

การบำบัดน้ำล้างเห็ดดองเค็มโดยใช้เมมเบรนไคโตซาน



นางสาวบุญชู มหาผล

สถาบันวิทยบริการ  
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

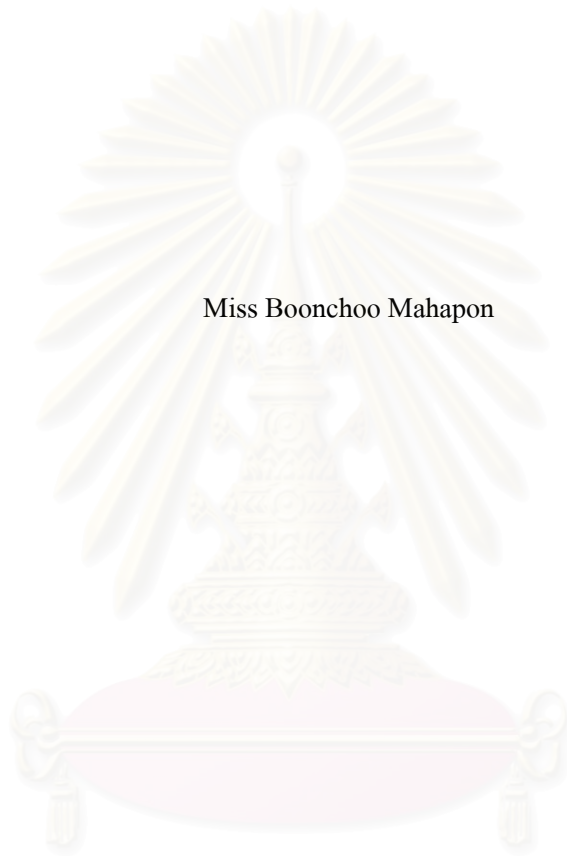
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6228-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TREATMENT OF SALTED MUSHROOM WASHING WATER BY  
CHITOSAN MEMBRANE

Miss Boonchoo Mahapon



สถาบันวิทยบริการ  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Environmental Science (Inter-Department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6228-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบำบัดน้ำล้างเห็ดดองเค็มโดยใช้เมมเบรนไคโตซาน
โดย	นางสาว บุญชู มหาผล
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชันทอง สุนทรภา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายประวิทย์ โคมหอม

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว.กัลยา ติงศภัทย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โหมยิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชันทอง สุนทรภา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(นายประวิทย์ โคมหอม)

.....กรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์)

บุญชู มหาผล: การบำบัดน้ำล้างเห็ดดองเค็มโดยใช้เมมเบรนไคโตซาน (TREATMENT OF SALTED MUSHROOM WASHING WATER BY CHITOSAN MEMBRANE) อ. ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชันทอง สุนทรภา, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม: นายประวิทย์ โคมหอม, 89 หน้า. ISBN 974-17-6228-3

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมไคโตซานจากเปลือกกุ้งมีค่ามวลโมเลกุล  $1.4 \times 10^6$  คอลตัน ค่าร้อยละการกำจัดหมู่แอซีทิล  $87.79 \pm 1.81$  ด้วยวิธี Colloidal titration และความหนืด 904.8 เซนติพอยส์ เพื่อเตรียมเป็นเมมเบรนจากสารละลายไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ในกรดแอซีติกเข้มข้นร้อยละ 1 การทำให้เมมเบรนแห้งในตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศที่ระยะเวลาต่าง ๆ ทำให้ได้ลักษณะพื้นฐานแตกต่างกัน ผลการทดสอบการแยกเกลือของเมมเบรนในโมดูลแบบแผ่นและกรอบจากน้ำเกลือสังเคราะห์เข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก พบว่า เมมเบรนที่เตรียมโดยใช้ระยะเวลาระเหยตัวทำละลาย 4 ชั่วโมง ในตู้อบสุญญากาศให้ค่าร้อยละการกักกันเกลือสูงสุดเท่ากับ  $80.83 \pm 4$  ให้ฟลักซ์  $0.08 \pm 0.2$  ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาที สมรรถนะของเมมเบรนนี้เหมาะสมในการนำไปใช้บำบัดน้ำล้างเห็ดดองเค็มของโรงงานกรณีศึกษา

ผลการทดสอบเมมเบรนไคโตซานที่เตรียมขึ้นกับน้ำล้างเห็ดดองเค็มที่มีความเค็มอยู่ระหว่างร้อยละ 2 – 2.5 โดยน้ำหนัก พบว่าสามารถแยกเกลือและสารอินทรีย์ได้ โดยให้ค่าร้อยละการกักกันเกลือสูงสุดเท่ากับ  $82.93 \pm 2.57$  ค่าร้อยละการกำจัดซีโอดีสูงสุด เท่ากับ  $95.33 \pm 0.24$  และค่าฟลักซ์สูงสุดเท่ากับ  $0.08 \pm 0.02$  ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาที

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา ..... วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม .....

ปีการศึกษา ..... 2547 .....

ลายมือชื่อนิติ ..... ..

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## 4489081020 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD: CHITOSAN MEMBRANE / DESALINATION/ PLATE AND FRAME MODULE  
 BOONCHOO MAHAPON: TREATMENT OF SALTED MUSHROOM  
 WASHING WASHING WATER BY CHITOSAN MEMBRANE. THESIS  
 ADVISOR: ASST. PROF. KHANTONG SOONTARAPA, Ph.D., THESIS  
 COADVISOR: PRAWIT KOMHOM, 89 pp. ISBN 974-17-6228-3

Chitosan flakes with molecular mass of  $1.4 \times 10^6$  Dalton, deacetylation degree by colloidal titration of  $87.79 \pm 1.81$ , and viscosity of 904.8 centipoises were synthesized from shrimp shells. The membranes were then prepared from chitosan solution of 1.5% in 1% acetic acid (weight by weight). Drying of membranes in oven and vacuum oven for different duration provided different membrane morphology. Chitosan membranes were tested for desalination of 4% by weight of synthetic solution in plate and frame module. It was found that the highest salt rejection of  $80.83 \pm 4$  % and flux of  $0.08 \pm 0.2$  l/m<sup>2</sup>/min could be obtained from the membrane dried in vacuum for 4 hours. This performance was suitable for treatment of salted mushroom washing water of case industry.

The system was then tested with salted mushroom washing water having salinity of 2 – 2.5%. It was found that the flux, salt rejection and COD rejection were  $0.08 \pm 0.02$  l/m<sup>2</sup>/min,  $82.93 \pm 2.57$ % and  $95.33 \pm 0.24$  %, respectively.

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Field of study ..... Environmental Science.....

Student's signature.....

Academic year ..... 2004.....

Advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทอง สุนทรภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และนายประวิทย์ โคมหอม อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการวิจัยตลอดจนแก้ไขปัญหาต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้แก่ อาจารย์ ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ประธานกรรมการ ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต และ รองศาสตราจารย์ เปรมจิตต์ แทนสถิตย์ ที่ได้ให้คำแนะนำแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบริษัท ไทยนิสชินเซฟุง จำกัด ที่ช่วยอนุเคราะห์น้ำเสีย ตลอดจนให้ความสะดวกในด้านต่าง ๆ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่คอยช่วยเหลือ และให้ความสะดวกด้านเครื่องมือและวิธีการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ พ่อ แม่ และญาติพี่น้อง ที่คอยให้กำลังใจและคำปรึกษาตลอดจนทุนการศึกษาตลอดมา สุดท้ายขอใจเพื่อน ๆ และน้อง ๆ ห้อง Non waste สำหรับกำลังใจและความช่วยเหลือต่าง ๆ และเพื่อน ๆ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 นำ้เสียโรงงานกรณีศึกษา.....	3
2.1.1 กระบวนการผลิต.....	3
2.1.2 ปัญหานำ้เสียของโรงงาน.....	6
2.1.3 นำ้เสียจากกระบวนการล้างหีตดองเค็ม.....	6
2.2 การจัดเกลือ.....	9
2.3 กระบวนการเมมเบรน.....	14
2.4 กระบวนการแยกแบบออสโมซิสผันกลับ.....	15
2.5 กลไกการกำจัดเกลือ.....	17
2.6 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์.....	18
2.7 โมดูลออสโมซิสผันกลับ.....	18
2.8 การบอกลักษณะของเมมเบรน.....	22
2.9 ไคตินและไคโตซาน.....	23
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	31
3.1 สารเคมี.....	31
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 วิธีการทดลอง.....	33
3.3.1 ส่วนที่ 1 ออกแบบและประกอบโม่คูลอสโม่ซิสพันกลับ.....	33
3.3.2 ส่วนที่ 2 สังเคราะห์โคโตะซานและวิเคราะห์สมบัติ.....	34
3.3.3 ส่วนที่ 3 เตรียมเมมเบรนโคโตะซานและวิเคราะห์สมบัติ.....	37
3.3.4 ส่วนที่ 4 ศึกษาสมบัติของน้ำล้างเห็ดดองเค็มและบำบัดน้ำล้างเห็ด.....	40
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	41
4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำล้างเห็ดดองเค็ม.....	41
4.2 ผลการสังเคราะห์โคโตะซาน.....	41
4.3 ผลการเตรียมเมมเบรน.....	42
4.3.1 ผลการทดสอบค่าการกักกันเกลือ.....	43
4.3.2 ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา.....	49
4.3.3 ผลการศึกษา Glass transition temperature (Tg).....	52
4.3.4 ผลการศึกษาค่าความต้านแรงดึง.....	53
4.4 ผลการบำบัดน้ำล้างเห็ดดองเค็ม.....	54
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	62
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	62
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	62
รายการอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก.....	66
ภาคผนวก ก: ผลการทดลอง.....	67
ภาคผนวก ข: การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	81
ภาคผนวก ค: มาตรฐานน้ำ.....	86
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	89



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบความแตกต่างของโมดูลเมมเบรนแบบต่าง ๆ.....	21
2.2 ความสามารถในการละลายของไคโตซานในสารละลายกรดชนิดต่าง ๆ.....	26
2.3 การประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตซาน.....	27
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	41
4.2 ผลการสังเคราะห์ไคโตซาน.....	42
4.3 การเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ของน้ำและค่าร้อยละการกักกันเกลือ.....	49
4.4 ผลการบำบัดน้ำเสียด้วยเมมเบรนไคโตซานน้ำตัวอย่างเดือนมีนาคม.....	55
4.5 ผลการบำบัดน้ำเสียด้วยเมมเบรนไคโตซานน้ำตัวอย่างเดือนพฤษภาคม.....	55
4.6 ผลการบำบัดน้ำเสียด้วยเมมเบรนไคโตซานน้ำตัวอย่างเดือนกรกฎาคม.....	56
4.7 เปรียบเทียบค่าร้อยละการกักกันเกลือ.....	59
4.8 ผลการบำบัดน้ำจำนวน 4 รอบ.....	60
ก.1 ผลการเตรียมไคตินไคโตซานจากเปลือกกุ้ง.....	67
ก.2 ร้อยละการกำจัดหมู่เอซีทิล.....	68
ก.3.1 ผลการวิเคราะห์ COD, TS และ TSS ของตัวอย่างน้ำเสีย.....	69
ก.3.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2546.....	70
ก.3.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเดือน มีนาคม พ.ศ. 2547.....	71
ก.3.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2547.....	72
ก.3.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2547.....	73
ก.4.1 ฟลักซ์ของเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	74
ก.4.2 ฟลักซ์ของเมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	74
ก.4.3 ร้อยละการกักกันเกลือของเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	75
ก.4.4 ร้อยละการกักกันเกลือของเมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	75
ก.5.1 ฟลักซ์ของเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	76
ก.5.2 ร้อยละการกักกันเกลือของเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	77
ก.5.3 ฟลักซ์ของเมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	78
ก.5.4 ร้อยละการกักกันเกลือของเมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	79
ก.5.5 ความหนาของเมมเบรน.....	80
ค.1 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง.....	86
ค.2 มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน.....	87

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา.....	5
2.2 กระบวนการล้างเห็ดของโรงงานกรณีศึกษา.....	8
2.3 การแยกเกลือด้วยวิธี MSF.....	9
2.4 การแยกเกลือด้วยวิธี LTV.....	10
2.5 การแยกเกลือด้วยวิธี Vapour compression distillation.....	11
2.6 การแยกเกลือด้วยวิธี Electrodialysis.....	11
2.7 การแยกเกลือด้วยวิธี Reverse osmosis.....	12
2.8 การแยกเกลือด้วยวิธี Vacuum freezing.....	13
2.9 การแยกเกลือด้วยวิธี Secondary refrigerant process.....	13
2.10 กลไกการกำจัดเกลือต่าง ๆ .....	17
2.11 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์.....	18
2.12 โมดูลแบบแผ่นและกรอบ.....	19
2.13 โมดูลแบบท่อ.....	20
2.14 โมดูลแบบท่อหมุน.....	20
2.15 เมมเบรนแบบเส้นใยกลวงและโมดูลแบบเส้นใยกลวง.....	21
2.16 โครงสร้างโมเลกุลของ (A) ไคติน (B) ไคโตซาน.....	24
2.17 IR spectra ของไคติน (A)และไคโตซาน (B) .....	24
2.18 NMR spectra ของไคติน (A)และไคโตซาน (B) โดยวิธี CP-MAS .....	25
3.1 โมดูลแบบแผ่นและกรอบที่ใช้ในการทดลอง.....	34
3.2 การเตรียมไคตินและไคโตซาน.....	35
3.3 การเตรียมเมมเบรน.....	37
3.4 ชุดทดสอบร้อยละการกักกันเกลือ.....	38
3.5 ลักษณะชิ้นตัวอย่างและการทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing.....	39
3.6 เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC).....	40
4.1 เมมเบรนไคโตซานที่ระเหยตัวทำละลายน้อยกว่า 3 ชั่วโมง.....	43
4.2 ผลการศึกษาเมมเบรนอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	44
4.3 ผลการศึกษาเมมเบรนอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในตู้อบลมร้อน.....	46
4.4 ผลการศึกษาฟลักซ์ของเมมเบรนอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในตู้อบสุญญากาศ....	47
4.5 ผลการศึกษาร้อยละการกักกันเกลือของเมมเบรนอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	48

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 ภาคตัดขวางเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	50
4.7 ภาคตัดขวางของเมมเบรนที่กำลังขยาย 7,000 เท่า.....	50
4.8 ภาคตัดขวางเมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	51
4.9 เมมเบรนที่ระเหยตัวทำละลาย 4 ชั่วโมง.....	52
4.10 ผลการวิเคราะห์แก๊สโครมาโตกราฟีด้วยเครื่อง DSC.....	52
4.11 ผลการวิเคราะห์เมมเบรนโครมาโตกราฟีด้วยเครื่อง DSC.....	53
4.12 เปรียบเทียบน้ำหนักก่อนและหลังการบำบัด.....	57
4.13 ลักษณะพื้นผิวของเมมเบรน.....	57
4.14 ภาคตัดขวางของเมมเบรนหลังการทดสอบการกักกันเกลือกับน้ำเสียสังเคราะห์.....	58
4.15 ผลการวิเคราะห์ด้วย EDX .....	58
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเกลือกับร้อยละการกักกันเกลือ.....	60

## รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

mg/l	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
ppm	=	ส่วนในล้านส่วน
ppt	=	ส่วนในพันส่วน
%R	=	%Rejection
$l/m^2/min$	=	ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาที
$m^2/m^3$	=	ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร
$^{\circ}C$	=	องศาเซลเซียส
DSC	=	Differential Scanning Calorimeter
SEM	=	Scanning Electron Microscopy
Tg	=	Glass transition temperature
GPC	=	Gel Permeation Chromatography
COD	=	Chemical Oxygen Demand
TS	=	Total Solid
TSS	=	Total Suspended Solid

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บริษัท ไทยนิสชิน เซฟุง จำกัด เป็นบริษัทผลิตอาหารสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องและแช่แข็ง ประเด็นปัญหาหลักของทางโรงงานที่ทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงคือ ปัญหาเกี่ยวกับน้ำเสียของโรงงาน ปัญหาปริมาณการใช้น้ำมาก และปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้า ในส่วนของปัญหาน้ำเสียพบว่า มีน้ำเสียเกิดขึ้น 164,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี น้ำเสียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิต ส่วนสำคัญที่มีการใช้น้ำปริมาณมากและก่อให้เกิดน้ำเสียตามมาคือ การล้างหีตดองเค็ม น้ำเสียในส่วนนี้พบว่า จะมีความเค็มสูงถึง 40 ppt หรือร้อยละ 4 (น้ำทะเล 29–35 ppt; <http://www.oiepp.go.th>) ตามหลักการเทคโนโลยีสะอาดหากนำน้ำเสียส่วนนี้กลับมาใช้ใหม่ได้สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิต และลดความเค็มในน้ำที่ผ่านการบำบัดจากทางโรงงานก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (สฤณี และสุขวัฒน์, 2544) เทคโนโลยีที่ใช้ในการแยกเกลือออกจากน้ำมีหลายวิธี เช่น การกลั่น การใช้ความร้อนจากแสงแดด การทำให้แข็งตัวด้วยความเย็น และการแยกด้วยเมมเบรน เป็นต้น ระบบเมมเบรนที่ใช้แยกเกลือคือ ระบบออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis, RO) โดยออสโมซิสเป็นการเคลื่อนที่ที่เกิดเองตามธรรมชาติของน้ำผ่านเมมเบรนไปยังด้านของสารละลายเข้มข้น เนื่องจากน้ำในด้านสารละลายเจือจางมีศักย์ทางเคมี (Chemical potential) สูงกว่า จึงแพร่ผ่านเมมเบรนไปยังด้านสารละลายเข้มข้น เมื่อถึงสมดุลศักย์ทางเคมีของน้ำทั้งสองด้านมีค่าเท่ากัน ผลต่างความดันของสารละลายทั้งสองด้านคือ ผลต่างของความดันออสโมติก ถ้ามีการให้ความดันทางด้านสารละลายเข้มข้นมากกว่าผลต่างของความดันออสโมติก ทำให้น้ำทางด้านสารละลายเข้มข้นแพร่ผ่านเมมเบรนไปยังด้านสารละลายเจือจาง ซึ่งคือการเกิดออสโมซิสผันกลับ (รัตน, 2541) เมมเบรนออสโมซิสผันกลับมีความสามารถในการกักกันโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น เกลือ น้ำตาล (น้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 500 หรือมีขนาดประมาณ 0.1 – 1 นาโนเมตร) แต่ยอมให้น้ำผ่านได้ ดังนั้นสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 500 จึงถูกกักกันไว้ได้ การผ่านเมมเบรนของสารเกิดจากความสามารถในการละลายและการแพร่ (Solution and diffusion) ในเมมเบรน (Wijmans and Baker, 1995) และเนื่องจากสารละลายของตัวถูกละลายโมเลกุลเล็กมีความดันออสโมติกสูง ทำให้ความดันที่ใช้ในการป้อนสารละลายต้องมีค่าสูง คือ อยู่ระหว่าง 1 – 10 เมกะปาสคาล หรือ 145 – 1450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ในปัจจุบันเมมเบรนที่ใช้ในระบบออสโมซิสผันกลับ เป็นเมมเบรนที่ผลิตขึ้นจากเซลลูโลส แอซีเตต พอลิซัลโฟน พอลิเอไมด์ เป็นต้น (Matsuura, 1993) ซึ่งประเทศไทยต้องนำเข้าเมมเบรนเหล่านี้ ดังนั้นหากนำโคโตะซานซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคตินและเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส พบมากในสัตว์ทะเลที่มีเปลือกแข็งภายนอก เช่น กุ้ง ปู กุ้ง เป็นต้น มักพบเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลจำนวนมาก มาใช้แทนพอลิเมอร์ดังกล่าวทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ลงได้ การนำของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารมาแปรรูปและใช้แก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมถือว่าการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจการแยกเกลือและสารอินทรีย์ออกจากน้ำล้างเห็ดดองเค็ม โรงงานกรณีศึกษาโดยใช้เมมเบรนโคโตะซานและโมดูลแบบแผ่นและกรอบ (Plate and frame) ที่พัฒนาขึ้น เพื่อเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตของโรงงาน นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางการพัฒนาระบบเมมเบรนเพื่อแยกเกลือและสารอินทรีย์ออกจากน้ำขึ้นในประเทศไทย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

แยกเกลือและสารอินทรีย์ออกจากน้ำล้างเห็ดดองเค็ม โรงงานกรณีศึกษาด้วยระบบเมมเบรน

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. น้ำเสียเป็นน้ำจากการล้างเห็ดดองเค็มของ บริษัท ไทยนิสชิน เซฟุง จำกัด
2. โมดูลออสโมซิสผันกลับเป็นแบบแผ่นและกรอบ

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ลดปริมาณการใช้น้ำของโรงงานกรณีศึกษาด้วยระบบเมมเบรนที่พัฒนาขึ้น
2. ลดปริมาณน้ำเสียโรงงานกรณีศึกษา

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 นำเสียโรงงานกรณีศึกษา

บริษัท ไทยนิสชิน เซฟุง จำกัด ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมบางปู เลขที่ 276 ซอย 4 ถ.สุขุมวิท ต. แพรกษา อ. เมือง จ. สมุทรปราการ เป็นบริษัทผลิตอาหารสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง และแช่แข็ง

##### 2.1.1 กระบวนการผลิต (ประวิทย์, สัมภาษณ์, 2546 และสฤษฎ์ และสุขวัฒน์, 2544)

กระบวนการผลิตของ บริษัท ไทยนิสชิน เซฟุง จำกัด ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ (แสดงดังรูปที่ 2.1)

##### 1. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ (Preparing raw material section)

วัตถุดิบที่ได้มาต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพให้ได้มาตรฐานตามต้องการ โดยแบ่งเป็นวัตถุดิบแบบสดและแบบแห้ง ซึ่งมีการเตรียมวัตถุดิบแตกต่างกันไป เช่น

แครอทและหอม	นำไปปอกเปลือก ล้างน้ำ ตัดให้ได้ขนาด ชั่งน้ำหนักแล้วนำไปปรุงหรือแช่เย็น
เห็ดดองเค็ม	ล้าง ตัดแยก ผ่านเป็นแผ่นบาง ทำให้จืด ผ่านเครื่องกำจัดเส้นผม ชั่งน้ำหนักแล้วนำไปปรุงหรือแช่เย็น
ซอสมะเขือเทศ	คูดออกจากขวด ชั่งน้ำหนักแล้วนำไปปรุง
เนื้อและหมู	บดให้ละเอียด คัดเลือกกระดูกและเอ็นออก นำไปผัด ชั่งน้ำหนักแล้วนำไปปรุง
เครื่องเทศและน้ำมัน	ชั่งน้ำหนักแล้วนำไปปรุง

##### 2. ขั้นตอนการปรุง (Cooking section)

นำวัตถุดิบที่ชั่งแล้วมาผสมกันตามสูตรในหม้อปรุง โดยมีระยะเวลาตามกำหนดในแต่ละสูตร เมื่อปรุงจนได้ที่นำตัวอย่างส่งห้องตรวจสอบคุณภาพว่าตรงตามมาตรฐานหรือไม่ จากนั้นจึงส่งไปยังส่วนบรรจุต่อไป

### 3. ขั้นตอนการบรรจุ (Filling section)

ผลิตภัณฑ์จากแผนกปรุงสุบผ่านท่อโดยผ่านเครื่องตรวจจับโลหะ ทำการบรรจุด้วยเครื่องบรรจุลงในกระป๋องจากนั้นส่งไปปิดฝากระป๋อง กระป๋องที่ปิดฝาสนิทแล้วผ่านการล้างข้างกระป๋อง จากนั้นผ่านเครื่องตรวจสอบน้ำหนักก่อนส่งไปฆ่าเชื้อต่อไป

### 4. ขั้นตอนการฆ่าเชื้อ (Sterilizing section)

กระป๋องผลิตภัณฑ์ถูกนำมาเรียงในตะกร้าเพื่อเข้าหม้อฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ ความดัน และเวลาที่กำหนด จากนั้นใช้น้ำลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วและนำออกมาเพื่อส่งไปยังส่วนทำให้กระป๋องแห้ง

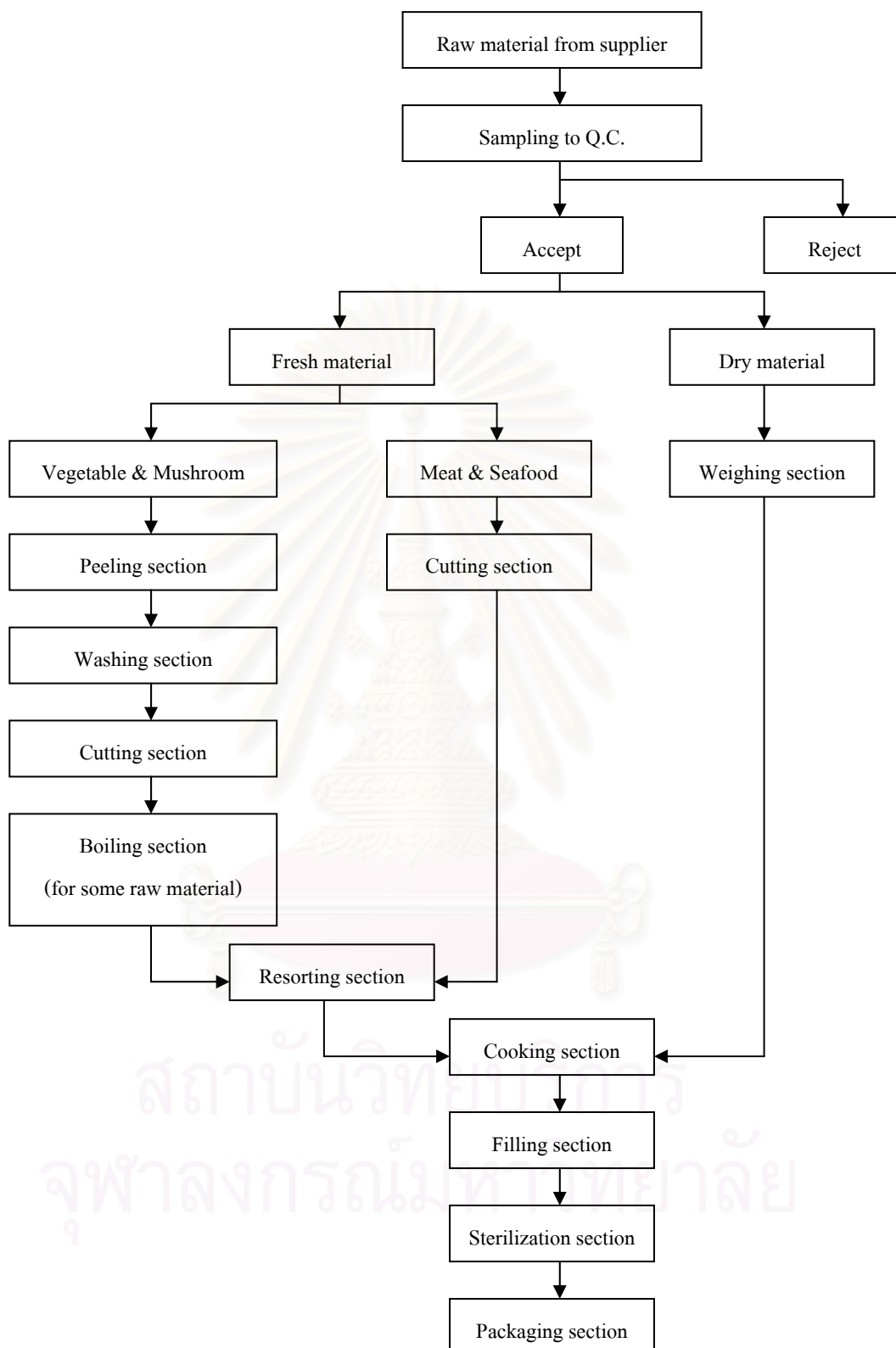
### 5. ขั้นตอนการบรรจุลงกล่อง (Packaging section)

กระป๋องผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วนำมาบรรจุลงกล่องโดยผ่านการตรวจเช็คสภาพกระป๋องและน้ำหนักอีกครั้ง จากนั้นส่งไปเก็บในห้องเก็บหรือนำส่งออกต่อไป



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา (สุดารัตน์, 2544)

### 2.1.2 ปัญหาน้ำเสียของโรงงาน

ปัญหาสำคัญของทางโรงงานที่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง พบว่าเกิดจาก ปัญหาเกี่ยวกับน้ำเสียของทางโรงงาน ปัญหาปริมาณการใช้น้ำมากและปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้า ทางโรงงานพบว่า ควรแก้ไขในส่วนของปัญหาน้ำเสียและปริมาณการใช้น้ำมากซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่สุดก่อน เนื่องจากการที่มีปริมาณการใช้น้ำมากส่งผลต่อปริมาณน้ำเสียด้วย เพราะทางนิคมอุตสาหกรรมบาง ปุคิอัครการปล่อยน้ำเสียของทางโรงงานเป็นร้อยละ 80 ของน้ำใช้ นอกจากนี้ทางโรงงานประสบ ปัญหาค่าไขมันและน้ำมัน (FOG) ของน้ำเสียสูงทำให้เสียค่าปรับประมาณ 300,000 บาทต่อเดือน โดยปัญหาค่า FOG สามารถแก้ไขได้ดังนี้ (สฤษฎ์ และสุวิวัฒน์, 2544)

1. ลดการตกหล่นของซอสในระหว่างการถ่ายซอสจากถังปรุง (Cooking) ไปยังถังบรรจุ (Filling) โดยวางถาดรองระหว่างการถ่ายเท ทำให้ผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้นและลดปริมาณซอสที่ไปกับน้ำล้างพื้น ทำให้ลดค่า FOG ในน้ำเสียลงได้

2. เปลี่ยนอุปกรณ์ตัดไขมันจากการใช้กระชอนหรือตะแกรงตักเป็นเครื่องดูด เพื่อให้การกำจัดไขมันออกจากระบบบำบัดไขมันมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ส่วนปัญหาการใช้น้ำในปริมาณมากคิดเป็นน้ำเสียประมาณ 164,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปีมี แนวทางแก้ไขคือ ติดตั้งหัวฉีดน้ำที่ปลายท่อและนำน้ำระบายความร้อนจากหน่วย Retort กลับมาใช้เป็นน้ำล้างพื้นภายในโรงงาน

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มาจากระบวนการผลิต ซึ่งพบว่าขั้นตอนการเตรียม วัตถุดิบในส่วนของ การล้างเห็ดต้องเก็บมีปริมาณการใช้น้ำมากเพื่อทำให้เห็ดจืด โดยคิดเป็น 930 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน หรือ 11,160 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

### 2.1.3 น้ำเสียจากระบวนการล้างเห็ดต้องเก็บ

ในกระบวนการผลิตทางโรงงานเลือกใช้เห็ดต้องเก็บเป็นวัตถุดิบหนึ่ง ซึ่งก่อนเข้าสู่ กระบวนการปรุงต้องทำให้เห็ดจืดก่อน ในแต่ละวันต้องล้างเห็ดประมาณ 1,700 กิโลกรัม ส่งผลให้ เกิดน้ำเสียที่มีความเค็มสูงประมาณ 26,000 ลิตร นอกจากนี้ในแต่ละวันต้องใช้น้ำทำความสะอาด อุปกรณ์และเครื่องมือในกระบวนการล้างเห็ดประมาณ 5,000 ลิตร ดังนั้นการเตรียมวัตถุดิบใน ส่วน การล้างเห็ดก่อให้เกิดน้ำเสีย 31,000 ลิตรต่อวัน (ประวิทย์, สัมภาษณ์, 2546)

ขั้นตอนการล้างเห็ดต้องเก็บมีดังนี้ (แสดงดังรูปที่ 2.2)

1. ล้างด้วยการเป่าอากาศ (air flow)

เทเห็ดจากถังคองลงในถังเป่าอากาศ เป่าด้วยอากาศเป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ความสกปรกบางส่วนหลุดออกจากเห็ด เช่น เศษหญ้า ดิน เป็นต้น จากนั้นตัดเห็ดทลงบนโต๊ะเพื่อแยกล้าง แลกปลอมอีกครั้ง จึงนำเห็ดที่คัดเลือกพักในภาชนะ

2. หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ด้วยเครื่องสไลด์ (Slice)

เห็ดที่ผ่านการคัดเลือกแล้วนำมาเข้าเครื่องสไลด์ โดยการเทเห็ดลงไปเครื่องครั้งละ ตะกร้าเห็ดที่ผ่านการหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปเทรวมไว้ในตระกร้าสแตนเลส

3. ต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

นำตระกร้าสแตนเลสใส่ลงในถังต้มให้ความร้อนจนอุณหภูมิสูงถึง 90 องศาเซลเซียส ต้มเป็นเวลา 15 นาที

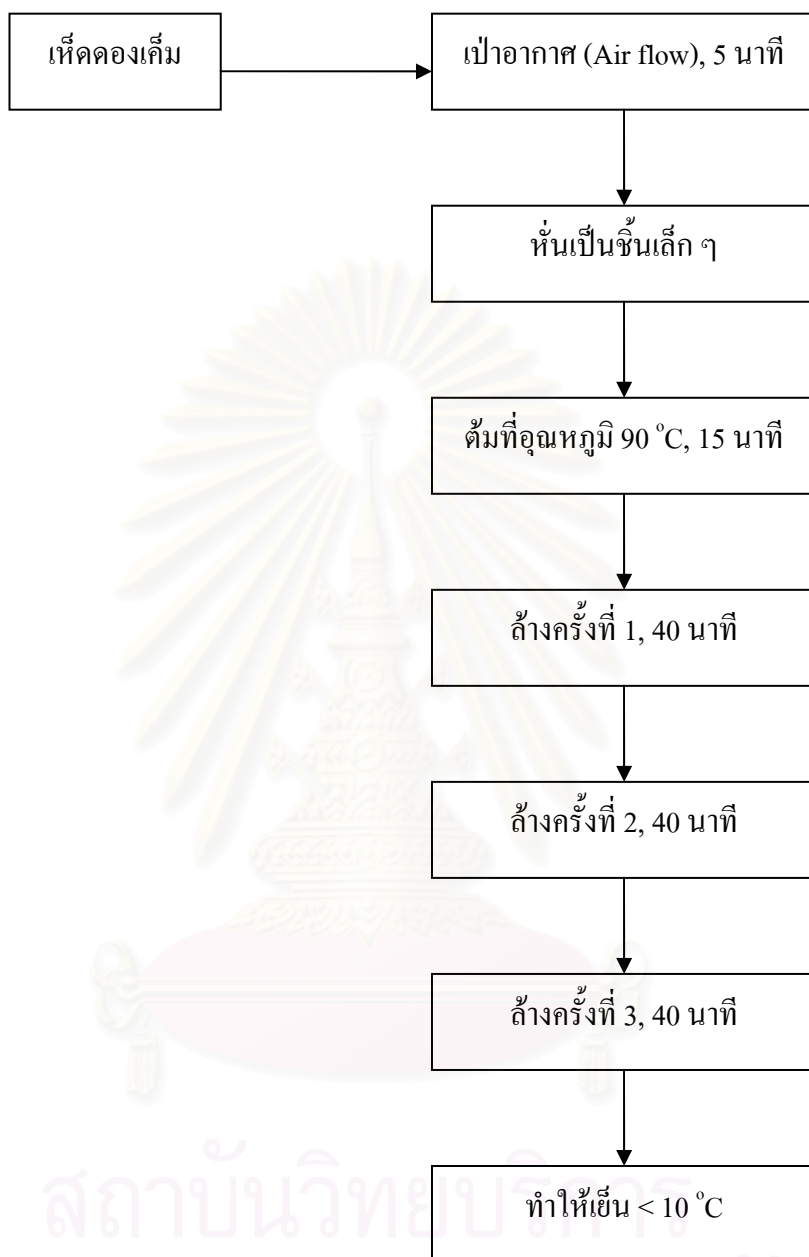
4. ล้างด้วยน้ำ

เห็ดที่ผ่านการต้มแล้ว นำมาใส่ลงในถังล้าง โดยมีการเป่าอากาศในแต่ละครั้งเป็นเวลา 40 นาที ขั้นตอนการล้างเห็ดด้วยการเป่าอากาศทำทั้งหมด 3 ครั้ง

5. ทำให้เย็น

เห็ดที่ผ่านการล้างแล้ว นำมาใส่ถังทำให้เย็น โดยการใส่น้ำแข็งผสมลงในน้ำสะอาด แช่ทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 15 นาที โดยเห็ดต้องมีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส

เห็ดที่ผ่านขั้นตอนการล้างเรียบร้อยแล้วนำไปเก็บไว้เป็นเวลา 1 คืน หรือส่งไปยังแผนก คัดเลือกโดยผ่านเครื่องคัดจับโลหะเพื่อเตรียมเข้าขั้นตอนการปรุงต่อไป



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

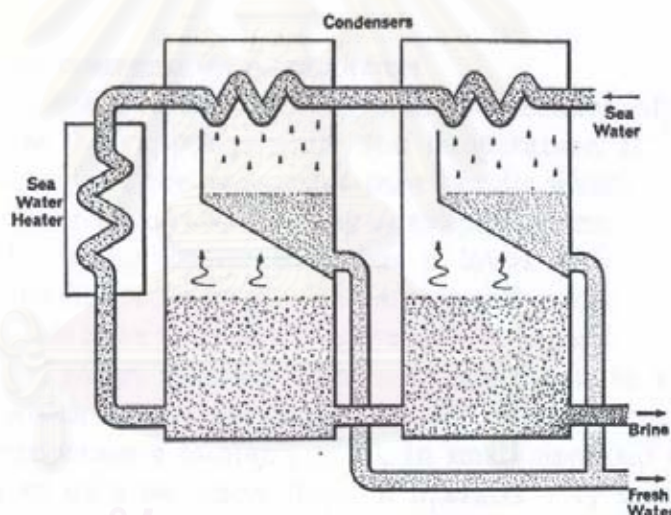
รูปที่ 2.2 กระบวนการล้างหีดของโรงงานกรณีศึกษา

## 2.2 การขจัดเกลือ (Desalination)

วิธีการแยกเกลือออกจากน้ำเค็มหรือน้ำทะเลมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีหลักการและมีประสิทธิภาพต่างกัน ดังนี้

### 1. Multi-stage flash distillation (MSF)

เป็นกระบวนการใช้หลักการกลั่นแบบหนึ่ง สามารถแยกเกลือออกจากน้ำโดยให้ความร้อนกับน้ำเค็มหรือน้ำทะเล ไอน้ำที่ได้ผ่านการควบแน่นเป็นหยดน้ำ ซึ่งเป็นน้ำบริสุทธิ์ปราศจากเกลือ ดังรูปที่ 2.3 น้ำเค็มหรือน้ำทะเล ถูกสูบผ่านท่อซึ่งต่อผ่านส่วนที่เป็นไอน้ำ น้ำเค็มถูกสูบผ่านไปยังส่วนให้ความร้อน น้ำระเหยกลายเป็นไอ ไปกระทบท่อที่อุณหภูมิต่ำกว่า รวมตัวเป็นหยดน้ำรวมอยู่ในส่วนรองรับด้านล่างรวบรวมผ่านท่อออกไป

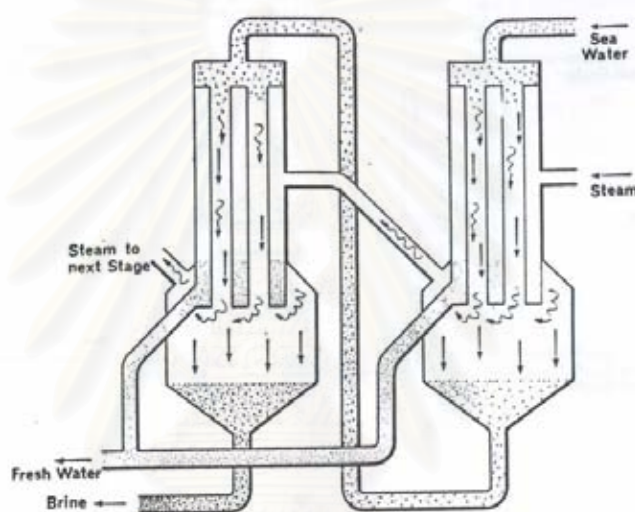


รูปที่ 2.3 การแยกเกลือด้วยวิธี MSF (The united kingdom atomic energy authority, 1967)

วิธี MSF ต้องใช้อุณหภูมิสูงเท่าใดขึ้นอยู่กับความเป็นต่างและอัตราส่วนของแคลเซียมซัลเฟต มีการหาวิธีต่าง ๆ เพื่อลดปริมาณแคลเซียมซัลเฟต เช่น การเติมกรดเล็กน้อยลงในน้ำ แต่อย่างไรก็ตามระดับของแคลเซียมซัลเฟตยังเป็นปัญหาเมื่อใช้อุณหภูมิสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส การใช้อุณหภูมิสูงทำให้ความเข้มข้นสำคัญลดลงเมื่อคิดราคาของระบบและน้ำผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อหน่วยให้ความร้อน แต่อย่างไรก็ตามน้ำผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพน่าพอใจเพราะมีความบริสุทธิ์สูง

## 2. Multiple effect-long tube vertical (LTV)

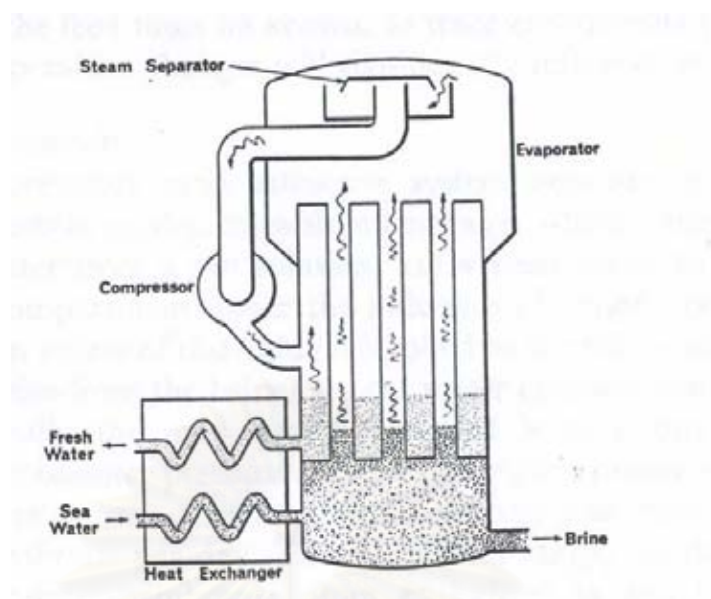
เป็นวิธีที่ใช้หลักการระเหยของน้ำเหมือนกับ MSF แต่ไอน้ำถูกใช้เป็นตัวให้ความร้อนกับน้ำเค็มหรือน้ำทะเลก่อนแล้วจึงรวมเป็นหยดน้ำ รวมออกไปตามท่อ วิธีนี้การระเหยของน้ำเกิดขึ้นเมื่อน้ำเค็มถูกสูบผ่านท่อที่มีไอน้ำล้อมรอบ ความร้อนจากไอน้ำทำให้น้ำเค็มกลายเป็นไอและเคลื่อนไปอีกส่วนเพื่อให้ความร้อนกับน้ำเค็มที่เข้ามาในระบบใหม่ดังในรูปที่ 2.4 โดยปัญหาหลักของวิธีนี้คือ ความเร็วในแต่ละส่วนที่ทำให้เกิดผลึกทันทีเมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากกว่า 120 องศาเซลเซียส และต้นทุนต่อหน่วยมีค่าสูงกว่า MSF



รูปที่ 2.4 การแยกเกลือด้วยวิธี LTV (The united kingdom atomic energy authority, 1967)

## 3. Vapour compression distillation

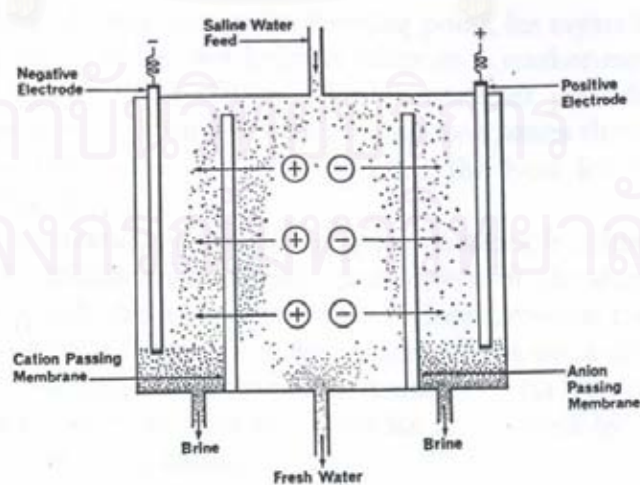
ไอน้ำที่ได้จากการเดือดของน้ำทะเลผ่านการอัดทำให้ความดันไอและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นไอน้ำถูกป้อนไปในท่อเพื่อช่วยให้น้ำทะเลเกิดการระเหย ก่อนรวมตัวเป็นหยดน้ำ รวมเป็นน้ำผลิตภัณฑ์ออกไป ดังรูปที่ 2.5 วิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงในส่วนของ การอัดไอน้ำและยังประสบปัญหาในเรื่องความกระด้างของน้ำและปริมาณซิลิกา



รูปที่ 2.5 การแยกเกลือด้วยวิธี Vapour compression distillation (The united kingdom atomic energy authority, 1967)

#### 4. Electrodialysis

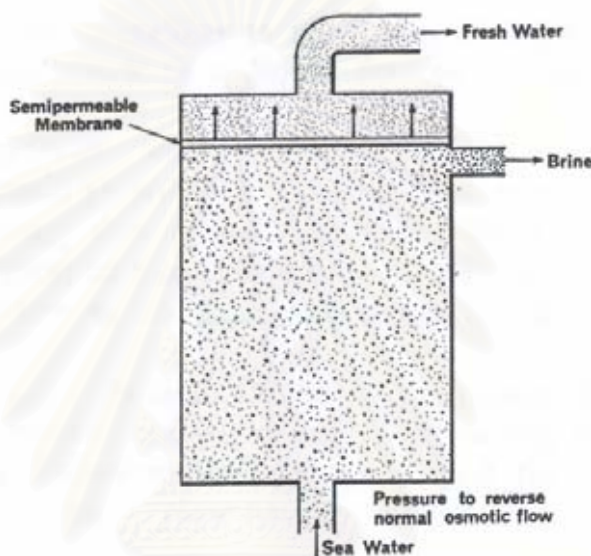
เป็นวิธีการแยกเกลือโดยใช้ความต่างของประจุไฟฟ้า โดยใช้เมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออนมาต่ออนุกรมกันและอยู่ระหว่างแอโนด (Anode) และแคโทด (Cathode) มีความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเป็นแรงขับเคลื่อนร่วมกับการเลือกผ่านของเมมเบรนทำให้เกิดการแยก ดังรูปที่ 2.6 การใช้วิธีนี้ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำเพราะมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นสำคัญในด้านราคา



รูปที่ 2.6 การแยกเกลือด้วยวิธี Electrodialysis (The united kingdom atomic energy authority, 1967)

## 5. Reverse osmosis (RO)

เป็นการใช้เมมเบรนในการแยกได้น้ำสะอาดผ่านเมมเบรนออกไปดังรูปที่ 2.7 โดยให้ความดันของน้ำเข้ามีค่ามากกว่าความดันออสโมติกของน้ำ ช่วงความดันของเมมเบรนเซลลูโลสแอซีเตตคือ 42 – 105 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับน้ำเข้าที่มีความเค็ม 5,000 – 35,000 ส่วนในล้านส่วน (ppm) การใช้ระบบ RO หากต้องการเพิ่มอัตราการผลิตน้ำเพียงเพิ่มโมดูลเข้าไปเท่านั้น ซึ่งความสามารถในการแยกเกลือของระบบขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเกลือในน้ำ

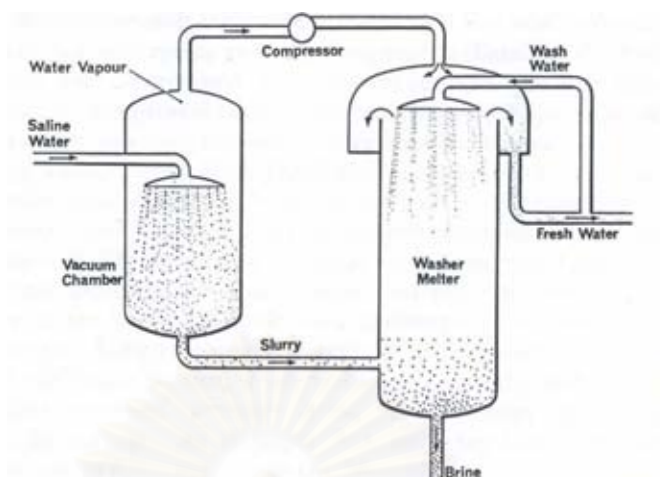


รูปที่ 2.7 การแยกเกลือด้วยวิธี Reverse osmosis (RO) (The united kingdom atomic energy authority, 1967)

## 6. Vacuum freezing

เป็นวิธีทำให้น้ำเกลือเย็นและน็อคเป็นฝอยเข้าไปในห้องสุญญากาศที่มีความดันประมาณ 3 มิลลิเมตรปรอท น้ำกลายเป็นไอ ที่จุดเยือกแข็งมีการก่อตัวของน้ำแข็ง ในส่วน Slurry คือน้ำแข็งและน้ำเค็มถูกนำเข้าสู่ส่วนล่าง โดยน้ำเค็มที่เคลือบอยู่ถูกด้านล่างออกไป น้ำแข็งเล็ก ๆ เป็นน้ำสะอาดที่ได้โดยไอน้ำในส่วนสุญญากาศเป็นตัวให้ความร้อนเพื่อการหลอมเหลว ดังรูปที่ 2.8 วิธีนี้ใช้ได้ค้กับน้ำกร่อย

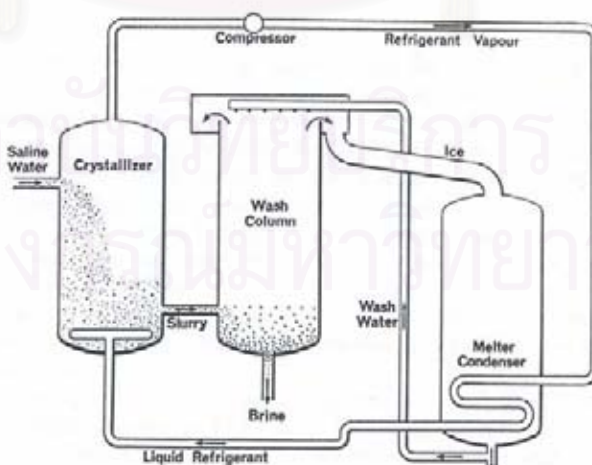




รูปที่ 2.8 การแยกเกลือด้วยวิธี Vacuum freezing (The united kingdom atomic energy authority, 1967)

### 7. Secondary refrigerant process

วิธีนี้ใช้บิวเทน (Butane) ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนเหลวเป็นตัวสัมผัสกับน้ำเค็ม ความร้อนจากน้ำถูกส่งไปยังบิวเทน น้ำเค็มกลายเป็นน้ำแข็ง ซึ่งในส่วน Slurry คือน้ำเค็มและน้ำแข็งถูกนำเข้าสู่ส่วนล้าง โดยน้ำเค็มที่เคลือบอยู่ถูกล้างออกไป จากนั้นทำให้น้ำแข็งกลายเป็นของเหลวด้วยความร้อนจากไอของบิวเทน ดังรูปที่ 2.9 วิธีนี้เมื่อเทียบกับการกลั่นพบที่ใช้พลังงานน้อยกว่าและลดปัญหาการกร่อน แต่การใช้วิธีนี้ต้องมีความระมัดระวังเนื่องจากบิวเทนมีสมบัติเป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 2.9 การแยกเกลือด้วยวิธี Secondary refrigerant process (The united kingdom atomic energy authority, 1967)

วิธีการแยกเกลือออกจากน้ำเค็มดังที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า วิธีที่ใช้หลักการกลั่นยังประสบปัญหาในเรื่องความกระด้างของน้ำที่ก่อให้เกิดตะกรันและน้ำส่วนที่มีเกลือเข้มข้นเมื่อออกจากระบบมีอุณหภูมิของน้ำสูง นอกจากนี้ยังมีต้นทุนต่อระบบสูงหากต้องการเพิ่มอุณหภูมิในระบบ ส่วนวิธีที่ใช้หลักการเยือกแข็ง (Freezing) ยังมีข้อจำกัดคือใช้ได้ดีในระดับน้ำกร่อย ซึ่งในปัจจุบันพบว่า วิธีที่นิยมใช้คือ วิธี Electrodialysis และ Reverse osmosis ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธี RO หรือออสโมซิสผันกลับ เนื่องจากเป็นระบบที่สามารถพัฒนาให้ใหญ่ขึ้นได้ง่ายเพียงต่อโมดูลเพิ่มเมื่อนำไปใช้งานจริงและมีประสิทธิภาพสูงโดยเมมเบรนที่ใช้ในระบบสามารถแยกเกลือและสารอินทรีย์ได้ในปัจจุบันมีการนำระบบออสโมซิสผันกลับไปใช้ทำน้ำจืดจากน้ำทะเลในหลาย ๆ ประเทศแล้ว

### 2.3 กระบวนการเมมเบรน (Membrane process)

กระบวนการเมมเบรนเป็นกระบวนการที่ใช้เมมเบรนเพื่อแยกสาร หรือเพิ่มความเข้มข้น หรือ ทำสารให้บริสุทธิ์ขึ้น หลักการสำคัญของกระบวนการเมมเบรน คือ แรงขับเคลื่อนที่สามารถทำให้ของผสมหรือสารละลายไหลผ่านเมมเบรนและเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น หรือ ผลต่างของความดัน เมมเบรนที่ใช้อาจเป็นของแข็งหรือของเหลวแต่ต้องมีสมบัติในการเลือกผ่านสารใดสารหนึ่งมากกว่าสารอื่น (Semi-permeable/ permselective) การเลือกผ่านสารเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมีหรือทางกายภาพของเมมเบรนหรือจากขนาดรูพรุนหรือจากการมีประจุของเมมเบรน เป็นต้น (รัตนานา, 2543)

เมมเบรนสามารถแบ่งตามชนิดของโครงสร้างได้แก่ เมมเบรนแบบสมมาตร (Symmetric membrane) และเมมเบรนแบบไม่สมมาตร (Asymmetric membrane) โดย (ขันทอง, 2545 และ รัตนานา, 2543)

#### 2.3.1 เมมเบรนแบบสมมาตร

เป็นเมมเบรนที่มีโครงสร้างสม่ำเสมอหรือเหมือนกันตลอดชั้นความหนา และสามารถแบ่งได้เป็น เมมเบรนแบบไม่มีรูพรุนหรือแบบแน่น (Dense membrane) และเมมเบรนแบบมีรูพรุน (Porous membrane) เมมเบรนแบบไม่มีรูพรุนมีความหนาแน่นของเนื้อพอลิเมอร์สูงจึงทำให้ช่องว่างในเนื้อพอลิเมอร์น้อย (น้อยกว่าร้อยละ 40 ) โดยช่องว่างระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ที่ไม่เรียกว่ารูพรุนมีขนาดเล็กกว่า 5 นาโนเมตร ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน มีสมบัติทางเคมีและกายภาพสม่ำเสมอ ส่วนเมมเบรนที่มีรูพรุน ตามคำจำกัดความ

ของ IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) ได้แบ่งขนาดของรูพรุน ออกเป็น 3 ระดับ คือ ขนาดใหญ่มีขนาดรูพรุนมากกว่า 50 นาโนเมตร ขนาดกลางมีขนาดรูพรุนน้อยกว่า 50 นาโนเมตรแต่มากกว่า 2 นาโนเมตร และขนาดเล็กมีขนาดรูพรุนน้อยกว่า 2 นาโนเมตร โดยขนาดของรูพรุน หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างของรูพรุน แต่เมมเบรนที่มีขนาดรูพรุนน้อยกว่า 2 นาโนเมตรนิยมเรียกว่าเมมเบรนแบบแน่นมากกว่าเมมเบรนมีรูพรุนขนาดเล็ก

### 2.3.2 เมมเบรนแบบไม่สมมาตร

ประกอบด้วยชั้นผิวที่มีโครงสร้างแน่นกว่าชั้นล่าง โดยชั้นผิวทำหน้าที่กักกันสาร ส่วนชั้นล่างทำหน้าที่เสริมความแข็งแรง สามารถแบ่งได้เป็น เมมเบรนมีชั้นผิว (Skinned) และเมมเบรนประกอบ (Composite membrane) เมมเบรนมีชั้นผิวเป็นเมมเบรนแบบไม่สมมาตรที่ชั้นผิวกับชั้นล่างเป็นพอลิเมอร์ชนิดเดียวกัน ส่วนเมมเบรนประกอบมีชั้นผิวกับชั้นล่างเป็นพอลิเมอร์ (หรือวัสดุ) ต่างชนิดกัน

## 2.4 กระบวนการแยกแบบออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis, RO)

เป็นกระบวนการแยกสารละลายโดยใช้ผลต่างของความดันระหว่างเมมเบรนเป็นแรงขับเคลื่อน เมมเบรนออสโมซิสผันกลับมีความสามารถในการกักกันโมเลกุลขนาดเล็กที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่เกิน 500 เช่น เกลือ น้ำตาล โดยการป้อนสารละลายผ่านเมมเบรนที่มีสมบัติเลือกผ่านน้ำ และเป็นเมมเบรนที่มีโครงสร้างแน่นหรือไม่มีรูพรุน การผ่านเมมเบรนของสารเกิดจากความสามารถในการละลายและการแพร่ (Solution-diffusion) ในเมมเบรนและเนื่องจากสารละลายของตัวถูกละลายโมเลกุลเล็กมีความดันออสโมติกสูง ทำให้ความดันที่ใช้ในการป้อนสารละลายต้องมีค่าสูง การประยุกต์ใช้งานของออสโมซิสผันกลับปัจจุบันเป็นการผลิตน้ำดื่มจากน้ำกร่อยหรือน้ำทะเล และการผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง

### 2.4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบออสโมซิสผันกลับ

สมรรถนะของกระบวนการออสโมซิสผันกลับสามารถประเมินได้จากค่าฟลักซ์ (Flux) และค่าการกักกัน ซึ่งมีตัวแปรในการดำเนินการที่มีผลต่อสมรรถนะอยู่หลายตัว คือ

**1. ความดัน** การเพิ่มแรงดันเป็นการเพิ่มแรงขับเคลื่อนทำให้ฟลักซ์เพิ่มขึ้น บางกรณีพบว่า เมื่อเพิ่มความดัน ฟลักซ์เพิ่มขึ้น การกักกันมีค่าเพิ่มและมีแนวโน้มคงที่ซึ่งอธิบายได้ว่าโมเลกุลของเกลือที่ถูกดูดซับอยู่ก่อนช่วยกีดกันไม่ให้โมเลกุลอื่น ๆ ผ่านเมมเบรนไปได้ทำให้ตัวถูกละลายผ่านเมมเบรนได้น้อยลง แต่ในหลาย ๆ กรณีพบว่าเมื่อเพิ่มความดัน ฟลักซ์เพิ่มขึ้น ค่าการกักกันมีค่าลดลงซึ่งอธิบายได้ว่าอาจเกิดจากการเกิด Concentration Polarization (CP) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่พบทั่วไปในกระบวนการเมมเบรน เมื่อป้อนสารภายใต้ความดันผ่านเมมเบรน ตัวถูกละลายที่ไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้สะสมอยู่ที่ผิวหน้าเมมเบรน ทำให้ความเข้มข้นบริเวณนั้นสูงกว่าในสารป้อน ซึ่งในกรณีของออสโมซิสผันกลับ การสะสมของเกลือที่ผิวหน้าเมมเบรนทำให้เกลือสามารถละลายหรือถูกดูดซับเข้าไปในเมมเบรนได้ง่ายขึ้น ดังนั้นค่าการกักกันของสารจึงลดลง เมื่อความเข้มข้นของเกลือที่ผิวหน้าเมมเบรนสูงอาจทำให้ถึงขีดจำกัดการละลาย ทำให้เกิดการตกตะกอนบริเวณผิวหน้าเมมเบรนซึ่งก็คือการเกิดฟาวลิง (Fouling) (ขันทอง, 2545 และรัตนนา, 2543)

**2. อุณหภูมิ** ที่อุณหภูมิสูงความหนืดของสารละลายลดลง สัมประสิทธิ์การแพร่เพิ่มขึ้น ทั้งน้ำและตัวถูกละลายผ่านเมมเบรนได้ดีขึ้น ทำให้ค่าการกักกันลดลง โดยเฉพาะในช่วง 15 – 30 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ฟลักซ์เพิ่มขึ้นร้อยละ 2 – 5 (รัตนนา, 2543 และมันสิน, 2539)

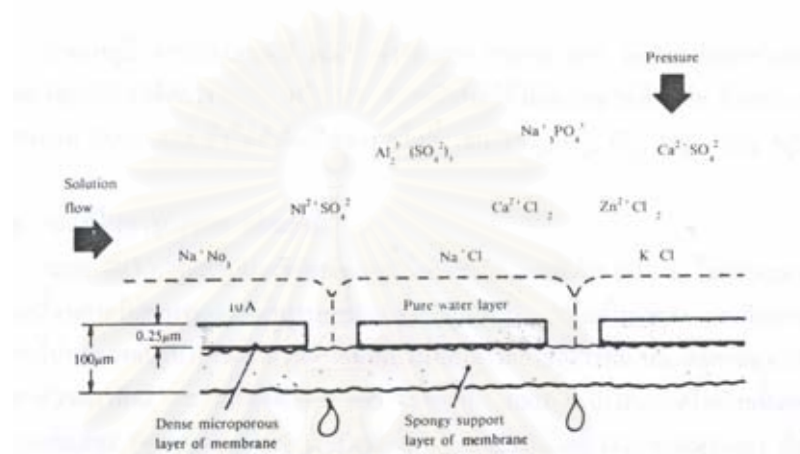
**3. ความเข้มข้น** การเพิ่มความเข้มข้นของเกลือทำให้ความดันออสโมติกของสารละลายเพิ่มขึ้น ถ้าความดันที่ให้แก่สารละลายป้อนคงที่ ทำให้แรงขับเคลื่อนสุทธิลดลง ฟลักซ์จึงลดลง และที่ความเข้มข้นสูง โอกาสที่เกลือละลายและแพร่ในเมมเบรนสูงขึ้น ทำให้ค่าการกักกันลดลงเช่นกัน

**4. อัตราการไหล** การเพิ่มอัตราการไหลหรือความเร็วที่สารละลายไหลผ่านผิวหน้าเมมเบรน ช่วยลดการสะสมของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าเมมเบรน ทำให้เกิด Concentration Polarization (CP) น้อยลง

**5. พีเอช (pH)** ความเป็นกรดต่างของสารละลายมีผลต่อการแตกตัวของสารอิเล็กโทรไลต์ เช่น สารละลายเกลือ และสามารถมีผลต่อการมีขี้ของเมมเบรนตลอดจนอันตรกิริยาระหว่างตัวถูกละลายกับเมมเบรน

## 2.5 กลไกการกำจัดเกลือ

รูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นถึงรูปร่างตัดขวางของเมมเบรนที่มี 2 ชั้น และหนาประมาณ 100 ไมครอน ชั้นบนเป็นชั้นที่มีเนื้อแน่นแต่บาง เมมเบรนชั้นบนมีความสำคัญมากเพราะทำหน้าที่กำจัดเกลือแร่และสารอินทรีย์ ชั้นล่างมีเนื้อพรุนและหนาทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรองรับ



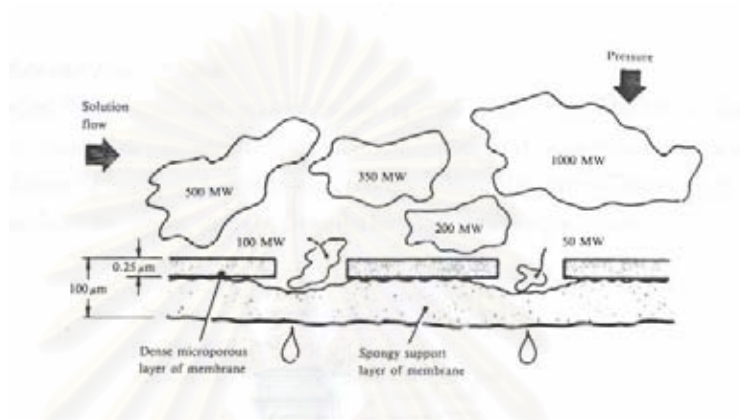
รูปที่ 2.10 กลไกในการกำจัดเกลือต่าง ๆ (มันสิน, 2539)

กลไกในการกำจัดเกลือแร่ (Salt Rejection) ขึ้นอยู่กับจำนวนเวเลนซ์ (Valence) ของไอออนต่าง ๆ ไอออนที่มีเวเลนซ์สูงถูกเมมเบรนผลักได้ไกลกว่าไอออนที่มีเวเลนซ์ต่ำ แรงผลักนี้เชื่อว่าจะเกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงกระทำต่อกันของไดอิเล็กทริก (Dielectric Interaction) ไอออนที่มีเวเลนซ์เท่ากับ 1 ถูกผลักให้อยู่ห่างจากผิวเมมเบรนประมาณ 1 ไมครอน ซึ่งห่างเท่ากับน้ำ 2 โมเลกุลต่อกัน แรงผลักกันระหว่างเกลือและเมมเบรนทำให้เกิดชั้นน้ำบริสุทธิ์ปกคลุมผิวหน้าของเมมเบรนและยื่นเข้าไปถึงช่องว่างของเมมเบรนด้วย การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านชั้นเมมเบรนมิใช่เป็นการเคลื่อนที่อย่างสะดวกสบายเหมือนการไหลผ่านท่อน้ำ นักวิจัยเชื่อว่าน้ำไหลผ่านเมมเบรนที่ละโมเลกุล โดยซึมเข้าไปในช่องว่างของโครงสร้างสามมิติของสารอินทรีย์ที่ใช้ทำเมมเบรน เมมเบรนที่ผลิตได้ยังไม่สมบูรณ์ถึงขั้นอุดมคติจึงยังมีการรั่วของไอออนต่าง ๆ เกิดขึ้นได้ประมาณร้อยละ 1 – 10 (ของความเข้มข้นทั้งหมด) เนื่องจากไอออนที่มีเวเลนซ์ต่ำ เช่น  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$  และ  $\text{NO}_3^-$  เป็นต้น ถูกผลักน้อยที่สุด จึงอยู่ใกล้เมมเบรนมากที่สุด ไอออนเหล่านี้จึงรั่วผ่านเมมเบรนได้ดีกว่าไอออนที่มีวาเลนซ์สูง

ด้วยเหตุนี้ สารประกอบที่มี  $\text{Na}^+$  จึงรั่วออกจากระบบออสโมซิสผันกลับได้ง่ายกว่า สารประกอบที่มี  $\text{Ca}^+$  ฟอสเฟตจึงถูกกำจัดได้ดีกว่า  $\text{SO}_4^-$  หรือ  $\text{Cl}^-$  สารอินทรีย์ที่ไม่มีประจุไฟฟ้า เช่น แก๊สต่าง ๆ ไม่ถูกผลักจากเมมเบรน ระบบออสโมซิสผันกลับจึงไม่กำจัดแก๊สต่อไปนี้ เช่น  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{Cl}_2$  และ  $\text{SO}_2$

## 2.6 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์

ระบบออสโมซิสผันกลับกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำได้โดยวิธีการรอกดค้ำ (Sieve) โมเลกุลขนาดใหญ่ถูกกำจัดออกจากน้ำเพราะไม่สามารถลอดผ่านรูบนเมมเบรน (ดังภาพที่ 2.11) แต่โมเลกุลขนาดเล็กสามารถลอดรูและทะลุออกจากเมมเบรนได้



รูปที่ 2.11 กลไกในการกำจัดสารอินทรีย์ (มันสิน, 2539)

ระบบออสโมซิสผันกลับมีเมมเบรนที่สามารถกำจัดสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 200 ได้เกือบทั้งหมด ส่วนสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 200 ทะลุเมมเบรนไปได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของโมเลกุล ตัวอย่างเช่น ฟอรัแมลดีไฮด์ (Formaldehyde) ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล 30 สามารถทะลุผ่านเมมเบรนได้โดยตลอด ส่วนน้ำตาลไม่สามารถผ่านได้เลยเพราะมีน้ำหนักโมเลกุล 342 (ความสามารถในการทะลุผ่านเมมเบรนได้ของฟอรัแมลดีไฮด์ ทำให้สามารถใช้สารเคมีตัวนี้ในการฆ่าเชื้อโรคให้กับน้ำที่อยู่ทั้งสองด้านของเมมเบรนได้) แบคทีเรีย, ไวรัส และสารที่ผลิตโดยจุลินทรีย์หรือไพโรเจน (Pyrogen) ล้วนมีขนาดใหญ่เกินไปจนไม่สามารถทะลุผ่านเมมเบรนได้จึงสามารถใช้ระบบออสโมซิสผันกลับในการกำจัดออกได้

## 2.7 โมดูลออสโมซิสผันกลับ

การนำเมมเบรนออสโมซิสผันกลับมาใช้ประโยชน์เพื่อแยกสารออกจากน้ำ ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่อไปนี้ คือ (มันสิน, 2539)

1. เนื่องจากเมมเบรนมีความหนาแน่นน้อยมาก เปราะ แต่ต้องรับแรงดันสูงประมาณ 300 – 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จึงต้องการอุปกรณ์รองรับที่สามารถป้องกันมิให้แผ่นเมมเบรนแตกหักได้ง่าย แต่ในขณะเดียวกันต้องมีทางน้ำไหลทะลุผ่านเมมเบรนได้ด้วย

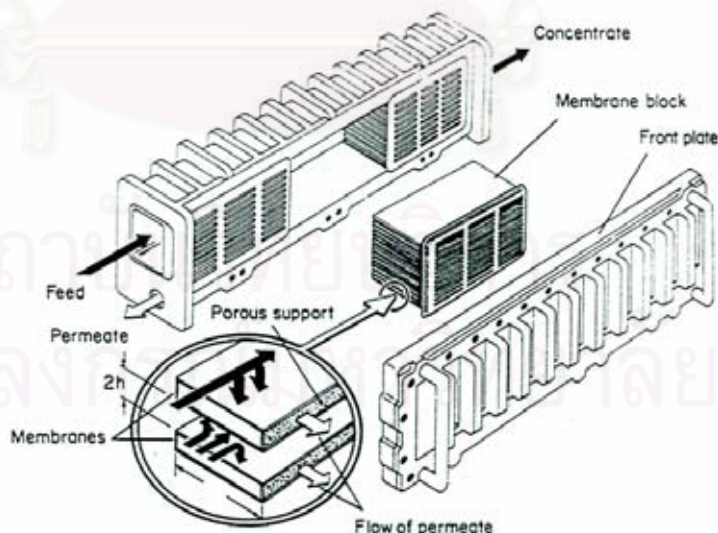
2. ภาชนะบรรจุเมมเบรนหรือโมดูล (Module) ต้องออกแบบให้เหมาะสมและสามารถผลิตน้ำสะอาดได้มากหรือต้องออกแบบให้โมดูลสามารถบรรจุแผ่นเมมเบรนได้มากที่สุด คือพื้นที่ต่อหน่วยปริมาตรของโมดูลสูง

3. Concentration Polarization ต้องเกิดน้อยที่สุด
4. การอุดตันเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ ต้องเกิดขึ้นน้อยที่สุด และต้องทำความสะอาดได้ง่าย
5. ต้องไม่มีรอยรั่วเกิดขึ้นตามรอยต่อต่าง ๆ ของระบบ

โมดูลที่ใช้มีการออกแบบให้มีรูปร่างต่าง ๆ กัน สามารถแบ่งออกเป็น 4 แบบ คือ โมดูลแบบแผ่นและกรอบ (Plate and frame module) แบบท่อ (Tubular Module) แบบท่อม้วน (Spiral wound module) และแบบเส้นใยกลวง (Hollow fiber)

### 2.7.1 โมดูลแบบแผ่นและกรอบ

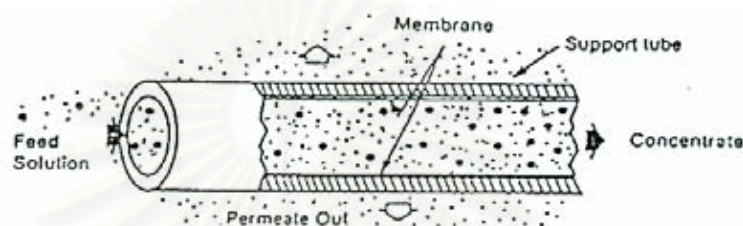
เทคนิคนี้เป็นการจัดวางเมมเบรนแบบง่ายที่สุด ดังรูปที่ 2.12 โมดูลมีลักษณะการทำงานคล้าย Filter press แผ่นเมมเบรนวางอยู่บนแผ่นรองรับที่มีรูพรุน (Porous plate) หรือแผ่นรองรับที่มีร่องให้น้ำไหลออกได้ เมมเบรนและแผ่นรองรับวางเรียงซ้อนสลับกันเป็นชั้นๆ และมีอุปกรณ์อื่นๆ ประกอบ เพื่อกำหนดทิศทางการไหลของน้ำให้ซึมผ่านเมมเบรนและแผ่นรองรับก่อนไหลออกจากโมดูล



รูปที่ 2.12 โมดูลแบบแผ่นและกรอบ (Wiley, 1989)

## 2.7.2 โมดูลแบบท่อ

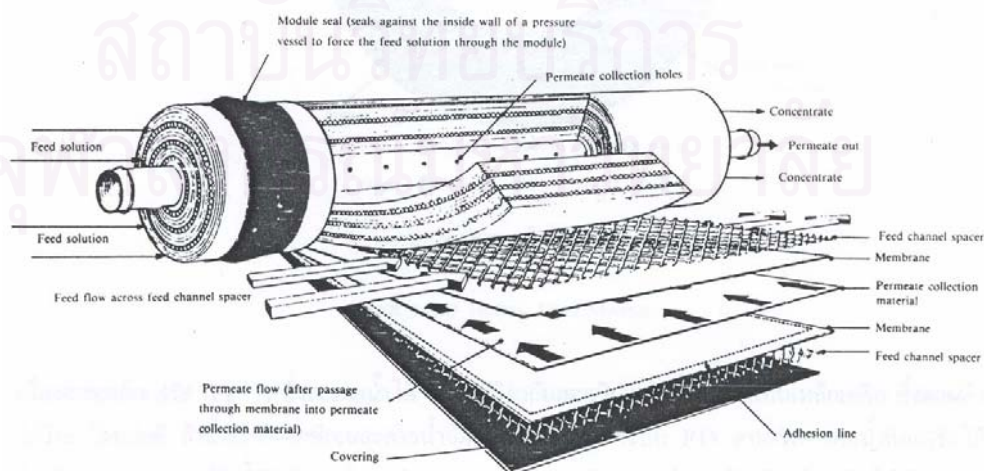
โมดูลแบบนี้เป็นการม้วนเมมเบรนให้เป็นหลอดหรือเป็นท่อขนาดเล็กดังรูปที่ 2.13 มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-12 มิลลิเมตร และยึดติดไว้ภายในท่ออีกอันหนึ่งที่ทำด้วยกระดาษหรือใยสังเคราะห์ และทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรองรับแผ่นเมมเบรนไม่ให้ฉีกขาดระหว่างการใช้งาน และใช้เป็นทางออกของน้ำสะอาด น้ำดิบถูกสูบเข้าไปในท่อด้วยความดัน แรงดันของน้ำทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถซึมผ่านเมมเบรนและท่อรองรับออกไปสู่ภายนอก



รูปที่ 2.13 โมดูลแบบท่อ (Romicon, 1983)

## 2.7.3 โมดูลแบบท่อม้วน

โมดูลแบบนี้ประกอบด้วยเมมเบรน 2 แผ่นประกบกัน โดยมีแผ่นวัสดุเนื้อพรุนสอดอยู่ตรงกลางระหว่างเมมเบรนทั้งคู่ จากนั้นม้วนเมมเบรนและแผ่นวัสดุเนื้อพรุนรอบท่อเจาะรู โดยมีแผ่นตะแกรงคลุมปิดอยู่ด้านนอก ดังรูปที่ 2.14 ขอบของแผ่นเมมเบรนทั้งสามด้านอุดไว้ด้วยกาวขอบที่เหลืปล่อยให้เปิดไว้ตามปกติและยึดติดกับท่อเจาะรู ซึ่งทำให้น้ำมีทิศทางการไหลไปยังท่อเจาะรูเสมอ น้ำดิบไหลเข้าไปตามแผ่นตะแกรงด้วยแรงดัน และซึมผ่านเมมเบรนออกไปตามแนวรัศมีของโมดูล

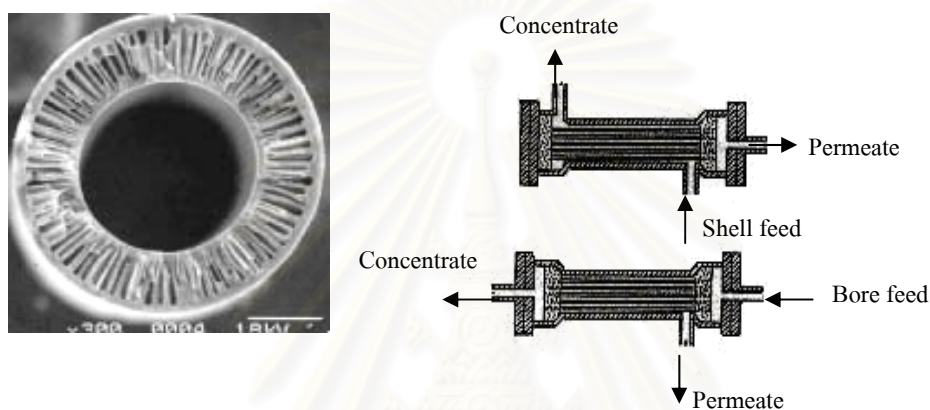


รูปที่ 2.14 โมดูลแบบท่อม้วน (มันสิน, 2539)



## 2.7.4 โมดูลแบบเส้นใยกลวง

นอกจากการผลิตเมมเบรนโดยการขึ้นรูปบนชั้นรองรับในลักษณะแผ่นเรียบและแบบท่อ ยังสามารถผลิตเป็นแบบเส้นใยกลวงโดยใช้เทคนิค Spinning ที่มีรูกลวงเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเพียง 0.1 – 0.5 มิลลิเมตร ในการใช้งานนำเส้นใยกลวงเหล่านี้มารวมกันเป็นมัดๆ (Bundles) บรรจุในโมดูลรูปทรงกระบอก ปลายทั้งสองด้านของเส้นใยฝังติดอยู่กับโมดูล ดังรูปที่ 2.15 ความแตกต่างของโมดูลเมมเบรนทั้ง 4 แบบ แสดงดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.15 เมมเบรนแบบเส้นใยกลวงและโมดูลแบบเส้นใยกลวง (J. J. Qin และคณะ, 2001 และ จันทร์ทอง, 2545)

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบความแตกต่างของโมดูลเมมเบรนแบบต่างๆ (รัตนนา, 2543)

ข้อมูล	แบบแผ่นและกรอบ	แบบท่อ	แบบท่อม้วน	แบบเส้นใยกลวง
พื้นที่/ปริมาตร ( $m^2/m^3$ )	100-400	150-300	300-1,000	9,000-30,000
ฟลักซ์ ( $l/m^2 \cdot h$ )	10-50	10-50	10-50	0.5-5.0
การเปลี่ยนเมมเบรน	เป็นแผ่น	เป็นท่อ	ทั้งชุด	ทั้งชุด
การเกิดฟาวลิง	ปานกลาง	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
การทำความสะดวก	ปานกลาง	ง่าย	ปานกลาง	ยาก
ราคา	ปานกลาง	แพง	ถูก	ถูกมาก

## 2.8 การบอกลักษณะของเมมเบรน (Membrane characterization) (รัตนา, 2543)

การเลือกชนิดของเมมเบรนเพื่อแยกหรือเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายหรือแก๊สผสม จำเป็นต้องทราบข้อมูลของชนิดและขนาดขององค์ประกอบที่ต้องการแยก และต้องทราบลักษณะของเมมเบรนที่นำมาใช้ ซึ่งหมายถึง ลักษณะเกี่ยวกับ โครงสร้าง ขนาดรูพรุน ความสามารถในการซึมผ่านและกักกันสารของเมมเบรน ซึ่งเป็นตัวช่วยบอกการเลือกเมมเบรนให้เหมาะสมกับงานที่ใช้ โดยเมมเบรนแบบแน่นที่ใช้ในระบบออสโมซิสผันกลับสามารถบอกลักษณะของเมมเบรนที่ใช้ได้ดังนี้

2.8.1 การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) เป็นวิธีที่สะดวกและง่าย สามารถบอกขนาดรูพรุนที่อาจเล็กเพียง 0.005 – 0.01 ไมโครเมตร หลักการของวิธีนี้คือ การปล่อยอิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์สูงจากแหล่งกำเนิดผ่านเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าชุดต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่บีบลำแสงอิเล็กตรอนให้มีขนาดเล็กและไปชนชิ้นตัวอย่างเมมเบรน โดยมีอิเล็กตรอนส่วนที่สะท้อนจากผิวเมมเบรนและสามารถให้สัญญาณไปยังจอภาพซึ่งสามารถให้ภาพที่แสดงขนาดรูพรุน ลักษณะของผิวบนและผิวล่างของเมมเบรนตลอดจนคุณภาพตัดขวางที่ทำให้ทราบว่ามีการสร้างแบบใด สิ่งสำคัญของการใช้ SEM อยู่ที่การเตรียมตัวอย่าง ถ้าไม่ชำนาญอาจให้ข้อมูลที่ผิดพลาดได้ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ (Polymer) อีกด้วย

2.8.2 เนื่องจากเมมเบรนที่ใช้ในออสโมซิสผันกลับเป็นเมมเบรนแบบแน่น การถ่ายเทมวลสามารถอธิบายด้วยกลไก การละลายและการแพร่ไม่ใช่การคัดขนาด วิธีวัดสมบัติทางกายภาพของเมมเบรน คืออุณหภูมิ Glass transition (T<sub>g</sub>) ความเป็นผลึกและความหนาแน่น สมบัติเหล่านี้ไม่ได้บอกขนาดของรูพรุน แต่เป็นค่าที่เกี่ยวข้องในการซึมผ่าน เทคนิคที่ใช้ เช่น Differential scanning calorimeter (DSC) และ Differential thermal analysis (DTA) ดังนั้นการบอกความสามารถในการซึมผ่านในรูปของ ฟลักซ์หรือการกักกัน จึงเป็นวิธีที่สะดวกและเป็นที่ยอมรับ

2.8.3 เมมเบรนออสโมซิสผันกลับ นิยมบอกเป็นค่าการกักกันเกลือ (Salt rejection) จากการทดลองการใช้สารละลายเกลือ (ใช้ NaCl เป็นหลัก) ที่ความเข้มข้นและสภาวะการทดลองคงที่สามารถคำนวณค่าร้อยละการกักกันเกลือ (%R) จากสมการต่อไปนี้

$$\%R = (1 - C_p / C_f) \times 100$$

เมื่อ  $C_p$  = ความเข้มข้นของเกลือในเพอร์มิเอท

$C_f$  = ความเข้มข้นของเกลือในสารป้อน

## 2.9 ไคตินและไคโตซาน

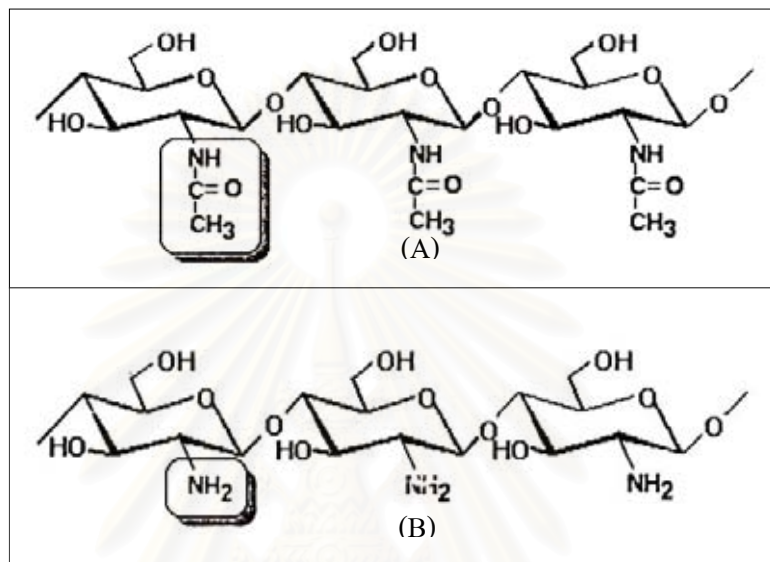
ปัจจุบันได้มีการนำไคโตซานไปประยุกต์ใช้ในงานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากไคโตซานมีสมบัติหลายประการ เช่น เป็นวัสดุทางชีวภาพ (Biomaterials) ที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (Biodegradation) มีสมบัติในการชอบน้ำ (Hydrophilicity) ไม่มีความเป็นพิษ (Nontoxic) และเป็นสารเติมแต่งในอาหาร (Food additive) เป็นต้น ดังนั้นจึงปลอดภัยในการนำมาใช้กับมนุษย์ และไม่เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม (Bassi et al., 2000)

### 2.9.1 ลักษณะทั่วไปของไคตินและไคโตซาน

ไคตินพบมากตามผนังเซลล์ของพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ เช่น ในยีสต์ที่ใช้ทำเบียร์และไวน์ พบในส่วนที่กำลังแตกหน่อ ในพืชบางชนิดอาจมีไคตินแทนเซลลูโลส หรืออาจเกิดร่วมกับเซลลูโลสได้ ส่วนในสัตว์มีไคตินเป็นผิวเคลือบ (Cuticle) ที่เนื้อเยื่อบุผิว (Epithelium) แต่โดยมากพบไคตินที่เปลือกของสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลัง รวมทั้งสัตว์ในตระกูลพวกกุ้งกิ้งปู (Crustacean) เช่น กุ้ง ปู หอย แมลง และปลาหมึก เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถพบได้ในเห็ด รา หลายชนิด เนื่องจากผนังเซลล์และผนังชั้นเซลล์มีบทบาทสำคัญในเซลล์ และการเจริญของจุลินทรีย์ (เขาวภา, 2534 Cabib et al., 1996 Knorr, 1991 และ Muzzarelli, 1977)

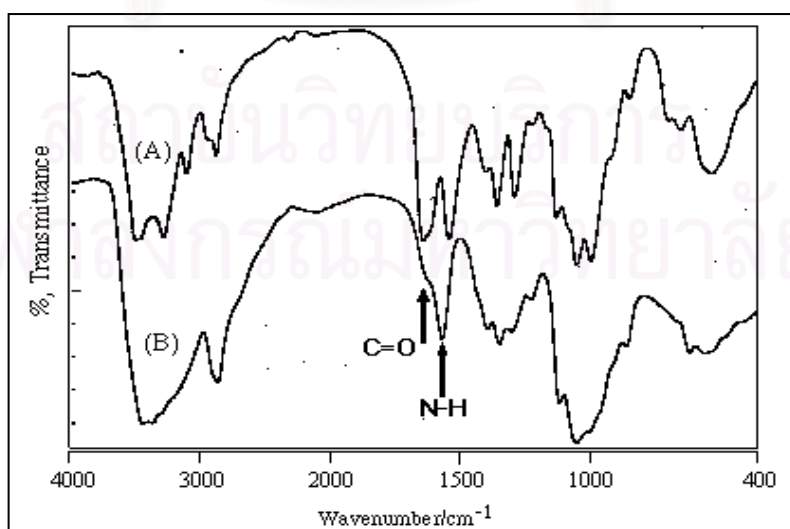
ไคตินมีชื่อทางเคมีว่า Poly- $\beta$ -(1,4)-2-acetamino-2-deoxy-D-glucose หรือ Poly N-acetylglucosamine เป็นพอลิเมอร์โมเลกุลยาวที่มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส ต่างกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 มีหมู่ Acetylated amino (NH-CO-CH<sub>3</sub>) แทนที่เป็นหมู่ไฮดรอกซิล (OH) ดังในเซลลูโลส ไคตินมีสูตรทั่วไปเป็น (C<sub>8</sub>H<sub>13</sub>NO<sub>5</sub>)<sub>n</sub> ประกอบด้วย คาร์บอนร้อยละ 47.29 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.45 ไนโตรเจนร้อยละ 6.89 และออกซิเจนร้อยละ 39.37 (อ้างอิงในนันทชัย, 2543) อย่างไรก็ตามไคตินในธรรมชาติมีบางหน่วยที่ไม่มีหมู่แอซีทิล (CO-CH<sub>3</sub>) โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 10 ในสายพอลิเมอร์ เมื่อพิจารณาจากสูตรโครงสร้างของไคตินพบว่า ไคตินเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไร้ประจุ (Non-electrolytic polymer) ดังแสดงในรูปที่ 2.16A ซึ่งทำให้ไคตินไม่ละลายในสารละลายต่างๆ ไปด้วย การใช้ประโยชน์จากไคตินจึงไม่แพร่หลาย อย่างไรก็ตามสามารถดัดแปลงไคตินโดยวิธีการทางเคมีเพื่อเพิ่มประโยชน์ในการใช้งานมากขึ้นคือการเตรียมเป็นไคโตซาน

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินมีชื่อทางเคมีว่า Poly- $\beta$ -(1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose ซึ่งสามารถผลิตได้โดยการแยกหมู่เอซิติลออก (Deacetylation) จากไคตินเหลือเป็นหมู่แอมิโนอิสระ ( $\text{NH}_2$ ) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองดังแสดงในรูปที่ 2.16B โดยทั่วไปถ้าหมู่เอซิติลถูกตัดหรือหลุดไปประมาณร้อยละ 60 เรียกว่า ไคโตซาน และถ้าหมู่เอซิติลถูกตัดหรือหลุดไปประมาณร้อยละ 90-100 เรียกว่า Fully deacetylated chitosan (Muzzarelli, 1977)

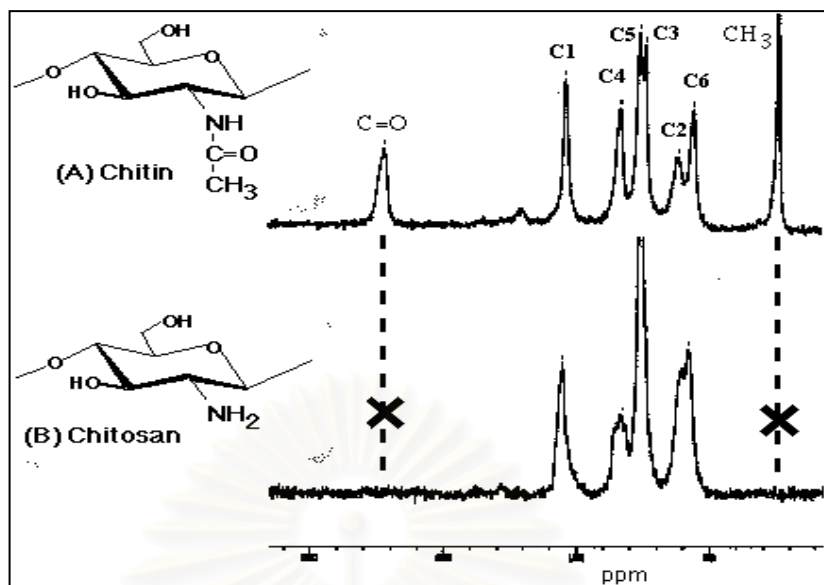


รูปที่ 2.16 โครงสร้างโมเลกุลของ (A) ไคติน (B) ไคโตซาน (Muzzarelli, 1985)

ไคตินและไคโตซานแตกต่างกันตรงที่หมู่ Carboxyl ( $-\text{CO}-$ ) และหมู่ Amino ( $-\text{NH}_2-$ ) สามารถตรวจสอบได้โดย IR spectra และ NMR spectra ดังแสดงในรูปที่ 2.17 และ 2.18



รูปที่ 2.17 IR spectra ของไคติน (A) และไคโตซาน (B) (Sang, 2003)



รูปที่ 2.18 NMR spectra ของไคติน (A) และไคโตซาน (B) โดยวิธี CP-MAS (Sang, 2003)

ไคโตซานมีสมบัติที่แตกต่างจากพอลิแซ็กคาไรด์หรือสารไฮโดรคอลลอยด์ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงอื่น ๆ คือ ไคโตซานมีสมบัติเป็น Cationic polyelectrolyte เนื่องจากไคโตซานมีหมู่ Amino อิสระที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่สองดังกล่าว ทำให้ไคโตซานสามารถละลายได้ในสารละลายกรด ได้แก่ สารละลายอินทรีย์ต่าง ๆ ตัวทำละลายที่ดีของไคโตซาน คือ สารละลายกรดฟอร์มิก ความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 0.2 – 100 โดยปริมาตร นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถละลายได้ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง สารละลายกรดไนตริกเจือจาง และละลายได้เล็กน้อยในสารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลางหรือเป็นด่าง ได้แก่ ตัวทำละลายอินทรีย์ต่าง ๆ รวมทั้งสารละลายกรดซัลฟูริกไม่ว่าที่ความเข้มข้นใดที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ไคโตซานไม่สามารถละลายได้ในน้ำที่มีค่า pH สูงกว่า 6.5 ได้ (อ้างถึงในนันทชัย, 2543) ความสามารถในการละลายของไคโตซานในสารละลายกรดชนิดต่าง ๆ แสดงดัง ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความสามารถในการละลายของไคโตซานในสารละลายกรดชนิดต่าง ๆ (Muzzarelli, 1977)

ชนิดของกรด	ความเข้มข้นสารละลายกรด (v/v)				
	1%	5%	10%	50%	>50%
Acetic	+	+	+	+	
Adipic	+				
Citric	-				
Formic	+	+	+	+	+
Lactic	+	+	+		
Malic	+	+	+		
Tartalic	-		+		
HCl	+	-	-		
HNO <sub>3</sub>	+	-	-		
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> *	-	-	-		
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	-	-		

หมายเหตุ : (\*)ไคโตซานไม่ละลายในกรด H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> และ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> แต่สามารถละลายได้ใน H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ที่ความเข้มข้นกรดน้อยกว่าร้อยละ 0.5 (+) ละลายได้ (-) ไม่ละลาย

### 2.9.2 การประยุกต์ใช้ไคติน และไคโตซาน (Application of chitin and chitosan)

การประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตซานในปัจจุบันเป็นไปอย่างกว้างขวางมีการนำไปใช้ในด้านต่าง ๆ มากมาย เช่น นำไปใช้ทางการแพทย์ การเกษตร การบำบัดน้ำเสีย และในอุตสาหกรรม เป็นต้น ซึ่งได้แสดงรายละเอียดการนำไปประยุกต์ใช้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การประยุกต์ใช้ไคติน และไคโตซาน (Kupongsak, 1995 และ Goosen, 1997)

การประยุกต์ใช้	ตัวอย่างการใช้งาน
การบำบัดน้ำ	<ul style="list-style-type: none"> <li>การกำจัดโลหะหนัก</li> <li>ตัวสร้างตะกอน/ตกตะกอน: โพรตีน ซี และกรดแอมิโน</li> <li>ใช้เป็นตัวกรอง (Filtration)</li> </ul>
อุตสาหกรรมสิ่งทอและกระดาษ	<ul style="list-style-type: none"> <li>เคลือบหน้ากระดาษเพิ่มความแข็งแรง และทำให้เยื่อกระดาษรวมตัว และเกิดฟิล์มที่ด้านน้ำ</li> <li>เคลือบเส้นใยผ้าเพิ่มการต้านทานน้ำ</li> </ul>
ด้านการแพทย์และเภสัช	<ul style="list-style-type: none"> <li>ผ้าพันแผล (Bandages)</li> <li>ป้องกันเส้นเลือดอุดตัน ควบคุมระดับคลอเรสเตอรอลในเลือด</li> <li>ฟิล์มเมมเบรน (Membranes)</li> <li>ใช้ด้านทันตกรรม/ยับยั้งการเกิดหินปูน</li> <li>รักษาผิวหนังไหม้/ทำผิวหนังเทียม (Artificial skin)</li> <li>ตกตะกอนยา และใช้เป็น Drug carrier</li> </ul>
เครื่องสำอาง	<ul style="list-style-type: none"> <li>แป้งแต่งหน้า (Make-up powder)</li> <li>ผลิตภัณฑ์เคลือบเงาเล็บ (Nail polish)</li> <li>เพิ่มความชุ่มชื้น (Moisturizer) เป็นส่วนผสมโลชั่นอาบน้ำ (Bath lotion)</li> <li>ยาสีฟัน</li> <li>Foam enhancing</li> </ul>
เทคโนโลยีชีวภาพ	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enzyme immobilization and Cell immobilization</li> <li>Protein separation</li> <li>Chromatography</li> <li>Cell recovery</li> <li>Glucose electrode</li> </ul>
การเกษตร	<ul style="list-style-type: none"> <li>เคลือบเมล็ดพันธุ์พืช</li> <li>Hydroponic/Fertilizer</li> <li>Controlled agrochemical release</li> </ul>
อาหาร	<ul style="list-style-type: none"> <li>Removal of dyes, solid, acids</li> <li>เป็นสารกันเน่าเสีย (Preservatives)</li> <li>เพิ่มความคงทนของสี (Color stabilization)</li> <li>ส่วนผสมในอาหารสัตว์ (Animal feed additive)</li> </ul>
เมมเบรน	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reverse osmosis</li> <li>Permeability control</li> <li>Solvent separation</li> </ul>

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

F. Mi และคณะ (2003) ศึกษาการเตรียมเมมเบรนไคโตซานแบบอสมมาตรด้วยวิธี Dry/wet phase เพื่อใช้เป็นผ้าพันแผล โดยเมมเบรนไคโตซานแบบอสมมาตรมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ เนื่องจากสามารถระบายอากาศและให้น้ำซึมออกมาได้ จึงนำมาใช้เป็นผ้าพันแผลร่วมกับ Silver sulfadiazine (AgSD) จากการศึกษาพบว่าผ้าพันแผลไคโตซานที่มี AgSD มีประสิทธิภาพดี และช่วยลดพิษจาก Silver อีกด้วย

H. Ozaki และ H. Li (2002) ศึกษาความสามารถในการกักกันสารประกอบอินทรีย์ด้วยกระบวนการ Ultra-low pressure reverse osmosis (ULPRO) ซึ่งเป็นกระบวนการเมมเบรนออสโมซิสผันกลับที่พัฒนาให้มีฟลักซ์สูงที่ความดันต่ำ ซึ่งต้องกักกันเกลือและสารอินทรีย์ได้ดี ในงานวิจัยนี้ทดสอบสารประกอบอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ใช้อัตราการป้อน 1.20 ลิตรต่อนาที (l/min) และความดัน 3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ( $\text{kg/cm}^2$ ) เมื่อมวลโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ไม่แตกตัวมีค่ามากกว่า 150 ได้ค่าการกักกันมากกว่าร้อยละ 90 เนื่องจากผลของการคัดขนาด ค่า pH และ pKa มีอิทธิพลต่อการกักกันสำหรับสารประกอบอินทรีย์ที่แตกตัวได้

L. Yang และคณะ (2001) ศึกษาการเตรียมเมมเบรน Chitosan-cellulose composite เพื่อดูผลของปริมาณไคโตซานและ PEG ในการเตรียมเมมเบรนและเวลาที่ใช้ในการระเหยต่อโครงสร้างของเมมเบรน เพื่อนำเมมเบรนมาใช้ในการยึดจับ Protein A จากการศึกษพบว่า เมมเบรน Chitosan-cellulose composite ที่เตรียมโดยใช้สารละลายไคโตซานที่ประกอบด้วย ไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 0.5 และ PEG เข้มข้นร้อยละ 15 โดยระเหยตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมมเบรนที่ได้มีขนาดรูพรุน 1 ไมโครเมตรและมีความแข็งแรงมากขึ้นหากเพิ่มความเข้มข้นของ ไคโตซานใน Coating solution

ปิยะบุตรและสุวดี (2542) ได้ศึกษาสมบัติของเมมเบรนไคโตซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งกุลาดำ ได้แก่ ความหนา, Water absorption capacity, Tensile strengths, Percent elongation-at-break, โครงสร้างของเมมเบรน, ขนาดรูพรุน, Permeability และความหนืดของสารละลายไคโตซาน โดยเมื่อนำเมมเบรนไคโตซานที่เตรียมได้มาทดสอบสมรรถนะเปรียบเทียบกับเมมเบรนเซลลูโลสแอซีเตต และเมมเบรนพอลิซัลโฟน พบว่า การทดสอบ Permeability ของ  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ด้วยกระบวนการ Dialysis ของเมมเบรนไคโตซานและเมมเบรนเซลลูโลสแอซีเตตให้ค่า Permeability ใกล้เคียงกัน แต่เมมเบรนพอลิซัลโฟนให้ค่า Permeability มากกว่าเมมเบรนไคโตซาน และในการทดสอบสมรรถนะของเมมเบรนด้วยกระบวนการ Ultrafiltration เพื่อดูความสามารถใน



การกักกันโปรตีนจากหางนม พบว่า เมมเบรนไลโคซานและเมมเบรนพอลิซัลโฟน มีค่าร้อยละการกักกันไม่แตกต่างกัน

H. Matsuyama และคณะ (1999) ศึกษา Permeability ของ Theophylline และ Vitamin B<sub>12</sub> ในเมมเบรนไลโคซานที่เตรียมในสภาวะต่างกัน พบว่าการเปลี่ยน Gelating agent ทำให้โครงสร้างของเมมเบรนไลโคซานเปลี่ยนไป คือ เป็นโครงสร้างแบบอสมาตรและโครงสร้างแบบแน่นในการใช้ Gelating agent เป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และ Dimethyl sulfoxide (DMSO) ตามลำดับ และจากการศึกษาด้วย Scanning electron microscope (SEM) พบว่า การทำให้เมมเบรนแห้งเป็นระยะเวลานานขึ้น ทำให้เกิดโครงสร้างแบบแน่น และความเข้มข้นของไลโคซานในการเตรียมเมมเบรนไม่มีผลต่อสมรรถนะของเมมเบรนหากทำให้แห้งเป็นเวลา 20 ชั่วโมง แต่ถ้าใช้เวลา 1.5 ชั่วโมง การเพิ่มความเข้มข้นของไลโคซานทำให้ค่า Permeability ลดลง แต่ทำให้ร้อยละการกักกันเพิ่มมากขึ้น

สุกัญญา (2541) ศึกษาการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ด้วยระบบออสโมซิสผันกลับโดยใช้เมมเบรนแบบThin Film Composite Polyethersulfone (PES) บิดบบริว 30-330 พบว่าที่ความดันสูงขึ้นให้อัตราการผลิตน้ำสูงขึ้น โดยที่ความดัน 11 – 14 บาร์ (bar) ให้ค่าร้อยละการกักกันเกลือสูงสุด และได้นำน้ำจากกระบวนการดังกล่าวไปใช้กับระบบหอทำความเย็น โดยสามารถลดปริมาณน้ำทิ้งจากการ Blow down ลงได้ คือลดลงจาก 220 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เหลือเพียง 90 – 100 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เมื่อคิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่าสามารถลดค่าสารเคมีที่ใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนและตะกรันลงร้อยละ 33 หรือสามารถคุ้มทุนได้ภายใน 3 ปี

J.A. Slim และคณะ (1992) ทำการศึกษาและติดตามผลของการบำบัดน้ำของเมือง Port Elizabeth สาธารณรัฐแอฟริกาใต้ เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ระบบออสโมซิสผันกลับแบบท่อ ใช้อัตราการป้อนน้ำเข้าสู่ระบบ 25,475 ลิตรต่อชั่วโมง สามารถนำน้ำกลับมาใช้ได้ร้อยละ 67.5 คุณภาพน้ำที่ได้ค่อนข้างคงที่ สมบัติทางเคมีของน้ำเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่มของ Kempster และ Smith และมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลก (WHO) พบว่าน้ำที่ผลิตได้มีคุณภาพตามมาตรฐานน้ำดื่ม ยกเว้นระดับแอมโมเนียไนโตรเจนและฟีนอลที่มีค่าสูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อย ซึ่งไม่ก่อความเป็นพิษเมื่อนำมาใช้ ส่วนสมบัติของน้ำทางชีววิทยาพบว่ายังมีแบคทีเรียในน้ำอยู่จึงต้องมีการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคก่อนจ่ายน้ำไปสู่ผู้ใช้ ค่าใช้จ่ายสำหรับการบำบัดน้ำประมาณ 1.86 ดอลลาร์ต่อกิโลลิตร

T. Yang และ R.R. Zall (1984) ศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ต่อสมรรถนะในเทอมร้อยละ การกักกันเกลือและฟลักซ์ของน้ำผลึกภัณฑ์พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโคโตซานในเมมเบรน ทำให้ ฟลักซ์ของน้ำผลึกภัณฑ์ลดลงแต่ร้อยละการกักกันเกลือเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากโครงสร้างหนาแน่นมากขึ้นและที่ว่างในเมมเบรนลดน้อยลง เมื่อเพิ่มความดัน ทำให้ฟลักซ์ของน้ำผลึกภัณฑ์เพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงขับเคลื่อนน้ำเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเกลือ ทำให้ฟลักซ์ของน้ำผลึกภัณฑ์และร้อยละการกักกันเกลือลดน้อยลงเนื่องจากเกิดการสะสมตัวของเกลือที่ผิวหน้าเมมเบรน และเมื่อเพิ่มปริมาณ Polyethylene glycol (PEG) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยเพิ่มการซึมผ่านน้ำของเมมเบรน ทำให้ฟลักซ์ของน้ำผลึกภัณฑ์เพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่า เมมเบรนโคโตซานสามารถแยกเกลือได้ ร้อยละ 78.8 ที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ร้อยละ 0.2 ที่ความดัน 680 ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว (psi) ให้ฟลักซ์  $1.67 \times 10^{-3}$  ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ( $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{sec}$ )



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมี

##### 3.1.1 สารเคมีสำหรับเตรียมไอโอดีน

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก (Commercial grade) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ไทยอาซาฮี เคมีภัณฑ์ จำกัด
2. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้นร้อยละ 37 (Commercial grade) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ไทยอาซาฮี เคมีภัณฑ์ จำกัด
3. ไนโตรเจนเหลว (Liquid N<sub>2</sub>)

##### 3.1.2 สารเคมีสำหรับเตรียมสารละลายไอโอดีน

กรดแอสติก (CH<sub>3</sub>COOH) ความเข้มข้นร้อยละ 100 โดยน้ำหนัก (AR grad): BDH

##### 3.1.3 สารเคมีสำหรับเตรียมน้ำสังเคราะห์

โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.2.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการเตรียมไอโอดีน

1. ตู้อบลมร้อน (Oven): BINDER รุ่น ED115
2. แผ่นความร้อนพร้อมเครื่องกวนระบบแม่เหล็กหมุน (Hot plate and Magnetic stirrer) : PNP รุ่น HS-2
3. ชุดเครื่องกวนชนิดปรับความเร็วรอบ และใบกวนเทปลอน: IKLABOR TECHNIK รุ่น RW 20n
4. เครื่องให้ความร้อน (Heating mantle): FALC รุ่น MF-1000
5. ชุดปฏิกรณ์เคมีแบบ 5 คอ (Reactor) ขนาด 2000 มิลลิลิตร
6. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) ช่วงอุณหภูมิ 0-100 และ 0-200 องศาเซลเซียส
7. เครื่องชั่ง (Analytical balance): METTLER TOLEDO รุ่น PB 3002-S

8. โถดูดความชื้น (Desicator): SANPLATEC รุ่น C-3W No.0031
9. ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump): Welch รุ่น 8890
10. ชุดกรองสุญญากาศ (Suction flask และ Buchner funnel): Edwards รุ่น RV3
11. เครื่องแก้วอื่นๆในห้องปฏิบัติการ

### 3.2.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการเตรียมเมมเบรน

1. ชุดเครื่องกวนชนิดปรับความเร็วรอบ และใบกวนเทปลอน: IKLABOR TECHNIK รุ่น RW 20n
2. เครื่องชั่ง (Analytical balance): METTLER TOLEDO รุ่น PB 3002-S
3. ตู้อบลมร้อน (Oven): BINDER รุ่น ED115
4. ตู้อบสุญญากาศ (Vacuum oven): Heraeus vacutherm รุ่น VT 6000M
5. แผ่นกระจก

### 3.2.3 เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการทดสอบสมบัติของเมมเบรน

1. ไมโครมิเตอร์
2. เครื่องชั่ง (Analytical balance): METTLER TOLEDO รุ่น PB 3002-S
3. โถดูดความชื้น (Desicator): SANPLATEC รุ่น C-3W No.0031
4. โมดูลแบบแผ่นและกรอบ
5. ปั๊มความดันสูง ( High pressure pump): Thermo Finnigan รุ่น P100
6. Conductometer: YSI รุ่น 30
7. เครื่อง Universal testing: LLOYD Instruments LR 5K จากภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8. เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC): METTLER รุ่น DSC 822 จากภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9. เครื่อง Scanning electron microscopy (SEM): Jeol JSM 6400 จากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.3 วิธีการทดลอง

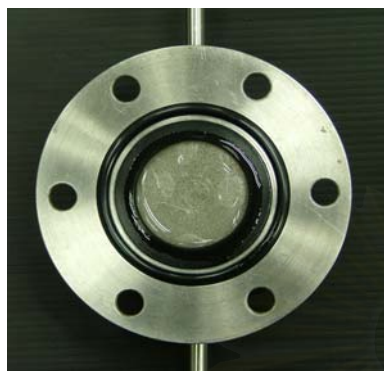
งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อบำบัดน้ำล้างหีตดองเค็มโดยใช้เมมเบรนไคโตซานด้วยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ และ โมดูลแบบแผ่นและกรอบที่พัฒนาขึ้นเอง โดยการวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

- ส่วนที่ 1 ออกแบบและประกอบ โมดูลออสโมซิสผันกลับแบบแผ่นและกรอบ
- ส่วนที่ 2 สังกะหรห้ไคโตซานและวิเคราะห์สมบัติ
- ส่วนที่ 3 เตรียมเมมเบรนไคโตซานและวิเคราะห์สมบัติ
- ส่วนที่ 4 ศึกษาสมบัติของน้ำล้างหีตดองเค็มและบำบัดน้ำล้างหีตดองเค็มด้วยเมมเบรนไคโตซาน

#### 3.3.1 ส่วนที่ 1 ออกแบบและประกอบโมดูลออสโมซิสผันกลับแบบแผ่นและกรอบ

โมดูลแบบแผ่นและกรอบที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะดังรูปที่ 3.1A และ 3.1B ซึ่งออกแบบเพื่อใช้ในการระดับห้องปฏิบัติการ การออกแบบโมดูลเพื่อใช้ในการงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้โมดูลแบบแผ่นและกรอบเนื่องจากเป็น โมดูลที่ไม่ซับซ้อน การเปลี่ยนเมมเบรนสามารถเปลี่ยนได้ที่ละแผ่นซึ่งแตกต่างจากโมดูลแบบอื่นที่ต้องเปลี่ยนทั้งชุด ทำความสะอาดง่ายซึ่งเหมาะแก่การใช้ทดลองในระดับห้องปฏิบัติ นอกจากนี้หากต้องการพัฒนาให้ระบบมีขนาดใหญ่ขึ้นและใช้ได้จริงกับโรงงานสามารถทำได้ง่ายโดยเพิ่มจำนวน โมดูล

โมดูลแบบแผ่นและกรอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ออกแบบให้มีการไหลแบบขวาง (Crossflow) เพื่อลดการเกิดฟาวลิง ที่ตัวโมดูลติดเกจวัดความดัน (Pressure gauge) เพื่อสังเกตค่าความดันของสารป้อนและคุณภาพต่างของความดันในด้านสารป้อนกับด้านเพอร์มิเอท กำหนดขนาดโมดูลให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Effective membrane เท่ากับ 3.7 เซนติเมตร ใช้แผ่นยางวงแหวนแบบแบนกันรั่วในชั้นแรก และใช้แผ่นยางวงแหวนแบบกลมกันรั่วในชั้นที่สอง ใช้วาล์วแบบเข็ม (Needle valve) ที่สามารถทนความดันได้ 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพื่อการปรับความดันแบบละเอียด



(A)



(B)

รูปที่ 3.1 โมดูลแบบแผ่นและกรอบที่ใช้ในการทดลอง

### 3.3.2 ส่วนที่ 2 สังเคราะห์โคโตซานและวิเคราะห์สมบัติ

1. การเตรียมโคโตซานจากเปลือกกุ้ง ดำเนินตามขั้นตอนในงานวิจัยก่อนหน้า (นันทชัย, 2543) แสดงดังรูปที่ 3.2 ดังนี้

#### (1) การเตรียมวัตถุดิบ

ล้างเปลือกกุ้งให้สะอาดด้วยน้ำประปา ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ แล้วอบในตู้อบลมร้อน (Oven) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นบดเปลือกกุ้งอบแห้งด้วยเครื่องปั่น แล้วใช้ตะแกรงร่อนเพื่อแยกเปลือกกุ้งที่เล็กจนเป็นผงออกไป เก็บเปลือกกุ้งบดในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิห้อง

#### (2) การกำจัดโปรตีน (Deproteinization)

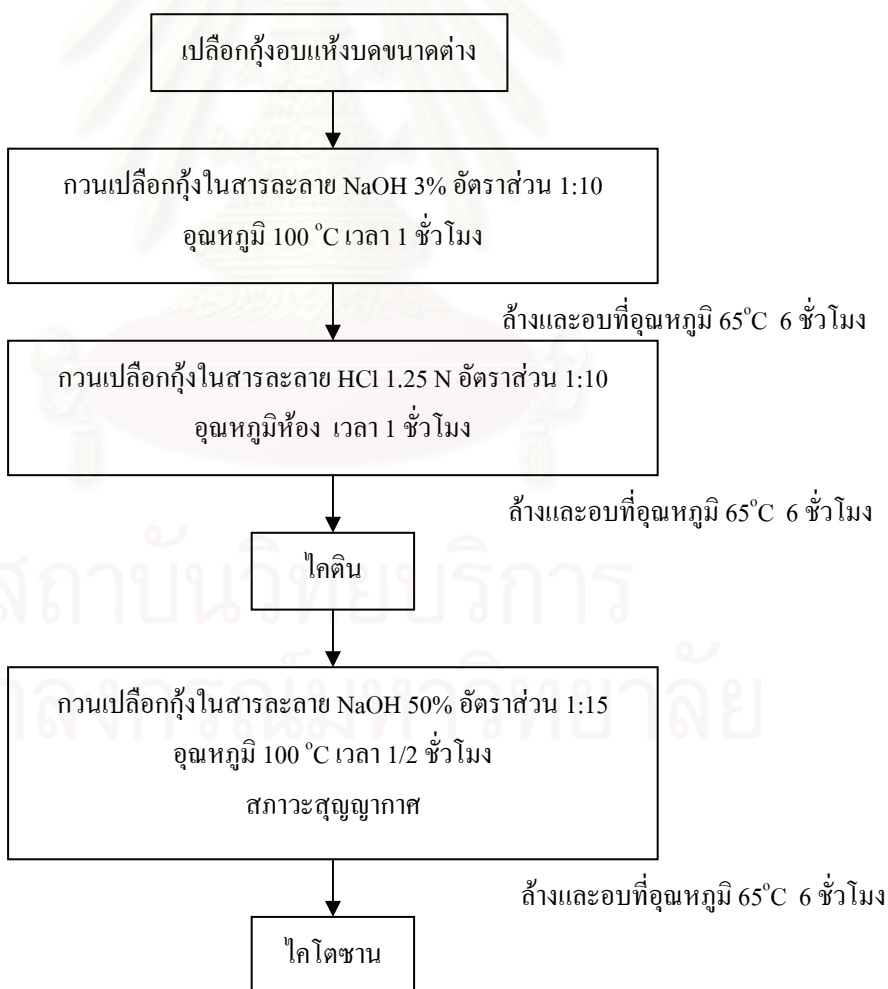
แช่เปลือกกุ้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนเปลือกกุ้งต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1:10 แล้วนำมวลล้างให้มีสภาพเป็นกลาง จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อน (Oven) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

### (3) การกำจัดแร่ธาตุ (Demineralization)

นำเปลือกกุ้งที่ผ่านการกำจัด โปรตีนแล้วแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.25 นอร์แมล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้อัตราส่วนเปลือกกุ้งต่อสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เท่ากับ 1:10 แล้วนำมาล้างให้มีสภาพเป็นกลาง จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อน (Oven) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ไคติน

### (4) การกำจัดหมู่แอซีทิล (Deacetylation)

แช่ไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในสภาวะสุญญากาศ โดยใช้อัตราส่วนไคตินต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1:15 แล้วนำมาล้างให้มีสภาพเป็นกลาง จากนั้นนำไปอบในตู้อบลมร้อน (Oven) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ไคโตซาน



รูปที่ 3.2 การเตรียมไคตินและไคโตซาน (นันทชัย, 2543)

## 2. การวิเคราะห์สมบัติของเกล็ดไคโตซาน

ไคโตซานที่เตรียมได้นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

(1) ระดับการกำจัดหมู่เอซีทิล (Degree of deacetylation) วิเคราะห์ทั้งทางเคมีโดยวิธี Colloidal titration (Amino residue analysis) (Hayes, 1988) และการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันอีกด้วย เครื่อง NMR (Nuclear magnetic resonance)

(2) ความหนืด (Viscosity) ของสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 ในกรดแอซีติกเข้มข้นร้อยละ 1 ด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer โดยใช้ Spindle No.1 ความเร็ว 105 รอบต่อนาที วิเคราะห์โดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

(3) น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) โดยใช้เครื่อง Gel Permeation Chromatography (GPC) วิเคราะห์โดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

### 3.3.3 ส่วนที่ 3 เตรียมเมมเบรนไคโตซานและวิเคราะห์สมบัติ

#### 1. การเตรียมสารละลายไคโตซาน

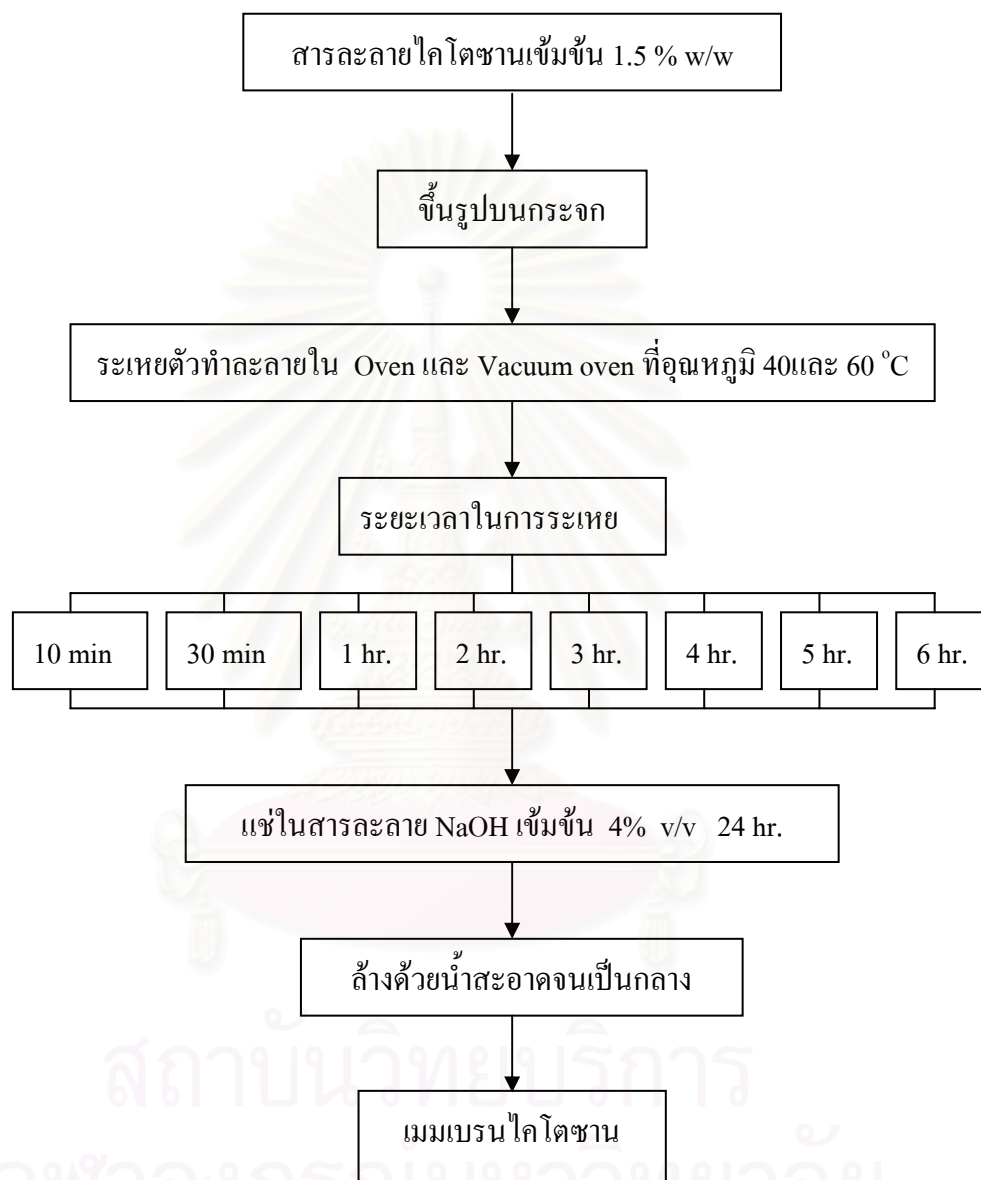
- เตรียมกรดแอซีติกเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร
- เตรียมสารละลายไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก เช่น จำนวน 100 กรัม โดยใช้ไคโตซาน 1.5 กรัม ละลายในกรดแอซีติกเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร จำนวน 98.5 กรัม ได้สารละลายไคโตซานเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก จำนวน 100 กรัม

#### 2. เตรียมเมมเบรนไคโตซานภายใต้สถานะและขั้นตอนดังนี้ (แสดงดังรูปที่ 3.3)

- ระเหยตัวทำละลายภายในตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ กำหนดอุณหภูมิเท่ากับ 40 และ 60 องศาเซลเซียส
- ระเหยตัวทำละลายภายในตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ กำหนดระยะเวลาในการระเหยตัวทำละลาย เท่ากับ 10 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 5 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง



- เมมเบรนที่ผ่านการระเหยตัวทำละลายแล้ว นำมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- ล้างเมมเบรนด้วยน้ำสะอาดให้มีสภาพเป็นกลางก่อนนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การเตรียมเมมเบรน

### 3. วิเคราะห์สมบัติของเมมเบรนไคโตซาน

เมมเบรนไคโตซานที่เตรียมได้นำมาวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ดังนี้

(1) หาค่าร้อยละการกักกันเกลือ ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 4 โดยให้ความดันในด้านสารป้อนเท่ากับ 400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ด้วยกระบวนการออสโมซิสผันกลับและโมดูลแบบแผ่นและกรอบที่ออกแบบขึ้น (แสดงดังรูปที่ 3.4) ใช้อัตราการไหลของสารป้อนเท่ากับ 10 มิลลิลิตร/นาที (อัตราการไหลสูงสุดของปั๊มความดันสูงที่ใช้)



รูปที่ 3.4 ชุดทดสอบร้อยละการกักกันเกลือ

การคำนวณค่าร้อยละการกักกันเกลือ (%R) สามารถคำนวณได้จากสมการ (1) ดังนี้

$$\%R = (1 - C_p / C_f) \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ

$C_p$  = ความเข้มข้นของเกลือในเพอร์มิเอต

$C_f$  = ความเข้มข้นของเกลือในสารป้อน

การทดลองหาค่าร้อยละการกักกันเกลือของเมมเบรน เลือกใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 4 เนื่องจากการเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่ามีความเค็มของเกลือสูงสุดประมาณร้อยละ 3.5 ดังนั้นเมมเบรนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจึงต้องสามารถให้ค่าการกักกันที่ความเข้มข้นเกลือในน้ำเสียสูงสุดได้ และการให้ความดันแก่สารป้อนพิจารณาจากค่าความดันออสโมติกของน้ำโดยต้องมีค่ามากกว่า จากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้ความดัน 400, 600 และ 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พบว่าที่ความดัน 600 และ 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ให้ค่าฟลักซ์สูงกว่าที่ความดัน 400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แต่ให้ค่าการกักกันเกลือต่ำกว่า งานวิจัยนี้จึงเลือกความดันที่ 400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ใช้ในการทดลอง

(2) ทดสอบทางสัณฐานวิทยา โดยตรวจสอบภาคตัดขวางของเมมเบรนไคโตซานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

(3) ทดสอบค่าความต้านแรงดึง (Tensile strength) ของเมมเบรนตาม ASTM D638 ด้วยเครื่อง Universal testing: LLOYD Instruments LR 5K โดยตัดเมมเบรนและวัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์ และทำการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.5A และ 3.5B



(A)



(B)

รูปที่ 3.5 ลักษณะชิ้นตัวอย่างและการทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing

(4) ทดสอบ Glass transition temperature ( $T_g$ ) ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)



รูปที่ 3.6 เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC)

**3.3.4 ส่วนที่ 4** ศึกษาสมบัติของน้ำล้างเห็ดดองเค็มและบำบัดน้ำล้างเห็ดดองเค็มด้วยเมมเบรนไคโตซาน

#### 1. ศึกษาสมบัติของน้ำล้างเห็ดดองเค็ม

ทำการศึกษาสมบัติของน้ำเสีย ได้แก่ ความเค็มด้วยเครื่อง Conductometer, ซีโอดีด้วยวิธีการรีฟลักซ์แบบเปิด, พีเอชด้วยเครื่อง pH meter, อุณหภูมิ, ทีเอส และทีเอสเอส

#### 2. บำบัดน้ำล้างเห็ด

คัดเลือกเมมเบรนจากการทดลองในส่วนที่ 3 โดยเลือกเมมเบรนที่มีค่าร้อยละการกักกันสูงสุดมาทดสอบการบำบัดน้ำเสียโดยวิเคราะห์สมบัติของน้ำ ได้แก่ ซีโอดีและความเค็มก่อนและหลังการบำบัด โดยใช้ความดัน 400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอัตราการไหลของสารป้อนเท่ากับ 10 มิลลิลิตร/นาที คำนวณค่าร้อยละการกักกันเกลือและซีโอดีได้จากสมการที่ (1)

การคัดเลือกเมมเบรนโดยดูจากค่าร้อยละการกักกันเกลือ ในงานวิจัยนี้เลือกพิจารณาเมมเบรนที่เตรียมขึ้น โดยให้ค่าร้อยละการกักกันเกลือที่ร้อยละ 80 เนื่องจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ เมมเบรนไคโตซานสามารถให้ค่าร้อยละการกักกันเกลือสูงสุดที่ร้อยละ 78.8 (Yang and Zall, 1984)

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

#### 4.1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำล้างเห็ดดองเค็ม

ได้เก็บตัวอย่างน้ำจากกระบวนการผลิตในส่วนการล้างเห็ดดองเค็มในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2546 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2547 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2547 และเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2547 ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ความเค็ม พีเอช อุณหภูมิ ซีโอดี ทีเอสและทีเอสเอส ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	ครั้งที่ 1 (ธันวาคม)	ครั้งที่ 2 (มีนาคม)	ครั้งที่ 3 (พฤษภาคม)	ครั้งที่ 4 (กรกฎาคม)
ความเค็ม (ppt)	23	25	20	25
พีเอช	7.39	7.53	7.13	7.26
อุณหภูมิ (°C)	32	32.2	33.1	30.5
ซีโอดี (mg/l)	945.5±0.56	1154±1	749.3±0.7	1,098.4±0.66
ทีเอส (mg/l)	26,449.33±1	33,333.66±0.58	16,665±1	30,649±1
ทีเอสเอส (mg/l)	46±2.64	5.5±1	142.17±1.04	28.37±0.57

#### 4.2 ผลการสังเคราะห์ไคโตซาน

จากการสังเคราะห์ไคโตซานโดยการกำจัดหมู่แอมิโนในสภาวะสุญญากาศและนำมาวิเคราะห์สมบัติได้แก่ มวลโมเลกุล ความหนืด และระดับการกำจัดหมู่แอมิโน ได้ผลคือ มวลโมเลกุลมีค่าเท่ากับ  $1.4 \times 10^6$  คอลตัน ความหนืดมีค่าเท่ากับ 904.8 เซนติพอยส์ และระดับการกำจัดหมู่แอมิโน มีค่าเท่ากับร้อยละ  $87.79 \pm 1.81$  ดังตารางที่ 4.2 เมื่อเปรียบเทียบกับไคโตซานที่สกัดได้จากไคโตซานเชิงการค้าจัดเป็นไคโตซานชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูง

ตารางที่ 4.2 สมบัติของไคโตซาน

สมบัติ	วิธีวิเคราะห์	หน่วย	งานวิจัยนี้	เอกสารอ้างอิง	ไคโตซานเชิงการค้า (Aldrich 2000-2001)		
				น้ำหนัก (2543)	ชนิดน้ำหนัก โมเลกุลสูง	ชนิดน้ำหนัก โมเลกุลปานกลาง	ชนิดน้ำหนัก โมเลกุลต่ำ
มวลโมเลกุล	GPC	คอลลอยด์	$1.4 \times 10^6$ <sup>b</sup>	$1.8 \times 10^6$	-	-	-
ความหนืด	Brookfield	เซนติพอยส์	$904.8^{a,b}$	$4500^a$	$800-2,000^a$	$200-800^a$	$20-200^a$
ระดับการกำจัดหมู่แอสีทิล	Colloidal titration	%	$87.79 \pm 1.81$	84.4	-	75-85	75-85
	NMR		$96^b$	-	-	-	-

หมายเหตุ: <sup>a</sup> สารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 ในสารละลายกรดแอสีติกความเข้มข้นร้อยละ 1

<sup>b</sup> ผลการวิเคราะห์โดย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

#### 4.3 ผลการเตรียมเมมเบรน

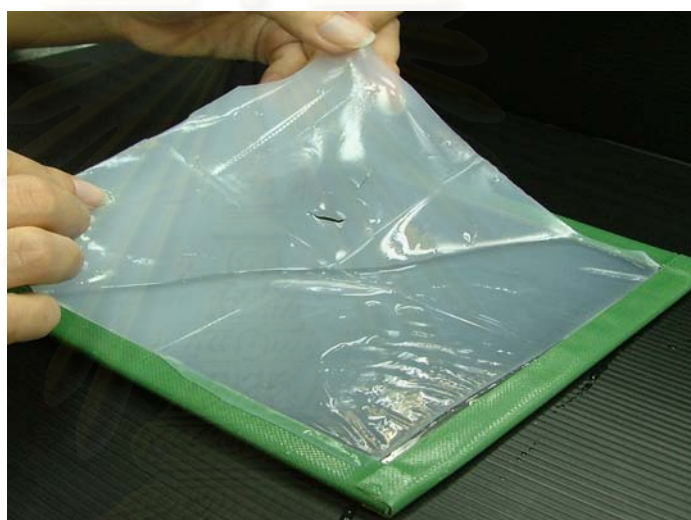
งานวิจัยนี้ต้องการเตรียมเมมเบรนไคโตซานเพื่อใช้ในการกักกันเกลือและสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมมเบรนที่ใช้ในระบบบออสโมซิสผันกลับต้องเป็นเมมเบรนที่มีเนื้อแน่นจึงสามารถกักกันไอออนของเกลือได้ ดังนั้น โครงสร้างของเมมเบรนที่มีความเหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้บำบัดน้ำล้างหีดองเค็มเพื่อช่วยลดปัญหาปริมาณการใช้น้ำมากของทางโรงงานต้องเป็นเมมเบรนที่มีโครงสร้างแบบไม่สมมาตร คือ มีชั้นผิวที่มีโครงสร้างแน่นกว่าชั้นล่าง เพื่อช่วยเพิ่มปริมาณฟลักซ์ของน้ำ ซึ่งเมมเบรนไคโตซานสามารถเตรียมให้มีโครงสร้างแบบไม่สมมาตรได้ (F. Mi et al., 2003) จากแนวคิดข้างต้นจึงทำการทดลองโดยระเหยตัวทำละลายที่ระยะเวลาต่าง ๆ เพื่อทำให้เกิดชั้นผิวที่มีโครงสร้างแบบแน่นหนามากขึ้นจนถึงระดับเป็นเมมเบรนแบบสมมาตรคือเป็นเมมเบรนที่มีโครงสร้างแบบแน่นทั้งแผ่น และทดสอบค่าการกักกันเกลือ

เมมเบรนที่เตรียมขึ้นในการทดลองนี้ใช้สารละลายไคโตซานในการขึ้นรูปเมมเบรนในแต่ละครั้งปริมาณ 38 กรัม เมมเบรนมีความหนา  $0.025 \pm 0.002$  มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความหนาที่เตรียมได้สะดวกและง่ายต่อการนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 4.3.1 ผลการทดสอบค่าการกักกันเกลือ

#### 1. เมมเบรนเตรียมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

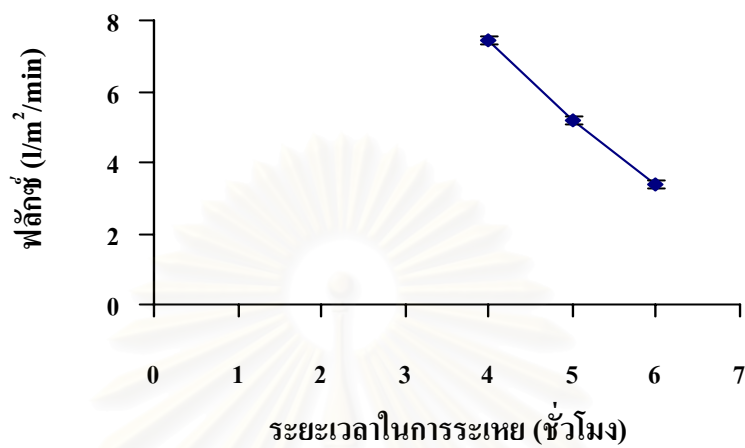
จากผลการเตรียมเมมเบรนทั้งในตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ พบว่าหากระเหยตัวทำละลายเป็นระยะเวลา 10 นาที, 30 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง หลังจากแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตรแล้ว เมมเบรนมีลักษณะคล้ายรูปดังรูปที่ 4.1 และไม่สามารถกักกันเกลือได้



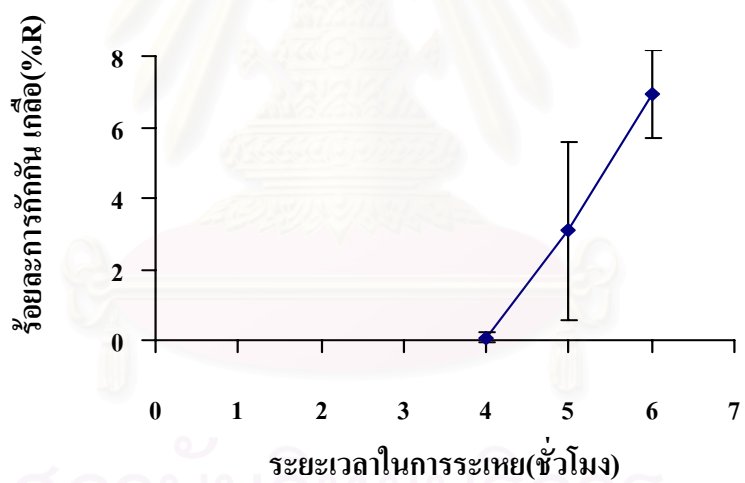
รูปที่ 4.1 เมมเบรนโคโตะซานที่ระเหยตัวทำละลายน้อยกว่า 3 ชั่วโมง

การอบเมมเบรนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสทั้งในตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศที่ระเวลาน้อยกว่า 3 ชั่วโมง ตัวทำละลายระเหยได้เพียงเล็กน้อยจึงทำให้ผิวหนังเมมเบรนแห้งเกิดเป็นชั้นเนื้อแน่นบางมาก มีผลทำให้เมื่อนำเมมเบรนไปทดสอบค่าการกักกันเกลือที่ความดัน 400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จึงไม่สามารถกักกันเกลือได้

ส่วนเมมเบรนที่ระเหยตัวทำละลายเป็นเวลา 4, 5 และ 6 ชั่วโมงสามารถนำมาทดสอบฟลักซ์ของน้ำและค่าการกักกันเกลือ ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (A) และ 4.2 (B) ตามลำดับซึ่งเป็นผลของเมมเบรนที่อบในตู้อบลมร้อน



(A)



(B)

รูปที่ 4.2 ผลการศึกษาเมมเบรนอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในตู้อบลมร้อน

(A) ฟลักซ์ (B) ร้อยละการกักกันเกลือ



จากรูปที่ 4.2 (A) และ 4.2 (B) แสดงให้เห็นว่าเมมเบรนที่ได้จากการอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ให้ค่าร้อยละการกักกันเกลือได้มากที่สุดเท่ากับ  $6.92 \pm 1.23$  ที่ระยะเวลาในการระเหย 6 ชั่วโมง และ ฟลักซ์ลดลงเมื่อระยะเวลาในการระเหยตัวทำละลายเพิ่มขึ้น

การระเหยตัวทำละลายที่ระยะเวลามากขึ้นทำให้เมมเบรนมีชั้นผิวแบบแน่นหนามากขึ้น (F. Mi et al., 2003) ทำให้มีความสามารถในการกักกันเกลือได้มากแต่ทำให้ฟลักซ์ลดลง

จากผลการทดลองอบเมมเบรนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในตู้อบลมร้อนที่ระยะเวลาในการระเหยตัวทำละลาย 6 ชั่วโมงพบว่าให้ค่าการกักกันสูงสุด ดังนั้นจึงทดลองเตรียมเมมเบรนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสในตู้อบสุญญากาศโดยใช้เวลาในการระเหยตัวทำละลาย 6 ชั่วโมงซึ่งคาดว่าป็นระยะเวลาที่เมมเบรนสามารถให้ค่าการกักกันมากที่สุด เมื่อนำเมมเบรนไปทดสอบค่าการกักกันเกลือ พบว่าเมมเบรนสามารถกักกันเกลือได้ร้อยละ  $11.67 \pm 2.7$  และให้ค่าฟลักซ์  $2.92 \pm 0.17$  ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาที

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าค่าร้อยละการกักกันเกลือมีค่าน้อยมาก จึงทำการทดลองเพิ่มเติมโดยระเหยตัวทำละลายในตู้อบลมร้อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าได้ค่าร้อยละการกักกันเกลือเท่ากับ  $37.8 \pm 1.66$  และให้ฟลักซ์  $0.14 \pm 0.02$  ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาที ยังไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้บำบัดน้ำเสียจริงเนื่องจากมีความสามารถในการกักกันเกลือต่ำมาก และต่ำกว่าเกณฑ์การพิจารณาคือต้องสามารถกักกันเกลือได้ร้อยละ 80

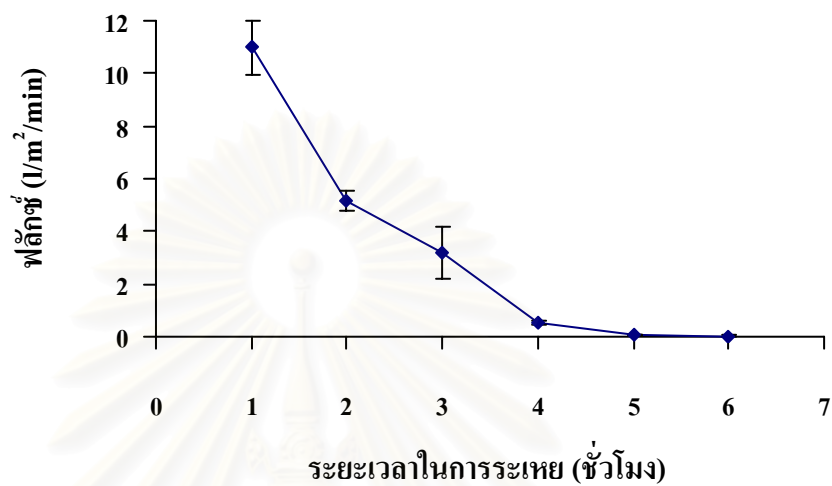
## 2. เมมเบรนเตรียมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

จากผลการเตรียมเมมเบรนทั้งในตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ พบว่าหากระเหยตัวทำละลายเป็นระยะเวลา 10 และ 30 นาที หลังจากแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 4 โดยปริมาตรแล้ว เมมเบรนมีลักษณะคล้ายวุ้นและไม่สามารถกักกันเกลือได้โดยมีลักษณะเหมือนกับเมมเบรนในรูปที่ 4.1 ส่วนเมมเบรนที่ระเหยตัวทำละลายที่ระยะเวลา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ชั่วโมง สามารถทดสอบค่าการกักกันเกลือได้ดังนี้

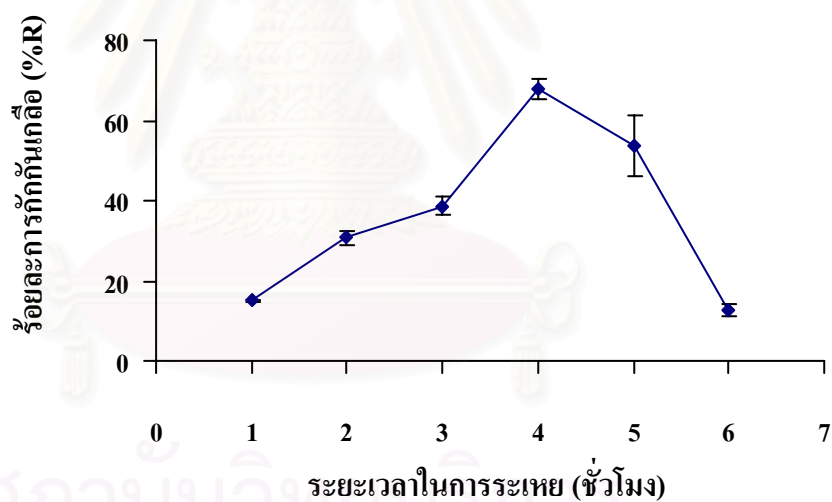
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## (1) เมมเบรนอบในตู้อบลมร้อน

เมมเบรนที่ระเหยตัวทำละลายในตู้อบลมร้อน ให้ค่าฟลักซ์ของน้ำและร้อยละการกักกันเกลือดังแสดงในรูปที่ 4.3 (A) และ 4.3 (B)



(A)



(B)

รูปที่ 4.3 ผลการศึกษาเมมเบรนอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในตู้อบลมร้อน

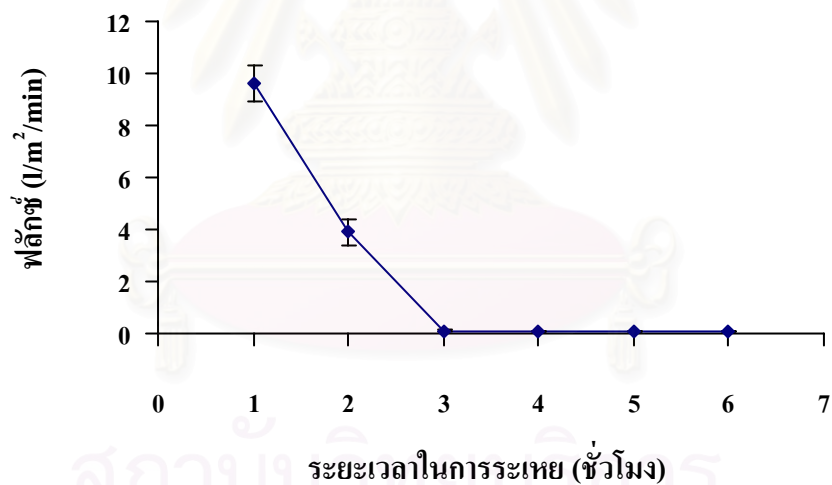
(A) ฟลักซ์ (B) ร้อยละการกักกันเกลือ

จากผลการทดลองหาค่าร้อยละการกักกันเกลือของเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อระยะเวลาในการระเหยตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้นทำให้เมมเบรนมีชั้นเนื้อแน่นเพิ่มมากขึ้นโดยพิจารณาได้จากค่าฟลักซ์ลดลงเช่นเดียวกับเมมเบรนอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แต่การอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสทำให้ตัวทำละลายระเหยได้เร็วกว่า ดังนั้นที่ระยะเวลาระเหยเท่ากันเมมเบรนอบที่อุณหภูมิสูงกว่าเกิดชั้นเนื้อแน่นได้เร็วกว่า ทำให้มีชั้นผิวแบบแน่นหนากว่าและส่งผลให้ค่าฟลักซ์ลดน้อยลงมาก

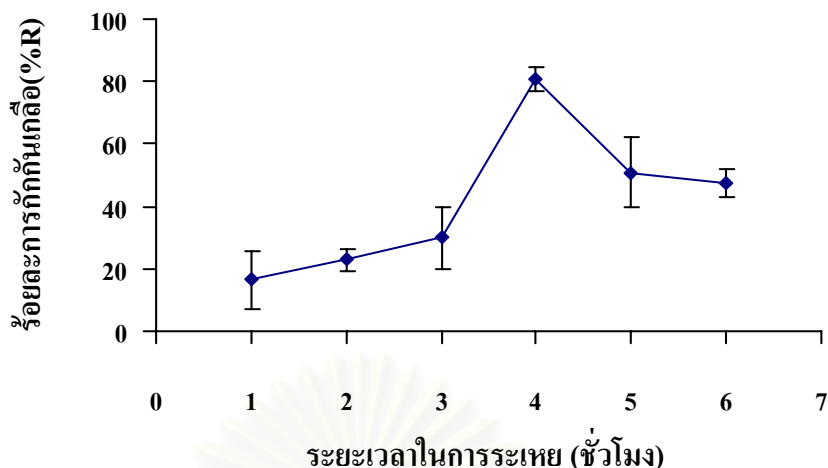
จากรูปที่ 4.3 พบว่าการระเหยตัวทำละลายเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ให้ค่าร้อยละการกักกันเกลือสูงสุดคือ  $67.9 \pm 2.59$  และให้ค่าฟลักซ์  $0.55 \pm 0.06$  ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาที

## (2) เมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศ

เมมเบรนที่ระเหยตัวทำละลายในตู้อบสุญญากาศ ให้ค่าฟลักซ์ของน้ำและร้อยละการกักกันเกลือดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 ผลการศึกษาฟลักซ์ของเมมเบรนอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในตู้อบสุญญากาศ



รูปที่ 4.5 ผลการศึกษารอยละการกักกันเกลือของเมมเบรนอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในตู้อบสุญญากาศ

ผลการทดลองในรูปที่ 4.4 และ 4.5 มีผลคล้ายกับการทดลองก่อนหน้านี้คือ เมื่อระเหยตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้นฟลักซ์ลดลง โดยการอบเมมเบรนในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสให้ค่ารอยละการกักกันเกลือสูงสุดเท่ากับ  $80.83 \pm 4$  และให้ค่าฟลักซ์  $0.08 \pm 0.20$  ลิตรต่อตารางเมตรต่ออนาที ที่เวลาการระเหยตัวทำละลาย 4 ชั่วโมง

จากผลการทดลองอบเมมเบรนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสทั้งในตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศ พบว่าเมมเบรนที่ให้ค่าการกักกันเกลือได้สูงสุดเป็นเมมเบรนสมมาตรแบบเนื้อแน่นคือเมมเบรนถูกระเหยตัวทำละลายจนหมด แต่เมื่อนำค่าฟลักซ์และรอยละการกักกันเกลือมาเปรียบเทียบระหว่างเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนและอบในตู้อบสุญญากาศ ดังตารางที่ 4.3 พบว่า ที่ระยะเวลาการระเหยตัวทำละลายเท่ากัน (4 ชั่วโมงแรก) ฟลักซ์ของเมมเบรนที่อบในตู้อบสุญญากาศมีค่าน้อยกว่าเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อน ซึ่งสามารถบอกได้ว่าการอบเมมเบรนในตู้อบสุญญากาศทำให้ตัวทำละลายระเหยได้เร็วกว่าจึงทำให้เมมเบรนเกิดขึ้นผิวแบบแน่นได้เร็วขึ้น และที่ระยะเวลาการระเหยตัวทำละลาย 4 ชั่วโมงซึ่งเป็นระยะเวลาที่เมมเบรนให้ค่ารอยละการกักกันเกลือสูงสุดทั้งการอบในตู้อบลมร้อนและอบในตู้อบสุญญากาศพบว่า เมมเบรนที่อบในตู้อบสุญญากาศให้ค่าการกักกันเกลือสูงกว่าทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าการอบเมมเบรนในตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศทำให้โครงสร้างภายในเมมเบรนแตกต่างกันซึ่งสามารถดูได้จากภาพการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ของน้ำและค่าร้อยละการกักกันเกลือของเมมเบรนอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ระยะเวลาในการระเหย (ชั่วโมง)	เมมเบรนอบในตู้อบลมร้อน		เมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศ	
	ฟลักซ์ (l/m <sup>2</sup> /min)	ร้อยละการกักกันเกลือ	ฟลักซ์ (l/m <sup>2</sup> /min)	ร้อยละการกักกันเกลือ
1	11.00±1.09	14.97±0.21	9.59±0.70	16.42±9.12
2	5.16±0.37	30.67±1.70	3.91±0.49	23.00±3.53
3	3.20±0.98	38.59±2.27	0.11±0.04	29.90±10.00
4	0.55±0.06	67.9±2.59	0.08±0.20	80.83±4.00
5	0.08±0.02	53.67±7.37	0.06±0.02	50.75±11.14
6	0.03±0.01	12.56±1.42	0.06±0.01	47.67±4.50

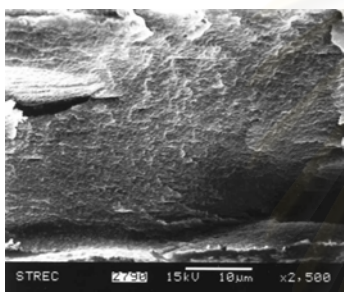
ดังนั้นจากการทดลองเตรียมเมมเบรนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สามารถสรุปได้ว่าเมมเบรนไคโตซานสามารถกักกันเกลือได้ดีที่สุดเมื่อเมมเบรนมีโครงสร้างแบบเนื้อแน่น โดยการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสภายในตู้อบสุญญากาศเป็นเวลา 4 ชั่วโมง สามารถกักกันเกลือได้สูงที่สุดและอยู่ในเกณฑ์การพิจารณานำไปใช้บำบัดน้ำล้างเห็ดดองเค็ม คือ ต้องสามารถกักกันเกลือได้ร้อยละ 80 (งานวิจัยก่อนหน้านี้นี้ (Yang and Zall, 1984) เมมเบรนไคโตซานสามารถกักกันเกลือได้สูงสุดร้อยละ 78.8 )

#### 4.3.2 ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

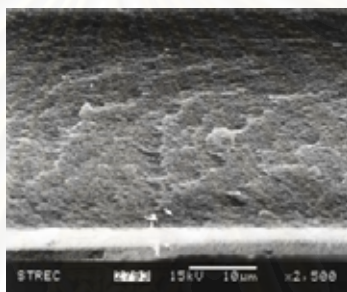
การศึกษาลักษณะทางสัณฐาน โดยใช้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สามารถบอกลักษณะ โครงสร้างของเมมเบรนจากภาคตัดขวางได้ การศึกษาในส่วนนี้เลือกพิจารณาเฉพาะเมมเบรนที่เตรียมด้วยการอบในตู้อบลมร้อนและอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเนื่องจากการทดลองหาค่าการกักกันเกลือก่อนหน้านี้นี้เป็นสภาวะการเตรียมที่ทำให้ค่าร้อยละการกักกันเกลือสูงควรพิจารณานำไปใช้บำบัดน้ำเสีย

### (1) เมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

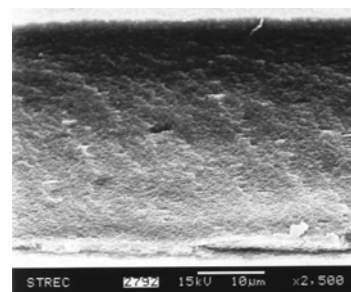
ผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.6 พบว่าระยะเวลาการระเหยตัวทำละลายที่ต่างกันเมื่อนำมาศึกษาโครงสร้างด้วย SEM ไม่สามารถบอกความแตกต่างของโครงสร้างเมมเบรนจากภาคตัดขวางได้ ซึ่งในงานวิจัยก่อนหน้านี้ (F. Mi et al., 2003) ที่ระยะเวลาการระเหยตัวทำละลาย 1 ชั่วโมง ในตู้อบลมร้อนสามารถมองเห็นชั้นผิวที่เป็นเนื้อแน่นและชั้นรองรับที่เป็นรูพรุนและสังเกตเห็นว่าชั้นเนื้อแน่นมีความหนากว่าชั้นรองรับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเตรียมเมมเบรนในงานวิจัยนี้มีความหนาน้อยกว่า เมื่อนำมาศึกษาด้วย SEM จึงต้องใช้กำลังขยายสูงกว่า แต่เมื่อทดลองใช้กำลังขยายที่สูงกว่า 7,000 เท่าพบว่าเมมเบรนเสียหายไม่สามารถมองเห็นโครงสร้างได้ เมมเบรนที่ถ่ายด้วยกำลังขยาย 7,000 เท่าแสดงในรูปที่ 4.7



ระเหยตัวทำละลาย 1 ชั่วโมง

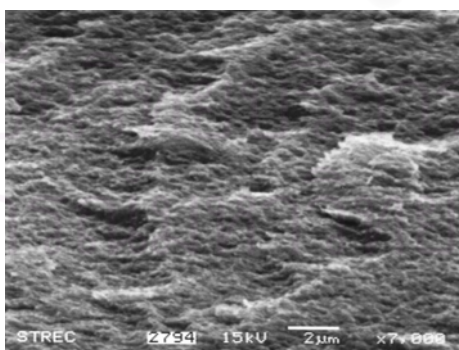


ระเหยตัวทำละลาย 2 ชั่วโมง



ระเหยตัวทำละลาย 3 ชั่วโมง

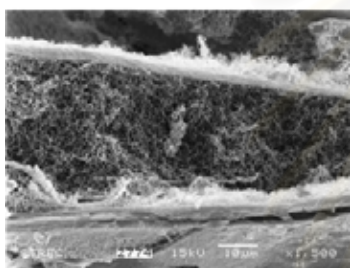
รูปที่ 4.6 ภาคตัดขวางเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



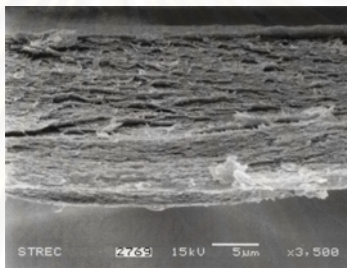
รูปที่ 4.7 ภาคตัดขวางเมมเบรนที่กำลังขยาย 7,000 เท่าของเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

## (2) เมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

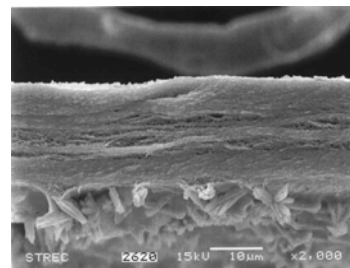
ผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.8 พบว่าสามารถมองเห็นโครงสร้างในภาคตัดขวางของเมมเบรนได้ สังเกตได้ว่าเมื่อระยะเวลาในการระเหยตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้น เมมเบรนมีชั้นเนื้อแน่นมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่าฟลักซ์ลดลงดังการทดลองก่อนหน้านี้ และเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาด้วย SEM ของเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนและอบในตู้อบสุญญากาศที่ระยะเวลาในการระเหยตัวทำละลายเท่ากัน (ระเหยน้อยกว่า 4 ชั่วโมง) พบว่า เมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศมีโครงสร้างที่หลวมกว่าซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการดูดอากาศออกจากตู้อบตลอดเวลาทำให้เมื่อตัวทำละลายระเหยไป โครงสร้างของเมมเบรนไม่ยุบตัวลงมาเหมือนกับการระเหยตัวทำละลายในตู้อบลมร้อน ซึ่งสังเกตได้จากเมมเบรนมีลักษณะการแยกชั้น



ระเหยตัวทำละลาย < 1 ชั่วโมง



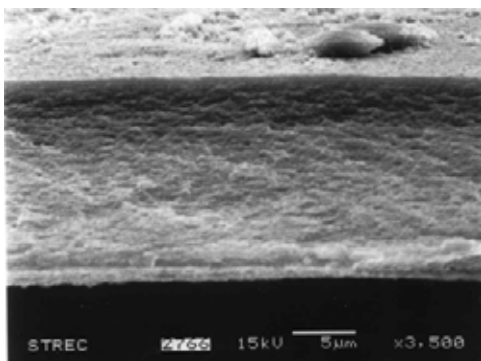
ระเหยตัวทำละลาย 1 ชั่วโมง



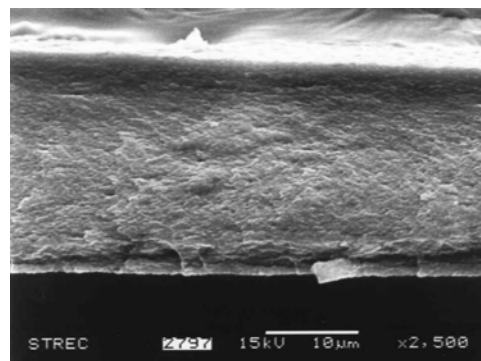
ระเหยตัวทำละลาย 2.5 ชั่วโมง

รูปที่ 4.8 ภาคตัดขวางเมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์ค่าการกักกันเกลือ พบว่าเมมเบรนที่อบในตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ให้ค่าร้อยละการกักกันมากที่สุด แต่เมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศให้ค่าร้อยละการกักกันเกลือสูงกว่าและให้ค่าฟลักซ์ต่ำกว่าเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อน ดังนั้นโครงสร้างของเมมเบรนควรแตกต่างกัน แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบผลการศึกษาด้วย SEM ดังรูปที่ 4.9 พบว่าเมมเบรนที่เตรียมในตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศมีลักษณะโครงสร้างเป็นเมมเบรนแบบเนื้อแน่นเหมือนกัน เมื่อดูจากกำลังขยายที่สามารถวิเคราะห์ได้



อบในตู้อบลมร้อน

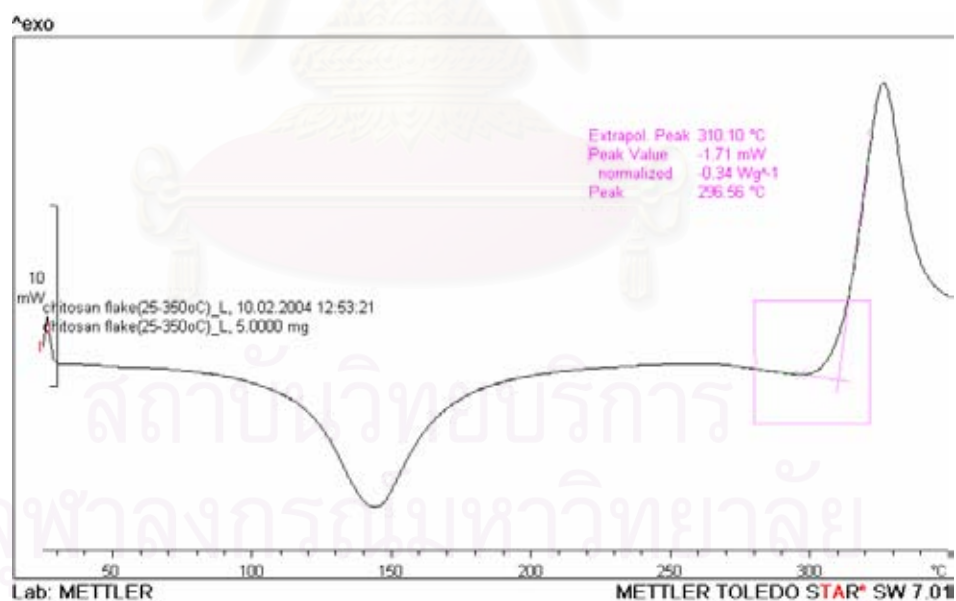


อบในตู้อบสุญญากาศ

รูปที่ 4.9 เมมเบรนที่ระเหยตัวทำละลาย 4 ชั่วโมง

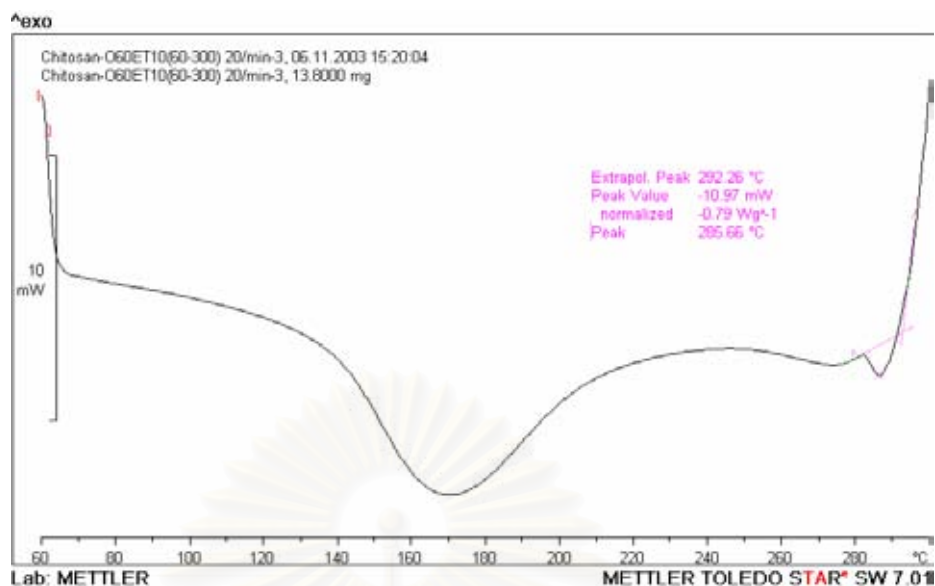
#### 4.3.3 ผลการศึกษา Glass transition temperature (T<sub>g</sub>)

นำเมมเบรนไคโตซานอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC และเปรียบเทียบกับเกลือไคโตซาน ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์เกลือไคโตซานด้วยเครื่อง DSC





รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์เมมเบรนไคโตซานด้วยเครื่อง DSC

โดยปกติค่า  $T_g$  ของไคโตซานไม่แน่นอน เนื่องจากผลการแทรกสอดของพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl, OH<sup>-</sup>), แอซีตามิโด (Acetamide, C=O-NHR) และ/หรือ หมู่อะมีน (Amine, NH<sub>2</sub>) ดังนั้นจึงพิจารณาจากค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดการสลายตัว (Onset of degradation) แทน พบว่าเกลือไคโตซานและเมมเบรนไคโตซานเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 296.56 องศาเซลเซียส และ 285.66 องศาเซลเซียสตามลำดับ

#### 4.3.4 ผลการศึกษาค่าความต้านแรงดึง

ผลการศึกษาในส่วนนี้สามารถบอกความแข็งแรงของเมมเบรนเพื่อสนับสนุนว่าเมมเบรนที่สามารถกักกันเกลือได้ มีความแข็งแรงพอ สามารถทนแรงดันที่ใช้ในสารป้อนของระบบออสโมซิสผันกลับได้ จากการวิเคราะห์เมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนและตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ให้ค่าการกักกันเกลือสูง จึงพิจารณานำมาวิเคราะห์ความต้านแรงดึง

ผลการทดสอบเมมเบรนที่อบในตู้อบลมร้อนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าความต้านแรงดึง (Tensile strengths)  $83.1 \pm 9.33$  เมกะปาสกาล และร้อยละการยืดตัว (Percent elongations) เท่ากับ  $39.28 \pm 0.77$  ส่วนเมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศเป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าความต้านแรงดึง  $95.22 \pm 9.27$  เมกะปาสกาล และร้อยละการยืดตัวเท่ากับ  $43.96 \pm 7.4$

จากผลการวิเคราะห์ค่าความต้านแรงดึงของเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนและเมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศ มีค่าความต้านแรงดึงสูงมาก และพบว่าเมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศมีค่าความต้านแรงดึงสูงกว่าเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อน ผลการทดลองในส่วนนี้สามารถบอกได้ว่าเมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศควรพิจารณานำไปใช้บำบัดน้ำเสียเนื่องจากให้ค่าร้อยละการกักกันเกลือสูงกว่าและมีความแข็งแรงสามารถนำไปใช้กับระบบออสโมซิสผันกลับได้

จากผลการเตรียมเมมเบรนไคโตซานในสภาวะต่าง ๆ และทดสอบสมบัติ ได้แก่ ค่าการกักกันเกลือ ลักษณะทางสัณฐานวิทยา Glass transition temperature ค่าความต้านแรงดึงและร้อยละการยึดตัว พบว่า เมมเบรนที่นำไปใช้บำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยให้ค่าร้อยละการกักกันเกลือสูง มีความทนทานและไม่เสียสภาพเมื่ออุณหภูมิของน้ำมีค่าสูง มีความแข็งแรงสามารถรับแรงขับเคลื่อนสูงของระบบออสโมซิสผันกลับได้ คือเมมเบรนที่อบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

#### 4.4 ผลการบำบัดน้ำล้างหีตดองเค็ม

จากการคัดเลือกเมมเบรนที่มีความเหมาะสมมาใช้บำบัดน้ำเสีย พบว่า เมมเบรนไคโตซานที่เตรียมด้วยสภาวะดังกล่าว สามารถลดเกลือและค่าซีโอดีลงได้

##### 1. ผลการบำบัดน้ำเสียตัวอย่างน้ำเดือนมีนาคม

น้ำตัวอย่างเดือนมีนาคมมีค่าความเค็ม 25 ส่วนในพันส่วน (ppt) และมีค่าซีโอดีก่อนการบำบัด  $115.54 \pm 1$  มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดด้วยเมมเบรนไคโตซานสามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ  $93.59 \pm 0.44$  และสามารถกักกันเกลือได้ร้อยละ 81.2 โดยให้ค่าฟลักซ์  $0.07 \pm 0.02$  ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาที่ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการบำบัดน้ำเสียด้วยเมมเบรนไคโตซานน้ำตัวอย่างเดือนมีนาคม

ครั้งที่	COD หลังบำบัด (mg/l)	ร้อยละ การกำจัด COD	ความเค็ม ในเพอร์มิเอท (ppt)	ร้อยละ การกักกันเกลือ	ฟลักซ์ (l/m <sup>2</sup> /min)
1	68.8	94.04	4.0	84.0	0.06
2	78.9	93.16	4.6	81.6	0.06
3	75.5	93.58	5.5	78.0	0.12
เฉลี่ย	74.07±5.06	93.59±0.44	4.7±0.75	81.2±3.02	0.07±0.02

## 2. ผลการบำบัดน้ำเสียตัวอย่างน้ำเดือนพฤษภาคม

น้ำตัวอย่างเดือนพฤษภาคมมีค่าความเค็ม 20 ส่วนในพันส่วน (ppt) และมีค่าซีโอดีก่อนการบำบัด 749.3±0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดด้วยเมมเบรนไคโตซานสามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ 91.32±0.03 และสามารถกักกันเกลือได้ร้อยละ 79.33 โดยให้ค่าฟลักซ์ 0.07±0.01 ลิตรต่อตารางเมตรต่อนาที แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการบำบัดน้ำเสียด้วยเมมเบรนไคโตซานน้ำตัวอย่างเดือนพฤษภาคม

ครั้งที่	COD หลังบำบัด (mg/l)	ร้อยละ การกำจัด COD	ความเค็ม ในเพอร์มิเอท (ppt)	ร้อยละ การกักกันเกลือ	ฟลักซ์ (l/m <sup>2</sup> /min)
1	65.2	91.30	4.5	77.5	0.08
2	64.8	91.35	3.8	81.0	0.06
3	65.1	91.31	4.1	79.5	0.07
เฉลี่ย	65.03±0.21	91.32±0.03	4.13±0.35	79.33±1.76	0.07±0.01

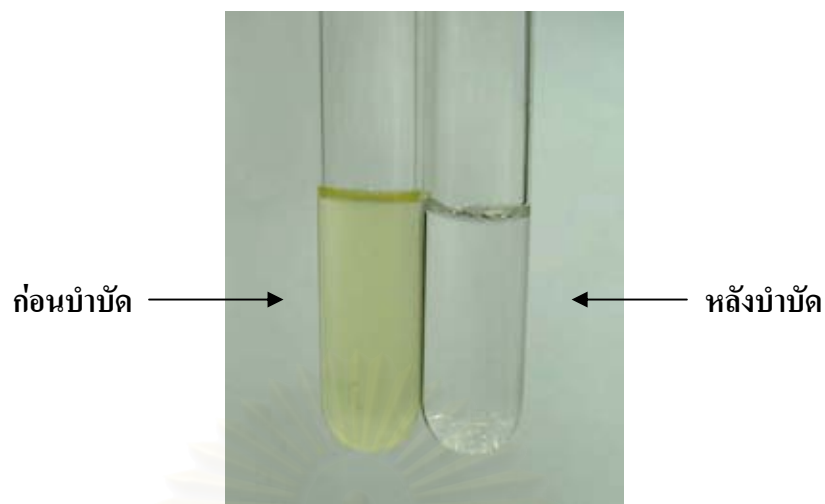
### 3. ผลการบำบัดน้ำเสียตัวอย่างน้ำเดือนกรกฎาคม

น้ำตัวอย่างเดือนกรกฎาคมมีค่าความเค็ม 25 ส่วนในพันส่วน (ppt) และมีค่าซีโอดีก่อนการบำบัด  $1098.4 \pm 0.66$  มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านการบำบัดด้วยเมมเบรนไคโตซานสามารถกำจัดซีโอดีได้ร้อยละ  $95.33 \pm 0.24$  และสามารถกักกันเกลือได้ร้อยละ  $82.93 \pm 2.57$  โดยให้ค่าฟลักซ์  $0.08 \pm 0.02$  ลิตรต่อตารางเมตรต่อหน้าที่ แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการบำบัดน้ำเสียด้วยเมมเบรนไคโตซานน้ำตัวอย่างเดือนกรกฎาคม

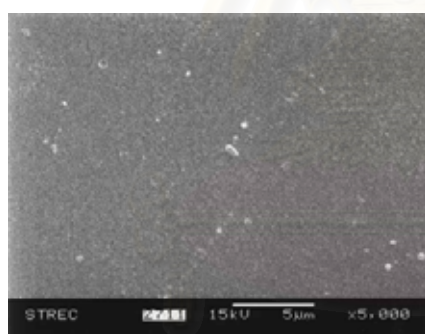
ครั้งที่	COD หลังบำบัด (mg/l)	ร้อยละ การกำจัด COD	ความเค็ม ในเพอร์มิเอท (ppt)	ร้อยละ การกักกันเกลือ	ฟลักซ์ ( $l/m^2/min$ )
1	54.4	95.05	4.0	84.0	0.08
2	50.1	95.44	3.8	84.8	0.06
3	49.5	95.49	5.0	80.0	0.10
เฉลี่ย	$51.33 \pm 2.67$	$95.33 \pm 0.24$	$4.27 \pm 0.4$	$82.93 \pm 2.57$	$0.08 \pm 0.02$

จากผลการทดลองบำบัดน้ำเสียด้วยเมมเบรนไคโตซานของตัวอย่างน้ำเสียทั้ง 3 ตัวอย่างพบว่าเมมเบรนไคโตซานสามารถกำจัดซีโอดีได้ดีมาก โดยตัวอย่างน้ำเสียทั้ง 3 ตัวอย่างสามารถกำจัดซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 90 เนื่องจากการกำจัดสารอินทรีย์ของเมมเบรนระบบออสโมซิสผันกลับสามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 200 ได้เกือบทั้งหมด ส่วนสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 200 อาจทะลุผ่านเมมเบรนไปได้บ้าง ส่วนความสามารถในการกักกันเกลือพบว่า ค่าร้อยละการกักกันเกลือของน้ำตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่าง สามารถกักกันเกลือได้ประมาณร้อยละ 80 น้ำตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัด แสดงดังรูปที่ 4.12 โดยน้ำตัวอย่างก่อนบำบัดมีสีเหลืองและขุ่นแต่หลังบำบัดพบว่าน้ำใสไม่มีสี

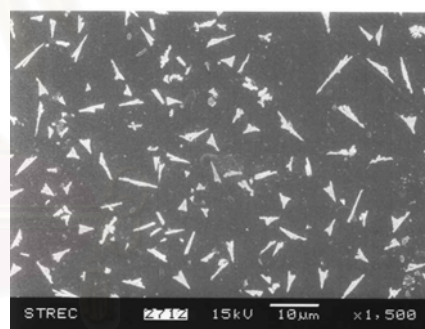


รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบน้ำก่อนและหลังบำบัด

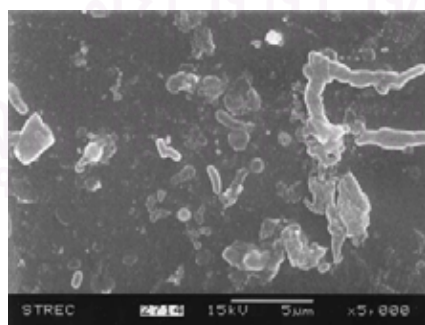
เมมเบรนที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียสามารถศึกษาทางสัณฐานวิทยาโดยศึกษาพื้นผิวของเมมเบรนและพบสิ่งตกค้างบนเมมเบรนดังแสดงในรูปที่ 4.13



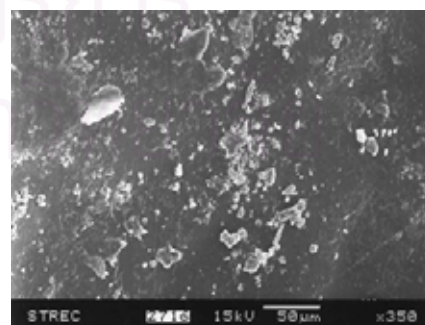
เมมเบรนไคโตซาน



ทดสอบกับน้ำสังเคราะห์



ทดสอบกับน้ำเสีย (20 ppt)

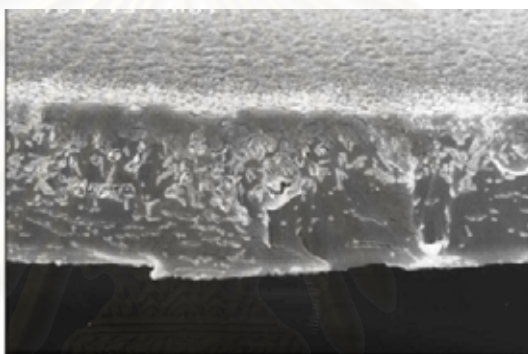


ทดสอบกับน้ำเสีย (25 ppt)

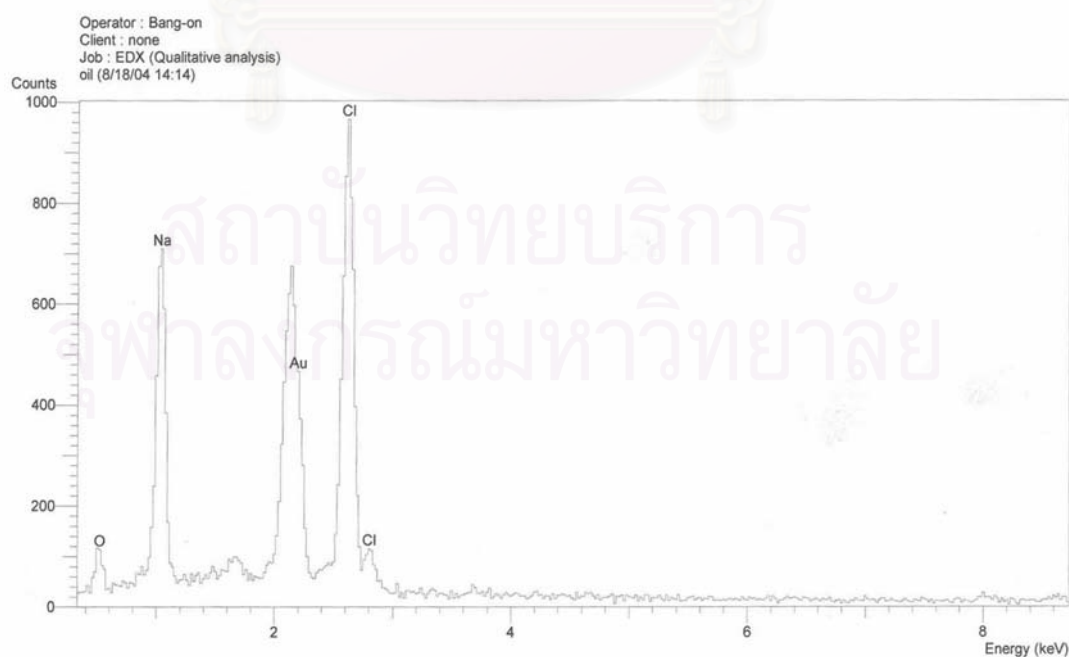
รูปที่ 4.13 ลักษณะพื้นผิวของเมมเบรน

จากรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นพื้นผิวของเมมเบรนไคโตซานก่อนนำมาใช้และหลังใช้ ซึ่งพบว่า หลังการทดลองการกักกันเกลือด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ สังเกตเห็นผลึกของเกลือที่พื้นผิวกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งบอกได้ว่าโมดูลที่ออกแบบขึ้น เมมเบรนเกิดการแยกสม่ำเสมอทั่วแผ่น และเมื่อนำเมมเบรนไคโตซานมาทดสอบบำบัดน้ำเสียจริง พบว่าสิ่งที่เหลือติดค้างอยู่บนเมมเบรนคือเกลือและสารอินทรีย์ปะปนกันอยู่และมีลักษณะไม่สม่ำเสมอมีการกระจุกตัวบางแห่ง

เมื่อนำเมมเบรนที่ผ่านการทดสอบการกักกันเกลือด้วยน้ำสังเคราะห์มาวิเคราะห์ด้วย SEM ในภาคตัดขวาง ดังรูปที่ 4.14 และวิเคราะห์ด้วย Energy dispersive x-ray analysis (EDX) ดังรูปที่ 4.15 สามารถบอกได้ว่ามีเกลือถูกกักกันไว้บนเมมเบรน นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นว่าเกลือบางส่วนติดค้างอยู่ในเมมเบรน ซึ่งบอกได้ว่ามีเกลือบางส่วนสามารถละลายและแพร่ผ่านเมมเบรนออกมาได้ เมมเบรนจึงไม่สามารถกักกันเกลือได้ทั้งหมด



รูปที่ 4.14 ภาคตัดขวางของเมมเบรนหลังการทดสอบการกักกันเกลือกับน้ำเสียสังเคราะห์



รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ด้วย EDX

เนื่องจากการหาสถานะของเมมเบรนที่เหมาะสมสำหรับใช้บำบัดน้ำเสีย ทำการทดสอบ ร้อยละการกำจัดเกลือของโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 4 แต่น้ำตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าความเค็มอยู่ในช่วงร้อยละ 2 – 2.5 จึงได้ทำการทดลองหาค่าร้อยละการกักกันเกลือของโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 2 และ 3 เปรียบเทียบเพื่อดูว่าให้ค่าการกักกันแตกต่างกันหรือไม่ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

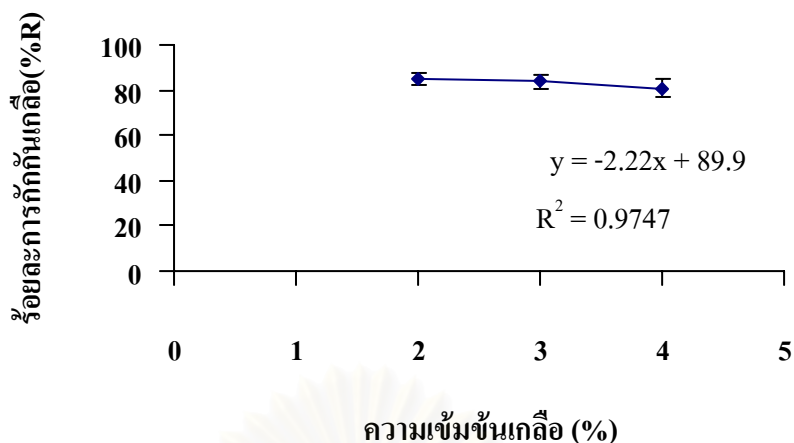
ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าร้อยละการกักกันเกลือ

พารามิเตอร์	NaCl 2 %	NaCl 3 %	NaCl 4 %
ฟลักซ์ (l/m <sup>2</sup> /min)	0.07±0.01	0.08 ±0.01	0.08±0.20
ร้อยละการกักกันเกลือ	85.27±2.61	83.67±3.22	80.83±4

ผลการทดลองดังตารางที่ 4.7 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของเกลือสูงขึ้น ค่าร้อยละการกักกันมีค่าลดลง แต่ฟลักซ์ของน้ำมีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อนำค่าร้อยละการกักกันเกลือของน้ำสังเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าร้อยละการกักกันเกลือของน้ำเสีย พบว่ามีค่าการกักกันเกลือน้อยกว่า เพราะในน้ำเสียมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ เมื่อสารอินทรีย์รวมกันอยู่บริเวณผิวของเมมเบรนมาก ๆ ช่วยทำให้ไอออนของเกลือสะสมบริเวณผิวของเมมเบรนได้เร็วขึ้น ทำให้ไอออนของเกลือบางส่วนเกิดละลายและแพร่ผ่านออกไปได้

เมื่อพิจารณาคูณภาพของน้ำหลังการบำบัดด้วยเมมเบรนไลโตซานทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่าค่าซีโอดีหลังการบำบัดมีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมคือ ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ค่าความเค็มที่เหลืออยู่ในน้ำหลังการบำบัดยังมีค่าความเค็มประมาณ 4 ส่วนในพันส่วน (ppt) หรือร้อยละ 0.4 (น้ำประปา 0.1 ppt) ดังนั้นการบำบัดน้ำด้วยระบบออสโมซิสผันกลับเพียงครั้งเดียวไม่สามารถลดเกลือได้เพียงพอกับความต้องการนำน้ำกลับไปใช้ใหม่

จากความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเกลือกับร้อยละการกักกันเกลือดังรูปที่ 4.16 จากการคำนวณพบว่าหากทำการบำบัดน้ำซ้ำจำนวน 2 รอบ ค่าความเค็มที่เหลือในน้ำหลังบำบัดมีค่าเพียง 0.007 ส่วนในพันส่วน หรือร้อยละ 0.07



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเกลือกับร้อยละการกักกันเกลือ

ดังนั้นจึงทำการทดลองโดยใช้เมมเบรนไคโตซานบำบัดน้ำสังเคราะห์ที่มีความเค็มเท่ากับน้ำหลังการบำบัดในแต่ละรอบ โดยผลการบำบัดน้ำแสดงดังตารางที่ 4.8 ซึ่งผลจากการคำนวณมีค่าต่างจากผลการทดลอง

ตารางที่ 4.8 ผลการบำบัดน้ำจำนวน 4 รอบ

บำบัดครั้งที่	ความเค็มในสารป้อน (ppt)	ความเค็มในเพอร์มิเอท (ppt)	ร้อยละการกักกันเกลือ	ฟลักซ์ ( $l/m^2/min$ )
1	20-25	4.1-4.7	79.33-82.93	0.07-0.08
2	4	$0.93 \pm 0.12$	$76.67 \pm 2.89$	$0.07 \pm 0.01$
3	1	$0.50 \pm 0.10$	$50.00 \pm 10.0$	$0.08 \pm 0.02$
4	0.5	$0.30 \pm 1.00$	$40.00 \pm 20.0$	$0.07 \pm 0.01$

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อทดลองบำบัดน้ำสังเคราะห์ที่มีค่าความเค็มเท่ากับค่าความเค็มในเพอร์มิเอทของการบำบัดในแต่ละรอบ พบว่า เมมเบรนสามารถกักกันเกลือไว้ได้แต่ค่าร้อยละการกักกันมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าความเค็มในสารป้อนมีความเข้มข้นของเกลือลดลงความสามารถในการกักกันเกลือที่ลดลงของเมมเบรนไคโตซานอาจเนื่องมาจากการปรับสถานะของเมมเบรนโดยแช่ในน้ำเป็นเวลานาน (นานกว่าการทดลองก่อนหน้านี้) ก่อนนำมาทดลองอาจทำให้เมมเบรนไคโตซานซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพมีโครงสร้างเปลี่ยนแปลงได้คืออาจมีโครงสร้างหลวมมากขึ้นทำให้เมมเบรนกักกันเกลือได้น้อยลง



สรุปได้ว่าเมมเบรนไคโตซานเมื่อนำมาบำบัดน้ำล้างเห็ดคองเค็มสามารถลดค่าซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 90 ในการบำบัดรอบแรก โดยมีค่าซีโอดีเหลือในน้ำน้อยกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม แต่ค่าความเค็มที่เหลือหลังการบำบัด 4 รอบ ยังพบว่ามีความเข้มข้น  $0.3 \pm 1$  ส่วนในล้านส่วน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ตามสภาวะของการเตรียมเมมเบรนที่กำหนด เมมเบรนที่เตรียมขึ้นแบบโครงสร้างไม่สามารถกักกันเกลือได้ แต่เมมเบรนที่เตรียมขึ้นและกักกันเกลือได้คือ เมมเบรนแบบเนื้อแน่นโดยทำให้ฟลักซ์มีค่าต่ำ
2. สภาวะในการเตรียมเมมเบรนที่สามารถนำไปใช้ในการบำบัดน้ำล้างเห็ดคองเค็มได้คือ อบอุ่นในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
3. เมมเบรนไคโตซานที่เตรียมขึ้นลดค่าซีไอดีได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมแต่ค่าความเค็มยังเหลืออยู่ เมื่อเปรียบเทียบกับความเค็มในน้ำประปาพบว่ามีความมากกว่า

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการทำเมมเบรนประกอบโดยใช้ไคโตซานเป็นชั้นเนื้อแน่น
2. ศึกษาการใช้สารเติมแต่ง (Additive) เพื่อเพิ่มฟลักซ์ของน้ำให้มากขึ้น
3. ศึกษาระยะเวลาการเกิดฟาวลิง

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- ชั้นทอง สุนทรภา. 2545. เอกสารประกอบการเรียนรายวิชา กระบวนการแยกด้วยเมมเบรน. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นันทชัย ศรีนภางค์. 2543. การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยระบบร่วมเยื่อแผ่น-ถังโปรยกรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประวิทย์ โคมหอม. 7 มีนาคม 2546. ผู้จัดการโรงงาน บริษัท ไทยนิสซินเซฟงู จำกัด. สัมภาษณ์.
- ปิยะบุตร วานิชพงษ์พันธุ์ และสุวดี จันทร์กระจ่าง. 2542. การพัฒนาแผ่นเยื่อบางไคโตซานเพื่อการกรองแยกชีวะสาร. การสัมมนาทางวิชาการเรื่องความร่วมมือของภาครัฐและเอกชนในการพัฒนาการผลิตและการใช้สารไคติน-ไคโตซานแบบครบวงจร ระนอง 2-3 เมษายน. หน้า 28 – 29.
- มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2539. วิศวกรรมการประปา. เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เยาวภา ไหวพริบ. 2534. การผลิตไคติน และไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัตนา จิระรัตนานนท์. 2543. กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สถยภู ศรีสนธิ์ และสุขวัฒน์ จันทร์. 2544. การลดปริมาณการใช้น้ำและค่า FOG ในน้ำเสียของโรงงาน. รายงานสรุปผลโครงการเทคโนโลยีสะอาด. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. [Online]. Available from: <http://www.oepa.go.th/pr/committee> announcement07.htm. [2003, March 6]
- สุกัญญา กิจเจริญธำรงค์. 2541. การนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่โดยใช้ระบบรีเวอร์สออสโมซิสและนำน้ำที่ได้มาใช้กับระบบหอทำน้ำเย็น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุดารัตน์ เลิศยงผาดิ. 2544. รายงานประกอบการฝึกงานภาคฤดูร้อน. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

## ภาษาอังกฤษ

- Amjad, Z. 1993. Reverse osmosis: Membrane technology, Water chemistry and Industrial application, New York, USA.
- Bassi R., Prasher S. O. and Simoson B. K. 2000. Remediation of Metal-contaminated Leachate using Chitosan Flakes. Environmental Technology. 20: 1177 – 1182.
- Cabib E., Shaw J.A., Mol P.C., Bowers B. and Choi W.J. 1996. Chitin Biosynthesis and Mophogenetic Processes. In The Mycota III. Biochemistry and Molecular Biology. pp.243 – 267. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Goosen M.F.A. 1997. Application of Chitin and Chitosan. Landcaster: Technimic Publishing Company.
- Hayes E.R., 1988. Determination of the Degree of Acetylation of Chitin and Chitosan. Method in Enzymology. 161: 443 – 446.
- Korr D. 1991. Recovery and Utilization of Chitin and Chitosan in Food Processing Waste Management. Food Technology. 1: 114 – 122.
- Kupongsak. S. 1995. Deacetylated Chitin Used as Absorbent in Clarification of Pineapple Syrup Production. Master' Thesis. Argiculture. Aquatic Systems and Engineering Program. Asian Institute of Technology.
- Mi F., Wu Y., Shyu S., Chao A., Lai J. and Su J. 2003. Asymmetric chitosan membrane prepared by dry-wet phase separation: a new type of wound dressing for controlled antibacterial release. Journal of Membrane Science. 212: 237 – 254.
- Musuura, T. 1993. Futurn Trends in Reverse Osmosis Membrane Research and Technology. In Amjad, Z.(ed), Reverse osmosis, pp. 37 – 71 . New York: Van Nostrand Reinhold.
- Mutsuyama H., Shiraishi H. and Kitamura Y. 1999. Effect of Membrane Preparation Condition on Solute Permeability in Chitosan membrane. Journal of Applied Polymer Science.73: 2715 –2725.
- Muzzarelli R.A.A. 1977. Chintin. Great Britain: Pergamon Press, 309pp.
- Ozaki H. and Li H. 2002. Rejection of organic compounds by ultra-low pressure reverse osmosis membrane. Water Research 36: 123-130.

- Qin, J. J., Gu, J. and Chung, T. S. 2001. Effect of dry-jet wet spinning on the shear-induced orientation during the formation of ultrafiltration hollow fiber membranes. Journal of Membrane Science 182: 57-75.
- Romican. 1983. Ultrafiltration Handbook. Massachusetts: Romicon.
- Sang M.H.2003. IR and 13C NMR analysis of chitin and chitosan. [Online] Available from: <http://user.chollian.net/~chitin/chintin1.gif> [2003, October 20]
- Slim J.A., Devey D.G. and Vail J.W. 1992. The feasibility of tubular reverse osmosis for water reclamation on a large scale. Journal of Water Science Technology. 25: 299 – 318.
- The United Kingdom Atomic Energy Authority. 1967. Desalination and its role in water supply. London: Headley Brothers.
- Wijmans, J.G., and Baker, R. W. 1995. The solution diffusion model: a review. Journal of Membrane Science. 107: 1-21.
- Wiley J. 1989. Membrane Process. England: Bath Press.
- Yang L., Hsiao W.W. and Chen P. 2001. Chitosan-cellulose composite membrane for affinity purification of biopolymers and immunoabsorption. Journal of Membrane Science. 5084: 1 –13.
- Yang T. and Zall R.R. 1984. Chitosan membrane for Reverse Osmosis Application. Journal of Food Science. 49: 91 – 93.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

ก.1 ผลการเตรียมไคติน ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

ตารางที่ ก.1 ผลการเตรียมไคตินและไคโตซานจากเปลือกกุ้ง

ชุด	น้ำหนักเปลือกกุ้ง (g)	น้ำหนักไคติน (g)	% yield ไคตินเทียบกับเปลือกกุ้ง	น้ำหนักไคโตซาน (g)	% yield ไคโตซานเทียบกับไคติน	% yield ไคโตซานเทียบกับเปลือกกุ้ง
1	50.02	15.70	31.39	13.39	85.29	26.77
2	50.02	16.27	32.53	13.87	85.25	27.73
3	50.01	16.10	32.19	13.02	80.87	26.03
4	50.00	15.47	30.94	13.32	86.10	26.64
5	50.02	15.69	31.37	12.26	78.14	24.51
6	50.02	15.80	31.59	13.25	83.86	26.49
7	50.01	15.48	30.95	13.12	84.75	26.23
8	39.07	12.34	31.58	9.80	79.42	25.08
9	50.02	16.57	33.13	13.53	81.65	27.05
10	41.33	14.21	34.38	11.31	79.59	27.37
รวม	480.52	153.63	32.01	126.87	82.49	26.39

## ก.2 ผลการทดลองร้อยละการกำจัดหมู่เอซีทิล

ตารางที่ ก.2 ร้อยละการกำจัดหมู่เอซีทิล

ตัวอย่าง ที่	น้ำหนักโคโคซาน ไฮโดรคลอไรด์ (g)	ปริมาตร NaOH ที่ใช้ (ml)		ร้อยละการกำจัดหมู่เอซีทิล
		ใช้	เฉลี่ย	
1	1.02	9	9.00	87.21
		9.1		
		8.9		
2	1.03	8.6	8.63	87.88
		8.7		
		8.6		
3	1.03	8.8	8.83	90.20
		8.9		
		8.8		
4	1.01	8.6	8.77	85.88
		8.9		
		8.8		
			เฉลี่ย	$87.79 \pm 1.81$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### ก.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

#### ก.3.1 ผลการวิเคราะห์ COD, TS และ TSS

ตารางที่ ก.3.1 ผลการวิเคราะห์ COD, TS และ TSS ของตัวอย่างน้ำเสีย

ตัวอย่างน้ำ (เดือน)	พารามิเตอร์					
	COD (mg/l)	เฉลี่ย	TS (mg/l)	เฉลี่ย	TSS (mg/l)	เฉลี่ย
ธันวาคม	945.6	945.5±0.56	26,449.33	26,449.33±1	44.0	46.0±2.64
	946.0		26,450.33		45.0	
	944.9		26,448.33		49.0	
มีนาคม	1153	1154±1	33,333.33	33,333.66±0.58	5.5	5.5±1
	1154		33,334.33		6.5	
	1155		33,333.33		4.5	
พฤษภาคม	748.6	749.3±0.7	16,666	16,665±1	142.5	142.17±1.04
	750.0		16,664		141.0	
	749.3		16,665		143.0	
กรกฎาคม	1098.3	1098.4±0.66	30,648	30,649±1	28.2	28.37±0.57
	1097.8		30,650		27.9	
	1099.1		30,649		29.0	

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ก.3.2 ตัวอย่างน้ำเดือนธันวาคม พ.ศ. 2546

ตารางที่ ก.3.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเดือนธันวาคม พ.ศ. 2546

ขั้นตอนการล้าง	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์					
	ความเค็ม (ppt)	pH	อุณหภูมิ (°C)	COD (mg/l)	TS (mg/l)	TSS (mg/l)
Airflow	35.0	7.09	28.9			
Slice	2.5	6.87	30.0			
ต้ม	27.0	7.26	93.0			
ล้างครั้งที่ 1	5.6	7.34	44.3			
ล้างครั้งที่ 2	4.3	7.52	37.1			
ล้างครั้งที่ 3	2.1	7.28	33.0			
ล้างเย็น	1.2	7.12	11.1			
นำรวม	23.0	7.39	32.0	945.5±0.56	26,449.33±1	46±2.64

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ก.3.3 ตัวอย่างน้ำเดือนมีนาคม พ.ศ. 2547

ตารางที่ ก.3.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเดือนมีนาคม พ.ศ. 2547

ขั้นตอนการล้าง	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์					
	ความเค็ม (ppt)	pH	อุณหภูมิ (°C)	COD (mg/l)	TS (mg/l)	TSS (mg/l)
Airflow	29.0	7.12	28.7			
Slice	7.3	7.22	30.3			
ต้ม	24.3	6.97	91.0			
ล้างครั้งที่ 1	6.6	7.67	45.3			
ล้างครั้งที่ 2	3.1	7.62	39.0			
ล้างครั้งที่ 3	1.3	7.47	29.1			
ล้างเย็น	0.9	7.33	10.5			
น้ำรวม	25.0	7.53	32.2	1154±1	33,333.33±0.58	5.5±1

### ก.3.4 ตัวอย่างน้ำเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2547

ตารางที่ ก.3.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2547

ขั้นตอนการล้าง	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์					
	ความเค็ม (ppt)	pH	อุณหภูมิ (°C)	COD (mg/l)	TS (mg/l)	TSS (mg/l)
Airflow	57.5	6.75	28.9			
Slice	1.7	7.36	29.2			
ต้ม	28.0	6.97	90.8			
ล้างครั้งที่ 1	4.4	7.26	46.2			
ล้างครั้งที่ 2	3.5	7.34	35.0			
ล้างครั้งที่ 3	2.8	7.19	32.6			
ล้างเย็น	1.2	7.33	9.8			
น้ำรวม	20.0	7.13	33.1	749.3±0.7	16,665±1	142.17±1.04

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ก.3.5 ตัวอย่างน้ำเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2547

ตารางที่ ก.3.5 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2547

ขั้นตอนการล้าง	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์					
	ความเค็ม (ppt)	pH	อุณหภูมิ (°C)	COD (mg/l)	TS (mg/l)	TSS (mg/l)
Airflow	35.0	6.91	29.0			
Slice	3.1	7.23	29.6			
ต้ม	26.0	7.12	90.8			
ล้างครั้งที่ 1	5.8	7.28	47.3			
ล้างครั้งที่ 2	3.2	7.31	34.8			
ล้างครั้งที่ 3	1.3	7.25	33.1			
ล้างเย็น	1.0	7.22	11.11			
น้ำรวม	25.0	7.26	30.5	1098.4±0.66	30,649±1	28.37±0.57

#### ก.4 ผลการศึกษาสมบัติของเมมเบรนอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

##### 1. ผลการศึกษาการกักกันเกลือที่ความดัน 400 psi

ตารางที่ ก.4.1 ฟลักซ์ของเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

เวลาในการระเหย (hr.)	ฟลักซ์ ( $l/m^2/min$ )
4	$7.44 \pm 0.13$
5	$5.20 \pm 0.12$
6	$3.38 \pm 0.12$
24	$0.14 \pm 0.02$

ตารางที่ ก.4.2 ฟลักซ์ของเมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

เวลาในการระเหย (hr.)	ฟลักซ์ ( $l/m^2/min$ )
6	$2.92 \pm 0.17$

ตารางที่ ก.4.3 ร้อยละการกักกันเกลือของเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

เวลาในการระเหย (hr.)	ความเข้มข้นเกลือในสารป้อน (ppt)	ความเข้มข้นเกลือในเพอร์มิเอท (ppt)	ร้อยละการกักกัน (%R)
4	40	39.9	0.083±0.14
	40	40.0	
	40	40.0	
5	40	39.8	3.08±2.50
	40	38.7	
	40	37.8	
6	40	36.9	6.92±1.23
	40	37.8	
	40	37.0	
24	40	24.4	37.8±1.66
	40	25.64	
	40	24.6	

ตารางที่ ก.4.4 ร้อยละการกักกันเกลือของเมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

เวลาในการระเหย (hr.)	ความเข้มข้นเกลือในสารป้อน (ppt)	ความเข้มข้นเกลือในเพอร์มิเอท (ppt)	ร้อยละการกักกัน (%R)
6	40	36.1	11.67±2.70
	40	34.1	
	40	35.8	

ก.5 ผลการศึกษาสมบัติของเมมเบรนอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

1. ผลการศึกษาการกักกันเกลือที่ความดัน 400 psi

ตารางที่ ก.5.1 ฟลักซ์ของเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลาในการระเหย (hr.)	ฟลักซ์ ( $l/m^2/min$ )
1	$11.00 \pm 1.09$
2	$5.16 \pm 0.37$
3	$3.20 \pm 0.98$
4	$0.55 \pm 0.06$
5	$0.08 \pm 0.02$
6	$0.03 \pm 0.01$



ตารางที่ ก.5.2 ร้อยละการกักกันเกลือของเมมเบรนอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลาในการระเหย (hr.)	ความเข้มข้นเกลือในสารป้อน (ppt)	ความเข้มข้นเกลือในเพอร์มิเอท (ppt)	ร้อยละการกักกัน (%R)
1	40	34.08	14.97±0.21
	40	33.92	
	40	34.04	
2	40	28.36	30.67±1.70
	40	27.01	
	40	27.83	
3	40	24.08	38.59±2.27
	40	25.61	
	40	24.00	
4	40	12.52	67.9±2.59
	40	14.00	
	40	12.00	
5	40	15.2	53.67±7.37
	40	19.6	
	40	20.8	
6	40	34.33	12.56±1.42
	40	35.40	
	40	35.20	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.5.3 ฟลักซ์ของเมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลาในการระเหย (hr.)	ฟลักซ์ ( $l/m^2/min$ )
1	$9.59 \pm 0.70$
2	$3.91 \pm 0.49$
3	$0.11 \pm 0.04$
4	$0.08 \pm 0.20$
5	$0.06 \pm 0.02$
6	$0.06 \pm 0.01$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.5.4 ร้อยละการกักกันเกลือของเมมเบรนอบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลาในการระเหย (hr.)	ความเข้มข้นเกลือในสารป้อน (ppt)	ความเข้มข้นเกลือในเพอร์มิเอท (ppt)	ร้อยละการกักกัน (%R)
1	40	34.1	16.42±9.12
	40	29.5	
	40	36.7	
2	40	29.5	23.00±3.35
	40	32.3	
	40	30.6	
3	40	28.1	29.9±10.00
	40	32.0	
	40	24.0	
4	40	9.5	80.83±4.00
	40	6.5	
	40	7.0	
5	40	24.0	50.75±11.14
	40	20.0	
	40	15.1	
6	40	19.2	47.67±4.50
	40	20.8	
	40	22.8	

## 2. ผลการศึกษาค่าความต้านแรงดึง

ตารางที่ ก.5.5 ความหนาของเมมเบรน

การอบ	ความหนา (มิลลิเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร) เฉลี่ย
ตู้อบ	0.025	0.0276±0.002
	0.028	
	0.029	
	0.027	
	0.029	
ตู้อบสุญญากาศ	0.024	0.0248±0.002
	0.025	
	0.027	
	0.026	
	0.022	

ตารางที่ ก.5.6 ความต้านแรงดึงของเมมเบรน

การอบ	Tensile strengths	%Elongations
ตู้อบลมร้อน	83.10±9.33	39.28±0.77
ตู้อบสุญญากาศ	95.22±9.27	43.96±7.41

## ภาคผนวก ข

### การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

#### ข.1 การวิเคราะห์ COD (Chemical Oxygen Demand)

##### 1. เครื่องมือ

1.1 ชุดกลั่นไหลกลับ (Reflux apparatus) ประกอบด้วย ขวดรูปชมพู่กันแบนขนาด 250-500 มิลลิลิตร

1.2 แผ่นความร้อน (Hot plate)

1.3 บิวเรตต์ (Burette) ขนาด 50 มิลลิลิตร

##### 2. สารเคมี

2.1 สารละลายมาตรฐาน โปตัสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate) 0.25 นอร์แมล: ละลาย Potassium dichromate 12.259 กรัม ซึ่งอบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

2.2 กรดซัลฟูริกเข้มข้น ( $H_2SO_4$ ) ที่ผสมซิลเวอร์ซัลเฟต ( $Ag_2SO_4$ ): ละลาย  $Ag_2SO_4$  22 กรัมในกรด  $H_2SO_4$  เข้มข้นตั้งทิ้งไว้ 1 – 2 วันเพื่อให้ละลาย

2.3 สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียซัลเฟต ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ) 0.1 นอร์แมล: ละลาย  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  39 กรัมในน้ำกลั่น เดิมกรด  $H_2SO_4$  ลงไป 20 มิลลิลิตร ทำให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนครบปริมาตร 1 ลิตร สารละลายนี้ต้องนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลายมาตรฐาน Potassium dichromate ทำได้ดังนี้ นำสารละลายมาตรฐาน Potassium dichromate 10 มิลลิลิตร มาเติมน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร แล้วเติม conc  $H_2SO_4$  30 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำมาไทเทรตกับสารละลาย  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  โดยใช้ ferroin จำนวน 2 – 3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายจะเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นน้ำตาลแดงที่จุดยุติ

$$\text{Normality} = \frac{\text{ปริมาตร } K_2Cr_2O_7 \times 0.25}{\text{ปริมาตร } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2}$$

2.4 สารละลาย ferroin อินดิเคเตอร์: ละลาย 1 – 10 Phenanthroline monohydrate ปริมาณ 1.485 กรัม และ  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ปริมาณ 695 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่น แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ ปริมาตร 100 ลิตร

### 3. วิธีการ

3.1 ใส  $\text{HgSO}_4$  ประมาณ 0.2 กรัม ลงในขวดรีฟลักซ์พร้อมด้วย glass bead 2 – 3 เม็ด จากนั้นเติมตัวอย่างน้ำเสีย 10 มิลลิลิตร ลงในขวด ปิดตสารละลายมาตรฐาน Potassium dichromate 5 มิลลิลิตร เติมลงไป เขย่าให้เข้ากัน

3.2 ค่อย ๆ เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นที่ผสม ลงไป 15 มิลลิลิตร (ไม่ต้องเขย่า)

3.3 นำขวดรีฟลักซ์นี้ไปต่อกับเครื่องควบแน่น เปิดน้ำหล่อเย็น รีฟลักซ์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเครื่องควบแน่นก่อนที่จะถอดขวดรีฟลักซ์ออกไปไทเทรต

3.4 ทำ blank โดยใช้ น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร และใช้สารเคมีต่าง ๆ เหมือนที่ใช้ วิเคราะห์น้ำตัวอย่าง แล้วทำการรีฟลักซ์ไปพร้อม ๆ กับน้ำตัวอย่าง

3.5 ไทเทรตหาปริมาณ Potassium dichromate ที่เหลือหรือมากเกินไปด้วย สารละลาย  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  โดยใช้ ferroin เป็นอินดิเคเตอร์ 2 – 3 หยด จะมีการเปลี่ยนแปลงจากสี เหลืองเป็นสีฟ้าอมเขียวและเป็นสีน้ำตาลแดงที่จุดยุติ จดปริมาตรที่ใช้ไทเทรต

### 4. การคำนวณ

$$\text{COD (mg/l)} = \frac{(A-B) \times N \times 8,000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง}}$$

A คือ ปริมาตรของ  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  ที่ใช้ไทเทรต blank (ml)

B คือ ปริมาตรของ  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  ที่ใช้ไทเทรตน้ำตัวอย่าง (ml)

N คือ นอร์แมลของ  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  ที่ใช้

## ข.2 การวิเคราะห์ปริมาณ TS (Total solids)

### 1. เครื่องมือ

- 1.1 ถ้วยระเหย (Evaporating dishes)
- 1.2 เครื่องอังน้ำ (Water bath)
- 1.3 โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 1.4 ตู้อบลมร้อน (Oven)
- 1.5 เครื่องชั่ง

### 2. วิธีการ

- 2.1 นำถ้วยระเหยไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
- 2.2 ชั่งน้ำหนักถ้วยระเหย (A กรัม)
- 2.3 เขย่าตัวอย่างน้ำให้เข้ากันดี เทตัวอย่างน้ำที่ทราบปริมาตรลงในถ้วยระเหย (การเลือกปริมาตรน้ำตัวอย่างพิจารณาจากลักษณะของน้ำตัวอย่างในแต่ละครั้งที่เก็บ) นำไประเหยบนเครื่องอังน้ำที่ปรับอุณหภูมิไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส จนแห้ง
- 2.4 นำเข้าตู้อบลมร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 103 – 105 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 1 ชั่วโมง
- 2.5 นำออกจากตู้อบลมร้อนปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก (B กรัม)
- 2.6 ควรทำซ้ำข้อ 4 – 5 จนได้น้ำหนักคงที่

### 3. การคำนวณ

$$TS \text{ (mg/l)} = \frac{(B - A) \times 10^6}{C}$$

- A คือ น้ำหนักถ้วยระเหยอย่างเดียว (กรัม)  
 B คือ น้ำหนักถ้วยระเหยและของแข็ง (กรัม)  
 C คือ ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

### ข.3 การวิเคราะห์ปริมาณ TSS (Total suspended solids)

#### 1. เครื่องมือ

- 1.1 กระจกกรองใยแก้ว GF/C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร
- 1.2 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง
- 1.3 ตู้อบลมร้อน (oven)
- 1.4 โถดูดความชื้น (Desicator)
- 1.5 เครื่องกรองคูด พร้อมปั๊มดูดอากาศ
- 1.6 Buchner's funnel

#### 2. วิธีการ

- 2.1 นำกระจกกรองอบในตู้อบลมร้อน 100 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง เก็บให้เย็นใน dessicator
- 2.2 ทำเครื่องหมายโดยเขียนตัวเลขไว้ที่กระจกกรองซึ่งให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (ให้เป็น A มิลลิกรัม) บันทึกว่าหมายเลขใดใช้กับน้ำตัวอย่างใด
- 2.3 นำกระจกกรองใส่ในกรวยบุคเนอร์ของชุดกรอง (ให้นำเศษฟ้าวางไว้ได้ กระจกกรอง เพื่อให้ง่ายในการนำกระจกออก) เลือกปริมาตรน้ำตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแห้งของสารตกค้างอยู่บนกระจกกรองระหว่าง 10–200 มิลลิกรัม ใช้น้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำตัวอย่างในแต่ละวัน) ก่อนกรองควรใช้กลั่นนิจิดให้กระจกกรองเปียกเพื่อจะได้ติดดีกับกรวยกรอง และเข่าน้ำตัวอย่างให้เข้ากันดี หลังจากนั้นทำการกรองน้ำตัวอย่าง
- 2.4 ใช้น้ำกลั่นนิจิดล้างปิเปตให้ทั่ว และทำการดูดชุดกรองต่อไปจนแห้ง
- 2.5 ใช้ปากคิบบ่อยๆ หนีบกระจกกรองที่ใช้กรองตัวอย่างน้ำแล้ว วางบนภาชนะทนไฟที่เตรียมไว้
- 2.6 นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 103–105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 2.7 ปลอ่ยให้เย็นใน dessicator แล้วชั่งหาน้ำหนักรวมของของแข็งทั้งหมด แวนลอยกับน้ำหนักกระจกกรอง
- 2.8 ควรทำซ้ำข้อ 6 – 7 จนได้น้ำหนักคงที่ (ให้เป็น B มิลลิกรัม)



### 3. การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{TSS (mg/l)} &= \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น(mg)} \times 1000}{\text{ปริมาตรน้ำเสียตัวอย่าง}} \\ &= \frac{(B - A) \text{ (mg)} \times 1000}{\text{ปริมาตรน้ำเสียตัวอย่าง}} \end{aligned}$$



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

มาตรฐานน้ำ

ค.1 ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539)

ตารางที่ ค.1 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	หมายเหตุ
1. พีเอช (pH)	-	5.5-9.0	
2. ทีดีเอส (TDS)	mg/l	- ไม่เกิน 3,000 - ถ้าเป็นแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็มมากกว่า 2,000 mg/l หรือเป็นน้ำทะเล ให้ค่าทีดีเอสในน้ำทิ้งมีค่ามากกว่าค่าทีดีเอสในแหล่งน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 mg/l	คณะกรรมการควบคุมมลพิษอาจกำหนดให้มากกว่านี้ได้แต่ไม่เกิน 5,000 mg/l (ขึ้นกับแหล่งรับน้ำทิ้งหรือประเภทอุตสาหกรรม)
3. สารแขวนลอย (SS)	mg/l	ไม่เกิน 50	คณะกรรมการควบคุมมลพิษอาจกำหนดให้มากกว่านี้ได้แต่ไม่เกิน 150 mg/l (ขึ้นกับแหล่งรับน้ำทิ้งหรือประเภทอุตสาหกรรม)
4. อุณหภูมิ	°C	ไม่เกิน 40	
5. ซีโอดี (COD)	mg/l	ไม่เกิน 120	คณะกรรมการควบคุมมลพิษอาจกำหนดให้มากกว่านี้ได้แต่ไม่เกิน 400 mg/l (ขึ้นกับแหล่งรับน้ำทิ้งหรือประเภทอุตสาหกรรม)

ค.2 ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

ตารางที่ ค.2 มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน

พารามิเตอร์	หน่วย	การแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์*				
		แหล่งน้ำประเภทที่				
		1	2	3	4	5
1. BOD	มก/ล	1.5	< 20			-
2. COD	"	-	< 120			-
3. TSS	"	-	< 50			-
4.pH	-	5-9				

หมายเหตุ: \* การแบ่งประเภทแหล่งน้ำผิวดินซึ่งมิใช่ น้ำทะเล

ประเภทที่ 1 ได้แก่ แหล่งน้ำที่มีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภท และสามารถเป็นประโยชน์ เพื่อ

- การอุปโภค และบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ
- การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน
- การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์วิทยาของแหล่งน้ำ

ประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- การอุปโภค และบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
- การอนุรักษ์สัตว์น้ำ, การประมง, การว่ายน้ำ และการกีฬา

ประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- การอุปโภค และบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
- การเกษตร

ประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

- การอุปโภค และบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน
- การอุตสาหกรรม

ประเภทที่ 5 แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวบุญชู มหาผล เกิดวันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดราชบุรี จบการศึกษา  
วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรเมื่อปี  
พ.ศ. 2543 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
(สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2544



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย