดินของเมมเบรน.....97
ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบค่าร้อยละการกักกันซีโอดีของเมมเบรน.....100
ตารางที่ ค.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท.....111
ตารางที่ ค.2 International standard for drinking water.....113

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 เส้นทางการติดเชื้อไวรัสและแบคทีเรียนกลับเข้าสู่มนุษย์..... 4
รูปที่ 2.2 กระบวนการออสโมซิสผันกลับ.....10
รูปที่ 2.3 กระบวนการนาโนฟิลเตรชัน.....11
รูปที่ 2.4 กระบวนการอิเล็กโตรไดแอลิซิส.....12
รูปที่ 2.5 กระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน.....12
รูปที่ 2.6 กระบวนการไมโครฟิลเตรชัน.....13
รูปที่ 2.7 Filtration spectrum ของเมมเบรน 14
รูปที่ 2.8 โมดูลแบบแผ่นและกรอบ.....15
รูปที่ 2.9 โมดูลแบบท่อ.....16
รูปที่ 2.10 เมมเบรนแบบเส้นใยกลวงและโมดูลแบบเส้นใยกลวง.....16
รูปที่ 2.11 โมดูลแบบท่อม้วน.....17
รูปที่ 2.12 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิซัลโฟน.....18
รูปที่ 3.1 การออกแบบการทดลอง.....32
รูปที่ 3.2 การสังเคราะห์แอมิเนเตดพอลิซัลโฟน..... 37
รูปที่ 3.3 การสังเคราะห์ซัลโฟเนเตดพอลิซัลโฟน.....37
รูปที่ 3.4 การเตรียมเมมเบรนพอลิซัลโฟน.....39
รูปที่ 3.5 ชุดทดสอบฟลักซ์ประกอบด้วยปั๊มความดันสูง และโมดูลแบบแผ่นและกรอบ.....40
รูปที่ 3.6 ชิ้นตัวอย่างเมมเบรนและเครื่อง Universal testing machine.....41
รูปที่ 4.1 แผนที่โดยสังเขปแสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำในเขื่อนลำตะคอง.....43
รูปที่ 4.2 ลักษณะของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่เตรียมได้.....45
รูปที่ 4.3 เมมเบรนพอลิซัลโฟนที่ระเหยตัวทำละลายบางส่วนภายในตู้อบสุญญากาศ เป็นเวลา 60 นาที และทำให้พอลิเมอร์แข็งตัวในอ่างน้ำอุณหภูมิ 20°C.....45
รูปที่ 4.4 ภาคตัดขวางของเมมเบรนพอลิซัลโฟนความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก.....46
รูปที่ 4.5 ค่านอร์มัลไลซ์ฟลักซ์ของเมมเบรนพอลิซัลโฟนความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก.....48
รูปที่ 4.6 ค่า MWCO ของเมมเบรนพอลิซัลโฟนความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก.....49
รูปที่ 4.7 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของเมมเบรนพอลิซัลโฟนความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก.....51

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.8 อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วของเมมเบรนพอลิซัลโฟน ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก.....52
รูปที่ 4.9 ฟลักซ์การกรองน้ำผิวดินของเมมเบรนพอลิซัลโฟนความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก.....53
รูปที่ 4.10 ค่าร้อยละการกักกันซีโอดีของเมมเบรนพอลิซัลโฟนความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก.....55
รูปที่ 4.11 น้ำในเขื่อนลำตะคองก่อนและหลังการบำบัด.....56
รูปที่ 4.12 ลักษณะผิวหน้าและภาคตัดขวางของเมมเบรนแอมิเนเตดพอลิซัลโฟน.....57
รูปที่ 4.13 ลักษณะผิวหน้าและภาคตัดขวางของเมมเบรนซัลโฟเนเตดพอลิซัลโฟน.....57
รูปที่ 4.14 อินฟราเรดสเปคตรัมของเมมเบรนพอลิซัลโฟนและเมมเบรนแอมิเนเตด พอลิซัลโฟนเมมเบรน.....58
รูปที่ 4.15 อินฟราเรดสเปคตรัมของเมมเบรนพอลิซัลโฟนและเมมเบรนซัลโฟเนเตด พอลิซัลโฟน.....58
รูปที่ 4.16 ค่านอร์มัลไลซ์ฟลักซ์ของเมมเบรนพอลิซัลโฟน เมมเบรนแอมิเนเตด พอลิซัลโฟน และเมมเบรนซัลโฟเนเตดพอลิซัลโฟน.....59
รูปที่ 4.17 ค่า MWCO ของเมมเบรนพอลิซัลโฟน เมมเบรนแอมิเนเตดพอลิซัลโฟน และเมมเบรนซัลโฟเนเตดพอลิซัลโฟน.....60
รูปที่ 4.18 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของเมมเบรนพอลิซัลโฟน เมมเบรนแอมิเนเตด พอลิซัลโฟน และเมมเบรนซัลโฟเนเตดพอลิซัลโฟน.....60
รูปที่ 4.19 อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วของเมมเบรนพอลิซัลโฟน เมมเบรนแอมิเนเตดพอลิซัลโฟน และเมมเบรนซัลโฟเนเตดพอลิซัลโฟน.....61
รูปที่ 4.20 ฟลักซ์การกรองน้ำผิวดินของเมมเบรนพอลิซัลโฟน เมมเบรนแอมิเนเตด พอลิซัลโฟน และเมมเบรนซัลโฟเนเตดพอลิซัลโฟน.....63
รูปที่ 4.21 ค่าร้อยละการกักกันซีโอดีของเมมเบรนพอลิซัลโฟน เมมเบรนแอมิเนเตด พอลิซัลโฟน และเมมเบรนซัลโฟเนเตดพอลิซัลโฟน.....63
รูปที่ 4.22 ลักษณะผิวหน้าของเมมเบรน (a) PSf + SDS membrane, (b) PSf + BC membrane และ (c) PSf + TWEEN 80 membrane.....65

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.23 ภาคตัดขวางของเมมเบรน (a) PSf + 0.1% SDS membrane และ (b) PSf + 0.5% SDS membrane 66
รูปที่ 4.24 ภาคตัดขวางของเมมเบรน (a) PSf + 1% BC membrane และ (b) PSf + % BC membrane 66
รูปที่ 4.25 ภาคตัดขวางของเมมเบรน (a) PSf + 0.1% TWEEN 80 membrane, (b) PSf + 0.5% TWEEN 80 membrane และ (c) PSf + 1% TWEEN 80 membrane 66
รูปที่ 4.26 ภาคตัดขวางของเมมเบรน (a) APSf membrane, (b) SPSf membrane และ (c) PSf membrane 66
รูปที่ 4.27 อินฟราเรดสเปคตรัมของเมมเบรนพอลิซัลโฟนและเมมเบรนพอลิซัลโฟน ที่มีการเติมโซเดียมลอริลซัลเฟต.....67
รูปที่ 4.28 อินฟราเรดสเปคตรัมของเมมเบรนพอลิซัลโฟนและเมมเบรนพอลิซัลโฟน ที่มีการเติมเบนซอลโคเนียมคลอไรด์.....68
รูปที่ 4.29 อินฟราเรดสเปคตรัมของเมมเบรนพอลิซัลโฟนและเมมเบรนพอลิซัลโฟน ที่มีการเติม TWEEN 80.....68
รูปที่ 4.30 ค่านอร์มัลไลซ์ฟลักซ์ของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่มีการเติมโซเดียมลอริลซัลเฟต.....69
รูปที่ 4.31 ค่านอร์มัลไลซ์ฟลักซ์ของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่มีการเติมเบนซอลโคเนียม คลอไรด์.....70
รูปที่ 4.32 ค่านอร์มัลไลซ์ฟลักซ์ของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่มีการเติมTWEEN 80.....70
รูปที่ 4.33 MWCO ของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่มีการเติมโซเดียมลอริลซัลเฟต เบนซอลโคเนียมคลอไรด์ และ TWEEN 80.....71
รูปที่ 4.34 ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่มีการเติม โซเดียมลอริลซัลเฟต (a) เบนซอลโคเนียมคลอไรด์ (b) และ TWEEN 80 (c).....72
รูปที่ 4.35 อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะแก้วของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่มีการเติม โซเดียมลอริลซัลเฟต (a) เบนซอลโคเนียมคลอไรด์ (b) และ TWEEN 80 (c).....74
รูปที่ 4.36 ฟลักซ์จากการกรองน้ำผิวดินของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่มีการเติม โซเดียมลอริลซัลเฟต (a) เบนซอลโคเนียมคลอไรด์ (b) และ TWEEN 80 (c).....76

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.37 ค่าร้อยละการกักกันซีโอดีของเมมเบรนพอลิซัลโฟนที่มีการเติม
โซเดียมลอริลซัลเฟต (a) เบนซอลโคเนียมคลอไรด์ (b) และ TWEEN 80 (c).....79

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

UF = อัลตราฟิลเตรชัน

MF = ไมโครฟิลเตรชัน

NF = นาโนฟิลเตรชัน

RO = ออสโมซิสผันกลับ

ED = อิเล็กโทรไดแอลิซิส

LPRO = ออสโมซิสผันกลับแบบความดันต่ำ

DO = ออกซิเจนละลาย

COD = ซีโอดี

TS = ปริมาณของแข็งทั้งหมด

NOM = สารอินทรีย์ตามธรรมชาติ (Natural organic matter)

T_g = อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature)

MWCO = Molecular weight cut off

SDS = โซเดียมลอริลซัลเฟต

BC = เบนซอลโคเนียมคลอไรด์

PEG = พอลิเอทิลีนไกลคอล

EDA = เอทิลีนไดเอมีน

SPSf = ซัลโฟเนเตดพอลิซัลโฟน

APSf = แอมิเนเตดพอลิซัลโฟน

ET = เวลาระเหยตัวทำละลาย (Evaporation time)

CT = อุณหภูมิที่ทำให้พอลิเมอร์แข็งตัวในอ่างน้ำ (Coagulation temperature)

PWF = ฟลักซ์น้ำบริสุทธิ์

DSC = Differential scanning calorimeter

psi = ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย