


การบำบัดน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอขั้นสูงด้วยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ



นายสุวิทย์ กิตติภูมิชัย

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

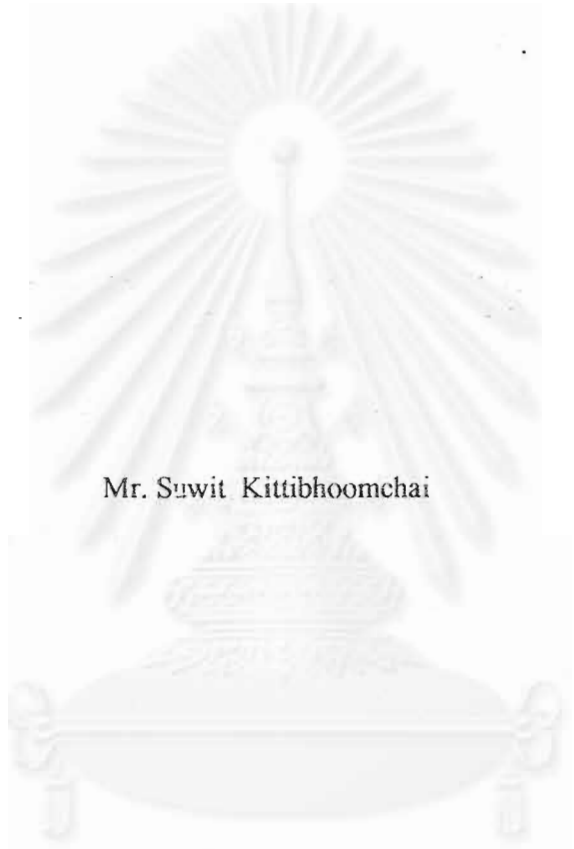
ปีการศึกษา 2543

ISBN 947-13-0761-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 20117978

ADVANCED TREATMENT OF TEXTILE EFFLUENT  
BY THE REVERSE OSMOSIS PROCESS



Mr. Suwit Kittibhoomchai

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University


Academic Year 2000

ISBN 974-13-0761-6


หัวข้อวิทยานิพนธ์      การนำบัดน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอชั้นสูงด้วยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ  
โดย                              นายสุวิทย์ กิตติภูมิชัย  
สาขาวิชา                      วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา              ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล

---

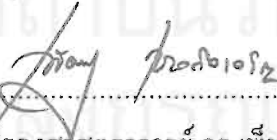
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

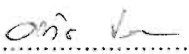
  
.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ บัญญัติแก้ว)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอด)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เขาวกิจเจริญ)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถัย ชวาลภาฤทธิ์)

  
.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว)

สุวิทย์ กิตติภูมิชัย : การบำบัดน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอขั้นสูงด้วยกระบวนการออสโมซิส  
ผันทกลับ(ADVANCED TREATMENT OF TEXTILE EFFLUENT BY THE REVERSE  
OSMOSIS PROCESS)

อ.ที่ปรึกษา: ผศ.ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 156 หน้า, ISBN 974-13-0761-6

งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วย  
กระบวนการออสโมซิสผันทกลับ โดยการศึกษาผลของความดันของน้ำเข้า อัตราการเวียนกลับน้ำ  
เข้มข้น และอัตราส่วนผลิตเพอมีเอทต่อประสิทธิภาพการกำจัดพารามิเตอร์ต่างๆ. เพื่อศึกษาความ  
เป็นไปได้ในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยแบ่งการทดลองได้ 3 ขั้นตอน ซึ่งทำการทดลองทั้งหมด 12  
ชุดการทดลอง โดยทำการทดลองขั้นตอนละ 4 ชุดการทดลอง ขั้นตอนที่ 1 ทำการแปรค่าความดัน  
เข้าระบบ 4 ค่า ได้แก่ 250, 500, 750 และ 1,000 psi ส่วนการทดลองขั้นตอนที่ 2 การแปรค่าอัตรา  
การเวียนน้ำเข้มข้น 4 ค่า ได้แก่ 0, 25, 50 และ 75% ตามลำดับ และการทดลองขั้นที่ 3 แปรผัน  
อัตราส่วนการผลิตเพอมีเอท 4 ค่า ได้แก่ 5, 10, 15 และ 20% ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความดันน้ำเข้า เพิ่มอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้น และเพิ่ม  
อัตราส่วนผลิตเพอมีเอทมีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดตัวถูกละลายต่างๆลดลง กล่าวคือเมื่อเพิ่ม  
ความดันน้ำเข้ามีผลทำให้ค่าของแข็งละลายในเพอมีเอทเท่ากับ 18, 24, 33 และ 37 มก./ล.ตาม  
ลำดับ และมีค่าคลอไรด์เท่ากับ 0, 3, 6 และ 10 มก./ล.ตามลำดับ เมื่อเพิ่มค่าอัตราเวียนกลับน้ำ  
เข้มข้นเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0 ถึง 75% มีค่าของแข็งละลายในเพอมีเอทเท่ากับ 16, 20, 23 และ 28 มก./ล.  
ตามลำดับ และมีค่าคลอไรด์เท่ากับ 8, 9, 11 และ 16 มก./ล.ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผลิต  
เพอมีเอททำให้มีค่าของแข็งละลายในเพอมีเอทเท่ากับ 15, 19, 24 และ 29 มก./ล.ตามลำดับ และ  
มีค่าคลอไรด์เท่ากับ 11, 13, 14 และ 16 มก./ล.ตามลำดับ และทุกชุดการทดลองสามารถกำจัดได้  
ได้เท่ากับ 100%

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

##4070483021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : textile effluent/reverse osmosis/membrane/advanced treatment

SUWIT KITTIBHOOMCHAI : TREATMENT OF TEXTILE EFFLUENT BY THE REVERSE OSMOSIS PROCESS.

THESIS ADVISOR : ASST.PROF.CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D., 156 pp.  
ISBN 974-13-0761-6

This research was studied on factor affecting the efficiency of textile wastewater treatment by Reverse Osmosis Process. Effects of pressure, concentration recirculation and recovery ratio were studied. Three sets of experiments were performed by varied pressure, concentration recirculation and recirculation and recovery ratio. Pressure was varied from 250, 500, 750 and 1000 psi, concentration recirculation of 0, 25, 50 and 75% and recovery ratio of 5, 10, 15 and 20%, respectively.

The result of this experiment showed that increasing of pressure, concentration recirculation and recovery ratio caused decreasing of efficiency. higher pressure used at 250, 500, 750 and 1000 psi had higher dissolved solids in permeate as 18, 24, 33 and 37 mg/l respectively, and higher chloride as 0, 3, 6 and 10 mg/l, when variation of concentration recirculation from 0 to 75% caused dissolved solids in permeate as 16, 20, 23 and 28 mg/l and 8, 9, 11 and 16 mg/l of chloride were found, and increasing of recovery ratio as 5, 10, 15 and 20% resulted in 15, 19, 24 and 29 mg/l of dissolved solids in permeate and 11, 13, 14 and 16 mg/l of chloride were found respectively. While 100% of colour removal was achieved in every experiments of the research.

Department Environmental Engineering

Field of study Environmental Engineering

Academic year 2000

Student's signature.....*K. Suwit*

Advisor's signature.....*Chavalit Ratanatamskul*

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของ ผศ.ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณผู้ให้การอนุเคราะห์แก่งานวิจัยด้านต่างๆ คือ บริษัท ไทยโทรเท็กซ์โพลีมีลส์ จำกัด อนุเคราะห์ในเรื่องอุปกรณ์การทดลอง และสถานที่ที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณอาจารย์และคณะกรรมการทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์มีความบกพร่องน้อยลง รวมทั้งคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้ต่างให้แก่ผู้วิจัย ที่จะสัมฤทธิ์ผลได้ต้องขอขอบคุณ เพื่อนสนิท มิตรสหาย โดยเฉพาะ นางสาว อุไรรักษ์ ไทยานันท์ ที่ให้กำลังใจ และช่วยเหลือผู้วิจัยเสมอมา

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่สนับสนุนทางการเงิน และด้านอื่นๆ อีกมากมายจนสำเร็จการศึกษา

สุวิทย์ กิตติภูมิชัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร.....	4
2.1 กระบวนการเมมเบรน.....	4
2.1.1 เทคโนโลยีเมมเบรน.....	5
2.1.2 ออสโมซิสผันกลับ.....	6
2.1.3 โพลีเมอร์ที่ใช้ผลิตเมมเบรน.....	27
2.1.4 โมดูลชนิดต่างๆ ของ ออสโมซิสผันกลับ.....	27
2.1.5 กลไกการทำงานที่เป็นไปได้ของเมมเบรนในการกำจัดคอลลอยด์.....	32
2.1.6 ปัจจัยที่มีผลต่อฟลักซ์ของออสโมซิสผันกลับ.....	33
2.1.7 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ membrane fouling.....	33
2.1.8 เทคโนโลยีเมมเบรนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียสีข้อมฟ้า.....	35
2.2 สีข้อม.....	37
2.2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของสีข้อม.....	37
2.2.2 สารช่วยข้อม.....	38
2.2.3 การจำแนกสีข้อม.....	39
2.2.4 ชนิดของสีข้อมที่สำคัญ.....	39
2.3 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	43

## สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 3	การดำเนินการวิจัย.....	46
	3.1 แผนการทดลอง.....	46
	3.2 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง.....	48
	3.2.1 ตัวแปรคงที่.....	48
	3.2.2 ตัวแปรอิสระ.....	48
	3.2.3 ตัวแปรตาม.....	49
	3.3 การดำเนินการทดลอง.....	49
	3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	49
	3.5 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์.....	52
	3.6 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย.....	53
บทที่ 4	ผลการทดลองและการวิจารณ์.....	55
	4.1 ลักษณะสมบัติน้ำทิ้งที่เข้าระบบออสโมซิสผั่นกลับ.....	55
	4.2 ผลของความดันที่มีต่อพารามิเตอร์ต่างๆ .....	61
	4.2.1 ผลของความดันเข้าระบบต่ออุณหภูมิ.....	61
	4.2.2 ผลของความดันเข้าระบบต่อค่าพีเอช.....	63
	4.2.3 ผลของความดันเข้าระบบต่อค่าของแข็งละลายและค่าสภาพการนำไฟฟ้า... ..	64
	4.2.4 ผลของความดันเข้าระบบต่อค่าของแข็งแขวนลอยและค่าความขุ่น.....	66
	4.2.5 ผลของความดันเข้าระบบต่อค่าซีโอดี.....	68
	4.2.6 ผลของความดันเข้าระบบต่อประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์และเหล็ก.....	69
	4.2.7 ผลของความดันเข้าระบบต่อประสิทธิภาพการกำจัดดี.....	71
	4.2.8 ผลของความดันเข้าระบบต่ออัตราการกรองน้ำ.....	73
	4.3 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่มีต่อพารามิเตอร์ต่างๆ.....	73
	4.3.1 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่ออุณหภูมิ.....	73
	4.3.2 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าพีเอช.....	74
	4.3.3 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าของแข็งละลายและค่าสภาพการนำ ไฟฟ้า.....	75
	4.3.4 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าของแข็งแขวนลอยและค่าความขุ่น... ..	77
	4.3.5 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าซีโอดี.....	79
	4.3.6 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าคลอไรด์และเหล็ก.....	80



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5	
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	111
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	111
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	112
รายการอ้างอิง.....	113
ภาคผนวก.....	116
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการทดลอง.....	117
ภาคผนวก ข กฎหมายและระเบียบเกี่ยวกับการจัดการน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม..	141
ประวัติผู้เขียน	156



สถาบันวิทยบริการ  
วาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.7 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อการกำจัดสี.....	82
4.3.8 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่ออัตราการกรองน้ำ.....	83
4.4 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทที่มีต่อพารามิเตอร์ต่างๆ .....	84
4.4.1 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่ออุณหภูมิ.....	84
4.4.2 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อค่าพีเอช.....	85
4.4.3 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อค่าของแข็งละลายและค่าสภาพการนำไฟฟ้า.....	86
4.4.4 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อค่าของแข็งแขวนลอยและความขุ่น...	88
4.4.5 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อค่าซีไอดี.....	90
4.4.6 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อค่าคลอไรด์และเหล็ก.....	91
4.4.7 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อการกำจัดสี.....	93
4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบอสมอซิสมันกลับ.....	95
4.5.1 เงินลงทุนเริ่มต้น.....	95
4.5.2 ต้นทุนการดำเนินงาน.....	96
4.5.2.1 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน.....	97
4.5.2.2 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี.....	97
4.5.2.3 ค่าแรงงาน.....	98
4.5.2.4 ค่าซ่อมบำรุงรักษา.....	99
4.5.2.5 ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนเยื่อเมมเบรน.....	99
4.6 การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบบอสมอซิสมันกลับมาใช้ประโยชน์.....	101
4.6.1 คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบอสมอซิสมันกลับ.....	101
4.6.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้.....	102
4.6.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำที่ใช้ในกระบวนการต่างๆ ของโรงงานอุตสาหกรรม สิ่งทอ บริษัท ไทยโทเรติกซ์ ไลน์ จำกัด.....	106
4.6.4 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านระบบบอสมอซิสมันกลับกับมาตรฐาน คุณภาพน้ำ.....	108

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบวิธีการกรองโดยใช้เมมเบรนชนิดต่างๆ.....	4
ตารางที่ 2.2 ความดันออสโมติกของสารละลายต่างๆ.....	8
ตารางที่ 2.3 แหล่งผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเลและน้ำกร่อย.....	23
ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิตน้ำจืดจากน้ำกร่อยและทะเลที่กำลัง การผลิตต่างๆ .....	25
ตารางที่ 2.5 โพลีเมอร์ที่ใช้ผลิตเมมเบรน.....	27
ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติโมลกุลชนิดต่างๆ ของระบบ RO.....	28
ตารางที่ 2.7 ชนิดของสีย้อมจำแนกตามลักษณะการใช้งาน.....	41
ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ.....	53
ตารางที่ 3.2 ระยะเวลาในการศึกษาวิจัย.....	54
ตารางที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1.....	62
ตารางที่ 4.2 ค่าพีเอชที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1.....	63
ตารางที่ 4.3 ค่าของแข็งละลายที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1.....	65
ตารางที่ 4.4 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1.....	65
ตารางที่ 4.5 ค่าสารแขวนลอยที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1.....	67
ตารางที่ 4.6 ค่าความขุ่นที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1.....	68
ตารางที่ 4.7 ค่าซีโอดีที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1.....	69
ตารางที่ 4.8 ค่าคลอไรด์ที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1.....	70
ตารางที่ 4.9 ค่าเหล็กที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1.....	71
ตารางที่ 4.10 หน่วยสีเอสยูที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1.....	72
ตารางที่ 4.11 หน่วยสีเอซีเอ็มไอที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1.....	72
ตารางที่ 4.12 อุณหภูมิที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 2.....	74
ตารางที่ 4.13 ค่าพีเอชที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 2.....	75
ตารางที่ 4.14 ค่าของแข็งละลายที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 2.....	76
ตารางที่ 4.15 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 2.....	76
ตารางที่ 4.16 ค่าความขุ่นที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 2.....	78
ตารางที่ 4.17 ค่าของแข็งแขวนลอยที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 2.....	78
ตารางที่ 4.18 ค่าซีโอดีที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 2.....	80
ตารางที่ 4.19 ค่าคลอไรด์ที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 2.....	81
ตารางที่ 4.20 ค่าเหล็กที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 2.....	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.21 ค่าสีหน่วยสีไอศยุที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 2.....	83
ตารางที่ 4.22 ค่าสีหน่วยสีเอ็ดเอ็ม ไอที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 2.....	83
ตารางที่ 4.23 อุณหภูมิที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 3.....	85
ตารางที่ 4.24 ค่าพีเอชที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 3.....	86
ตารางที่ 4.25 ค่าของแข็งละลายที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 3.....	87
ตารางที่ 4.26 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 3.....	87
ตารางที่ 4.27 ค่าความขุ่นที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 3.....	89
ตารางที่ 4.28 ค่าของแข็งแขวนลอยที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 3.....	89
ตารางที่ 4.29 ค่าซีไอดีที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 3.....	91
ตารางที่ 4.30 ค่าคลอไรด์ที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 3.....	92
ตารางที่ 4.31 ค่าเหล็กที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 3.....	92
ตารางที่ 4.32 ค่าความเข้มสีหน่วยสีไอศยุที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 3.....	94
ตารางที่ 4.33 ค่าความเข้มสีหน่วยสีเอ็ดเอ็ม ไอที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 3.....	94
ตารางที่ 4.34 ส่วนประกอบของเงินลงทุนของระบบออสโมซิสผันกลับ.....	95
ตารางที่ 4.35 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการออสโมซิสผันกลับ.....	97
ตารางที่ 4.36 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี.....	98
ตารางที่ 4.37 ค่าแรงงาน.....	99
ตารางที่ 4.38 ค่าซ่อมบำรุงรักษา.....	99
ตารางที่ 4.39 ต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมดของระบบออสโมซิสผันกลับ.....	100
ตารางที่ 4.40 ต้นทุนทั้งหมดของระบบออสโมซิสผันกลับ.....	100
ตารางที่ 4.41 คุณภาพน้ำเฉลี่ยที่ผ่านการบำบัดโดยระบบออสโมซิสผันกลับเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่.....	101
ตารางที่ 4.42 แนวทางกำหนดคุณภาพน้ำขั้นต้น(Tentative Guidelines)ในการนำกลับมาใช้ใหม่.....	102
ตารางที่ 4.43 แนวทางพื้นฐานกำหนดคุณภาพน้ำ(Basic Guidelines) การนำกลับมาใช้ใหม่..	102
ตารางที่ 4.44 คุณภาพน้ำจากการนำกลับมาใช้ใหม่ เมืองโตเกียวและโอซาก้า (ญี่ปุ่น).....	103
ตารางที่ 4.45 มาตรฐานคุณภาพน้ำชั่วคราว(Temporary standard) สำหรับการนำกลับมาใช้ชำระโลส้วมเฉพาะอาคารเดี่ยว.....	103
ตารางที่ 4.46 หลักการกำหนดคุณภาพน้ำ การนำกลับมาใช้ภายในอาคารและคอมเพล็กซ์...	104

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.47 หลักการกำหนดคุณภาพน้ำ(Criteria) และกระบวนการบำบัดสำหรับการนำกลับมาใช้ เสียบำใช้เพื่อการอุปโภค รัฐแคลิฟอร์เนียและฟลอริดาสหรัฐอเมริกา.....	104
ตารางที่ 4.48 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ในกิจกรรมที่สัมผัสกับมนุษย์.....	105
ตารางที่ 4.49 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ภายในอาคารของประเทศญี่ปุ่น.....	106
ตารางที่ 4.50 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับการข้อมผ้าของโรงงาน TTTM.....	107
ตารางที่ 4.51 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับระบบหม้อไอน้ำของโรงงาน TTTM.....	107
ตารางที่ 4.52 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับระบบหล่อเย็นของโรงงาน TTTM.....	108



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยตั้งเขป.....	1
รูปที่ 2.1 หลักการของออสโมซิสและออสโมซิสผันกลับ.....	8
รูปที่ 2.2 การเกิด Concentration Polarization ในออสโมซิสผันกลับ.....	13
รูปที่ 2.3 ฟลักซ์ของน้ำสะอาดที่สภาวะคงตัวซึ่งแปรผันตรงกับความดัน.....	15
รูปที่ 2.4 ผลของความดันต่อฟลักซ์และการกักกันที่อุณหภูมิ 25 <sup>o</sup> ซ.....	15
รูปที่ 2.5 ผลของอุณหภูมิน้ำป้อนต่อฟลักซ์และการกักกันที่อุณหภูมิ 25 <sup>o</sup> ซ ความดัน 1000 psi.....	15
รูปที่ 2.6 ผลของความเข้มข้นต่อฟลักซ์และการกักกันที่อุณหภูมิ 25 <sup>o</sup> ซ ความดัน 1000 psi.....	16
รูปที่ 2.7 ผลของ pH ต่อฟลักซ์และการกักกันที่อุณหภูมิ 25 <sup>o</sup> ซ ความดัน 500 psi และความเข้มข้น NaCl 0.5%.....	16
รูปที่ 2.8 การป้อนสารละลายผ่านเยื่อแผ่นแบบ dead end และแบบไหลขวาง.....	18
รูปที่ 2.9 การดำเนินการของระบบกะ.....	19
รูปที่ 2.10 การดำเนินการแบบต่อเนื่องและขั้นตอนเดียว.....	20
รูปที่ 2.11 การจัดเรียงหน่วยอุปกรณ์เยื่อแผ่นแบบหลายขั้นตอนแบบมีการวนกลับ.....	21
รูปที่ 2.12 ระบบต่อเนื่องไหลผ่านครั้งเดียวแบบ tapered cascade.....	22
รูปที่ 2.13 การบำบัดน้ำทะเลที่ทีดีเอสสูงกว่า 35000 ppm แบบ 2 ขั้นตอน.....	24
รูปที่ 2.14 โมดูลของระบบออสโมซิสแบบท่อ.....	28
รูปที่ 2.15 โมดูลของระบบออสโมซิสแบบแผ่น.....	29
รูปที่ 2.16 โมดูลของระบบออสโมซิสแบบม้วน.....	30
รูปที่ 2.17 ลักษณะของผิวเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง.....	31
รูปที่ 2.18 โมดูลของระบบออสโมซิสแบบเส้นใยกลวง.....	31
รูปที่ 2.19 ลักษณะการทำงานและการทำความสะอาดเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง.....	32
รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินการวิจัย.....	47
รูปที่ 3.2 ระบบบำบัดน้ำเสียภายในโรงงานไทยโทรเทคซ์ไทม์มิลล์.....	50
รูปที่ 3.3 ชุดทดลองระบบออสโมซิสผันกลับที่ใช้ในการวิจัย.....	51
รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงชุดการทดลองระบบออสโมซิสผันกลับที่ใช้ในการวิจัย.....	52
รูปที่ 4.1 ข้อมูลรายวันพารามิเตอร์ต่างของน้ำเสีย.....	56
รูปที่ 4.2 ผลของความดันต่อค่าอุณหภูมิ.....	62
รูปที่ 4.3 ผลของความดันต่อค่าพีเอช.....	64
รูปที่ 4.5 ผลของความดันต่อค่าสภาพการนำไฟฟ้า.....	66
รูปที่ 4.6 ผลของความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย.....	67

## สารบัญญรูป (ต่อ)

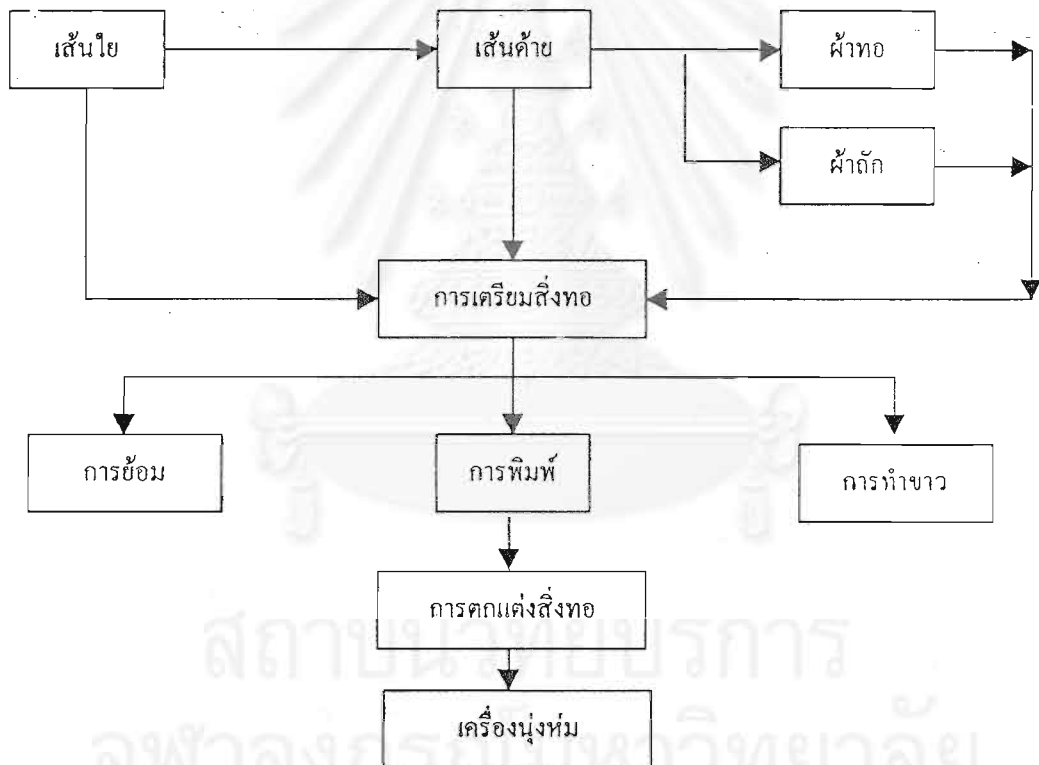
	หน้า
รูปที่ 4.7 ผลของความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น.....	68
รูปที่ 4.8 ผลของความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี.....	69
รูปที่ 4.9 ผลของความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์.....	70
รูปที่ 4.10 ผลของความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดเหล็ก.....	71
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างโครงสร้างสี่เหลี่ยมชนิดต่างๆ.....	72
รูปที่ 4.12 ผลของความดันเข้าระบบต่ออัตราการกรองน้ำ.....	73
รูปที่ 4.13 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่ออุณหภูมิ.....	74
รูปที่ 4.14 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อพีเอช.....	75
รูปที่ 4.15 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าของแข็งละลาย.....	77
รูปที่ 4.16 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อสภาพการนำไฟฟ้า.....	77
รูปที่ 4.17 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าความขุ่น.....	79
รูปที่ 4.18 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าของแข็งแขวนลอย.....	79
รูปที่ 4.19 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าซีโอดี.....	80
รูปที่ 4.20 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าคลอไรด์.....	82
รูปที่ 4.21 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าเหล็ก.....	82
รูปที่ 4.22 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่ออัตราการกรองน้ำ.....	83
รูปที่ 4.23 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่ออุณหภูมิ.....	85
รูปที่ 4.24 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อพีเอช.....	86
รูปที่ 4.25 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อของแข็งละลาย.....	88
รูปที่ 4.26 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อสภาพการนำไฟฟ้า.....	88
รูปที่ 4.27 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อความขุ่น.....	90
รูปที่ 4.28 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อของแข็งแขวนลอย.....	90
รูปที่ 4.29 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อของซีโอดี.....	91
รูปที่ 4.30 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อของคลอไรด์.....	92
รูปที่ 4.31 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อของเหล็ก.....	93

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา

อุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทยจัดเป็นอุตสาหกรรมที่ใหญ่และมีความสำคัญต่อประเทศ มีการจ้างงานนับแสนคน และทำเงินตราเข้าประเทศเป็นมูลค่ามหาศาล กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ตั้งแต่เส้นใยถึงเครื่องนุ่งห่ม ขั้นตอนการผลิตที่สำคัญพอสรุปได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยสังเขป (เกษม, 2541)

โรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมนี้ต่างมีส่วนในการก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหามลพิษทางน้ำ น้ำเสียส่วนที่มีปัญหาที่สุดจากโรงงานสิ่งทอคือ ส่วนที่มาจากกระบวนการฟอกย้อมสีในน้ำเสียจากโรงงานสิ่งทอเกิดจากสีย้อมที่ใช้ไปไม่หมดในกระบวนการย้อมผ้าหรือด้าย ทั้งนี้เป็นลักษณะโดยทั่วไปของกระบวนการย้อมผ้าที่ไม่สามารถใช้



สีข้อมทั้งหมดในน้ำได้ ไม่ว่าจะอย่างไรก็ตาม จำต้องมีสีข้อมเหลืออยู่ในน้ำข้อมเสมอ ซึ่งสีเหล่านี้เมื่อถูกระบายทิ้งออกมาพร้อมกับน้ำเสียของโรงงานก็จะทำให้เกิดการปนเปื้อนกับแหล่งน้ำภายนอกได้

ปัจจุบันมีหลายกระบวนการที่ข้อมรับกันว่าสามารถกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงงานสิ่งทอได้ ได้แก่ การใช้กระบวนการทางฟิสิกส์-เคมี กระบวนการทางชีวภาพ หรือใช้ทั้งสองกระบวนการร่วมกัน เช่น การใช้กระบวนการทางชีวภาพ (กระบวนการแยกทีเวดเต็ดสตัคจ์) แล้วตามด้วยกระบวนการทางเคมี (กระบวนการตกตะกอนทางเคมี การออกซิเดชันด้วยสารเคมี การแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น) โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีแตกต่างกันไปในแต่ละวิธี ขึ้นกับชนิดและปริมาณของสีข้อมที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย อย่างไรก็ตาม แต่ละกระบวนการก็ยังมีข้อจำกัดอยู่ เช่น การกำจัดสีโดยใช้กระบวนการทางฟิสิกส์-เคมี ที่นอกจากจะไม่สามารถใช้กำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้วยังเพิ่มปริมาณสตัคจ์ที่ต้องกำจัดอีกด้วย ส่วนกระบวนการทางชีวภาพก็ยังไม่สามารถลดสีลงได้จนเป็นที่น่าพอใจ โดยเฉพาะน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงหรือมีโครงสร้างสีบางชนิดที่แบคทีเรียไม่สามารถลดสีลงได้ จึงทำให้น้ำเสียมีสีจากโรงงานสิ่งทอบางชนิดยังไม่สามารถถูกบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กระบวนการเมมเบรนจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้น และสามารถกำจัดอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าที่ระบบบำบัดแบบอื่นๆ จะกำจัดได้ เนื่องจากกระบวนการเมมเบรนทำงานภายใต้แรงดันและมีผนัง solid film กั้นอนุภาคต่างๆ ซึ่งโดยปกติจะมีขนาดใหญ่เกินกว่าจะผ่านไปได้ ดังนั้นน้ำไหลที่ผ่านเมมเบรนเนื่องจากผลของแรงดันจะทิ้งสิ่งที่ไม่ต้องการไว้ทำให้ความเข้มข้นสูงขึ้น เมมเบรนมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ผลิต สารที่ต้องการกำจัดออกจากรน้ำและประสิทธิภาพในการกำจัด

สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสิ่งทอด้วยกระบวนการออสโมซิสผันกลับเพื่อเป็นทางเลือกในการกำจัดสีและสารปนเปื้อนต่างๆ ในน้ำเสียจากโรงงานสิ่งทอ และหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการดังกล่าว

## 1.2 วัตถุประสงค์

- (1) ใช้น้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยอาศัยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ (RO)
- (2) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรนในกระบวนการออสโมซิสผันกลับ
- (3) ศึกษาปัจจัยทางด้านราคา และการลงทุนในการนำน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอกลับมาใช้ใหม่ (Recycle)

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

- (1) ใช้น้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบการตกตะกอนด้วยสารเคมี และระบบบ่อบำบัดอากาศแล้ว จากโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอแห่งหนึ่งในเขตจังหวัด นครปฐม
- (2) ชุดการทดลองที่ใช้คือระบบออสโมซิสผันกลับ
- (3) ทดลองที่ความดันในช่วง 250-1,000 psi แล้วเลือกค่าความดันที่เหมาะสมที่สุด เพื่อ ทดลองกับอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นในช่วงร้อยละ 0-75 จากนั้นใช้ค่าความดันและ อัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดมาทดลองที่อัตราการผลิตน้ำใสในช่วงร้อย ละ 5-20
- (4) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน ได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช ของแข็งละลาย สี ค่าการนำไฟฟ้า ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย ซีไอดี ความดันระหว่างการเดินระบบ อัตราการกรองน้ำ ประสิทธิภาพการกำจัด  $Cl^-$  และ  $Fe^{++}$  อัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้น และอัตราการผลิตเพอมีเอท
- (5) วิเคราะห์ปัจจัยทางด้านราคาและการลงทุนจะดำเนินการ เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายในการ บำบัดน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ

## บทที่ 2

### ทบทวนเอกสาร

#### 2.1 กระบวนการเมมเบรน (Membrane Processes)

กระบวนการเมมเบรนหมายถึงกระบวนการต่างๆ ที่อาศัยเยื่อเมมเบรน (semipermeable membrane) ในการแยกสารละลายเมมเบรนออกจากน้ำ หรือของเหลวอื่นๆ ความสามารถในการแยกขึ้นอยู่กับขนาดช่องว่าง (pore size) หรือ molecular weight cutoff (MWCO) ของ เมมเบรน จากตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบวิธีการกรองโดยใช้เมมเบรนชนิดต่างๆ (ศิริมา ปัญญาเมธิกุล, 2538)

กระบวนการเมมเบรนจะแตกต่างจากการกรองแบบติดผิวชั้นกรอง (surface filtration) และการกรองแบบติดค้ำในชั้นกรอง (in-depth filtration) ตรงที่การกรองแบบเมมเบรนจะเกิดปรากฏการณ์ ที่เรียกว่าซีแอล (concentration polarization, CP)

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบวิธีการกรองโดยใช้เมมเบรนชนิดต่างๆ

กระบวนการ	ขนาดรูเมมเบรน	แรงขับเคลื่อน	สารที่สามารถติดค้ำ
UF	10 อังสตรอม-0.1 ไมครอน	10 psi (68 kPa) ถึง 200 psi (1,380 kPa)	สารอินทรีย์น้ำหนักโมเลกุล มากกว่า 1,000 ไวรัล แบคทีเรีย และ คอลลอยด์
RO	5 อังสตรอม-20 อังสตรอม	200 psi (1,380 kPa) ถึง 1,000 psi (6,890 kPa)	ไอออน และสารอินทรีย์ น้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 100
ED	< 10 อังสตรอม	ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.27-0.36 kW/lb salts	สารประกอบที่แตกตัวเป็น ไอออนได้

ที่มา : สุเมธ ชวเดช (2532)

### 2.1.1 เทคโนโลยีเมมเบรน

เทคโนโลยีเมมเบรนที่ถูกใช้เพื่อการบำบัดน้ำดื่ม มีดังนี้ (Frederick W.P., 1996 อ้างโดย อนุรักษ์ เลิศปิติกัทร, 2539)

#### 2.1.1.1 Reverse Osmosis (RO) หรือ hyperfiltration

ทำงานโดยอาศัยการไล่ความดันเข้าไปในสารละลายเข้มข้น ความดันที่ใส่เข้าไปต้องมากกว่าความดันออสโมติกของสารละลายจากผลของความดันนี้ ทำให้น้ำบริสุทธิ์ถูกบังคับให้ไหลผ่านเมมเบรนชนิดที่ยอมให้น้ำโมเลกุลขนาดเล็กผ่านได้ โดยจะทิ้งเกลือและสิ่งปนเปื้อนเอาไว้ หลักการทำงานของออสโมซิสผันกลับ จะตรงกันข้ามกับกระบวนการออสโมซิส โดยใช้ความดันสูงถึง 200-1,000 psi (1,380 - 6,890 kPa) สารต่างๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 100 จะถูกกรองไว้บนแผ่นเมมเบรน การกรองแบบออสโมซิสผันกลับ สามารถประยุกต์ใช้ในการการผลิตน้ำบริสุทธิ์สูง โดยใช้ควบคู่กับ ion exchanger ใช้ในงานแยกโลหะ การทำให้น้ำตาลเข้มข้นสูงขึ้น การทำให้อิออนมีความบริสุทธิ์สูงขึ้น เป็นต้น (สุเมธ ชวเดช, 2532)

#### 2.1.1.2 Electrodialysis (ED)

เป็นกระบวนการกำจัดเกลือใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นแรงขับเคลื่อน โดยที่ไอออนจะถูกกำจัดโดยผ่านกระแสไฟฟ้าตรงเข้าไปสู่เมมเบรนซึ่งมี 2 ชนิด คือ แผ่นบวกและแผ่นลบ ซึ่งจะยอมให้เฉพาะไอออนที่มีประจุไฟฟ้าเหมือนกันไหลผ่าน น้ำจะไหลผ่านเมมเบรนเพียงแต่สัมผัส ซึ่งจะตรงกันข้ามกับออสโมซิสที่จะเคลื่อนที่ตั้งฉากกับเมมเบรน

#### 2.1.1.3 Nanofiltration (NF) หรือ membrane softening

เป็นกระบวนการซึ่งใช้ความดันต่ำมาก โดยจะยอมให้ผ่านได้เฉพาะอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 นาโนเมตรเท่านั้น มีลักษณะการทำงานของทั้ง UF และออสโมซิสผันกลับ รวมอยู่ในตัว โดยทั่วไปเมมเบรนแบบ NF จะกำจัดไอออนชนิดวาเลนซ์คู่ในอัตราสูงกว่าไอออนวาเลนซ์เดี่ยว

#### 2.1.1.4 Ultrafiltration (UF)

เป็นกระบวนการที่อาศัยแรงขับเคลื่อน เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายที่ประกอบด้วย คอลลอยด์ และสารน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยทั่วไปสารที่ไม่มีประจุจะถูกกั้นเอาไว้และไอออนจะสามารถผ่านเมมเบรนไปได้โดยขึ้นอยู่กับ MWCO ของเมมเบรน ค่า MWCO จะบอกให้รู้ว่าสารที่มี น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight, MW) ที่มากกว่าจะถูกกั้นเอาไว้ด้วยเมมเบรน การทำงานของ UF ใช้แผ่นเยื่อที่มีขนาดช่องว่าง (pore size) ประมาณ 10 อังสตรอม ถึง 0.1 ไมครอน ใช้ความดัน สูงถึง 10-200 psig (68-1380 kPa) มักนิยมใช้ในการแยกโปรตีนและใช้ในการผลิตน้ำที่มีความ บริสุทธิ์สูงโดยใช้ควบคู่กับการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นต้น (สุเมธ ชวเดช, 2532)

#### 2.1.1.5 Microfiltration (MF)

เป็นกระบวนการที่อาศัยแรงขับเคลื่อน เพื่อแยกอนุภาคขนาดไมครอนหรือเล็กกว่าไมครอน เมมเบรนแบบ MF สามารถกักอนุภาคแขวนลอยและจุลชีพได้ แต่ยอมให้สารละลาย และน้ำที่ผ่าน กระบวนการตกตะกอนผ่านได้

### 2.1.2 ออสโมซิสผันทกลับ (Reverse Osmosis, RO)

ออสโมซิสผันทกลับเป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อแผ่นสังเคราะห์ในการแยกน้ำออกจากสาร โมเลกุลเล็กที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่เกิน 500 (เช่น เกลือ น้ำตาล) โดยการป้อนสารละลายภายใต้ความ ดันสูงผ่านเยื่อแผ่นที่มีคุณสมบัติเลือกผ่านน้ำ การประยุกต์ใช้ในงานหลักของออสโมซิสผันทกลับ ปัจจุบันเป็นการผลิตน้ำดื่มจากน้ำกร่อยหรือน้ำทะเลและการผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง (ultra pure water)

#### 2.1.2.1 หลักการของออสโมซิสผันทกลับ

ออสโมซิสผันทกลับมีที่มาจากออสโมซิส รูปที่ 2.1 แสดงหลักการของออสโมซิสเทียบกับออสโมซิสผันทกลับ จะเห็นว่าในออสโมซิสสารละลายเข้มข้นและเจือจาง (ซึ่งอาจเป็นน้ำเพียง อย่างเดียว) บรรจุอยู่ในเซลล์ที่มีเยื่อแผ่นที่เลือกผ่านน้ำ เนื่องจากน้ำในด้านสารละลายเจือจางมีศักย ภาพเคมี (chemical potential) สูงกว่าน้ำในด้านสารละลายเจือจางจึงแพร่ผ่านเยื่อแผ่นไปยังด้านสาร ละลายเข้มข้น เมื่อถึงสมดุลศักยภาพเคมีของน้ำทั้งสองด้านของสารละลายเท่ากัน ผลต่างของ ความดันของสารละลายทั้งสองด้าน  $\Delta \pi$  ก็คือผลต่างของความดันออสโมติก (osmotic pressure) ถ้า

มีการให้ความดันทางด้านสารละลายเข้มข้น  $P$  โดย  $P \gg \Delta \pi$  จะทำให้น้ำทางด้านสารละลายเข้มข้นแพร่ผ่านเยื่อแผ่นไปยังด้านสารละลายเจือจาง จะเห็นว่าเป็นการแพร่กลับทิศทาง (เมื่อเทียบกับออสโมซิส) ซึ่งก็คือการเกิดออสโมซิสผันกลับซึ่งจะส่งผลให้สารละลายด้านเข้มข้นยิ่งเข้มข้นขึ้น ดังนั้นในออสโมซิสผันกลับจึงต้องมีการป้อนสารละลายผ่านเยื่อแผ่นที่ความดันสูงกว่าความดัน ออสโมติกมากเพื่อเป็นแรงขับเคลื่อนให้ฟลักซ์ของน้ำผ่านเยื่อแผ่นมีค่าสูง ความดันออสโมติกของสารละลายสามารถคำนวณจากสมการของ Van't Hoff

$$\pi = C_i RT / M_i \quad (2.1)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \pi &= \text{ความดันออสโมติก (psi หรือ kPa)} \\ C_i &= \text{ความเข้มข้นมวลของสารละลาย (kg/m}^3\text{)} \\ R &= \text{ค่าคงที่ก๊าซ (Gas constant)} \\ T &= \text{อุณหภูมิสัมบูรณ์} \\ M_i &= \text{น้ำหนักโมเลกุลของสาร } i \end{aligned}$$

สมการ (2.1) ใช้สำหรับสารละลายเจือจางหรือสารละลายอุดมคติ (ideal solution) เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นค่าจะเบี่ยงเบนไปจากที่คำนวณได้จากสมการ (2.1) และควรคำนวณจากสมการในรูปของ Virial expansion ดังนี้

$$\pi = \frac{RT}{M_i} C_i + BC_i^2 + \dots \quad (2.2)$$

$$B = \text{ค่าคงที่}$$

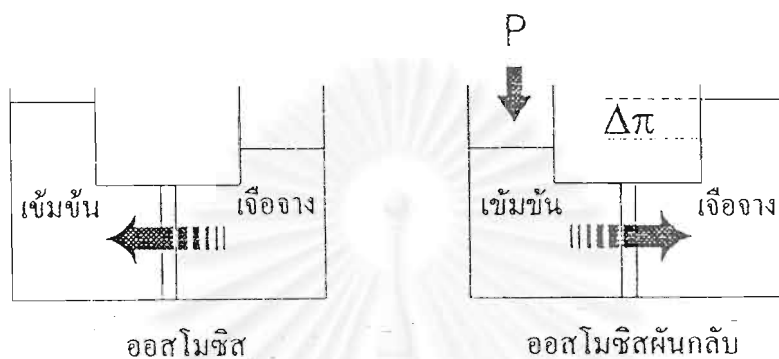
และสำหรับสารโมเลกุลใหญ่ ค่า  $\pi$  ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเป็นฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียล

$$\pi = aC_i^n \quad (2.3)$$

$$a = \text{ค่าคงที่, } n > 1$$

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความดันออสโมติกของสารละลายต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่าความดันออสโมติกของสารโมเลกุลใหญ่มีค่าต่ำกว่าของสารโมเลกุลเล็ก น้ำทะเลที่มีความเข้มข้นของเกลือ (เทียบเป็น NaCl) 3.5 % หรือ 35,000 ppm มีค่า  $\pi = 356$  psi ในการผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเลจึงต้องใช้ความ

ดันสูง 80-100 บรรยากาศ สำหรับสารละลายของตัวถูกละลายโมเลกุลเล็กอื่นๆ ก็จะเห็นว่ายิ่งความเข้มข้นสูงก็ยิ่งต้องใช้ความดันสูง เพื่อเอาชนะความดันออสโมติกซึ่งเป็นข้อจำกัดของออสโมซิสผันกลับ



ที่มา รัชนี (2541)

รูปที่ 2.1 หลักการของออสโมซิสและออสโมซิสผันกลับ

### 2.1.2.2 แบบจำลองการถ่ายเทมวล

ได้มีผู้เสนอแบบจำลองหรือทฤษฎีเพื่ออธิบายกลไกการแยกผ่านเยื่อแผ่นในออสโมซิสผันกลับอยู่หลายแบบจำลองเช่น แบบจำลองการละลาย - การแพร่ (Solution -Diffusion) แบบจำลองการไหลผ่านรูพรุน (Porous Flow) และแบบจำลองอุณหพลศาสตร์ไม่ผันกลับ (Irreversible Thermodynamics) เป็นต้น เนื่องจากเยื่อแผ่นออสโมซิสผันกลับไม่ใช่เยื่อแผ่นรูพรุนแต่เป็นเยื่อแผ่นแบบแน่นที่ไม่สมมาตร หรืออาจเป็นเยื่อแผ่นเชิงประกอบที่ประกอบด้วยชั้นผิวบางบนแผ่นเสริมรูพรุนทำให้แบบจำลองที่อาศัยการไหลผ่านรูพรุนเป็นหลักไม่สามารถอธิบายการถ่ายเทมวลได้ถูกต้อง

ตารางที่ 2.2 ความดันออสโมติก ( $\Psi$ ) ของสารละลายต่างๆ

สารละลาย	ความเข้มข้น	$\Psi$ , psi/kPa
โซเดียมคลอไรด์	0.1% (โดยน้ำหนัก)	12/82.7
โซเดียมคลอไรด์	0.1%	113/778
โซเดียมคลอไรด์	3.5%	398/2742
น้ำกร่อย	1,500 ppm	15/104
น้ำทะเล	3.5% (~35,000 ppm)	356/2453
แมกนีเซียมซัลเฟต	1.0%	36/245
เอทานอล	1.0%	78/537
เอทานอล	5.0%	395/2722
เอทานอล	10.0%	845/5823
เอทิลีนไกลคอล	1.0%	56/386
เอทิลีนไกลคอล	10.0%	640/4410
ซูโครส	1.0%	11/76
ซูโครส	10.0%	119/820
ซูโครส	20.0%	278/1915
โปรตีน (BSA, pH 5.4)	400 kg/m <sup>3</sup>	19/130
โปรตีนในหางนม	400 kg/m <sup>3</sup>	94/650

ที่มา: รัตนา (2541)

## (1) แบบจำลองการละลาย – การแพร่

พัฒนาขึ้นโดย Londale และคณะ (อ้างโดย รัตนา, 2541) ซึ่งอธิบายว่าทั้งตัวถูกละลายและตัวทำละลาย (น้ำ) ต่างก็ละลายเข้าไปในเยื่อแผ่นและแพร่โดยมีผลต่างของความดันคร่อมเยื่อแผ่นเป็นแรงขับเคลื่อน เนื่องจากตัวถูกละลายและน้ำมีความสามารถในการละลายในเยื่อแผ่น (ซึ่งอาจเกิดจาก interaction แบบใดแบบหนึ่ง เช่น การดูดซับ) และแพร่ผ่านเยื่อแผ่นต่างกัน จึงเป็นผลให้เกิดการแยกตัวถูกละลายและน้ำออกจากกัน การที่ตัวถูกละลายถูกกักกันโดยเยื่อแผ่นแสดงว่าตัวถูกละลายละลายในเยื่อแผ่นได้จำกัด สมการสำหรับคำนวณฟลักซ์ของน้ำหรือตัวทำละลาย คือ

$$J_v = L_p(\Delta P - \Delta\Psi) \quad (2.4)$$

เมื่อ  $J_v$  = ฟลักซ์ของตัวทำละลาย (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.s)



$$L_p = \text{สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (permeability coefficient)} \\ (\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$$

$$\Delta P = \text{ผลต่างความดันระหว่างเยื่อแผ่น (Pa)}$$

$$\Delta \pi = \text{ผลต่างความดันออสโมติกระหว่างเยื่อแผ่น (Pa)}$$

$L_p$  เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะของตัวทำละลายและเยื่อแผ่นนั้นๆ สำหรับออสโมซิสผันกลับ  $L_p$  มีค่าประมาณ  $3 \times 10^{-3} - 6 \times 10^{-5} (\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar})$  ส่วนฟลักซ์ของตัวถูกละลาย คือสมการ (2.5)

$$J_s = K_s \Delta C_s \quad (2.5)$$

เมื่อ

$$J_s = \text{ฟลักซ์ของตัวถูกละลาย (mol/m}^2 \cdot \text{s)}$$

$$K_s = \text{สัมประสิทธิ์การซึมผ่านตัวถูกละลาย (m/s)}$$

$$\Delta C_s = \text{ผลต่างความเข้มข้นของตัวถูกละลาย (mol/m}^3)$$

$$= C_R (\text{ความเข้มข้นรีเทนเทท}) - C_p (\text{ความเข้มข้นเพอเมอเทท})$$

$K_s$  เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายและการแพร่ผ่านเยื่อแผ่นของตัวถูกละลาย และจากสมการ (2.4) จะเห็นว่าฟลักซ์ของน้ำเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงกับความดันที่ให้กับสารละลายส่วน  $J_s$  ไม่ขึ้นอยู่กับความดันและฟลักซ์ของน้ำ หรือกล่าวได้ว่าแบบจำลองนี้ไม่ได้พิจารณาการเกิด interaction ระหว่างน้ำกับตัวถูกละลายซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ ส่วนความสามารถในการกักกันตัวถูกละลายหาได้จาก

$$R = 1 - C_p/C_R \quad (2.6)$$

$$R = \text{สัมประสิทธิ์การกักกัน (เศษส่วนหรือเปอร์เซ็นต์) หรือค่าการกักกัน}$$

ดังนั้น จากแบบจำลองการละลาย - การแพร่ จะเห็นว่าเยื่อแผ่นที่มีค่า  $L_p$  สูงจะให้ ฟลักซ์ของตัวทำละลายสูงและถ้า  $K_s \rightarrow 0$  ก็จะทำให้  $J_s$  และ  $C_p$  เท่ากับศูนย์ หรือ  $R=1$  (100%) คือประสิทธิภาพในการแยกที่ดีที่สุด

กลไกการละลาย - การแพร่ นอกจากจะใช้อธิบายผลการทดลองในออสโมซิสผันกลับแล้ว ยังใช้ในการอธิบาย การถ่ายเทมวลในกระบวนการแยกก๊าซ เพอเมปอไรชั่นซึ่งใช้เยื่อแผ่นแบบ แผ่นเช่นเดียวกัน

(2) แบบจำลองอุณหพลศาสตร์ไม่ผันกลับ (Irreversible Thermodynamics model)

การถ่ายเทมวลผ่านเยื่อแผ่นสามารถอธิบายได้ด้วยแนวคิดของอุณหพลศาสตร์แบบไม่ผันกลับ (เพราะไม่ใช่กระบวนการสมดุล) โดยสามารถเขียนสมการของฟลักซ์ของตัวทำละลายและตัวถูกละลายในรูปของ Phenomenological equations ซึ่งระบุว่า การถ่ายเทมวลของแต่ละองค์ประกอบมีผลกระทบซึ่งกันและกัน (เกิด coupling) สมการซึ่งทำให้อยู่รูปแบบง่ายๆ คือ

$$J_v = L_p (\Delta P - b \Delta \pi) \quad (2.7)$$

$$J_s = \bar{C}_s (1-b) J_v + \omega \Delta \pi \quad (2.8)$$

เมื่อ $J_v$ หรือ $J_w =$	ฟลักซ์ของน้ำ ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )
$b =$	สัมประสิทธิ์รีเฟลคชัน (reflection coefficient)
$\omega =$	สภาพการซึมผ่านตัวถูกละลาย (solute permeability) ( $\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$ )
$\bar{C}_s =$	ความเข้มข้นเฉลี่ยของตัวถูกละลาย ( $\text{mol}/\text{m}^3$ ) $= (C_f - C_p) / \ln (C_f / C_p)$

$b$  เป็นค่าที่แสดงการเลือกผ่านของเยื่อแผ่นและมีค่าอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 โดย

- $= 1$  สำหรับเยื่อแผ่นอุดมคติ ตัวถูกละลายไม่สามารถผ่านได้
- $< 1$  ตัวถูกละลายผ่านเยื่อแผ่นได้บางส่วน
- $= 0$  เยื่อแผ่นไม่เลือกผ่าน หรือตัวถูกละลายผ่านได้หมด

ทั้ง  $L_p$ ,  $\omega$  และ  $b$  สามารถหาได้จากการทดลอง ตัวอย่างเช่น เมื่อ  $b = 0$  ทำให้  $b \Delta \pi = 0$  สมการ (2.7) ลดรูปเป็น

$$J_v = L_p \Delta P \quad (2.9)$$

ซึ่งแสดงว่าฟลักซ์ของน้ำแปรผันตรงกับความดัน โดยความชันของกราฟ  $J_v$  VS  $\Delta P$  คือค่า  $L_p$  จากการจัดรูปสมการ (2.8)

$$\frac{J_s}{\Delta C} = \omega + (1-b)J_v \frac{C_s}{\Delta C} \quad (2.10)$$

$\Delta C = C_r - C_p$  เมื่อพล็อต  $J_s/\Delta C$  VS  $J_v \frac{C_s}{\Delta C}$  จะได้จุดตัดแกน y เป็นค่า  $\omega$  และจากความชันได้ค่า  $1 - b$  ผลการทดลองของ Nakao และ Kimura (อ้างโดย รัตนา, 2541) ซึ่งใช้เยื่อแผ่นอัลตราฟิลเตรชัน ที่ค่อนข้างแน่น พบว่าค่า  $b$  เพิ่มขึ้นกับขนาดของโมเลกุล

แบบจำลองอุณหพลศาสตร์ไม่ผันกลับ เมื่อนำมาอธิบายการถ่ายเทมวลในออสโมซิสผันกลับมีการพิจารณาการเกิด coupling แต่ไม่ได้พิจารณากลไกในเยื่อแผ่นและการหาค่าตัวแปรต่างๆ ค่อนข้างซับซ้อนในระบบหลายองค์ประกอบ ดังนั้น แบบจำลองที่สัมพันธ์กับโครงสร้างกับเยื่อแผ่น เช่นแบบจำลองการละลาย - การแพร่ สำหรับเยื่อแผ่นแบบแน่น แบบจำลองการถ่ายเทมวลผ่านเยื่อแผ่นรูพรุน จะอธิบายผลการทดลองได้ดีกว่า

### 2.1.2.3 การเกิด Concentration Polarization (CP) ในออสโมซิสผันกลับ

CP เป็นปรากฏการณ์ที่พบอยู่ทั่วไปในกระบวนการออสโมซิสผันกลับ อัลตราฟิลเตรชัน และไม่โครฟิลเตรชันและกระบวนการเยื่อแผ่นอื่นๆ เมื่อป้อนสารภายใต้ความดันผ่านเยื่อแผ่น ตัวถูกละลายซึ่งไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้จะสะสมอยู่ที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น ทำให้ความเข้มข้นบริเวณนั้นสูงกว่าในสารป้อนหรือใน bulk ซึ่งก็คือการเกิด CP ในชั้นขอบเขตที่มีความหนา  $b$  (ดูรูปที่ 2.2) ที่สภาวะคงตัวตัวถูกละลายถ่ายเทไปยัง - ตัวถูกละลายที่แพร่ = ตัวถูกละลายที่ผ่านเยื่อแผ่นเยื่อแผ่นโดยการพากลับสู่ bulk

$$\text{คือ} \quad J_v C - D \frac{dc}{dx} = J_v C_p \quad (2.11)$$

เมื่อ  $J_v$  = ฟลักซ์ของตัวทำละลาย

$C$  = ความเข้มข้น

$x$  = ระยะทางวัดจากผิวเยื่อแผ่น

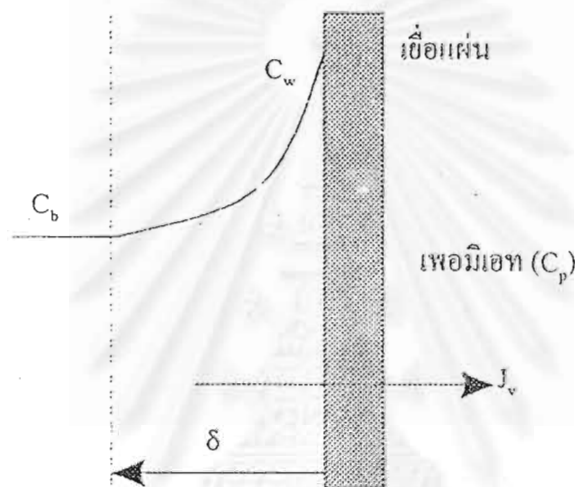
$D$  = สัมประสิทธิ์การแพร่ของตัวถูกละลาย

$C_p$  = ความเข้มข้นในเฟอมีเอท

ใช้สภาวะขอบเขต :  $x=0, C=C_w$  (ความเข้มข้นที่ผิวเยื่อแผ่น)  
 $x=b, C=C_b$  (ความเข้มข้นใน bulk)

จาก (2.11) จะได้ว่า : 
$$J_v = \frac{D}{b} \ln \frac{C_w - C_p}{C_b - C_p} \quad (2.12)$$

$$K = \frac{D}{b} = \text{สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล}$$



ที่มา : รัตนา (2541)

รูปที่ 2.2 การเกิด concentration polarization ในออสโมซิสผันกลับ

ค่าการกักกันตามสมการ (2.6) เป็นค่าปรากฏ (apparent rejection) เพราะในทางปฏิบัติ  $C_p$  และ  $C_r$  (หรือ  $C_b$ ) ได้จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นในสารละลายตัวอย่างใน bulk และในเพอมีเอท แต่จากรูปจะเห็นว่า  $C_w > C_b$  ดังนั้น ค่าการกักกันจริง ( $R_{int}$ , real หรือ intrinsic rejection) สูงกว่าค่าปรากฏโดย

$$R_{int} = 1 - \frac{C_p}{C_w} \quad (2.13)$$

จากสมการ (2.12) 
$$\frac{C_w}{C_b} = \exp \left\{ \frac{J_v}{K} \right\} \quad (2.14)$$

เมื่อ เยื่อแผ่นกักกันตัวถูกละลายได้หมด หรือ  $C_p = 0$

เรียก  $C_w$  ว่า polarization modulus  
 $C_b$

ดังนั้น การเกิด CP ทำให้ฟลักซ์ลดลง แต่ถ้า  $k$  มีค่าสูง (ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการไหลหรือ hydrodynamics ของระบบ) ก็จะช่วยให้ค่าฟลักซ์สูงขึ้น หรือ CP ลดลงในส่วนของการกักกันจะเห็นได้ค่าการกักกันปรากฏสูงกว่าค่าการกักกันจริง เมื่อตัวถูกละลายเป็นสารโมเลกุลเล็ก (เช่น เกลือ, น้ำตาล) อย่างในกรณีของออสโมซิสผันกลับการที่  $C_w$  มีค่าสูงอาจทำให้เกิดอบางชนิดที่มีการละลาย (solubility) จำกัด ตกตะกอน หรือเป็นคราบน้ำมันอยู่เป็นผิวเยื่อแผ่น ซึ่งก็คือการเกิด fouling

#### 2.1.2.4 ผลของตัวแปรที่มีต่อสมรรถนะของออสโมซิสผันกลับ

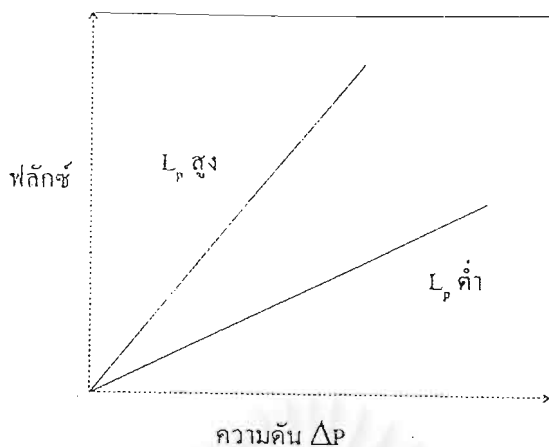
สมรรถนะของกระบวนการออสโมซิสผันกลับสามารถประเมินได้จากค่าฟลักซ์และค่าการกักกันซึ่งถ้าพิจารณาจากสมการ (2.4) และ (2.6) และกลไกการถ่ายเทมวลจะเห็นว่าตัวแปรในการดำเนินการที่มีผลต่อสมรรถนะอยู่หลายตัว ได้แก่ ความดันที่ให้แก่ระบบ ( $\Delta P$ ) อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารละลาย และอัตราการไหลหรือความเร็วที่สารละลายไหลผ่านเยื่อแผ่น นอกจากนี้ pH ก็อาจมีผลต่อฟลักซ์และการกักกันได้เช่นเดียวกัน

##### (1) ความดัน

จากสมการ (2.4) ถ้าสารละลายเป็นน้ำบริสุทธิ์ (ไม่มีตัวถูกละลาย) ค่า  $\Delta\pi = 0$  จากรูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์เส้นตรง (ที่ผ่านจุดกำเนิด) ระหว่างฟลักซ์ ของน้ำที่สภาวะคงตัวกับความดัน ซึ่งความชันคือค่า  $L_p$  ค่า  $L_p$  สูงหรือต่ำจึงขึ้นอยู่กับชนิดของเยื่อแผ่น อาจเขียนสมการ (2.4) เสียใหม่เมื่อ  $\Delta\pi = 0$  ได้ว่า

$$J_w = \frac{\Delta P}{U_w R_m} \quad (2.15)$$

เมื่อ  $U_w =$  ความหนืดของน้ำ (Pa.s)  
 $R_m =$  ความต้านทานของเยื่อแผ่น ( $m^{-1}$ )  
 $= 1/ U_w L_p$

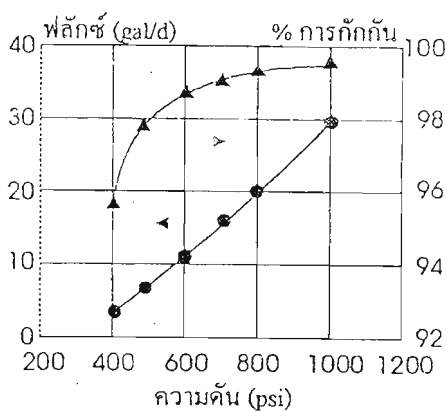


ความดัน  $\Delta p$

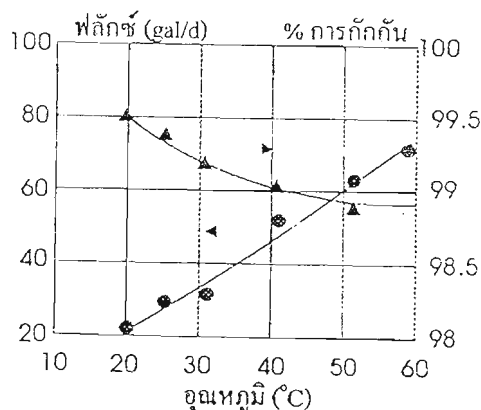
ที่มา : รัตนา (2541)

รูปที่ 2.3 ฟลักซ์ของน้ำสะอาดที่สภาวะคงตัวซึ่งแปรผันตรงกับความดัน

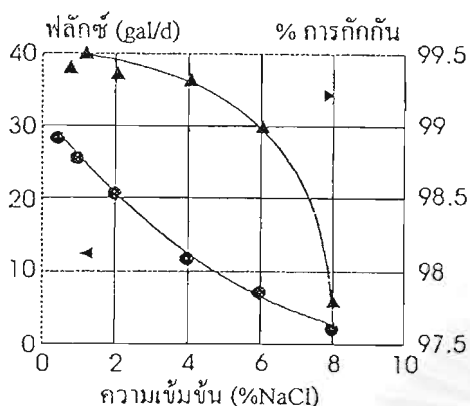
ดังนั้น จึงสามารถคำนวณความต้านทานของเยื่อแผ่นได้จากค่าความชันเช่นกัน เมื่อเป็นสารละลายซึ่งมีค่าความดันออสโมติกค่าหนึ่ง ฟลักซ์มีค่าต่ำกว่าของน้ำบริสุทธิ์ เพราะแรงขับดันลดลง รูปที่ 2.4-2.7 เป็นผลการทดลองซึ่งใช้เยื่อแผ่นเชิงประกอบ FT -30 (ผลิตจากอะโรมาติกโพลีเอไมด์) และน้ำทะเลสังเคราะห์ (ความเข้มข้น NaCl 3.5%) ซึ่งแสดงตัวอย่างผลของตัวแปรต่างๆ รูปที่ 2.4 แสดงผลของความดัน การเพิ่มความดันเป็นการเพิ่มแรงขับดัน ฟลักซ์จึงเพิ่มขึ้น ส่วนการกักกันในกรณีนี้มีค่าเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มคงที่ อธิบายได้ว่ามีการแพร่กลับของตัวถูกละลายไปใน bulk มากขึ้นทำให้ตัวถูกละลายผ่านเยื่อแผ่นได้น้อยลง แต่ในหลายๆ กรณีพบว่าฟลักซ์ กับค่าการกักกันแปรผันในทิศทางตรงกันข้าม คือเมื่อฟลักซ์สูงขึ้นค่าการกักกันลดลง ผลของตัวแปรที่มีต่อค่าการกักกันอธิบายได้ยากกว่าฟลักซ์ เพราะขึ้นอยู่กับ interaction ระหว่างตัวถูกละลายกับเยื่อแผ่น นอกจากนี้การเกิด fouling ยังมีผลต่อค่าการกักกันด้วย



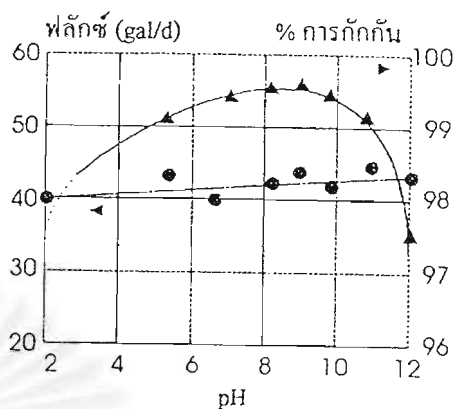
รูปที่ 2.4 ผลของความดันต่อฟลักซ์และการกักกันที่อุณหภูมิ 25°C



รูปที่ 2.5 ผลของอุณหภูมิน้ำป้อนต่อฟลักซ์และการกักกันที่ 25°C ความดัน 1000 psi



รูปที่ 2.6 ผลของความเข้มข้นต่อฟลักซ์ และการกักกันที่ 25°C ความดัน 1000 psi



รูปที่ 2.7 ผลของ pH ต่อ ฟลักซ์และการกักกันที่อุณหภูมิ 25°C ความดัน 500 psi ความเข้มข้น 0.5% NaCl

ที่มา : รัตนา (2541)

## (2) อุณหภูมิ

ฟลักซ์เพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิตามรูปที่ 2.5 ที่อุณหภูมิสูงความหนืดของสารละลายลดลง สัมประสิทธิ์การแพร่เพิ่มขึ้น ทั้งน้ำและตัวถูกละลายผ่านเยื่อแผ่นได้ดีขึ้นค่าการกักกันลดลง โดยเฉลี่ยถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C ฟลักซ์เพิ่มขึ้น 2-3 %

## (3) ความเข้มข้น

การเพิ่มความเข้มข้นของเกลือทำให้ความดันออสโมติกของสารละลายเพิ่มขึ้น ถ้าความดันที่ให้แก่สารละลายป้อนคงที่ (ดังรูปที่ 2.6) ทำให้แรงขับเคลื่อนสุทธิ ( $\Delta P - \Delta \pi$ ) ลดลง ฟลักซ์จึงลดลง และที่ความเข้มข้นสูง โอกาสที่เกลือจะละลาย/แพร่ในเยื่อแผ่นสูงขึ้นทำให้ค่าการกักกันลดลง

## (4) อัตราการไหล

การเพิ่มอัตราการไหล หรือความเร็วที่สารละลายไหลผ่านผิวหน้าเยื่อแผ่นช่วยบดการสะสมของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าเยื่อแผ่น ทำให้เกิด CP น้อยลง หรือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (k)

มีค่าสูงขึ้น เพราะในระบบการถ่ายเทมวลโดยการพาขึ้นอยู่กับตัวเลขเรโนลด์ (Reynolds number) และตัวเลขชมิคท์ (Schmidt number)

### (5) พีเอช (pH/ความเป็นกรดด่าง)

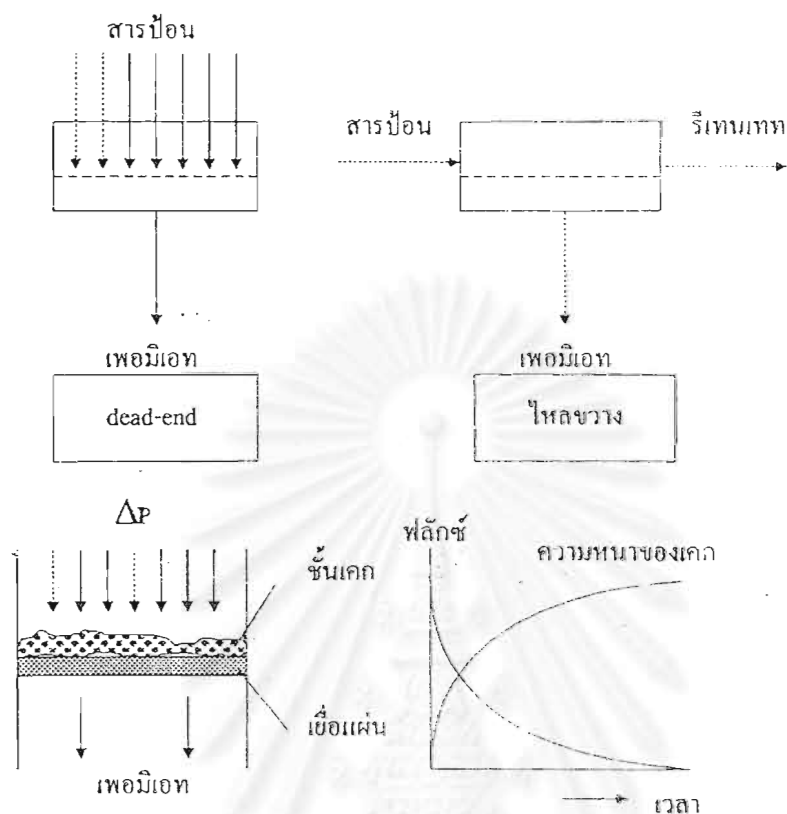
รูปที่ 2.7 แสดงผลของพีเอช/ความเป็นกรดด่างของสารละลาย มีผลต่อการแตกตัวของสารอิเล็กโทรไลต์ เช่น สารละลายเกลือ และสามารถมีผลต่อโพลาริตีของเยื่อแผ่น ตลอดจน interaction ระหว่างตัวถูกละลายกับเยื่อแผ่น ดังนั้น ความเข้าใจคุณสมบัติทางเคมีของตัวถูกละลายและเยื่อแผ่นสำหรับสารละลายเยื่อแผ่นคู่หนึ่งๆ จึงเป็นสิ่งจำเป็น

### 2.1.2.5 การออกแบบระบบ (System design)

การออกแบบระบบในที่นี้ หมายถึง การกำหนดลักษณะการไหลของสารละลายผ่านอุปกรณ์เยื่อแผ่น ตลอดจนการนำหน่วยอุปกรณ์มาต่อกัน หรือจัดเรียงกันเพื่อให้การแยกเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ได้อัตราการผลิตตามต้องการ มีสมรรถนะสูงสุดและประหยัด

เมื่อได้เลือกรูปแบบของอุปกรณ์เยื่อแผ่นที่เหมาะสมกับชนิดของสารละลายแล้ว ต้องพิจารณาการไหลผ่านเยื่อแผ่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ สารป้อนไหลในทิศทางเดียวกับเพอมีอเท (dead end) หรือสารป้อนไหลตั้งฉากกับเพอมีอเท หรือไหลขนานกับผิวเยื่อแผ่น กรณีหลังนี้อาจเรียกว่าไหลขวาง (cross-flow) ตามรูปที่ 2.8 ในระบบ dead end จะมีการสะสมของตัวถูกละลายที่ถูกกักกันบนผิวเยื่อแผ่น อย่างต่อเนื่องทำให้ฟลักซ์ลดลงอย่างรวดเร็ว ยิ่งถ้าตัวถูกละลายมีขนาดใหญ่หรือเป็นอนุภาค ก็จะเกิดการสะสมของเค้ก (cake) ที่มีความหนาเพิ่มขึ้นกับเวลา ปัจจุบันการไหลของสารละลายผ่านเยื่อแผ่นส่วนใหญ่เป็นแบบไหลขวางเพราะแรงเฉือนระหว่างของไหลกับผิวเยื่อแผ่นจึงช่วยลดการเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน (CP) และ fouling





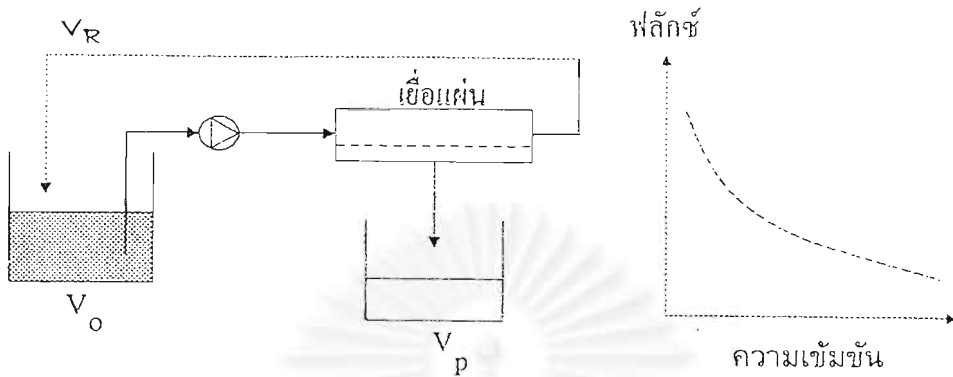
ที่มา : รัตนา (2541)

รูปที่ 2.8 การป้อนสารละลายผ่านเยื่อแผ่นแบบ dead end และแบบ ไหลขวาง

การแยกโดยกระบวนการเยื่อแผ่นสามารถแบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ระบบหลักๆ คือ ระบบกะ (batch) และระบบต่อเนื่อง (continuous)

### (1) ระบบกะ

กรณีที่ต้องการแยกสารละลายปริมาณไม่มาก ระบบกะมีความเหมาะสม เพราะเป็นระบบที่ดำเนินการได้ง่าย แต่จะได้ผลดีก็ขึ้นตามต้องการเมื่อเสร็จสิ้นในแต่ละกะซึ่งอาจใช้เวลานาน ตัวอย่าง ระบบกะแสดงในรูปที่ 2.9 ค่าฟลักซ์ในช่วงเริ่มต้นของระบบมีค่าสูงเพราะมีความเข้มข้นต่ำ เมื่อมีการแยกเพอมีเอทออกความเข้มข้นจะเพิ่มสูงขึ้นเป็นผลให้ฟลักซ์ลดลง



ที่มา: รัตนา (2541)

รูปที่ 2.9 การดำเนินการของระบบกะ

ถ้าปริมาตรเริ่มต้นเป็น  $V_o$  ปริมาตรของเพอมีเอทเท่ากับ  $V_p$  และปริมาตรสุดท้ายของสารละลายเข้มข้นที่ได้เป็น  $V_R$  ปริมาตรจึงลดลง  $V_o/V_R$  เท่า

$$\text{โดย } V_o/V_R = \text{VCR (volume concentration ratio)}$$

และถ้าเชื้อแค้นมีค่าการกักกันตัวถูกละลาย = 100% ความเข้มข้นของสารละลายก็จะเพิ่มขึ้น  $V_o/V_R$  เท่าด้วย

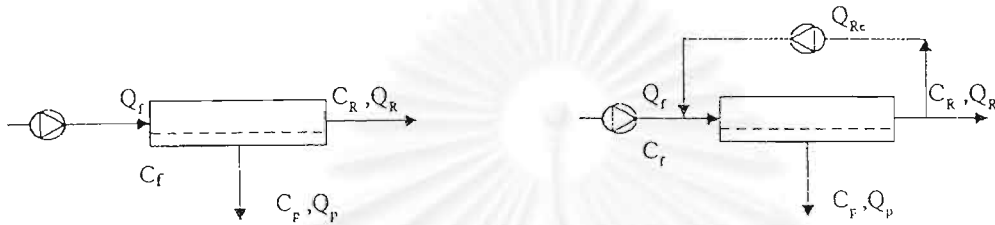
ตัวแปรสำคัญที่ต้องทราบอีกตัวหนึ่งที่ระบุว่าได้มีการแยกเพอมีเอทออกไปเท่าไรจากสารป้อนที่มีอยู่คือ เปอร์เซ็นต์การแยกกลับ (recovery หรือ conversion) สำหรับระบบกะ

$$\% \text{ การแยกกลับ} = \frac{V_p}{V_o} \times 100$$

## (2) ระบบต่อเนื่อง

มีข้อดีที่สามารถผลิตหรือนำบำบัดสารละลายได้อย่างต่อเนื่องและได้อัตราการผลิตสูงเพราะสามารถนำหน่วยอุปกรณ์มาต่อ / จัดเรียงเพื่อขยายขนาดได้ นอกจากนี้ยังเป็นระบบที่ใช้แรงงานต่ำ แต่ต้องมีระบบควบคุมกระบวนการที่เหมาะสม ดังนั้น ระบบในอุตสาหกรรมส่วนมากจึงเป็นระบบ

ต่อเนื่อง รูปที่ 2.10 แสดงการดำเนินการแบบต่อเนื่องที่ใช้หน่วยอุปกรณ์ตัวเดียว โดยรูปที่ 2.10 ก เป็นการไหลผ่านครั้งเดียว (single pass หรือ once through) ซึ่งหมายถึงสารละลายผ่านเยื่อแผ่นออกไปเป็นเพอมีเอทและรีเทนเททโดยไม่มีการวนกลับ ปริมาตรของสารป้อนจึงลดลงกับระยะทางที่สารป้อนไหลผ่าน และมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น รูปที่ 2.10 ข เป็นระบบต่อเนื่องแบบมีการวนกลับ (recirculation) จากทั้ง 2 รูป



ก.) แบบไหลผ่านครั้งเดียว

ข.) แบบมีการวนกลับ

ที่มา : รัตนา (2541)

รูปที่ 2.10 การดำเนินการแบบต่อเนื่องและขั้นตอนเดียว

$Q_p C_p =$  อัตราการไหล และความเข้มข้นของสารละลายป้อน

$Q_p, C_p =$  อัตราการไหล และความเข้มข้นของเพอมีเอท

$Q_r, C_r =$  อัตราการไหล และความเข้มข้นของรีเทนเทท

$Q_{rc} =$  อัตราการไหลของรีเทนเททที่วนกลับมีความเข้มข้น  $C_r$

ในระบบที่มีการวนกลับการปรับ  $Q_r, Q_f$  จะทำให้สามารถได้ VCR ตามต้องการ โดยในระบบต่อเนื่อง

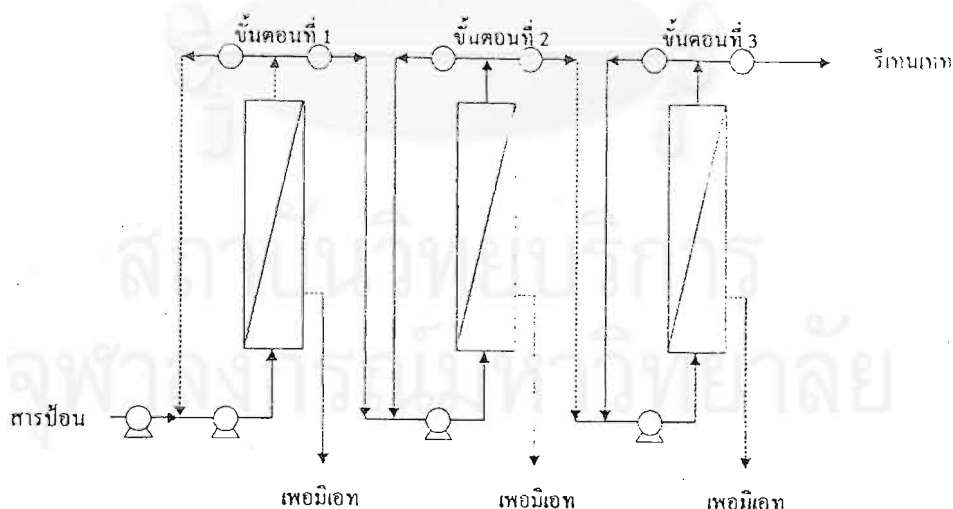
$$VCR = Q_f / Q_r$$

และเมื่อถึงสภาวะคงตัว (steady-state) ระบบก็จะทำงานที่ความเข้มข้นสูงสุดค่าหนึ่ง ค่าฟลักซ์คงที่และเป็นค่าต่ำสุด ดังนั้นเมื่อเทียบกับระบบกะจะใช้พื้นที่เยื่อแผ่นสูงกว่า แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเป็นรีเทนเททหรือเพอมีเอทก็สามารถได้ผลิตภัณฑ์ต่อเนื่อง ส่วนเปอร์เซ็นต์การแยกกลับสำหรับระบบต่อเนื่องคำนวณได้ดังนี้

$$\% \text{ การแยกกลับ} = \frac{Q_p}{Q_f} \times 100$$

การดำเนินการที่เปอร์เซ็นต์การแยกกลับสูงจะทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในระบบเพิ่มสูงขึ้นสิ่งที่ตามมาคือ ความดันออสโมติกของสารละลายเพิ่มแรงขับดัน ( $\Delta P - \Delta \pi$ ) ลดลงทำให้ฟลักซ์ต่ำลง และที่ความเข้มข้นสูงอาจเกิดการตกตะกอนของเกลือบางชนิดบนผิวหน้าเยื่อแผ่นในระบบบำบัดน้ำทะเลการแยกกลับอยู่ระหว่าง 40-60% ส่วนในระบบบำบัดน้ำกร่อยสามารถดำเนินการที่การแยกกลับสูงกว่า คือ 60-80%

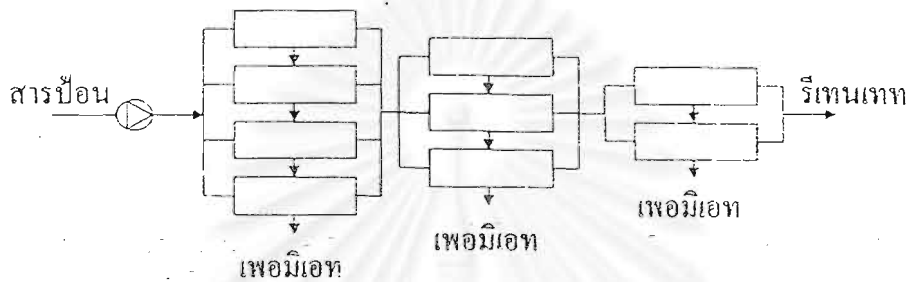
การจัดรูปแบบในระบบต่อเนื่องนิยมทำเป็นแบบหลายขั้นตอน เพราะประหยัดกว่าจากรูปที่ 2.11 แสดงระบบต่อเนื่องที่มีการวนกลับแบบ 3 ขั้นตอน รีเทนเนทจากขั้นตอนแรก เป็นสารละลายป้อนสำหรับขั้นตอนที่ 2 และรีเทนเนทจากขั้นตอนที่ 2 เป็นสารละลายป้อนสำหรับขั้นตอนที่ 3 ตามลำดับ ความเข้มข้นในแต่ละขั้นตอนจึงสูงขึ้นตามลำดับ และฟลักซ์สูงสุดในขั้นตอนแรกสุด ในขั้นตอนสุดท้ายการเพิ่มขั้นตอนจึงทำให้ค่าฟลักซ์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงการใช้พื้นที่เยื่อแผ่นน้อยลงเมื่อเทียบกับระบบต่อเนื่องแบบขั้นตอนเดียว แต่การเพิ่มขั้นตอนทำให้ราคาลงทุนเพิ่มขึ้นเพราะต้องเพิ่มปั๊มและระบบควบคุม ดังนั้นจึงไม่ควรใช้เกิน 3-5 ขั้นตอน



ที่มา : รัตนา (2541)

รูปที่ 2.11 การจัดเรียงหน่วยอุปกรณ์เยื่อแผ่นแบบหลายขั้นตอนแบบมีการวนกลับ

สำหรับระบบหลายชั้นตอนที่เป็นแบบไหลผ่านครั้งเดียวเนื่องจากรีเทนเททที่เป็นสารละลายป้อนมีอัตราการไหลลดลงตามจำนวนชั้นตอนที่เพิ่มขึ้น จึงมีความเหมาะสมที่จะลดพื้นที่เยื่อแผ่นในชั้นตอนต่อไป การจัดแบบนี้แสดงในรูปที่ 2.12 เรียกว่า แบบ tapered cascade.



ที่มา : รัตนา (2541)

รูปที่ 2.12 ระบบต่อเนื่องไหลผ่านครั้งเดียวแบบ tapered cascade

#### 2.1.2.6 การประยุกต์ใช้ออสโมซิสผันกลับ

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ออสโมซิสผันกลับอย่างกว้างขวาง สืบเนื่องมาจากมีพัฒนาเชื่อมต่อแผ่นที่มีสมรรถนะในการแยกดีขึ้น ประกอบกับข้อได้เปรียบของออสโมซิสผันกลับ เมื่อเทียบกับกระบวนการอื่นๆ เช่นเป็นกระบวนการที่สะอาด (ไชยยศ, 2539) สามารถนำทั้งรีเทนเททและเพอมีเอทไปใช้ประโยชน์ และสามารถใช้ร่วมกับกระบวนการแยกอื่นๆ ในลักษณะกระบวนการผสม (hybrid process) ได้

- (1) การแยกเกลือจากน้ำทะเลและน้ำกร่อย (seawater/brackish water desalination)

เพื่อผลิตน้ำจืด/น้ำสะอาดสำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรม มีการนำออสโมซิสผันกลับไปใช้แทนการต้มระเหยแบบสูญญากาศ (multistage flash evaporation - MSF) การกลั่น การอัดไอ (vapor compression) และอิเล็กโตรไดอะไลซิส เป็นต้น โดยการกลั่นเป็นกระบวนการที่เก่าแก่ที่สุด ตามมาด้วยการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange resin) ช่วงประมาณปี 1940 ส่วน อิเล็กโตรไดอะ

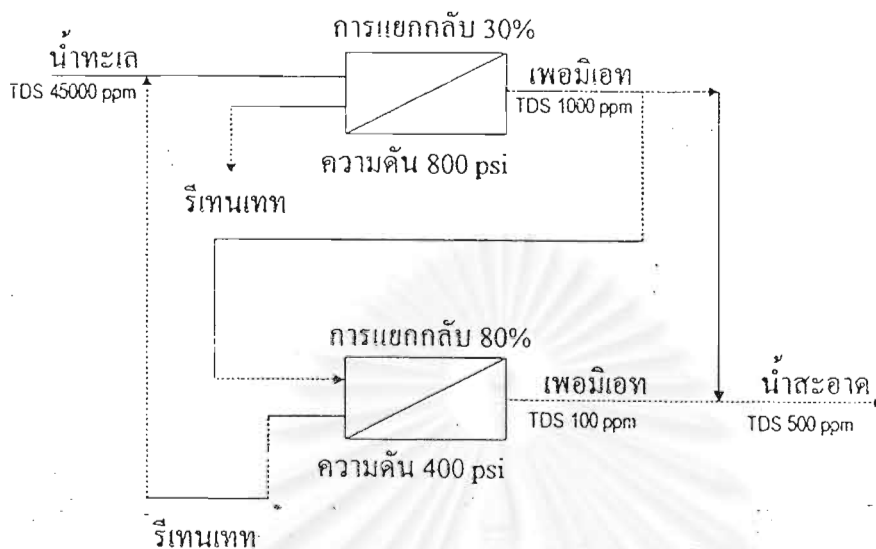
ไลซิสเริ่มพัฒนาประมาณปี 1970 และมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในช่วงหลังปี 1980 ส่วนออสโมซิสผันกลับนั้นมีการใช้งานเชิงการค้าตั้งแต่ช่วงต้นปี 1970 ข้อมูลปี 1987 ระบุว่ามีการใช้ออสโมซิสผันกลับในการผลิตน้ำดื่มประมาณ 23.4 % ของปริมาณน้ำดื่มทั้งหมด ( $11.5 \times 10^9$  m<sup>3</sup>/d) ที่ผลิตโดยวิธีการต่างๆ กันดังกล่าวแล้วข้างต้น และคาดว่าปริมาณการผลิตน้ำดื่มโดยออสโมซิสผันกลับกำลังเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตารางที่ 2.3 เป็นตัวอย่างแหล่งใหญ่ๆ ที่มีการผลิตน้ำดื่มโดยใช้ออสโมซิสผันกลับจะเห็นว่าส่วนใหญ่อยู่ในประเทศซาอุดีอาระเบีย ส่วนแหล่งในประเทศอื่นๆ ก็มีกระจายอยู่ทั่วไป แต่มีกำลังการผลิตต่ำ

ตารางที่ 2.3 แหล่งผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเล และน้ำกร่อย

แหล่ง / สถานที่	กำลังการผลิต m <sup>3</sup> /d (gpd)
<b>น้ำทะเล</b>	
Jeddah	57,000 ( $15 \times 10^6$ )
ซาอุดีอาระเบีย (SA)	
Al - Birk (SA)	2,300 ( $0.6 \times 10^6$ )
Doha (คูเวต)	3,000 ( $0.8 \times 10^6$ )
Jeddah (SA)	12,000 ( $3.2 \times 10^6$ )
Key West (Florida, U.S.A)	11,400 ( $3.0 \times 10^6$ )
<b>น้ำกร่อย</b>	
RA's Abu Jarjur (บาเรนห์)	46,000 ( $12.2 \times 10^6$ )
Manfouha (SA)	27,300 ( $7.2 \times 10^6$ )
Salbukh (SA)	45,000 ( $11.9 \times 10^6$ )
Rjyadh (SA)	4,500 ( $1.2 \times 10^6$ )
Meccah (SA)	15,000 ( $4.0 \times 10^6$ )

ที่มา: รัตนา (2541)

ขั้นตอนการบำบัดน้ำทะเลหรือน้ำกร่อย โดยทั่วไปประกอบด้วยกระบวนการบำบัดเบื้องต้นหลังจากผ่านหน่วยอุปกรณ์ออสโมซิสผันกลับแล้วอาจต้องการบำบัดเพมิเอทเพิ่มเติม เช่น การเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค สำหรับการบำบัดน้ำทะเลของโรงงานขนาดใหญ่ อาจมีขั้นตอนนำพลังงานกลับมาใช้ (energy recovery) ซึ่งหมายถึงการนำรีเทนเททซึ่งยังมีความดันสูงผ่านอุปกรณ์ เช่น เทอไบน์ (turbine) ซึ่งก็จะทำให้มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากขึ้น และถ้าน้ำทะเลมี TDS สูงกว่า 35,000 ppm ควรทำเป็น 2 ขั้นตอนดังรูปที่ 2.13 เพื่อไม่ให้ความเข้มข้นในระบบสูงเกินไป



ที่มา : รัตนา (2541)

รูปที่ 2.13 การบำบัดน้ำทะเลที่ TDS สูงกว่า 35000 ppm แบบ 2 ขั้นตอน.

ขั้นตอนแรกลดความเข้มข้นจาก 45,000 เหลือ 1,000 ppm ในขั้นตอนที่สองเทียบได้กับการบำบัดน้ำกร่อย เพราะน้ำป้อนมี TDS 1,000 ppm

มีรายงานที่เปรียบเทียบราคาการผลิตน้ำสะอาดโดยใช้วิธีต่างๆ กัน (เนตรประภา, 2537) ซึ่งเปรียบเทียบราคาลงทุน ราคาดำเนินงานและการใช้พลังงาน อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่อนข้างหลากหลายและมีพื้นฐานในการคิดต่างกัน ทั้งราคาลงทุนและราคาดำเนินการขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตและสถานะในการดำเนินงาน และตัวแปรเฉพาะของแต่ละนั้นๆ แต่ข้อมูลเหล่านี้มีข้อสรุปที่ตรงกันว่าออสโมซิสผันกลับมีข้อได้เปรียบที่ชัดเจน เรื่องพลังงานที่ใช้ โดยสรุปไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิตน้ำจืดจากน้ำกร่อยและน้ำทะเลที่กำลังการผลิต  
ต่างๆ

น้ำกร่อย TDS 1,500 ppm						
กำลังการผลิต (m <sup>3</sup> /d)	50	100	200	500	2000	3000
พลังงานไฟฟ้า (kWh)	11.4	20.5	32.5	67.7	235	350
น้ำทะเล TDS 35,000 ppm						
กำลังการผลิต (m <sup>3</sup> /d)	50	100	200	500	2000	3000
พลังงานไฟฟ้า (kWh)	39.6	58.3	91.6	187.5	650	968.7

หมายเหตุ : สำหรับกำลังการผลิต 100 m<sup>3</sup>/d

น้ำกร่อย 1 m<sup>3</sup> ใช้พลังงาน 4.8 kWh

น้ำทะเล 1 m<sup>3</sup> ใช้พลังงาน 9.0 – 11.0 kWh (ไม่นำพลังงานกลับมาใช้)

ใช้พลังงาน 6.0 – 8.0 kWh (นำพลังงานกลับมาใช้)

ที่มา : รัตนา (2541)

## (2) การบำบัดน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน

สืบเนื่องจากการใช้สารเคมี เช่น ปุ๋ย ยาฆ่าแมลงในเกษตรกรรมทำให้น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นแหล่งน้ำสำคัญในการผลิตน้ำจืดมีสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์อันตรายเจือปน เชื้อแผ่นออสโมซิสผันกลับหลายชนิดมีค่าการกักกันสารอินทรีย์สูงกว่า 90% แต่ค่าการกักกันสารอินทรีย์ต่ำกว่า 25% ยกเว้นเชื้อแผ่นเชิงประกอบ FT 30 ซึ่งมีค่าการกักกัน TOC (total organic carbon) และ TOH (total organic halogen) สูงถึง 80 – 88%

## (3) การบำบัดน้ำทิ้ง

ออสโมซิสผันกลับสามารถนำไปใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมต่างๆ และจากชุมชนที่ปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่เป็นพิษ ในส่วนของน้ำทิ้งจากชุมชนนั้นมุ่งเน้นการแยกของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TDS) ซึ่งไม่สามารถแยกออกได้ด้วยวิธีปกติที่ใช้อยู่ แต่เชื้อแผ่นออสโมซิสผันกลับยังสามารถแยกสารอินทรีย์ในแคโรต และลด TDS ดังรายงานของ Nusbaum และ Argo (อ้างโดย รัตนา, 2541) ซึ่งกล่าวถึงโรงงานบำบัดน้ำทิ้งชุมชนซึ่งมีปริมาณน้ำทิ้ง 15,000,000 gpd และมีการบำบัดเบื้องต้นก่อน ในส่วนของระบบออสโมซิสผันกลับมีอัตราการผลิตน้ำสะอาด 5,000,000 gpd ใช้เชื้อแผ่นเซลล์โลสอะซิเตดความดันของระบบ 4.1 MPa พบว่า สามารถลดค่า TDS (ซึ่งเดิมอยู่ในช่วง 1100 – 14000 mg/l) โดยมีค่าการกักกันของ TDS และ COD 85 – 88%



และ 89% ตามลำดับน้ำที่ผ่านการบำบัดนำไปผสมกับน้ำใต้ดิน และป้อนรวมกันไปยังแหล่งน้ำใช้ต่าง ๆ

น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมชุบเคลือบโลหะเป็นน้ำทิ้งที่เจือปนด้วยโลหะหนักและก่อปัญหาทางสิ่งแวดล้อม ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องแยกออกและถ้าสามารถนำกลับไปใช้ได้ก็จะช่วยให้กระบวนการมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ยิ่งขึ้น ได้มีการนำกระบวนการออสโมซิสผันกลับไปใช้แทนวิธีบำบัดเดิมที่ใช้อยู่ (ตัวอย่างเช่น การตกตะกอน การใช้เรซิน และการดูดซับ เป็นต้น) และพบว่าสามารถแยก/เพิ่มความเข้มข้นของโลหะหนักโดยมีค่าการกักกันสูงถึง 95 - 97% และเพอมีอเทปเป็นน้ำสะอาดที่สามารถนำกลับไปใช้ได้

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำปริมาณมากเพื่อการล้าง การย้อมสีการฟอกสี และอื่น ๆ และเป็นน้ำทิ้งที่มีอุณหภูมิสูง สิ่งเจือปนในน้ำทิ้งมีอยู่หลายชนิด เช่น เกลือ กรดไขมัน ไขมัน สารลดแรงตึงผิว และสีย้อม (dye stuffs) เป็นต้น ออสโมซิสผันกลับจะช่วยลดปริมาณน้ำทิ้งเพราะน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยออสโมซิสผันกลับสามารถนำกลับไปใช้ได้ แยกกลับคืนองค์ประกอบต่างๆ เช่น สีย้อม และนำพลังงานความร้อนจากน้ำทิ้งกลับไปใช้ การนำออสโมซิสผันกลับเพื่อแยกกลับคืนสีย้อมจากน้ำล้างมีความเป็นไปได้ทางเทคนิคและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

#### (4) การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

การใช้ออสโมซิสผันกลับในอุตสาหกรรมอาหารที่แพร่หลาย คือ ในอุตสาหกรรมนม ซึ่งเริ่มตั้งแต่ช่วงต้นของปี 1970 ซึ่งได้แก่การเพิ่มความเข้มข้นหางนมจากการผลิตชีส (cheese whey) จากปริมาณ 6% ไปเป็น 24% ของแข็งรวมซึ่งนอกจากเพิ่มความเข้มข้นแล้วยังทำให้มีการแยกไอออนประจุเดียว (monovalent ions) ได้ประมาณ 35% โดยมีการสูญเสียแลคโตส (lactose) ประมาณ 4% นอกจากนี้ยังใช้เพิ่มความเข้มข้นของนํานมเพื่อนำไปผลิตชีสหรือ โยเกิร์ต (yoghurt)

การใช้ออสโมซิสผันกลับเพื่อเพิ่มความเข้มข้นน้ำผลไม้มีการศึกษาตั้งแต่ปี 1968 และมาประสบความสำเร็จหลังจากที่มีการพัฒนาเยื่อแผ่น (จากวัสดุที่ไม่ใช่เซลลูโลส) ที่มีคุณสมบัติดีขึ้น ตัวอย่างเช่น การเพิ่มความเข้มข้นน้ำแอปเปิล โดยน้ำผลไม้ต้องผ่านกระบวนการแยกเพคติน (pectin) ก่อนแล้วทำให้ใส (clarification) โดยใช้อัลตราฟิลเตรชัน พบว่าออสโมซิสผันกลับสามารถเพิ่มความเข้มข้นจาก 10 - 12° Brix ไปเป็น 20 - 25° Brix การเพิ่มความเข้มข้นให้สูงกว่านี้มีข้อจำกัดที่ความดันออสโมติกที่สูง ทำให้ฟลักซ์ต่ำและไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องใช้ออสโมซิสผันกลับร่วมกับการต้มระเหยเพื่อผลิตน้ำผลไม้ที่มีความเข้มข้นสูง (60° Brix) นอก

เนื่องจากน้ำแอมเปิล ก็ยังสามารถใช้ออสโมซิสผันกลับกับน้ำผลไม้อื่น เช่น น้ำมะเขือเทศ น้ำส้ม เป็นต้น

### 2.1.3 โพลีเมอร์ที่ใช้ผลิตเมมเบรน

เมมเบรนที่ใช้กับออสโมซิสผันกลับ สามารถถูกสร้างขึ้นมาจาก สารอินทรีย์โพลีเมอร์ได้หลายชนิด เช่น cellulose acetate, polyvinyl chloride, polyacrylonitrile และ polysulfone เป็นต้น คุณสมบัติของโพลีเมอร์บางชนิดที่ใช้ผลิตเมมเบรน แสดงดังตารางที่ 2.5

### 2.1.4 โมดูลชนิดต่าง ๆ ของ ออสโมซิสผันกลับ

โมดูลของ ออสโมซิสผันกลับ มี 4 แบบ (มันสัน คัททูลเวสม์, 2532) ซึ่งข้อแตกต่างของทั้ง 4 แบบ สรุปดังตารางที่ 2.5-2.6 รูปแบบของโมดูลของออสโมซิสผันกลับได้แก่

- (1) แบบท่อ (tubular module)
- (2) แบบแผ่น (plate and frame module)
- (3) แบบม้วน (spiral wound module)
- (4) แบบเส้นใยกลวง (hollow-fiber module)

ตารางที่ 2.5 โพลีเมอร์ที่ใช้ผลิตเมมเบรน

โพลีเมอร์ คุณสมบัติ	Cellulose acetate	Polysulfone	Aromatic Polyamides	Polyacrylonitrile
MWCO	1,000-50,000	5,000-50,000	1,000-50,000	30,000-100,000
pH	3.5-7	0-14	2-12	2-12
อุณหภูมิ (°c)	35	100	80	50
ความทนทานต่อคลอรีน	ดี	ดี	ด้อย	ปานกลาง
ความทนทานต่อสาร ละลาย	ด้อย	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
รูปแบบของเมมเบรน	แผ่น, ท่อ	แผ่น, ท่อ, แคปิลลารี	แผ่น, ท่อ, แคปิลลารี	แผ่น, ท่อ, แคปิลลารี

ที่มา : Strathman, H. (1984)

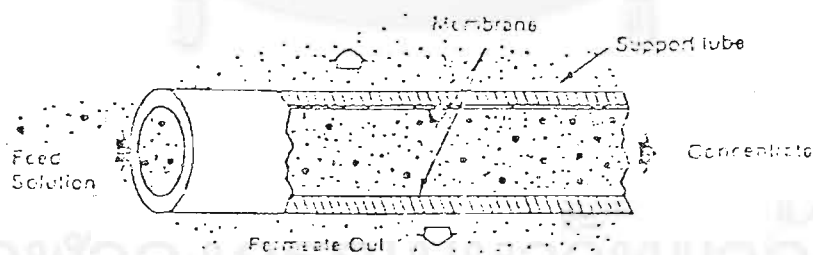
ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติโมดูลชนิดต่างๆ ของระบบ ออสโมซิสผันกลับ

ชนิดของโมดูล	พื้นที่เมมเบรนต่อโมดูล (ม. <sup>2</sup> /ม. <sup>3</sup> )	ค่าใช้จ่ายในการลงทุน	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	การควบคุมอัตราการไหล	ความสะดวกในการทำความสะอาด
Tubular	25-50	สูง	สูง	ดี	ดี
Plate and frame	400-600	สูง	ต่ำ	ปานกลาง	ด้อย
Spiral wound	800-1000	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง
Hollow-fiber	600-1200	ต่ำ	ต่ำ	ดี	ด้อย

ที่มา : Strathman, H (1984)

#### 2.1.4.1 Tubular Module

วิธีนี้เป็นการม้วนแผ่นเมมเบรนให้เป็นหลอดหรือท่อขนาดเล็กและยึดติดไว้ภายในท่ออีกอันหนึ่งที่ทำด้วยสแตนเลส หรือไฟเบอร์กลาส ดังรูปที่ 2.14 และทำหน้าที่เป็นโครงสร้างรองรับแผ่นเมมเบรนมิให้ฉีกขาดในระหว่างการใช้งาน และใช้เส้นทางออกของน้ำสะอาดอีกด้วยน้ำดิบจะถูกสูบลำเข้าไปในท่อด้วยความดันแรงดันของน้ำทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถซึมผ่านเมมเบรนและท่อรองรับออกไปสู่ภายนอก เนื่องจากเทคนิคนี้สามารถทำความสะอาดได้ง่าย จึงนิยมใช้ในกรณีที่มีการอุดตันเกิดขึ้นเร็ว (Applegate, 1984)



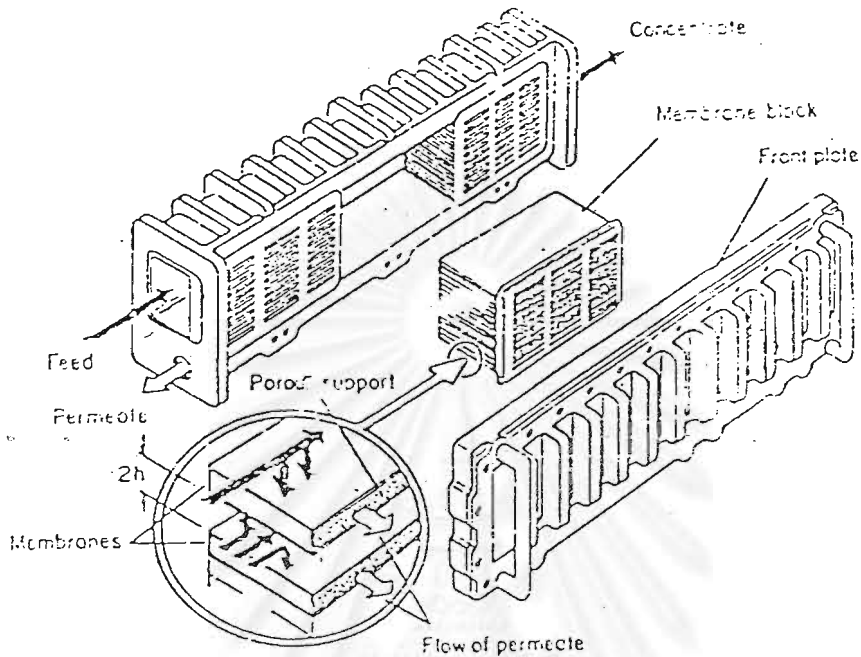
ที่มา : Romicon, Inc. (1983)

รูปที่ 2.14 โมดูลของระบบ ออสโมซิสผันกลับ แบบท่อ

#### 2.1.4.2 Plate and frame module

เทคนิคนี้เป็นการจัดแผ่นเมมเบรนที่ง่ายที่สุด โมดูลที่ใช้จะมีลักษณะทำงานคล้าย filter press ดังรูปที่ 2.15 แผ่นเมมเบรนวางอยู่บนแผ่นรองรับซึ่งมีรูพรุน (porous support) หรือแผ่นรอง

รับที่มีร่องให้น้ำไหลออกได้ เมมเบรนและแผ่นรองรับจะวางซ้อนกัน และสลับกัน น้ำถูกบังคับให้ซึมผ่านเมมเบรน และแผ่นรองรับแล้วจึงไหลออกจากโมดูล

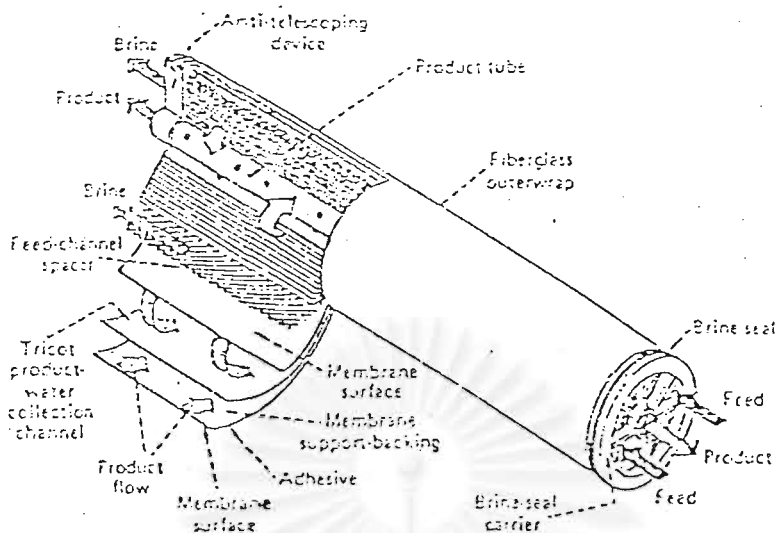


ที่มา : Rautenbach, R., and Albrecht, R. (1989)

รูปที่ 2.15 โมดูลของระบบ ออสโมซิสผันกลับ แบบแผ่น

#### 2.1.4.3 Spiral wound module

โมดูลแบบนี้ประกอบด้วยเมมเบรนสองแผ่นประกบกัน โดยมีแผ่นวัสดุเนื้อพรุนสอดอยู่ตรงกลางระหว่างเมมเบรนทั้งคู่ จากนั้นม้วนแผ่นแบนทั้งสามรอบท่อเจาะรู ดังรูปที่ 2.16 ของแผ่นเมมเบรนทั้งสามด้านถูกอุดไว้ด้วยกาวพิเศษ ขอบที่เหลือปล่อยให้เปิดตามปกติและจึงติดกับท่อเจาะรูลักษณะเช่นนี้ทำให้น้ำถูกบังคับให้ไหลไปยังท่อเจาะรูเสมอ



ที่มา : Applegate, L.E. (1984)

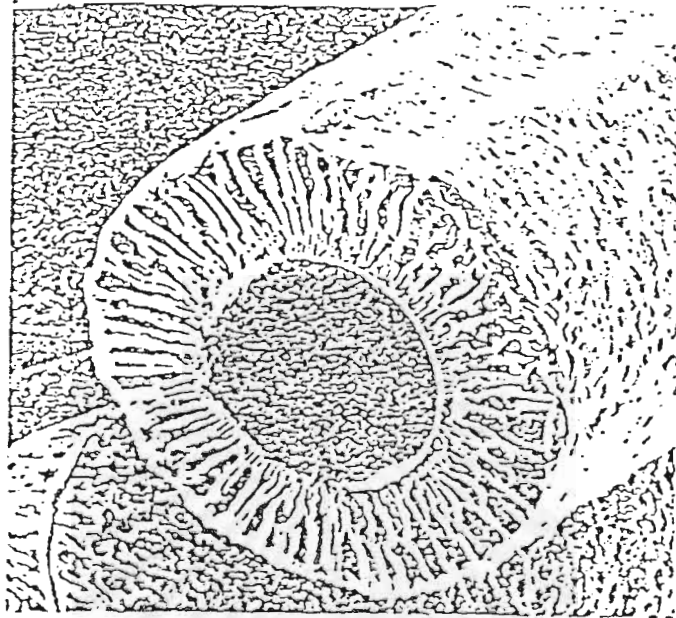
รูปที่ 2.16 โมดูลของระบบ ออสโมซิสผันกลับ แบบม้วน

#### 2.1.4.4 Hollow-fiber module

เมมเบรนแบบเส้นใยกลวงจะมีผิวที่คล้ายฟองน้ำล้อมรอบผิวชั้นใน (ซึ่งมีความหนาเพียง 0.1 ไมครอน) ดังรูปที่ 2.17 (Applegate, 1984)

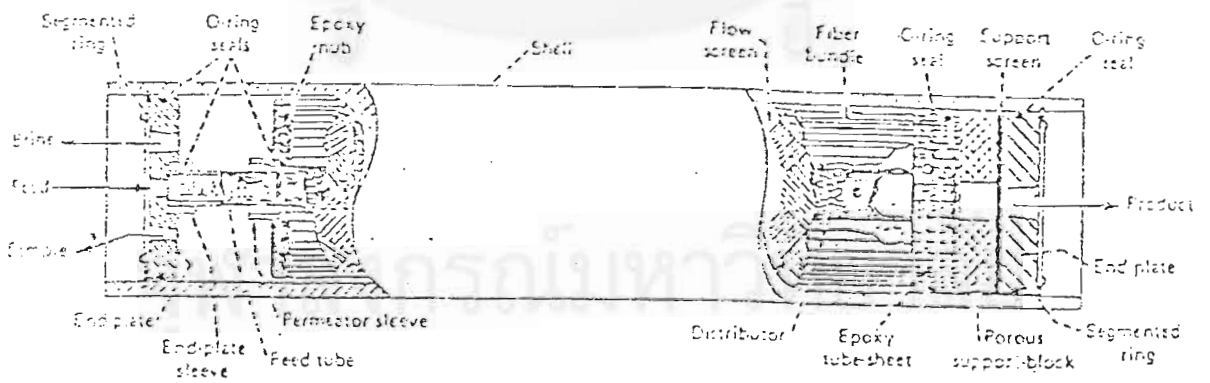
การใช้งานจะนำเส้นใยกลวงเหล่านี้มารวมกันเป็นมัดๆ (bundles) บรรจุในโมดูลรูปทรงกระบอกปลายทั้งสองข้างของเส้นใยทั้งมัดถูกตรึงติดอยู่กับโมดูล ดังรูปที่ 2.18 ลักษณะการทำงานและการทำความสะอาดเมมเบรน แสดงดังรูปที่ 2.19

จากตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบโมดูลชนิดต่างๆ ของ ออสโมซิสผันกลับ พบว่าชนิด Spiral wound จะเสียค่าใช้จ่ายน้อยเมื่อเทียบกับชนิด tubular และ plate and frame การทำความสะอาดและการควบคุมอัตราการไหลก็จะดีกว่าชนิด hollow fiber ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ออสโมซิสผันกลับชนิด Spiral wound



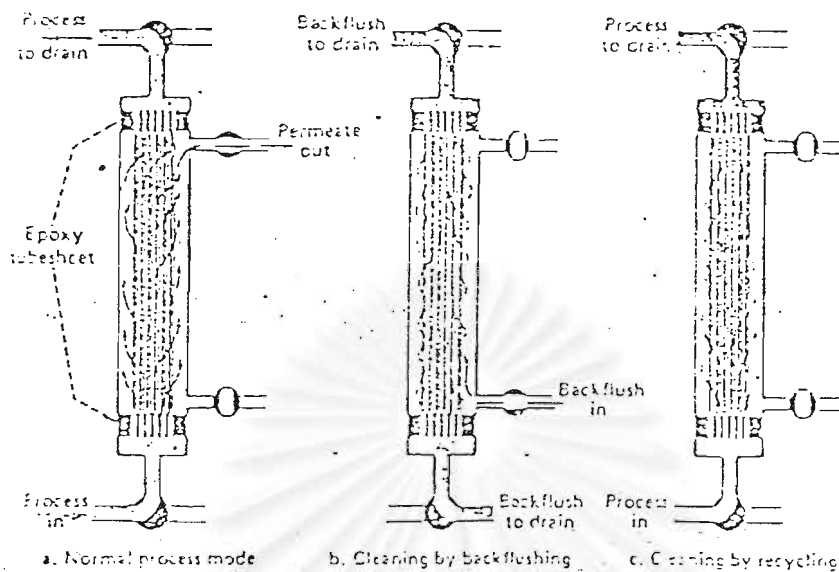
ที่มา : Applegate, L.E. (1984)

รูปที่ 2.17 ลักษณะของผิวเมมเบรนชนิดเส้นใยกลาง



ที่มา : Applegate, L.E. (1984)

รูปที่ 2.18 โมดูลของระบบ ออสโมซิสผันกลับ แบบเส้นใยกลาง



ที่มา : Applegate, L.E. (1984)

รูปที่ 2.19 ลักษณะการทำงานและการทำความสะอาดเมมเบรนชนิดเส้นใยกลาง

### 2.1.5 กลไกการทำงานที่เป็นไปได้ของเมมเบรนในการกำจัดคอลลอยด์

กลไกการทำงานที่เป็นไปได้ของเมมเบรนในการกำจัดคอลลอยด์มีดังนี้

- การติดค้างบนผิวเมมเบรน หรือการแยกขนาด (sieving or size exclusion)
- การดูดติดบนผิวเมมเบรน หรือโครงสร้างภายใน (adsorption to the membrane face or internal structure)
- การกำจัด โดยการเกิดชั้นเค้กชั้นที่ผิวของเมมเบรน (removal by the cake layer formed at the membrane surface)
- การกำจัดโดย membrane foulants ซึ่งไม่สามารถแก้ไขให้คืนสภาพโดยอาศัยแรงดันน้ำ (removal by non-hydraulically reversible membrane foulants)

นอกจากนี้ กลไกการกำจัดยังขึ้นอยู่กับ ลักษณะสมบัติของเมมเบรน (เช่น ขนาดรูพรุนค่าประจุไฟฟ้า) และลักษณะทางเคมีของสารละลายที่จะถูกกรองด้วย

### 2.1.6 ปัจจัยที่มีผลต่อฟลักซ์ของออสโมซิสผันกลับ

อุปสรรคที่สำคัญในการทำงานของเมมเบรนออสโมซิสผันกลับ คือ ปัญหาการอุดตันซึ่งเกิดจากสิ่งสกปรกในน้ำที่ยังไม่ได้ผ่านการบำบัดปัจจัยที่ลดอัตราการไหลของน้ำ (permeate flux) ผ่านเมมเบรนขึ้นกับ Concentration polarization (CP) หรือ gel layer และ Membrane fouling

#### 2.1.6.1 Concentration polarization

การที่อนุภาคสิ่งสกปรกหรือโมเลกุลเคลื่อนที่มาสะสมใกล้ผิวเมมเบรนจนกระทั่งมีความเข้มข้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยของน้ำดิบหลายเท่าลักษณะเช่นนี้ เรียกว่า การเกิด concentration polarization (CP) ฟลักซ์ที่ลดลงเนื่องจากการเกิด CP สามารถแก้ไขให้มีสภาพดั้งเดิมได้โดยใช้การล้างย้อน (backflushing) และการกระแทกเป็นช่วง ๆ (pulsing) ของน้ำ (AWWA, 1992)

#### 2.1.6.2 Membrane fouling (AWWA, 1992)

membrane fouling จะใช้สำหรับอธิบายการสูญเสียสภาพการกรองแบบ irreversible ซึ่งไม่สามารถแก้ไขสภาพให้เหมือนเดิมได้โดยใช้แรงดันของน้ำหรือสารเคมี

Fouling ที่เกิดบนเมมเบรนส่วนใหญ่ เป็นผลมาจากการอุดตันของสารอินทรีย์ในรูปพรุนของเมมเบรน ทำให้ลดอัตราการไหลของน้ำผ่านเมมเบรน และไม่สามารถทำให้กลับมาใช้งานได้เหมือนเดิม หลังจากใช้ออสโมซิสผันกลับไปได้เพียง 5 ชั่วโมง ถึง 12 ชั่วโมง ลักษณะสมบัติของสารอินทรีย์ในน้ำดิบและธรรมชาติของแรงกระทำระหว่างสารละลายอินทรีย์กับเมมเบรนเป็นสิ่งสำคัญที่จะกำหนดประสิทธิภาพของกระบวนการเมมเบรน

### 2.1.7 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ membrane fouling

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ membrane fouling มีดังต่อไปนี้ได้แก่

#### 2.1.7.1 ลักษณะสมบัติของน้ำดิบ



ความเข้มข้น และชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำจะมีผลถึงลักษณะสมบัติของน้ำที่จะผ่านระบบเมมเบรนโดยตรง องค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำจะแตกต่างกันในแต่ละแห่งจากการศึกษาสารอินทรีย์ในน้ำธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับการเกิด fouling ของ เมมเบรนออสโมซิสผันกลับ แบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

- polysaccharide
- polyhydroxy aromatics
- proteins
- amino sugars

โมเลกุลของแต่ละประเภทนี้จะมีผลต่อ fouling ต่างกัน แต่ละตัวจะมีคุณลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างกันขึ้นอยู่กับขนาด และโครงสร้างของโมเลกุลภายใน โมเลกุลขนาดใหญ่ต่างชนิดกันเหล่านี้อยู่ในสารละลายเดียวกันจะก่อให้เกิด fouling มากกว่าเมื่ออยู่แยกกันตัวใดตัวหนึ่ง divalent cation และ pH ที่ต่ำ จะทำให้สารอินทรีย์มีความสามารถในการเกาะมากขึ้นน้ำที่กระด้าง และ pH มีผลต่อลักษณะการเกิด fouling ของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ (dissolved organic carbon, DOC)

pH ที่จุด isoelectric point (จุดที่สารมีประจุไฟฟ้าเท่ากัน) ของตัวถูกละลายใดๆ จะทำให้เกิด flux ต่ำสุด เนื่องจากที่จุดนี้ประจุของตัวถูกละลายจะลดลงทำให้เกิดการรวมตัวใหญ่ขึ้น (agglomeration) ซึ่งจะลดอัตราการแพร่ผ่านผิวของเมมเบรนลง ดังนั้นการใช้วิธีการปรับ pH เพื่อลดตะกอนสารอินทรีย์ก็มีผลต่อการเกิด fouling จากสารอินทรีย์ในน้ำนั้นด้วย

#### 2.1.7.2 วัสดุที่ใช้ทำเมมเบรน

วัสดุที่ใช้ทำเมมเบรน ขนาดของรู และการกระจายขนาดของรูในเมมเบรน มีผลต่อลักษณะ fouling ในระบบออสโมซิสผันกลับ วัสดุที่ใช้ทำเมมเบรนสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ วัสดุที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เมื่อพิจารณาการไหลของน้ำที่มีสารอินทรีย์ธรรมชาติป้อนอยู่ผ่านเมมเบรนก่อนและหลังจากการทำการล้างย้อน (backwash) พบว่าเมมเบรนที่ชอบน้ำจะมีการไหลผ่านมากกว่าเมมเบรนที่ไม่ชอบน้ำเมื่อมี MWCO เท่ากัน คำอธิบายอย่างหนึ่งสำหรับพฤติกรรมนี้ก็คือ เมมเบรนชนิดที่ชอบน้ำจะดูดซับสารอินทรีย์น้อยกว่าเมมเบรนแบบไม่ชอบน้ำด้วยเหตุนี้จึงสามารถกล่าวได้ว่าการเกิด fouling จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ในน้ำและชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเมมเบรน

### 2.1.7.3 การปรับสภาพน้ำ

จุดมุ่งหมายของการปรับสภาพในขั้นตอนนี้ก็เพื่อที่จะลดปริมาณของ irreversible fouling และเพิ่มอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านเมมเบรน ด้วยเหตุนี้สารที่ใช้ปรับสภาพเมมเบรนควรจะเป็นตัวที่ดูดซับได้ดีบนผิวของเมมเบรน และยับยั้งการดูดซับของ foulant และมีผลกระทบต่ออัตราการไหลน้อยที่สุดในอีกแง่หนึ่งการปรับสภาพของน้ำที่จะป้อนเข้าสู่ระบบอาจจะช่วยปรับปรุงการไหลผ่านเมมเบรน การกำจัดสารออกจากเมมเบรนหรือทั้งสองอย่าง

### 2.1.8 เทคโนโลยีเมมเบรนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียเสียย้อมผ้า

อุตสาหกรรมโรงงานทอผ้าในสหรัฐอเมริกา (William A Rearick, 1995) ประสบความสำเร็จในการลดของเสียที่เป็นของแข็งลง 50-75% และสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ 90-100% โดยความร่วมมือกันของโรงงานอุตสาหกรรมทอผ้าทั้ง 12 แห่ง ในการจัดตั้งโรงงานย้อมผ้าและทอผ้าที่สามารถนำสีย้อมที่ใช้แล้ว รวมทั้งสารละลายต่าง ๆ ที่ใช้ในการย้อมมาใช้ในระบบใหม่ และจัดระบบใหม่ที่สามารถประหยัดน้ำและพลังงานได้มากขึ้น

เป้าหมายระยะยาวของอุตสาหกรรมโรงงานทอผ้าคือ สามารถนำน้ำจากกระบวนการสารละลายและสารเคมีอื่น ๆ กลับมาใช้ใหม่ได้ประมาณ 60-80% โดยมีคุณภาพสูง แต่ปัญหาที่มักจะเกิดขึ้นบ่อยๆ สำหรับอุตสาหกรรมโรงงานทอผ้า คือ ความไม่แน่นอนของสารเคมีที่ใช้ในการดำเนินการเนื่องจากโครงสร้างที่ซับซ้อน และการไหลของน้ำเสียไม่คงที่

การดำเนินการเน้นสีย้อมรีแอคทีฟ เนื่องจากว่าสีย้อมชนิดนี้ละลายน้ำได้ดีมาก และยากต่อการกำจัดออกจากน้ำเสีย ในสหรัฐอเมริกาใช้สีย้อมรีแอคทีฟในการย้อมเส้นใยเซลลูโลสประมาณ 40% โดยมีปริมาณของสารละลายเกลือสูงถึง 20-40% ของน้ำเสีย

ปัจจุบันน้ำเสียที่ออกมาจากโรงงานทอผ้าประกอบไปด้วย สี สารละลายเกลือและโลหะต่างๆ ซึ่งสีก่อให้เกิดความน่ารังเกียจ ส่วนสารละลายเกลือ และโลหะ เป็นพิษต่อจุลชีพ

เทคโนโลยีหนึ่งที่น่าสนใจ และคาดว่าจะมีบทบาทในการที่จะลดปริมาณน้ำเสียที่ออกมา คือการกรองด้วยเมมเบรนซึ่งเคยถูกใช้มาแล้วเพื่อทำน้ำทะเลให้เป็นน้ำจืด การทำน้ำผลไม้

และของเหลวอื่นๆ ในอดีตเคยใช้เมมเบรนชนิดอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับนาโนฟิลเตรชันในการบำบัดน้ำเสียซีอีเอ็มรีแอกทีฟ เพื่อนำน้ำและสารละลายเกลือกลับมาใช้ใหม่พบว่าสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 20%

เพื่อให้เทคโนโลยีเมมเบรนและการนำน้ำและสารละลายเกลือมาใช้ใหม่เป็นกระบวนการที่ได้มาตรฐาน สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ

- การกำจัดน้ำเข้มข้น
- การกำจัดสลดจ์
- วิธีลดปริมาณของ membrane fouling
- หาวิธีการใช้สารเคมีที่ช่วยในการข้อมผ้าให้น้อยที่สุด

การกรองด้วยเมมเบรนถูกใช้ในกระบวนการหมุนเวียนในอุตสาหกรรมทอผ้ามานาน เมมเบรน ออสโมซิสผันกลับที่ทำจาก PVA ถูกใช้ในกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่เป็นผลสำเร็จในโรงงานทอผ้าขนาดใหญ่ยาวนานกว่า 20 ปี จนได้รับการรับรองจากมหาวิทยาลัย Clemson และ The American Water Works Association

กระบวนการกรองด้วยเมมเบรนเป็นกระบวนการที่อาศัยขนาดช่องว่าง (pore size) ของเมมเบรนเพื่อแยกขนาดของโมเลกุล เมมเบรนไมโครฟิลเตรชันมีขนาดช่องว่างที่สามารถแยกอนุภาคคอลลอยด์ออกจากสารละลายโพลิเมอร์ เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชันสามารถแยกสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เมมเบรนนาโนฟิลเตรชันยอมให้อนุภาคไอออนวาเลนซ์เดี่ยวไหลผ่านและกรองอนุภาคไอออนวาเลนซ์คู่ไว้ เมมเบรนออสโมซิสผันกลับสามารถกรองอนุภาคไอออนและสารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 100 โดยยอมให้เฉพาะน้ำไหลผ่านได้เท่านั้น

กระบวนการเมมเบรนแตกต่างจากการกรองแบบธรรมดาทั่วไป คือ กระบวนการเมมเบรนเป็นการไหลแบบ cross-flow ผ่านผิวหน้าเมมเบรน สามารถผลิตน้ำที่บริสุทธิ์ได้ยาวนานกว่าการกรองแบบธรรมดา หลังจากการฟื้นคืนสภาพโดยการทำความสะอาดด้วยสารเคมีจะให้เมมเบรนที่มีสภาพการใช้งานใกล้เคียงสภาพของเดิม อายุการใช้งานของเมมเบรนประมาณ 2-5 ปี ขึ้นกับการใช้งาน

## 2.2 สีย้อม (dye)

### 2.2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของสีย้อม

สีย้อมเป็นสารเคมีที่สำคัญสำหรับการฟอกย้อม โดยจะทำหน้าที่ให้สีติดไปกับผ้า หรือด้าย ที่นำมาย้อม โดยคุณสมบัติของสีที่จะติดผ้าชนิดต่างๆ นั้น ต้องติดคงทน ทนต่อแสงแดด น้ำ สบู่ และน้ำยาซักแห้ง ดังนั้น เมื่อสีย้อมส่วนที่ไม่ได้ติดไปกับเนื้อผ้าก็จะปนไปกับน้ำทิ้ง ซึ่งจะกลายเป็นน้ำเสียที่ยากแก่การบำบัด เพราะจะมีโครงสร้างที่ซับซ้อน

การเกิดสีของสีย้อมเกิดจากการเรียงตัวของกลุ่มอะตอมประเภทหนึ่งภายในโมเลกุลของสีย้อม กลุ่มอะตอมนี้เรียกว่า โครโมเจน (chromogen) เป็นตัวรับอิเล็กตรอนและส่วนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการละลายและลักษณะที่เกี่ยวกับการย้อมเรียกว่า ออกโซโครม (auxochromes) เป็นตัวให้อิเล็กตรอน โครโมเจนเป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วย อะโรมาติก ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่ทำให้เกิดสีเรียกว่า โครโมฟอร์ (chromophores)

โครโมฟอร์ทำให้เกิดสีได้โดยการเปลี่ยนแปลงช่วงการดูดกลืนแสงให้อยู่ในช่วงสเปกตรัมที่สามารถมองเห็นได้ ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 7 กลุ่มคือ (Austin, 1984)

- กลุ่มไนโตรโซ (nitroso group)
- กลุ่มไนโตร (nitro group)
- กลุ่มเอโซ (azo group)
- กลุ่มเอทิลีน (ethylene group)
- กลุ่มคาร์บอนิล (carbonyl group)
- กลุ่มคาร์บอนิล-ไนโตรเจน (carbon-nitrogen groups)

สีย้อมมีมากมายหลายชนิดการนำสีย้อมมาใช้ย้อมให้ได้ผลดีขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใยต้องมีมากกว่าอำนาจการรวมตัวของสีกับน้ำ การเกิดสภาวะนี้เมื่อโมเลกุลของสีย้อมมีหมู่อะตอมซึ่งถูกจัดเรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการดูดติด (substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะ (bond) ยึดกันแน่น อิทธิพลที่ทำให้สีดูดติดกับเส้นใยได้ คือ

- ไฮโดรเจนบอนด์ (hydrogen bond)
- แรงวนเดอวัลส์ (Van Der Waal's forces)

- แรงไอออน (ionic forces)
- โคเวเลนต์บอนด์ (covalent bond)

การดูดติดกันระหว่างโมเลกุลของสี่ข้อมกับโมเลกุลของเส้นใยอย่างน้อยจะต้องประกอบไปด้วยแรง 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งก็อาจจะเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกัน แรงดึงดูดทางเคมีที่จะทำให้เกิดการยึดติดได้ดีที่สุด ได้แก่ โคเวเลนต์บอนด์ (covalent bond) นอกจากอิทธิพลของแรงทั้ง 4 แล้ว อิทธิพลของรูปร่างและขนาดของโมเลกุลของสี่ข้อมก็ยังมีผลต่อการยึดติดหรือมีผลกระทบต่อการข้อมอย่างมากด้วย เช่น ถ้าโมเลกุลของสี่ข้อมยิ่งเล็กและยาวเท่าไรก็จะผ่านช่องว่างเข้าไปในเส้นใยได้ มากขึ้นเท่านั้นทำให้การติดสี่ข้อมขึ้น หรือถ้าโมเลกุลของสี่ข้อมมีลักษณะแบนและมีความกว้าง ความยาวมากๆ จะทำให้เกิดการติดสี่ข้อมมีความทนสูงมากขึ้น

สรุปได้ว่า การที่โมเลกุลของสี่ข้อมยึดเกาะกับโมเลกุลของเส้นใยเป็นผลเนื่องจากแรงทางเคมีและฟิสิกส์โดยมีสารบางอย่างเข้าช่วยเหลือ เพื่อที่จะทำให้โมเลกุลของสี่ข้อมและโมเลกุลของเส้นใยเกิดปฏิกริยาระหว่างกันได้ดีขึ้นซึ่งเรียกว่า สารช่วยข้อม

### 2.2.2 สารช่วยข้อม

สารช่วยข้อม คือสารเคมีที่ใส่ลงไปในกระบวนการข้อมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดติดสี่ข้อมมากขึ้นทำให้สี่ข้อมที่ติดเส้นใยมีความคงทนและสม่ำเสมอ สารช่วยข้อมแบ่งออกเป็น 7 ประเภทคือ

- ก. กรด ใช้สำหรับข้อมเส้นใยโปรตีนและไนลอน เมื่อใช้สี่ข้อมแอซิด
- ข. ค่าง ใช้ข้อมเส้นใยเซลลูโลสด้วยสี่ข้อมอะโซอิก สี่ข้อมแวกซ์ และสี่ข้อมกำมะถัน
- ค. เกลือ ใช้ในการข้อมด้วยสี่ข้อมแอซิด และการข้อมเส้นใยเซลลูโลสทุกชนิด
- ง. สารช่วยให้สี่ข้อมสม่ำเสมอ ใช้กับสี่แวกซ์ ดิสเพอร์สและสี่ข้อมแอซิดบางชนิด
- จ. สารนำ (carrier) ใช้เมื่อข้อมขนสัตว์และใยสังเคราะห์บางชนิด
- ฉ. สารละลายอินทรีย์ ใช้เมื่อข้อมขนสัตว์และใยสังเคราะห์บางชนิด
- ญ. สารรีดิวซ์ ใช้สำหรับรีดิวซ์ตัวสี่ข้อมบางชนิดเพื่อประโยชน์ในการดูดซึมเข้าไปในเส้นใย

สารช่วยข้อมแต่ละประเภทนี้ยังแบ่งออกเป็นสารเคมีชนิดต่างๆ มากมาย ดังนั้น สี่ข้อมแต่ละชนิดข้อมมีสารช่วยข้อมแตกต่างกันไป เป็นผลทำให้น้ำเสียจากกระบวนการข้อมแตกต่างกันไปด้วย (นวลละออ เนียมสะอิ่ง, 2526 อ้างโดย นริชญา, 2541)

### 2.2.3 การจำแนกสีย้อม

สีย้อมที่ใช้ในโรงงานทอผ้ามีมากมายหลายชนิดตามชนิดของเส้นใยหรือผ้าที่จะนำไปย้อม สีย้อมอาจจำแนกออกได้หลายประเภทตามลักษณะทางกายภาพ โดยแบ่งออกเป็นสารสีที่ละลายน้ำได้และสารสีที่ไม่ละลายน้ำหรือจำแนกตามส่วนประกอบทางเคมี ซึ่งวิธีนี้ยุ่งยากเพราะต้องอาศัยความรู้ทางด้านเคมีและสูตรโครงสร้างของสีย้อม วิธีจำแนกสีย้อมที่ได้รับความนิยมและเข้าใจง่าย ได้แก่ การจำแนกสีย้อมตามการนำไปใช้งาน ซึ่งแบ่งสีย้อมทั้งหมดออกเป็น 11 ประเภท (วุฒิวินิจฉัย, 2539 อ้างโดย นริษญา, 2541) ด้วยกันคือ

- ก. สีย้อมดิสเพอร์ส (disperse dyes)
- ข. สีย้อมแอซิก (acid dyes)
- ค. สีย้อมอะโซอิก (azoic dyes)
- ง. สีย้อมเบสิก (basic dyes)
- จ. สีย้อมไดเรกต์ (direct dyes)
- ฉ. สีย้อมมอดานต์ (modant dyes)
- ช. สีย้อมซัลเฟอร์ (sulfur dyes)
- ซ. สีย้อมเว็ด (vat dyes)
- ณ. สีย้อมรีแอคทีฟ (reactive dyes)
- ญ. สีย้อมโลหะ (metallic dyes)
- ฎ. สีย้อมโอเนียม (onium dyes)

### 2.2.4 ชนิดของสีย้อมที่สำคัญ

#### 2.2.4.1 สีย้อมรีแอคทีฟ

สีย้อมรีแอคทีฟเป็นสีย้อมที่นิยม โดยเริ่มมีการใช้ตั้งแต่ปี 1950 ใช้ย้อมกับเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด ละลายน้ำได้ดีมีคุณสมบัติเป็นแอนไอออน เมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่  $\text{OH}^-$  ในเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันโดยโควาเลนต์บอนด์ เพื่อสร้างเป็น cross linked compound กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สมบัติการละลายและดูดติดเส้นใยของตัวสีจะทำให้ตัวสีเข้าไปอยู่ภายในเส้นใยได้ โดยสีย้อมรีแอคทีฟประกอบด้วยโครงสร้างพื้นฐาน 2 ส่วนคือ

- สารที่ทำให้เกิดสี (colouring substance) หรือกลุ่มของสารเคมีที่ทำให้เกิดสี (chromophore)
- ส่วนประกอบของไฮดรอกซิล หรือ อะมิโนในโมเลกุลของสี (reactive component)

#### 2.2.4.2 สีย้อมไคเร็กซ์

สีย้อมไคเร็กซ์ หรือสีย้อมโดยตรง ที่ได้ชื่อแบบนี้เพราะสามารถใช้ย้อมพวกฝ้าย หรือเส้นใยพวกเซลลูโลสได้ โดยลักษณะของสีย้อมนี้คือจะละลายน้ำได้แม้จะอยู่ในเส้นใยก็ตาม จึงทำให้สีจางลงได้ง่ายเมื่อผ่านการฟอกหรือซักแห้ง

#### 2.2.4.3 สีย้อมแควีต

สีย้อมแควีต ปกติจะไม่ละลายน้ำดังนั้นต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ก่อนจึงจะย้อมได้ และทำให้กลายเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำ และทำปฏิกิริยาออกซิเดชันบนเส้นใย สีย้อมประเภทนี้ใช้ย้อมเส้นใยพวกเซลลูโลสโดยเฉพาะฝ้าย ส่วนประกอบทางเคมีของสีย้อมประเภทนี้แบ่งเป็น 2 หมู่ ได้แก่ พวกอินดิโก (indigo) และพวกแอนทราควิโนน (antraquinone)

#### 2.2.4.4 สีย้อมซัลเฟอร์

สีย้อมซัลเฟอร์เป็นสีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด ละลายน้ำได้ดีมากเมื่ออยู่บนสภาวะที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันโดยโควาลนต์

#### 2.2.4.5 สีย้อมอะโซอิก

สีย้อมประเภทนี้นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส ตัวสีเป็นสารประกอบอะโซ สีย้อมอะโซอิกเป็นสีย้อมที่เกิดขึ้นในเส้นใยด้วยตัวเอง โดยปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่าปฏิกิริยาควบปลิง (coupling reaction)

#### 2.2.4.6 สีย้อมแอซิด

สีย้อมประเภทนี้นิยมใช้ย้อมเส้นใยพวกโปรตีน ขนสัตว์ ในสภาวะที่เป็นกรดเจือจาง อาจย้อมพวกฝ้ายได้เล็กน้อย มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบของกรดกำมะถัน กลุ่มเอโซ (azo) และแอนทราควิโนน (antraquinone)

#### 2.2.4.7 สีย้อมเบสิก

เป็นสารอินทรีย์ที่มีประจุบวกของเกลือแอมโมเนียม หรือออกโซเนียมใช้ย้อมขนสัตว์และเส้นใยชนิดอื่นๆที่เตรียมให้มีประจุลบในสภาวะเป็นกรด มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี สรุปลักษณะของสีย้อมจำแนกตามลักษณะการใช้งาน ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ชนิดของสีย้อมจำแนกตามลักษณะการใช้งาน

ประเภทสีย้อม	สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	เส้นใยที่เหมาะสมกับสีย้อม	พันธะหรือกลไกการติดสี	วิธีใช้ทั่วไป
สีย้อมแอซิด (acid dyes)	- กระจุก - ละลายน้ำดี - สีติดไม่แน่น	- ไนลอน - ขนสัตว์	พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มี pH 3-5 - เส้นใยซึ่งสมมติว่ามีประจุบวกติดกับสีย้อมที่มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50-110 °C
สีย้อมไดเรกต์ (direct dyes)	- กระจุก - ละลายน้ำดี - สีติดไม่แน่น	- ฝ้าย - วิสกอส	พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายค่างอ่อน - เดิมทีโคโรไลต์ โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต และสีย้อมที่อุณหภูมิ 98 °C
สีย้อมเบสิก (basic or cationic dyes)	- กระจุก - ละลายน้ำดี	- อะคริลิก	พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มี pH 4-6 - เดิมสีย้อมแล้วเพิ่มอุณหภูมิให้ได้ 100-105 °C



ตารางที่ 2.7 ชนิดของสีย้อมจำแนกตามลักษณะการใช้งาน (ต่อ)

ประเภทสีย้อม	สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	เส้นใยที่เหมาะสมกับสีย้อม	พันธะหรือกลไกการติดสี	วิธีใช้ทั่วไป
สีย้อมรีแอคทีฟ (reactive dyes)	- กระจุลบ - ละลายน้ำดี - สีติดแน่นดี	- ฝ้าย - วิสกอส - ขนสัตว์	พันธะโควาเลนต์	- แช่เส้นใยในสารละลายกรด - เคมีเกลือเพื่อกระจายสีสู่เส้นใย - เคมีต่างเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยกับสีย้อม
สีย้อมเมทัลคอมเพล็กซ์แอซิด (metal complex acid dyes)	- กระจุลบ - ละลายน้ำน้อย - สีติดแน่นดี	- ไนลอน - ขนสัตว์	พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มี pH 5-7 - เส้นใยซึ่งสมมติว่ามีประจุบวกติดกับสีย้อมที่มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50-110 °C
สีย้อมดีสเพอร์ส (disperse dyes)	- ละลายน้ำได้น้อยมาก - กระจายอยู่ในน้ำเป็นอนุภาคคอลลอยด์ - สีติดแน่นดี	- อะคริลิก - โพลีเอสเตอร์ - ไนลอน - เซลลูโลส - อะซิเตล	คอลลอยด์ของสีย้อมดูดติดผิวกับเส้นใย	- แช่เส้นใยในสารละลายที่มี pH 4-5 - เคมีสีย้อมแล้วเพิ่มอุณหภูมิให้เป็น 103 °C
สีย้อมซัลเฟอร์ (sulter dyes)	- เป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิสกอส	ปฏิกิริยาคกตะกอนผลึกภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลายต่างที่มีโซเดียมซัลเฟอร์ - สีย้อมจะแพร่กระจายไปสู่เส้นใยด้วย อิเล็กโตรไลต์
สีย้อมเว็ด (vat dyes)	- เป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิสกอส	ปฏิกิริยาคกตะกอนผลึกภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลายต่างที่มีโซเดียมซัลเฟอร์ - สีย้อมจะแพร่กระจายไปสู่เส้นใยด้วยอิเล็กโตรไลต์

ตารางที่ 2.7 ชนิดของสีย้อมจำแนกตามลักษณะการใช้งาน (ต่อ)

ประเภทสีย้อม	สมบัติทางกายภาพ และทางเคมี	เส้นใยที่เหมาะสม กับสีย้อม	พันธะหรือกลไก การติดสี	วิธีใช้ทั่วไป
สีย้อมอะโซอิก (azoic dyes)	- เป็นคอลลอยด์ หลังจากเกิด ปฏิกิริยาในน้ำ - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิสกอส	ปฏิกิริยาคก ตะกอนผลึกภายใน เส้นใย	- ละลายสีย้อมในสาร ละลายต่างที่มีโซเดียมซัล เฟอรัส - สีย้อมจะแพร่กระจายไปสู่ เส้นใย ด้วยอิเล็กโตรไลต์ - ต้มเพื่อให้เกิดตะกอนผลึก
สีย้อมมอร์แดนต์ หรือโครม mordant or chrome dyes)	- ประจุลบ - ละลายน้ำได้ - สีติดแน่น	- ขนสัตว์	พันธะเชิงซ้อน ของเส้นใยโครม และสีย้อม	- แช่เส้นใยในสารละลาย กรด - เดิมโซเดียมไดโครเมต และสีย้อม - เพิ่มอุณหภูมิถึง 98 °C

ที่มา : Buckley, 1992

### 2.3 งานวิจัยที่ผ่านมา

Ghosh และคณะ (1978) กล่าวว่า การกำจัดน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าเกี่ยวข้องกับสารอินทรีย์ และสี โดยทั่วไปวิธีการกำจัดสีและสารอินทรีย์จะสามารถทำได้โดยการใช้ระบบทางชีววิทยาควบคู่กับระบบฟิสิกส์-เคมี แม้ว่าระบบกำจัดทางชีววิทยาจะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ดีแต่ไม่สามารถกำจัดสีได้เป็นที่น่าพอใจ วิธีการดูดซับด้วยถ่าน (carbon adsorption) หรือตามด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยเคมี (chemical coagulation) เป็นวิธีที่สามารถกำจัดสีจากน้ำเสียได้ การรวมกระบวนการทางชีววิทยาและการดูดซับทางเคมี (chemical adsorption) สามารถกำจัดสารอินทรีย์ และสีของน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าได้

Porter ศาสตราจารย์ทางเคมี และ Snider ผู้ช่วยทางเคมี แห่งมหาวิทยาลัยคลิมสัน (1976) ได้กล่าวถึงระบบบำบัดทางชีววิทยาว่า สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียของโรงงานทอผ้าเท่านั้น แต่ไม่สามารถกำจัดสารบางชนิดและสีออกไปได้ โดยได้ทดลองใช้ระบบชีววิทยากำจัด ทีโรซีน (kerosene) ซึ่งเป็นสารประกอบ ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon solvent) ที่ใช้ในกรรมวิธีทอผ้าพบว่า ทีโรซีน ถูกกำจัดได้เพียง 15% ในขณะที่กระบวนการทางฟิสิกส์ซึ่งได้แก่ การระเหยกลายเป็นไอ (evaporation) สามารถกำจัดได้ถึง 90% สำหรับสีย้อมได้ทดลองเฉพาะสี คิสเพอร์สสีแฉด และสีรีแอคทีฟบางชนิด พบว่าสีคิสเพอร์สและสีแฉดเป็นพวกพิกเมนต์ (pigment) ไม่ละลายน้ำ

ความเข้มข้นของสีข้อมลลดลงได้เองประมาณ 15% หลังจากทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 30 วัน สำหรับระบบชีววิทยานั้นไม่สามารถกำจัดสีทั้ง 3 ประเภทนี้ได้

ศิริมา ปัญญาเมธีกุล ( 2538 ) ได้ทดลองใช้ hollow-fiber UF เพื่อกำจัดโคลิฟาจออกจากน้ำ โดยใช้เมมเบรนขนาด 0.1 และ 0.03 ไมครอน จากผลการทดลองพบว่าสามารถกำจัดโคลิฟาจได้ 4-6 ล็อก สำหรับเมมเบรนขนาด 0.1 ไมครอน และ 6-7.3 ล็อก สำหรับเมมเบรนขนาด 0.03 ไมครอน

Buckley (1992) ได้นำเทคโนโลยีเมมเบรนมาบำบัดน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้า แยกทดลองแต่ละชนิดของเมมเบรน พบว่า

- เมมเบรนชนิดไมโครฟิลเตรชันทดลองกับน้ำเสียจากโรงงานทอผ้าชนิดเส้นใยโพลีเอสเตอร์ พีเอช 5.5-6 ด้วยอัตราการกรองต่อพื้นที่ 50 ลิตร/ตารางเมตร-ชั่วโมง ความดัน 400 kPa สามารถกำจัดสีข้อมลิสเพอร์สได้ และน้ำมีความขุ่นต่ำ แต่น้ำที่ผ่านการบำบัดยังมองเห็นสีอยู่บางส่วน และสามารถกำจัดสีข้อมลซัลเฟอร์ สีข้อมลเว็ด และสีข้อมลอะโซอิดได้

- เมมเบรนชนิดออสโมซิสผันกลับ ทดลองกับน้ำเสียโรงงานทอผ้าฝ้าย ใช้ความดันในการกรอง 2.7-3.1 Mpa สำหรับสแดงแรก สามารถกำจัดของแข็งทั้งหมด (total solids) sodium ions และสภาพนำไฟฟ้า ได้มากกว่า 96% กำจัดสีได้ 90% และกำจัดคาร์บอนทั้งหมด (total carbon) ได้ 87% น้ำเข้มข้นจากสแดงที่หนึ่งจะป้อนเข้าสู่สแดงที่สอง ความดันที่ใช้สำหรับสแดงที่สอง คือ 5.3-5.8 Mpa สามารถกำจัดของแข็งทั้งหมด (total solids) sodium ions และ สภาพนำไฟฟ้า ได้มากกว่า 98% กำจัดสีได้ 94% และพบข้อเสียของการใช้เมมเบรนชนิดออสโมซิสผันกลับคือ ไม่สามารถบำบัดน้ำเสียที่เป็นคอลลอยด์ เนื่องจากจะทำให้เมมเบรนเกิด fouling

- Dynamic membrane ( ultrafiltration ) ทดลองกับเส้นใยโพลีเอสเตอร์และวิสคอส น้ำเสียประกอบด้วยสารละลายและคอลลอยด์ รวมทั้ง อะซิเตท อัลคาไลน์ เกลลี่ และสารช่วยย้อม พีเอช 4-9 อุณหภูมิมากกว่า 75 องศาเซลเซียส ของแข็งละลายทั้งหมด (total dissolved solids) มากกว่า 4,500 มก./ล. และสีมีค่ามากกว่า 10,000 ADMI ความดันที่ใช้คือ 6 Mpa อุณหภูมิในการปฏิบัติการ 45 องศาเซลเซียส อัตราการกรองต่อพื้นที่ 33 ลิตร/ตารางเมตร-ชั่วโมง พบว่าสามารถกำจัดสีได้มากกว่า 95% กำจัดไอออนได้ประมาณ 80%

- Nanofiltration (charged ultrafiltration) สามารถกำจัดสีข้อมลที่ละลายน้ำและไอออนได้ดี เช่น สีข้อมลรีแอคทีฟที่ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส น้ำเสียที่ออกมาจะมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เช่น sodium chloride ความเข้มข้น 20-100 กรัม/ลิตร หรือ sodium sulphate ความเข้มข้น 15-85 กรัม/

ลิตร และ ethylene diamine tetra-acetic acid ( EDTA ) พีเอช 11.5-12.5 สามารถกำจัดสีได้มากกว่า 99%

Knocke W. R., Blinge D. และ Joyce J. J. (1994) ศึกษาการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานเยื่อกระดาษและโรงฟอกขาวโดยใช้สารเคมีทำให้ตกตะกอนและเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน พบว่าเมื่อใช้สารส้มและเกลือของเหล็กในการกำจัดสี มีประสิทธิภาพมากกว่า 90-95% ที่พีเอช 5.0-5.5 สำหรับสารส้ม และที่พีเอช 4.0 สำหรับเกลือของเหล็ก และเมื่อใช้เมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน ขนาด 10,000 mass unit ความดัน 25-90 psi ที่อัตราการไหลต่าง ๆ พบว่าสามารถกำจัดสีได้เฉลี่ย 90% และกำจัด TOC ได้ประมาณ 70% และได้ทดลองนำสารส้มมากำจัดสีก่อนเข้าระบบเมมเบรน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีไม่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดด้วยสารส้มก่อน เนื่องจากสารส้มสามารถกำจัดสีที่มีน้ำหนักโมเลกุลใหญ่เท่านั้น แต่เมมเบรนสามารถกำจัดได้ในช่วงกว้างกว่า

Pickering Wiesner (1993) เสนอสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการคำนวณค่าใช้จ่ายการบำบัดน้ำ และทดลองการบำบัดน้ำเพื่อหาสภาวะการทำงานของระบบเยื่อแผ่นนาโนฟิลเตรชัน (nanofiltration; NF) UF และ MF โดยน้ำที่นำมาบำบัดคือน้ำกร่อย น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน คุณภาพน้ำเริ่มต้นมีความขุ่น (Turbidity) และ Dissolved organic carbon ปริมาณปานกลางถึงสูง พบว่าค่าใช้จ่ายการบำบัดแปรผกผันกับค่าฟลักซ์ นั่นคือเมื่อค่าฟลักซ์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าใช้จ่ายการบำบัดลดลง สำหรับการประมาณค่าใช้จ่ายการบำบัดน้ำด้วยเยื่อแผ่น UF และ MF ในระบบที่มีขนาดใหญ่และเล็ก (ประมาณ 2,000 m<sup>3</sup>/hr. และ 20 m<sup>3</sup>/hr.) พบว่าระบบขนาดใหญ่การบำบัดด้วยเยื่อแผ่น UF จะมีราคาการบำบัดถูกกว่าการใช้เยื่อแผ่น MF ส่วนระบบขนาดเล็กค่าใช้จ่ายการบำบัดมีค่าใกล้เคียงกัน และเยื่อแผ่นทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาการบำบัดน้ำโดยเยื่อแผ่น NF พบว่าเยื่อแผ่น NF นอกจากบำบัดพวกจุลินทรีย์ได้เช่นเดียวกับเยื่อแผ่น UF และ MF แล้วยังสามารถบำบัดพวกสารอินทรีย์และความกระด้างของน้ำได้อีกด้วย

## บทที่ 3

### การดำเนินการวิจัย

#### 3.1 แผนการทดลอง

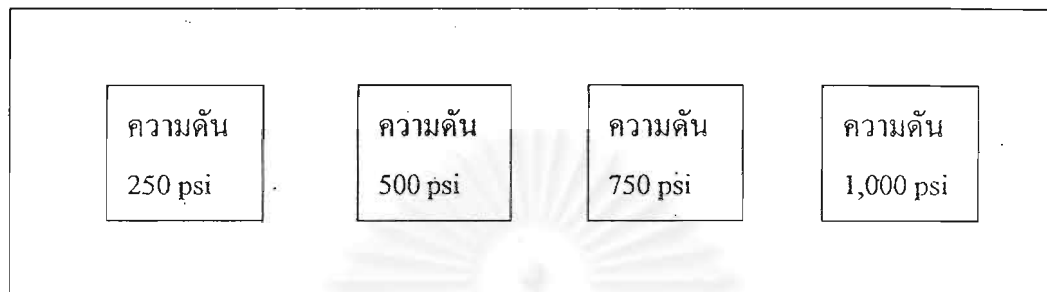
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ (RO) และปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการทำงานของเมมเบรน รวมทั้งปัจจัยทางด้านราคา และการลงทุนในการนำน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอกลับมาใช้ใหม่ โดยการทดลองทั้งหมดทำที่ห้องปฏิบัติการของโรงงานสิ่งทอ บริษัทไทยโพรเท็กซ์ไทมิลส์ จำกัด (TTTM) อำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม แผนการทดลองแสดงในรูปที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดของแต่ละชุดการทดลองดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ประกอบด้วยชุดการทดลองที่ 1-4 ซึ่งเป็นการศึกษาผลของความดันที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยทำการทดลองที่ความดัน 250, 500, 750, และ 1,000 psi ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 2 ประกอบด้วยชุดการทดลองที่ 5-8 เป็นการศึกษาผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยใช้ค่าความดันที่เหมาะสมที่สุดจากผลการทดลองขั้นตอนที่ 1 ทำการทดลองที่อัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นเท่ากับร้อยละ 0, 25, 50, และ 75 ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 3 ประกอบด้วยชุดการทดลองที่ 9-12 เป็นการศึกษาผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยใช้ค่าความดันที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองขั้นตอนที่ 1 และใช้ค่าอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองขั้นตอนที่ 2 มาทำการทดลองที่อัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทเท่ากับร้อยละ 5, 10, 15, และ 20 ตามลำดับ

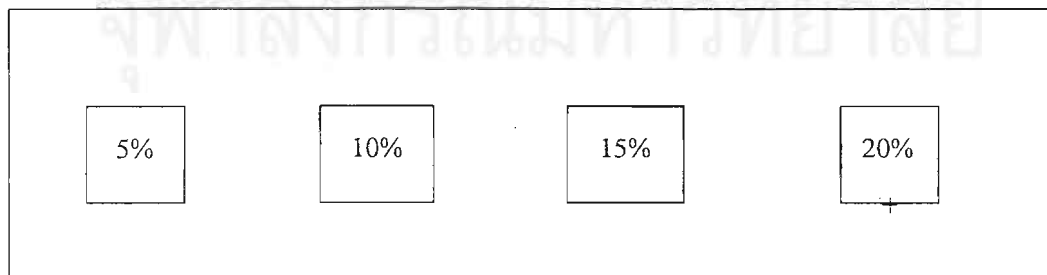
ขั้นตอนที่ 1 : ผลของความดันที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ



ขั้นตอนที่ 2 : ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้ชั้นที่มีต่อ  
ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ



ขั้นตอนที่ 3 : ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทที่มีต่อ  
ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ



อัตราเวียนกลับ  
ที่เหมาะสม

ความดันที่  
เหมาะสม

รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

### 3.2 ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

#### 3.2.1 ตัวแปรคงที่

ตัวแปรคงที่ในการทดลอง ประกอบด้วย

1. พื้นที่เมมเบรน กำหนดให้เท่ากับ 0.203 ตารางเมตร โดยใช้เมมเบรนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 2.5 นิ้ว จำนวน 2 ชุด ต่อขนานกัน
2. ความยาวของเมมเบรน กำหนดให้เมมเบรนยาว 40 นิ้ว ต่อขนานกัน 2 ชุด
3. ความดันที่ใช้ในการล้างย้อน กำหนดให้เท่ากับ 50 psi โดยใช้ระยะเวลาในการล้างย้อนประมาณ 30 นาที และล้างย้อนโดยใช้น้ำสะอาดที่ผ่านระบบออสโมซิสผันกลับแล้ว
4. สารที่ใช้ล้างเมมเบรน ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3%

#### 3.2.2 ตัวแปรอิสระ

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน โดยมีค่าตัวแปรอิสระของแต่ละชุดการทดลอง ดังนี้

1. ขั้นตอนที่ 1 ตัวแปรอิสระได้แก่ ค่าความดันเข้า ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 250, 500, 750, และ 1,000 psi
2. ขั้นตอนที่ 2 ตัวแปรอิสระได้แก่ อัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้น ซึ่งกำหนดให้เท่ากับร้อยละ 0, 25, 50, และ 75
3. ขั้นตอนที่ 3 ตัวแปรอิสระได้แก่ อัตราส่วนการผลิตเพอมีเอท ซึ่งกำหนดให้เท่ากับร้อยละ 5, 10, 15, และ 20

### 3.2.3 ตัวแปรตาม

ตัวแปรตามที่ทำการศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด สภาพการนำไฟฟ้า ของแข็งแขวนลอย ความขุ่น ซีโอดี คลอไรด์ และเหล็ก

### 3.3 การดำเนินการทดลอง

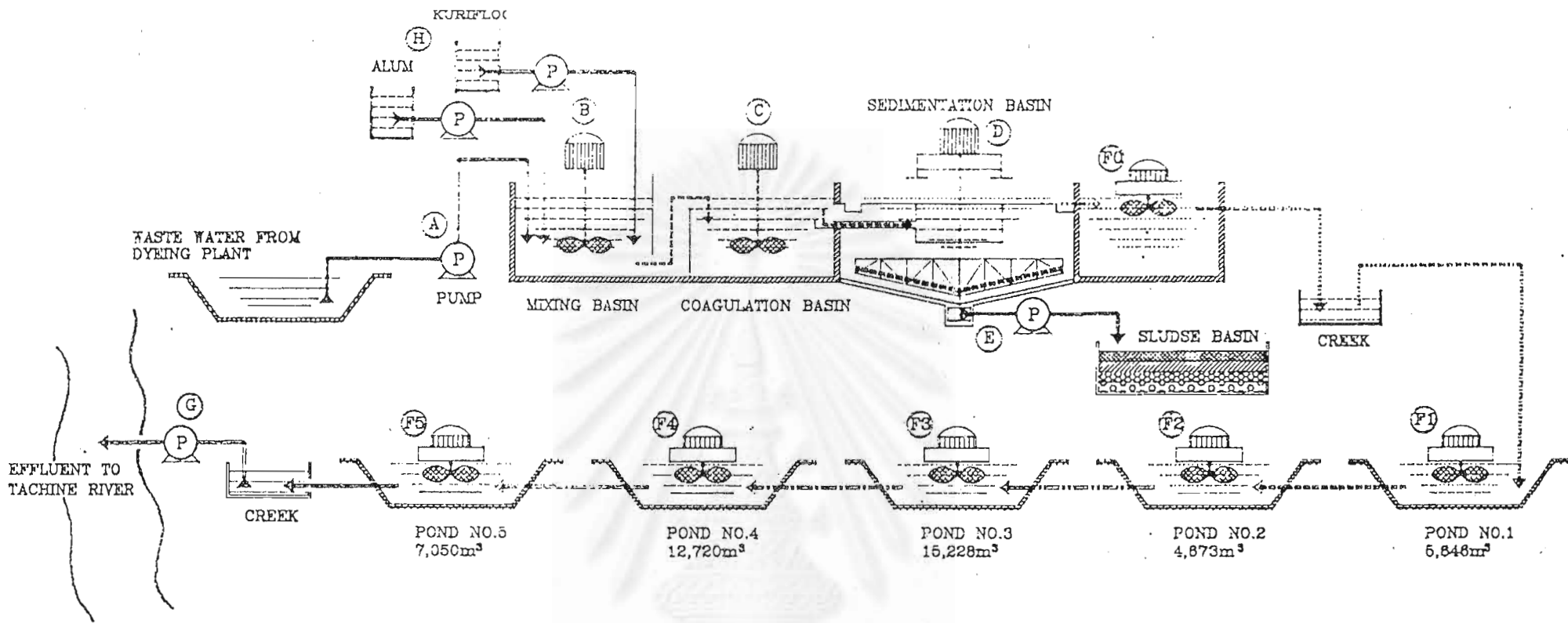
ในการดำเนินการทดลองนั้น จะใช้น้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นที่สองแล้ว โดยสูบน้ำจากรางระบายน้ำของโรงงานมาเก็บไว้ในถังเก็บน้ำเพื่อสูบป้อนเข้าสู่ชุดการทดลองต่อไป ระบบบำบัดน้ำเสียภายในโรงงานแสดงดังในรูปที่ 3.2 ในการทำการทดลองแต่ละครั้งจะทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆทุก 2 ชั่วโมง จนกระทั่งวัดค่าความสูญเสียแรงดัน (head loss) ได้เท่ากับ 1-2 บาร์ หรือจนครบ 8 ชั่วโมงจึงสิ้นสุดการทดลอง โดยก่อนจะเริ่มการทดลองแต่ละครั้งได้ทำการล้างเมมเบรนด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3 %

การทดลองขั้นตอนที่ 1 : น้ำเสียจะถูกสูบป้อนเข้าสู่ระบบในอัตรา 400 ลบ.ม.ต่อวัน โดยทำการทดลองที่ค่าความดันเข้าระบบเท่ากับ 250, 500, 750, และ 1,000 psi ทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

การทดลองขั้นตอนที่ 2 : เมื่อสิ้นสุดการทดลองในขั้นตอนที่ 1 แล้ว จะใช้ค่าความดันเข้าที่เหมาะสมที่สุดมาทำการทดลองต่อโดยทำการทดลองที่อัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้น (concentrate) เท่ากับร้อยละ 0, 25, 50, และ 75 ทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

การทดลองขั้นตอนที่ 3 : เมื่อสิ้นสุดการทดลองในขั้นตอนที่ 2 แล้ว จะทำการทดลองที่อัตราส่วนการผลิตเพอมีอิตเท่ากับร้อยละ 5, 10, 15, และ 20 โดยควบคุมค่าความดันเข้าระบบที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองขั้นตอนที่ 1 และใช้อัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นซึ่งได้จากการทดลองขั้นตอนที่ 2 และทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ



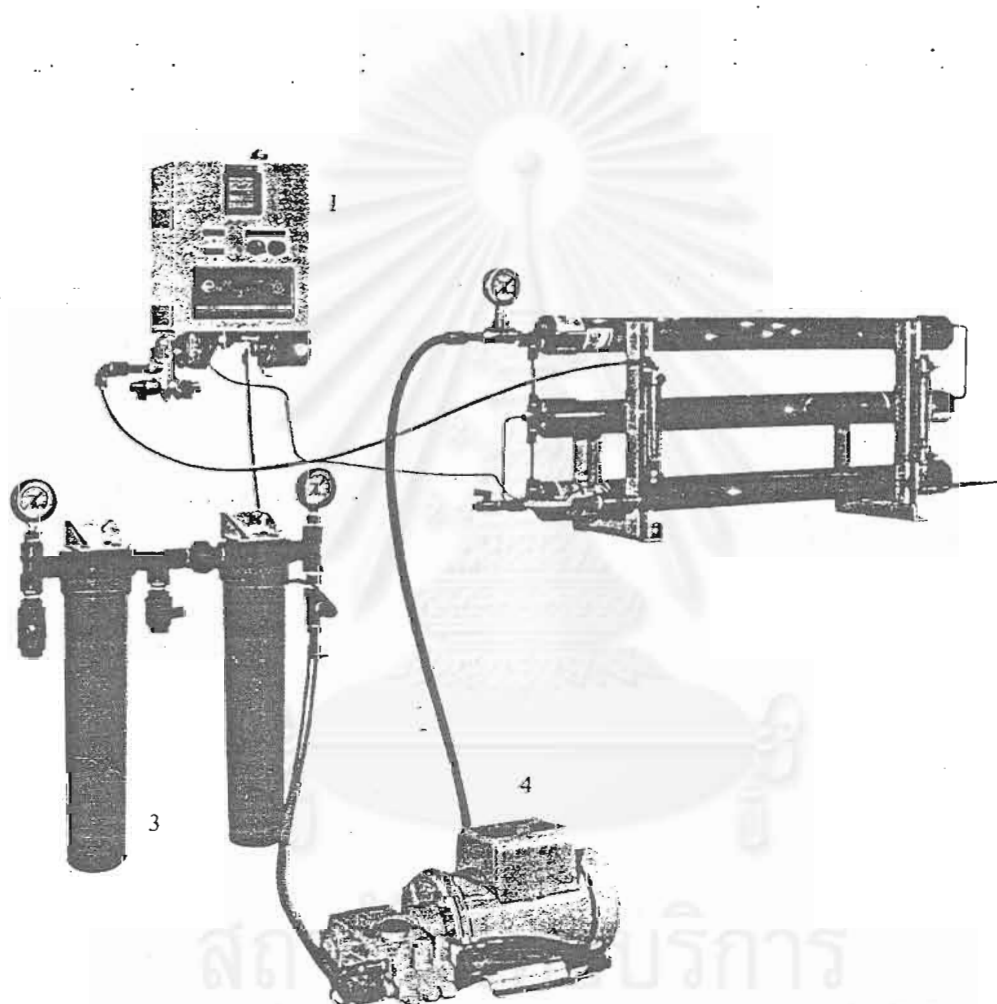


ITEM	A			B		C		D		E	F					G		H							
	LIFT PUMP			REACTION		COAGULATION		SEDEMENTATION		SLUDGE PUMP	AERETER (O <sub>2</sub> TRANSFER kgO <sub>2</sub> /H)					TACHINE PUMP		ALUM		KULIFLOX					
	1	2	3								0	1	2	3	4	5			TANK	PUMP	MIXER	TANK	PUMP	MIXER	
CAPACITY (m <sup>3</sup> /H)	90	120	180					150	50	4.8	8-11	16.5-22	16.5-22	8-11	16.5-22	8-8	120	182							
HEAD (m <sup>3</sup> )	9.5	10	8							9.0							10	11							
MOTOR CAPA (kW)	3.7	7.5	6.5	0.4	0.75	0.4	0.75	0.4	0.75	2.2	5.5	11	11	5.5	11	4	7.5	11			0.75	0.4		0.4	0.4
QUANTITY (set)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			2	2		2	2
OPERATING CONDITION																									
CONSUMPTION (kWH/TON) (0.38 kWH/TON)	0.08			0.01		0.01		0.01		0.02	0.18					0.07		270g/TON		0.25g/TON					
COST. 1.50 B/TON	●			●		●		●		●	●					●		●		●					●

รูปที่ 3.2 ระบบบำบัดน้ำเสียภายในโรงงานไทยโพรเท็กซ์ไทยลิมิตส์

### 3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

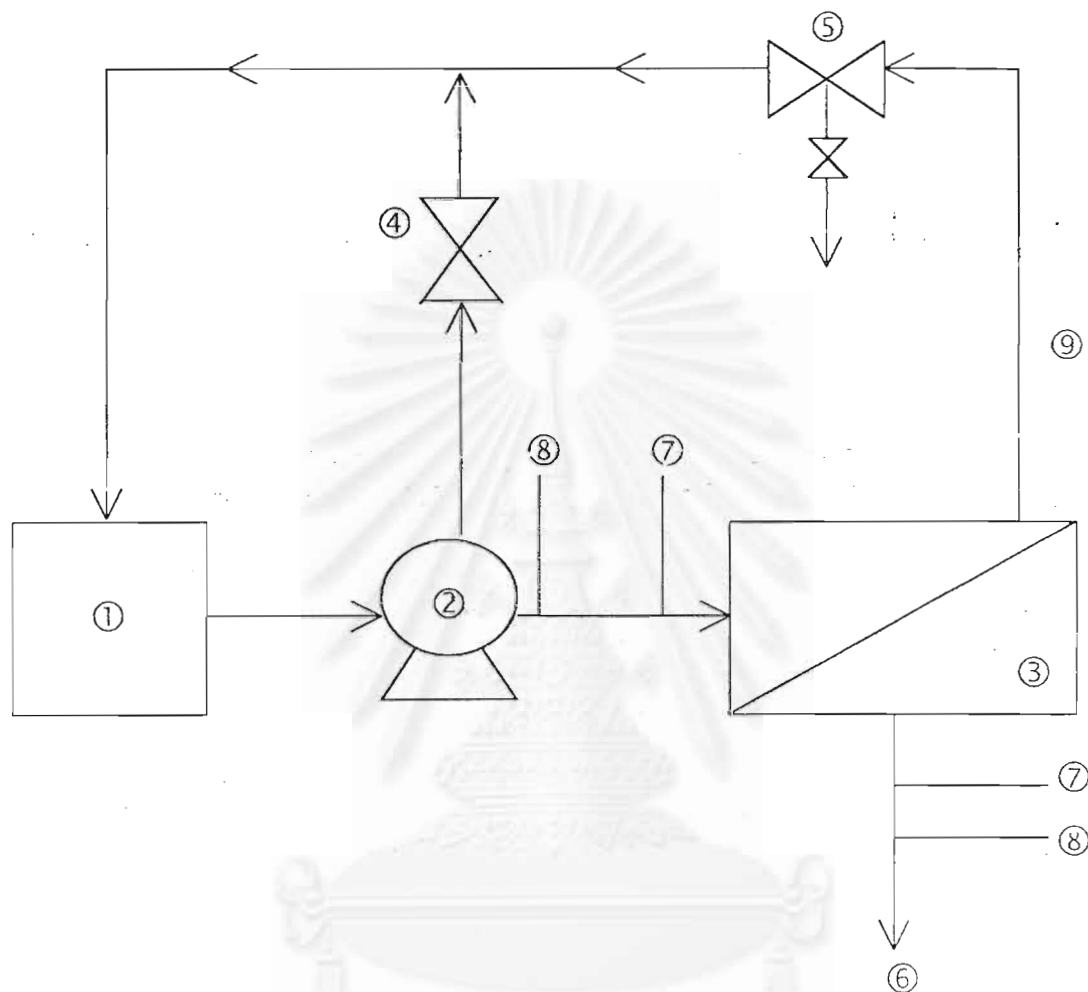
เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองแสดงในรูปที่ 3.3 โดยใช้ชุดการทดลองของบริษัท คูลิแกน (อเมริกา) รุ่น SW400 ชนิด Polyamine, Spiral Wound, TFC



1. Controlled Unit
2. RO Unit
3. Cartridge Filter
4. High Pressure Pump

รูปที่ 3.3 ชุดทดลองระบบออสโมซิสผันกลับ

ผังการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ แสดงในรูปที่ 3.4 โดยมีรายละเอียดการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆดังต่อไปนี้



หมายเหตุ :

- ① = Feed Water Tank
- ② = High Pressure Pump
- ③ = RO Membrane Module
- ④ = By Pass
- ⑤ = Regulating Valve
- ⑥ = Permeate
- ⑦ = Pressure Gage
- ⑧ = Flow Meter
- ⑨ = Concentrate

รูปที่ 3.3 แผนภูมิแสดงชุดการทดลองระบบออสโมซิสผันกลับที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องสูบน้ำแรงดันสูงจะสูบน้ำจากถังเก็บน้ำผ่าน Cartridge filter 2 อันซึ่งต่ออนุกรมกัน เพื่อป้องกันอนุภาคแขวนลอยในน้ำมิให้ทำความเสียหายแก่เมมเบรน น้ำที่ผ่าน Cartridge filter แล้วจะถูกป้อนเข้าสู่ อาร์โอเมมเบรนโมดูล (RO membrane module) ซึ่งภายในบรรจุด้วยเมมเบรนแบบท่อม้วน Spiral Wound โดยส่วนหนึ่งจะไหลผ่านเมมเบรนในแนวขวาง (Cross flow) ตามค่าแรงดันที่กำหนด และน้ำใสดังกล่าวนี้จะไหลออกจากโมดูลไปยังถังรองรับน้ำ น้ำอีกส่วนหนึ่งจะไหลผ่านโมดูลในแนวตามยาวโดยไม่ผ่านเมมเบรน และไหลเวียนกลับไปยังถังเก็บน้ำตอนเริ่มต้นระบบ การควบคุมค่าความดันที่ใช้ในโมดูล จะควบคุมโดย regulating valve ซึ่งปรับความดันตามค่าที่อ่านได้จากเกจวัดความดันที่ติดตั้งไว้ก่อนและหลังโมดูล ในกรณีที่ความดันในโมดูลมีค่าสูงเกิน วาล์วบายพาสจะเปิดตามค่าความดันที่ตั้งเอาไว้เพื่อบายพาสน้ำกลับไปยังถังเก็บน้ำเพื่อป้องกันมิให้เกิดความเสียหายแก่เมมเบรน

### 3.5 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์

ในการดำเนินการทดลองนั้นจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำรวม 3 จุด เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบดังนี้คือ น้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ (Feed) น้ำใสที่ผ่านเมมเบรน (permeate) และน้ำที่ไม่ผ่านเมมเบรน (concentrate) ในการทดลองนี้วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำทั้งหมดใช้วิธีที่ระบุไว้ในหนังสือมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 1992) โดยรายละเอียดของวิธีการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์
พีเอช	pH meter
ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด	ถ้วยระเหย + 103°C
สภาพการนำไฟฟ้า	Conductivity meter
ของแข็งแขวนลอย	GF/C + drying at 103°C
ความขุ่น	Turbidity meter
ซีโอดี	Opened reflux titration method
คลอไรด์	Colourimetric method (Test kit)
เหล็ก	Colourimetric method (Test kit)



## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสิ่งทอที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นที่สองมาแล้วด้วยกระบวนการออสโมซิส เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำทิ้งดังกล่าวกลับมาใช้ประโยชน์ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองของโรงงานไทยโพรเท็กซ์ไทมิลส์ (น้ำเสียจากกระบวนการผลิตสิ่งทอผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอกูแลนต์และตามด้วยระบบบ่อเติมอากาศ)

#### 4.1 ลักษณะสมบัติน้ำทิ้งที่เข้าระบบออสโมซิสผกกลับ

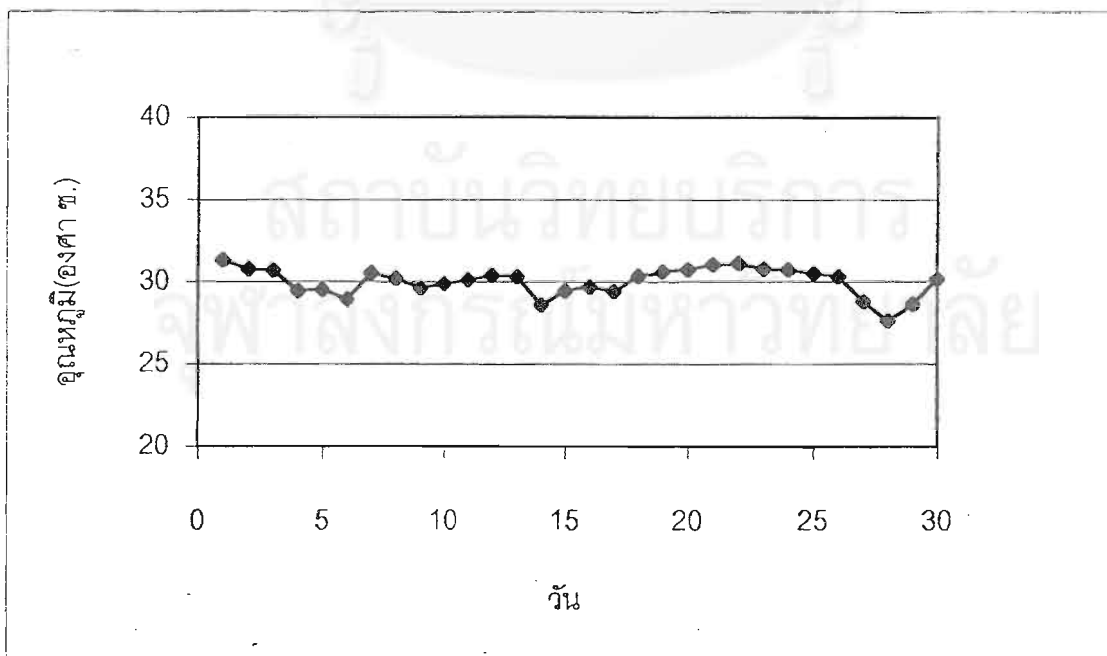
น้ำทิ้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดของโรงงานหรือน้ำที่ทิ้งสู่น้ำน่านครชัยศรี โดยน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตสิ่งทอของโรงงานมีปริมาณเฉลี่ย 2,400 ลบ.ม./วัน น้ำเสียดังกล่าวจะถูกรวบรวมโดยผ่านระบบท่อรวบรวมน้ำเสียภายในโรงงานเข้าสู่บ่อพักน้ำเสียเพื่อลดอุณหภูมิและกักเก็บให้มีปริมาณเพียงพอระดับหนึ่งจึงสูบเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยผ่านกระบวนการบำบัด 2 ระบบ ได้แก่ ระบบการตกตะกอนด้วยสารเคมี และระบบบ่อเติมอากาศ (ดังแสดงในรูปที่ 3.2)

ลักษณะน้ำเสียรวมจากกระบวนการผลิตของโรงงานมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ  $60^{\circ}\text{C}$  จะถูกรวบรวมไปเก็บกักไว้ที่บ่อพักน้ำเสียที่มีขนาดเก็บกักได้ 7,500 ลบ.ม. เพื่อลดอุณหภูมิให้เหลือประมาณ  $35^{\circ}\text{C}$  น้ำเสียจากบ่อพักถูกสูบขึ้นสู่ถังตกตะกอน มีขีดความสามารถบำบัดได้ 200 ลบ.ม./ชม. โดยใช้สารเคมีในกระบวนการบำบัด คือ สารส้ม ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ) และสารช่วยตกตะกอนชนิดประจุลบ น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดด้วยสารเคมีแล้วจะถูกปล่อยออกสู่ระบบบ่อเติมอากาศ จำนวน 5 บ่อ มีเครื่องเติมอากาศ (Aerator) เพิ่มปริมาณออกซิเจนโดยมีระยะเวลาเก็บกักประมาณ 17 วัน เมื่อผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้ว จึงระบายน้ำทิ้งหลังการบำบัดออกจากโรงงานสู่น้ำน่านครชัยศรี

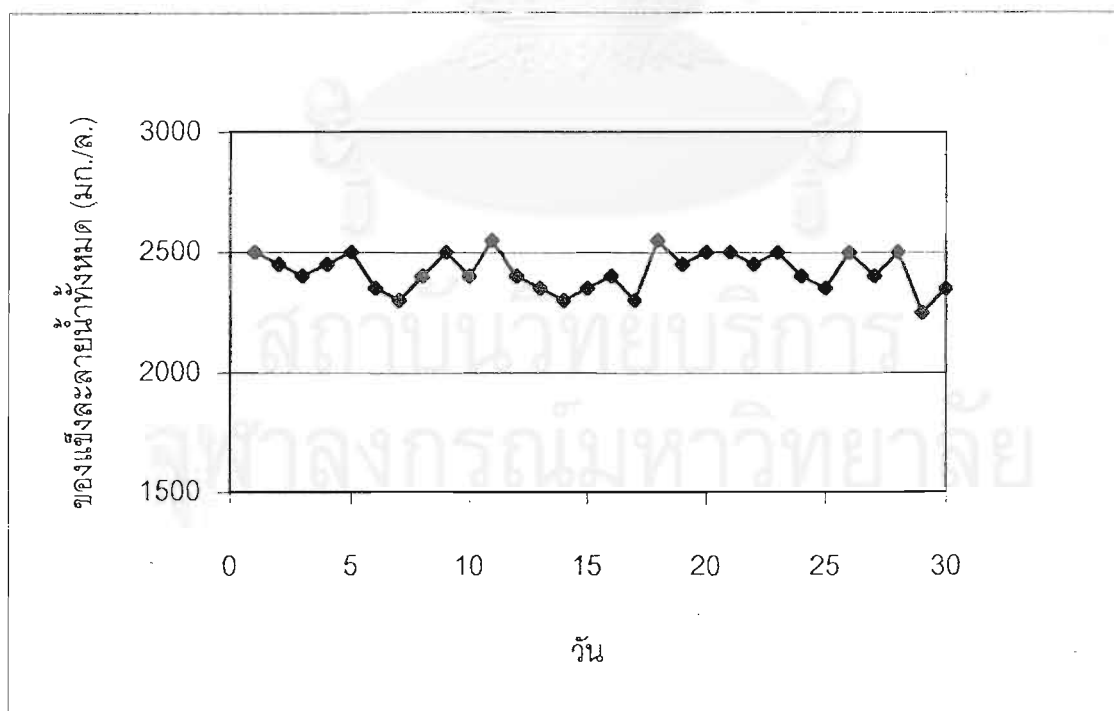
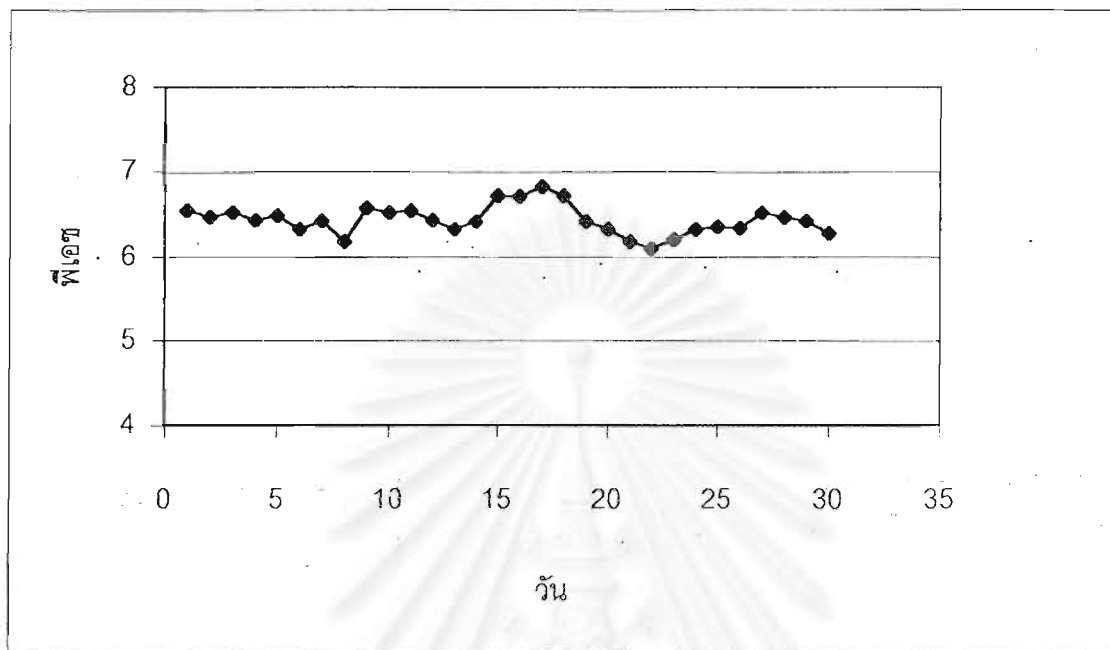
ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งจากระบบบำบัดที่ใช้ในการทดลองมีค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆจากการวิเคราะห์ทั้งหมด 30 วันติดต่อกัน ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งพบว่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น สีในหน่วยเอสยูและเอดีเอ็มไอ อุณหภูมิ พีเอช ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด สภาพนำไฟฟ้า ความขุ่น ของแข็งแขวนลอย

ซีโอดี คลอไรด์และเหล็ก มีค่าไม่แปรผันมากนักในแต่ละวัน(จาก 30 วัน) ทั้งนี้แสดงว่าระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองของโรงงานเป็นระบบที่มีสถานะคงตัว โดยมีค่าเฉลี่ยของสีเท่ากับ 35 ในหน่วยเอสยู และ 196 ในหน่วยเอดีเอ็มไอ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยพีเอชเท่ากับ 6.4 ค่าเฉลี่ยของแข็งละลายทั้งหมดเท่ากับ 2,420 มก./ล. ค่าเฉลี่ยสภาพนำไฟฟ้าเท่ากับ 5,400 us/cm ค่าเฉลี่ยความขุ่นเท่ากับ 830 NTU ค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 48 มก./ล. ค่าเฉลี่ยซีโอดีเท่ากับ 115 มก./ล. ค่าเฉลี่ยคลอไรด์เท่ากับ 80 มก./ล. และค่าเฉลี่ยเหล็กเท่ากับ 0.53 มก./ล. และจากผลของค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆพบว่ามีความเกินมาตรฐานการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในกรณีต่างๆ

เนื่องจากการทดลองแต่ละชุดการทดลองมีอัตราการป้อนน้ำเข้าระบบด้วยปริมาณที่สูงมาก(แต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 400 ลบ.ม./วัน) ดังนั้นการทดลองนี้จึงไม่สามารถเก็บกักน้ำเข้าระบบทั้งหมดเพื่อควบคุมพารามิเตอร์ของน้ำเข้าให้คงที่ตลอดการทำกรทดลองทุกชุดการทดลองได้ จึงทำการเก็บกักน้ำเข้าระบบให้เพียงต่อการทดลองแต่ละชุดการทดลองเท่านั้น แต่เมื่อดูจากผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆของน้ำเข้าระบบเป็นเวลา 30 วัน ข้างต้น มีค่าที่ไม่แปรผันมากนัก ดังนั้นถือว่าน้ำเข้าระบบแต่ละชุดการทดลองนั้นมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆใกล้เคียงกัน

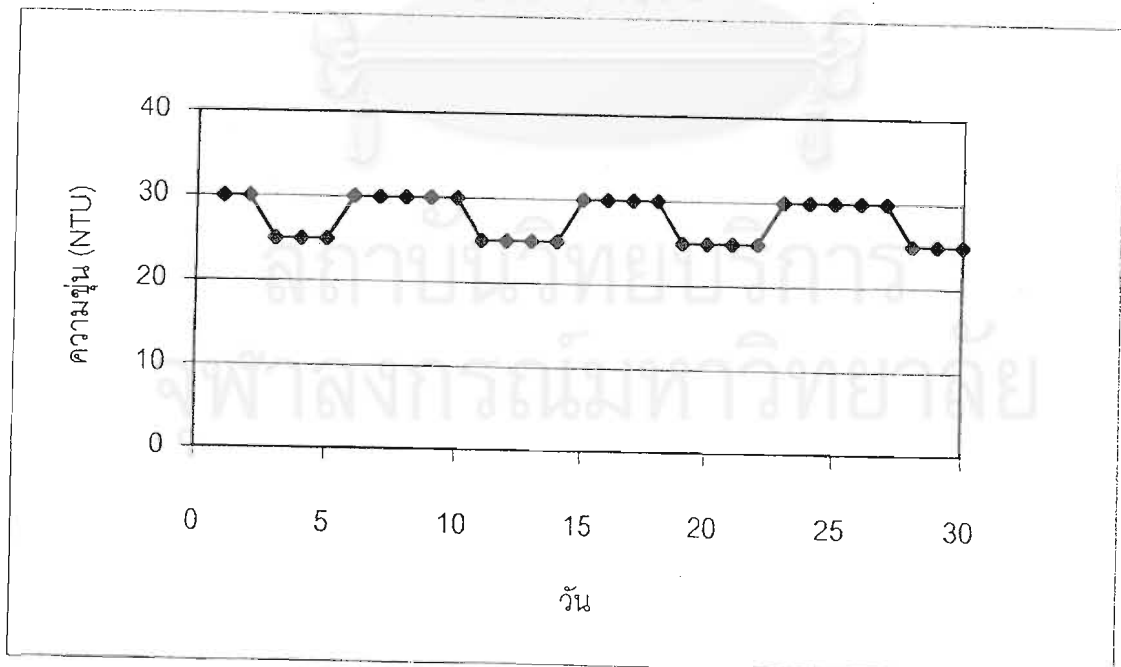
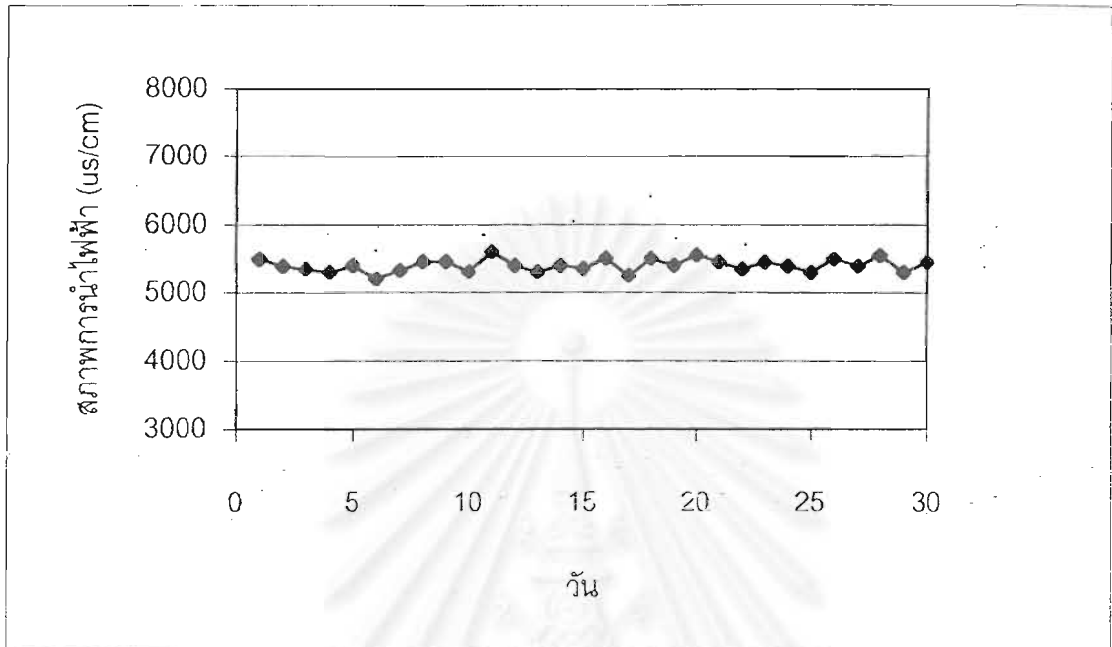


รูปที่ 4.1 ข้อมูลรายวันพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสีย

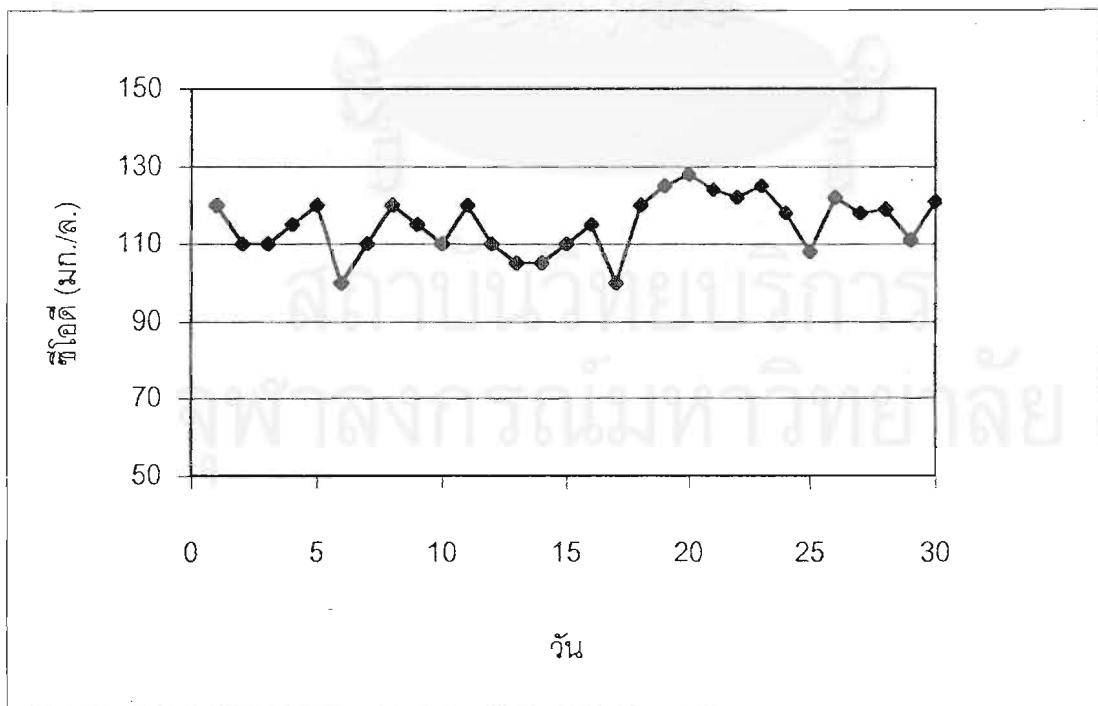
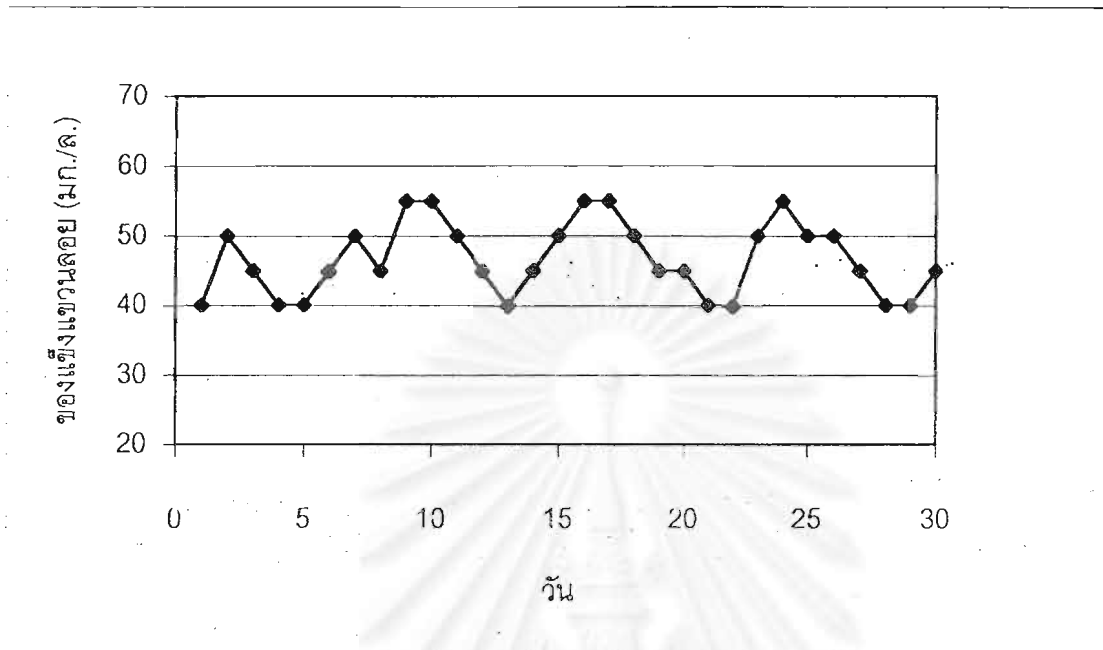


รูปที่ 4.1(ต่อ) ข้อมูลรายวันพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสีย

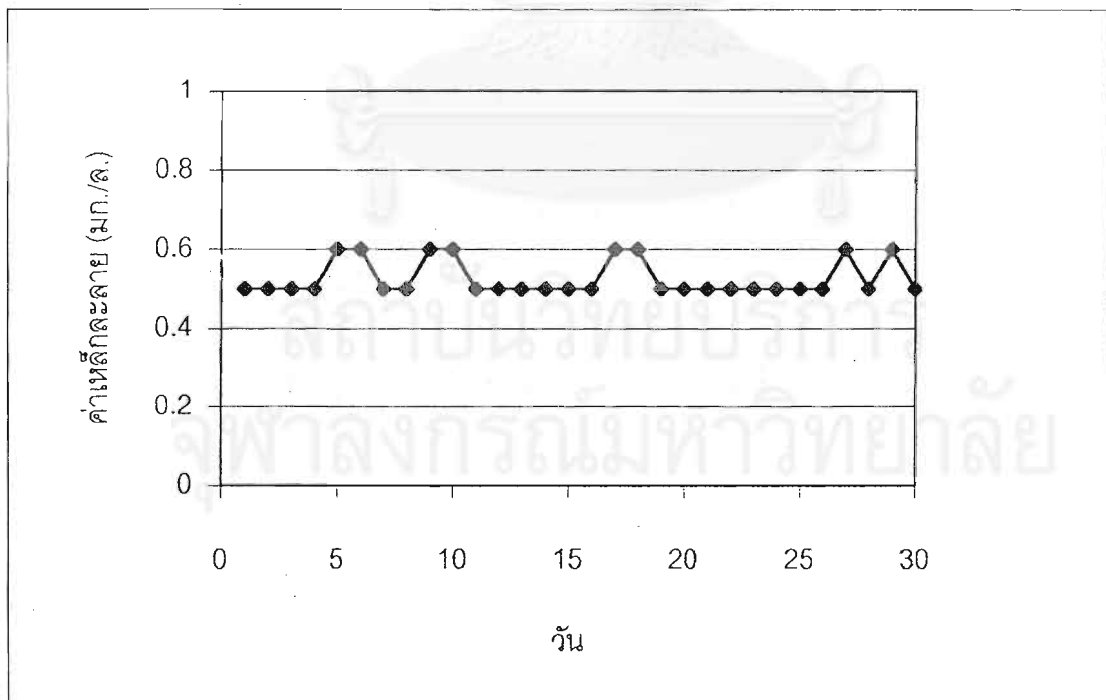
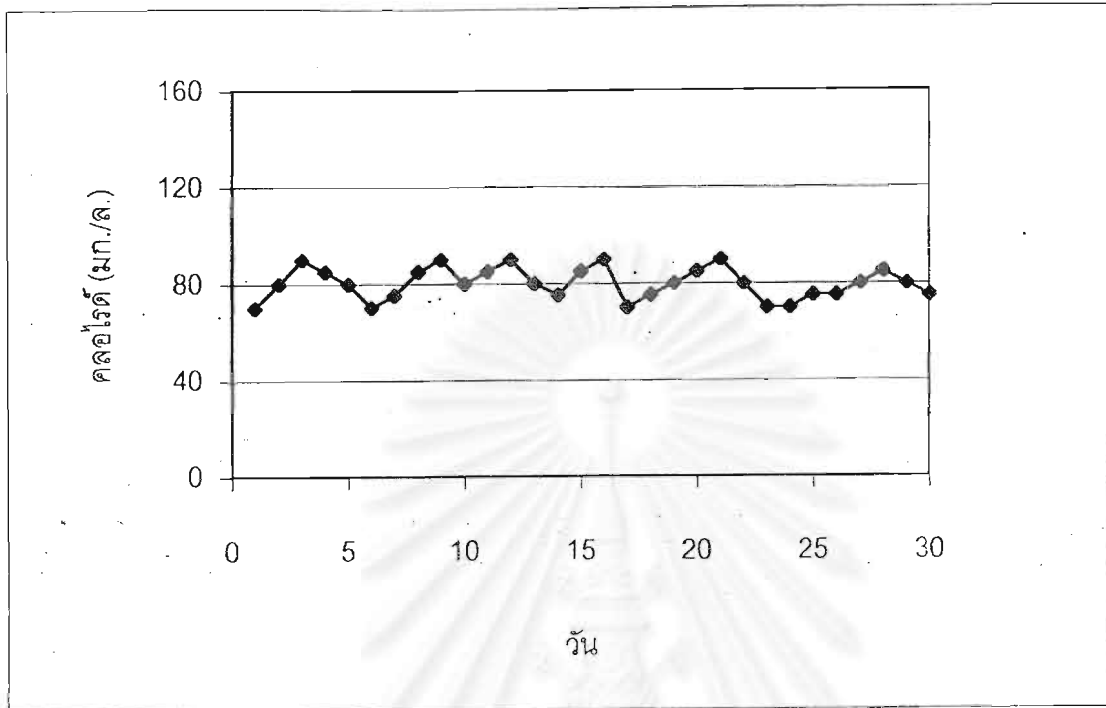




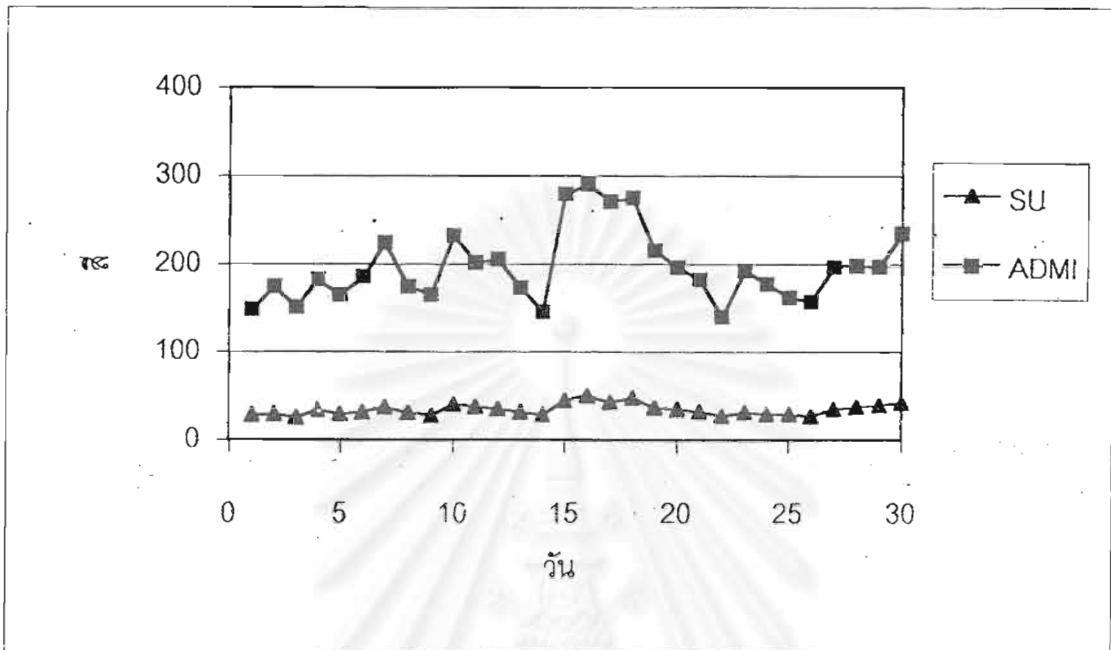
รูปที่ 4.1(ต่อ) ข้อมูลรายวันพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสีย



รูปที่ 4.1(ต่อ) ข้อมูลรายวันพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสีย



รูปที่ 4.1(ต่อ) ข้อมูลรายวันพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสีย



รูปที่ 4.1(ต่อ) ข้อมูลรายวันพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสีย

#### 4.2 ผลของความดันที่มีต่อพารามิเตอร์ต่างๆ

จากการทดลองในขั้นตอนที่ 1 ทำการศึกษาผลของความดันเข้าระบบต่อประสิทธิภาพการกำจัดพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งแบ่งชุดการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลอง โดยทำการแปรผันค่าความดัน 4 ค่า คือค่าความดันที่ 250, 500, 750 และ 1,000 psi ตามลำดับ และแต่ละชุดการทดลองทำการเดินระบบออสโมซิสผันกลับทั้งหมด 8 ชั่วโมง และทำการเก็บน้ำ:เพื่อวิเคราะห์ผลทุกๆ 2 ชั่วโมง ดังนั้นแต่ละชุดการทดลองจะมีการเก็บน้ำตัวอย่าง 4 ครั้ง โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

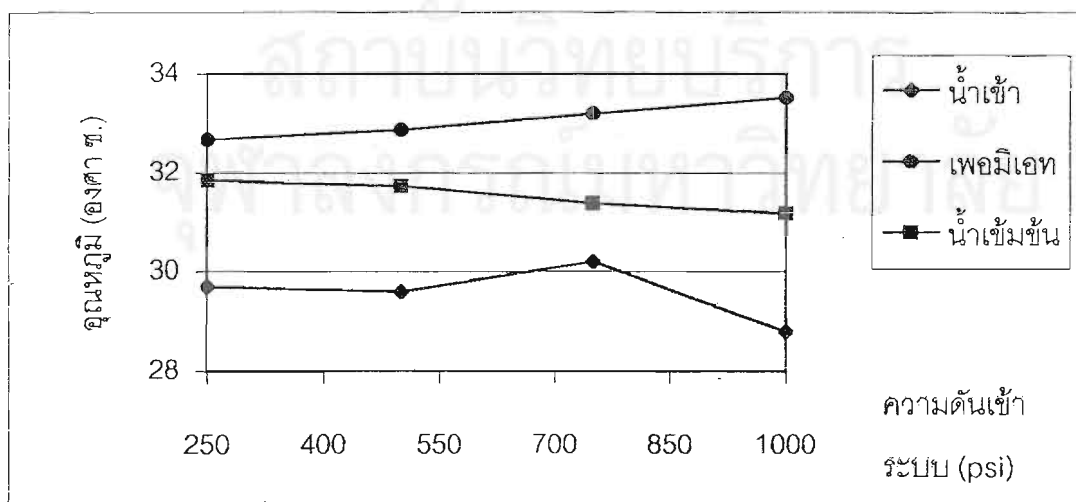
##### 4.2.1 ผลของความดันเข้าระบบต่ออุณหภูมิ

ผลของค่าความดันต่ออุณหภูมิแสดงตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 พบว่าทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิคล้ายกัน คือ ค่าอุณหภูมิมิแนวโน้มสูงขึ้นจากน้ำที่ตำแหน่งของเข้าระบบ น้ำเข้มข้น(Concentrate) และ น้ำใสที่ออกจากระบบ เช่น ชุดการทดลองที่ 1 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.7, 31.9 และ 32.5 องศาเซลเซียส ที่ตำแหน่งน้ำเข้า น้ำเข้มข้น และเพอมีเอท ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำที่ผ่านระบบออสโมซิสผันกลับไหลผ่านเมนเบรนด้วยแรงดันภายนอกเครื่องสูบน้ำหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการให้พลังงานจลน์กับน้ำที่เข้าระบบ ซึ่งทำให้พลังงานส่วนหนึ่งเปลี่ยนรูป

เป็นพลังงานความร้อนทำให้น้ำที่ผ่านระบบมีอุณหภูมิสูงขึ้น และยังพบว่าเมื่อเพิ่มความดันเข้าระบบ สูงจาก 250 psi จนถึง 1,000 psi ทำให้อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆสูงขึ้นด้วย เช่น อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ ใสออกจากระบบเพิ่มขึ้นจาก 32.7, 32.9, 33.2 และ 33.5 องศาเซลเซียส ที่ความดันเข้าระบบเท่ากับ 250, 500, 750 และ 1,000 psi ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มความดันให้แก่ระบบทำให้มีการเปลี่ยน รูปเป็นพลังงานความร้อนให้แก่ น้ำมากขึ้นด้วย แต่ทั้งนี้เกิดการเพิ่มอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย คือไม่ถึง 1 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มความดันจาก 250 เป็น 1,000 psi ดังนั้นจึงไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อฟลักซ์ มากนัก (จากรูปที่ 2.5) หรืออาจกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยจากผลการทดลองดัง กล่าวไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ

ตารางที่ 4.1 ค่าอุณหภูมิที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1

ชุดการทดลอง	ความดัน (psi)	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )										
		Feed (Avg.)	Permeate					Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
1	250	29.7	32.6	32.9	32.7	32.5	32.7	31.5	31.8	32.7	31.4	31.9
2	500	29.6	32.8	33.1	32.9	32.7	32.9	31.7	31.7	31.5	32	31.7
3	750	30.2	33	33.4	33.3	33.1	33.2	31.5	31.3	31.8	30.9	31.4
4	1000	28.8	33.2	33.9	33.6	33.4	33.5	31.2	30.6	31.3	31.6	31.2



รูปที่ 4.2 ผลของความดันต่อค่าอุณหภูมิ

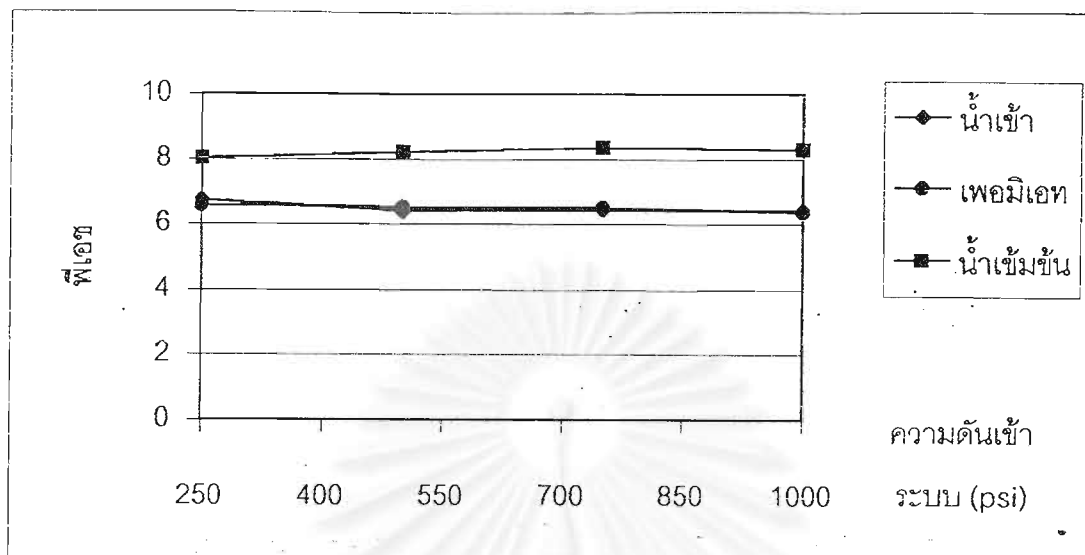
#### 4.2.2 ผลของความดันเข้าระบบต่อค่าพีเอช

ผลของความดันเข้าระบบต่อค่าพีเอชแสดงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 พบว่าทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชคล้ายกัน คือ ค่าพีเอชของเพอมีอเทมีค่าใกล้เคียงกับน้ำเข้า คือมีค่าพีเอชเฉลี่ยในช่วง 6.4 ถึง 6.6 ในชุดการทดลองที่มีความดันเข้าระบบ 250 ถึง 1,000 psi และค่าพีเอชของน้ำเข้มข้นมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้า คือ อยู่ในช่วง 8.0 ถึง 8.4 ในชุดการทดลองที่มีความดันเข้าระบบ 250 ถึง 1,000 psi ในขณะที่น้ำเข้าระบบมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.4 ถึง 6.5 ทั้งนี้เนื่องจากน้ำที่เข้าสู่ระบบของอสโมซิสผันกลับมีสภาพบัฟเฟอร์ที่เพียงพอจึงทำให้ค่าพีเอชของน้ำเพอมีอเทมีค่าไม่แตกต่างกับน้ำที่เข้าระบบ ส่วนเหตุผลที่ทำให้ค่าพีเอชในน้ำเข้มข้นมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากในน้ำเข้มข้นจะมีปริมาณของสารประกอบพวกคาร์บอเนตซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ในปริมาณที่สูงขึ้น และนอกจากนี้ผู้ทำการทดลองคาดว่าน่าจะมีโลหะตัวอื่นๆที่ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ในการทดลองนี้ เช่น อลูมิเนียม แคลเซียม ซึ่งมีการเติมในกระบวนการโคแอกกูแลนซ์ของระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองของโรงงานก็น่าจะถูกกำจัดและอยู่ในน้ำเข้มข้นด้วย(ทั้งนี้ดูจากประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กได้สูงถึง 100%)

นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มความดันเข้าระบบไม่มีผลต่อค่าพีเอชของน้ำเพอมีอเทที่ผ่านออกจากระบบ คือมีค่าเกือบคงที่ที่ 6.4 ถึง 6.6 เมื่อเพิ่มความดันเข้าระบบจาก 250 เป็น 1,000 psi ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันว่าเนื่องมาจากกรที่น้ำที่เข้าสู่ระบบมีสภาพบัฟเฟอร์ที่เพียงพอทำให้ค่าพีเอชของน้ำเพอมีอเทไม่เปลี่ยนแปลงตามค่าความดันที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.2 ค่าพีเอชที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1

ชุดการทดลอง	ความดัน (psi)	pH										
		Feed (Avg.)	Permeate					Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
1	250	6.7	6.4	6.8	6.4	6.7	6.6	7.4	8.2	8.3	8.2	8.0
2	500	6.4	6.4	6.7	6.4	6.5	6.5	8.3	8.2	8.3	8.2	8.2
3	750	6.5	6.5	6.6	6.5	6.4	6.5	8.4	8.3	8.5	8.2	8.4
4	1000	6.4	6.4	6.3	6.4	6.4	6.4	8.3	8.2	8.2	8.5	8.3



รูปที่ 4.3 ผลของความดันต่อค่าพีไอ

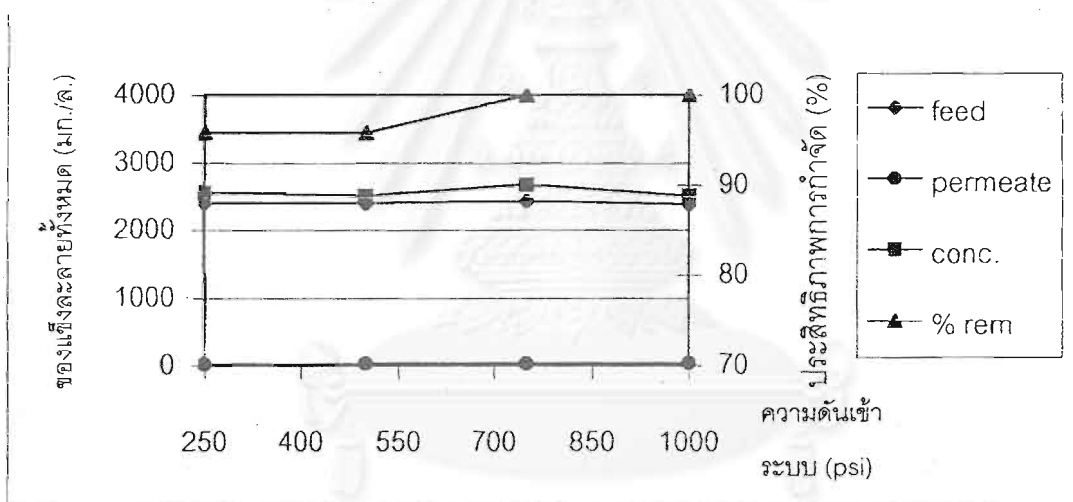
#### 4.2.3 ผลของความดันเข้าระบบต่อค่าของแข็งละลายและค่าสภาพการนำไฟฟ้า

ค่าเฉลี่ยของค่าของแข็งละลายและค่าสภาพการนำไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งละลายและค่าสภาพการนำไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่าค่าของแข็งละลายและสภาพการนำไฟฟ้ามีความสอดคล้องกันคือเมื่อค่าของแข็งละลายลดลงในน้ำออกจากระบบมีผลทำให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าลดลงด้วย และเมื่อค่าของแข็งละลายในน้ำเข้มข้นเพิ่มขึ้นก็ทำให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย และยังพบว่าแนวโน้มของค่าของแข็งละลายที่สภาวะต่างๆของทุกชุดการทดลองคล้ายกัน คือ ค่าของแข็งละลายในเพอมีเอทมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าของแข็งละลายในน้ำเข้า หรืออาจกล่าวได้ว่ากระบวนการออสโมซิสผันกลับมีประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายสูงมาก ซึ่งทุกชุดการทดลองมีประสิทธิภาพเกือบ 100% และค่าของแข็งละลายในน้ำเข้มข้นมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้าระบบ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเมมเบรนสามารถกักของแข็งละลายได้สูงก็ทำให้ปริมาณของแข็งละลายเพิ่มขึ้นในน้ำเข้มข้นด้วย

นอกจากนี้ยังพบว่าผลของความดันเข้าระบบมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่าของแข็งละลาย นั่นคือเมื่อเพิ่มความดันเข้าระบบจาก 250, 500, 750 และ 1,000 psi ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งละลายลดลงเล็กน้อยคือ 100, 100, 96 และ 96% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อค่าความดันขึ้นถึงระดับหนึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์ Concentration Polarization (CP) (กล่าวถึงในหัวข้อ 2.1.2.3) คือ ทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าเมมเบรนสูงและมีผลทำให้ตัวถูกละลายแพร่ออกไปสู่เพอมีเอทสูงขึ้น จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของค่าของแข็งละลายลดลงด้วย

ตารางที่ 4.3 ค่าของแข็งละลายที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1

ชุดการทดลอง	ความดัน (psi)	ของแข็งละลาย (มก./ล.)											
		Feed (Avg.)	Permeate						Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	%rem	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
1	250	2400	15	17	19	20	18	96	2600	2550	2450	2650	2563
2	500	2400	24	23	25	25	24	96	2650	2450	2400	2550	2513
3	750	2425	30	33	35	34	33	100	2600	2800	2750	2550	2675
4	1000	2375	33	37	38	39	37	100	2450	2400	2650	2500	2500

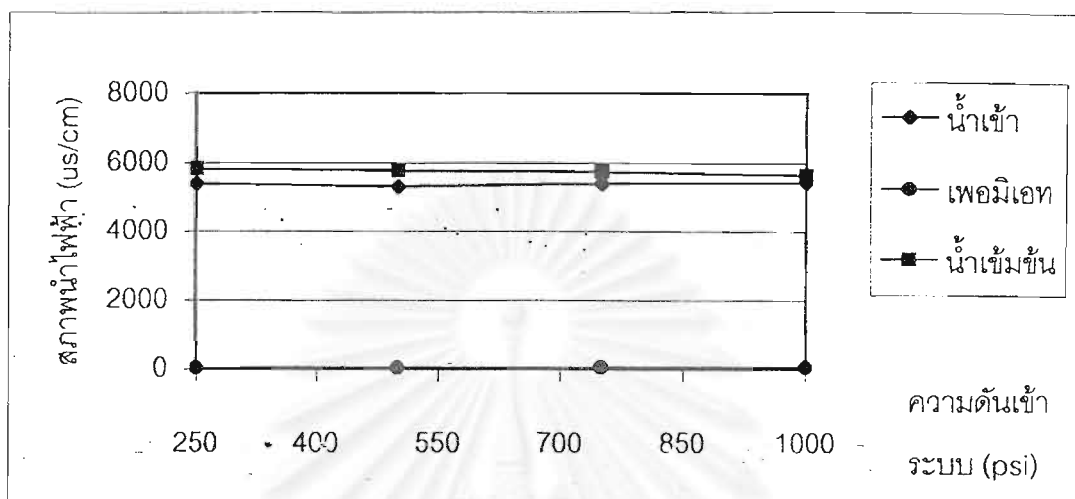


รูปที่ 4.4 ผลของความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดค่าของแข็งละลาย

ตารางที่ 4.4 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1

ชุดการทดลอง	ความดัน (psi)	สภาพการนำไฟฟ้า (us/cm)											
		Feed (Avg.)	Permeate						Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	
1	250	5400	33	37	35	38	36	5800	5800	5850	5850	5825	
2	500	5310	39	39	42	47	42	5650	5650	5850	5900	5763	
3	750	5400	45	49	49	59	51	5800	5550	5900	5700	5738	
4	1000	5425	54	58	55	62	57	5550	5650	5600	5750	5638	





รูปที่ 4.5 ผลของความดันต่อค่าสภาพการนำไฟฟ้า

#### 4.2.4 ผลของความดันเข้าระบบต่อค่าของแข็งแขวนลอยและค่าความขุ่น

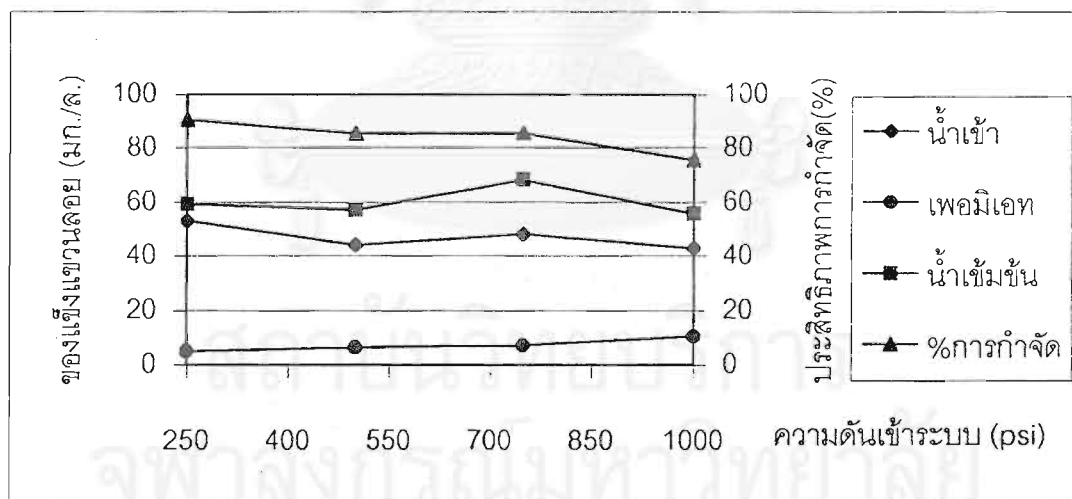
ค่าสารแขวนลอยและค่าความขุ่นที่สภาวะต่างๆของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยและค่าความขุ่นที่ความดันต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยที่ได้จากการทดลองมีความสอดคล้องกับ ค่าความขุ่น กล่าวคือเมื่อค่าของแข็งแขวนลอยในเพอมีเอทลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าของน้ำเข้ามีผลทำให้ค่าความขุ่นของเพอมีเอทมีค่าลดลงด้วย เช่น ชุดการทดลองที่ 1 มีค่าสารแขวนลอยลดลงจาก 53 เป็น 5 มก./ล. ในน้ำเข้าและเพอมีเอทตามลำดับ มีผลทำให้ค่าความขุ่นลดลงจาก 30 เป็น 2 NTU ในน้ำเข้าและเพอมีเอทตามลำดับ

การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยที่สภาวะต่างๆของชุดการทดลองมีแนวโน้มคล้ายกัน ดังรูปที่ 4.6 กล่าวคือ เพอมีเอทมีค่าสารแขวนลอยต่ำมากประมาณ 5-11 มก./ล. และทำให้ของแข็งแขวนลอยถูกกักไม่ให้ผ่านเมมเบรนส่งผลให้ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้มข้นสูงขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำเข้าระบบ และยังพบว่าเมื่อความดันของน้ำเข้าระบบเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คือ เมื่อความดันเพิ่มขึ้นจาก 250 เป็น 1,000 psi มีผลทำให้ค่าของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 11 มก./ล. แต่ก็มีค่าน้อยมากและไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำที่กลับมาใช้ในกิจกรรมบางประเภท ดังภาคผนวก ค. และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยเมื่อความดันน้ำเพิ่มขึ้นดังกล่าวมีความสอดคล้องกับค่าของของแข็งละลายและซีโอดี ดังหัวข้อที่ 4.2.3 และ 4.2.5 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำออกมีปริมาณต่ำมาก อาจทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการ

วิเคราะห์ผล เช่น ในขั้นตอนการซั่งกระดาษกรอง เมื่อมีค่าของแข็งแขวนลอยตกค้างในกระดาษกรองน้อยมากอาจทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นเพียงจุดทดสอบตำแหน่งที่ 4 ซึ่งทำให้มีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนสูงมาก

ตารางที่ 4.5 ค่าสารแขวนลอยที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1

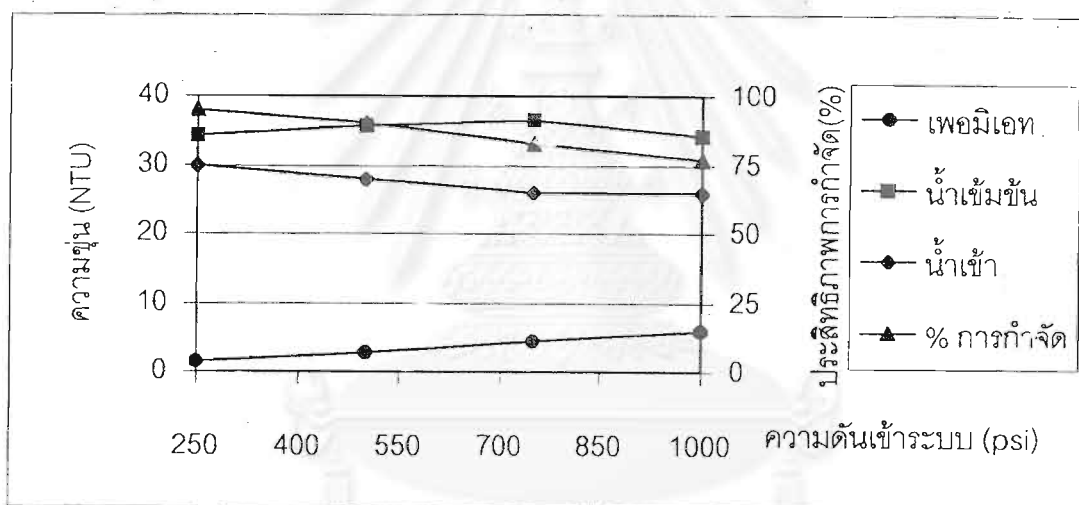
ชุดการทดลอง	ความดัน (psi)	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)											
		Feed (Avg.)	Permeate						Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	%rem	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
1	250	53	4	5	5	6	5	91	60	62	60	55	59
2	500	44	6	6	7	7	7	85	50	52	58	68	57
3	750	48	7	6	8	7	7	85	75	74	61	63	68
4	1000	43	10	12	10	10	11	76	57	55	51	60	56



รูปที่ 4.6 ผลของความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย

ตารางที่ 4.6 ค่าความขุ่นที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1

ชุดการทดลอง	ความดัน (psi)	ความขุ่น (NTU)											
		Feed (Avg.)	Permeate						Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	%rem	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
1	250	30	1	2	1	2	2	95	35	34	33	35	34
2	500	28	2	3	3	3	3	90	32	32	37	42	36
3	750	26	4	5	4	5	5	83	42	34	35	35	37
4	1000	26	5	6	6	7	6	77	33	34	31	39	34



รูปที่ 4.7 ผลของความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น

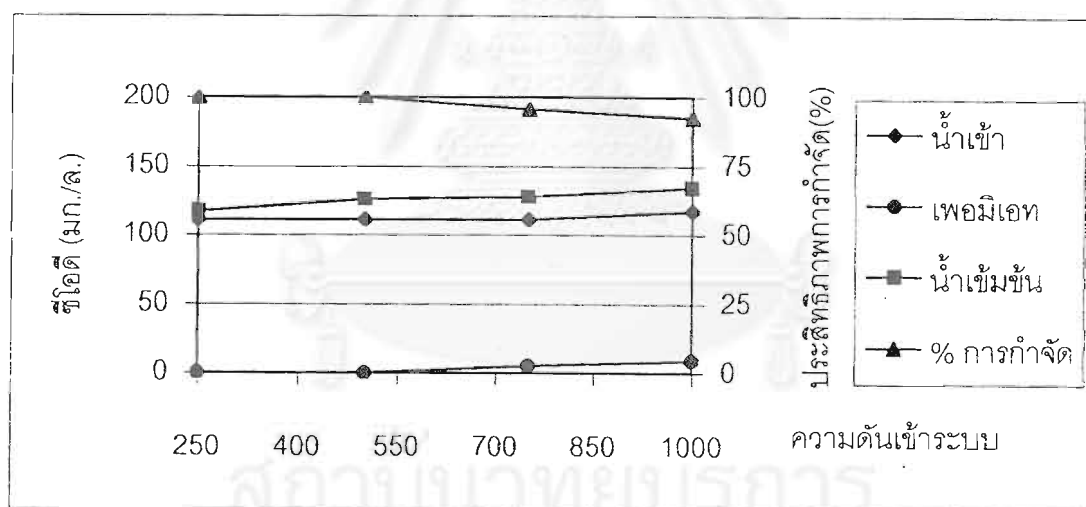
#### 4.2.5 ผลของความดันเข้าระบบต่อค่าซีโอดี

ค่าของซีโอดีในสภาวะต่างๆทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.7 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีแสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีที่สภาวะต่างๆของทุกการทดลองมีความคล้ายคลึงกัน คือ น้ำใสที่ออกจากระบบมีค่าซีโอดีต่ำมาก(0 มก./ล.) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้า และมีค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นในน้ำเข้มข้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าซีโอดีของน้ำเข้าระบบ ดังนั้นกล่าวได้ว่ากระบวนการออสโมซิสผันกลับสามารถกำจัดค่าซีโอดีในน้ำเข้าระบบได้ประมาณ 100% อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของค่าความดันของน้ำเข้าไม่น่าจะมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากนัก ซึ่งจากรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อความดันเข้าระบบเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจากค่าของแข็งละลายและค่าปริมาณสารแขวนลอยมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยดังหัวข้อ

4.2.3 และ 4.2.4 ตามลำดับ หรืออาจเกิดจากการผิดพลาดในการวิเคราะห์ซีไอดี ซึ่งปริมาณซีไอดีในเพอมีเอทมีค่าต่ำมากทำให้มีโอกาสผิดพลาดสูงในการวิเคราะห์

ตารางที่ 4.7 ค่าซีไอดีที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1

ชุดที่	ความดัน (psi)	ซีไอดี (มก./ล.)											
		Feed (Avg.)	Permeate						Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	%rem	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
1	250	111	0	0	0	0	0	100	127	118	100	124	117
2	500	111	0	0	0	0	0	100	122	140	116	126	126
3	750	111	5	5	5	5	5	95	121	146	128	116	128
4	1000	117	8	10	8	10	9	92	140	130	146	121	134



รูปที่ 4.8 ผลของความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

#### 4.2.6 ผลของความดันในระบบต่อประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์และเหล็ก

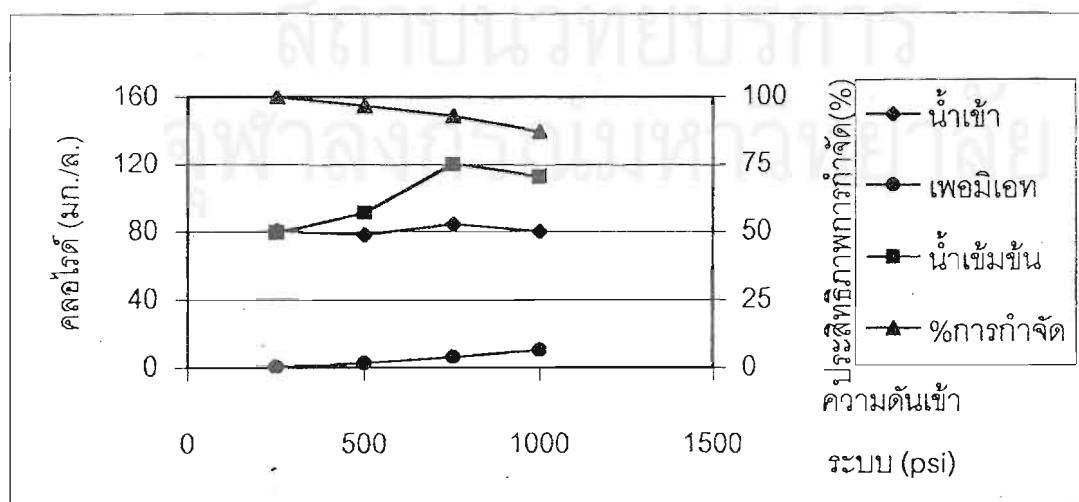
ค่าคลอไรด์และเหล็กที่สภาวะต่างๆของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าคลอไรด์และเหล็กเมื่อความดันเพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของคลอไรด์และเหล็กมีความสอดคล้องกันและยังมีความสอดคล้องกับค่าของแข็งละลายและสภาพการนำไฟฟ้าด้วย(จากหัวข้อ 4.2.3) กล่าวคือเมื่อค่าของแข็งละลายและสภาพการนำไฟฟ้าในเพอมีเอทลดลง ค่าคลอไรด์และเหล็กก็ลดลงด้วย ทั้งนี้เป็นการยืนยันว่าค่าของ

แข็งละลายและสภาพการนำไฟฟ้าที่ถูกกำจัด เนื่องจากไอออนต่างๆถูกกำจัด และยังพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าคลอไรด์และเหล็กมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในแต่ละสภาวะของทุกชุดการทดลองมีความคล้ายคลึงกัน กล่าวคือ เพอเมอเทมีค่าคลอไรด์และเหล็กต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้าระบบ และมีประสิทธิภาพการกำจัดเกือบ 100% และน้ำเข้มข้นมีปริมาณคลอไรด์และเหล็กสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้าระบบ

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อความดันเข้าระบบเพิ่มขึ้นมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์และเหล็ก กล่าวคือเมื่อความดันเข้าระบบเพิ่มขึ้นจาก 250 เป็น 1,000 psi ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์และเหล็กลดลงจาก 100 เป็น 87 % และ 100 เป็น 83% ตามลำดับ ทั้งนี้มีความสอดคล้องกับผลของความดันต่อค่าของแข็งละลายและสภาพการนำไฟฟ้าดังเหตุผลที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2.3

ตารางที่ 4.8 ค่าคลอไรด์ที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1

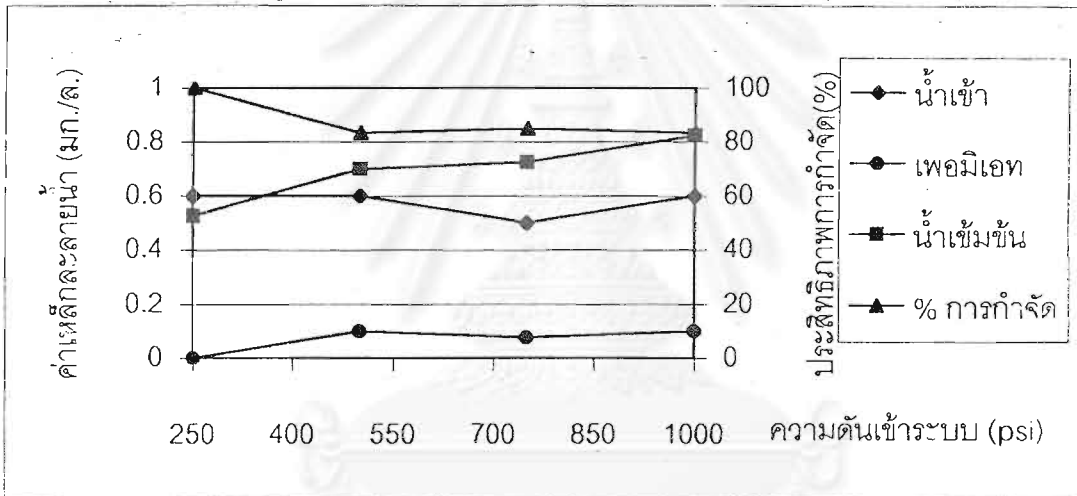
ชุดการทดลอง	ความดัน (psi)	คลอไรด์ (มก./ล.)												
		Feed (Avg.)	Permeate							Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	%rem	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	
1	250	80	0	0	0	0	0	100	85	90	70	70	79	
2	500	78	3	3	2	2	3	97	90	100	88	86	91	
3	750	84	6	5	7	6	6	93	109	118	153	101	120	
4	1000	80	10	12	10	9	10	87	105	118	125	103	113	



รูปที่ 4.9 ผลของความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์

ตารางที่ 4.9 ค่าเหล็กที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1

ชุดการทดลอง	ความดัน (psi)	เหล็ก (มก./ล.)											
		Feed (Avg.)	Permeate						Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	%rem	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
1	250	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5
2	500	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	83	0.8	0.7	0.7	0.6	0.7
3	750	0.5	0.1	0.1	0	0.1	0.1	85	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7
4	1000	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	83	0.8	0.8	0.7	1.0	0.8



รูปที่ 4.10 ผลของความดันต่อประสิทธิภาพการกำจัดเหล็ก

#### 4.2.7 ผลของความดันที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี

ความเข้มข้นในหน่วยเอสยูและเอดีเอ็มไอที่สภาวะต่างๆของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ พบว่าหน่วยสีในหน่วยเอสยูมีความสอดคล้องกับหน่วยสีเอดีเอ็มไอ กล่าวคือค่าสีของน้ำออกมีค่าสีลดลงเมื่อเทียบกับน้ำเข้าทั้งในหน่วยเอสยูและเอดีเอ็มไอ และมีประสิทธิภาพการลดสีของทุกชุดการทดลองเท่ากัน คือ 100% หรืออาจกล่าวได้ว่าการเพิ่มความดันที่เข้าระบบในช่วง 250-1000 psi ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการกำจัดสีของระบบแต่อย่างใด

อาจกล่าววาระบบบออสโมซิสผันกลับมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีขมของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอสูงมากจนไม่สามารถตรวจวัดความเข้มข้นในหน่วยเอสยูและเอดีเอ็มไอในน้ำเพอมีเอทได้ ถึงแม้ว่าสีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมจะเป็นสีที่สามารถละลายน้ำได้ดี เช่น สีสีร์แอททิฟ ทั้งนี้เนื่อง

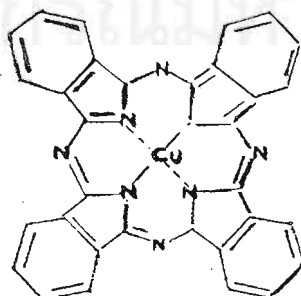
โมเลกุลของสี่เหลี่ยมมีขนาดโมเลกุลใหญ่มากคล้ายโครงสร้างสี่เหลี่ยมชนิดต่างๆดังรูปที่ 4.11 จึงไม่สามารถผ่านเยื่อเมมเบรนไปได้ โดยมีกลไกการจัดเป็นแบบการกรองติดผิวเมมเบรน

ตารางที่ 4.10 หน่วยสี่เหลี่ยมที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1

ชุดการทดลอง	ความดัน (psi)	สี่ (SU)							
		Feed (Avg.)	Permeate		Concentrate				
			Avg.	%rem	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
1	250	47	0	100	63	65	67	77	68
2	500	34	0	100	49	39	42	51	45
3	750	37	0	100	54	51	49	45	50
4	1000	38	0	100	63	49	50	50.0	53

ตารางที่ 4.11 หน่วยสี่เหลี่ยมที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 1

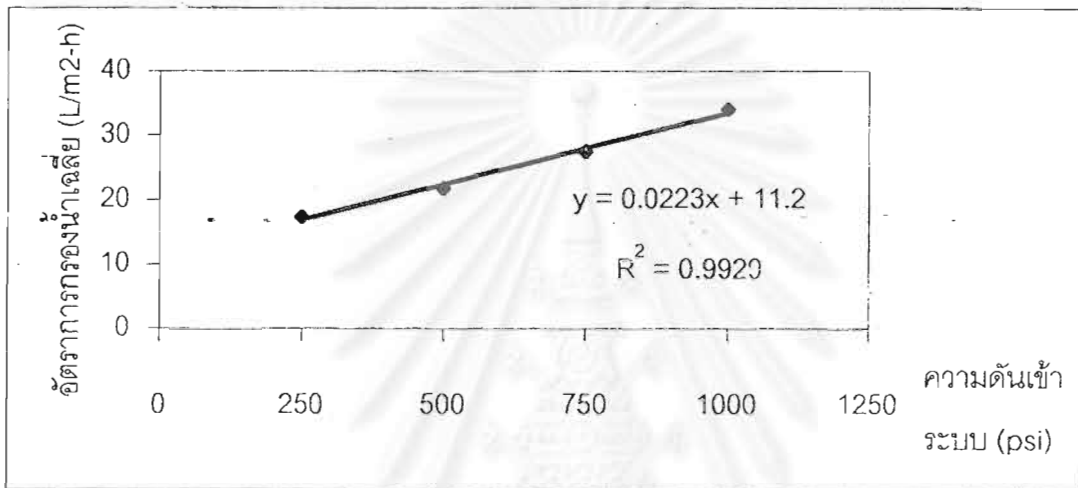
ชุดการทดลอง	ความดัน (psi)	สี่ (ADMI)							
		Feed (Avg.)	Permeate		Concentrate				
			Avg.	%rem	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
1	250	279	0	100	418	377	378	343	379
2	500	189	0	100	254	231	259	305	262
3	750	203	0	100	348	322	287	218	294
4	1000	208	0	100	320	271	294	251	284



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างโครงสร้างสี่เหลี่ยมชนิดต่างๆ

#### 4.2.8 ผลของความดันเข้าระบบต่ออัตราการกรองน้ำ

แนวโน้มผลของการเพิ่มความดันเข้าระบบต่ออัตราการกรองน้ำแสดงดังรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่อใช้ค่าความดันน้ำที่เข้าระบบสูงขึ้น มีผลทำให้ค่าอัตราการกรองน้ำเพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงที่ ตามสมการที่ 2.4 จากรูปสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ โดยมีค่าเท่ากับ  $0.0223 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot \text{psi}$



รูปที่ 4.12 ผลของความดันเข้าระบบต่ออัตราการกรองน้ำ

#### 4.3 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่มีต่อพารามิเตอร์ต่างๆ

การทดลองขั้นตอนที่ 2 ทำการศึกษาผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งแบ่งชุดการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลอง โดยทำการแปรผันค่าอัตราการเวียนกลับ 4 ค่า ที่อัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้น 0%, 25%, 50%, และ 75% ตามลำดับ และกำหนดค่าความดันคงที่โดยเลือกค่าความดันที่เหมาะสมจากผลการทดลองขั้นที่ 1 คือที่ความดัน 750 psi เนื่องจากเป็นค่าความดันที่ให้ค่าฟลักซ์สูงที่สุดในขณะที่คุณภาพของน้ำที่ผลิตได้ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ และมีผลการทดลองดังนี้

##### 4.3.1 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่ออุณหภูมิ

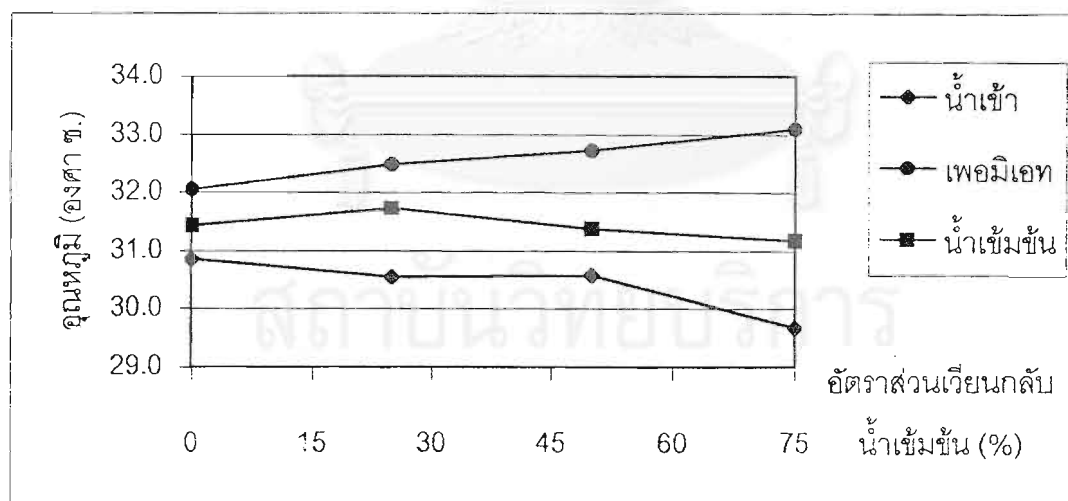
อุณหภูมิที่สภาวะต่างๆของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.12 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ค่าอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นแสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่าอุณหภูมิมีแนวโน้มสูงขึ้นในน้ำเข้า น้ำเวียนกลับเข้มข้น และเพอเมอเท ตามลำดับ ซึ่งเหตุผลดังที่กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.2.1 และยังพบว่าเมื่อมีอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 0, 25, 50 และ 75% มีผลทำให้อุณหภูมิในน้ำพอ



มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 32.1, 32.5, 32.7 และ 33.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นมากขึ้นทำให้น้ำเข้มข้นที่มีอุณหภูมิสูงกลับมาผสมในถึงน้ำเข้าทำให้น้ำที่เข้าสู่ระบบมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย และมีผลต่อเนื่องทำให้น้ำเพอมีเอทมีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อมีอัตราการเวียนน้ำกลับเข้มข้นสูงขึ้น แต่ทั้งนี้อุณหภูมิน้ำเพอมีเอทสูงขึ้นเพียง 1 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นตั้งแต่ 0 ถึง 75% ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบน้อยมากดังรูปที่ 2.5

ตารางที่ 4.12 อุณหภูมิที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 2

ชุดการทดลอง	อัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้น	อุณหภูมิ(°C)										
		Feed (Avg.)	Permeate					Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
5	0	30.9	32.5	31.8	31.9	32	32.1	31.5	31.8	31	31.4	31.4
6	25	30.6	32.8	32.4	32.3	32.4	32.5	31.7	31.7	31.5	32	31.7
7	50	30.6	33	32.7	32.6	32.6	32.7	31.5	31.3	31.8	30.9	31.4
8	75	29.7	33.3	32.9	33.1	33.1	33.1	31.2	30.6	31.3	31.6	31.2



รูปที่ 4.13 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่ออุณหภูมิ

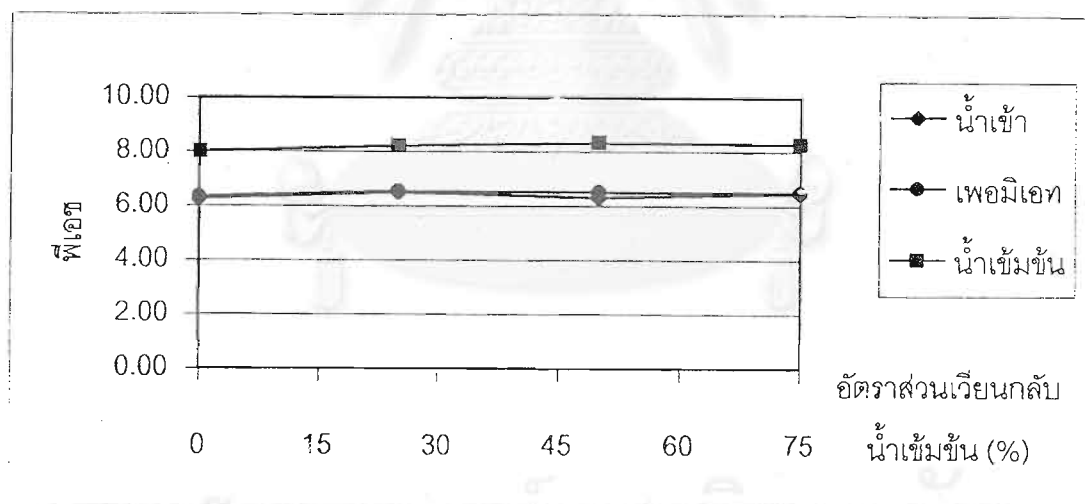
#### 4.3.2 ผลของค่าอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าพีเอช

ค่าพีเอชที่สภาวะต่างๆของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.13 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชที่อัตราการเวียนน้ำเข้มข้นต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.14 พบว่าค่าพีเอชที่สภาวะต่างๆ มีความคล้ายคลึงกับหัวข้อที่ 4.2.2 กล่าวคือ ค่าพีเอชของเพอมีเอทมีค่าเกือบคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำ

เข้าระบบ และค่าพีเอชของน้ำเวียนกลับเข้มข้นมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้า ยกตัวอย่าง เช่น ในชุดการทดลองที่มีอัตราการเวียนกลับเข้มข้น 0% มีค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเข้าและน้ำเวียนกลับเข้มข้น เท่ากับ 6.25 และ 8.02 ตามลำดับ สาเหตุทำให้เกิดผลดังกล่าวได้แสดงแล้วในหัวข้อ 4.2.2

ตารางที่ 4.13 พีเอชที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 2

ชุดการทดลอง	อัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้น	pH										
		Feed (Avg.)	Permeate					Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
5	0	6.25	6.50	6.28	6.28	6.24	6.33	7.43	8.17	8.26	8.21	8.02
6	25	6.49	6.57	6.57	6.57	6.48	6.55	8.27	8.16	8.26	8.19	8.22
7	50	6.31	6.69	6.48	6.48	6.39	6.51	8.38	8.28	8.50	8.24	8.35
8	75	6.47	6.47	6.52	6.52	6.47	6.50	8.30	8.24	8.20	8.45	8.30



รูปที่ 4.14 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อพีเอช

#### 4.3.3 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่มีต่อค่าของแข็งละลายและสภาพการนำไฟฟ้า

ค่าของแข็งละลายและสภาพการนำไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งละลายและสภาพการนำไฟฟ้าเมื่ออัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ พบว่าค่าของแข็งละลายมีความสอดคล้องกับสภาพการนำไฟฟ้า กล่าวคือเมื่อค่าของแข็งละลายมีค่าลดลงในเพอมีเอทเป็นผลทำให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าลดลงด้วย และยังพบว่าค่าของแข็งละลายในเพอมีเอทมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบ

เทียบกับน้ำเข้า หรือมีประสิทธิภาพเกือบ 100% ส่วนค่าของแข็งละลายในน้ำเข้มข้นมีค่าของแข็งละลายสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้า(สอดคล้องกับหัวข้อที่ 4.2.3)

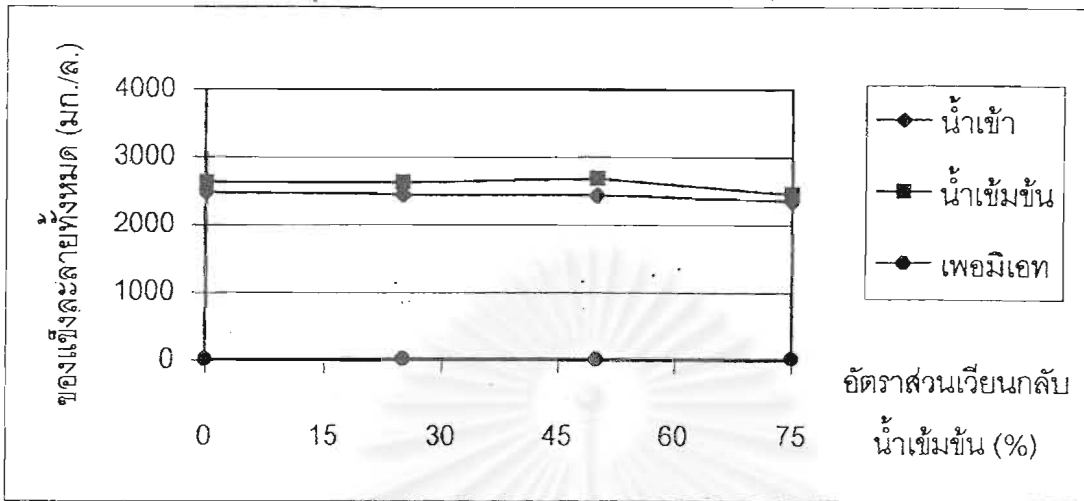
นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นเข้าสู่ถังน้ำเข้ามากขึ้นมีผลทำให้ค่าของแข็งละลายในเพอมีอิตสูงขึ้นด้วย คือ มีค่าเท่ากับ 16, 20, 23 และ 28 มก./ล. เมื่อมีอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นเข้าสู่ถังน้ำเข้าที่ 0, 25, 50 และ 75% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อมีอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าของแข็งละลายของน้ำเข้าเกิดการสะสมและมีค่าเพิ่มขึ้น(จากตารางที่ 4.14) ส่งผลให้ค่าแรงดันออสโมติกมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่ความดันที่ใช้ในการดำเนินระบบมีค่าคงที่ จึงมีผลทำให้ค่าฟลักซ์ของน้ำมีค่าลดลง นอกจากนี้ยังทำให้เกิด Concentration Polarization ส่งผลให้ค่าของแข็งละลายในน้ำเพอมีอิตมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.14 ของแข็งละลายที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 2

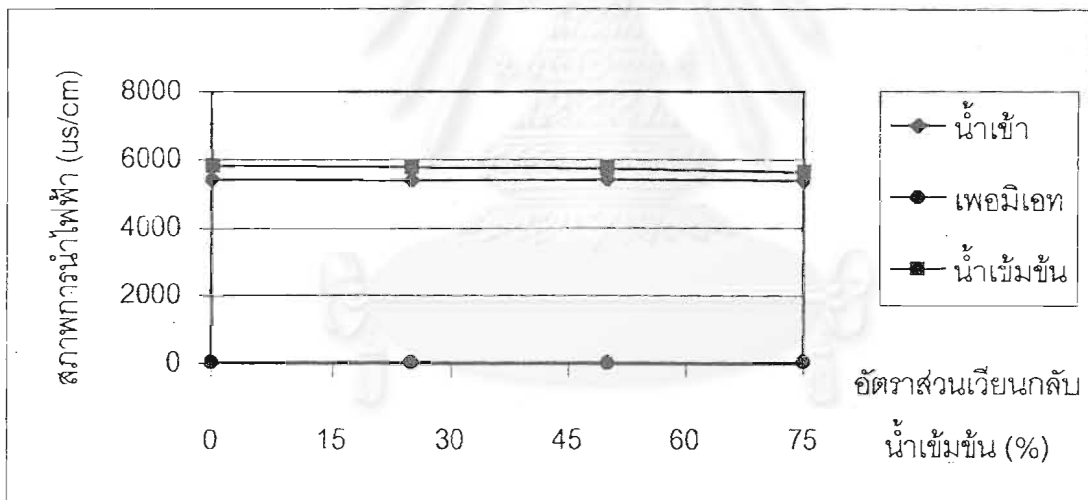
ชุดการทดลอง	อัตราส่วนเวียนกลับน้ำเข้มข้น	TDS (มก./ล.)											
		Feed (Avg.)	Permeate						Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	%rem	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
5	0	2475	13	15	18	19	16	96	2600	2550	2650	2650	2613
6	25	2450	17	18	21	22	20	96	2650	2650	2600	2550	2613
7	50	2438	19	22	24	25	23	100	2600	2800	2750	2550	2675
8	75	2350	23	26	29	32	28	100	2450	2400	2450	2500	2450

ตารางที่ 4.15 สภาพการนำไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 2

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนเวียนกลับน้ำเข้มข้น	Conductivity (us/cm)										
		Feed (Avg.)	Permeate					Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
5	0	5425	32	34	33	35	34	5800	5800	5850	5850	5825
6	25	5388	38	39	39	42	39	5650	5650	5850	5900	5763
7	50	5413	47	47	44	49	47	5800	5550	5900	5700	5738
8	75	5363	60	59	49	58	57	5550	5650	5600	5750	5638



รูปที่ 4.15 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าของแข็งละลาย



รูปที่ 4.16 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อสภาพการนำไฟฟ้า

#### 4.3.4 ผลของค่าอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าความขุ่นและค่าของแข็งแขวนลอย

ค่าความขุ่นและค่าของแข็งแขวนลอยที่สภาวะต่างๆของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ ส่วนแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและค่าของแข็งแขวนลอยเมื่ออัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.17 และ 4.18 พบว่าค่าความขุ่นและค่าของแข็งแขวนลอยในเพอมีเอทมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้าระบบ และมีค่าสูงขึ้นในน้ำเข้มข้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้า(สอดคล้องกับหัวข้อ 4.2.4)

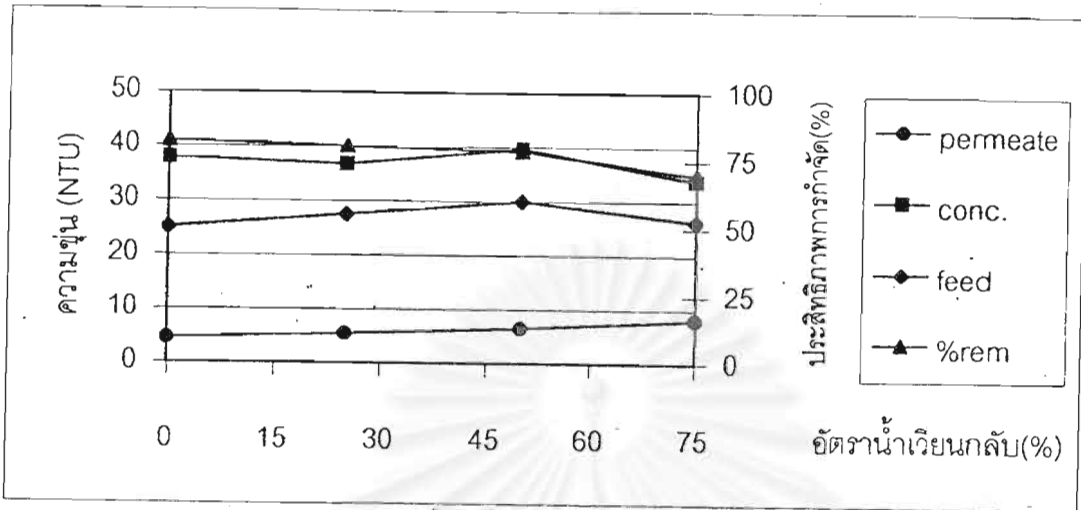
นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอยในน้ำเพอมีเอทมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อค่าอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มค่าอัตราการเวียนกลับจะทำให้เกิดการสะสมของอนุภาคความขุ่นและของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้า ทำให้เกิดการสะสมบนผิวหน้าของเมมเบรนเมื่อเวลาในการดำเนินระบบผ่านไประยะหนึ่ง ทำให้อนุภาคที่มีขนาดเล็กมากมีโอกาสที่จะหลุดลอดไปพร้อมกับน้ำเพอมีเอทได้

ตารางที่ 4.16 ค่าความขุ่นที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 2

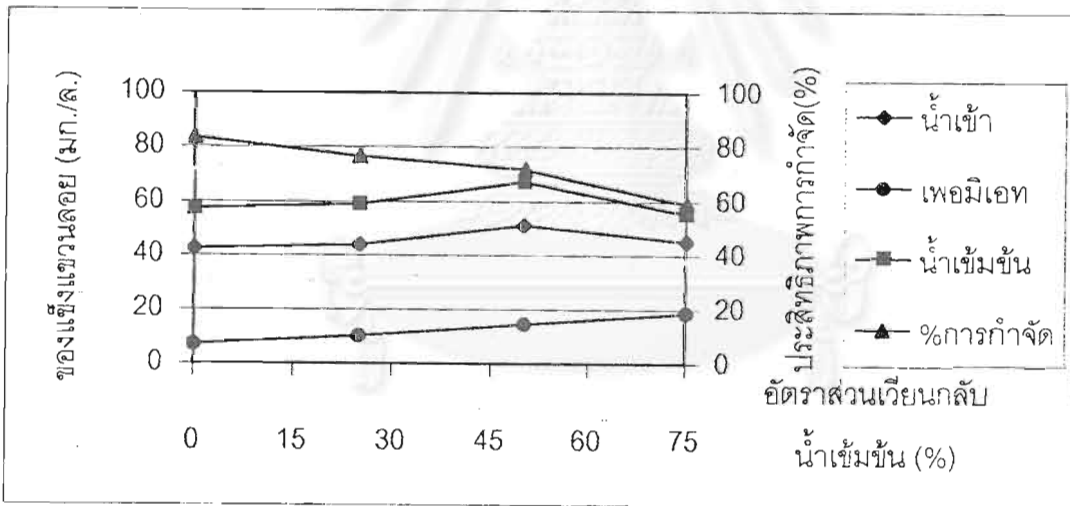
ชุดการทดลอง	อัตราส่วนเวียนกลับน้ำเข้มข้น	ความขุ่น (NTU)											
		Feed (Avg.)	Permeate						Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	%rem	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
5	0	25	4	5	5	4	5	82	40	35	43	33	38
6	25	28	5	6	6	5	6	80	44	38	31	34	37
7	50	30	7	6	7	6	7	78	42	38	39	40	40
8	75	26	9	8	7	8	8	70	32	34	32	37	34

ตารางที่ 4.17 ค่าของแข็งแขวนลอยที่สภาวะต่างๆของการทดลองขั้นตอนที่ 2

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนเวียนกลับน้ำเข้มข้น	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)											
		Feed (Avg.)	Permeate						Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	%rem	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
5	0	43	7	7	8	6	7	84	61	61	56	51	57
6	25	44	10	9	12	10	10	77	51	67	63	55	59
7	50	51	15	14	15	14	15	72	66	75	64	64	67
8	75	45	18	20	17	19	19	59	54	49	58	61	56



รูปที่ 4.17 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าความขุ่น



รูปที่ 4.18 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าของแข็งแขวนลอย

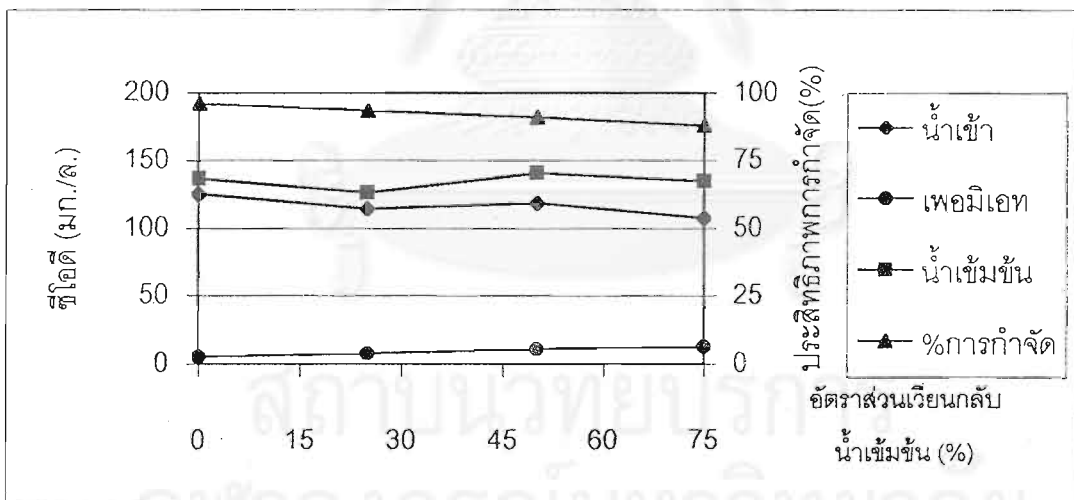
#### 4.3.5 ผลของค่าอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าซีโอดี

ค่าซีโอดีที่สภาวะต่างๆของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.18 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีเมื่ออัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่างๆดังรูปที่ 4.19 พบว่าค่าซีโอดีในเพอมีเอทมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้า และมีค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นในน้ำเข้มข้น(สอดคล้องกับหัวข้อที่ 4.2.5) ดังเช่น ในชุดการทดลองที่มีอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นเท่ากับ 0 มีค่าซีโอดีของน้ำเข้า เพอมีเอทและน้ำเข้มข้นเท่ากับ 125, 5 และ 136 มก./ล. ตามลำดับ

นอกจากนี้เมื่ออัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นมีผลทำให้ค่าซีไอดีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย กล่าวคือเมื่ออัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้น 0, 25, 50 และ 75% มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ 5, 8, 11 และ 13 มก./ล.ตามลำดับ ซึ่งผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับค่าของแข็งแขวนลอยและความขุ่นในหัวข้อ 4.3.4

ตารางที่ 4.18 ค่าซีไอดีที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 2

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนเวียนกลับน้ำเข้มข้น	ซีไอดี (มก./ล.)											
		Feed (Avg.)	Permeate						Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	%rem	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
5	0	125	5	5	5	5	5	96	127	148	146	124	136
6	25	114	8	7	8	7	8	93	122	140	116	126	126
7	50	118	10	12	12	9	11	91	141	146	128	146	140
8	75	108	12	15	15	10	13	88	140	130	146	121	134



รูปที่ 4.19 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าซีไอดี

#### 4.3.6 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่อค่าคลอไรด์และเหล็ก

ค่าคลอไรด์และเหล็กที่สภาวะต่างๆของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าคลอไรด์และเหล็กที่อัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ พบว่าเพอมีเอทมีค่าคลอไรด์และเหล็กต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้าระบบและมีประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์เท่ากับ 81-90% และประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กเท่ากับ

80% และมีปริมาณคลอไรด์และเหล็กในน้ำเข้มข้นสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้า(สอดคล้องกับหัวข้อ 4.2.6) และพบว่าเมื่อมีอัตราการเวียนกลับสูงขึ้นทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กเกือบคงที่ และประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์ลดลงซึ่งสอดคล้องกับค่าของแข็งละลายในหัวข้อ 4.3.3 ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นสูงขึ้นทำให้ปริมาณค่าคลอไรด์ในน้ำเข้ามากขึ้น จึงทำให้ฟลักซ์ของคลอไรด์สูงขึ้นที่ผิวเมมเบรน เป็นผลให้ปริมาณคลอไรด์มีอัตราการแพร่ในเพอมีเอทสูงขึ้นด้วย

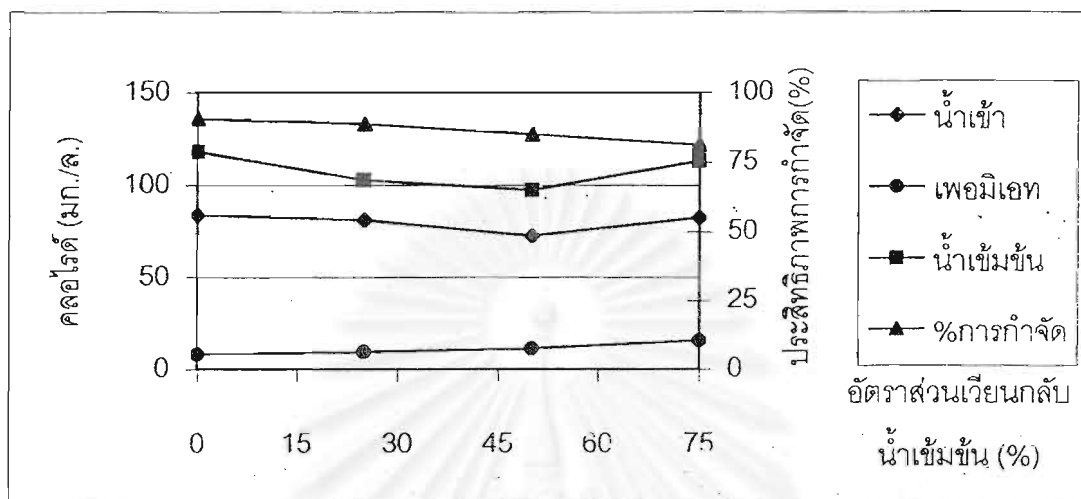
ตารางที่ 4.19 ค่าคลอไรด์ที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 2

ชุดการทดลอง	อัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้น	คลอไรด์ (มก./ล.)											
		Feed (Avg.)	Permeate						Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	%rem	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
5	0	84	8	7	10	7	8	90	112	117	141	102	118
6	25	81	8	10	10	9	9	89	88	99	114	110	103
7	50	73	10	11	10	13	11	85	88	94	102	104	97
8	75	83	17	16	14	15	16	81	122	117	104	110	113

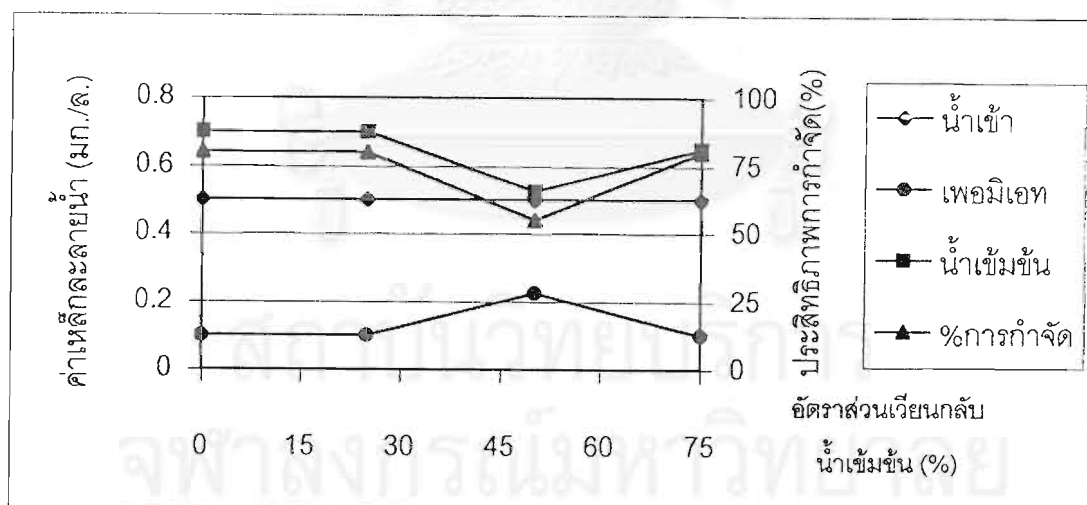
ตารางที่ 4.20 ค่าเหล็กที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 2

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนเวียนกลับน้ำเข้มข้น	เหล็ก (มก./ล.)											
		Feed (Avg.)	permeate						concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	%rem	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
5	0	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	80	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
6	25	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	80	0.8	0.7	0.6	0.7	0.7
7	50	0.5	0.1	0.6	0.1	0.1	0.2	55	0.6	0.1	0.7	0.7	0.5
8	75	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	80	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7





รูปที่ 4.20 ผลของอัตราการเวียนกลีบน้ำเข้มข้นต่อค่าคลอโรฟิลด์



รูปที่ 4.21 ผลของอัตราการเวียนกลีบน้ำเข้มข้นต่อค่าเหล็ก

#### 4.3.7 ผลของอัตราการเวียนกลีบน้ำเข้มข้นต่อการกำจัดลี

ค่าของสีในหน่วยเอสยูและเอดีเอ็มไอที่สภาวะต่างๆของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.21 และ 4.22 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสีในหน่วยเอสยูและเอดีเอ็มไอมีความคล้ายคลึงกันทุกชุดการทดลอง กล่าวคือค่าสีในหน่วยเอสยูและเอดีเอ็มไอในเพอมีเอทมีค่าเท่ากับ 0 ทั้งในหน่วยเอสยูและ

เอดีเอ็มไอ หรือกล่าวว่ประสิทธิภาพการกำจัดทุกชุดการทดลองเท่ากับ 100 % และค่าสีในน้ำเข้มข้นมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีในน้ำเข้าระบบ(สอดคล้องในหัวข้อ 4.2.7) และการที่สีถูกกำจัดหมดในเพอมีเอท ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของสีข้อมโดยทั่วไปมีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่มาก ดังนั้นจึงถูกคักด้วยเมมเบรนทั้งหมด

ตารางที่ 4.21 ค่าสีหน่วยเอสยูที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 2

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนเวียนกลับน้ำเข้มข้น	สี (SU)							
		Feed (Avg.)	Permeate		Concentrate				
			Avg.	%rem	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
5	0	47	0	100	63	65	67	77	68
6	25	34	0	100	49	39	42	51	45
7	50	37	0	100	54	51	49	45	50
8	75	38	0	100	63	49	50	50.0	53

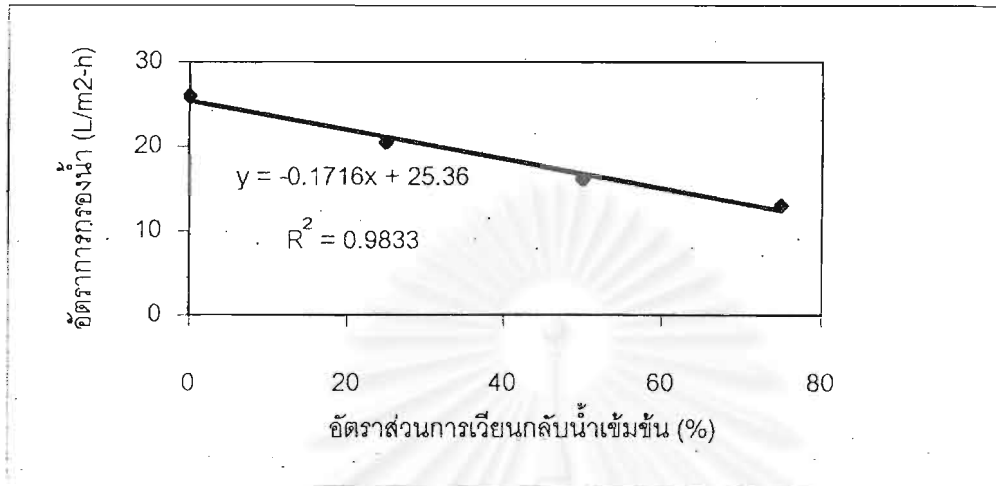
ตารางที่ 4.22 ค่าสีหน่วยเอดีเอ็มไอที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 2

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนเวียนกลับน้ำเข้มข้น	สี (ADMI)							
		Feed (Avg.)	Permeate		Concentrate				
			Avg.	%rem	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
5	0	279	0	100	418	377	378	343	379
6	25	189	0	100	254	231	259	305	262
7	50	203	0	100	348	322	287	218	294
8	75	208	0	100	320	271	294	251	284

#### 4.3.8 ผลของอัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่มีต่ออัตราการกรองน้ำ

แนวโน้มของอัตราการกรองน้ำเมื่ออัตราการเวียนน้ำเข้มข้นสูงขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.22 พบว่าอัตราการกรองน้ำเท่ากับ 26.0, 20.4, 16.2 และ 13.1  $\text{I/m}^2.\text{hr}$ . เมื่ออัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นเท่ากับ 0, 25, 50 และ 75% ของน้ำเข้าระบบ และจากรูปที่ 4.22 พบว่าอัตราการของอัตราการกรองน้ำลดลงด้วยอัตราคงที่ และมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงดังสมการดังนี้

$$y = -0.17x + 25.4 ; R^2 = 0.98$$



รูปที่ 4.22 ผลของอัตราส่วนการเวียนกลับน้ำเข้มข้นต่ออัตราการกรองน้ำ

สาเหตุที่ทำให้อัตราการกรองน้ำลดลงเมื่อมีอัตราส่วนการเวียนกลับน้ำเข้มข้นสูงขึ้นเนื่องจากเมื่ออัตราส่วนการเวียนกลับน้ำเข้มข้นสูงขึ้นทำให้ความดันออสโมติกสูงขึ้นในขณะที่ค่าความดันที่ใช้มีค่าคงที่ ทำให้ค่าพลังขับเคลื่อนน้ำมีค่าลดลง ตามสมการที่ 2.4

#### 4.4 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทที่มีต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ

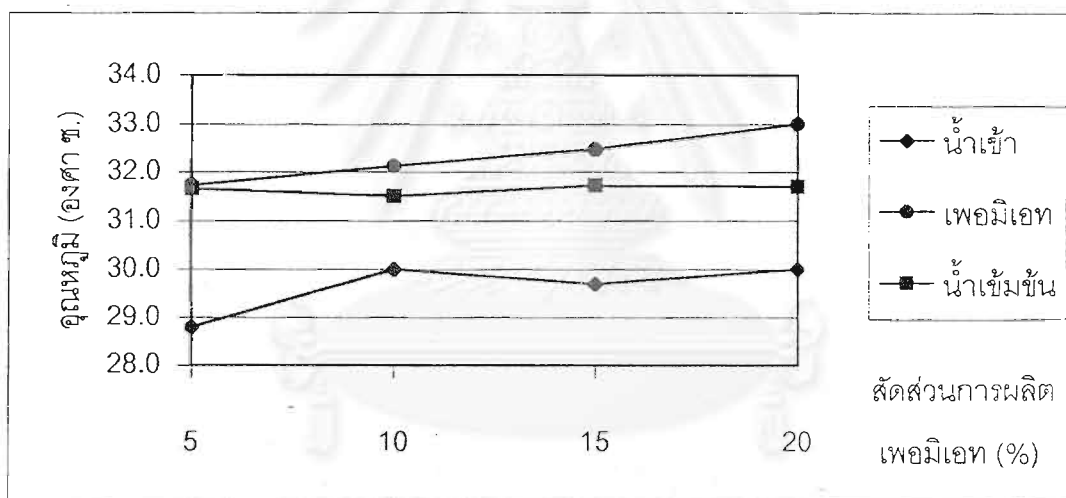
การทดลองขั้นตอนที่ 3 ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อประสิทธิภาพการกำจัดพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งแบ่งชุดการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลอง โดยทำการแปรผันค่าอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอท 4 ค่า คือ 5%, 10%, 15%, และ 20% ตามลำดับ และกำหนดค่าความดันคงที่โดยเลือกค่าความดันที่เหมาะสมจากผลการทดลองขั้นที่ 1 คือที่ความดัน 750 psi โดยใช้เหตุผลเดียวกับการศึกษาถึงผลของอัตราส่วนการเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่มีต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยใช้อัตราส่วนการเวียนกลับน้ำเข้มข้นคงที่ ที่ 50% เนื่องจากเป็นอัตราที่มากที่สุดที่สามารถผลิตน้ำได้ในปริมาณสูงพอเหมาะ และคุณภาพของน้ำยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีผลการทดลองดังนี้

##### 4.4.1 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่ออุณหภูมิ

อุณหภูมิที่สภาวะต่าง ๆ ของทุกชุดการทดลองแสดงดัง ตารางที่ 4.23 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ค่าอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทแสดงดังรูปที่ 4.23 พบว่าอุณหภูมิของน้ำเพอมีเอทมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิของน้ำเข้า แต่อัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทไม่มีผลมากนักต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.23 ค่าอุณหภูมิที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 3

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนการผลิตเพอมีเอท	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)									
		Permeate					Concentrate				
		ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
9	5	31.3	32.1	31.9	31.6	31.7	31	32.1	31.9	31.6	31.7
10	10	31.6	32.4	32.4	32.1	32.1	31.6	31.4	31.5	31.5	31.5
11	15	31.8	32.7	32.9	32.5	32.5	31.8	31.6	31.8	31.7	31.7
12	20	32.5	33.2	33.4	32.9	33.0	31.7	31.7	31.6	31.8	31.7



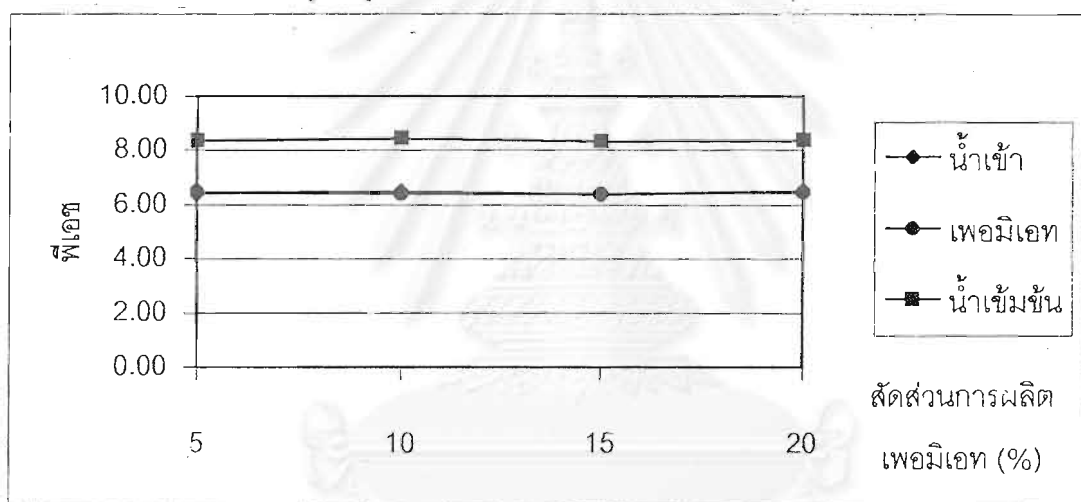
รูปที่ 4.23 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่ออุณหภูมิ

#### 4.4.2 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อค่าพีเอช

ค่าพีเอชที่สภาวะต่างๆของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.24 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชที่อัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.24 พบว่าค่าพีเอชที่สภาวะต่างๆมีความคล้ายคลึงกับหัวข้อที่ 4.2.2 และ 4.3.2 กล่าวคือ ค่าพีเอชของเพอมีเอทมีค่าเกือบคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้าระบบ และค่าพีเอชของน้ำเวียนกลับเข้มข้นมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้า ยกตัวอย่าง เช่น ในชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอท 5% มีค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเข้าและน้ำเวียนกลับเข้มข้นเท่ากับ 6.42 และ 8.34 ตามลำดับ สาเหตุทำให้เกิดผลดังกล่าวได้แสดงแล้วในหัวข้อ 4.2.2 และ 4.3.2

ตารางที่ 4.24 ค่าพีเอชที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 3

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนการผลิตเพอมีเอท	pH										
		Feed (Avg.)	Permeate					Concentrate				
			ชม.2	ชม.4	ชม.6	ชม.8	Avg.	ชม.2	ชม.4	ชม.6	ชม.8	Avg.
9	5	6.42	6.37	6.42	6.47	6.58	6.46	7.85	8.25	8.80	8.45	8.34
10	10	6.49	6.43	6.39	6.41	6.35	6.40	8.50	8.41	8.36	8.44	8.43
11	15	6.37	6.39	6.41	6.38	6.43	6.40	8.20	8.23	8.36	8.46	8.31
12	20	6.52	6.41	6.37	6.50	6.58	6.47	8.12	8.42	8.56	8.40	8.38



รูปที่ 4.24 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อพีเอช

#### 4.4.3 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อค่าของแข็งละลายและสภาพการนำไฟฟ้า

ค่าของแข็งละลายและสภาพการนำไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ ของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งละลายและสภาพการนำไฟฟ้าเมื่ออัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ พบว่าค่าของแข็งละลายมีความสอดคล้องกับสภาพการนำไฟฟ้า กล่าวคือเมื่อค่าของแข็งละลายมีค่าลดลงในเพอมีเอทเป็นผลทำให้ค่าสภาพการนำไฟฟ้าลดลงด้วย และยังพบว่าค่าของแข็งละลายในเพอมีเอทมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้า หรือมีประสิทธิภาพเกือบ 100% ส่วนค่าของแข็งละลายในน้ำเข้มข้นมีค่าของแข็งละลายสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้า(สอดคล้องกับหัวข้อที่ 4.2.3 และ 4.3.3)

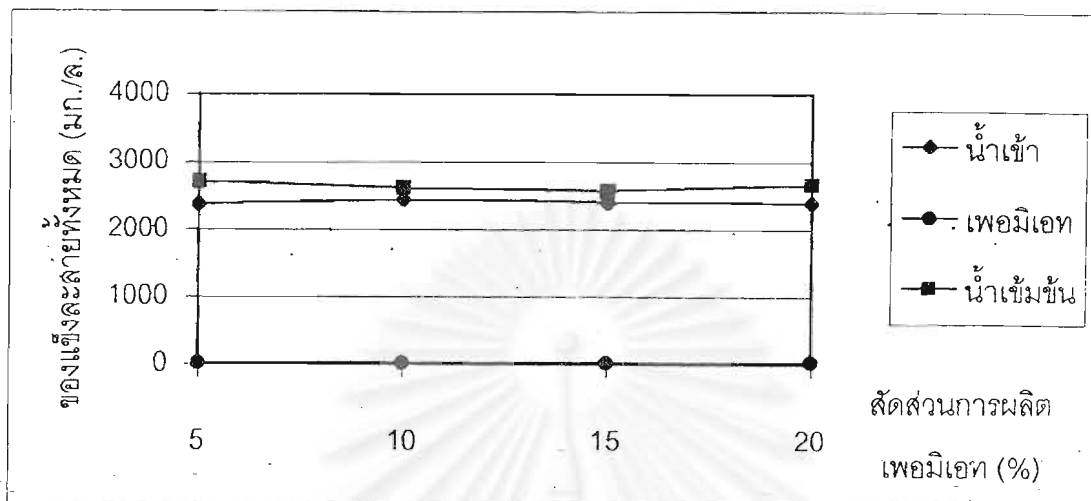
นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนการผลิตเพอมีอเทอมีผลทำให้ค่าของแข็งละลายในเพอมีอเทอสูงขึ้นด้วย คือ มีค่าเท่ากับ 15, 19, 24 และ 29 มก./ล. เมื่ออัตราส่วนการผลิตเพอมีอเทอเท่ากับ 5, 10, 15 และ 20% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนผลิตเพอริอเทอเพิ่มขึ้น ทำให้ฟลักซ์ของน้ำเพิ่มขึ้น และเกิดการสะสมตัวของของแข็งละลายและไอออนต่าง ๆ บนผิวหน้าของเมมเบรน เกิด Concentration Polarization และทำให้ค่าของแข็งละลายในน้ำเพอมีอเทอมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการผลิตเพอมีอเทอ เช่นเดียวกับผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีอเทอต่อค่าความนำไฟฟ้า ซึ่งอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน

ตารางที่ 4.25 ค่าของแข็งละลายที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 3

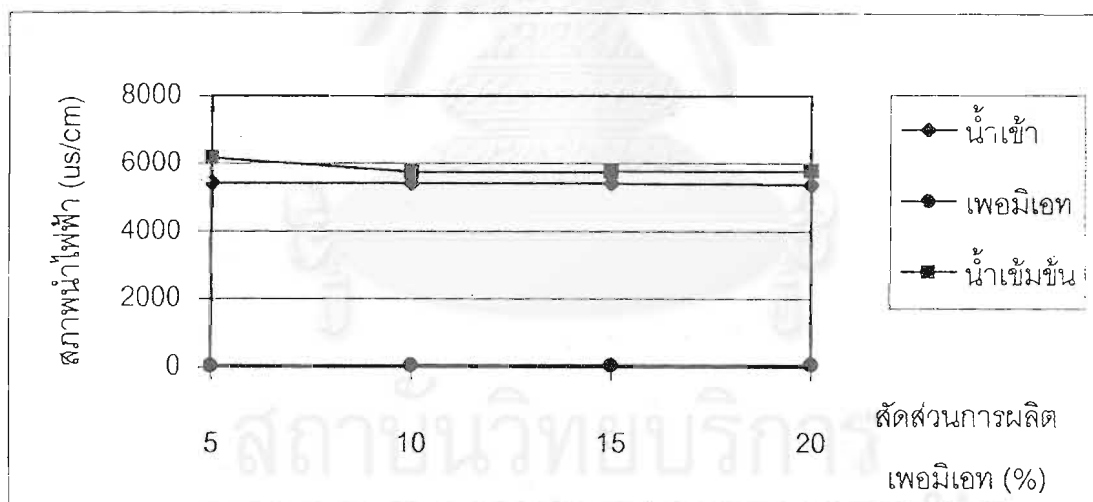
ชุดการทดลอง	อัตราส่วนผลิตเพอมีอเทอ	TDS (มก./ล.)										
		Feed (Avg.)	Permeate					Concentrate				
			ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 8	Avg.
9	5	2375	11	14	16	17	15	3000	2600	2650	2600	2713
10	10	2450	15	19	19	21	19	2600	2700	2550	2600	2613
11	15	2413	19	24	23	28	24	2450	2600	2600	2650	2575
12	20	2400	23	28	30	33	29	2600	2500	2750	2800	2563

ตารางที่ 4.26 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 3

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนผลิตเพอมีอเทอ	Conductivity (us/cm)										
		Feed (Avg.)	Permeate					Concentrate				
			ชม.2	ชม.4	ชม.6	ชม.8	Avg.	ชม.2	ชม.4	ชม.6	ชม.8	Avg.
9	5	5425	37	39	42	44	41	7340	5600	5950	5800	6173
10	10	5400	45	43	49	54	48	5900	5700	5600	5700	5725
11	15	5413	51	52	58	67	57	5550	5900	5700	5850	5750
12	20	5375	62	67	65	72	67	5500	5900	5800	5900	5775



รูปที่ 4.25 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อของแข็งละลาย



รูปที่ 4.26 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อสภาพการนำไฟฟ้า

#### 4.4.4 ผลของค่าอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อค่าความขุ่นและค่าของแข็งแขวนลอย

ค่าความขุ่นและค่าของแข็งแขวนลอยที่สภาวะต่างๆของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.27 และ 4.28 ตามลำดับ ส่วนแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและค่าของแข็งแขวนลอยเมื่อใช้อัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.27 และ 4.28 พบว่าค่าความขุ่นและค่าของแข็งแขวนลอยในเพอมีเอทมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้าระบบ และมีค่าสูงขึ้นในน้ำเข้มข้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้า(สอดคล้องกับหัวข้อ 4.2.4 และ 4.3.4)

นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความขุ่นและของแข็งแขวนลอยในน้ำเพอมีเอทมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อค่าอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทจะทำให้เกิดการสะสมของอนุภาคความขุ่นและของแข็งแขวนลอยในน้ำเข้าเนื่องจากอัตราการผลิตเพอมีเอทที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของอนุภาคในน้ำมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้เกิดการสะสมบนผิวหน้าของเมมเบรน ทำให้อนุภาคสามารถที่จะหลุดลอดไปพร้อมกับน้ำเพอมีเอทได้ ทั้งนี้พบว่าสอดคล้องกับค่าของแข็งละลายในหัวข้อ 4.4.3 แต่อย่างไรก็ตามกลไกในการกำจัดของแข็งละลายและความขุ่นมีแตกต่างกัน กล่าวคือการกำจัดค่าความขุ่นและค่าของแข็งแขวนลอยอาศัยกลไกหลักคือการกรองติดผิวเมมเบรน แต่การกำจัดค่าของแข็งละลายและค่าความนำไฟฟ้า อาศัยกลไกการแพร่และประจุไฟฟ้า ระหว่างผิวเมมเบรนกับอออนเป็นกลไกหลักซึ่งผลของ Concentration Polarization จะมีผลมากกว่า

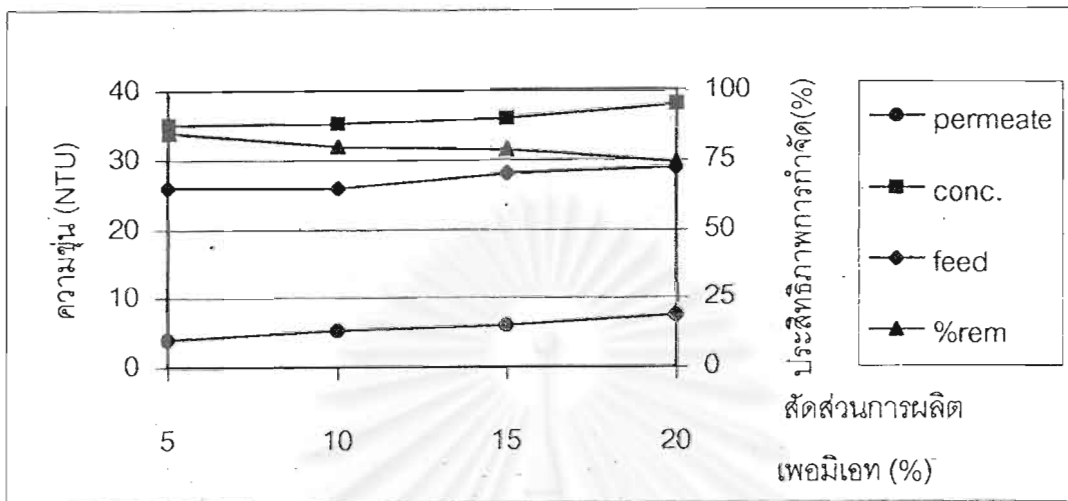
ตารางที่ 4.27 ค่าความขุ่นที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 3

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนผลิตเพอมีเอท	ความขุ่น (NTU)											
		Feed (Avg.)	Permeate						Concentrate				
			ชม.2	ชม.4	ชม.6	ชม.8	Avg.	%rem	ชม.2	ชม.4	ชม.6	ชม.8	Avg.
9	5	26	3	4	4	5	4	85	37	40	30	33	35
10	10	26	4	5	5	7	5	80	33	32	42	34	35
11	15	28	4	6	6	8	6	79	32	39	41	32	36
12	20	29	6	7	8	9	8	74	41	33	39	39	38

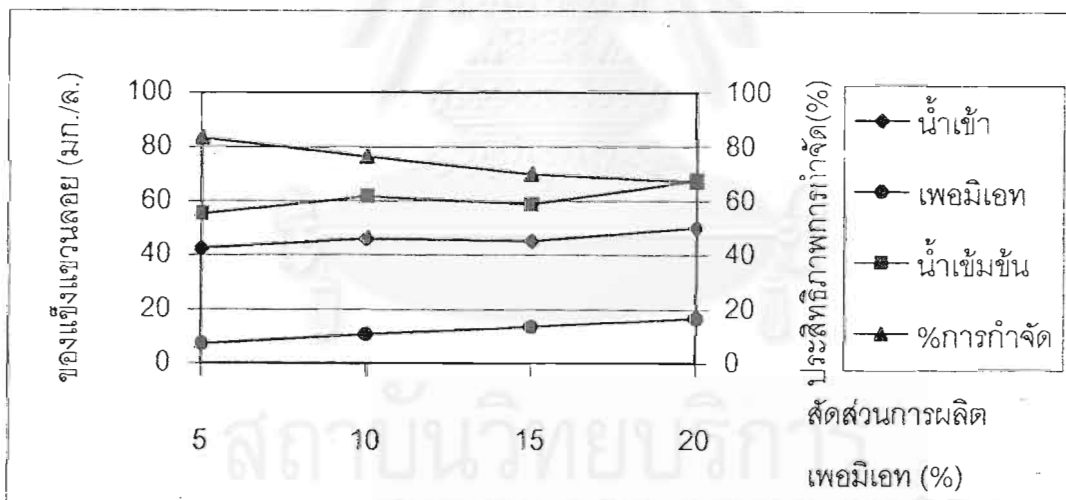
ตารางที่ 4.28 ค่าของแข็งแขวนลอยที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 3

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนผลิตเพอมีเอท	ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)											
		Feed (Avg.)	Permeate						Concentrate				
			ชม.2	ชม.4	ชม.6	ชม.8	Avg.	%rem	ชม.2	ชม.4	ชม.6	ชม.8	Avg.
9	5	43	6	7	7	8	7	84	56	54	54	57	55
10	10	46	9	11	11	12	11	77	64	65	67	50	62
11	15	45	13	14	13	14	14	70	56	55	70	54	59
12	20	50	15	17	16	18	17	67	59	57	77	77	68





รูปที่ 4.27 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อความขุ่น



รูปที่ 4.28 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อของแข็งแขวนลอย

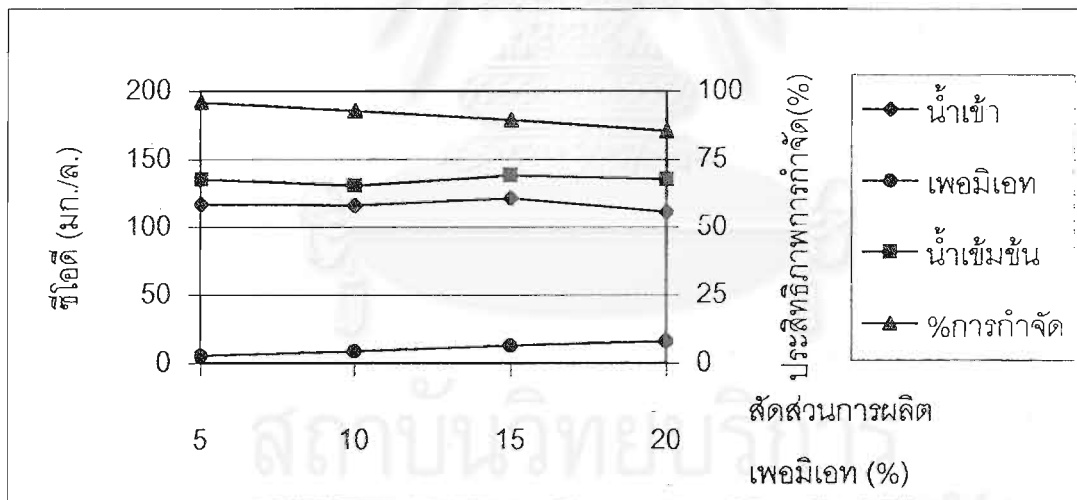
4.4.5 ผลของค่าอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อค่าซีโอดี

ค่าซีโอดีที่ลักษณะต่างๆของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.29 และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีเมื่ออัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่างๆดังรูปที่ 4.29 พบว่าค่าซีโอดีในเพอมีเอทมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้า และมีค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นในน้ำเข้มข้น(สอดคล้องกับหัวข้อที่ 4.2.5 และ 4.3.5) ดังเช่น ในชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทเท่ากับ 5% มีค่าซีโอดีของน้ำเข้า เพอมีเอทและน้ำเข้มข้นเท่ากับ 117, 96 และ 135 มก./ล. ตามลำดับ

นอกจากนี้เมื่ออัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย กล่าวคือเมื่ออัตราส่วนการผลิตเพอมีเอท 5, 10, 15 และ 20% มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 5, 9, 13 และ 16 มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งผลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับค่าของแรงแวนลอยและความขุ่นในหัวข้อ 4.4.4

ตารางที่ 4.29 ค่าซีโอดีที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 3

ชุดการทดลอง	อัตราส่วน เวียนกลับ น้ำเข้มข้น	ซีโอดี (มก./ล.)											
		Feed (Avg.)	Permeate						Concentrate				
			ชม.2	ชม.4	ชม.6	ชม.8	Avg.	%rem	ชม.2	ชม.4	ชม.6	ชม.8	Avg.
9	5	117	5	5	5	5	5	96	160	126	122	133	135
10	10	116	7	8	9	10	9	93	134	129	128	131	131
11	15	121	14	12	14	12	13	89	124	131	144	154	138
12	20	111	20	15	15	15	16	85	149	128	129	134	135



รูปที่ 4.29 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อของซีโอดี

4.4.6 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อค่าคลอไรด์และเหล็ก

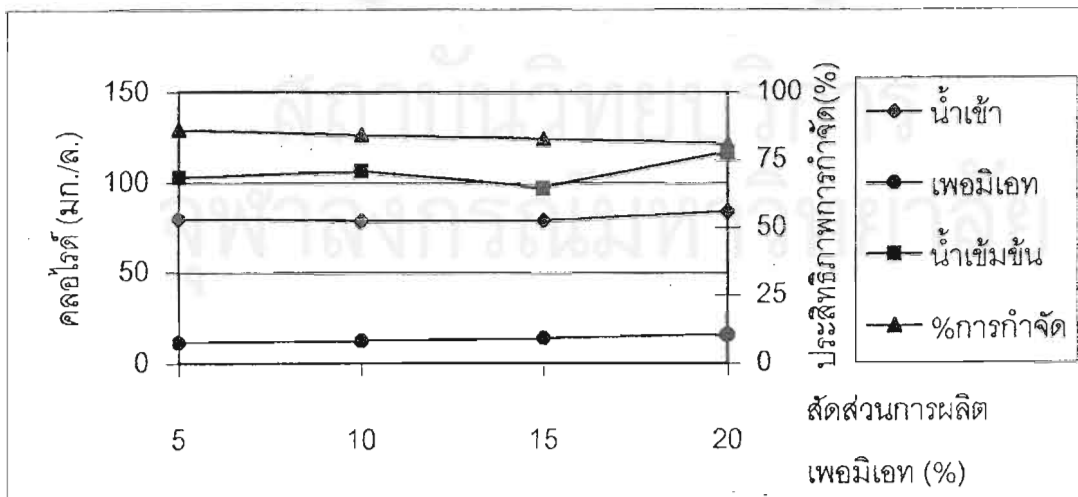
ค่าคลอไรด์และเหล็กที่สภาวะต่างๆของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.30 และ 4.31 ตามลำดับ และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าคลอไรด์และเหล็กอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่างๆแสดงดังรูปที่ 4.30 และ 4.31- ตามลำดับ พบว่าเพอมีเอทมีค่าคลอไรด์และเหล็กต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้าระบบและมีประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์เท่ากับ 81-86% และประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กเท่ากับ 82% และมีปริมาณคลอไรด์และเหล็กในน้ำเข้มข้นสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเข้า(สอดคล้องกับหัว

ตารางที่ 4.30 ค่าคลอไรด์ที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 3

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนเวียนกลับน้ำเข้มข้น	คลอไรด์ (มก./ล.)											
		Feed (Avg.)	Permeate						Concentrate				
			ชม.2	ชม.4	ชม.6	ชม.8	Avg.	%rem	ชม.2	ชม.4	ชม.6	ชม.8	Avg.
9	5	80	11	12	12	10	11	86	94	106	106	105	103
10	10	79	13	14	11	12	13	84	104	119	98	104	106
11	15	79	14	14	13	14	14	83	98	98	91	102	97
12	20	84	16	18	17	13	16	81	136	126	112	94	117

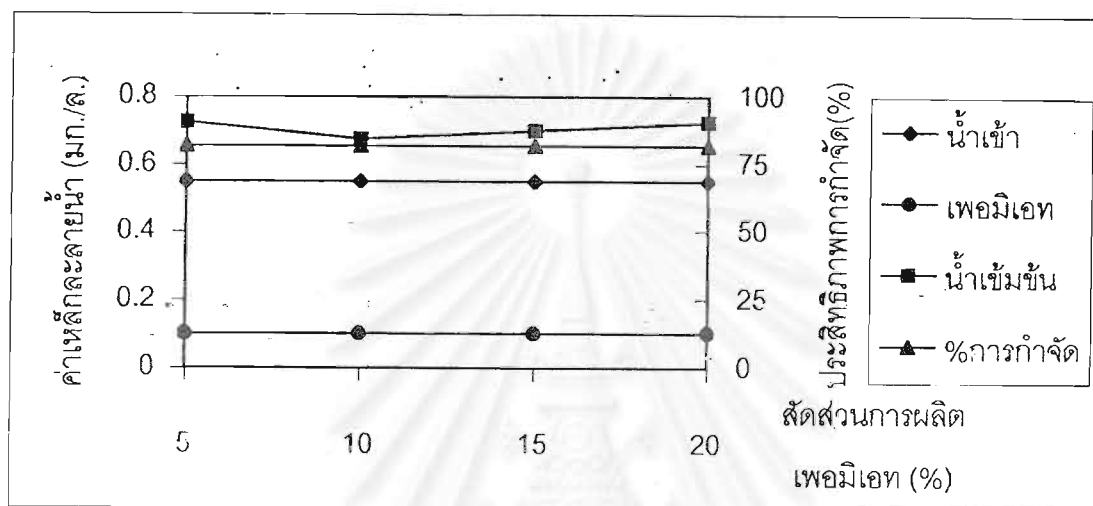
ตารางที่ 4.31 ค่าเหล็กที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 3

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนเวียนกลับน้ำเข้มข้น	เหล็ก (มก./ล.)											
		Feed (Avg.)	Permeate						Concentrate				
			ชม.2	ชม.4	ชม.6	ชม.8	Avg.	%rem	ชม.2	ชม.4	ชม.6	ชม.8	Avg.
9	5	0.55	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	82	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7
10	10	0.55	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	82	0.8	0.6	0.7	0.6	0.7
11	15	0.55	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	82	0.8	0.7	0.6	0.7	0.7
12	20	0.55	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	82	0.7	0.6	0.8	0.8	0.7



รูปที่ 4.30 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อของคลอไรด์

ข้อ 4.2.6 และ 4.3.6) และพบว่าเมื่อมีอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทสูงขึ้นทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กเกือบคงที่ และประสิทธิภาพการกำจัดคลอไรด์ลดลงซึ่งสอดคล้องและสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับค่าการกำจัดของแข็งละลายในหัวข้อ 4.4.3



รูปที่ 4.31 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อของเหล็ก

#### 4.4.7 ผลของอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทต่อการกำจัดสี

ค่าของสีในหน่วยเอสยูและเอดีเอ็มไอที่สภาวะต่างๆของทุกชุดการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.32 และ 4.33 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าสีในหน่วยเอสยูและเอดีเอ็มไอมีความคล้ายคลึงกันทุกชุดการทดลอง กล่าวคือค่าสีในหน่วยเอสยูและเอดีเอ็มไอในเพอริเอสมีค่าเท่ากับ 0 ทั้งในหน่วยเอสยูและเอดีเอ็มไอ หรือกล่าวว่าประสิทธิภาพการกำจัดทุกชุดการทดลองเท่ากับ 100 % และค่าสีในน้ำเข้มข้นมีค่าสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสีในน้ำเข้าระบบ(สอดคล้องในหัวข้อ 4.2.7 และ 4.3.7) และการที่สีถูกกำจัดหมดในเพอมีเอท ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของสียอมโดยทั่วไปมีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่มาก ดังนั้นจึงถูกดักด้วยเมมเบรนทั้งหมด

ตารางที่ 4.32 ค่าความเข้มข้นหน่วยเอสยูที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 3

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนเวียนกลับน้ำเข้มข้น	สี (SU)							
		Feed (Avg.)	Permeate		Concentrate				
			Avg.	%rem	ชม.2	ชม.4	ชม.6	ชม.8	Avg.
9	5	26	0	100	39	36	39	31	36
10	10	31	0	100	45	44	43	42	44
11	15	26	0	100	38	36	36	38	37
12	20	29	0	100	40	45	39	41.0	41

ตารางที่ 4.33 ค่าความเข้มข้นหน่วยเอดีเอ็มไอที่สภาวะต่างๆ ของการทดลองขั้นตอนที่ 3

ชุดการทดลอง	อัตราส่วนเวียนกลับน้ำเข้มข้น	สี (ADMI)							
		Feed (Avg.)	Permeate		Concentrate				
			Avg.	%rem	ชม.2	ชม.4	ชม.6	ชม.8	Avg.
9	5	143	0	100	202	159	165	158	171
10	10	175	0	100	211	242	205	201	215
11	15	150	0	100	163	175	175	210	181
12	20	174	0	100	209	212	198	181	200

#### 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบออสโมซิสผันกลับ

สำหรับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายการบำบัดน้ำเสียในงานวิจัยนี้จะพิจารณาค่าใช้จ่ายการบำบัดน้ำเสียของระบบอาร์โอ โดยค่าใช้จ่ายการบำบัดน้ำเสียแบ่งออกเป็น ค่าใช้จ่ายส่วนการลงทุนและค่าใช้จ่ายส่วนการดำเนินการและบำรุงรักษา

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายการบำบัดน้ำเสียมีสมมติฐานดังนี้

- การวิเคราะห์ระบบที่สามารถรองรับน้ำทิ้งจากโรงงาน โดยมีอัตราการบำบัดน้ำเสีย ( $Q_p$ )  $100 \text{ m}^3/\text{hr}$ . ( $2,400 \text{ m}^3/\text{day}$ )
- การดำเนินการของระบบ 300 วันต่อปี และทำงานวันละ 24 ชม.
- อายุการทำงานของระบบ 10 ปี

- อัตราแลกเปลี่ยน 1 \$ เท่ากับ 40 ฿
- สภาพะการทำงานของระบบใช้ ความดันขาเข้า ( $P_1$ ) 750 psi และมีการวนกลับน้ำเข้มข้น ร้อยละ 50
- ปริมาณน้ำที่ผลิตได้ต่อปี เท่ากับ 720,000 ลบ.เมตร

การคำนวณค่าใช้จ่ายการบำบัดน้ำเสียระบบบอร์โอ ค่าใช้จ่ายการบำบัดน้ำเสียทั้งหมดเกิดจากค่าใช้จ่ายส่วนการลงทุนรวมกับค่าใช้จ่ายการดำเนินการและบำรุงรักษา ซึ่งค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดพิจารณาในรูปของราคาต่อปริมาตรการบำบัดน้ำเสีย (บาท/ลูกบาศก์เมตร) มีรายละเอียดในการประมาณการ ดังนี้

#### 4.5.1 เงินลงทุนเริ่มต้น

เงินลงทุนต่อหน่วยของระบบออสโมซิสผันกลับขึ้นอยู่กับ ทำเลที่ตั้ง ขนาดของกำลังการผลิต ระดับการปรับปรุงสภาพน้ำเบื้องต้น (degree of pretreatment) และข้อจำกัดต่างๆ ของแต่ละโครงการ ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 ส่วนประกอบของเงินลงทุนของระบบออสโมซิสผันกลับ

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
การปรับปรุงพื้นที่ก่อสร้าง	150,000
อาคารและสำนักงาน	300,000
ระบบการปรับสภาพน้ำ (pretreatment)	1,500,000
ปั๊มแรงดันสูง	1,800,000
ชั้นวางออสโมซิสผันกลับ เยื่อเมมเบรนและอุปกรณ์ประกอบ	6,000,000
บ่อหรือถังเก็บน้ำที่ผลิตได้	300,000
รวม	10,050,000

เงินลงทุนของระบบทั้งหมดสำหรับขนาดกำลังการผลิต 2,400 ลูกบาศก์เมตรต่อวันเท่ากับ 10,050,000 บาท อายุโครงการ 10 ปี อัตราดอกเบี้ย 10 % การคำนวณหาต้นทุนต่อหน่วยได้ดังสมการ

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{P(i)}{1 - (1+i)^{-N}} \div 720,000 \\
 &= \frac{10,050,000 (0.10)}{1 - (1+1.10)^{-10}} \div 720,000 \\
 &= 2.27 \quad \text{บาทต่อลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$

ซึ่ง A = ต้นทุนต่อหน่วย (บาทต่อลูกบาศก์เมตร)  
 P = เงินลงทุน  
 i = อัตราดอกเบี้ย 10%  
 N = อายุเครื่องจักร 10 ปี

เงินลงทุนเริ่มต้นต่อหน่วยเท่ากับ 2.27 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

#### 4.5.2 ต้นทุนการดำเนินงาน

ต้นทุนการดำเนินงานประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน
- ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี
- ค่าแรงงาน
- การเปลี่ยนทดแทนเยื่อเมมเบรน
- ค่าซ่อมและบำรุงรักษา

#### 4.5.2.1 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

พลังงานเป็นส่วนประกอบสำคัญที่สุดของต้นทุนการดำเนินงานในระบบบออสโมซิสผกกลับ ต้นทุนของพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.35

ตารางที่ 4.35 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบออสโมซิสผกกลับ

รายการ	KWh/m <sup>3</sup>	จำนวนเงิน (บาทต่อลบ.ม.)
ปั๊มบออสโมซิส ผกกลับ (แรงดันสูง)	2.02	3.00
ปั๊มอากาศ	0.19	0.28
ปั๊มน้ำ (แรงดันต่ำ)	0.15	0.22
รวม	2.36	3.50

คำนวณที่ค่าไฟฟ้า 1.48 บ./ยูนิต

#### 4.5.2.2 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี

ชนิดและปริมาณของสารเคมีที่ต้องการใช้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำที่จะบำบัด การใช้สารเคมีในกระบวนการบออสโมซิสผกกลับ แบ่งเป็น 2 ส่วน คือการใช้แบบต่อเนื่องและใช้แบบช่วงเวลา ตารางที่ 4.36 แสดงรายละเอียดสารเคมีที่ต้องการและต้นทุนต่อหน่วยในการผลิต



ตารางที่ 4.36 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี

รายการ	ราคา(บาทต่อกก.)	อัตราการใช้	จำนวนเงิน (บาทต่อลบ.ม.)
สารเคมีที่ใช้อย่างต่อเนื่อง			
กรดซัลฟูริก	4	7 มก./ลิตร	0.05
สารเคมีที่ใช้เป็นช่วงเวลา		การทำความสะอาดต่อปี	
กรดซัลฟูริก	25	2 (2900 ล./ครั้ง)	0.11
ดีเทอร์เจนต์	30	2 (540 ล./ครั้ง)	0.02
กรดเมทริก	605	2 (18 ล./ครั้ง)	0.02
พอลิไวนิลเมทิลอีเทอร์	179	2 (375 ล./ครั้ง)	0.10
ฟอร์มาลดีไฮด์	4	1 ครั้ง	0.00
โซเดียมไฮดรอกไซด์	7	2 ครั้ง	0.00
รวม			0.30
ต้นทุนต่อหน่วย 0.30 บาทต่อลูกบาศก์เมตร			

#### 4.5.2.3 ค่าแรงงาน

ค่าแรงงานแปรตามขนาดของเครื่องและทำเลที่ตั้ง ถ้าเครื่องถูกแยกอยู่โดดเดี่ยว อาจจำเป็นที่จะต้องมีคนเฝ้าตลอดเวลา แต่ถ้าเป็นส่วนหนึ่งของระบบส่วนของระบบออสโมซิสผันกลับ ไม่ต้องการการดูแลเป็นพิเศษ ระบบสามารถเปิดเปิดได้โดยอัตโนมัติ ในกรณีที่ระบบมีปัญหา และตารางที่ 4.37 แสดงค่าแรงงานภายใต้ข้อสมมติฐานว่าระบบออสโมซิสผันกลับแยกอยู่โดดเดี่ยว

ตารางที่ 4.37 ค่าแรงงาน

รายการ	จำนวน	บาทต่อปีต่อคน	บาทต่อปี
ผู้ควบคุม	1	120,000	120,000
ผู้ปฏิบัติงาน	4	60,000	240,000
ช่างเครื่อง	1	96,000	96,000
รวม			456,000
ต้นทุนต่อหน่วย 0.35 บาทต่อลูกบาศก์เมตร			

4.5.2.4 ค่าซ่อมบำรุงรักษา

ค่าซ่อมบำรุงรักษาขึ้นอยู่กับ อัตราการเปลี่ยนทดแทนจริงหรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเงินลงทุน ดังแสดงในตารางที่ 4.38

ตารางที่ 4.38 ค่าซ่อมบำรุงรักษา

รายการ	จำนวน	จำนวนเงิน (บาท/m <sup>3</sup> )
Cartridge filter	2 ครั้งต่อปี	0.03
ปั๊มและมอเตอร์	7 % ของต้นทุน	0.16
การควบคุมและการใช้ไฟ	7 % ของต้นทุน	0.16
เครื่องมือ	7 % ของต้นทุน	0.16
อื่นๆ	10 % ของต้นทุน	0.23
รวม		0.74
ต้นทุนต่อหน่วย (ลูกบาศก์เมตร) 0.74 บาท		

4.5.2.5 ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนเยื่อเมมเบรน

อายุของเยื่อเมมเบรนโดยทั่วไปมีอายุ 5 ปี ในการเปลี่ยนทดแทนไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ต่อปี จำนวน 4 ท่อนต่อหน้า 1 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นต้นทุนต่อหน่วยได้ 0.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

จากผลการคำนวณหาต้นทุนต่อหน่วย ในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบออสโมซิสผันกลับ ในตารางที่ 4.35 ถึง 4.38 พบว่า ต้นทุนในการดำเนินงานเท่ากับ 2.27 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมดจึงแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 4.39

ตารางที่ 4.39 ต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมดของระบบออสโมซิสผันกลับ

รายการ	จำนวนเงิน (บาทต่อลูกบาศก์เมตร)
พลังงาน	3.50
สารเคมี	0.30
ค่าแรงงาน	0.35
ค่าซ่อมบำรุงรักษา	0.74
ค่าเปลี่ยนทดแทนเชื้อเมมเบรน	0.50
รวม	5.39
ต้นทุนต่อหน่วย (ลูกบาศก์เมตร) 5.39 บาท	

ดังนั้นต้นทุนทั้งหมดในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบออสโมซิสผันกลับเป็นเงิน 7.66 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.40

ตารางที่ 4.40 ต้นทุนทั้งหมดของระบบออสโมซิสผันกลับ

รายการ	จำนวนเงิน (บาทต่อลูกบาศก์เมตร)
ต้นทุนเงินทุน	2.27
ต้นทุนการดำเนินงาน	5.39
ต้นทุนต่อหน่วย (ลูกบาศก์เมตร) 7.66 บาท	

## 4.6 การนำน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบออสโมซิสผันกลับมาใช้ประโยชน์

### 4.6.1 คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบออสโมซิสผันกลับ

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอของบริษัท ไทยโพรเท็กซ์ ไลท์มิลส์ จำกัด (TTTM) มีปริมาณถึง 2,400 ลบ.ม./วัน ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการย้อมผ้า (ประมาณ 80% ของโรงงาน) เมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียของโรงงานแล้วจะถูกระบายออกสู่อ่างน้ำธรรมชาติ ดังนั้นการนำน้ำเสียดังกล่าวกลับมาใช้ใหม่นั้น น่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถทำได้ โดยพิจารณาจากคุณภาพน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆของโรงงาน เช่น ในกระบวนการย้อมผ้า หรือแม้กระทั่งระบบหม้อน้ำและระบบน้ำหล่อเย็นของโรงงาน

ระบบออสโมซิสผันกลับที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะรับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน มาทำการบำบัดอีกขั้นหนึ่งโดยผลจากการศึกษาพบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูง ซึ่งผลการทดลองจากการบำบัดน้ำของระบบออสโมซิสผันกลับที่ใช้ สรุปไว้ในตารางที่ 4.41

ตารางที่ 4.41 คุณภาพน้ำเสียดีที่ผ่านการบำบัดโดยระบบออสโมซิสผันกลับเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่

พารามิเตอร์	ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 2	ขั้นตอนที่ 3
อุณหภูมิ	32.7-33.5	32.0-33.1	31.7-33
พีเอช	6.4-6.6	6.3-6.6	6.4-6.5
ของแข็งละลาย	18-37	16-28	15-29
สภาพการนำไฟฟ้า	36-57	34-57	41-67
ของแข็งแขวนลอย	2-6	5-8	4-8
ความขุ่น	5-11	7-19	7-17
ซีโอดี	0-9	5-13	5-16
คลอไรด์	0-10	8-16	11-16
เหล็ก	0-0.1	0.1-0.2	0.1
สี(SU)	0	0	0
สี(ADMI)	0	0	0

#### 4.6.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้

ได้มีการศึกษาและกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น โดยข้อมูลที่รวบรวมได้เสนอไว้ในตารางที่ 4.42 ถึง 4.49

ตารางที่ 4.42 แนวทางการกำหนดคุณภาพน้ำขั้นต้น(Tentative Guidelines) ในการนำกลับมาใช้น้ำเสียใหม่

	Constituents	Unit	Flush toilet	Landscape Irrigation	Ameity use
Criteria	Total Coliform	N./ml.	< 10	N.D.	N.D.
	Residual chlorine	-	maintained	> 0.4	-
Target	Visual appeal	-	not unpleasant	not unpleasant	not unpleasant
	Turbidity	NTU.	-	-	< 10
	BOD.	mg./l.	-	-	< 10
	Odor	-	not unpleasant	not unpleasant	not unpleasant
	pH	-	5.8-8.6	5.8-8.6	5.8-8.6

ที่มา : Japan Ministry of Construction (1981)

ตารางที่ 4.43 แนวทางพื้นฐานกำหนดคุณภาพน้ำ (Basic Guidelines) การนำกลับมาใช้น้ำเสียใหม่

Constituents	Unit	Aesthetic setting	Limited Public contact
Total Coliform	N/100ml.	< 1,000	< 50
BOD.	mg./l.	10	< 3
pH	-	5.8-8.6	5.8-8.6
Turbidity	NTU.	< 10	< 5
Odor	-	not unpleasant	Not unpleasant
Color Unit	SU.	< 40	< 10

ที่มา : Guidelines for Environment Enhancement in Japan (1991)

ตารางที่ 4.44 คุณภาพน้ำจากการนำกลับมาใช้ใหม่ เมืองโตเกียวและโอซาก้า (ญี่ปุ่น)

Constituents	Unit	Tokyo	Osaka
pH	-	6.8-7.3	7.3
BOD.	mg./l.	2.2	17
SS.	mg./l.	2.5	4.0
Total-P.	mg./l.	0.7	1.4
Total-N.	mg./l.	14.1	17.0
NH4-N.	mg./l.	5.2	12.0
Coliform bacteria	N/ml.	1	2

ที่มา : Guidelines for Environment Enhancement in Japan (1991)

ตารางที่ 4.45 มาตรฐานคุณภาพน้ำชั่วคราว (Temporary standard) สำหรับการนำกลับมาใช้ซ้ำระลอกเดียวเฉพาะอาคารเดียว

Item	Unit	Standard
E.Coli. (Fecal Coliform)	N./m <sup>l</sup> .	< 10
pH	Unit	5.8-8.6
Odor	-	not unpleasant
Appearance	-	not unpleasant
BOD.	mg./l.	15
COD.	mg./l.	30

หมายเหตุ : ควรมีการฆ่าเชื้อโรคอย่างสิ้นเชิง และมีคลอรีนอิสระเหลือขณะนำกลับมาใช้งาน

ที่มา : Fumitoshi และ Hidenori (1991)

ตารางที่ 4.46 หลักการกำหนดคุณภาพน้ำ การนำกลับมาใช้ภายในอาคารและคอมเพลกซ์

Item	Unit	Criteria	Item	Unit	Criteria
Odor	-	Non-existence	BOD.5	mg./l.	< 10
Color	Unit	< 10	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg./l.	< 1.0
Turbidity	NTU.	< 5	ABS.	mg./l.	< 1.0
TDS.	mg./l.	< 1,000	Coliform	count/ml	N.D.
SS.	mg./l.	< 5	General bacteria	count/ml	< 100
pH	Unit	5.8-8.6	Residual Chlorine	mg./l.	> 0.2
COD.	mg./l.	< 20	TOC.	mg./l.	< 15

ที่มา : Asano และคณะ (1981)

ตารางที่ 4.47 หลักการกำหนดคุณภาพน้ำ (Criteria) และกระบวนการบำบัดสำหรับการนำกลับมาใช้เพื่อการอุปโภค รัฐแคลิฟอร์เนียและฟลอริดา สหรัฐอเมริกา

Type of Use	Total Coliform Limits	Treat.-Required
Irrigation of fodder fiber, seed crops, orchards, vineyards and processes food crop ; flushing sanitary sewers.	None required	Secondary
Irrigation of pasture for milking animals, landscape areas <sup>1</sup> sod farms ; nonstructural firefighting ; Industrial boiler feed ; Dust control ; Cleaning roads sidewalk and outdoor areas.	23/100 ml.	Secondary & disinfection
Surface irrigation of food crops ; Restricted landscape impoundments	2.2/100 ml.	Secondary & disinfection
Irrigation of food crops <sup>2</sup> ; landscape areas <sup>3</sup> ; Nonrestrictive recreation impoundments ; Toilet and Urinal flushing ; Industrial process water ; Decorative fountains, Commercial laundries ; Structural fire fighting ; Cooling where mist is created	2.2/100 ml.	Secondary, Coagulation, Clarification, Filtration <sup>4</sup> Disinfection

1 = Cemeteries, freeway, golf course and other controlled access irrigation areas., 2 = Contact edible portion of crop; includes root crops., 3 = Parks, playgrounds, schoolyards, residential landscaping, unrestricted access golf courses., 4 = Turbidity of filtered effluent cannot exceed an avg. 2 NTU. During any 24 hr. period.

ที่มา : State of California (1994)

ตารางที่ 4.47(ต่อ) หลักการกำหนดคุณภาพน้ำ (Criteria) และกระบวนการบำบัดสำหรับการนำกลับมาใช้ซ้ำเพื่ออุปโภค รัฐแคลิฟอร์เนียและฟลอริดา สหรัฐอเมริกา

Type of Use	Water Quality Limits	Treatment Required
Restricted public access areas (Sod farm, pasture land, areas used to grow trees and fodder, fibre and seed crops.), Industrial uses	200 Fecal Coli/100 ml. 20 mg/l TSS 20 mg/l BOD	Secondary & Disinfection.
Public access areas <sup>1</sup> , food crop irrigation <sup>2</sup> , Toilet flushing, Recreational impoundments <sup>3</sup> , Fire protection, Aesthetic purposes, Dust control.	N.D. Fecal Coliform 5 mg/l TSS 20 mg/l BOD	Secondary, Filtration & Disinfection.

1= Residential lawns, golf courses, cemeteries, parks, landscaped areas, highway, or similar areas.

2 = Only allowed if crops are peeled, skinned, cooked or thermally processed before consumption.

3 = For full body contact., Reclaimed water quality must meet drinking water bacteriological standard if it constitutes > 50% of inflow to impoundment.

ที่มา : Florida Department of Environmental Protection, 1995

ตารางที่ 4.48 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ในกิจกรรมที่สัมผัสกับมนุษย์

Parameter	Urban uses, Irrigation eaten food Crop, Recreation impoundments	Aesthetic impoundments, irrigation of restricted access areas
pH	6-9	6-9
BOD	<10 mg/l	<30
Turbidity	<2 NTU	-
Suspended solids	<5 mg/l	<30
Fecal coliform	Not Detectable	<200/100 ml
Residual Chlorine	1 mg/l	1 mg/l

ที่มา : U.S. EPA. (1992)



ตารางที่ 4.49 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ภายในอาคารของประเทศญี่ปุ่น

Parameter	หน่วย	ชำระโดย	ปรับอากาศ
pH	-	5.8-9.0	5.8-9.0
Turbidity	NTU	<5	<10
Color	Unit	<10	-
Suspended solids	มก/ล.	<5	<10
BOD	มก/ล.	<10	<10
COD	มก/ล.	<40	<20
ABS	มก/ล.	<1	<1
Total Hardness	มก/ล.	<200	<300
Total Nitrogen	มก/ล.	-	-
Ammonia-Nitrogen	มก/ล.	<20	<20
Phosphate	มก/ล.	<1	-
Total Coliform	Colony/ml	Not Detectable	-
Residual Chlorine	มก/ล.	-	-

ที่มา : Sanki Engineering Co.,Ltd. (n.d) อ้างโดย อัมพวัน พงศ์สิทธิศักดิ์ (2539)

#### 4.6.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำที่ใช้ในกระบวนการต่างๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ บริษัท ไทยเทอเรทส์ไทย จำกัด

ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้น คุณภาพน้ำที่ใช้มีความแตกต่างกัน ซึ่งมาตรฐานคุณภาพน้ำที่โรงงานไทยเทอเรทส์ไทย จำกัด (TTTM) กำหนดไว้มีอยู่ 3 ส่วนด้วยกัน คือ มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับการย้อมผ้า สำหรับระบบหม้อไอน้ำ และสำหรับระบบหล่อเย็น ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 4.50 ถึง ตารางที่ 4.52 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.50 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับการย้อมผ้าของโรงงาน TTTM

TH (Total Hardness)	PPM	0-30
SiO <sub>2</sub> (Silicon Dioxide)	PPM	15-20
HCO <sub>3</sub> (Bicarbonate)	PPM	0
pH		6.5-7.0
Fe (Iron)	PPM	0.05
Mn (Manganese)	PPM	0.05
Ca (Calcium)	PPM	3.0
Mg (Magnesium)	PPM	0.5-1.0
Al (Aluminium)	PPM	0.5-1.0
Turbidity	Unit	<3
Color	Unit	<3

ตารางที่ 4.51 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับระบบหม้อไอน้ำของโรงงาน TTTM

pH	-	10-15	Less than	12.0
TH (Total Hardness)	PPM	0	Less than	10.0
P-Alkalinity	PPM	-	Less than	600
M-Alkalinity	PPM	-	Less than	800
Cl	PPM	-	Less than	300
SiO <sub>2</sub>	PPM	-	Less than	30
Fe	PPM	-	Less than	2.0
PO <sub>4</sub>	PPM	20-50		
Conductivity		4000		

ตารางที่ 4.52 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับระบบหล่อเย็นของโรงงาน TTTM

Parameter	Makeup water	Circulating water
pH (25°C)	6-8	6-8
Electric Conductivity (MV/CM)	200 below	500 below
Total Hardness (CaCO <sub>3</sub> ) ppm	50 below	200 below
M-Alkalinity (CaCO <sub>3</sub> ) ppm	50 below	100 below
Chlorine Ion (Cl) ppm	50 below	200 below
Sulfuric Acid (SO <sub>4</sub> ) ppm	50 below	200 below
Silicic Acid (SiO <sub>2</sub> ) ppm	30 below	50 below
Ferric (Fe) ppm	0.3 below	1.0 below

#### 4.6.4 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านระบบออสโมซิสผันกลับกับมาตรฐานคุณภาพน้ำ

จากการเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำที่ผ่านระบบออสโมซิสผันกลับ จะนำเสนอแยกตามแต่ละพารามิเตอร์โดยเปรียบเทียบกับกิจกรรมที่นำมาใช้ดังต่อไปนี้

##### พีเอช :

น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าพีเอชเฉลี่ยรวมของทุกชุดการทดลองเท่ากับ 6.5 ซึ่งพบว่าเข้าเกณฑ์มาตรฐานของการนำน้ำกลับมาใช้ในอาคารในทุกพารามิเตอร์ที่รวบรวมมานำเสนอไว้ในส่วนของกระบวนการผลิต

##### อุณหภูมิ :

อุณหภูมิของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 31.7-33.5°C. และมีค่าเฉลี่ยของทุกชุดการทดลองเท่ากับ 33 °ซ. ซึ่งถือได้ว่ามีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิน้ำปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของการนำน้ำกลับมาใช้และมาตรฐานคุณภาพน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตแล้วพบว่าเข้าเกณฑ์มาตรฐานทุกมาตรฐาน

##### ค่าของแข็งละลาย :

จากการทดลองพบว่า ระบบสามารถกำจัดของแข็งละลายได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าของแข็งละลายเฉลี่ยอยู่ในช่วง 15-37 มก./ล. ซึ่งถือว่ามีค่าต่ำมากและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานทั้งในส่วนการนำน้ำกลับมาใช้ในอาคารและการนำน้ำกลับมาใช้ในกระบวนการซ่อม

### สภาพการนำไฟฟ้า :

จากการทดลองค่าสภาพการนำไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 34-67  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . ซึ่งพบว่ามาตรฐานการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ในอาคารมิได้กำหนดสภาพการนำไฟฟ้า ส่วนในกระบวนการผลิตนั้นได้กำหนดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำที่ใช้ในการหล่อเย็นไว้ที่ต่ำกว่า 200  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . และในระบบหม้อไอน้ำกำหนดไว้ให้ต่ำกว่า 4000  $\mu\text{sec}/\text{cm}$ . นั่นคือ ระบบสามารถลดสภาพนำไฟฟ้าจนมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของโรงงาน

### ความขุ่นและค่าของแข็งแขวนลอย :

ค่าเฉลี่ยของความขุ่นและของแข็งแขวนลอยของทุกชุดการทดลองเท่ากับ 5 NTU และ 11 มก/ล. ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ของทั้งสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น โดยเฉพาะมาตรฐานการนำน้ำกลับมาใช้ในอาคาร อย่างไรก็ตาม การที่น้ำที่ผ่านระบบยังคงมีความขุ่นและของแข็งแขวนลอยอยู่บ้างอาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์

### ซีโอดี :

ระบบออสโมซิสผันกลับที่ทำการศึกษามีสามารถกำจัดซีโอดีที่เข้าระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง โดยในเพอมีอามีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 8 มก/ล. นั่นคือ สามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาเวียนกลับใช้ในอาคารได้ เนื่องจากมีค่าอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐาน

### สี :

ระบบที่ทำการทดลองน้ำสามารถกำจัดสีได้ 100% ในทุกชุดสถานะที่ทำการเดินระบบ นั่นคือ เมื่อพิจารณาจากค่าสีแล้ว พบว่าน้ำที่ผ่านระบบสามารถนำไปใช้ใหม่ได้ทั้งในส่วนของการนำกลับมาใช้ในอาคารและการนำมาใช้ในกระบวนการผลิต

น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ในอาคารดังที่เสนอไว้ในหัวข้อ 4.6.4 พบว่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ทำการวิเคราะห์มีค่าตรงตามมาตรฐานที่กำหนด อย่างไรก็ตาม หากมีการนำกลับมาใช้ใหม่อาจต้องมีการศึกษาพารามิเตอร์อื่นๆ เพิ่มเติม โดยเฉพาะค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ซึ่งถูกกำหนดไว้ในทุกมาตรฐานที่ได้รวบรวมไว้ เนื่องจากเป็นกิจกรรมที่ต้องสัมผัสกับมนุษย์โดยตรง อย่างไรก็ตาม มีความเป็นไปได้ที่น้ำจากระบบออสโมซิสผันกลับจะมีปริมาณฟีคอลโคลิฟอร์มต่ำ เนื่องจากแบคทีเรียไม่สามารถผ่านเมมเบรนออกมาได้ และอีกประการหนึ่งคือน้ำที่เข้าระบบมีปริมาณฟีคอลโคลิฟอร์มต่ำ เนื่องจากได้ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานมาแล้ว

การนำน้ำที่ผ่านระบบออสโมซิสผันกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความเป็นไปได้ค่อนข้างสูง เนื่องจากเมื่อพิจารณาค่าคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว พบว่าระบบ

มีประสิทธิภาพในการกำจัดโดยรวมค่อนข้างสูง น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยต้องควบคุมสภาวะการทำงานของระบบที่เหมาะสม เช่น จากผลการทดลองชุดที่ 1 ที่เดินระบบที่ค่าความดันเข้าเท่ากับ 250 ปอนด์/ตร.นิ้ว พบว่าประสิทธิภาพของระบบมีค่าสูงสุด และน้ำที่ออกจากระบบสามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานของน้ำทิ้งที่ใช้ในกระบวนการย้อมผ้า น้ำที่ใช้ในระบบหล่อเย็น และในระบบหม้อไอน้ำ อย่างไรก็ตาม หากมีการนำไปใช้ในกระบวนการดังกล่าว อาจจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์พารามิเตอร์อื่นๆเพิ่มเติมตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.50 ถึงตารางที่ 4.52 และการนำไปใช้ในหม้อไอน้ำต้องมีการปรับพีเอชของน้ำให้ได้ตามค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในตารางด้วย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลองวิจัย และข้อเสนอแนะการบำบัดน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอขั้นสูงด้วยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Advanced Treatment of Textile Effluent by the Reverse Osmosis Process) ดังต่อไปนี้

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ สำหรับงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

- 5.1.1 เมื่อความดันน้ำเข้าเพิ่มขึ้นในช่วง 250 – 1,000 psi ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดตัวถูกละลายต่างๆ ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อความดันของน้ำเข้าสูงขึ้นมีผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ Concentration Polarization โดยทำให้ปริมาณตัวถูกละลายที่ผิวหน้าเมมเบรนสูงขึ้นและทำให้ตัวถูกละลายต่างๆ แพร่ ออกมา กับเพอมีเอทได้มากขึ้น นอกจากนี้เมื่อความดันน้ำเข้าสูงขึ้นยังมีผลทำให้อัตราการกรองน้ำเพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงที่และสามารถหาค่าสภาพการซึมผ่านหรือเพอมีแอนซ์(permeance) ได้เท่ากับ 0.0223 L/m<sup>2</sup>.hr.psi.
- 5.1.2 เมื่ออัตราการเวียนกลับน้ำเข้มข้นเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดตัวถูกละลายต่างๆ ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเวียนกลับน้ำเข้มข้นเพิ่มขึ้นทำให้น้ำในระบบมีความเข้มข้นสูงขึ้นด้วย มีผลทำให้ฟลักซ์ของตัวถูกละลายสูงขึ้น ตัวถูกละลายจึงสามารถแพร่ผ่านเมมเบรนได้มากขึ้นด้วย นอกจากนี้เมื่อฟลักซ์ของตัวถูกละลายสูงขึ้นไปมีผลทำให้แรงดันออสโมติกสูงขึ้นด้วย จึงเป็นผลให้อัตราการกรองลดลง
- 5.1.3 เมื่ออัตราส่วนการผลิตเพอมีเอทเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดตัวถูกละลายหรือของแข็งละลายลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนการผลิตเพอมีเอท มีผลทำให้ฟลักซ์ของน้ำมากเพิ่มขึ้น จึงมีผลทำให้เกิด Concentration Polarization เพิ่มขึ้นด้วย และทำให้ของแข็งละลายแพร่ผ่านเมมเบรนได้มากขึ้น

- 5.1.4 การบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการออสโมซิสผันกลับ สามารถกำจัดสีในน้ำทิ้งได้ทั้งหมด
- 5.1.5 น้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสผันกลับมีคุณภาพสูง เมื่อการทำงานของระบบมีสภาวะเหมาะสม เช่น ในชุดการทดลองที่มีความดันที่ 250 psi สามารถผลิตน้ำได้ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ควรศึกษาการนำไปใช้งานของน้ำที่ผ่านระบบออสโมซิสผันกลับโดยพิจารณาจากคุณภาพน้ำที่ได้หลังการบำบัดเพื่อให้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด
- 5.2.2 ควรศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำน้ำเสียส่วนอื่นๆ ของโรงงานสิ่งทอมาบำบัดด้วยระบบออสโมซิสผันกลับเพื่อนำน้ำกลับมาใช้งานใหม่เป็นการลดปริมาณน้ำเสียจากโรงงานสิ่งทอ
- 5.2.3 ควรศึกษาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสำหรับการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบออสโมซิสผันกลับกับระบบบำบัดน้ำเสียอื่นๆ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล. 2541. การควบคุมคุณภาพงานเตรียมสิ่งทอเพื่อการย้อมพิมพ์. กรุงเทพมหานคร:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).
- ไชยยศ บุญญากิจ. 2539. Promotion of Cleaner Technology in Thai Industry. เอกสารเผยแพร่การใช้เทคโนโลยีสะอาด, สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.
- ณัฐพงษ์ เลิศปิติภัทร. 2539. ประสิทธิภาพของกระบวนการกรองด้วยเมมเบรนในการกำจัดโคลีฟาจในน้ำดิบที่ปนเปื้อนโคลีฟาจและอีโคไล วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นริศญา กวีนันทวงศ์. 2543. การบำบัดน้ำเสียที่เชื่อมโดยกระบวนการ PAC-UF, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ บัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เนตรประภา โชติมานนท์. 2537. การศึกษาการผลิตน้ำจืดจากทะเลในชายฝั่งทะเลตะวันออก วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ดันจุลเวศม์. 2532. วิศวกรรมการประปา เล่ม 2 กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัตนา จิระรัตนานนท์. 2541. กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วจน์ศิริ ประยูรพรหม. 2539. ขนาดรูพรุนที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์เม็ดเล็กสำหรับการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานย้อมผ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิมลโรจน์ โอสธานุเคราะห์. 2537. สมบัติการดูดซับสีย้อมในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้แร่ดินร่วมกับสารจับก้อนเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สาขาวิชาสหสาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิริมา ปัญญาเมธีกุล. 2538. ประสิทธิภาพในการกำจัดโคลีฟาจโดยกระบวนการกรองด้วยเมมเบรน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



สารทูล เข็มสมบัติ. 2534. การทำให้น้ำหมักบิวทานอลเข้มข้นขึ้นโดยใช้กระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุจินต์ พนาปวุฒิกุล. 2534. การบำบัดน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย. โครงการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย.

#### ภาษาอังกฤษ

Abraham R., Harold S. Freeman. 1996. Membrane Filtration Techniques in Dye stuff Recovery, Chapter 9. Environmental Chemistry of Dyes and Pigments(n.p.) : John Wiley & Sons.

American Water Works Assosication. 1992. Committee Report : Membrane process in potable water treatment. Jour. AWWA 84 : 59-67.

Applegate, L.E.1984. Membrane separation process. Chem. Eng 91 : 84- 89.

A. Zaidi, H. Buisson, S. Souriraja and H. wood. 1992. Ultra. And Nano – Filtration in Advanced Effluent Treatment Schems for Pollution Control in the Pulp and Paper Industry. Wat. Sci. Tech. Vol.25 No.10 : 263 –276.

Buckley. C.A. 1992. Membrane Technology for the treatment of dyehouse effluents. Wat. Sci. Tech. Vol.25 No.10 : 203 – 209.

Dhamappa H.B. 1992 . Economic Analysis of Conventional and Advanced Techniques for Wastewater Treatment. National Seminar on Conventional and Advanced Wastewater Treatment Techniques. 7-8 February. 1992 : 1-17.

Dhira P., Quanruedee L., and David O’Conner. 1994. Applying polluter-pays-principle time for action. Thailand Environment Institute.

D. Vial , R. Phan Tan Luu and A. Huyard. 1992. Optimal Design Applied to Ultrafiltration on tertiary Effluent with Plate and Frame Modules. Wat. Sci. Tech. Vol.25 . No.10:253 – 261.

G.H. du Plessis and J.A. Swartz . 1992. Tubular Reverse Osmosis Treatment of Secunda Mine Water : A Pilot Plant Investigation. Wat. Sci. Tech. Vol.25 No.10: 193 – 201.

Ghosh, M.M., Woodard, F.E., Sproul, O.J., Knowlton, P.B., Guertin,P.D. 1978. Treatability studies and design considerations for textile wastewater. JWPCF. 50 : 1976-1985.

- J.J. Schoeman, J.F. Van Staden, H.M. Saayman and W.A. Vorster. 1992. Evaluation of Reverse Osmosis for Electroplating Effluent Treatment. Wat. Sci. Tech. Vol. 25 No.10 :79 – 93.
- Knocke, W.R., Bhinge D. and Joyce J.J. 1994. Color Removal by chemical coagulation and Ultrafiltration, Proceedings of the Eighteenth Mid-Atlantic Industrial Waste Conference, Department of Civil engineering Virginia Tech Blacksburg, Virginia 24061.
- Pickering, K.D. and Wiesner .1993. Cost Model for Low-pressure Membrane Filtration. Journal of Environmental Engineering Vol.119 No.5 :772-797.
- Porter, J.J., Snider, E.H. 1976. Long-term biodegradability of textile chemical. JWPCF 48 : 2198-2210.
- Rautenbach, R., and Albrecht, R. 1989. Membrane process. Translated by V. Cootrell. Chichester : John Wiley&Sons Ltd.
- Strathman, H. 1984. Water and wastewater treatment experience in Europe and Japan using ultrafiltration. In.G. Belfort (ed), Synthetic membrane process Fundamentals and water application, pp. 343 – 375, Orlando, Fla.: Academic Press.
- William A. Rearick, Leonard T. Fareas, H.B.G. (Guy) Goettsch. 1995. Water and salt reuse in the dyehouse. Research Report., Textile research And implementation.
- W. Pulles , G.J.G. Juby and R.W. Busby . 1992 . Development of the Slurry Precipitation and Recycle Reverse Osmosis (Sparro) Technology for Desalinating Scaling mine Waters. Wat. Sci. Tech. Vol.25 No.10:177 – 192.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ลักษณะน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยระบบตกตะกอนทางเคมีและบ่อเติมอากาศของโรงงาน  
ไทยโพรเท็กซ์โพลีมีลส์

ครั้งที่เก็บ ตัวอย่าง	สี		อุณหภูมิ (C)	pH	TDS (mg/L)	Conductivity (us/cm)	Turbid (NTU)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Fe <sup>++</sup> (mg/L)
	SU	ADMI									
1	29	148	31.3	6.54	2500	5500	30	40	120	70	0.5
2	30	174	30.8	6.47	2450	5400	30	50	110	80	0.5
3	26	151	30.7	6.52	2400	5350	25	45	110	90	0.5
4	35	182	29.4	6.43	2450	5300	25	40	115	85	0.5
5	30	165	29.5	6.48	2500	5400	25	40	120	80	0.6
6	32	185	28.9	6.32	2350	5200	30	45	100	70	0.6
7	38	224	30.5	6.42	2300	5320	30	50	110	75	0.5
8	31	174	30.2	6.18	2400	5450	30	45	120	85	0.5
9	28	165	29.6	6.57	2500	5450	30	55	115	90	0.6
10	40	232	29.9	6.52	2400	5300	30	55	110	80	0.6
11	38	201	30.1	6.54	2550	5600	25	50	120	85	0.5
12	36	205	30.4	6.43	2400	5400	25	45	110	90	0.5
13	32	173	30.3	6.32	2350	5300	25	40	105	80	0.5
14	29	145	28.6	6.41	2300	5400	25	45	105	75	0.5
15	45	279	29.4	6.72	2350	5350	30	50	110	85	0.5
16	50	290	29.7	6.71	2400	5500	30	55	115	90	0.5
17	43	270	29.4	6.82	2300	5250	30	55	100	70	0.6
18	48	275	30.3	6.72	2550	5500	30	50	120	75	0.6
19	37	215	30.6	6.41	2450	5400	25	45	125	80	0.5
20	35	196	30.7	6.32	2500	5500	25	45	128	85	0.5
21	32	182	31.0	6.18	2500	5450	25	40	124	90	0.5
22	28	140	31.1	6.10	2450	5350	25	40	122	80	0.5
23	32	192	30.8	6.21	2500	5450	30	50	125	70	0.5
24	30	177	30.7	6.32	2400	5400	30	55	118	70	0.5
25	30	162	30.5	6.35	2350	5300	30	50	108	75	0.5
26	27	157	30.3	6.34	2500	5500	30	50	122	75	0.5
27	35	196	28.8	6.52	2400	5400	30	45	118	80	0.6
28	37	200	27.6	6.47	2500	5550	25	40	119	85	0.5
29	39	199	28.6	6.42	2250	5300	25	40	111	80	0.6
30	42	235	30.1	6.28	2350	5450	25	45	121	75	0.5

หมายเหตุ : ช่วงเวลาที่เก็บน้ำตัวอย่าง มิถุนายน 2543

ตารางที่ ก.2 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบออสโมซิสผันกลับที่ความดัน 250 psi

พารามิเตอร์	สี		อุณหภูมิ (C)	pH	TDS (mg/L)	Conductivity (us/cm)	Turbid (NTU)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Fe <sup>++</sup> (mg/L)
	SU	ADMI									
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 1	45	279	29.4	6.72	2350	5350	30	50	110	85	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 1	0	0	32.6	6.39	15	33	1	4	0	0	0
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 1	63	418	31.5	7.43	2600	5800	35	60	127	85	0.5
% Rejection Sample No 1	100	100	-	-	99.4	99.4	96.7	92.0	100	100	100
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 2	50	290	29.7	6.71	2400	5500	30	55	115	90	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 2	0	0	32.9	6.80	17	37	2	5	0	0	0
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 2	65	377	31.8	8.17	2550	5800	34	62	118	90	0.5
% Rejection Sample No 2	100	100	-	-	99.3	99.3	93.3	90.9	100	100	100
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 3	43	270	29.4	6.82	2300	5250	30	55	100	70	0.6
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 3	0	0	32.7	6.42	19	35	1	5	0	0	0
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 3	67	378	31.0	8.26	2450	5850	33	60	116	70	0.5
% Rejection Sample No 3	100	100	-	-	99.2	99.3	96.7	90.9	100	100	100
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 4	48	275	30.3	6.72	2550	5500	30	50	120	75	0.6
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 4	0	0	32.5	6.74	20	38	2	6	0	0	0
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 4	77	343	31.4	8.21	2650	5850	35	55	124	70	0.6
% Rejection Sample No 4	100	100	-	-	99.2	99.3	93.3	88	100	100	100

ตารางที่ ก.3 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบออสโมซิสผันกลับที่ความดัน 500 psi

พารามิเตอร์	สี		อุณหภูมิ (C)	pH	TDS (mg/L)	Conductivity (us/cm)	Turbid (NTU)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Fe <sup>++</sup> (mg/L)
	SU	ADMI									
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 1	35	182	29.4	6.43	2450	5300	25	40	115	85	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 1	0	0	32.8	6.42	24	39	2	6	0	3	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 1	49	254	31.7	8.27	2650	5650	32	50	122	90	0.8
% Rejection Sample No 1	100	100	-	-	99.0	99.3	92.0	85.0	100	97.0	94.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 2	30	165	29.5	6.48	2500	5400	25	40	120	80	0.6
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 2	0	0	33.1	6.74	23	39	3	6	0	3	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 2	39	231	31.7	8.16	2450	5650	32	52	140	100	0.7
% Rejection Sample No 2	100	100	-	-	99.1	99.3	88.0	85.0	100	96.0	93.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 3	32	185	28.9	6.32	2350	5200	30	45	100	70	0.6
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 3	0	0	32.9	6.38	25	42	3	7	0	2	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 3	42	259	31.5	8.26	2400	5850	37	58	116	88	0.7
% Rejection Sample No 3	100	100	-	-	98.9	99.2	90.0	84.4	100	97.0	95.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 4	38	224	30.5	6.42	2300	5350	30	50	110	75	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 4	0	0	32.7	6.52	25	47	3	7	0	2	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 4	51	305	32.0	8.19	2550	5900	42	68	126	86	0.6
% Rejection Sample No 4	100	100	-	-	98.9	99.1	90.0	86.0	100	98.0	94.0

ตารางที่ ก.4 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบออสโมซิสผันกลับที่ความดัน 750 psi

พารามิเตอร์	สี		อุณหภูมิ (C)	PH	TDS (mg/L)	Conductivity (us/cm)	Turbid (NTU)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	Cl (mg/L)	Fe <sup>++</sup> (mg/L)
	SU	ADMI									
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 1	40	232	29.9	6.52	2400	5300	30	55	110	80	0.6
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 1	0	0	33.0	6.51	30	45	4	7	5	6	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 1	54	348	31.5	8.38	2600	5800	42	75	121	109	0.8
% Rejection Sample No 1	100	100	-	-	98.8	99.1	86.7	87.2	95.5	93.0	89.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 2	38	201	30.1	6.54	2550	5600	25	50	120	85	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 2	0	0	33.4	6.62	33	49	5	6	5	5	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 2	51	322	31.3	8.28	2800	5550	34	74	146	118	0.7
% Rejection Sample No 2	100	100	-	-	98.7	99.1	80.0	88.0	95.8	94.0	91.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 3	36	205	30.4	6.43	2400	5400	25	45	110	90	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 3	0	0	33.3	6.48	35	49	4	8	5	7	0
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 3	49	287	31.8	8.50	2750	5900	35	61	128	153	0.7
% Rejection Sample No 3	100	100	-	-	98.5	99.1	84.0	82.2	95.4	92.0	90.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 4	32	173	30.3	6.32	2350	5300	25	40	105	80	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 4	0	0	33.1	6.41	34	56	5	7	5	6	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 4	45	218	30.9	8.24	2550	5700	35	63	116	101	0.7
% Rejection Sample No 4	100	100	-	-	98.6	98.9	80.0	82.5	95.2	93.0	89.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ก.5 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบบออสโมซิสผันกลับที่ความดัน 1000 psi

พารามิเตอร์	สี		จุดทงุมิ (C)	PH	TDS (mg/L)	Conductivity (us/cm)	Turbid (NTU)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Fe <sup>++</sup> (mg/L)
	SU	ADMI									
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 1	42	235	30.1	6.28	2350	5450	25	45	121	75	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 1	0	0	33.2	6.39	33	54	5	10	8	10	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 1	63	320	31.2	8.30	2450	5550	33	57	140	105	0.8
% Rejection Sample No 1	100	100	-	-	98.6	99.0	80.0	77.8	93.4	87.5	85.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 2	39	199	28.6	6.42	2250	5300	25	40	111	80	0.6
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 2	0	0	33.9	6.31	37	58	6	12	10	12	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 2	49	271	30.6	8.24	2400	5650	34	55	130	118	0.8
% Rejection Sample No 2	100	100	-	-	98.4	98.9	76.0	70.0	91.0	85.0	86.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 3	37	200	27.6	6.47	2500	5550	25	40	119	85	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 3	0	0	33.6	6.37	38	55	6	10	8	10	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 3	50	294	31.3	8.20	2650	5600	31	51	146	125	0.7
% Rejection Sample No 3	100	100	-	-	98.5	99.0	76.0	75.0	93.3	88.0	83.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 4	35	196	28.8	6.52	2400	5400	30	45	118	80	0.6
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 4	0	0	33.4	6.37	39	62	7	10	10	9	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 4	50	251	31.6	8.45	2500	5750	39	60	121	103	1.0
% Rejection Sample No 4	100	100	-	-	98.4	98.9	76.7	77.8	91.5	89.0	88.0

ตารางที่ ก.6 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบบออสโมซิสผันกลับที่อัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้น 0 %

พารามิเตอร์	สี		อุณหภูมิ (C)	PH	TDS (mg/L)	Conductivity (us/cm)	Turbid (NTU)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Fe <sup>++</sup> (mg/L)
	SU	ADMI									
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 1	37	215	30.6	6.41	2450	5400	25	45	125	80	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 1	0	0	32.5	6.50	13	32	4	7	5	8	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 1	50	290	31.5	7.43	2600	5800	40	61	127	112	0.7
% Rejection Sample No 1	100	100	-	-	99.5	99.4	84.0	84.4	96.0	90.0	87.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 2	35	196	30.7	6.32	2500	5500	25	45	128	85	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 2	0	0	31.8	6.28	15	34	5	7	5	7	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 2	60	265	31.8	8.17	2550	5800	35	61	148	117	0.7
% Rejection Sample No 2	100	100	-	-	99.4	99.4	80.0	84.4	96.1	92.0	89.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 3	32	182	31.0	6.18	2500	5450	25	40	124	90	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 3	0	0	31.9	6.28	18	33	5	8	5	10	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 3	40	229	31.0	8.26	2650	5850	43	56	146	141	0.7
% Rejection Sample No 3	100	100	-	-	99.28	99.4	80.0	80.0	96.0	89.0	86.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 4	28	140	31.1	6.10	2450	5350	25	40	122	80	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 4	0	0	32.0	6.24	19	35	4	6	5	7	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 4	38	179	31.4	8.21	2650	5850	33	51	124	102	0.7
% Rejection Sample No 4	100	100	-	-	99.22	99.3	84.0	85.0	95.9	91.0	85.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.7 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบบออส โมซิสผันกลับที่อัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้น 25 %

พารามิเตอร์	สี		อุณหภูมิ (C)	PH	TDS (mg/L)	Conductivity (us/cm)	Turbid (NTU)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	Cl (mg/L)	Fe <sup>++</sup> (mg/L)
	SU	ADMI									
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 1	29	148	31.3	6.54	2500	550	30	40	120	70	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 1	0	0	32.8	6.57	17	38	5	10	8	8	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 1	49	218	31.7	8.27	2650	5650	44	51	122	88	0.8
% Rejection Sample No 1	100	100	-	-	99.3	99.3	83.3	75.0	93.3	89.0	86.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 2	30	174	30.8	6.47	2450	5400	30	50	110	80	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 2	0	0	32.4	6.57	18	39	6	9	7	10	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 2	48	256	31.7	8.16	2650	5650	38	67	140	99	0.7
% Rejection Sample No 2	100	100	-	-	99.2	99.3	80.0	82.0	93.6	88.0	85.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 3	26	151	30.7	6.52	2400	5350	25	45	110	90	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 3	0	0	32.3	6.57	21	38	6	12	8	10	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 3	35	208	31.5	8.26	2600	5850	31	63	116	114	0.6
% Rejection Sample No 3	100	100	-	-	99.1	99.3	76.0	73.3	92.7	89.0	84.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 4	35	182	29.4	6.43	2450	5300	25	40	115	85	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 4	0	0	32.4	6.48	22	42	5	10	7	9	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 4	45	226	32.0	8.19	2550	5900	34	55	126	110	0.7
% Rejection Sample No 4	100	100	-	-	99.1	99.2	80.0	75.0	93.3	90.0	87.0

ตารางที่ ก.8 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบออสโมซิสผันกลับที่อัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้น 50 %

พารามิเตอร์	สี		อุณหภูมิ (C)	PH	TDS (mg/L)	Conductivity (us/cm)	Turbid (NTU)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Fe <sup>++</sup> (mg/L)
	SU	ADMI									
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 1	32	192	30.8	6.21	2500	5450	30	50	125	70	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 1	0	0	33.0	3.69	19	47	7	15	10	10	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 1	45	236	31.5	8.38	2600	5800	42	66	141	88	0.6
% Rejection Sample No 1	100	100	-	-	99.2	99.1	76.7	70.0	92.0	85.0	84.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 2	30	177	30.7	6.32	2400	5400	30	55	118	70	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 2	0	0	32.7	6.48	22	47	6	14	12	11	0.6
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 2	42	204	31.3	8.28	2800	5550	38	75	146	94	0.1
% Rejection Sample No 2	100	100	-	-	99.1	99.1	80.0	74.5	89.8	84.0	83.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 3	30	162	30.5	6.35	2350	5300	30	50	108	75	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 3	0	0	32.6	6.48	24	44	7	15	12	10	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 3	48	198	31.8	8.50	2750	5900	39	64	128	102	0.7
% Rejection Sample No 3	100	100	-	-	99.0	99.2	76.7	7.0	88.9	86.0	85.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 4	27	157	30.3	6.34	2500	5500	30	50	122	75	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 4	0	0	32.6	6.39	25	49	6	14	9	13	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 4	36	187	30.9	8.24	2550	5700	40	64	146	104	0.7
% Rejection Sample No 4	100	100	-	-	99.0	99.1	80.0	72.0	92.6	83.0	82.0

ตารางที่ ก.9 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบบออส โมซิสผันกลับที่อัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้น 75 %

พารามิเตอร์	สี		อุณหภูมิ (C)	PH	TDS (mg/L)	Conductivity (us/cm)	Turbid (NTU)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Fe <sup>++</sup> (mg/L)
	SU	ADMI									
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 1	33	185	30.4	6.43	2400	5400	25	45	110	90	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 1	0	0	33.3	6.47	23	60	9	18	12	17	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 1	50	228	31.2	8.30	2450	5550	32	54	140	122	0.7
% Rejection Sample No 1	100	100	-	-	99.0	98.9	64.0	60.0	89.0	81.0	81.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 2	31	170	30.3	6.32	2350	5300	25	40	105	80	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 2	0	0	32.9	6.52	26	59	8	20	15	16	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 2	49	226	30.6	8.24	2400	5650	34	49	130	117	0.6
% Rejection Sample No 2	100	100	-	-	98.9	98.9	68.0	50.0	85.7	80.0	82.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 3	29	145	28.6	6.41	2300	5400	25	45	105	75	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 3	0	0	33.1	6.52	29	49	7	17	15	14	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 3	40	171	31.3	8.20	2450	5600	32	58	146	104	0.7
% Rejection Sample No 3	100	100	-	-	98.7	99.1	72.0	62.2	85.7	81.0	80.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 4	26	137	29.4	6.72	2350	5350	30	50	110	85	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 4	0	0	33.1	6.47	32	58	8	19	10	15	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 4	37	170	31.6	8.45	2500	5750	37	61	121	110	0.6
% Rejection Sample No 4	100	100	-	-	98.6	98.9	73.3	62.0	90.9	82.0	81.0

ตารางที่ ก.10 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบออสโมซิสผันกลับที่อัตราการผลิตน้ำใส 5 %

พารามิเตอร์	สี		อุณหภูมิ (C)	PH	TDS (mg/L)	Conductivity (us/cm)	Turbid (NTU)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Fe <sup>++</sup> (mg/L)
	SU	ADMI									
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 1	28	168	28.8	6.52	2400	5400	30	45	118	80	0.6
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 1	0	0	31.3	6.37	11	37	3	6	5	11	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 1	39	202	31.0	7.85	3000	7340	37	56	160	94	0.7
% Rejection Sample No 1	100	100	-	-	99.5	99.3	90.0	86.7	95.8	86.0	90.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 2	26	135	27.6	6.47	2500	5550	25	40	119	85	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 2	0	0	32.1	6.42	14	39	4	7	5	12	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 2	36	159	31.7	8.25	2600	5600	40	54	126	106	0.7
% Rejection Sample No 2	100	100	-	-	99.4	99.3	84.0	82.5	95.8	86.0	88.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 3	25	135	28.6	6.42	2250	5300	25	40	111	80	0.6
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 3	0	0	31.9	6.47	16	42	4	7	5	12	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 3	39	165	31.5	8.80	2650	5950	30	54	122	106	0.8
% Rejection Sample No 3	100	100	-	-	99.3	99.2	84.0	82.5	95.5	85.0	91.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 4	25	132	30.1	6.28	2350	5450	25	45	121	75	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 4	0	0	31.6	6.58	17	44	5	8	5	10	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 4	31	158	31.5	8.45	2600	5800	33	57	133	105	0.7
% Rejection Sample No 4	100	100	-	-	99.3	99.2	80.0	82.2	95.9	86.0	92.0

ตารางที่ ก.11 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบออสโมซิสผันกลับที่อัตราการผลิตน้ำใส 10 %

พารามิเตอร์	สี		อุณหภูมิ (C)	PH	TDS (mg/L)	Conductivity (us/cm)	Turbid (NTU)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Fe <sup>++</sup> (mg/L)
	SU	ADMI									
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 1	32	173	29.5	6.48	2500	5400	25	40	120	80	0.6
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 1	0	0	31.6	6.43	15	45	4	9	7	13	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 1	45	211	31.6	8.50	2600	5900	33	64	134	104	0.8
% Rejection Sample No 1	100	100	-	-	99.4	99.2	84.0	77.5	94.2	84.0	85.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 2	32	1286	30.1	6.54	2550	5600	25	50	120	85	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 2	0	0	32.4	6.39	19	43	5	11	8	119	0.6
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 2	44	242	31.4	8.41	2700	5700	32	65	129	14	0.1
% Rejection Sample No 2	100	100	-	-	99.2	99.2	80.0	78.0	93.3	83.0	86.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 3	30	177	29.4	6.82	2300	5250	30	55	100	70	0.6
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 3	0	0	32.4	6.41	19	49	5	11	9	11	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 3	43	205	31.5	8.36	2550	5600	42	67	128	98	0.7
% Rejection Sample No 3	100	100	-	-	99.2	99.1	83.3	80.0	91.0	84.0	83.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 4	29	165	31.1	6.10	2450	5350	25	40	122	80	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 4	0	0	32.1	6.35	21	54	7	12	10	12	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 4	42	201	31.5	8.44	2600	5700	34	50	131	104	0.6
% Rejection Sample No 4	100	100	-	-	99.1	99.0	72.0	70.0	91.8	85.0	84.0

ตารางที่ ก.12 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบออสโมซิสผันกลับที่อัตราการผลิตน้ำใส 15 %

พารามิเตอร์	สี		อุณหภูมิ (C)	PH	TDS (mg/L)	Conductivity (us/cm)	Turbid (NTU)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Fe <sup>++</sup> (mg/L)
	SU	ADMI									
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 1	24	134	28.6	6.42	2250	5300	25	40	111	80	0.6
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 1	0	0	31.8	6.39	19	51	4	13	14	14	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 1	38	163	31.8	8.20	2450	5550	32	56	124	98	0.8
% Rejection Sample No 1	100	100	-	-	99.2	99.0	84.0	67.5	57.4	83.0	82.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 2	25	145	28.8	6.52	2400	5400	30	45	118	80	0.6
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 2	0	0	32.7	6.41	24	52	6	14	12	14	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 2	36	175	31.6	8.23	2600	5900	39	55	131	98	0.7
% Rejection Sample No 2	100	100	-	-	99.0	99.0	80.0	68.9	89.8	82.0	83.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 3	27	146	30.8	6.21	2500	5450	30	50	125	70	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 3	0	0	32.9	6.38	23	58	6	13	14	13	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 3	36	175	31.8	8.36	2600	5700	41	70	144	91	0.6
% Rejection Sample No 3	100	100	-	-	99.1	98.9	80.0	74.0	88.8	81.0	81.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 4	29	174	30.7	6.32	2500	5500	25	45	128	85	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 4	0	0	32.5	6.43	28	67	8	14	12	14	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 4	38	210	31.7	8.46	2650	5850	32	54	154	102	0.7
% Rejection Sample No 4	100	100	-	-	98.9	98.8	68.0	68.9	90.6	84.0	82.0



ตารางที่ ก.13 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบออสโมซิสผันกลับที่อัตราการผลิตน้ำใส 20 %

พารามิเตอร์	สี		อุณหภูมิ (C)	PHI	TDS (mg/L)	Conductivity (us/cm)	Turbid (NTU)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Fe <sup>++</sup> (mg/L)
	SU	ADMI									
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 1	31	174	30.2	6.18	2400	5450	30	45	120	85	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 1	0	0	32.5	6.41	23	62	6	15	20	16	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 1	40	209	31.7	8.12	2600	5500	41	59	149	136	0.7
% Rejection Sample No 1	100	100	-	-	99.0	98.9	80.0	66.7	83.3	81.0	78.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 2	30	177	30.7	6.52	2400	5350	25	45	110	90	0.5
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 2	0	0	33.2	6.37	28	67	7	17	15	18	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 2	45	212	31.7	8.42	2500	5900	33	57	128	126	0.6
% Rejection Sample No 2	100	100	-	-	98.8	98.7	72.0	62.2	86.4	80.0	79.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 3	28	195	29.6	6.57	2500	5450	30	55	115	90	0.6
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 3	0	0	33.4	6.54	30	65	8	16	15	17	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 3	39	198	31.6	8.56	2750	5800	39	77	129	112	0.8
% Rejection Sample No 3	100	100	-	-	98.8	98.8	73.3	70.9	86.9	81.0	77.0
น้ำเสียก่อนการบำบัด (Feed) Sample No 4	27	148	29.4	6.82	2300	5250	30	55	100	70	0.6
น้ำหลังการบำบัด (Permeate) Sample No 4	0	0	32.9	6.58	33	72	9	18	15	13	0.1
น้ำเข้มข้น (concentrate) Sample No 4	41	181	31.8	8.40	2800	5900	39	77	134	94	0.8
% Rejection Sample No 4	100	100	-	-	98.6	98.6	70	67.3	85.0	82.0	76.0

ตารางที่ ก.14 ผลของความดันที่มีต่ออุณหภูมิ

ความดัน (psi)	อุณหภูมิ (°C)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
250	32.6	32.9	32.7	32.5
500	32.8	33.1	32.9	32.7
750	33.0	33.4	33.3	33.1
1,000	33.2	33.9	33.6	33.4

ตารางที่ ก.15 ผลของความดันที่มีต่อค่าพีเอช (pH)

ความดัน (psi)	pH			
	No 1	No 2	No 3	No 4
250	6.39	6.80	6.42	6.47
500	6.42	6.74	6.38	6.52
750	6.51	6.62	6.48	6.41
1,000	6.39	6.31	6.37	6.37

ตารางที่ ก.16 ผลของความดันที่มีต่อค่าทีดีเอส (TDS)

ความดัน (psi)	TDS (mg/l.)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
250	15	17	19	20
500	24	23	25	25
750	30	33	35	34
1,000	33	37	38	39

ตารางที่ ก.17 ผลของความดันที่มีต่อค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

ความดัน (psi)	Conductivity (US/cm)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
250	33	37	35	38
500	39	39	42	47
750	45	49	49	56
1,000	54	58	55	62

ตารางที่ ก.18 ผลของความดันที่มีต่อค่าความขุ่น (Turbidity)

ความดัน (psi)	ความขุ่น (NTU)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
250	1	2	1	2
500	2	3	3	3
750	4	5	4	5
1,000	5	6	6	7

ตารางที่ ก.19 ผลของความดันที่มีต่อค่าของแข็งแขวนลอย (SS)

ความดัน (psi)	SS (mg/L)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
250	4	5	5	6
500	6	6	7	7
750	7	6	8	7
1,000	10	12	10	10

ตารางที่ ก.20 ผลของความดันที่มีต่อค่าซีโอดี (COD)

ความดัน (psi)	COD (mg/L)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
250	0	0	0	0
500	0	0	0	0
750	5	5	5	5
1,000	8	10	8	10

ตารางที่ ก.21 ผลของความดันที่มีต่ออัตราการกรองน้ำ

ความดัน (psi)	อัตราการกรองน้ำ (L/m <sup>2</sup> -h)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
250	16.9	17.4	17.5	17.4
500	20.6	22.4	22.8	21.6
750	26.4	27.5	28.2	27.4
1,000	34.2	34.3	33.7	33.9

ตารางที่ ก.22 ผลของความดันที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัด CL<sup>-</sup> และ Fe<sup>++</sup>

ความดัน (psi)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)							
	CL <sup>-</sup>				Fe <sup>++</sup>			
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 1	No 2	No 3	No 4
250	100	100	100	100	100	100	100	100
500	98	97	96	96	95	94	95	93
750	92	94	92	92	90	88	91	90
1,000	85	90	90	90	88	85	87	83

ตารางที่ ก.23 ผลของความดันที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี

ความดัน (psi)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (%)							
	SU				ADMI			
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 1	No 2	No 3	No 4
250	100	100	100	100	100	100	100	100
500	100	100	100	100	100	100	100	100
750	100	100	100	100	100	100	100	100
1,000	100	100	100	100	100	100	100	100

ตารางที่ ก.24 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่มีต่ออุณหภูมิ

อัตราเวียนกลับน้ำ เข้มข้น (%)	อุณหภูมิ (°C)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
0	32.5	31.8	31.9	32.0
25	32.8	32.4	32.3	32.4
50	33.0	32.7	32.6	32.6
75	33.3	32.9	33.1	33.1

ตารางที่ ก.25 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่มีต่อค่าพีเอช (pH)

อัตราเวียนกลับน้ำ เข้มข้น (%)	pH			
	No 1	No 2	No 3	No 4
0	6.50	6.28	6.28	6.24
25	6.57	6.57	6.57	6.48
50	6.39	6.48	6.48	6.39
75	6.47	6.52	6.52	6.47

ตารางที่ ก.26 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่มีต่อค่าทีดีเอส (TDS)

อัตราเวียนกลับน้ำ เข้มข้น (%)	TDS (mg/L)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
0	13	15	18	19
25	17	18	21	22
50	19	22	24	25
75	23	26	29	32

ตารางที่ ก.27 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่มีต่อค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

อัตราเวียนกลับน้ำ เข้มข้น (%)	Conductivity (US/cm)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
0	32	34	33	35
25	38	39	38	42
50	47	47	44	49
75	60	59	49	58

ตารางที่ ก.28 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่มีต่อค่าความขุ่น (Turbidity)

อัตราเวียนกลับน้ำ เข้มข้น (%)	ความขุ่น (NTU)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
0	4	5	5	4
25	5	6	6	5
50	7	6	7	6
75	9	8	7	8

ตารางที่ ก.29 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่มีต่อค่าของแข็งแขวนลอย (SS)

อัตราเวียนกลับน้ำ เข้มข้น (%)	SS (mg/L)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
0	7	7	8	6
25	10	9	12	10
50	15	14	15	14
75	18	20	17	19

ตารางที่ ก.30 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่มีต่อค่าซีโอดี (COD)

อัตราเวียนกลับน้ำ เข้มข้น (%)	COD (mg/L)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
0	5	5	5	5
25	8	7	8	7
50	10	12	12	9
75	12	15	15	10

ตารางที่ ก.31 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่มีต่อค่าอัตราการกรองน้ำ

อัตราเวียนกลับน้ำ เข้มข้น (%)	อัตราการกรองน้ำ (L/m <sup>2</sup> -h)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
0	25.6	26.2	25.9	26.4
25	19.3	20.3	20.5	21.4
50	16.5	15.8	15.9	16.7
75	12.8	13.1	13.0	13.5

ตารางที่ ก.32 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัด  $CL^-$  และ  $Fe^{++}$

อัตราเวียนกลับน้ำ เข้มข้น (%)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)							
	$CL^-$				$Fe^{++}$			
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 1	No 2	No 3	No 4
0	89	92	91	90	88	85	90	86
25	87	90	87	88	86	84	87	84
50	85	87	83	85	82	82	85	82
75	82	81	80	80	80	81	82	80

ตารางที่ ก.33 ผลของอัตราเวียนกลับน้ำเข้มข้นที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี

อัตราเวียนกลับน้ำ เข้มข้น (%)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (%)							
	SU				ADMI			
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 1	No 2	No 3	No 4
0	100	100	100	100	100	100	100	100
25	100	100	100	100	100	100	100	100
50	100	100	100	100	100	100	100	100
75	100	100	100	100	100	100	100	100

ตารางที่ ก.34 ผลของอัตราการผลิตน้ำใส (Recovery) ที่มีต่ออุณหภูมิ

อัตราการผลิต น้ำใส (%)	อุณหภูมิ (°C)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
5	31.3	32.1	31.9	31.6
10	31.6	32.4	32.4	32.1
15	31.8	32.7	32.9	32.5
20	32.5	33.2	33.4	32.9



ตารางที่ ก.35 ผลของอัตราการผลิตน้ำใส (Recovery) ที่มีต่อค่าพีเอช (pH)

อัตราการผลิต น้ำใส (%)	pH			
	No 1	No 2	No 3	No 4
5	6.37	6.42	6.47	6.58
10	6.43	6.39	6.41	6.35
15	6.39	6.41	6.38	6.43
20	6.41	6.37	6.54	6.58

ตารางที่ ก.36 ผลของอัตราการผลิตน้ำใส (Recovery) ที่มีต่อค่าทีดีเอส (TDS)

อัตราการผลิต น้ำใส (%)	TDS (mg/L)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
5	11	14	16	17
10	15	19	19	21
15	19	24	23	28
20	23	28	30	33

ตารางที่ ก.37 ผลของอัตราการผลิตน้ำใส (Recovery) ที่มีต่อค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)

อัตราการผลิต น้ำใส (%)	Conductivity (US/cm)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
5	37	39	42	44
10	45	43	49	54
15	51	52	58	67
20	62	67	65	72

ตารางที่ ก.38 ผลของอัตราการผลิตน้ำใส (Recovery) ที่มีต่อค่าความขุ่น (Turbidity)

อัตราการผลิต น้ำใส (%)	ความขุ่น (NTU)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
5	3	4	4	5
10	4	5	5	7
15	4	6	6	8
20	6	7	8	9

ตารางที่ ก.39 ผลของอัตราการผลิตน้ำใส (Recovery) ที่มีต่อค่าของแข็งแขวนลอย (SS)

อัตราการผลิต น้ำใส (%)	SS (mg/L)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
5	6	7	7	8
10	9	11	11	12
15	13	14	13	14
20	15	17	16	18

ตารางที่ ก.40 ผลของอัตราการผลิตน้ำใส (Recovery) ที่มีต่อค่าซีโอดี (COD)

อัตราการผลิต น้ำใส (%)	COD (mg/L)			
	No 1	No 2	No 3	No 4
5	5	5	5	5
10	7	8	9	10
15	14	12	14	12
20	20	15	15	15

ตารางที่ ก.41 ผลของอัตราการผลิตน้ำใส (Recovery) ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัด  $CL^-$  และ  $Fe^{++}$

อัตราการผลิต น้ำใส (%)	ประสิทธิภาพการกำจัด (%)							
	$CL^-$				$Fe^{++}$			
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 1	No 2	No 3	No 4
5	85	86	85	86	92	90	89	87
10	83	85	83	85	86	84	86	85
15	81	83	82	84	81	81	82	83
20	79	80	80	82	76	77	79	80

ตารางที่ ก.42 ผลของอัตราการผลิตน้ำใส (Recovery) ที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี

อัตราการผลิต น้ำใส (%)	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (%)							
	SU				ADMI			
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 1	No 2	No 3	No 4
5	100	100	100	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100	100	100	100
15	100	100	100	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	100	100	100	100

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

กฎหมายและระเบียบเกี่ยวกับการจัดการน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

มาตรการตามกฎหมายเกี่ยวกับน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม

(สำเนา)

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ที่ระบุว่า “ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างหนึ่งอย่างใดหรือหลายอย่างจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษาแต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)” รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมจึงออกประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ดังนี้

ข้อ 1 คำจำกัดความ

น้ำทิ้ง หมายถึงน้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของโรงงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

ข้อ 2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- (1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0
- (2) ทึตีสเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่านี้นี้

2.1 ค่า ทึตีสเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออาจแตกต่างกันตามที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำ หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงาน อุตสาหกรรม กำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า ทึตีสเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า ทึตีสเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจ แตกต่าง จากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของอุตสาหกรรม ตามที่กรม โรงงานอุตสาหกรรม กำหนดแต่ต้อง ไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(4) โลหะหนักมีค่าดังนี้

4.1	ปรอท (Mercury)	ไม่มากกว่า	0.005	มก./ล.
4.2	เซลีนียม (Selenium)	ไม่มากกว่า	0.02	มก./ล.
4.3	แคดเมียม (Cadmium)	ไม่มากกว่า	0.03	มก./ล.
4.4	ตะกั่ว (Lead)	ไม่มากกว่า	0.2	มก./ล.
4.5	อาร์เซนิก (Arsenic)	ไม่มากกว่า	0.25	มก./ล.
4.6	โครเมียม (Chromium)			
	4.6.1 Hexavalent			
	Chromium	ไม่มากกว่า	0.25	มก./ล.
	4.6.2 Trivalent			
	Chromium	ไม่มากกว่า	0.75	มก./ล.
4.7	บารีียม (Barium)	ไม่มากกว่า	1.0	มก./ล.
4.8	นิกเกิล (Nickel)	ไม่มากกว่า	1.0	มก./ล.
4.9	ทองแดง (Copper)	ไม่มากกว่า	2.0	มก./ล.
4.10	สังกะสี (Zinc)	ไม่มากกว่า	5.0	มก./ล.
4.11	แมงกานีส (Manganese)	ไม่มากกว่า	5.0	มก./ล.

(5) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัม ต่อลิตร

(6) ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัม

ต่อลิตร

(7)	ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่มากกว่า	1	มิลลิกรัมต่อลิตร
(8)	สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่มากกว่า	1	มิลลิกรัมต่อลิตร
(9)	คลอรีนอิสระ (Free chlorine)	ไม่มากกว่า	1	มิลลิกรัมต่อลิตร
(10)	pesticide (Pesticide)	ต้อง ไม่มี		
(11)	อุณหภูมิ	ไม่มากกว่า	40	องศาเซลเซียส
(12)	สี	ต้อง ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ		
(13)	กลิ่น	ต้อง ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ		

(14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

(15) ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำ หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

(16) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำ หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดแต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ 3 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ2ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดต่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH meter)

(2) การตรวจสอบค่า ทิศีเอส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ถึง อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง

(3) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)

(4) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

4.1 การตรวจสอบค่าสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียม แบเรียม ตะกั่ว นิกเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอ็บซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตเมตริ (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไครีคแอสไพเรชัน (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสมา อิมิสชัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิลด์ พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่าอาร์เซนิก และเซเลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอ็บซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตเมตริ (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์ เจนเนอเรชัน (Hydride Generation) หรือวิธีพลาสมา อิมิสชัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิลด์ พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.3 การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันโคลด์ เวปเปอร์ เทคนิค (Atomic Absorption Cold Vapour Technique)

(5) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการไตรเตรท (Tritrate)

(6) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีกลั่นและตามด้วยวิธีไพริดีนบาร์บิทูริกแอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(7) การตรวจสอบค่าฟอร์มาลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)

(8) การตรวจสอบค่าสารประกอบฟีนอล ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธี 4 -อะมิโนแอนติไพรีน (Distillation, 4-Aminoantipyrine)

(9) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอดิเมตริก (Iodometric Method)

(10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas-Chromatography)

(11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิวัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(12) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

(13) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน หรือวิธีอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ

(14) การตรวจสอบค่าทีเคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาล์ (Kjeldahl)

(15) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียม ไดโครเมต (Potassium Dichromate Digestion)

ข้อ 4 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามข้อ 3 จะต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง American Public Health

Association, American Water Works Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย

ประกาศ ณ วันที่ 14 มิถุนายน 2539

ไชยวัฒน์ สิ้นสุวงศ์

(นายไชยวัฒน์ สิ้นสุวงศ์)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม



ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 13 ง วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

ประกาศ การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

ที่ 13/2530

เรื่อง หลักเกณฑ์ทั่วไปในการระบายน้ำเสียลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง

เพื่อให้การระบายน้ำเสียและมาตรฐานน้ำเสียในนิคมอุตสาหกรรมเป็นไปอย่างเหมาะสม การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย จึงเห็นสมควรประกาศกำหนดหลักเกณฑ์การระบายน้ำเสียลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง ดังต่อไปนี้

1. น้ำเสีย ได้แก่ น้ำที่ผ่านการใช้แล้วทุกชนิดเช่นจากขบวนการผลิตจากการชะล้างต่างๆ จากห้องทดลอง หรือแม้แต่ น้ำใช้แล้วจากห้องน้ำ ห้องส้วม

2. การระบายน้ำเสีย ผู้ประกอบการจะต้องก่อสร้างระบบระบายน้ำเสีย เพื่อระบายน้ำเสียทุกส่วนลงสู่ท่อน้ำเสียสาธารณะของการนิคมอุตสาหกรรม โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้

2.1 น้ำเสียที่ระบายออกจะต้องมี ความเร็ว เพียงพอที่จะพัดพาสิ่งปฏิกูลให้ไหลลงท่อระบายน้ำเสียสาธารณะโดยไม่ตกค้าง

2.2 ระบบระบายน้ำเสียต้องมีฉีดยุติ สะอาดและไม่ส่งกลิ่นเหม็น

2.3 ระบบระบายน้ำเสียจะต้องแยกจากระบบระบายน้ำฝนโดยเด็ดขาด ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้น้ำฝนไหลลงท่อน้ำเสียสาธารณะ และต้องป้องกันมิให้น้ำเสียไหลลงสู่ระบบระบายน้ำฝนของนิคมอุตสาหกรรมโดยเด็ดขาด

2.4 จะต้องมีบ่อตรวจระบบ (MANHOLE) อย่างน้อย 1 บ่อก่อนที่จะปล่อยน้ำเสียลงท่อน้ำเสียสาธารณะ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์คุณสมบัติ

2.5 จะต้องมีประตูน้ำ ปิด-เปิด ก่อนที่จะระบายน้ำเสียลงท่อระบายน้ำเสียสาธารณะ

2.6 การต่อท่อน้ำเสียลงท่อน้ำเสียสาธารณะ จะต้องต่อลงที่ตำแหน่งบ่อตรวจระบบ (MANHOLE) ที่เหมาะสมตามที่การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ได้จัดเตรียมไว้ให้แล้ว

2.7 ท่อต่อเชื่อมกับท่อระบายน้ำเสียสาธารณะ จะต้องขอรอยต่อให้แน่น เพื่อป้องกันการซึมเข้า-ออก

2.8 ในกรณีที่น้ำเสียมีคุณภาพของน้ำเสียเปลี่ยนแปลงมากในช่วงเวลาหนึ่ง จะต้องมีบ่อเก็บกักขนาดใหญ่พอที่จะปรับคุณภาพของน้ำเสียให้คงที่

3. การกำหนดมาตรฐานคุณสมบัติของน้ำเสียที่จะระบายลงสู่ระบบกำจัดน้ำเสียส่วนกลางดังนี้  
คือ

- 3.1 BOD<sub>5</sub> ของน้ำเสียที่สูงที่สุดในแต่ละวันไม่มากกว่า 1,000 มก./ล.
- 3.2 สารแขวนลอย (Suspended solid) มีค่าเฉลี่ยไม่มากกว่า 500 มก./ล. ยกเว้นนิคมอุตสาหกรรมบางปู มีค่าเฉลี่ยไม่มากกว่า 200 มก./ล.
- 3.3 สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH value) ต้องอยู่ระหว่าง 5-9
- 3.4 อุณหภูมิของน้ำเสียที่ระบายออกต้องไม่เกิน 45°C
- 3.5 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) ไม่มากกว่า 5 มก./ล.
- 3.6 ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเป็น OH<sup>-1</sup> ไม่มากกว่า 2.0 มก./ล.
- 3.7 น้ำมันและไขมัน (Oils and grease) ไม่มากกว่า 10 มก./ล.
- 3.8 น้ำมันทาร์ (Tar) ไม่มากกว่า 10 มก./ล.
- 3.9 ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า 2 มก./ล.
- 3.10 ฟีนอลหรือครีโซล (Phenol & cresols) ไม่มากกว่า 1 มก./ล.
- 3.11 คลอรีนอิสระ (Free chlorine) ไม่มากกว่า 5 มก./ล.
- 3.12 ยำฆ่าแมลง (Insecticide) ไม่มีเลย
- 3.13 สารกัมมันตรังสี (Radioactive compound) ไม่มีเลย
- 3.14 ฟลูออไรด์ (Fluoride) คิดเป็นฟลูออรีน (F) ไม่มากกว่า 5 มก./ล.
- 3.15 แอมโมเนียอิสระ (Free ammonia) ไม่มากกว่า 5 มก./ล.
- 3.16 แอมโมเนีย (total ammonia Nitrogen as N) ไม่มากกว่า 50 มก./ล.
- 3.17 ปรอทและสารประกอบปรอท (mercury and mercury compound) ไม่มากกว่า 0.005 มก./ล. (5 microgram/L)
- 3.18 สารละลายเหล็กและแมงกานีส (Soluble iron and manganese) ไม่มากกว่า 10 มก./ล.
- 3.19 โครเมียม (chromium), สารหนู (Arsenic), เงิน (Silver), เซเลเนียม (Selenium), ตะกั่ว (Lead), นิกเกิล (Nickel), ทองแดง (Copper), แคดเมียม (Cadmium), แบเรียม (Barium), รวมกันหรือแต่ละอย่าง ไม่มากกว่า 1 มก./ล.
- 3.20 ผงซักฟอก (synthetic detergent) ไม่มากกว่า 30 มก./ล.
- 3.21 สารอื่นๆ ที่เป็นผลต่อการระบายและกำจัดน้ำเสียไม่ควรระบายลงท่อน้ำเสียโดยตรง
  - สารที่มีความหนืดสูง
  - สารที่จับหรือตกตะกอนในท่อระบาย ทำให้อุดตัน
  - ตะกอนแคลเซียมคาร์ไบด์ (Calcium Carbide Sludge)

3.22 คลอไรด์คิดเทียบเป็นคลอริน (Cl) ไม่เกิน 2,000 มก./ล. หากคุณสมบัติของน้ำเสียรายใด มากกว่ามาตรฐานที่การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยกำหนดไว้ในข้อ 3 แห่งประกาศฉบับนี้จะต้องจัดให้มีระบบการกำจัดน้ำเสียเบื้องต้น ก่อนระบายน้ำเสียลงสู่ระบบกำจัดน้ำเสียส่วนกลาง

ในกรณีที่มีปัญหา ในการดำเนินการตามประกาศนี้ ให้ผู้ว่าการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย เป็นผู้วินิจฉัยชี้ขาด

ทั้งนี้ บรรดาระเบียบ ข้อบังคับ ประกาศ หรือคำสั่งอื่นใดของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยในส่วนที่ได้กำหนดไว้แล้วในการประกาศฉบับนี้หรือซึ่งขัดแย้งกับประกาศฉบับนี้ให้ใช้ประกาศฉบับนี้แทน

ประกาศ ณ วันที่ 14 พฤษภาคม 2530

ลงชื่อ โชคชัย อรรถวิวัฒน์

(นายโชคชัย อรรถวิวัฒน์)

ผู้ว่าการการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 52 ง วันที่ 27 มิถุนายน 2539

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ฉบับที่ ๓ (พ.ศ. ๒๕๓๙)

เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิด

ประเภท โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๕๕ แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โดยคำแนะนำของคณะกรรมการควบคุมมลพิษ และโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมออกสู่สิ่งแวดล้อม ไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ในประกาศนี้

โรงงานอุตสาหกรรม หมายความว่า โรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน

นิคมอุตสาหกรรม หมายความว่า นิคมอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วย นิคมอุตสาหกรรม หรือโครงการที่จัดไว้สำหรับการประกอบการอุตสาหกรรมที่มีการจัดการระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมร่วมกัน

“น้ำเสีย” หมายความว่า ของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลว รวมทั้งมลสารที่ปะปน หรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น

“น้ำทิ้ง” หมายความว่า น้ำเสียเกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมหรือนิคมอุตสาหกรรม ที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงานรวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในนิคมอุตสาหกรรมด้วย โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ที่กำหนดไว้ตามประกาศนี้

“แหล่งน้ำสาธารณะ” ให้หมายความรวมถึง ท่อระบายน้ำสาธารณะด้วย

“การบำบัดน้ำเสีย” หมายความว่า กระบวนการทำหรือปรับปรุงน้ำเสียเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและ สิ่งแวดล้อม ฉบับที่ ๓ (พ.ศ. ๒๕๓๙) เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม แต่ทั้งนี้ห้ามมิให้ใช้วิธีการทำให้เจือจาง (Dilution)

ข้อ ๒ ให้โรงงานอุตสาหกรรมจำพวกที่ ๒ และจำพวกที่ ๓ ตามบัญชีท้ายประกาศนี้ เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

ข้อ ๓ ให้นิคมอุตสาหกรรมตามข้อ ๑ เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

ข้อ ๔ ห้ามมิให้เจ้าของหรือผู้ครอบครอง โรงงานอุตสาหกรรมหรือนิคมอุตสาหกรรมตามข้อ ๒ และข้อ ๓ ปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม เว้นแต่น้ำเสียดังกล่าว ไม่ว่าจะผ่านการบำบัดน้ำเสียหรือไม่ก็ตามต้องมีคุณภาพตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจาก โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ ๓ (พ.ศ. ๒๕๓๕) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ประกาศ ณ วันที่ ๓ มกราคม ๒๕๓๕

ยิ่งพันธ์ มนะสิการ

(นายยิ่งพันธ์ มนะสิการ)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์

เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 13 ง วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539

## ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ฉบับที่ ๔ (พ.ศ. ๒๕๓๕)

เรื่อง กำหนดประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้อง  
ถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๖๕ แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม  
แห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๓๕ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โดยคำแนะนำ  
นำของคณะกรรมการควบคุมมลพิษ กำหนดประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม  
ที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อมไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ในประกาศนี้

“โรงงานอุตสาหกรรม” หมายความว่า โรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน

“นิคมอุตสาหกรรม” หมายความว่า นิคมอุตสาหกรรมตามกฎหมายว่าด้วย นิคมอุตสาหกรรม  
หรือโครงการที่จัดไว้สำหรับการประกอบการอุตสาหกรรมที่มีการจัดการระบายน้ำทิ้งลงสู่สาธารณะ  
หรือออกสู่สิ่งแวดล้อมร่วมกัน

“น้ำเสีย” หมายความว่า น้ำเสียเกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมหรือนิคมอุตสาหกรรม  
ที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสีย  
จากการใช้น้ำ ของคนงานรวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรมหรือในนิคมอุตสาหกรรม  
ด้วย โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง ที่กำหนดไว้ตามประกาศกระทรวง  
วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ ๓ (พ.ศ. ๒๕๓๕) เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการ  
ระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิด ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคม อุตสาหกรรม

ข้อ ๒ ให้กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ ๑ ไว้ดังต่อไปนี้

(๑) ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH value) ระหว่าง ๕.๕ ถึง ๘.๐

(๒) ค่าทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้

๒.๑ ค่าทีดีเอส ไม่เกิน ๓,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ได้  
แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการ  
ควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน ๕,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๖ วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง ความถี่ และระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งให้เป็นไปตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนด โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา

ประกาศ ณ วันที่ ๓ มกราคม ๒๕๖๕

ยิ่งพันธ์ มนะสิการ

(นายยิ่งพันธ์ มนะสิการ)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์

เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๒.๒ น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน ๒,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรือลงสู่ทะเล ค่า ทีดีเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า ทีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อยหรือทะเลได้ไม่เกิน ๕,๐๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๓) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่เกิน ๕๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของอุตสาหกรรมหรือประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน ๑๕๐ มิลลิกรัม ต่อลิตร

(๔) อุณหภูมิ (Temperature) ของน้ำทิ้งที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ไม่เกิน ๔๐ องศาเซลเซียส

(๖) ซัลไฟด์ (Sulfide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ไม่เกิน ๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๗) ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่เกิน ๐.๒ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๘) โลหะหนักมีค่าดังนี้

๘.๑	สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน	๕.๐	มก./ล.
๘.๒	โครเมียม ชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน	๐.๒๕	มก./ล.
๘.๓	โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน	๐.๗๕	มก./ล.
๘.๔	อาร์เซนิก (As)	ไม่เกิน	๐.๒๕	มก./ล.
๘.๕	ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน	๒.๐	มก./ล.
๘.๖	ปรอท (Hg)	ไม่เกิน	๐.๐๐๕	มก./ล.
๘.๗	แคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน	๐.๐๑	มก./ล.
๘.๘	บาเรียม (Ba)	ไม่เกิน	๑.๐	มก./ล.
๘.๙	เซเลเนียม (Se)	ไม่เกิน	๐.๐๒	มก./ล.
๘.๑๐	ตะกั่ว (Pb)	ไม่เกิน	๐.๒	มก./ล.
๘.๑๑	นิกเกิล (Ni)	ไม่เกิน	๕.๐	มก./ล.
๘.๑๒	แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน	๕.๐	มก./ล.

(๙) น้ำมันและไขมัน (Fat Oil & Grease) ไม่เกิน ๕ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน ๑๕ มิลลิกรัมต่อลิตร



(๑๐) ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่เกิน ๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๑) สารประกอบฟีนอล (Phenols) ไม่เกิน ๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๒) คลอรีนอิสระ (Free chlorine) ไม่เกิน ๑ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๓) สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide) ต้องตรวจสอบไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด

(๑๔) ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ไม่เกิน ๒๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน ๖๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๕) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่เกิน ๑๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงาน อุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน ๒๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

(๑๖) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่เกิน ๑๒๐ มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ได้ แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน ๔๐๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๓ มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากนิคมอุตสาหกรรม ต้องเป็นไปตาม ข้อ ๒ เว้นแต่ ค่า บีโอดี ต้องไม่เกิน ๒๐ มิลลิกรัมต่อลิตร

ข้อ ๔ การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ ๒ และจากนิคมอุตสาหกรรมตามข้อ ๓ ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(๑) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH meter)

(๒) การตรวจสอบค่า ทีดีเอส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ ๑๐๒ องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ ๑๐๕ องศาเซลเซียส ในเวลา ๑ ชั่วโมง

(๓) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)

(๔) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ

(๕) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการ ไตรเตรท (Titrant)

(๖) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีการ ถิ่นและตามด้วยวิธีไพริดีนบาร์บิทรูริกแอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(๗) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก ให้ใช้วิธีการดังนี้

๗.๑ การตรวจสอบค่าสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคลเซียม แมกนีเซียม ตะกั่ว นิกเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอบซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี ( Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเรกต์ แอสไพเรชัน (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสมา อิมิสชัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิลด์ พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

๗.๒ การตรวจสอบค่าอาร์เซนิก และเซเลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์ เจนเนอเรชัน (Hydride Generation) หรือวิธีพลาสมา อิมิสชัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิลด์ พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

๗.๓ การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน คอลด์ เวปอร์ เทคนิก (Atomic Absorption Cold Vapour Technique)

(๘) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลายแล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน

(๙) การตรวจสอบค่าฟอร์มาลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)

(๑๐) การตรวจสอบค่าสารประกอบฟีนอล ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธี ๔-อะมิโนแอนติไพรีน (Distillation, 4-Aminoantipyrine)

(๑๑) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอดิเมตริก (Iodometric Method)

(๑๒) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas-Chromatography)

(๑๓) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ ๒๐ องศาเซลเซียส เป็นเวลา ๕ วัน ติดต่อกัน หรือวิธีอื่นที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษให้ความเห็นชอบ

(๑๔) การตรวจสอบค่าทีเคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาล์ (Kjeldahl)

(๑๕) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียม ไดโครเมต (Potassium Dichromate Digestion)

ข้อ ๕ การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ ๔ จะต้องเป็นไปตาม คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ของสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง American Public Health Association, American Water Works Association Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย

## ประวัติผู้เขียน

ข้าพเจ้า นายสุวิทย์ กิตติภูมิชัย เกิดวันที่ 4 กันยายน พ.ศ.2512 เป็นบุตรคนที่ 4 จากจำนวนทั้งหมด 6 คน สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้นและมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนกรรณสูตศึกษาลัย จังหวัดสุพรรณบุรี และสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี จากภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2533 จากนั้นได้เข้าทำงานในบริษัทที่ปรึกษาด้านสิ่งแวดล้อมหลายแห่ง จึงทำให้มีความสนใจที่จะศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย