

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง.

การพัฒนาระบบออสโมซิสย้อนกลับโดยใช้คอมพิวเตอร์

DEVELOPMENT OF REVERSE OSMOSIS SYSTEM BY COMPUTER



ธเนศ หาญพัฒนานุสรณ์

TANED HARNPATTANANUSORN

อพ.

ร 265ก

2548

เลขหมู่.....

60443

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี 29 ส.ย. 2548

b. 11๑๘๑๑๑๑
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2548

ISBN 974-15-1438-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF REVERSE OSMOSIS SYSTEM BY COMPUTER



TANED HARNPATTANANUSORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

ISBN 974-15-1438-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาระบบออสโมซิสย้อนกลับโดยใช้คอมพิวเตอร์
DEVELOPMENT OF REVERSE OSMOSIS SYSTEM BY COMPUTER

ชื่อนักศึกษา นายธเนศ หาญพัฒนานุสรณ์

รหัสประจำตัว 43061021

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.วงศ์วิทย์	เสนะวงศ์	
ดร.สุพัฒน์	กิตติรัตน์สัจจา	
ดร.สมภพ	ผลไม้	
รศ.ศุภี	บรรจงจิตร	
รศ.มณฑล	ลีลาจินดาไกรฤกษ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 24 กุมภาพันธ์ 2548 เวลา 9.00-11.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-404)



วันที่.....๗.....เดือน.....๑๖/๒๕๔๘.....พ.ศ.๒๕๔๘.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาระบบถอดโมดูลย้อนกลับโดยใช้คอมพิวเตอร์
นักศึกษา นายธเนศ หาญพัฒนานุสรณ์
รหัสนักศึกษา 43061021
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ. 2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

บทคัดย่อ

ระบบถอดโมดูลย้อนกลับเป็นระบบที่ใช้แยกน้ำออกจากสารละลายอินทรีย์ โดยอาศัยปัจจัยสองอย่างคือแรงดัน และ เมมเบรน โดยเมื่อระบบผ่านการใช้งานไป จำเป็นจะต้องมีการล้างทำความสะอาดเมมเบรนโดยพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อัตราการไหลที่ลดลงของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ ปริมาณความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ สุดท้ายคือแรงดันทางด้านเข้ากับด้านออกมีความแตกต่างกันมาก

บทความฉบับนี้นำเสนอเทคนิคใหม่ในการล้างทำความสะอาดเมมเบรน โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณและประเมินประสิทธิภาพของเมมเบรน โดยใช้หลักการควบคุมระบบผ่านคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อระบบผ่านพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232C ในแบบ Hostlink Mode ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคใหม่ที่ได้เสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบถอดโมดูลย้อนกลับได้ดีและมีประสิทธิภาพ

Thesis Title Development of Reverse Osmosis System by Computer
Student Mr.Taned Harnpatananusorn
Student ID. 43061021
Degree Master of Engineering
Programme Electrical Engineering
Year 2005
Thesis Advisor Assoc.Prof. Monthon Leelajindakrairerk

ABSTRACT

The reverse osmosis system is used to separate water from dissolved organic solution by a membrane and controlling the operating pressure. In a certain application, reverse osmosis system need to be cleaned by considering from the decreasing of water flow rate, the increasing of total dissolved solids (TDS) or the large pressure drop between influent and effluent.

This paper proposes a new technique of automatic cleaning in reverse osmosis system controlled by computer. The protocol (RS-232C) in the Hostlink mode is used as interfacing port for the computer to control the cleaning process. The results show that this new proposed technique can be applied for the increasing the efficiency of the system.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.มณฑล ลีลาจินดา ไกรฤกษ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำช่วยแก้ไขปัญหาคงจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณบริษัท โรมอินเกรต เซมิคอนดักเตอร์ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลองแก่ข้าพเจ้า และขอขอบคุณ บริษัท โทซัน ที่ให้ข้าพเจ้าใช้อุปกรณ์ในการทำวิจัย และขอขอบคุณทุกท่านที่ช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

สำหรับคุณงามความดีอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบให้กับ บิดา-มารดา ซึ่งเป็นที่รัก และเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

อเนศ หาญพัฒนะนุสรณ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 หลักการทำงานและการออกแบบระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	4
2.1 หลักการทำงานพื้นฐานของระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	4
2.2 ความหมายของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	5
2.3 ปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	5
2.3.1 อุณหภูมิและพีเอช.....	5
2.3.2 แรงดัน.....	6
2.3.3 ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำดิบ.....	7
2.4 การคำนวณหาแรงดันออสโมซิส (Osmotic Pressure).....	7
2.4.1 ขีดความสามารถของกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ.....	8
2.4.2 กลไกการทำงานของออสโมซิสย้อนกลับในการกำจัดสารต่างๆ.....	9
2.5 การคำนวณ และ ออกแบบระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	13
2.6 การต่อเมมเบรน.....	15
2.7 มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	19
3.1 เมมเบรนที่ใช้ในระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	19
3.1.1 วัสดุของ Reverse Osmosis เมมเบรน.....	19
3.1.2 รูปแบบของเมมเบรน.....	20
3.2 การปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนเข้าสู่ระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	24
3.3 เครื่องสูบน้ำที่มีแรงดันสูง (High Pressure Pump).....	30
3.4 เครื่องมือที่ใช้การตรวจสอบคุณภาพระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	31
บทที่ 4 การเกิดการอุดตันในเมมเบรนและวิธีการล้างเมมเบรน.....	32
4.1 สาเหตุของการอุดตันในเมมเบรน.....	32
4.1.1 การเกิดตะกอนบนเมมเบรน (Scale Fouling).....	32
4.1.2 การตกผลึกของเหล็ก และ แมงกานีส (Iron & Manganese Oxide Fouling).....	33
4.1.3 การอุดตันเนื่องจากสารคอลลอยด์ (SDI Fouling).....	33
4.1.4 การอุดตันเนื่องจากจุลินทรีย์ (Biological Fouling).....	34
4.2 วิธี และ ขั้นตอนการล้างเมมเบรน	35
บทที่ 5 พีแอลซีกับการติดต่อสื่อสาร.....	36
5.1 การติดต่อสื่อสารข้อมูลทั่วไป.....	36
5.1.1 วิธีการส่งข้อมูล.....	37
5.1.2 ข้อตกลงในการติดต่อสื่อสาร (โพรโตคอล ; Protocols).....	39
5.1.3 การควบคุมความผิดพลาดในการส่งข้อมูล(Error Control).....	41
5.1.4 อัตราการส่งข้อมูล (Data Transmission Rate).....	42
5.1.5 มาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม.....	43
5.2 รูปแบบของการสื่อสารข้อมูลของเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้.....	46
5.2.1 การต่อวงจรแบบจุดต่อจุด.....	46
5.2.2 การต่อวงจรแบบหลายจุด	47
5.2.3 การต่อวงจรสื่อสารแบบเครือข่ายท้องถิ่น	50
(Local area Network for PLC/PC)	
5.3 ข้อตกลงในการสื่อสารของเครื่องควบคุมPLC/PC.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.3.1 รูปแบบของบล็อก (Block Format).....	52
5.3.2 การคำนวณ FCS	52
บทที่ 6 การประยุกต์และพัฒนาระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	54
6.1 รูปแบบการควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	55
6.2 การประยุกต์และพัฒนาระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	56
6.3 การควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับแบบที่ได้พัฒนาขึ้น.....	59
บทที่ 7 การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์และการเชื่อมต่อกับระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	61
7.1 การพัฒนาโปรแกรมเพื่อสนับสนุนการการจำลองเหตุการณ์บน เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล.....	61
7.1.1 โปรแกรมที่ทำการติดต่อสื่อสาร และ จัดการข้อมูลกับ พีแอลซี.....	61
7.1.2 โปรแกรมส่วนที่ผู้ใช้ใช้ในการติดตามการทำงานของระบบ.....	62
7.1.3 ส่วนที่ใช้ในการแสดงข้อมูลในเชิงสถิติ.....	65
7.2 รูปแบบการทำงานของโปรแกรม.....	67
7.3 การใช้งานโปรแกรม.....	69
บทที่ 8 การดำเนินการวิจัยและผลการทดสอบ.....	75
8.1 การทดสอบ.....	76
บทที่ 9 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	87
9.1 สรุปผลการทดลอง.....	87
9.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย.....	87
9.3 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางในการแก้ไขปัญหา.....	88
9.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	89
ภาคผนวก ก.....	90
ภาคผนวก ข.....	96
ภาคผนวก ค.....	106
ภาคผนวก ง.....	107
ประวัติผู้เขียน.....	120



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แรงดันออสโมซิสของสารประกอบบางชนิดที่ 25 °C.....	7
2.2 ความสามารถของ RO ในการกำจัดสารละลาย Anions.....	10
2.3 ความสามารถของ RO ในการกำจัดสารละลาย Cations.....	10
2.4 ความสามารถของ RO ในการกำจัดสารอินทรีย์.....	12
2.5 มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภค.....	16
2.6 มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม.....	17
2.7 มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์.....	18
3.1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเมมเบรนชนิด CA และ PA.....	20
3.2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ RO Module แบบต่างๆ.....	24
3.3 วิธีต่างๆในการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ.....	25
3.4 คุณสมบัติของน้ำดิบก่อนเข้าระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	30
5.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ RS-232 C ,RS-422A และ RS-485.....	46
8.1 มาตรฐานของน้ำดิบและน้ำที่ผลิตได้จากระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	76
8.2 แสดงแรงดัน Feed Water (PS1) Permeate Water (PS2) Concentrate Water (PS3).....	80
ความเข้มข้นของสารละลายของ Feed Water (TDS1) Permeate Water (TDS2)	
Concentrate Water (TDS3) อัตราการไหลของ Feed Water (FI1) Permeate Water	
(FI2) Concentrate Water (FI3) อุณหภูมิของ Feed Water(T1)	
8.3 แสดงการคำนวณประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการทำงานของออสโมซิสย้อนกลับ.....	4
2.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณน้ำสะอาด ที่ผลิตได้.....	6
2.3 ผลของแรงดันที่มีต่อปริมาณน้ำสะอาดที่ผลิตได้.....	6
2.4 ผลของความเข้มข้นของสารละลายต่อปริมาณน้ำสะอาดที่ผลิตได้.....	7
2.5 กลไกการกำจัดเกลือแร่ของระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	9
2.6 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	11
2.7 การต่อเมมเบรนแบบขนานและแบบอนุกรม.....	16
3.1 RO-Plate and Frame Module.....	21
3.2 RO-Tubular Module.....	21
3.3 RO-Spiral Wound Module.....	22
3.4 RO-Hollow Fiber Module.....	23
3.5 เครื่องสูบบำบัดหลายชุด.....	30
5.1 ความสัมพันธ์ของส่วนประกอบหลักในการสื่อสารข้อมูล.....	36
5.2 การส่งแบบทิศทางเดียว (Simplex).....	37
5.3 การส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex).....	37
5.4 การส่งแบบสองทิศทาง (Full Duplex).....	38
5.5 การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน.....	38
5.6 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม.....	39
5.7 แสดงโครงสร้างของแพ็กเกจ.....	41
5.8 แสดงรูปแบบการตรวจสอบด้วย Parity Bit.....	42
5.9 แสดงโครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามเวลาตามมาตรฐาน RS-232C.....	43
5.10 โครงสร้างการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-422A.....	44
5.11 โครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS -485.....	45
5.12 ระบบการติดต่อแบบจุดต่อจุด.....	47
5.13 การเชื่อมโยงแบบอินพุท/เอาต์พุทระยะไกล (Remote I/O System).....	47
5.14 การจำลองพื้นที่ของตัวควบคุมหลักขณะทำงานปกติ.....	48
5.15 การจำลองพื้นที่ของตัวควบคุมหลักขณะเมื่อมีการทำงานร่วมกับหน่วยอินพุท เอาต์พุท ...	48
ระยะไกล	
5.16 การต่อแบบ Serial Link.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.17 การต่อแบบ Parallel Link.....	49
5.18 การแบ่งพื้นที่สำหรับ PC Link System.....	50
5.19 ระบบการติดต่อสื่อสารแบบเครือข่ายท้องถิ่น.....	50
5.20 ระบบโครงข่ายแบบหลายจุดโดยให้มาตรฐานการสื่อสาร RS485.....	51
5.21 การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องควบคุม PLC/PC.....	51
5.22 รูปแบบของบล็อกล็อก.....	52
5.23 รูปแบบบล็อกล็อก และการคำนวณ FCS.....	53
6.1 ระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	54
6.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	55
6.3 รูปแบบของอุปกรณ์ควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	56
6.4 ระบบออสโมซิสย้อนกลับแบบที่ได้มีการพัฒนาขึ้น.....	57
6.5 ขั้นตอนการทำความสะอาดเมมเบรน.....	58
6.6 รูปแบบของอุปกรณ์ควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับที่ได้พัฒนาขึ้น.....	60
7.1 การติดต่อสื่อสารระหว่าง พีแอลซี กับ คอมพิวเตอร์.....	62
7.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....	63
7.3 รูปแบบการเก็บข้อมูล ในตำแหน่งต่างๆ.....	65
7.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	68
7.5 หน้าจอหลัก (Main Page).....	69
7.6 แสดงการกำหนดการติดต่อสื่อสาร (Communication Setting Page).....	70
7.7 หน้ากำหนดพารามิเตอร์ (Setting Parameter Page).....	71
7.8 หน้ากระบวนการ (Reverse Osmosis Diagram Page).....	72
7.9 หน้าการแสดงผลข้อมูล (Data Page).....	73
7.10 หน้าตรวจสอบประสิทธิภาพระบบออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis System..... Performance Curve Page)	74
8.1 การเก็บข้อมูลต่างๆลงไฟล์เอกสาร.....	77
8.2 แสดงการเชื่อมต่อกับพีแอลซี.....	78
8.3 แสดงหน้าจอควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับที่ใช้ในโรงงานโรอินทิเกรต.....	79
8.4 แนวโน้ม Normalize Permeate TDS (PT).....	82
8.5 แนวโน้ม Normalize Permeate Flow (PF).....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

	หน้า
8.6 แนวโน้ม Recovery (%R).....	84
8.7 แนวโน้ม Salt Passage (%SP).....	85
8.8 แนวโน้มของค่า Salt Rejection (%SR).....	86



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

1.1.1. การพัฒนาการใช้งาน ระบบออสโมซิสย้อนกลับเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพดีขึ้น และสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้มากขึ้น

1.1.2. ค่าใช้จ่ายที่สูงสูญเสียไปโดยไม่จำเป็นเนื่องจากการทำความสะอาดเมมเบรน

1.1.3. การพิจารณาองค์ประกอบที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้พิจารณาในการออกแบบระบบ และเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆภายในระบบให้มีความเหมาะสมที่สุด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1. ต้องการศึกษากาการใช้งานและลักษณะการทำงานของโปรแกรมโดยนำรูปแบบที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมประยุกต์ทางภาษา เพื่อสร้างระบบควบคุมมาใช้ในการควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับ

1.2.2. เพื่อพัฒนาระบบออสโมซิสย้อนกลับ ให้มีความน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและลดต้นทุนการผลิตโดยนำคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในส่วนของการประเมินผล

1.2.3. ศึกษาซอฟต์แวร์โปรแกรมของพีแอลซี Omron เพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรมควบส่งงานเบื้องต้นระหว่างพีแอลซีกับเครื่องคอมพิวเตอร์

1.2.4. ได้มีการทดสอบเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับ สามารถทำงานควบคุมโดยการต่อควบคุมกับพีแอลซีของบริษัท Omron ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิต

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ผลจากปริมาณและคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตได้จากระบบออสโมซิสย้อนกลับมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ อันเป็นผลมาจากประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับในการกำจัดเกลือและสารอินทรีย์ต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำได้น้อยลง อันเนื่องมาจากเกิดการอุดตันภายในเมมเบรนซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญภายในระบบออสโมซิสย้อนกลับ จึงทำให้ระบบออสโมซิสย้อนกลับขาดความน่าเชื่อถือ ทำให้เกิดการตั้งสมมติฐานของการศึกษา โดยการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการพัฒนาระบบออสโมซิสย้อนกลับ ให้สามารถรักษาประสิทธิภาพในการผลิตน้ำบริสุทธิ์ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ได้ตลอด โดยนำคอมพิวเตอร์มาคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับว่ามีค่าลดลงจนถึงจุดที่จำเป็นจะต้องได้รับการล้างระบบหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

โดยภายในระบบออสโมซิสย้อนกลับจะมีองค์ประกอบสำคัญที่ทำหน้าที่ในการกำจัดเกลือและสารอินทรีย์ต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำออกเพื่อให้ได้น้ำสะอาดตามต้องการ นั่นคือเมมเบรน ดังนั้นในการพัฒนาระบบออสโมซิสย้อนกลับ จึงจำเป็นที่จะต้องรักษาประสิทธิภาพของเมมเบรนให้มีประสิทธิภาพสูงสุดตลอดเวลา เพื่อให้ระบบออสโมซิสย้อนกลับสามารถผลิตน้ำสะอาดได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยการพัฒนาให้ระบบสามารถทำความสะอาดเมมเบรนได้เองโดยอัตโนมัติ เมื่อปริมาณและคุณภาพน้ำสะอาดที่ผลิตได้ต่ำกว่ามาตรฐาน วิธีการคือนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับ โดยอ้างอิงตามทฤษฎีการคำนวณหาประสิทธิภาพ ของเมมเบรน สำหรับตัวแปรที่เป็นปัจจัยที่ถูกนำมาใช้ในการพิจารณาประกอบด้วย อัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้(Flow Rate), ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ (Total Dissolve Solid), สุกท้ายคือความดันภายในระบบ(Pressure) โดยตัวแปรเหล่านี้จะถูกนำมาใช้วิเคราะห์หาประสิทธิภาพเมมเบรน พร้อมทั้งแสดงผลในรูปกราฟ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

สำหรับการวิจัยนี้นำเสนอถึงวิธีการ และขั้นตอนในการพัฒนาระบบออสโมซิสย้อนกลับจากระบบเดิมให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยการวิจัยนี้มีการออกแบบโปรแกรมที่ใช้สำหรับการคำนวณหาประสิทธิภาพของเมมเบรนพร้อมทั้งการเก็บข้อมูลเพื่อง่ายต่อการตรวจสอบย้อนหลัง โดยแสดงผลในรูปกราฟ การเข้าสู่ขบวนการทำความสะอาดเมมเบรนโดยอัตโนมัติเมื่อพบว่าคุณภาพของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ และการออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้ในการควบคุมเครื่องควบคุมพีแอลซี เพื่อใช้ควบคุมกระบวนการทำงานระบบออสโมซิสย้อนกลับโดยการสื่อสารผ่าน Port RS-232C(Hostlink Mode) สำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับจะสามารถกำหนดช่วงระยะเวลาในการเก็บข้อมูลได้ตั้งแต่ 1-24 ชั่วโมง โดยขอบเขตของการวิจัยจะอยู่ในส่วนของการพัฒนาระบบออสโมซิสย้อนกลับเท่านั้น

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.6.1.ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานพร้อมทั้งออกแบบระบบควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับ
- 1.6.2.ศึกษาทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งาน พีแอลซี
- 1.6.3.ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับพร้อมทั้งนำค่าที่ได้มาทำการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.4. ศึกษาการใช้งานโปรแกรมประยุกต์วิซวลเบสิก (Visual Basic)

1.6.5. พัฒนาโปรแกรมเพื่อจำลองระบบควบคุมระบบอบสโมทิสย้อนกลับบนเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยผ่านการสื่อสารข้อมูลแบบมาตรฐาน RS-232 C ไปยังเครื่อง พีแอลซี Omron

1.6.6. บันทึกผลการทดลองและเปรียบเทียบระบบอบสโมทิสย้อนกลับทั้งแบบก่อนและหลังการพัฒนา

1.6.6. สรุปผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

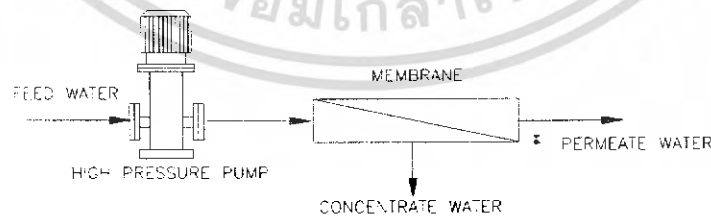
บทที่ 2

หลักทำงานและการออกแบบระบบออสโมซิสย้อนกลับ

ออสโมซิส (Osmosis) หมายถึง การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติของน้ำผ่านเยื่อเมมเบรนบางๆ (Semi Permeable Membrane) จากสารละลายเจือจางไปยังสารละลายเข้มข้นสูงกว่า โดยเยื่อเมมเบรนจะยอมให้น้ำไหลผ่านเท่านั้น แต่ถ้ามีแรงดันที่สูงกว่าแรงดันออสโมซิสสามารถกระทำต่อต้านที่มีสารละลายเข้มข้น น้ำจะไหลย้อนกลับ เป็นการต้านการไหลตามธรรมชาติ เรานำหลักการดังกล่าวมาใช้เพื่อแยกน้ำออกจากสารละลายเข้มข้นต่างๆ และเรียกระบบออสโมซิสย้อนกลับ ซึ่งจะเป็นขบวนการที่อาศัยเยื่อเมมเบรน ในการแยกสารละลายออกจากน้ำหรือของเหลว โดยใช้แรงดันในการแยกสารละลายน้ำออกจากกัน ออสโมซิสย้อนกลับสามารถแยกสารอินทรีย์ขนาดใหญ่และสารอินทรีย์ต่างๆ เกือบทุกชนิดออกมาได้ โดยจะอาศัยปัจจัยสองอย่างคือ แรงดันและเมมเบรน ซึ่งแรงดันที่ใช้จะเริ่มตั้งแต่ 200 -1000 ปอนด์/ตร.นิ้ว หรือมากกว่านั้น

2.1 หลักการทำงานพื้นฐานของระบบออสโมซิสย้อนกลับ

ออสโมซิสย้อนกลับ [7] (Reverse Osmosis: RO) มีความสามารถในการกำจัดเกลือและสารอินทรีย์ต่างๆได้ ด้วยกลไกที่แตกต่างไปจากกลไกของการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) หรือการดูดติดผิว (Absorption) โดยระบบ RO สามารถกำจัดสารละลายต่างๆในน้ำได้โดยใช้เมมเบรน ซึ่งเมมเบรนจะยอมให้เฉพาะโมเลกุลของน้ำไหลผ่านเท่านั้น ส่วนไอออนต่างๆของเกลือจะถูกเมมเบรนผลัดกันออกไปจึงไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้ และโมเลกุลของสารอินทรีย์ต่างๆจะไม่ถูกเมมเบรนผลัดกันแต่ถูกกำจัดโดยการกรองติดค้าง (Seive) โดยหลักการของระบบออสโมซิสย้อนกลับสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของออสโมซิสย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ความหมายของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบออสโมซิสย้อนกลับ

Feed Flow (FI1) หมายถึง อัตราการไหลของน้ำดิบที่ป้อนให้ระบบ

Permeate Flow (FI2) หมายถึง อัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากระบบ

Concentrate Flow (FI3) หมายถึง อัตราการไหลของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ (น้ำที่มีืออออกมา)

Total Dissolve Solid (TDS) หมายถึง ปริมาณความเข้มข้นของเกลือแร่ หรือสารแขวนลอยต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำซึ่งสามารถแสดงออกมาในรูปของการวัดเป็นค่าความนำไฟฟ้ามีหน่วยเป็น $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Recovery (%R) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ กับ ปริมาณของน้ำดิบที่ป้อนให้ระบบ คิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์

Salt Passage (%SP) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ กับ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารละลายในระบบ คิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์

Salt Rejection (%SR) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำทิ้ง กับ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารละลายในระบบ คิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์

Silt Density Index (SDI) เป็น หน่วยวัดค่าของปริมาณอนุภาคต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำ

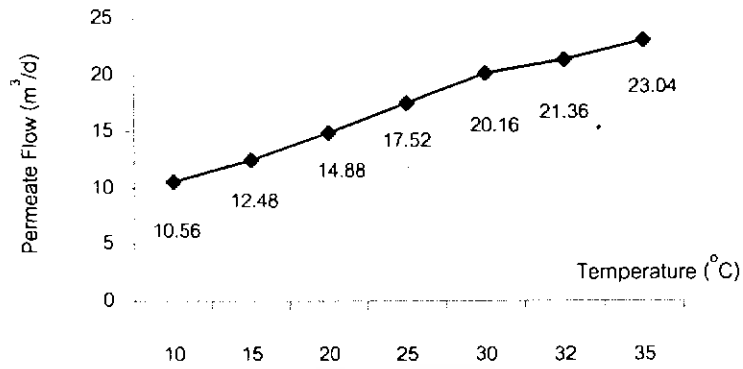
Langelin Saturation Index (LSI) เป็นดัชนีที่สามารถบอกถึงสภาพน้ำว่ามีแนวโน้มในการเกิดตะกอน

Normalize Permeate Flow (PF) หมายถึง อัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ที่ลดลง เนื่องจากการอุดตันของเมมเบรน

Normalize Permeate TDS (PT) หมายถึง ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการอุดตันของเมมเบรน

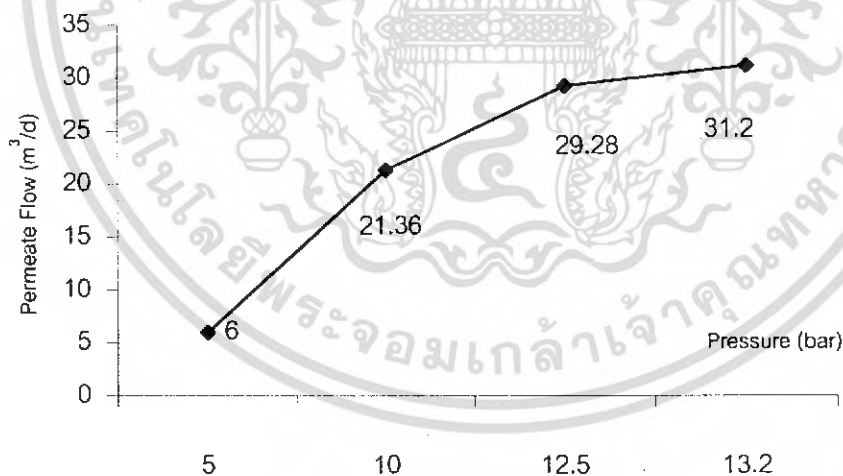
2.3 ปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบออสโมซิสย้อนกลับ [12]

2.3.1. อุณหภูมิและพีเอช การเพิ่มอุณหภูมิแต่ละองศา ช่วยให้อัตราของการไหลของน้ำ (Water Flux) เพิ่มตามไปด้วย ดังรูปที่ 2.2 แต่ไม่เพิ่มการรั่วไหลของสารละลาย (Salt Flux) แต่ ถ้าต้องการให้เมมเบรนมีอายุการใช้งานนานๆ ควรรักษาระดับพีเอชให้อยู่ในช่วง 3-7 และอย่าใช้กับน้ำที่มีอุณหภูมิสูง



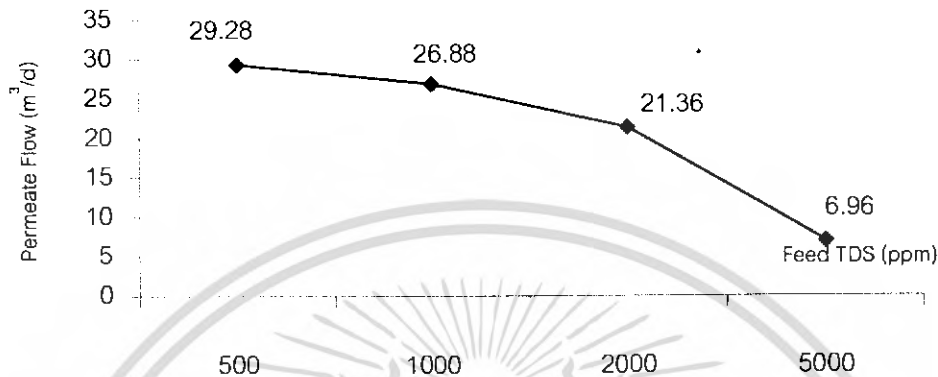
รูปที่ 2.2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณน้ำสะอาด ที่ผลิตได้

2.3.2. แรงดัน แรงดันมีอิทธิพลโดยตรงต่ออัตราการผลิตน้ำสะอาด (Water Flux) ของระบบ RO เป็นอย่างมากแต่แทบไม่มีผลกระทบต่ออัตราการรั่วไหลของสารละลาย (Salt Flux) ด้วยเหตุนี้ การเพิ่มแรงดัน จึงมีผลทำให้ระบบ RO สามารถผลิตน้ำสะอาดได้เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2.3 และทำให้คุณภาพของน้ำดีขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามแรงดันสูงก็สามารถส่งผลเสียได้เช่นกัน ทั้งนี้เพราะว่าแรงดันทำให้โครงสร้างของเมมเบรนเกิดการอัดตัวแน่น จนกระทั่งน้ำไม่สามารถไหลผ่านได้สะดวก ผลเสียอันนี้ถือว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้อัตราการผลิตน้ำสะอาด (Water Flux) มีค่าลดลงเรื่อยๆ



รูปที่ 2.3 ผลของแรงดันที่มีต่อปริมาณน้ำสะอาดที่ผลิตได้

2.3.3. ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำดิบ การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายในน้ำดิบมีผลทำให้อัตราการผลิตน้ำ (Water Flux) มีค่าลดลงดังรูปที่ 2.4 และทำให้สมรรถนะของระบบ RO ลดลงเนื่องจากอัตราการรั่วไหลของสารละลาย (Salt Flux) มีอัตราเพิ่มขึ้นพร้อมทั้งแรงดันออสโมซิสมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 2.4 ผลของความเข้มข้นของสารละลายต่อปริมาณน้ำสะอาดที่ผลิตได้

2.4 การคำนวณหาแรงดันออสโมซิส

แรงดันออสโมซิส (π) เป็นคุณสมบัติของสารละลายที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ดังแสดงได้ด้วยสมการ ดังนี้

$$\pi = nCRT \quad (2.1)$$

เมื่อ

- π = แรงดันออสโมซิส (atm)
- n = จำนวนไอออนในสารประกอบ
- C = ความเข้มข้นของน้ำ (โมล/ลิตร)
- R = ค่าคงที่ของก๊าซ 0.082 บรรยากาศ-ลิตร/โมล-°K
- T = อุณหภูมิสัมบูรณ์

ตารางที่ 2.1 แรงดันออสโมซิสของสารประกอบบางชนิดที่ 25 °C

Compound	Concentration		Osmotic Pressure (psi at 25 °C)
	(mg / liter)	(moles / liter)	
NaCl	35,000	0.6	398
NaCl	1,000	0.0171	11.4
NaHCO ₃	1,000	0.0119	12.8
Na ₂ SO ₄	1,000	0.000705	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

MgSO ₄	1,000	0.00831	3.6
MgCl ₂	1,000	0.0105	9.7
CaCl ₂	1,000	0.009	8.3
Sucrose	1,000	0.00292	1.05
Dextrose	1,000	0.00555	2

* A useful rule of thumb for estimating the osmotic pressure of a natural water is 10 psi/1000 mg/liter (ppm)

2.4.1 ขีดความสามารถของกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ

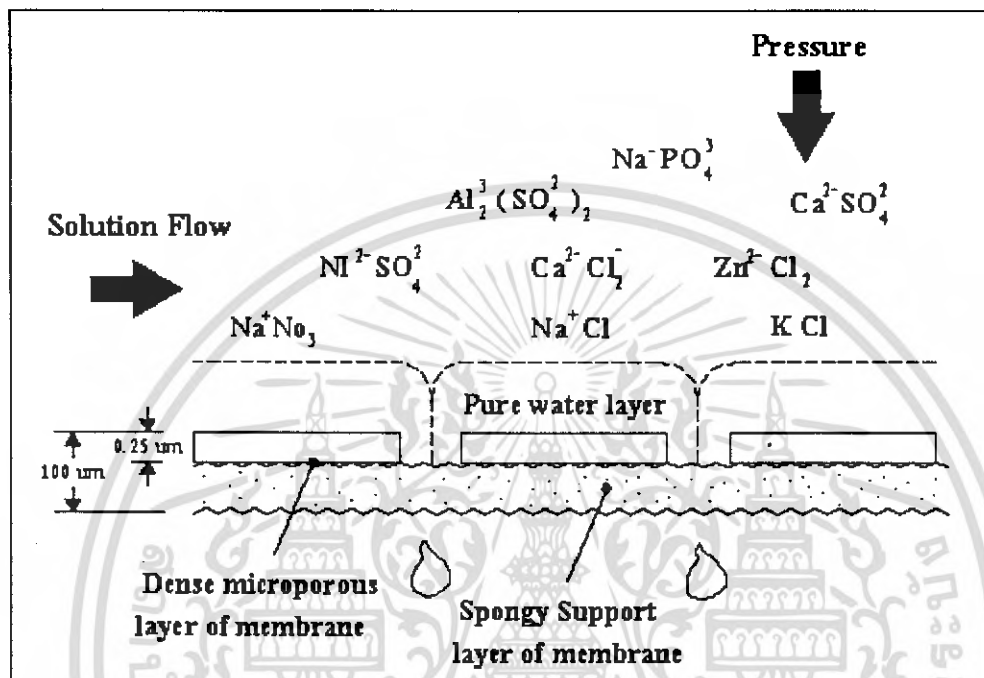
1. ลดปริมาณของสารละลายในน้ำ (TDS)
2. ลดปริมาณความกระด้าง
3. ลดปริมาณของฟลูออไรด์
4. ลดหรือกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ
5. ลดหรือกำจัดโลหะหนักที่เป็นพิษ และ สร้างความจำคานู
6. ลดหรือกำจัดจุลินทรีย์ต่างๆ รวมทั้งไวรัสด้วย

สำหรับ Membrane จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางมาก มีรูพรุนขนาดเล็กมากประมาณ 0.002 μm กระจายอยู่ทั่วพื้นผิว ทำจาก Polymer หลายชนิด เป็นส่วนสำคัญที่กำจัดเกลือแร่และสารอินทรีย์ ชั้นล่างจะเป็นวัสดุพรุนทำหน้าที่รองรับน้ำบริสุทธิ์จากเมมเบรนส่งผ่านมายังภายนอก น้ำดิบที่ถูกอัดเข้าเครื่องจะต้องเป็น Turbulent Flow มีความปั่นป่วน และมีแรงดันสูง ทำให้สามารถระบายน้ำที่มีความเข้มข้นมากระบายออกได้ง่าย

2.4.2 กลไกการทำงานของ ออสโมซิสย้อนกลับในการกำจัดสารต่างๆ

เราสามารถแบ่งกลไกการกำจัดสารออกเป็น 2 แบบ

2.4.2.1. กลไกการกำจัดเกลือแร่ (ไอออนต่างๆ ที่มีประจุ



รูปที่ 2.5 กลไกการกำจัดเกลือแร่ของระบบออสโมซิสย้อนกลับ

สำหรับกลไกการกำจัดไอออนนี้ จะอาศัยการผลักรประจุ เนื่องจากที่ผิวของเมมเบรนจะมีชั้นโมเลกุลของน้ำปกคลุมอยู่โดยโมเลกุลของน้ำจะยึดเหนี่ยวด้วย H-Bond ขณะเดียวกันก็จะมีแรงผลักรประจุหรือไอออนเหล่านี้ด้วยเช่นกัน (Dielectric Interaction) เฉพาะโมเลกุลของน้ำเท่านั้นที่สามารถซึมผ่านชั้นน้ำนี้ได้ ส่วนไอออนก็จะถูกผลักรออกไป ไอออนที่มี Valency สูงๆ เช่น Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Fe^{2+} ก็จะถูกผลักรได้ดีกว่าไอออนที่มี Valency ต่ำๆ เช่น Na^+ , Cl^- , F^- จึงมักพบว่าในน้ำบริสุทธิ์ มักจะมีไอออนเหล่านี้เล็ดลอดออกมาด้วย

แต่ในกรณีที่ Feed Water มี Flow rate ลดลง Pressure ที่จะเอาชนะ Osmotic Pressure ก็จะมีน้อยลงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำ (H-Bond) ก็จะลดลง ขณะเดียวกันแรงผลักรประจุก็จะลดลงด้วย ทำให้ Salt Flux(ความสามารถในการที่เกลือแร่ซึมผ่าน Membrane) ก็จะมีมากขึ้นและ Salt Rejection ก็จะลดลงตามลำดับ โดยความสามารถของ RO ในการกำจัด Cations และ Anions แสดงในตารางที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ความสามารถของ RO ในการกำจัดสารละลาย Anions

Anions	%Recovery	%Average passage	%Maximum Concentration
Chloride (Cl ⁻)	94-95	5	3-4
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	95-96	4	5-8
Sulphate (SO ₄ ²⁻)	99+	1	8-12
Nitrate (NO ₃ ⁻)	93-96	6	3-4
Fluoride (F ⁻)	94-96	5	3-4
Silicate (SiO ₂ ²⁻)	95-97	4	-
Phosphate (PO ₄ ³⁻)	99+	1	10-14
Bromide (Br ⁻)	94-96	5	3-4
Borate (B ₄ O ₇ ²⁻)	35-70++	-	-
Chromate (CrO ₄ ²⁻)	90-98	6	8-12
Cyanide (CN ⁻)	90-95++	-	4-12
Sulphite (SO ₃ ²⁻)	98-99	1	8-12
Thiosulphate (S ₂ O ₃ ²⁻)	99+	1	10-14
Ferrocyanide [Fe(CN) ₆ ³⁻]	99+	1	8-14

+ Must watch for precipitation; other ion controls maximum concentration.

++ Extremely dependent on pH : tends to be an exception to the rule.

ตารางที่ 2.3 ความสามารถของ RO ในการกำจัดสารละลาย Cations

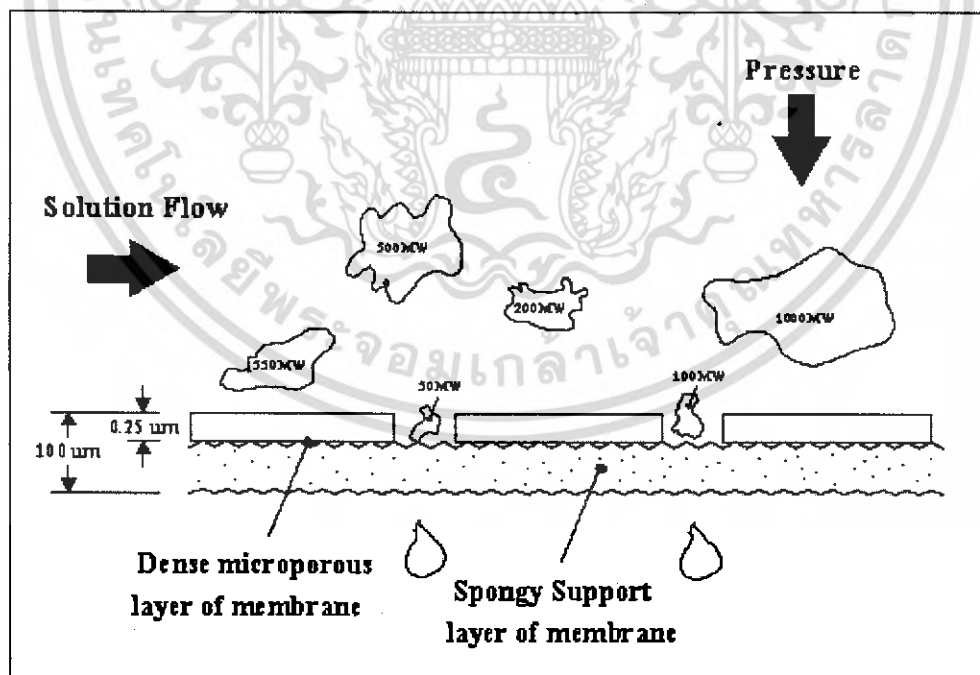
Cations	%Recovery	%Average passage	%Maximum Concentration
Sodium (Na ⁺)	94-96	5	3-4
Calcium (Ca ²⁺)	96-98	3	+
Magnesium (Mg ²⁺)	96-98	3	+
Potassium (K ⁺)	94-96	5	3-4
Iron (Fe ²⁺)	98-99	2	+
Manganese (Mn ²⁺)	98-99	2	+
Aluminium (Al ³⁺)	99+	1	5-10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3(ต่อ)

Ammonium (NH_4^+)	88-95	8	3-4
Copper (Cu^{2+})	98-99	1	8-10
Nickel (Ni^{2+})	98-99	1	10-12
Zinc (Zn^{2+})	98-99	1	10-12
Strontium (Sr^{2+})	96-99	3	-
Hardness (Ca and Mg)	96-98	3	+
Cadmium (Cd^{2+})	96-98	3	8-10
Silver (Ag^+)	94-96	5	+
Mercury (Hg^{2+})	96-98	3	-
+ Must watch for precipitation; other ion controls maximum concentration.			
++ Extremely dependent on pH : tends to be an exception to the rule.			

2.4.2.2 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่



รูปที่ 2.6 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบออสโมซิสย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลขนาดใหญ่ๆ เช่น โปรตีน, Polymer ต่างๆ สำหรับกลไกการกำจัดสารอินทรีย์จะคล้ายคลึงกับการกรองปกติ คือ สารอินทรีย์ที่มีขนาดโต ($M_w > 150$) ก็จะไม่สามารถเล็ดลอดออกนอกช่องว่างออกมาได้ จะติดค้างและถูก Flow ออกไปจากพื้นผิวของ Membrane ส่วนสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กซึ่งจะไม่เกิดการผลึกเนื่องจากไม่มีประจุ ก็จะสามารถซึมผ่านชั้นน้ำมายังส่วนที่รองรับได้ สารอินทรีย์ เช่น โปรตีน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแบคทีเรีย , ไวรัส เชื้อโรคต่างๆ ที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถซึมผ่านเมมเบรนออกมาได้ โดยความสามารถของ RO ในการกำจัดสารอินทรีย์ แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความสามารถของ RO ในการกำจัดสารอินทรีย์

Biological	Molecular Weight	%Rejection	%Maximum Concentration
Sucrose sugar	342	100	25
Lactose sugar	360	100	25
Protein	10000+	100	10-25
Glucose	198	99.9	25
Phenol	94	+	-
Acetic acid	60	+	-
Fomaldehyde	30	+	-
Dyes	400-900	100	-
Biochemical oxygen demand	(BOD)	90-99	-
Chemical oxygen demand	(COD)	80-95	-
Urea	60	40-60	Reacts similar to a salt
Bacteria and virus	50000-500000	100	-
Pyrogen	1000-5000	100	-

+ Permeate is enriched in material due to preferential passage through the membrane.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การคำนวณ และ ออกแบบระบบออสโมซิสย้อนกลับ

พารามิเตอร์สำหรับออกแบบระบบออสโมซิสย้อนกลับ

1. Water Flux (F_w)

ในขณะที่การกรองน้ำธรรมชาติมีอัตราการกรอง ($m^3 / m^2 \cdot hr$) เป็นพารามิเตอร์สำคัญของระบบ RO ก็มี Water Flux เป็นตัวสำคัญ พารามิเตอร์ตัวนี้ หมายถึงอัตราเร็วของน้ำที่ซึมผ่านเมมเบรนซึ่งเท่ากับอัตราไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ของเมมเบรน เช่น $mm/cm^3 \cdot S$ เป็นต้น น้ำสามารถซึมผ่านเมมเบรนได้อัตราที่ขึ้นอยู่กับแรงดันของเครื่องสูบลูกสูบ และ แรงดันออสโมซิสที่ต้านไว้ ดังจะเห็นได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$F_w = A (\Delta P - \Delta \pi) \quad (2.2)$$

โดยที่ F_w = Water Flux

A = สปต.ของการไหลของน้ำผ่านเมมเบรน สำหรับเมมเบรนที่ทำจาก

เซลลูโลสอะเซเตต A อาจถือว่ามีค่าประมาณ $1.5 \times 10^{-5} \text{ mm/cm}^3 \cdot \text{atm}$

ΔP = ความแตกต่างระหว่างแรงดันของน้ำที่อยู่คนละด้านของเมมเบรน (บรรยากาศ)

$\Delta \pi$ = ความแตกต่างระหว่างแรงดันออสโมซิสของน้ำที่อยู่คนละด้านของเมมเบรน

อัตราไหลของน้ำที่แท้จริงผ่านเมมเบรน สามารถคำนวณได้จากผลคูณของ Water Flux และ พื้นที่ของแผ่นเมมเบรน ในทางตรงข้ามถ้ารู้ค่า Water Flux (บริษัทผลิตเมมเบรนมักกำหนดค่าของ Water Flux ภายใต้อุณหภูมิการทำงานต่างๆ) และ รู้ปริมาณน้ำสะอาดที่ต้องการก็สามารถคำนวณพื้นที่ของเมมเบรนที่ต้องการใช้ได้

สมการที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าอัตราผลิตน้ำสะอาดเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของผลต่างระหว่าง ΔP และ $\Delta \pi$ ซึ่งทำให้กล่าวได้ว่า อัตราผลิตน้ำสะอาดเพิ่มตามการเพิ่มของแรงดันของเครื่องสูบลูกสูบ ในตอนต่อไปจะเห็นอีกว่า การเพิ่มแรงดันของน้ำ ยังทำให้ได้น้ำสะอาดที่มีคุณภาพสูงขึ้นอีกด้วย

2. Salt Flux (F_s)

สำหรับในอุดมคติเมมเบรนต้องไม่ยอมให้สารละลายไหลซึมผ่านได้เลยแต่ในความเป็นจริงแล้วเมมเบรนไม่สามารถผลักโมเลกุลหรือไอออนได้หมดทุกตัวทำให้น้ำที่ผลิตได้ (Permeate) มีมลทินเสมอ การรั่วของสารละลายผ่านเมมเบรน เรียกว่า Salt Flux ระบบ RO ที่มี Salt Flux สูง จะผลิตน้ำที่มีคุณภาพต่ำ ดังนั้นระบบ RO ที่ดีจึงควรมี Salt Flux ต่ำ และมี Water Flux สูง หน่วยของ F_s ที่ใช้คือ $g / cm^2 \cdot S$ จะเห็นได้ว่า ทั้ง F_s และ F_w เป็นพารามิเตอร์ที่คิดต่อหน่วยพื้นที่เหมือนกัน

Salt Flux ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำดิบ และไม่ขึ้นอยู่กับแรงดัน ดังจะเห็นได้จากสมการ

$$F_s = B (C_0 - C_p) \quad (2.3)$$

$$F_s = \text{Salt Flux}$$

$$B = \text{สปลส. ของการไหลของสารละลายผ่านเมมเบรน สำหรับเมมเบรน} \\ \text{เซลลูโลสอะเซเตต B มีค่าประมาณ } 2 \times 10^{-5} \text{ cm/S}$$

$$C_0 = \text{ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำดิบ}$$

$$C_p = \text{ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาด}$$

สมการที่ 2.3 แสดงว่าน้ำเค็ม (TDS ประมาณ 30000 ppm) จะมีการรั่วของสารละลาย (F_s) สูงกว่าน้ำกร่อย (TDS 5000 ppm หรือน้อยกว่า) ดังนั้นระบบ RO ที่ใช้กับน้ำเค็ม หรือน้ำทะเล จึงต้องใช้แรงดันสูงมาก เพื่อให้ได้ Water Flux สูงมาก สำหรับมาเจือจางสารละลายที่รั่วซึมผ่านเมมเบรน จึงจะสามารถผลิตน้ำสะอาดที่มีคุณภาพสูง สำหรับในกรณีของน้ำกร่อยแรงดันไม่จำเป็นต้องสูงมาก เนื่องจากมีการรั่วซึมของสารละลายน้อยกว่าจึงไม่ต้องการนำมาเจือจางมากนัก้ำทะเลและน้ำกร่อย มีแรงดันออสโมซิสประมาณ 400 และ 50 psi ตามลำดับ ดังนั้นในการผลิตน้ำจืดที่ดื่มได้ ระบบ RO ต้องการแรงดันประมาณ 800-1500 และ 300-600 psi สำหรับน้ำทะเลและน้ำกร่อย ตามลำดับ

การสะสมของสารละลายในโมดูล ทำให้ Salt Flux มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการระบายน้ำเข้มข้น (Rejected Water) ออกจากโมดูลเพื่อลดความเข้มข้นของสารละลาย

3. Rejection Factor หรือ %Rejection

Rejection เป็นคุณสมบัติที่เมมเบรนจะต้องมี เมมเบรนที่ดีต้องไม่ยอมให้โมเลกุลหรือไอออนไหลผ่านได้มาก นั่นคือ ต้องมี Rejection Factor หรือ %Rejection สูง เมมเบรนในอุดมคติ จะมี %Rejection เท่ากับ 100% คุณภาพของน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากระบบ RO เป็นเครื่องสะท้อนถึง Rejection ของเมมเบรน เช่น ระบบ RO ที่มี %Rejection ต่ำ จะมีค่า C_p สูงเป็นต้น ความหมายของ Rejection อาจแสดงให้เห็นด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \%Rejection &= R_j = 100 (C_0 - C_p) / C_0 \\ &= 100 (1 - C_p/C_0) \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\text{เนื่องจาก} \quad C_p = F_s / F_w \quad (2.5)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad R_j = 100 (1 - F_s/C_0 F_w) \quad (2.6)$$

เมมเบรน มีความสามารถในการผลักหรือ Reject สารละลายต่างๆ ไม่เท่ากัน (ดังตารางที่ 2.2 และ 2.3) โดยทั่วไป %Rejection ของสารละลายอนินทรีย์และอินทรีย์จะมีค่าประมาณ 90- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

99% และ 95-99% ตามลำดับ ส่วน %Rejection ของคอลลอยด์ต่างๆ (เช่น แบคทีเรีย ความขุ่น ฯลฯ) มักสูงถึง 100%

4. Recovery Factor หรือ %Recovery

คุณสมบัติของเมมเบรนที่คู่ไปกับ Rejection หรือ Recovery ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำสะอาดที่ผลิตได้ ต่อปริมาณของน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำสะอาด

$$\%Recovery = \%R = 100 F12/F11 \quad (2.7)$$

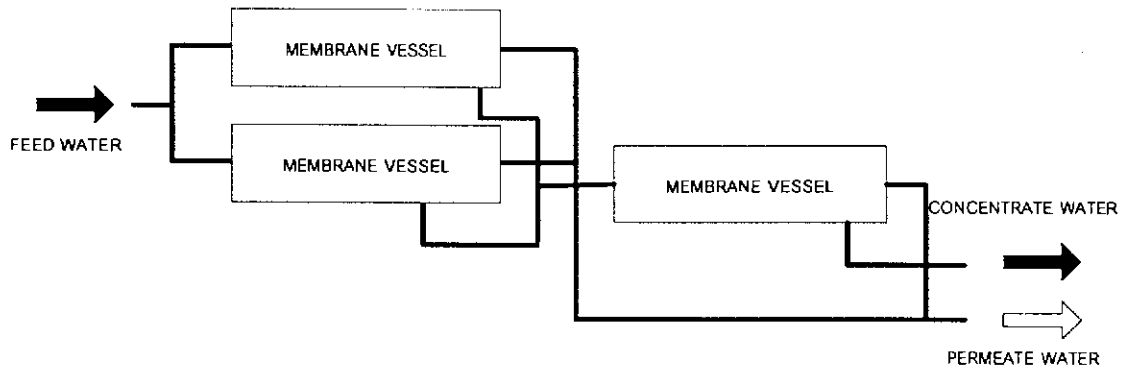
โดยที่ F12 = อัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากระบบออสโมซิสย้อนกลับ

F11 = อัตราการไหลของน้ำดิบที่เข้าระบบออสโมซิสย้อนกลับ

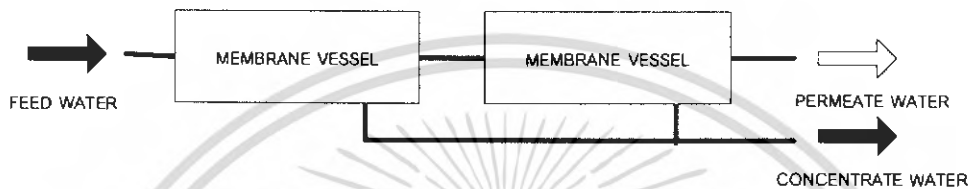
ถ้า น้ำดิบทั้งหมดสามารถผลิตเป็นน้ำสะอาดได้ %Recovery จะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 100% แต่โดยปกติ Recovery มักไม่ถึง 100% เนื่องจากต้องมีการทิ้งน้ำเข้มข้นออกจากระบบเสมอ บ่อยครั้งที่ต้องควบคุมให้ระบบ RO มี %Recovery ประมาณ 50-70% เพราะต้องระบายน้ำเข้มข้นทิ้งในอัตราสูงเพื่อลดความเข้มข้นของสารละลายที่สะสมอยู่ในระบบ RO อย่างไรก็ตามในการคำนวณออกแบบระบบ RO มักเริ่มต้นด้วยการสมมติให้ Recovery = 90%

2.6 การต่อเมมเบรน

การต่อเมมเบรนเพื่อใช้งานนั้นแบ่งเป็น 2 แบบคือขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งาน คือแบบขนาน (Parallel) และ แบบอนุกรม (Double Pass) โดยการต่อแบบขนานจะทำให้ได้ปริมาณน้ำบริสุทธิ์มากขึ้นโดยจะนำ Concentrate Water ของ Membrane Vessel หนึ่งและสองมาเป็น Feed Water ให้ Membrane Vessel ที่สาม ในการต่อเมมเบรนลักษณะนี้จะเป็นการเพิ่ม %Recovery และการต่อแบบอนุกรมจะนำ Permeate Water ของ Membrane Vessel หนึ่งมาเป็น Feed Water ของ Membrane Vessel ที่สอง เพื่อเป็นการเพิ่มคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ให้มากขึ้น แต่จะทำให้ปริมาณน้ำบริสุทธิ์ที่ได้ก็จะลดลงเมื่อเทียบกับการต่อแบบขนานดังตัวอย่างรูปที่ 2.7



ก) แบบขนาน



ข) แบบอนุกรม

รูปที่ 2.7 การต่อเมมเบรนแบบขนานและแบบอนุกรม

2.7 มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม

คุณภาพน้ำใช้ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภทจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้งาน เช่น การใช้น้ำผสมกับผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในการบริโภค อาจจะใช้คุณภาพน้ำดื่มเป็นมาตรฐาน หรือน้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ต้องเป็นน้ำที่บริสุทธิ์ เป็นต้น มาตรฐานคุณภาพน้ำใช้สำหรับอุตสาหกรรมเป็นดังนี้

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภค

มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภค		
ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน
คุณลักษณะทางกายภาพ		
สี (Colour)	Hazen Unit	20
กลิ่น (Odour)	-	ไม่มีกลิ่น (ไม่รวมคอลลอยด์)
ความขุ่น (Turbidity)	Silica Scale Unit	5
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.5-8.5
คุณลักษณะทางเคมี		
ปริมาณสารทั้งหมด (Total Solid)	mg/l	500
ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness)	mg/l	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.5(ต่อ)

สารหนู (As)	mg/l	0.05
แบเรียม (Ba)	mg/l	1
แคดเมียม (Cd)	mg/l	0.01
คลอไรด์ (Cl)	mg/l	250
โครเมียม (Cr)	mg/l	0.05
ทองแดง (Cu)	mg/l	1
เหล็ก (Fe)	mg/l	0.5
ตะกั่ว (Pb)	mg/l	0.1
แมงกานีส (Mn)	mg/l	0.05
ปรอท (Hg)	mg/l	0.002
ไนเตรต (NO ₃)	mg/l	4
ฟีนอล (Phenol)	mg/l	0.001
ซีลีเนียม (Se)	mg/l	0.01
คุณลักษณะทางบำบัดน้ำ		
เงิน (Ag)	mg/l	0.05
ซัลเฟต (SO ₄)	mg/l	250
สังกะสี (Zn)	mg/l	5
ฟลูออไรด์ (F)	mg/l	1.5
โคลิฟอร์ม (Coliform)	MPN/100ml	2.2
อี. โคไล (E.Coli)	MPN/100ml	ตรวจไม่พบ

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม

มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม		
สาร/ตรวจในน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน
ความขุ่น (Turbidity)	JTU	<200
ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness)	mg/l	<0.20
เหล็ก (Fe)	mg/l	<1.00
แมงกานีส (Mn)	mg/l	<0.20
ปริมาณของสารละลายในน้ำ (TDS)	mg/l	<850
กลิ่น (Odour)	-	ไม่มีกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ **60443** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์					
สาร / ตรวจจับในน้ำ	หน่วย	ขนาดของระบบอิเล็กทรอนิกส์			
		64 K-bits	256 K-bits	1 M-bits	4 M-bits
ความต้านทานไฟฟ้า	MegaOhm-cm.	>15	>17	>17.5	>17.5
ฝุ่น (Microparticles)	um/cm.	<150	<50	<20	<20
แบคทีเรีย (Bacteria)	count/ml.	<1	<0.1	<0.05	<0.01
Total Organics Carbon (TOC)	ppb	<1000	<200	<100	<50
Silica (SO ₂)	ppb	<30	<10	<5	<5
Oxygen (O ₂)	ppb	<500	<100	<100	<100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบออสโมซิสย้อนกลับ

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบออสโมซิสย้อนกลับจะประกอบด้วย แรงดัน และ เมมเบรน ซึ่งโดยปกติแล้วเมมเบรนที่มีอยู่ในปัจจุบันจะมีหลากหลายชนิดด้วยกันดังนั้นเนื้อหาในบทนี้จะขอล่าวถึงชนิดของเมมเบรนรวมทั้งส่วนประกอบต่างๆภายในเมมเบรน และวัสดุที่ใช้ทำเมมเบรน พร้อมทั้งเปรียบเทียบว่าเมมเบรนแต่ละชนิดมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันอย่างไร โดยการเลือกเมมเบรนที่จะนำมาใช้ในระบบออสโมซิสย้อนกลับจะต้องคำนึงถึงอัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ รวมถึงประสิทธิภาพของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ พร้อมทั้งการติดตั้งและการบำรุงรักษาจะต้องมีความสะดวก

3.1 เมมเบรนที่ใช้ในระบบออสโมซิสย้อนกลับ

3.1.1 วัสดุของ Reverse Osmosis เมมเบรน

วัสดุที่นิยมใช้ทำเมมเบรนนั้นมีอยู่ 2 ชนิด [11] ดังนี้

3.1.1.1 เซลลูโลสอะซีเตต (Cellulose Acetate)

เป็นเมมเบรนรุ่นแรกๆที่ผลิตออกมาใช้ โดยผลิตจากเซลลูโลสมี 2 ชนิด คือ เซลลูโลสอะซีเตต (Cellulose Acetate; CA) และ เซลลูโลสไตรอะซีเตต (Cellulose Triacetate) สามารถทนทานต่อกรดหรือด่างได้ดีกว่า 30 องศาเซลเซียสได้ เพราะจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ทำให้เมมเบรนเสื่อมสภาพ ซึ่งโดยปกติแผ่นเมมเบรนจะหนาประมาณ 100 ไมครอน และมี 2 ชั้น ชั้นที่ใช้งานจริงๆ มีความหนาประมาณ 0.2 ไมครอน และ ทำหน้าที่ขัดขวางหรือกักสารละลายต่างๆ มิให้ซึมผ่านเมมเบรนออกไปพร้อมกับน้ำ ชั้นที่หนากว่า ทำหน้าที่เป็นพื้นรองรับและมีรูพรุนเต็มไปหมดสำหรับให้น้ำไหลผ่านได้ ชั้นบางมีได้มีเนื้อพรุนเหมือนชั้นหนา รูที่ยอมให้โมเลกุลของน้ำไหลผ่านไปได้เป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์ การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเยื่อเมมเบรนเป็นการแพร่กระจายของน้ำผ่านช่องว่างดังกล่าวที่ละโมเลกุล

3.1.1.2 อะโรมาติกโพลีเอไมด์ (Aromatic Polyamide)

เป็นเมมเบรนที่ผลิตจากโพลีเอไมด์ (PA) จะมีความทนทานต่อ pH และ อุณหภูมิ ได้ดีกว่าเซลลูโลส (CA) อย่างไรก็ตาม เมมเบรนเซลลูโลสมีความทนทานต่อออกซิไดซิงเอเจนต์ (Oxidizing Agent) ได้ดีกว่า ยกตัวอย่างเช่น เมมเบรนเซลลูโลสสามารถทนคลอรีนเข้มข้นไม่เกิน 1 ppm ได้เป็นเวลานานๆ และสามารถทนคลอรีนเข้มข้น 10-20 ppm ได้ภายในเวลาสั้นๆ และ เป็นครั้งแรกแต่เมมเบรนโพลีเอไมด์ทนคลอรีนได้ไม่เกิน 0.1 ppm ซึ่งตารางที่ 3.1 จะสรุปเปรียบเทียบคุณสมบัติของเมมเบรนทั้งสองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเมมเบรนชนิด CA และ PA

คุณสมบัติ	Cellulose Acetate (CA)	Polyamide (PA)
%Salt Rejection	95-97%	96-98%
การทนต่อ Pressure	ดีกว่า	ดีน้อยกว่า
การทนต่อจุลินทรีย์	ไม่ดี	ทนได้ดีกว่า
การทนต่อช่วง pH	2.0-8.0	2.0-12.0
การทนต่ออุณหภูมิ	ไม่ดี	ดีกว่า
การทนต่อ Oxidizing Agent	ดี	ไม่ดี
ปริมาณ Cl_2 ในน้ำ Feed	0.2-2.0 ppm	< 0.1 ppm
Temp ในการ Operate	< 85 °F (29 °C)	< 100 °F (38 °C)

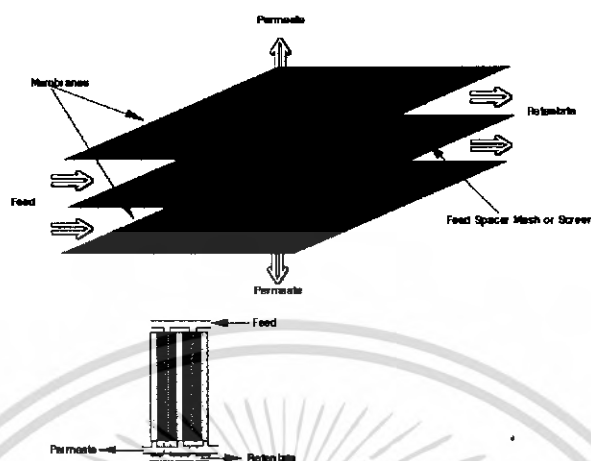
3.1.2 รูปแบบของเมมเบรน [11]

เมมเบรนที่ใช้ในการกรองน้ำนั้นจะต้องนำมาประกอบเป็นโมดูล เพื่อความพร้อมในการใช้งาน โดยการพิจารณาโมดูลของเมมเบรนเพื่อนำมาใช้ในเครื่อง Reverse Osmosis จะต้องคำนึงถึง

1. สามารถทนแรงดันได้สูง
2. ผลิตน้ำสะอาดได้มาก สะดวกต่อการใช้งาน
3. Concentration Polarization ต้องเกิดขึ้นน้อย
4. เกิดการอุดตันได้น้อย และ ทำความสะอาดได้ง่าย
5. ต้องไม่มีรอยรั่วเกิดขึ้นตามรอยต่อต่างๆ ของระบบ

ในปัจจุบันนี้ มีการสร้างโมดูลออสโมซิสย้อนกลับแบบต่างๆ 4 แบบ คือ

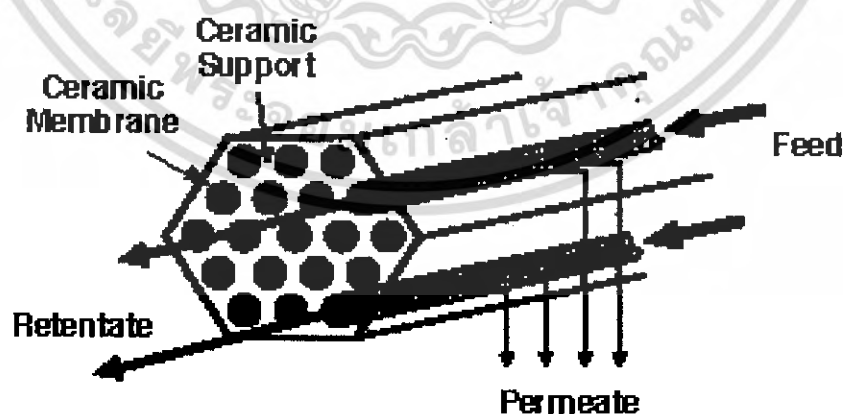
3.1.2.1 Plate and Frame Module



รูปที่ 3.1 RO-Plate and Frame Module

โมดูลนี้เป็นการจัดแผ่นเมมเบรนแบบที่ง่ายที่สุด (รูปที่ 3.1) โดยมีลักษณะการทำงานคล้าย Filter Press แผ่นเมมเบรนวางอยู่บนแผ่นรองรับซึ่งมีรูพรุน (Porous Plate) หรือแผ่นรองรับที่มีร่องให้น้ำไหลออกได้ เมมเบรนและแผ่นรองรับจะวางซ้อนและสลับกัน น้ำถูกบังคับให้ซึมผ่านเมมเบรน และแผ่นรองรับ และ ไหลออกจากโมดูล โมดูลแบบนี้ต้องเสียเงินค่าติดตั้ง และ ดูแลรักษาแพงมาก ส่วนมากนิยมใช้ในการทดลองเล็กๆ ในห้องทดลองปฏิบัติการต่างๆ

3.1.2.2 Tubular Module

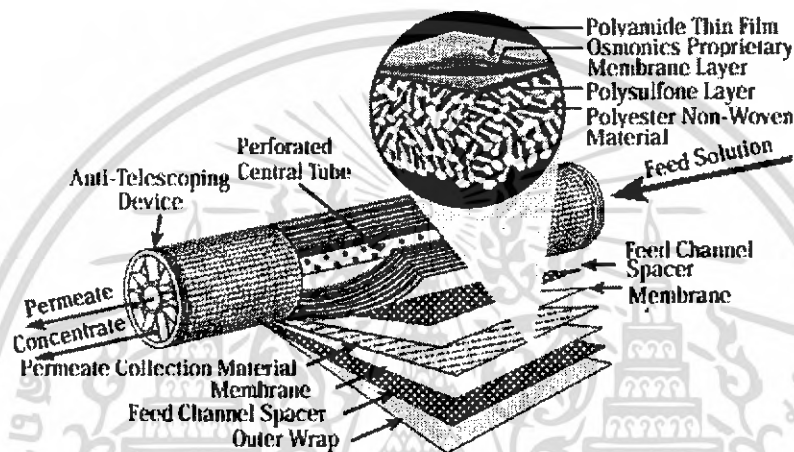


รูปที่ 3.2 RO-Tubular Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูลนี้เป็นการม้วนแผ่นเมมเบรนให้เป็นหลอดหรือท่อขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 12 มม. (รูปที่ 3.2) น้ำดิบที่มีความดันสูงจะถูกสูบผ่านเข้าไปในท่อ Tubular ที่มีเมมเบรนบุอยู่ภายใน แรงดันของน้ำทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถซึมผ่านแผ่นเมมเบรน และ ท่อรองรับ ออกไปสู่ผิวด้านนอก เทคนิคนี้ผลิตน้ำได้น้อย ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับใช้กับกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่ต้องการแยกน้ำออกจากสารละลายต่างๆ โดยมากนิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตอาหาร

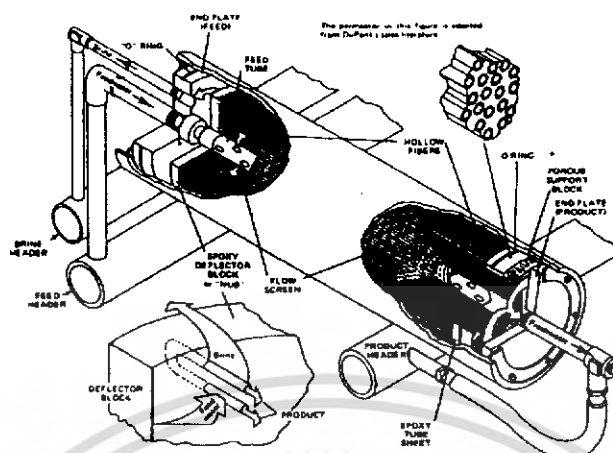
3.1.2.3 Spiral Wound Module



รูปที่ 3.3 RO-Spiral Wound Module

โมดูลแบบนี้เป็นการนำเอาแผ่นเมมเบรนมาวางทับซ้อนกันกับแผ่นพลาสติกรวบรวมน้ำ (Product Collection) พร้อมด้วยแผ่นน้ำดิบ (Feed Channel Spacer) และแผ่นรองรับเมมเบรน (Membrane Supporting Backing) และม้วนติดกับท่อรับน้ำ RO (Product Tube) และประกอบติดด้วยท่อน้ำดิบ (Feed Inlet) และ ท่อน้ำทิ้ง (Brine Outlet) เป็นโมดูลที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากมีพื้นที่ในการกรองมาก น้ำดิบที่มีแรงดันสูงถูกบังคับให้ไหล (ในแนวแกนของโมดูล) เข้าไปตามแผ่นน้ำดิบ จากนั้นแรงอัดทำให้น้ำซึมทะลุผ่านเมมเบรน (ตามแนวรัศมีของโมดูล) ลงไปถึงแผ่นรองรับ ซึ่งทำหน้าที่ส่งน้ำบริสุทธิ์ไปยังท่อรับน้ำ การไหลของน้ำเป็น "True Crossflow" RO Spiral-Wound โมดูลแบบนี้อาจมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5, 10, 20 หรือ 30 ซม. และ มีความยาวต่างๆ กันแต่ไม่เกิน 1 เมตร โมดูลแบบนี้สามารถที่จะติดตั้งไว้ใน Pressure Vessel ได้มากถึง 7 โมดูลด้วยกัน

3.1.2.4 Hollow Fiber Module



รูปที่ 3.4 RO-Hollow Fiber Module

โมดูลนี้มีลักษณะเป็นเส้นยาวเหมือนเส้นผม และมีรูอยู่ภายใน ทำมาจากวัสดุไนลอน จำพวกโพลีเอไมด์ (Polyamide) หรือ เซลลูโลสไตรอะเซเตต (Cellulose Triacetate) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกประมาณ 90-95 ไมครอน และ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในขนาด 40 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เส้นใยแบบ Hollow Fiber จะถูกจับรวมกลุ่มเข้าด้วยกัน ปิดด้านหัวท้ายด้วย Epoxy แล้วประกอบด้วยท่อน้ำดิบ ท่อน้ำ RO Product และ ท่อน้ำทิ้ง โดยส่วนประกอบทั้งหมดถูกติดตั้งไว้ใน Pressure Vessel หรือ Shell พื้นที่ในการกรองต่อโมดูล มากกว่าแบบ Spiral-Wound แต่ไม่ได้เป็น "True Crossflow" มีข้อจำกัดตรงที่จะติดตั้งโมดูลได้อย่างมาก 2 โมดูล ใน Pressure Vessel เนื่องจากวิธีการจัดท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออกไม่เอื้ออำนวยต่อการติดตั้งหลายๆ โมดูล เป็นแบบที่ได้รับความนิยมรองจากแบบ Spiral-Wound นิยมใช้ในการกรองน้ำทะเลแถวประเทศในตะวันออกกลาง

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ RO Module แบบต่างๆ

แบบ RO	ข้อดี	ข้อเสีย
Plate and Frame	- เกิดการ Foul เมมเบรนได้ยาก - ตรวจสอบเมมเบรนใช้งาน	- ใช้พลังงานมากแต่น้อยกว่าแบบ Tubular - การเปลี่ยนเมมเบรนทำได้ยาก
Tubular	- สามารถใช้กับของเหลวที่มีความเข้มข้นสูง เช่น น้ำผลไม้ - อัตราขับน้ำดิบสูงกว่าแบบอื่นๆ	- ใช้พลังงานมากกว่า RO แบบอื่นๆ - ปริมาณพื้นที่ของเมมเบรนต่ำกว่า RO แบบอื่นๆ
Spiral-Wound	- มี Spacer ระหว่างโมดูล ทำให้ถอดออกมาล้างได้ง่าย - สามารถติดตั้งโมดูลเป็นหลาย Series ได้หลายโมดูลใน Vessel	- การฆ่าเชื้อโรค(Sanitizing) ทำได้ยาก - Feed Water ที่มี TDS สูง จะ Foul เมมเบรนอย่างถาวร
Hollow Fiber	- ผลิตน้ำได้มากที่สุดต่อปริมาตรของโมดูล - Recovery Rate สูงกว่า RO แบบอื่นๆ	- ใสโมดูลได้แค่ 1-2 ตัวใน Pressure Vessel - คุณภาพน้ำดิบต้องเตรียมมากกว่า RO แบบอื่นๆ

3.2 การปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนเข้าสู่ระบบออสโมซิสย้อนกลับ

การปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีพอก่อนเข้าสู่ระบบออสโมซิสย้อนกลับ(Pretreatment) เป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก ที่ทำให้ระบบออสโมซิสย้อนกลับมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น โดยเฉพาะเมมเบรน พื้นผิวของเมมเบรนสามารถถูกอุดตันจากอนุภาคคอลลอยด์ สารอินทรีย์ โลหะหนักและเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ นอกจากนี้ อาจเกิดตะกอนเนื่องจากเกิดการตกตะกอนของสารละลายเกลือของสารละลายเข้มข้น (brine) เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟตและสตรอนเทียมซัลเฟต

ดังนั้นเพื่อยืดอายุการใช้งานของเมมเบรนให้ยาวนานมากขึ้น จำเป็นอย่างยิ่งต้องทำการ pretreatment เพื่อให้ น้ำดิบมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับระบบออสโมซิสย้อนกลับ วิธีการ pretreatment ของน้ำดิบมีหลายวิธี ซึ่งจะกล่าวโดยสรุปในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 วิธีต่างๆในการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ

ปัญหา	วิธีการปรับปรุง ชั้นปฐมภูมิ	วัตถุประสงค์ในการปรับปรุง	ข้อดี/ข้อเสีย	วิธีการปรับปรุง ชั้นทุติยภูมิ	วัตถุประสงค์ในการ ปรับปรุง
1) ตะกอนของแคลเซียมและแมกนีเซียม (Ca/Mg) ในคาร์บอนเนต	a) การทำน้ำอ่อน (softening) โดยการแลกเปลี่ยนไอออน	กำจัด : โดย Na เข้าแทนที่ Ca/Mg ทำให้อยู่ในรูปคาร์บอเนตที่ละลายน้ำได้	<ul style="list-style-type: none"> ● ไม่ควรใช้กับน้ำที่มี TDS สูงเกิน 800 mg/l ● ค่าใช้จ่ายสูงเมื่อใช้กับน้ำที่มี Capacity มากกว่า 9000 m³/d 	เติมสารตะกอน Antiscalant polymer	ช่วยยับยั้งการเกิดตะกอน
b) วิธี softening โดยใช้น้ำขาว	กำจัด : โดยตกตะกอนแคลเซียมและไบคาร์บอเนตให้เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตและตกตะกอนแมกนีเซียมให้เป็นแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์	ไม่ควรใช้กับน้ำที่มี Capacity น้อยกว่า 5000 m ³ /d	เติมสาร Antiscalant Polymer หรือสารเคมีที่เป็นกรด	ป้องกันการตกตะกอนที่เกิดขึ้นภายหลัง	
c) เติมนกรด	กำจัด : โดยแทนที่ไบคาร์บอเนตด้วยสารคลอไรด์และซัลเฟตที่ละลายน้ำได้ในปริมาณที่มากพอ	<ul style="list-style-type: none"> ● ยากในการปฏิบัติ ● ค่าใช้จ่ายในการใช้กรดสูง 	เติมสาร Antiscalant Polymer หรือสารเคมีที่เป็นกรด	เติมอีกครั้งใช้ในกรณีเติมกรดครั้งแรกแล้วไม่แสดงผล	

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

	d) เติมสาร Antiscalant Polymer	เสถียรภาพ ทำให้เกิดเป็นตะกอนช้าลงและทำให้ลักษณะของตะกอนเปลี่ยนไป	วิธีอื่นมีความน่าเชื่อถือมากกว่า เนื่องจากการใช้วิธีนี้ถ้ามีขั้นตอนในการเติมสารหรือการหยุดเติมสารที่ไม่ถูกต้องแล้วอาจทำให้เกิดตะกอนขึ้นได้	
2) ตะกรันของแคลเซียมซลเฟต	a) แล็กเบลียนไฮออน	กำจัด : โดย Na เข้าแทนที่ Ca / Mg ทำให้อยู่ในรูปโบรไมด์ที่ละลายน้ำได้	<ul style="list-style-type: none"> ● ไม่ควรใช้กับน้ำที่มี TDS สูงเกิน 800 mg/l ● ค่าใช้จ่ายสูงเมื่อใช้กับน้ำที่มี Capacity มากกว่า 9000 m³/d 	เติมสารตะกรัน Antiscalant polymer
	b) เติมสาร Antiscalant polymer	กำจัด : โดยตกตะกอนแคลเซียมและโบรไมด์ให้เป็นแคลเซียมโบรไมด์และตกตะกอนแมกนีเซียมให้เป็นแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์	ไม่ควรใช้กับน้ำที่มี Capacity น้อยกว่า 5000 m ³ /d	เติมสาร Antiscalant Polymer หรือสารเคมีที่เป็นกรด
				ช่วยยับยั้งการเกิดตะกรัน
				ป้องกันการตกตะกอนที่เกิดขึ้นภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้เฉพาะบุคคลที่คนงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

3) ตะกอนซิลิกา	a) การเพิ่ม คุณสมบัติ b) วิธี softening โดยใช้น้ำปูนขาว	เสถียรภาพ : โดยการเพิ่มการ ละลายของตะกอน กำจัด : โดยแทนที่ซิลิกาด้วย CaCO ₃ และ Mg(OH) ₂	ค่าใช้จ่ายในการใช้ ความเข้มข้นสูง ไม่ควรใช้กับน้ำที่มี Capacity น้อยกว่า 5000 m ³ /d		
4) ตะกอนเหล็ก	a) ออกซิไดซ์โดย เติมอากาศและ กรอง b) ป้องกันไม่ ให้สารเติมออกซิเจน เข้าสู่ระบบ เช่น อากาศ , คลอรีน c) เติมกรด	กำจัด : โดยเปลี่ยนตะกอนเหล็ก ให้เป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ซึ่ง กำจัดออกได้ง่ายโดยใช้ผ่าน เครื่องกรอง (filter) เสถียรภาพ : โดยรักษาเหล็กให้ อยู่ในสภาพของเฟอร์รัสที่ละลาย น้ำได้ เสถียรภาพ : โดยรักษาเหล็กให้ อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้	เกิดสารที่เกิดจากการ ออกซิไดซ์เช่น H ₂ S เติมกรด เติมกรด	ป้องกันการเกิดตะกอน ภายหลัง ป้องกันการเกิดตะกอน ภายหลัง	

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

5) อนุภาค คอลลอยด์	a) ทำให้ ตกตะกอนโดยใช้ สารโคแอกกู แลนต์และกรอง ออก b) การทำน้ำอ่อน (softening) โดย การแลกเปลี่ยนไอออน	กำจัด : โดยรวมอนุภาค คอลลอยด์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นทำ ให้กรองออกได้ง่าย	ไม่ควรใช้กับน้ำที่มี TDS สูง ซึ่งอาจจับไหลเข้าไป ในเครื่อง softener ทำให้ เกิดความกระด้างใน น้ำที่ผ่านขบวนการทำ น้ำอ่อนแล้วมากกว่า 5mg/l	เติมกรด (สำหรับสารโคแอก กูแลนต์บางตัว)	ป้องกันการเกิด ตะกอนภายหลังของ สารโคแอกกูแลนต์
6) แบคทีเรีย	ฆ่าเชื้อโดยใช้ คลอรีนและกรอง ออก	กำจัด : โดยฆ่าเชื้อแบคทีเรียแล้ว กำจัดออกโดยใช้ Sand Filter		เติมสารเคมีโซเดียมเม ตาไบซัลเฟต b) ใช้ Carbon filter	กำจัดคลอรีนเพราะ จะทำให้ลายโครงสร้าง ของเมมเบรน

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

7) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S)	<p>a) ปลดปล่อยก๊าซ ออกแก๊สเติม คคลอรีน</p> <p>b) ป้องกันไม่ให้ สารเติมออกซิเจน เข้าสู่ระบบ เช่น อากาศ, คคลอรีน</p>	<p>กำจัด: โดย H₂S ส่วนใหญ่จะถูก ปลดปล่อยออกมาและก๊าซส่วนที่เหลือจะถูกออกซิไดส์ไปเป็น ซัลเฟต</p> <p>เสถียรภาพ: โดยคงสภาพอยู่ใน รูปของสารละลาย</p>	<p>ถ้าเป็นน้ำกรวดจะตกครว เดิมกรวดก่อนปล่อยก๊าซ ออกเพื่อป้องกันการเกิด ตะกรันที่เครื่องปล่อย ก๊าซ</p> <ul style="list-style-type: none"> เกิดเชื้อแบคทีเรีย ปนเปื้อน เจ้าหน้าที่จะควบคุม ระบบการทำงานและ การรักษาได้ยาก 	<p>a) เติมนสารเคมีโซเดียมเมตาไบซัลเฟต</p> <p>b) ใช้ Carbon filter</p>	<p>ก๊าซเป็นอันตรายต่อ สุขภาพ</p>
8) คคลอรีนหรือ สารเติมออกซิเจนที่แรงชนิดอื่น (Oxidizing agent)	<p>a) เติมนสาร โซเดียมเมตาไบซัลเฟต</p> <p>b) ใช้ Carbon Filter</p>	<p>กำจัด: ทำลายคุณสมบัติทางเคมี ของคลอรีน</p> <p>กำจัด: โดยดูดติดกับสารเติม ออกซิเจน</p>	<p>อาจเกิดความเสียหาย ถ้าขั้นตอนการเติม สารเคมีผิดพลาด</p> <ul style="list-style-type: none"> เชื้อแบคทีเรียจะขึ้นได้ง่ายที่เครื่องกรอง 	<p>เติมนสารโซเดียมเมตาไบซัลเฟตครั้งที่ 2</p>	<p>เพื่อความแน่นอนในการฆ่าเชื้อ แบคทีเรียและราบนเมมเบรน</p>

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของน้ำดิบก่อนเข้าระบบออสโมซิสย้อนกลับ

คุณสมบัติของน้ำดิบ	ปริมาณ
อุณหภูมิ	20-45($^{\circ}$ C)
pH	2-11
ความดัน	15-100(psi)
เหล็ก	0.05(mg/l)
คลอรีน	<0.005
ปริมาณความขุ่น Silt Density Index	SDI=3-5
ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness)	7.0-8.0

3.3 เครื่องสูบน้ำที่มีแรงดันสูง (High Pressure Pump)

เครื่องสูบน้ำที่มีแรงดันสูงมีความสำคัญมากต่อระบบออสโมซิสย้อนกลับ โดยเครื่องสูบน้ำแรงดันสูงจะทำหน้าที่สร้างแรงดันของน้ำให้มีค่าสูงมากขึ้น เพื่อให้ในการผลักดันโมเลกุลของน้ำสะอาดให้ไหลผ่านเยื่อเมมเบรนได้ โดยปกติแรงดันที่ใช้มักอยู่ในช่วง 200-1000 psi/inch² หรือสูงกว่า(ทั้งนี้ขึ้นกับคุณสมบัติของน้ำดิบและเมมเบรน)ที่นิยมใช้คือเครื่องสูบน้ำที่มีใบพัดหลายชุด (Vertical multistage centrifugal pump) ดังรูปที่ 3.5 ทำให้สามารถสร้างแรงดันสูงได้ดี และเนื่องจากเป็นแนวตั้ง ทำให้ประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้ง ด้วย



รูปที่ 3.5 เครื่องสูบน้ำแบบใบพัดหลายชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพระบบออสโมซิสย้อนกลับ

ในการตรวจสอบคุณภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับจำเป็นจะต้องมีเครื่องมือวัดที่ใช้ในการวัดค่าต่างๆภายในระบบเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบต่อไป โดยเครื่องมือวัดต่างๆจะประกอบด้วย อุปกรณ์วัดความดันภายในเส้นท่อ (Pressure), อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ (Flow Rate), อุปกรณ์วัดค่าความนำไฟฟ้าในน้ำ (Conductivity) และสุดท้ายคือตัววัดอุณหภูมิ (Temperature) โดยอุปกรณ์ทั้งหมดจะถูกติดตั้งตามตำแหน่งต่างๆ ในระบบ สำหรับการวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำ (TDS) จะวัดเป็นลักษณะค่าความนำไฟฟ้าภายในน้ำ (Conductivity) จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาแปลงเป็นค่าความเข้มข้นของสารละลายภายในน้ำโดยอาศัยความสัมพันธ์ $(0.75)TDS = \text{Conductivity}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดการอุดตันในเมมเบรนและวิธีการล้างเมมเบรน

ปกติโดยทั่วไประบบออสโมซิสย้อนกลับ เมื่อมีการใช้งานไปนานๆ จะเกิดการอุดตันขึ้นภายในเมมเบรน ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการล้างทำความสะอาดเมมเบรน และโดยทั่วไปแล้วการล้างทำความสะอาดเมมเบรน จะเริ่มทำต่อเมื่อพบสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นภายในระบบออสโมซิสย้อนกลับ ดังต่อไปนี้ คือ อัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้มีค่าลดลงจากปกติ ประมาณ 10% หรือ ปริมาณเกลือไอออนในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 10% สุดท้ายคือเกิดความดันแตกต่างภายในท่อหน้าที่ป้อนให้ระบบเทียบกับ ความดันภายในท่อที่ใช้ระบายน้ำ ที่มี ความเข้มข้นสูงออกจากระบบ คือมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม 15% ซึ่งสาเหตุของการเกิดการอุดตันและ ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดเมมเบรนจะกล่าวถึงโดยละเอียดดังนี้

4.1 สาเหตุของการอุดตันในเมมเบรน

การเตรียมน้ำดิบที่มีคุณสมบัติไม่เหมาะสม เข้าสู่ระบบออสโมซิสย้อนกลับ จะสร้างความเสียหายให้กับระบบได้อย่างรวดเร็วหรืออาจทำให้อายุการใช้งานลดน้อยลงได้ ความเสียหายที่เกิดขึ้นมักเนื่องมา จากการอุดตันของเมมเบรน โดยสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

1. การเกิดตะกรันบนเมมเบรน (Scale Fouling)
2. การตกผลึกของเหล็ก และ แมงกานีส (Iron & Manganese Oxide Fouling)
3. การอุดตันของเมมเบรนเนื่องจากสารคอลลอยด์ (SDI Fouling)
4. การอุดตันเนื่องจากจุลินทรีย์ (Biological Fouling)

4.1.1 การเกิดตะกรันบนเมมเบรน (Scale Fouling)

ลักษณะการทำงานของระบบออสโมซิสย้อนกลับ ซึ่งยอมให้โมเลกุลของน้ำซึมผ่านเมมเบรน และ กักโมเลกุลชนิดต่างๆ ไว้ ทำให้มีการสะสมตัวของโมเลกุล และ ไอออนต่างๆ อยู่ในด้านน้ำดิบของเมมเบรน โดยปกติระดับสารละลายในน้ำดิบจะมีการตกผลึก CaCO_3 และ/หรือ CaSO_4 โดย CaCO_3 มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำมาก จึงตกผลึกได้ง่ายกว่าสารประกอบอื่นๆ ส่วน CaSO_4 มักตกผลึกเมื่อความเข้มข้นของเกลือแร่ หรือสารแขวนลอยต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ (TDS) ของน้ำดิบมีค่าประมาณ 1500 ppm หรือ มากกว่า สารประกอบอื่นๆ ที่อาจตกผลึกได้คือ ซิลิกา (SiO_2), Strontium Sulfate, BaSO_4 และ CaF_2 ผลึกของสารต่างๆ ที่ทำให้เกิดการอุดตันของเมมเบรนซึ่งถ้าไม่รีบแก้ไขจะทำให้เมมเบรนเสียหายอย่างถาวร ถ้าตรวจพบการตกผลึกของหินปูน ควรรีบล้างด้วยสารละลายกรดเจือจางเพื่อละลายผลึกดังกล่าว แต่ถ้าเป็นผลึกของ CaSO_4 ควรใช้กรดซิตริก (Citric Acid) หรือ EDTA ล้างเพื่อละลายให้หมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การป้องกันผลึกมิให้เกิดขึ้น อาจทำได้โดยการกำจัดต้นเหตุเช่น Ca^{++} , SO_4 และ CO_3 เป็นต้น หรือใช้สารเคมีห้ามผลึกมิให้เกิดขึ้น แม้การกำจัดแคลเซียมหรือซัลเฟตจะเป็นไปได้แต่ไม่นิยมทำในทางปฏิบัติเนื่องจากต้องสิ้นเปลืองมาก และ สร้างของเสียทำให้เป็นปัญหาขึ้นอีก ในทางปฏิบัติมักกำจัดคาร์บอเนต โดยการใช้กรดเกลือเปลี่ยนคาร์บอเนตให้เป็นไบคาร์บอเนต และ/หรือ CO_2 ดังนั้นการเติมกรดจึงสามารถป้องกันการตกผลึกของ CaCO_3 ถ้าต้องการป้องกันการตกผลึกของ CaSO_4 ควรใช้สารห้ามตะกอน เช่น Sodium Hexametaphosphate เช่น HMP ในปริมาณประมาณ 10 ppm

นอกจากวิธีต่างๆดังกล่าวแล้ว การป้องกันผลึกมิให้เกิดขึ้นอาจกระทำได้โดยการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายในโมดูลมิให้ค่าสูงเกินกว่าความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบต่างๆ วิธีการคือควบคุมอัตราไหลของน้ำเข้มข้นที่ปล่อยออกจากระบบให้มีปริมาณสูงเพียงพอ เพื่อลดความเข้มข้นของสารละลายที่สะสมตัวอยู่ในโมดูล (วิธีการเช่นนี้เป็น การควบคุม %Recovery มิให้สูงเกินไปนั่นเอง)

4.1.2 การตกผลึกของเหล็ก และ แมงกานีส (Iron & Manganese Oxide Fouling)

ภายใต้สภาวะทั่วไป เหล็กสามารถตกผลึกได้รวดเร็ว และ ง่ายกว่าแมงกานีสเป็นอย่างมาก ผลึกของเหล็กจึงพบในโมดูลของระบบออสโมซิสย้อนกลับ มากกว่าของในแมงกานีส ส่วนใหญ่มักเป็นผลึกออกไซด์ การตกผลึกของเหล็กเกิดขึ้น เนื่องจากเหล็กเฟอรัส (Fe^{+2}) ซึ่งละลายน้ำได้ ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในน้ำ กลายเป็นเหล็กเฟอริก ซึ่งตกผลึกได้ง่าย โดยปกติ ถ้าน้ำดิบมีออกซิเจนละลายน้ำน้อย หรือ ไม่มีเลย ระบบออสโมซิสย้อนกลับ สามารถทนต่อน้ำที่มีเฟอรัสได้ไม่เกิน 4 ppm แต่ถ้าน้ำดิบมีออกซิเจนประมาณ 5 ppm หรือมากกว่า จะต้องมีเหล็กเฟอรัสไม่เกิน 0.05 ppm

อันที่จริงแล้ว เหล็กจะไม่สร้างปัญหาให้ระบบออสโมซิสย้อนกลับ เลย ถ้าสามารถควบคุมให้อยู่ในรูปของเฟอรัสตลอดเวลา ดังนั้นจึงอาจแก้ปัญหาในเรื่องตกผลึกได้ โดยการเติมกรดเกลือเพื่อลด pH ซึ่งเป็นการลดอัตราออกซิเดชันของเหล็ก ในกรณีที่มีการตกผลึกของเหล็กเกิดขึ้นอยู่ก่อนแล้ว ควรล้างด้วยสารละลายกรดซิตริก (Citric Acid) แล้ว ปรับ pH ให้ได้เท่ากับ 4 ด้วยแอมโมเนียไฮดรอกไซด์

4.1.3 การอุดตันเนื่องจากสารคอลลอยด์ (SDI Fouling)

น้ำที่เข้าระบบออสโมซิสย้อนกลับ ต้องปราศจากสารแขวนลอยเพื่อป้องกันการเข้าไปอุดตันในรูของเมมเบรน โดยสารแขวนลอยสามารถกำจัดโดยใช้ไส้กรองที่มีความละเอียด 5 Micron สำหรับสารคอลลอยด์ จะมีการสะสมตัวใกล้แผ่น เมมเบรน และ มีการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) เกิดขึ้น การสะสมตัวของสารละลายในโมดูล ทำให้มีระดับเกลือแร่สูงจนกระทั่ง Diffuse Layer ของคอลลอยด์ถูกบีบให้แคบลง และ เกิดโคแอกกูเลชันได้ ผลที่เกิดขึ้นคือ มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมตัวกันของคอลลอยด์จนเป็นกลุ่มก้อน และ เกาะอยู่บนเมมเบรน ทำให้มีการอุดตันเมมเบรนเกิดขึ้น

การป้องกันคอลลอยด์มิให้อุดตันเมมเบรน จึงเป็นเสมือนกับการห้ามโคแอกกูเลชันมิให้เกิดขึ้นนั่นเอง ซึ่งอาจทำได้โดยการลดปริมาณคอลลอยด์ และ เพิ่มเสถียรภาพของคอลลอยด์ (ทำให้เกิดโคแอกกูเลชันได้ยาก) ในทางปฏิบัติมักกำจัดคอลลอยด์ออกจากน้ำก่อนด้วยวิธีโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม ตามด้วยการตกตะกอน และ การกรอง การควบคุมระดับสารละลายในโมดูล เพื่อป้องกันการตกผลึกของสารต่างๆ มีส่วนช่วยทำให้โคแอกกูเลชันของคอลลอยด์ในโมดูลเกิดได้ยาก

การวัดเสถียรภาพและความเข้มข้นของคอลลอยด์ อาจกระทำได้โดยการวัดซีตาโพเทนเชียล (Zeta Potential) และ Silt Density Index (SDI) ตามลำดับ คอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูง จะมีซีตาโพเทนเชียลสูง และ เกิดโคแอกกูเลชันได้ยาก ในทางตรงข้าม คอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพต่ำ จะมีซีตาโพเทนเชียลต่ำ และ เกิดโคแอกกูเลชันได้ง่าย Silt Density Index (SDI) เป็นดัชนีที่ใช้แสดงระดับความเข้มข้นของคอลลอยด์ น้ำบาดาลมักมี SDI ประมาณ 2-3 หรือน้อยกว่า และ ไม่ก่อปัญหาในเรื่องการอุดตันเมมเบรน น้ำผิวดินอาจมี SDI สูงตั้งแต่ 10 จนถึง 175 และมีคอลลอยด์เข้มข้นจนเกิดการอุดตันของเมมเบรน

4.1.4 การอุดตันเนื่องจากจุลินทรีย์ (Biological Fouling)

ถ้าปล่อยให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้บนเมมเบรน (ด้านน้ำเข้มข้นหรือน้ำดิบ) ปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้มีดังนี้

- เมมเบรนถูกทำลาย ทั้งนี้เพราะเมมเบรนเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถใช้เป็นอาหารได้
- อุดตันเมมเบรน
- จุลินทรีย์อาจรั่วผ่านเมมเบรนและ หลุดออกไปพร้อมกับน้ำสะอาดที่ผลิตได้ ทำให้น้ำสะอาดมีมลทิน

ในจำนวนโมดูลของระบบออสโมซิสย้อนกลับ ทั้ง 4 ชนิด ที่กล่าวถึงในตอนๆ 3.1 มีชนิดเดียวเท่านั้นที่ทนทานต่อการทำลายของจุลินทรีย์ ได้เป็นอย่างดีคือโมดูลแบบเส้นใยกลวง ซึ่งใช้โพลีเอไมด์ทำเมมเบรน การใช้คลอรีนฆ่าจุลินทรีย์ต้องกระทำอย่างระมัดระวังเท่านั้น เนื่องจากคลอรีนมีปฏิกิริยากับเมมเบรนส่วนใหญ่ ถ้าปล่อยให้สัมผัสกันนานเกินไป หรือ คลอรีนเข้มข้นเกินไป เมมเบรนอาจถูกทำลายจนสูญเสียคุณภาพ วิธีรักษาเมมเบรนให้สามารถใช้ได้นานและมีคุณภาพดีตลอดเวลา อาจกระทำได้โดยการทำลายจุลินทรีย์ในน้ำดิบด้วยคลอรีนเสียก่อน จากนั้นจึงกำจัดคลอรีนตกค้างที่มากเกินไปก่อนส่งน้ำเข้าโมดูล ในกรณีที่ต้องหยุดระบบออสโมซิสย้อนกลับ เป็นเวลานานๆ ควรล้างเมมเบรนด้วยสารละลาย ฟอรัแมลดีไฮด์ (Formaldehyde) เสียก่อนเพื่อป้องกันจุลินทรีย์มิให้เติบโตภายใต้สภาวะสงบนิ่ง

4.2 วิธี และ ขั้นตอนการล้างเมมเบรน

การล้างทำความสะอาดเมมเบรนจะเป็นการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับสิ่งสกปรกที่ตกค้าง และ อุดตันซึ่งเป็นสารที่ไม่สามารถกำจัดออกได้ด้วยน้ำ Permeate สำหรับสารเคมีที่ใช้จะแบ่งเป็น

1. Acid Cleaning นำสาร Acid Cleaning มาละลายน้ำโดยน้ำที่นำมาละลายนั้น จะต้องใช้น้ำ Permeate จากระบบบออสโมซิสย้อนกลับ เท่านั้น โดยผสมให้มีค่า pH = 2.5-3.0 ใช้กำจัดสารอนินทรีย์พวก Inorganic Mineral Scale ซึ่งเป็นพวกตะกรันต่างๆเช่น CaCO_3 (Scale Fouling) และ สารชีวภาพ (Biological Fouling)

2 Alkaline Cleaning นำสาร Alkaline Cleaning มาละลายน้ำ โดยน้ำที่นำมาละลายนั้น จะต้องใช้น้ำ Permeate จากระบบบออสโมซิสย้อนกลับ เท่านั้น โดยผสมให้มีค่า pH = 11.0-11.5 ใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่ตกค้างในเมมเบรน เช่น โปรตีน ไขมัน (SDI Fouling) และ กำจัดตะกอนเหล็ก คราบสนิม (Iron & Manganese Oxide Fouling)

บทที่ 5

พีแอลซีกับการติดต่อสื่อสาร

พีแอลซี เป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กชนิดหนึ่งที่ได้ออกแบบให้ใช้เพื่องานควบคุมโดยเฉพาะที่ ประกอบด้วยส่วนประมวลผล ส่วนหน่วยความจำ และทางเข้าออกของข้อมูล หรือ อินพุทเอาต์พุท ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ จะต้องมีความเชื่อถือได้สูง เนื่องจากส่วนประมวลผลทั่วไปของคอมพิวเตอร์มีลักษณะการทำงานเป็นแบบตรรก สามารถที่จะเลื่อนข้อมูล หมุนวนข้อมูล ในลักษณะต่างๆ ได้ทุกรูปแบบตามแต่ผู้ใช้งานจะโปรแกรมให้มีการทำงานในลักษณะใด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของระบบปฏิบัติการในตัวพีแอลซีแต่ละตัว โดยพีแอลซีเป็นเครื่องควบคุมที่สามารถกำหนดโปรแกรมได้นอกจากจะใช้ในการควบคุมเครื่องจักรโดยทั่วไปแล้ว ยังมีการพัฒนาให้มีความสามารถและขอบเขตของงานได้กว้างขวางขึ้น เช่น มีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เพิ่มขึ้น ทำให้การควบคุมเป็นทั้งแบบ ON-OFF หรือแบบอนาล็อก เช่น PID Control สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์วัดและควบคุม อื่นๆ รวมถึงสามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งการติดต่อสื่อสารโดยทั่วไปจะมีลักษณะการส่งข้อมูลอยู่ 2 แบบ คือการส่งแบบขนาน และการส่งแบบอนุกรม ดังจะกล่าวถึงโดยละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 การติดต่อสื่อสารข้อมูลทั่วไป

ส่วนประกอบเบื้องต้นในการสื่อสารข้อมูลแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน [6] คือ

1. ฝ่ายกำเนิดข้อมูล (Transmitter)
2. ตัวกลางในการส่งข้อมูล (Medium)
3. ฝ่ายรับข้อมูล (Receiver)



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของส่วนประกอบหลักในการสื่อสารข้อมูล

การจำแนกรูปแบบในการสื่อสารข้อมูลอาจจัดแบ่งได้หลายแบบเช่น แบ่งตามชนิดของสัญญาณของข้อมูล คือการสื่อสารข้อมูล อนาล็อก (Analog) และการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิทัล (Digital) หรือแบ่งตามวิธีการส่งข้อมูล ในบทนี้จะกล่าวถึงการสื่อสารข้อมูลดิจิทัล ซึ่งเป็นข้อมูลชนิดที่เกี่ยวข้องกับเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องควบคุม PLC/PC

5.1.1 วิธีการส่งข้อมูล

แบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

1. การส่งแบบทิศทางเดียว (simplex) การส่งแบบนี้ทิศทางการส่งจะคงที่โดยกำหนดในครั้งแรกว่าฝ่ายใดเป็นฝ่ายส่ง ฝ่ายใดเป็นฝ่ายรับ การส่งแบบนี้แม้ไม่คล่องตัวแต่เหมาะสมในการใช้งานบางประเภท



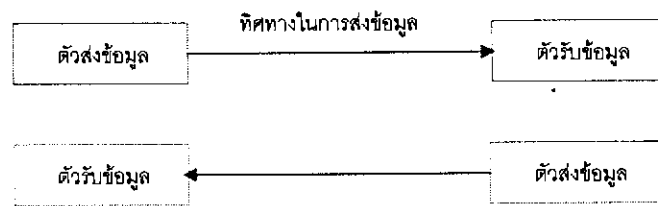
รูปที่ 5.2 การส่งแบบทิศทางเดียว (Simplex)

2. การส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex) เป็นการส่งข้อมูลในทิศทางใดทิศทางหนึ่งในเวลาใดเวลาหนึ่ง คือทั้ง 2 สถานีสามารถผลัดกันส่งได้แต่จะส่งพร้อมๆกันไม่ได้



รูปที่ 5.3 การส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex)

3. การส่งแบบสองทิศทาง (Full Duplex) เป็นการส่งข้อมูลในทิศทางใด ก็ได้ เวลาใดก็ได้ คือสามารถส่งและรับข้อมูลในเวลาเดียวกัน

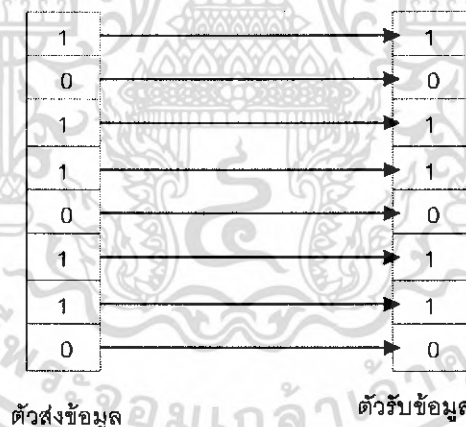


รูปที่ 5.4 การส่งแบบสองทิศทาง (Full Duplex)

วิธีการสื่อสารข้อมูลดิจิทัลของคอมพิวเตอร์แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน (Parallel)

เป็นการติดต่อสื่อสารโดยส่งข้อมูลออกเป็นครั้งละ 1 ไบต์ คือ ครั้งละ 8 บิต จากอุปกรณ์ส่งไปยังอุปกรณ์รับ ดังนั้นตัวกลางระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งสองเครื่องจะต้องมีช่องทางให้ข้อมูลเดินทางอย่างน้อย 8 ช่องทาง โดยมากจะใช้เป็นสายขนานแต่เนื่องจากมีสัญญาณสูญหายไปกับอิมพีแดนซ์ของสายซึ่งมีความสัมพันธ์กับระยะทางของสาย ดังนั้นระยะทางระหว่างเครื่องสองเครื่องไม่ควรเกิน 100 ฟุต ทำให้การส่งแบบนี้ได้ระยะทางไม่ไกลนัก แต่สามารถส่งข้อมูลได้รวดเร็วเพราะส่งออกมาพร้อมกันกันทีละ 8 บิต อุปกรณ์ที่ติดต่อแบบขนานกับคอมพิวเตอร์เช่น เครื่องพิมพ์ เป็นต้น

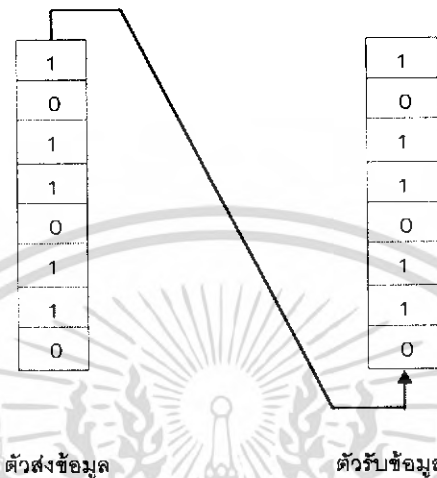


รูปที่ 5.5 การสื่อสารข้อมูลแบบขนาน

2. การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (Serial)

ในการติดต่อนี้ ข้อมูลจะถูกส่งออกมาทีละบิตระหว่าง จุดส่งและจุดรับ ซึ่งการส่งข้อมูลแบบนี้จะช้ากว่าการส่งแบบขนาน แต่ใช้ตัวกลางในการสื่อสารเพียงช่องทางเดียวหรือสายเพียงคู่เดียวทำให้ค่าใช้จ่ายในการส่งสำหรับสื่อสารกลางถูกกว่าแบบขนาน การส่งแบบนี้ใช้สำหรับส่งในระยะทางไกล

มากกว่า 100 ชุด ข้อมูลจากจุดส่งจะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นอนุกรมก่อนแล้วค่อยทยอยส่งออกไปทีละบิตไปยังจุดรับ ที่จุดรับจะต้องมีรูปแบบในการเปลี่ยนข้อมูลที่ถูกส่งออกมาให้เป็นแบบขนาน ในการแปลงต้องมีรูปแบบที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการผิดพลาดของข้อมูล



รูปที่ 5.6 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

5.1.2 ข้อตกลงในการติดต่อสื่อสาร (โปรโตคอล: Protocols)

ในการสื่อสารข้อมูลจะต้องมีกฎหรือข้อกำหนดในการสื่อสารข้อมูล หรือที่นิยมเรียกว่า โปรโตคอล (Protocol) ซึ่งเป็นส่วนที่จะกำหนดมาตรฐานในการควบคุม และจัดการระบบการสื่อสารข้อมูล

สำหรับรายละเอียดที่กล่าวในหัวข้อนี้จะเกี่ยวข้องกับเฉพาะในส่วนของโปรโตคอลการควบคุมการเชื่อมโยงข้อมูล (Data link Control Protocols หรือ DLCP) ซึ่งการจัดการในส่วนนี้ของขั้นตอนและหลักการต่างๆ คือโครงสร้างรายละเอียดของข้อมูล วิธีการในการสื่อสารข้อมูลการตรวจสอบแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูล และขบวนการในการควบคุมการติดต่อสื่อสารโดย DLPC แบ่งได้ตามโครงสร้างของข้อมูล 2 แบบคือ Byte-Oriented Protocols และ Bit-Oriented Protocols

5.1.2.1 ไบต์โอเรียนโปรโตคอล (Byte-Oriented Protocols)

โปรโตคอลแบบนี้เป็นโปรโตคอลที่การสื่อสารข้อมูล และการควบคุมการทำงานจะทำได้โดยใช้ลักษณะข้อมูลที่เป็นตัวอักษร (Character) หรือไบต์ (Byte) หรืออาจเรียกว่า Character Oriented Protocols ซึ่งแบ่งออกเป็น

1. อะซิงโครนัสโปรโตคอล (Asynchronous protocols) โปรโตคอลในการสื่อสารข้อมูลนี้ใช้การสื่อสารข้อมูลแบบ half-Duplex ที่มีลักษณะการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ซึ่งเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบพื้นฐานที่ใช้งานมาเป็นเวลานานแล้ว จึงมีรายละเอียดและขั้นตอนในการสื่อสารข้อมูลที่ทำให้มีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้น้อย และยังมีข้อดีที่การสื่อสารข้อมูลแบบนี้มีในโครงสร้างการทำงานที่ง่าย อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลก็ไม่สลับซับซ้อน และมีราคาถูก โปรโตคอลแบบนี้จึงเหมาะสำหรับใช้ในระบบขนาดเล็ก

2. ไบนารีซิงโครนัส โปรโตคอล (Binary Synchronous Protocols) โปรโตคอล แบบนี้จะมีลักษณะการทำงานที่ใช้งานข้อมูลเป็นลักษณะไบนารี และยังคงใช้การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส มีรายละเอียดและขั้นตอนในการสื่อสารข้อมูลที่ทำให้ความน่าเชื่อถือมากกว่า อีกทั้งยังสามารถใช้อัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลที่สูงกว่า โดยตัวอย่างของการสื่อสารข้อมูลแบบนี้ที่ได้มีการกำหนดเป็นมาตรฐานไว้แล้วคือการสื่อสารข้อมูลมาตรฐาน BSC (Binary Synchronous Communication) ซึ่งเป็นโปรโตคอล ที่มีลักษณะของข้อมูลแบบไบนารีที่ได้รับความนิยมนำไปใช้งาน

5.1.2.2 บิตโอเรียนท์โปรโตคอล

โปรโตคอล แบบนี้เป็น โปรโตคอล ที่การสื่อสารข้อมูล และการควบคุมการทำงานโดยใช้ลักษณะข้อมูลที่เป็นบิต โดยมีตัวอย่างของการสื่อสารข้อมูลในลักษณะนี้ที่มีการกำหนดขึ้นเป็นมาตรฐานแล้วคือ HDLC (High-level Data Link Control) โดยมีโครงสร้างของข้อมูลแบบ ซิงโครนัส เช่นเดียวกับ BSC แต่ต่างกันที่มีลักษณะของข้อมูลเป็นแบบบิต ซึ่ง โปรโตคอล นี้มีข้อดีที่สามารถสื่อสารข้อมูลแบบสองทางได้ทำให้การสื่อสารข้อมูลได้รวดเร็วกว่า แต่ โปรโตคอล แบบนี้ก็มีรายละเอียด และโครงสร้างในการสื่อสารข้อมูลที่สลับซับซ้อนมากทำให้การควบคุมการทำงานทำได้ยากและต้องใช้อุปกรณ์ที่มีราคาสูง จึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานกับระบบขนาดเล็ก

5.1.2.3 แพ็กเกจ (Packet of Information)

รูปแบบของแพ็กเกจในระบบโครงข่ายจะประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

1. HEADER จะประกอบด้วย

- Preamble or Start of Packet Indicator เป็นส่วนเริ่มแรกของแพ็กเกจและในบางระบบอาจใช้การลิงค์กับสัญญาณนาฬิกาของตัวส่งและตัวรับด้วย
- Control Information ส่วนนี้เป็นข้อมูลที่บอกถึงวัตถุประสงค์ของแพ็กเกจนั้นว่าจะใช้ทำอะไร เช่นเพื่อการจัดการระบบ เพื่อดู Status ของ mode หรืออื่นๆ

นอกจากส่วนต่างๆเหล่านี้แล้ว ในส่วนของ Header อาจจะมีส่วนที่เป็น Sequential Number เป็นส่วนที่บอกให้ทราบถึงลำดับของแพ็กเกจในกรณีที่ข้อมูลมีความยาวหลายแพ็กเกจ

2. INFORMATION

- Data field เป็นส่วนประกอบของข้อมูลจริงที่ต้องการจะส่ง

3. TAILER

- Frame Check Sequence (FCS) เป็นส่วนที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลซึ่งอาจเป็น Parity Bit, Check Sum หรือ CRC เป็นต้น
- End of Packet Indicator เป็นส่วนที่บอกให้ทราบว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

PREAMBLE	DA	SA	CONTROL	INFORMATION	FCS	STOP
HEADER			INFORMATION		TAILER	

รูปที่ 5.7 แสดงโครงสร้างของแพ็กเกจ

5.1.3 การควบคุมความผิดพลาดในการส่งข้อมูล (Error Control)

การที่วงจรส่งข้อมูลขาดชั่วขณะและผลกระทบต่อสัญญาณรบกวน (Noise) ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าลดลงเป็นผลให้เกิดความผิดพลาดในการส่งดังนั้นต้องทำการค้นหาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่าง

การส่งข้อมูลและแก้ไขความผิดพลาดให้ถูกต้อง

5.1.3.1 วิธีการเพิ่มบิตเข้าไปที่ข้อมูล (Parity Bit) เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดมี 2 วิธี คือ

1. วิธี Parity แนวนอน

ทำการเพิ่ม 1 บิต เข้าไปที่แต่ละตัวอักษรที่จะส่งโดยจะกำหนดว่าเป็นการตรวจสอบแบบ Odd หรือ Even Number แล้วผลรวมของข้อมูลจะเป็น Odd Number หรือ Even Number

2. วิธี Parity แนวตั้ง

ทำการตรวจสอบความผิดพลาดโดยการเพิ่ม 1 บิต เข้าไปที่แต่ละบิต

01101101	1
01100110	0
10111010	1
10010111	1
00101001	1 Parity แนวนอน
00010110	1
10101110	1
11110010	1
01000101	1
Parity แนวตั้ง	

รูปที่ 5.8 แสดงรูปแบบการตรวจสอบด้วย Parity Bit

5.1.3.2 วิธี Patrol Diffuse Inspection หรือ การใช้ FCS: Frame Check Sequence

สำหรับข้อมูลอันหนึ่งจะสร้าง Error Inspection Sign (CRC Sign) ขนาด 2 Byte ที่คำนวณได้บนพื้นฐานของกฎที่กำหนดไว้ แล้วเพิ่มเครื่องหมายไปที่ข้อมูลอันนั้นที่ทางด้านรับจะตรวจสอบข้อมูลโดย Inspection Sign ได้กำหนดไว้โดยสูตรการคำนวณที่เหมือนกัน (blast Error) ความผิดพลาดของข้อมูลที่ต่อเนื่องก็สามารถตรวจสอบได้ทำให้มีความน่าเชื่อถือสูง

5.1.4 อัตราการส่งข้อมูล (Data Transmission Rate)

Transmission Rate นั้นแยกออกได้เป็น "Data Transmission Speed" และ "Modulation Speed"

5.1.4.1 Data Transmission Speed

Data transmission Speed หรือ Bit Rate นั้นแสดงในรูปของจำนวน Bit ที่ สามารถส่งได้ภายใน 1 วินาที มีหน่วยเป็น บิต ต่อวินาที โดยเขียนว่า Bit/Sec หรือ Bps ซึ่งแสดง Definition ของ Data Transmission Speed โดยแสดงด้วยสมการข้างล่างนี้

$$s = (1/T) \log_2 n$$

S: Data Transmission Speed

T: Continue time ของ 1 pulse ของ Transmission Pulse

n : จำนวนค่าสภาวะใน 1 pulse

ในกรณีที่ Pulse 1 ลูก มีค่า 2 ค่า คือ 0 และ 1 เป็น สมการจะเป็น $s=1/T$ โดยที่ T เป็นเวลา ต่อเนื่อง (continue Time) ของ Pulse 1 $1/T$ จึงแสดงถึงจำนวนของ Pulse ใน 1 วินาที ซึ่งก็คือจำนวน บิตที่สามารถส่งไปได้ถึง 1 วินาทีนั่นเอง

5.1.4.2 Modulation Speed

Modulation Speed หรือ Baud Rate คือจำนวนครั้งที่สามารถ Modulate ได้ใน 1 วินาที วิธีการ Modulation นั้นมี Amplitude Mod, frequency Mod, Phase Mod และอื่นๆในกรณีที่แสดงถึง ช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงสภาวะนั้น จะสามารถกำหนดได้ดังสมการโดยหน่วยจะเป็น Baud

$$B=1/T$$

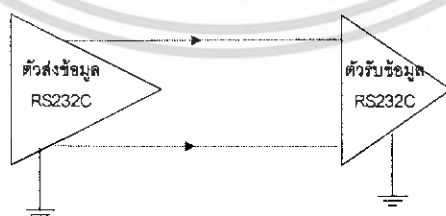
B: Modulation Speed (Baud)

T: เวลาในการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะหนึ่งเป็นอีกสภาวะหนึ่ง

5.1.5 มาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

5.1.5.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C

การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ได้มีการกำหนดมาตรฐานการรับส่งข้อมูล ไว้หลายแบบ แต่ที่ได้รับความนิยมนำมาใช้งานกันอย่างมากคือ การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม มาตรฐาน RS-232C และที่มาตรฐานนี้เป็นที่นิยมเนื่องจากเป็นระบบการสื่อสารข้อมูลที่ใช้ในเครื่อง คอมพิวเตอร์ IBM PC ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์ที่มีใช้อย่างแพร่หลายมากจากอดีตจนถึงปัจจุบัน มาตรฐาน การสื่อสารนี้ในการออกแบบเบื้องต้นได้ออกแบบ สำหรับการเชื่อมต่อกับเครื่องโมเด็ม (MODEM) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านทางสายโทรศัพท์ ซึ่งทำให้อัตราการ รับส่งข้อมูลถูกจำกัดให้มีค่าที่ค่อนข้างต่ำ มาตรฐาน RS-232C นี้ได้ออกแบบให้มีโครงสร้างการสื่อสาร เป็นแบบจุดต่อจุดเท่านั้น โดยมีลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าและทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 5.1 และ รูปที่ 5.9

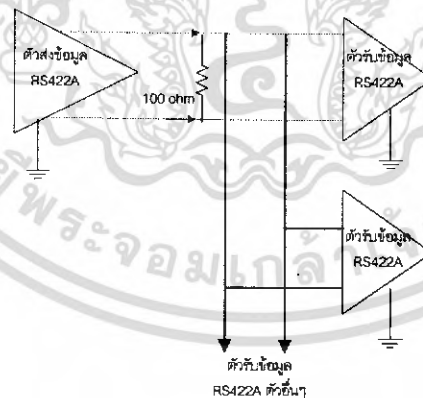


รูปที่ 5.9 แสดงโครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามเวลาตามมาตรฐาน RS-232C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5.2 การสื่อสารข้อมูลอนุกรมมาตรฐาน RS-422A

ในการออกแบบระบบสื่อสารของข้อมูลจากที่ผ่านมามาจนถึงปัจจุบัน ได้มีการพยายามที่จะออกแบบให้การสื่อสารข้อมูลได้รวดเร็วขึ้น และมีระยะในการสื่อสารที่มากขึ้นด้วย ซึ่งที่ผ่านมามีการสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐาน RS-232C ได้ออกแบบเพื่อใช้เชื่อมต่อกับโมเด็มเท่านั้น จึงไม่ได้คำนึงถึงความเร็วและระยะทางในการสื่อสาร ต่อมาได้มีมาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลใหม่ที่ได้ออกแบบมาเพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้งานที่ต้องการให้การรับส่งข้อมูลได้ไกลและรวดเร็วขึ้น มาตรฐานนี้คือ RS-422A ซึ่งการที่มาตรฐานสื่อสารนี้สามารถรับส่งข้อมูลได้ไกลและรวดเร็วขึ้นเนื่องมาจากหลักการที่ใช้สัญญาณเป็นแบบ ดิฟเฟอเรนเชียล ดังแสดงในรูปที่ 5.10 ซึ่งหลักการก็คือสัญญาณที่รับส่งจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณ 2 เส้นเทียบกับมาตรฐาน RS232C ที่สัญญาณทุกสัญญาณจะเทียบกับกราวด์ ซึ่งในการสื่อสารในระยะทางไกลๆ แล้วสัญญาณจะถูกลดทอนไปและเมื่อสัญญาณถูกลดทอนถึงจุดๆหนึ่ง สัญญาณนั้นก็จะมีผิดพลาดไปจากความเป็นจริง ทำให้การรับส่งข้อมูลเกิดผิดพลาดขึ้น แต่สำหรับสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียล การลดทอนของสัญญาณก็จะไปลดทอนทั้งสองสายด้วยค่าที่เท่ากัน หรือใกล้เคียงกันและความแตกต่างของสัญญาณทั้งสองเส้น จากตัวแปรส่งไปยังตัวรับก็ยังมีค่าเท่าเดิมหรือเปลี่ยนแปลงน้อย จึงทำให้ผลของการลดทอนต่อสัญญาณที่ระยะการสื่อสารที่ไกลไม่มีผลต่อการสื่อสารข้อมูล พร้อมทั้งสามารถติดต่อกับตัวรับได้ถึง 10 ตัว ดังแสดงตารางในตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบมาตรฐานการสื่อสารข้อมูล

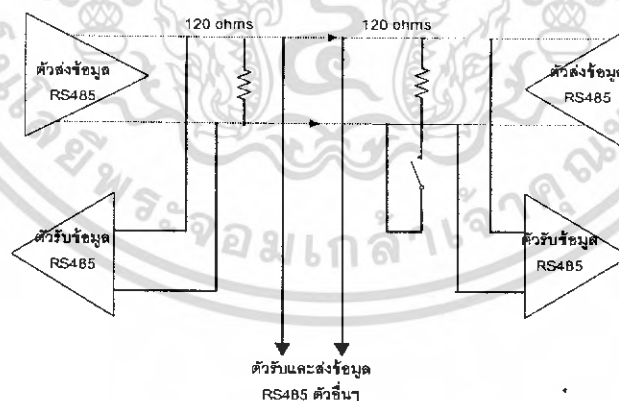


รูปที่ 5.10 โครงสร้างการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-422A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5.3 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมาตรฐาน RS-485

การสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐานที่กล่าวมาแล้วข้างต้นคือ RS-232C นั้นเป็นมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลในแบบที่ใช้สื่อสารระหว่างอุปกรณ์หรือจุดต่อจุด (Point-to Point) ส่วน RS-422A นั้นเป็นมาตรฐานที่พัฒนามาจาก RS-232C ให้ได้ระยะทางไกลขึ้นและอัตราการสื่อสารเพิ่มขึ้น แต่ก็ยังเป็น การสื่อสารจากอุปกรณ์หนึ่งตัวไปยังอุปกรณ์อื่นๆ สูงสุด 10 ตัว เท่านั้นไม่สามารถย้อนกลับจากอุปกรณ์ ตัวรับมาตัวส่งได้ หรือกล่าวได้ว่าการสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐาน RS-422A นั้น เป็นการสื่อสารข้อมูล แบบ Simplex คือทิศทางของข้อมูลเป็นแบบทางเดียวตลอดเวลา ดังนั้นถ้าต้องการออกแบบระบบให้ เป็นลักษณะโครงข่ายข้อมูลก็จะไม่สามารถทำได้ จึงมีการพัฒนามาตรฐานการสื่อสารข้อมูลขึ้นใหม่ เพื่อรองรับความต้องการนี้ คือมาตรฐาน RS-485 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่อาศัยหลักการของสัญญาณ แบบดิฟเฟอเรนเชียล เช่นเดียวกับมาตรฐาน RS-422A แต่สามารถสื่อสารข้อมูลได้ทั้ง 2 ทิศทางใน สายสัญญาณเพียงคู่เดียว ซึ่งก็คือการสื่อสารข้อมูลแบบ Half Duplex จากผลของการใช้สัญญาณใน ลักษณะดิฟเฟอเรนเชียลนี้ ทำให้ระยะทางและความเร็วในการสื่อสารข้อมูลมีค่าสูง เช่นเดียวกับ มาตรฐานการสื่อสารข้อมูล RS-422A แต่มาตรฐาน RS-485 สามารถที่จะสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ทั้ง การส่งของอุปกรณ์ได้สูงสุด 32 ตัว หรืออาจกล่าวได้ว่าการสื่อสารมาตรฐาน RS-485 เป็นการสื่อสาร แบบหลายจุด (Multipoint Communication) ดังแสดงค่าเปรียบเทียบในตารางที่ 5.1 และแสดง โครงสร้างในรูปที่ 5.11 รายละเอียดเพิ่มเติมใน



รูปที่ 5.11 โครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-485

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ RS-232 C ,RS-422A และ RS-485

	RS232 C	RS422 A	RS485
Cabling	Single ended	Single ended Multi-drop	Multi-drop
Number of Devices	1 transmit 1Receive	5 transmitters 10 receivers	32 transmitters 32 receivers
Communication Mode	Full Duplex	Full duplex Half duplex	Half duplex
Max.Distance	50 feet at 19.2 Kpbs	4000 feet at 100 Kbps	4000 feet at 10 Kpbs
Max.Data Rate	19.2 Kbps for 50 feet	10 Mbps for 50 feet	10 Mbps for 50 feet
Signaling	Unbalanced	Balanced	Balanced
Mark (data 1)	- 5 V min - 15 V max	2v min (B>A) 6v max(B>A)	1.5v min (B>A) 5v max(B>A)
Space (data 0)	- 5 V min -15 V max	2v min (A>B) 6v max(A>B)	1.5v min (A>B) 5v max(A>B)
Input Level Min.	+/-3 V	0.2 difference	0.2 difference
Output Current	500 mA(Note that the driver ICs normally used in PCs are limited to 10 mA)	150 mA	250 mA

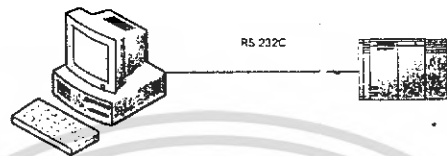
5.2 รูปแบบของการสื่อสารข้อมูลของตัวพีแอลซี

การต่อวงจรในการติดต่อสื่อสารข้อมูลของเครื่องควบคุม PLC/PC อาจแบ่งออกได้ 3 แบบด้วยกัน

5.2.1 การต่อวงจรแบบจุดต่อจุด

ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบจุดต่อจุด จะใช้มาตรฐานการสื่อสารแบบ RS232C ซึ่งเป็นการติดต่อในระยะทางที่ไม่ไกลมากเช่น การติดต่อระหว่างเครื่องควบคุม PLC/PC กับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการตรวจสอบสภาวะการทำงาน หรือ การควบคุมจากคอมพิวเตอร์ หรือ สนับสนุนการทำงาน

อื่นๆ การติดต่อระหว่างเครื่องควบคุม PLC/PC กับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น โมเด็ม (MODEM) อุปกรณ์ควบคุมสัมผัสหน้าจอ (touch Screen) คีย์บอร์ด (key board) เครื่องอ่านรหัสแถบ (bar-code) เครื่องพิมพ์ เครื่องบันทึก (Recorder) เครื่องรายงานผล (Reporter)

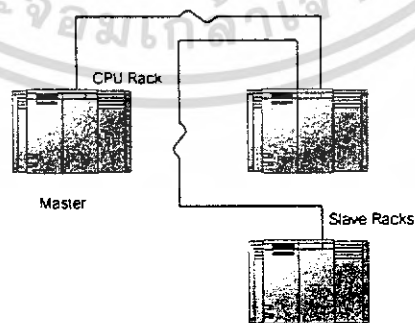


รูปที่ 5.12 ระบบการติดต่อแบบจุดต่อจุด

5.2.2 การต่อวงจรแบบหลายจุด

5.2.2.1 การติดต่อแบบ อินพุท/เอาต์พุท ระยะไกล (remote I/O System)

เป็นการเชื่อมโยงสื่อสารข้อมูลในลักษณะ ที่ตัวประมวลผลของเครื่องควบคุมหลักกับปลายทางอุปกรณ์ที่ถูกควบคุมอยู่ไกลกัน และอาจมีมากกว่า 1 จุด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะมีการเชื่อมโยงในระยะไกล ในการติดต่อลักษณะนี้จะใช้มาตรฐานการสื่อสารแบบ RS485 บนตัวนำสองเส้น โดยที่ตัวควบคุมหลัก (Master) จะทำการรับอินพุททั้งจากพื้นที่ของตัวควบคุม และหน่วยระยะไกล (Slave) จากนั้นจะทำการประมวลผล แล้วส่งเอาต์พุทไปยังส่วนต่างๆ โดยที่อินพุทและเอาต์พุท ของหน่วยระยะไกลจะจองพื้นที่ของรีเลย์ภายใน (Internal Relay) ของตัวควบคุมหลักโดยการเซทระบบนั้นจะแตกต่างกันไปตามบริษัทผู้ผลิต



รูปที่ 5.13 การเชื่อมโยงแบบอินพุท/เอาต์พุทระยะไกล (Remote I/O System)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Input Areas
Outputs Areas
Internal Relay Areas

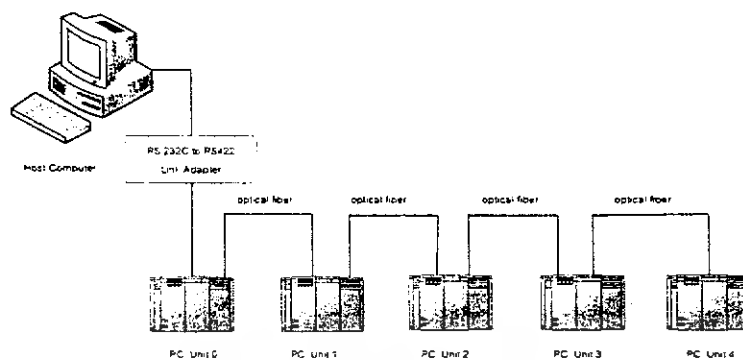
รูปที่ 5.14 การจำลองพื้นที่ของตัวควบคุมหลักขณะทำงานปกติ

Inputs Area
Output Area
Internal Relay Area
Input Remote
Output Remote

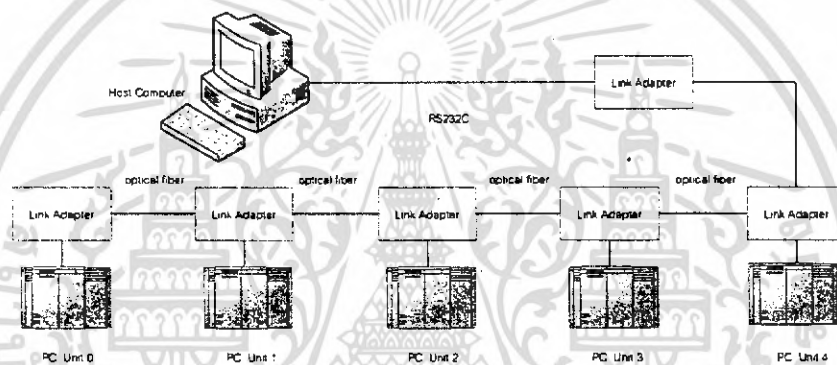
รูปที่ 5.15 การจำลองพื้นที่ของตัวควบคุมหลักขณะเมื่อมีการทำงานร่วมกับหน่วยอินพุท เอาท์พุท ระยะไกล

5.2.2.2 การติดต่อแบบพีซีลิงค์ (PC Link System)

เป็นการเชื่อมโยงสื่อสารข้อมูลในลักษณะของการแบ่งพื้นที่ในการอ่านเขียนของ PLC/PC แต่ละตัว เครื่องควบคุม อินพุท/เอาท์พุท แต่ละตัวสามารถรับรู้ข่าวสารซึ่งกันและกันได้ มาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลชนิดนี้มักจะเป็นแบบ RS422A หรือเป็นรูปแบบการสื่อสารผ่านสายใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) หรือผ่านสายโคแอกเชียลโดยจะมีตัว Link Adapter เป็นตัวแปลงรูปแบบข้อมูลให้มาตรฐานตรงกันอาจจะมีการเชื่อมโยงกับเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาในระบบการลิงค์เพื่อสนับสนุนการทำงานของเครื่องควบคุม PLC/PC ซึ่งจะเรียกว่าโฮสต์คอมพิวเตอร์ (Host Computer) มีลักษณะการต่อวงจรดังนี้

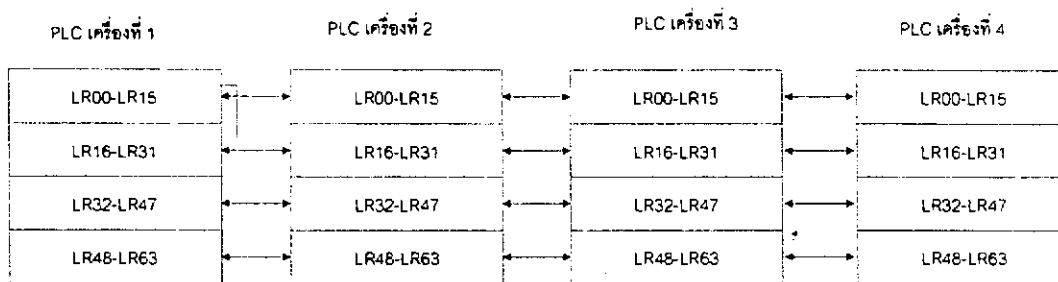


รูปที่ 5.16 การต่อแบบ Serial Link



รูปที่ 5.17 การต่อแบบ Parallel Link

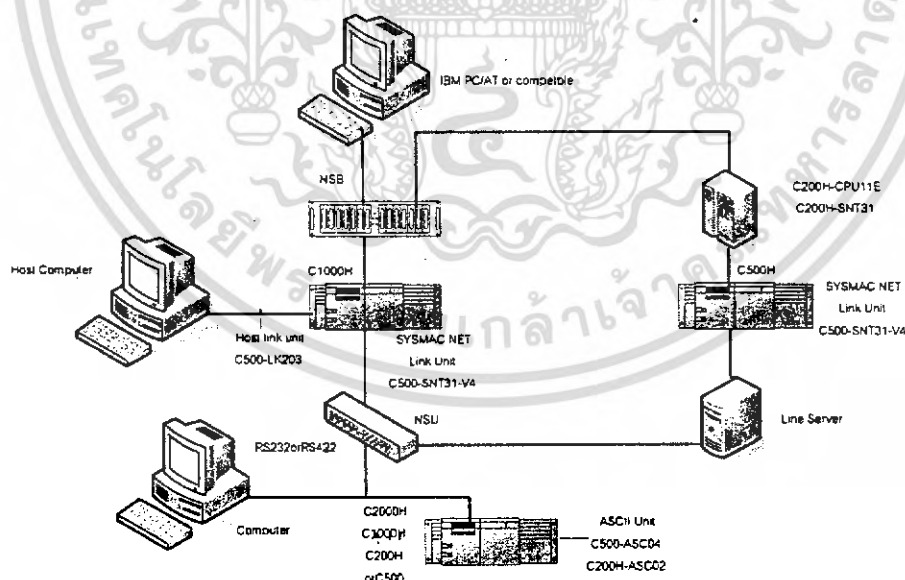
ตัวอย่างการจัดแบ่งพื้นที่ของเครื่องควบคุม PLC/PC กำหนดให้มีเครื่องควบคุมจำนวน 4 ชุด เชื่อมโยงในเครื่องควบคุมแต่ละเครื่องจะมีพื้นที่ของรีเลย์ที่ทำหน้าที่การเชื่อมโยงข้อมูล (link-Relay) ถ้ามีเครื่องควบคุมที่เชื่อมต่อในระบบมากพื้นที่ก็จะถูกแบ่งออกไปตามจำนวน เช่น 4 ชุดพื้นที่จะถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน เช่นเครื่องควบคุมมีพื้นที่ของ ลิงครีเลย์จำนวน 64 Word ก็จะถูกแบ่งเป็นส่วนละ 16 Word ส่วนแรกจะเป็นพื้นที่ของเครื่องควบคุมตัวที่ 1 ส่วนที่สองจะเป็นของเครื่องควบคุมตัวที่ 2 และสามตามลำดับ โดยพื้นที่ส่วนอื่นจะถูกกันไว้ไม่ให้สามารถเขียนข้อมูลลงไปได้ (Read Only) ยกเว้นพื้นที่ของตัวเอง ดังนั้นถ้า PLC/PC เครื่องที่ 1 ต้องการรับข้อมูลของ PLC เครื่องที่ 3 ก็สามารถอ่านได้จากพื้นที่ของเครื่องควบคุมส่วนที่สาม และถ้าต้องการส่งข้อมูลให้ก็เขียนลงในพื้นที่ของส่วนแรกแล้ว PLC ตัวที่ 3 จะทำการอ่านข้อมูลในส่วนแรกก็จะสามารถทราบข้อมูลเครื่องควบคุม PLC ตัวที่ 1



รูปที่ 5.18 การแบ่งพื้นที่สำหรับ PC Link System

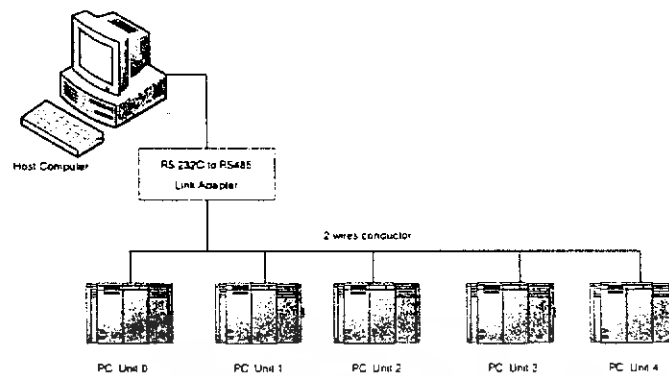
5.2.3 การต่อวงจรสื่อสารแบบเครือข่ายท้องถิ่น (Local area Network for PLC/PC)

การเชื่อมโยงในลักษณะของเครือข่ายท้องถิ่นนี้เป็นระบบขนาดใหญ่ประกอบด้วยอุปกรณ์ หลายชนิด และหลายวงรอบด้วยกัน ซึ่งจะเป็นลักษณะเครือข่ายแบบวงแหวน (Ring Network) ในแต่ละวงรอบ สามารถที่จะเชื่อมโยงไปยังวงรอบอื่นๆได้ ซึ่งจะมีความซับซ้อนในระบบการติดต่อสื่อสารมากขึ้น รูปแบบสายนำสัญญาณจะมีทั้งสายใยแก้วนำแสง (fiber Optic) และสายตัวนำในแบบต่างๆ ในระบบ โครงข่ายก็จะมีเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทำหน้าที่เป็นตัวจัดการข้อมูลเช่นเดียวกับกับเครื่อง คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ (Computer Server) บนโครงข่ายของคอมพิวเตอร์



รูปที่ 5.19 ระบบการติดต่อสื่อสารแบบเครือข่ายท้องถิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

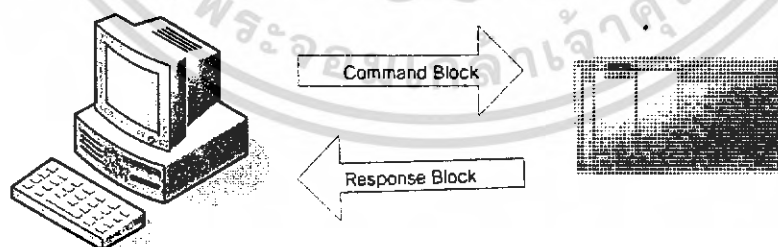


รูปที่ 5.20 ระบบโครงข่ายแบบหลายจุดโดยใช้มาตรฐานการสื่อสาร RS485

5.3 ข้อตกลงในการสื่อสารของเครื่องควบคุม PLC/PC

รูปแบบของข้อตกลงในการสื่อสารของเครื่องควบคุม PLC/PC โดยทั่วไปจะเป็นลักษณะการถามตอบกันระหว่างเครื่องควบคุมกับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งอุปกรณ์ภายนอกมักจะเป็นฝ่ายถามก่อน โดยการส่งบล็อกคำสั่ง (Command Block) ออกไป จากนั้นเครื่องควบคุมจะทำการตรวจสอบแล้วส่งบล็อกตอบสนองกลับมา (Response Block) ตัวอย่างการสื่อสารข้อมูลกันระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องควบคุม PLC/PC

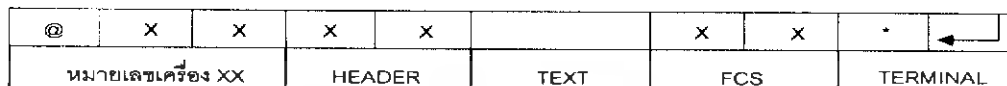
รูปแบบของข้อตกลงในการสื่อสารของเครื่องควบคุม PLC/PC โดยทั่วไปจะเป็นลักษณะการถามตอบกันระหว่างเครื่องควบคุมกับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งอุปกรณ์ภายนอกมักจะเป็นฝ่ายถามก่อน โดยการส่งบล็อกคำสั่ง (Command Block) ออกไป จากนั้นเครื่องควบคุมจะทำการตรวจสอบแล้วส่งบล็อกตอบสนองกลับมา (Response Block) ตัวอย่างการสื่อสารข้อมูลกันระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องควบคุม PLC/PC



รูปที่ 5.21 การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องควบคุม PLC/PC

5.3.1 รูปแบบของบล็อก (Block Format)

ลักษณะของบล็อกของเครื่องควบคุม PLC/PC แต่ละผู้ผลิตจะแตกต่างกันไปแต่จะมีพื้นฐานเดียวกันดังตัวอย่างของบล็อกคำสั่งต่อไปนี้



รูปที่ 5.22 รูปแบบของบล็อก

1. หมายเลขเครื่อง ในการเชื่อมโยงต่อที่เป็นโครงข่ายแบบหลายจุดนั้นเครื่องควบคุมที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบมีมากกว่า 1 เครื่อง ดังนั้นต้องมีการกำหนดว่าต้องการส่งข้อมูล ให้กับเครื่องควบคุมใด เช่น @05 คือเครื่องหมายเลขที่ 5
2. ส่วน HEADER เป็นส่วนของคำสั่งหลักที่จะกำหนดว่าต้องการกระทำกับข้อมูลส่วนใด เช่น ต้องการอ่านข้อมูลของอินพุท ต้องการเขียนข้อมูลให้กับตัวนับ เป็นต้น
3. ส่วน TEXT เป็นส่วนข้อมูล เช่นค่าที่อ่านได้จากอินพุท หรือค่าที่จะต้องเขียนลงในพื้นที่ต่างๆ
4. ส่วนของ FCS เป็นส่วนของการควบคุมความผิดพลาดของข้อมูลซึ่งได้จากการคำนวณ
5. ส่วนของ TERMINAL เป็นส่วนที่ปิดท้ายบอกให้ทราบว่าจบบล็อก และมักจะติดตามด้วยรหัสของ Carrier Return (CR)

5.3.2 การคำนวณ FCS

FCS หรือ Frame Check Sequence เป็นสิ่งที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดของการสื่อสาร เป็นการเปลี่ยนข้อมูล 8 บิต เป็น 2 ตัวอักษรข้อมูล ASCII แล้วนำมาทำการ EXCLUSIVE-OR (XOR) โดยเริ่มจาก @ จนถึงตัวอักษรสุดท้ายของ TEXT การคำนวณ FCS สามารถที่จะใช้วิธีอื่นนอกจากจะใช้วิธี XOR ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 5.1.3 เรื่องการควบคุมความผิดพลาด

อักขระ	รหัส (ASCII BINARY)		(HEX)	XOR(HEX)
@	0100	0000	[40]	
0	0111	0000	[30]	122 [70]
1	0111	0001	[31]	65 [41]
R	0011	0010	[52]	19 [13]
L	0100	1100	[4C]	95[5F]
0	0011	0000	[30]	111 [6F]
0	0011	0000	[30]	95 [5F]
0	0011	0000	[30]	111 [6F]
0	0011	0000	[30]	95 [5F]
0	0011	0000	[30]	111 [6F]
0	0011	0000	[30]	65 [5F]
1	0011	0000	[31]	110 [6E]
0	0011	0000	[30]	94 [5E]
*	0010	1010	[2A]	116 [74]

จากการคำนวณที่ได้จะสร้างเป็นบล็อกได้ดังนี้

@	0	1	R	L	0	0	0	0	0	0	0	1	0	7	4	*	↩
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

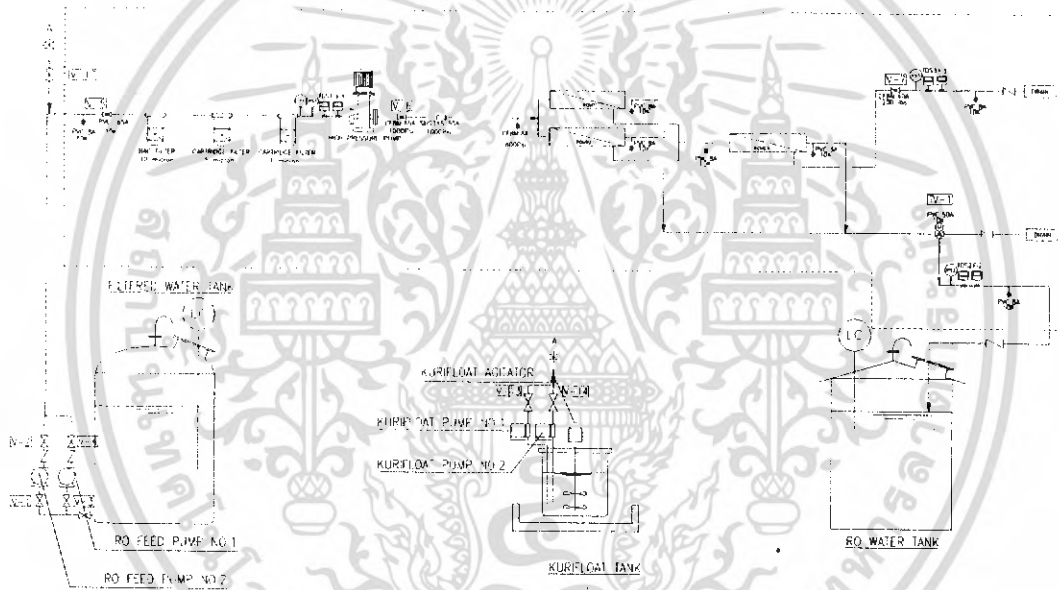
รูปที่ 5.23 รูปแบบบล็อก และการคำนวณ FCS

ในบทนี้แสดงให้เห็นถึงรูปแบบในการสื่อสารระหว่างข้อมูลของคอมพิวเตอร์ เปรียบเทียบกับการติดต่อสื่อสารของเครื่องควบคุม PLC/PC ซึ่งจะเป็นแนวทางในการพัฒนาการติดต่อสื่อสาร ข้อมูลของเครื่องควบคุม PLC/PC เพื่อให้เครื่องควบคุม PLC/PC สามารถควบคุมเครื่องจักรในระบบที่มีขนาดใหญ่ให้สามารถทำงานได้อย่างสัมพันธ์กัน ซึ่งจะทำให้การควบคุมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

บทที่ 6

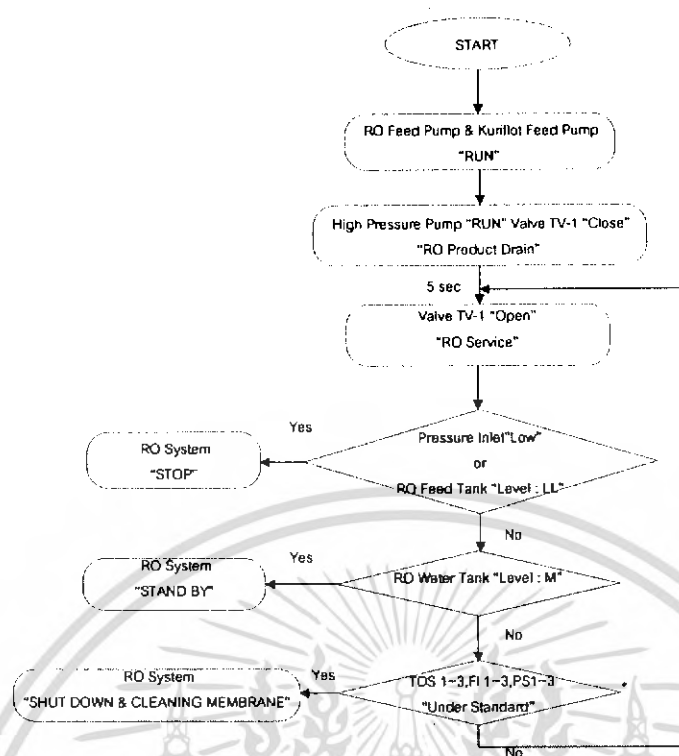
การประยุกต์และพัฒนาระบบออสโมซิสย้อนกลับ

ระบบออสโมซิสย้อนกลับแบบที่มีใช้งานในปัจจุบันนั้นจะไม่มีระบบตรวจสอบคุณภาพน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากระบบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ว่า น้ำสะอาดที่ผลิตได้มีค่าเป็นไปตามกำหนดหรือไม่ รวมถึงยังไม่สามารถทำการล้างระบบได้เองโดยอัตโนมัติในกรณีที่คุณภาพน้ำสะอาดที่ผลิตได้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยยังจำเป็นต้องใช้แรงงานคนคอยดูแลซึ่งมีความยุ่งยากและขาดความน่าเชื่อถือ โดยส่วนประกอบของระบบออสโมซิสย้อนกลับแบบเดิมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.1 ส่วนหลักการและขั้นตอนการควบคุมระบบเป็นดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.1 ระบบออสโมซิสย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบออสโมซิสย้อนกลับ

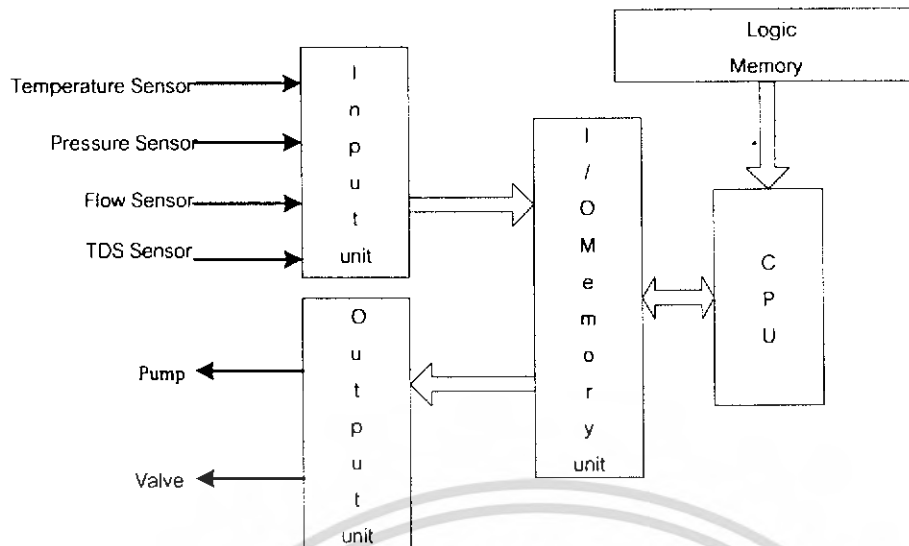
สำหรับขั้นตอนการทำงานของระบบออสโมซิสย้อนกลับ เป็นดังรูปที่ 6.2 โดยเมื่อระดับน้ำใน RO Water Tank มีระดับต่ำกว่าที่กำหนดไว้ระบบจะเริ่มทำงาน โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. RO Feed Pump จะทำงานประมาณ 30 วินาที และ Kurofloat Feed Pump จะเติมสาร Antiscale ลงไปในน้ำเพื่อลดค่า LSI (Langelier Saturation Index) และ RO Feed Pump จะเป็นตัวส่งน้ำให้กับ High Pressure Pump

2. High Pressure Pump จะทำงานเพื่อที่จะเพิ่มแรงดันน้ำก่อนเข้าเมมเบรน TV-1 จะเปิดไปยังตำแหน่ง drain เพื่อเป็นการตรวจเช็คค่า TDS หลังจากนั้น TV-1 จะเปิดไปยังตำแหน่ง service เพื่อที่จะเติมน้ำ Permeate ลงใน RO Water Tank โดยระบบออสโมซิสย้อนกลับจะหยุดการทำงานต่อเมื่อ ระดับน้ำใน RO Water Tank มีระดับสูงตามที่ได้กำหนดไว้

6.1 รูปแบบการควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับ

ขั้นตอนการทำงานทั้งหมดของระบบออสโมซิสย้อนกลับ จะควบคุมโดย พีแอลซี และ ขั้นตอนการทำงานในแต่ละขั้นจะถูกกำหนดไว้แล้วด้วยโปรแกรมภายในตัวพีแอลซี ซึ่งมีรูปแบบของอุปกรณ์ควบคุมเป็นดังรูปที่ 6.3 ซึ่ง พีแอลซี จะทำการควบคุมการทำงานตามขั้นตอนของระบบ (รูปที่ 6.2) โดย พีแอลซี จะประมวลผลตามโปรแกรมที่ป้อนเข้าไป



รูปที่ 6.3 รูปแบบของอุปกรณ์ควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับ

6.2 การประยุกต์และพัฒนาระบบออสโมซิสย้อนกลับ

สำหรับการพัฒนาระบบออสโมซิสย้อนกลับโดยใช้คอมพิวเตอร์นั้น เป็นการประยุกต์มาจากระบบออสโมซิสย้อนกลับ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยที่ระบบสามารถคำนวณวิเคราะห์หาแนวโน้มประสิทธิภาพของเมมเบรนเพื่อทำความสะอาดระบบได้เองโดยอัตโนมัติ ซึ่งกำหนดจากปริมาณและคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตได้ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ในการประยุกต์นี้จำเป็นต้องมีการเพิ่มเติมอุปกรณ์ดังแสดงรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 ระบบออสโมซิสย้อนกลับแบบที่ได้มีการพัฒนาขึ้น

รายละเอียดและหน้าที่ของอุปกรณ์ที่เพิ่มเติม

1. วาล์วอัตโนมัติ

สำหรับวาล์วอัตโนมัติที่เพิ่มขึ้นจะมีทั้งหมด 7 ตัว และมีหน้าที่ใช้งานดังนี้

- AV-1 เป็นวาล์วสำหรับนำเคมีเข้าระบบเพื่อใช้ในการล้างตัวเมมเบรน
- AV-2 เป็นวาล์วสำหรับให้เคมีไหลหมุนเวียนภายในระบบ จากท่อน้ำที่มีความเข้มข้นสูง สู่งถังผสมเคมี (Cleaning Tank)
- AV-3 เป็นวาล์วที่ทำหน้าที่ทิ้งน้ำที่มีความเข้มข้นสูงออกจากระบบ ความเข้มข้นสูง ออกจาก
- AV-12 ใช้สำหรับผสมเคมีภายในถังผสมเคมี (Cleaning Tank) ให้มีความเข้มข้นตามต้องการ ก่อนนำเข้าระบบ

- AV-15 และ AV-15 ใช้สำหรับเติมน้ำลงในถังผสมเคมี (Cleaning Tank) เพื่อใช้ผสมเคมี

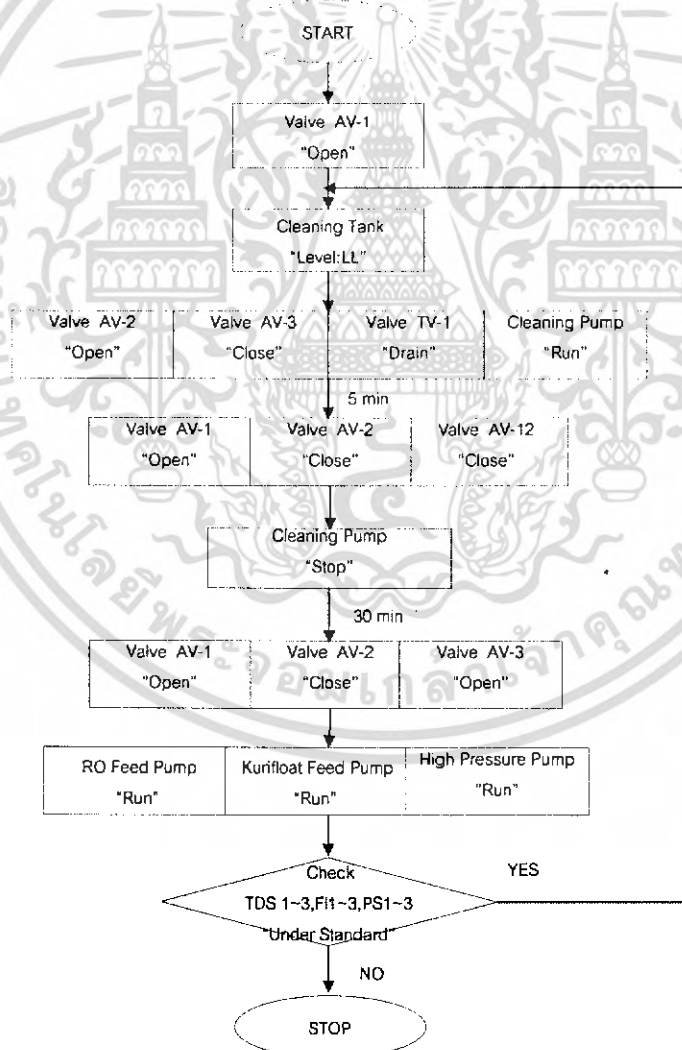
2. อุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลป้อนเข้าสู่ตัวพีแอลซี ขนาด 4 ช่องสัญญาณ (12 bits)

สำหรับอุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลป้อนเข้าสู่ตัวพีแอลซีที่เพิ่มขึ้นจะมีทั้งหมด 3 โมดูล โดยแต่ละโมดูลจะคอยรับสัญญาณจากอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โมดูลชุดที่ 1 ใช้รับสัญญาณจากอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายในน้ำตามตำแหน่งต่างๆดังนี้คือค่า TDS1, TDS2, TDS3,
- โมดูลชุดที่ 2 ใช้รับสัญญาณจาก อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความดันภายในระบบออสโมซิสย้อนกลับตามตำแหน่งต่างๆดังนี้คือ PS1, PS2, PS3,
- โมดูลชุดที่ 3 ใช้รับสัญญาณจาก อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าอัตราการไหลของน้ำและอุณหภูมิของน้ำภายในระบบออสโมซิสย้อนกลับตามตำแหน่งต่างๆดังนี้คือ FI1, FI2, FI3, T1

โดยหลักการทำงานของระบบจะเหมือนกับระบบออสโมซิสย้อนกลับ ต่างกันที่ระบบออสโมซิสย้อนกลับที่นำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการพัฒนานี้ สามารถทำความสะอาดเมมเบรนได้เองโดยอัตโนมัติ เมื่อปริมาณและคุณภาพของน้ำสะอาดที่ผลิตได้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานทำความสะอาดเมมเบรนดังแสดงในรูปที่ 6.5



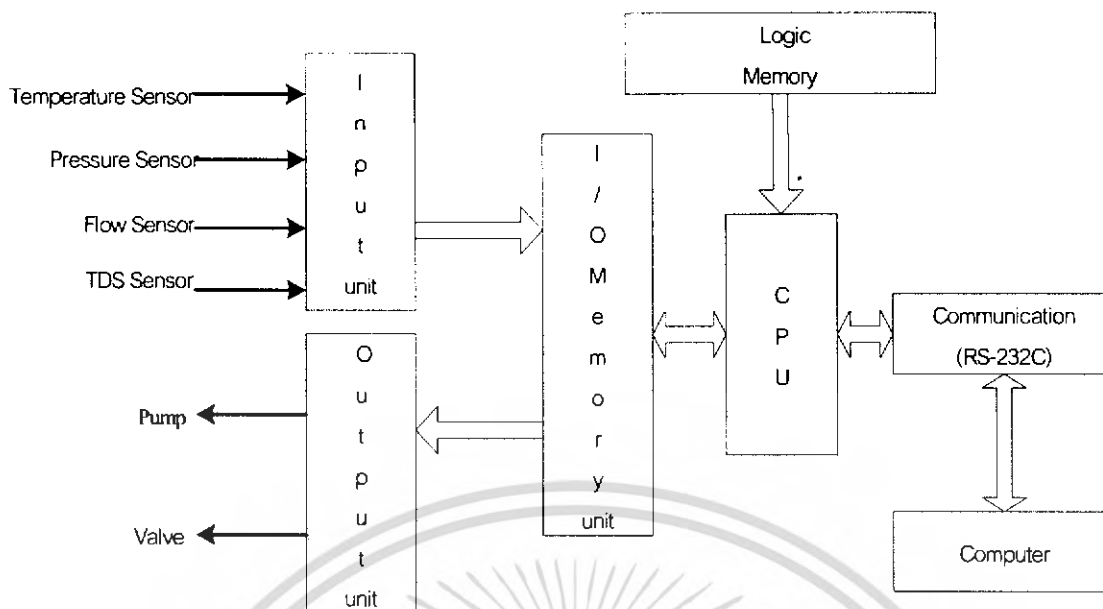
รูปที่ 6.5 ขั้นตอนการทำงานทำความสะอาดเมมเบรน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของขั้นตอนในการล้างทำความสะอาดเมมเบรน จะเริ่มต้นโดยวาล์ว AV-1 จะอยู่ในตำแหน่งเปิด เพื่อใช้เป็นเส้นทางในการลำเลียงเคมีที่ใช้ในการล้างเมมเบรนเข้าสู่ระบบ และเมื่อระดับน้ำในถังผสมเคมีมีระดับเหมาะสม วาล์ว AV-2 จะอยู่ในตำแหน่งเปิด วาล์ว AV-3 อยู่ในตำแหน่งปิด และ วาล์ว TV-1 อยู่ในตำแหน่งเปิดทิ้ง จากนั้น Cleaning Pump จะเริ่มทำงานเป็นเวลา 5 นาที เพื่อลำเลียงเคมีที่ใช้ในการล้างเมมเบรนเข้าสู่ระบบ เมื่อครบเวลา 30 นาที วาล์ว AV-1 จะอยู่ในตำแหน่งเปิด วาล์ว AV-2 จะอยู่ในตำแหน่งปิด และวาล์ว AV-3 อยู่ในตำแหน่งเปิด Cleaning Pump จะเริ่มทำงาน เพื่อลำเลียงเคมีที่ใช้ในการล้างเมมเบรนออกจากระบบทั้งหมด หลังจากนั้น RO Feed Pump Kurifloat Feed Pump และ High Pressure Pump จะทำงานเพื่อผลิตน้ำสะอาดอีกครั้ง รวมทั้งเพื่อตรวจสอบว่าคุณภาพน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากระบบมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าคุณภาพของน้ำสะอาดที่ผลิตได้มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้แสดงว่าขั้นตอนในการล้างทำความสะอาดเมมเบรน เสร็จสมบูรณ์เรียบร้อย แต่ถ้าคุณภาพของน้ำสะอาดที่ผลิตได้มีค่าไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ระบบออสโมซิสย้อนกลับจะกลับเข้าสู่ขบวนการล้างทำความสะอาดเมมเบรนอีกครั้ง จนกว่าคุณภาพของน้ำสะอาดที่ผลิตได้จะมีค่าเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

6.3 การควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับแบบที่ได้พัฒนาขึ้น

การทำงานของระบบจะมีคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับติดตามกระบวนการทำงานของระบบ รวมทั้งการคำนวณหาแนวโน้มประสิทธิภาพของเมมเบรนพร้อมทั้งการเก็บข้อมูล เพื่อส่งต่อการตรวจ สอบย้อนกลับ โดยแสดงผลในรูปของกราฟ การทำความสะอาดเมมเบรนจะถูกกำหนดจากคุณภาพน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากระบบ ซึ่งมีรูปแบบของอุปกรณ์ควบคุมเป็นดังรูปที่ 6.6 โดย พีแอลซี จะทำการควบคุมการทำงานตามขั้นตอนของระบบ และ ขั้นตอนในการทำความสะอาด โดยจะควบคุมการทำงานตามโปรแกรมที่กำหนดไว้แต่แรก



รูปที่ 6.6 รูปแบบของอุปกรณ์ควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับที่ได้พัฒนาขึ้น

การควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับที่ได้พัฒนาขึ้นจะเป็นการควบคุมผ่านหน่วยอินพุทและเอาต์พุทของตัว พีแอลซี โดยหน่วยอินพุทและเอาต์พุทจะมีหน้าที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ทั้งการรับค่าสถานะจากภายนอก เช่นการเปิดปิดของสวิทช์ต่างๆ ระดับของเหลว อุณหภูมิ ความดัน หรือส่งค่าสถานะออกไปยังอุปกรณ์ควบคุม เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า บั้ม วาล์ว เป็นต้น โดยข้อมูลที่ได้จากหน่วยอินพุทจะถูกนำมาเก็บไว้ในหน่วยความจำ ส่วนในหน่วยเอาต์พุทจะเป็นการรับค่ามาจากหน่วยความจำเพื่อนำไปใช้ในการควบคุมระบบต่อไป โดยค่าต่างๆที่อยู่ในหน่วยความจำจะเป็นข้อมูลที่ได้มาจากหน่วยประมวลผลกลาง ซึ่งหน่วยประมวลผลกลางจะมีระบบปฏิบัติการสำหรับควบคุมการทำงานทั้งหมด มีหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้ในลักษณะได้ตอบผ่านทาง พอร์ตอนุกรม[6] โดยจะทำการติดต่อสื่อสารข้อมูลกับ Host Computer

บทที่ 7

การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์และการเชื่อมต่อกับระบบออสโมซิสย้อนกลับ

ในบทนี้จะเป็นการออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบออสโมซิสย้อนกลับ โดยการพัฒนาโปรแกรมจะเป็นการจำลองเหตุการณ์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยจะเขียนโปรแกรมบน Visual Basic 6.0 [5] ซึ่งได้เขียนโปรแกรมสนับสนุนการจำลองเหตุการณ์ในกรณีต่างๆบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและเชื่อมต่อกับพีแอลซี ซึ่งโปรแกรมทั้งหมดจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน โดยในแต่ละส่วนจะทำหน้าที่แตกต่างกัน คือ โปรแกรมในส่วนแรกจะมีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบออสโมซิสย้อนกลับซึ่งจะเป็นไปตามโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้แล้วภายในตัว พีแอลซี ส่วนโปรแกรมในส่วนที่สองจะมีหน้าที่ติดตามกระบวนการทำงานของระบบออสโมซิสย้อนกลับเพื่อนำมาแสดงให้ผู้ใช้ทราบถึงสถานะการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัวภายในระบบออสโมซิสย้อนกลับว่าอยู่ในสถานะใด สำหรับโปรแกรมในส่วนสุดท้ายจะทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลของระบบออสโมซิสย้อนกลับเพื่อนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบรวมทั้งแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟ

7.1. การพัฒนาโปรแกรมเพื่อสนับสนุนการจำลองเหตุการณ์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

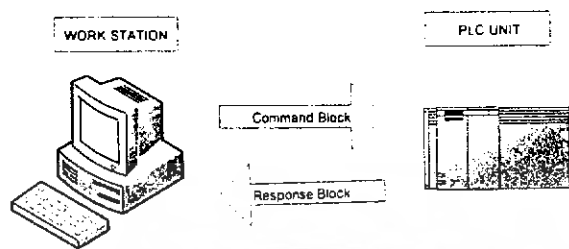
รูปแบบของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้นจะถูกแบ่งหน้าที่การทำงานออกเป็นบางส่วน โดยแต่ละส่วนจะทำหน้าที่แตกต่างกันออกไป โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

- 1 ส่วนที่ทำการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับตัวพีแอลซี เพื่อใช้ในการส่งผ่านข้อมูล
- 2 ส่วนที่ผู้ใช้ใช้ในการติดตามกระบวนการทำงานของระบบ
- 3 ส่วนที่ใช้ในการแสดงข้อมูลในเชิงสถิติ

7.1.1 โปรแกรมที่ทำการติดต่อสื่อสาร และ จัดการข้อมูลกับ พีแอลซี

การติดต่อสื่อสารข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์กับตัวพีแอลซี จะเป็นการติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม ซึ่งการติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม ซึ่งจะมีข้อได้เปรียบว่าการติดต่อแบบขนาน ตรงที่จำนวนสายสัญญาณและอุปกรณ์ที่น้อยกว่า โดยการสื่อสารทั้งหมดจะถูกกำหนดให้เป็นไปตามมาตรฐาน RS-232C โดยใช้ Hostlink โหมด ซึ่งเป็นหนึ่งในมาตรฐานการสื่อสารของ พีแอลซี Omron [8] รูปแบบของข้อตกลงในการสื่อสารของพีแอลซีกับคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปจะเป็นลักษณะการถามตอบกันระหว่างพีแอลซีกับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งอุปกรณ์ภายนอกมักจะเป็นฝ่ายถามก่อนโดยการส่งบล็อกคำสั่ง (Command Block) (รูปที่ 7.1) จากนั้น พีแอลซี จะทำการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้















ตรวจสอบแล้วส่งบล็อกตอบสนองกลับมา (Response Block) ลักษณะของบล็อกของตัวพีแอลซี และ ตัวคอมพิวเตอร์ ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกันจะมีความแตกต่างกันไปแล้วตามแต่ผู้ผลิตในแต่ละราย แต่จะมีพื้นฐานเดียวกันดังตัวอย่างบล็อกคำสั่งดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 5.3



รูปที่ 7.1 การติดต่อสื่อสารระหว่าง พีแอลซี กับ คอมพิวเตอร์










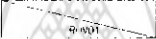
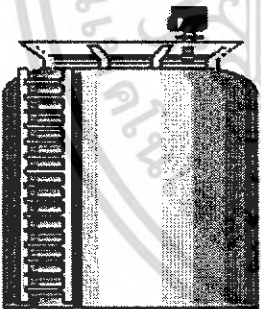
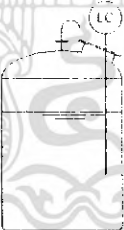
7.1.2 โปรแกรมส่วนที่ผู้ใช้ใช้ในการติดตามการทำงานของระบบ

สำหรับ โปรแกรม ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆที่อยู่ในระบบ ว่าขณะนี้อุปกรณ์ตัวใดอยู่ในสถานะทำงานหรืออยู่ในสถานะหยุดนิ่ง โดยโปรแกรมในส่วนนี้จะแสดงออกมาในลักษณะรูปภาพที่สอดคล้องกันกับสัญลักษณ์ ที่มีแสดงอยู่แล้วในระบบ โดยเมื่ออุปกรณ์ตัวใดอยู่ในสถานะทำงานรูปภาพของตัวอุปกรณ์ตัว ก็จะทำให้การเปลี่ยนสีจากสีเขียว เป็นสีแดง ซึ่งการเปลี่ยนสีของรูปภาพจะได้มาจากการเปลี่ยนสถานะของ Data Memory(DM) ภายในตัว พีแอลซี คือกำหนดว่าเมื่อ Data Memory มีสถานะ เป็น 1 รูปภาพของตัวอุปกรณ์นั้นจะเปลี่ยนเป็น สีแดง โดยจำเป็นจะต้องกำหนดตำแหน่งของ Data Memory ให้ตรงกับตำแหน่งของรูปภาพของแต่ละอุปกรณ์ จากนั้นจึงทำการเขียนโปรแกรมภายใน Visual Basic โดยกำหนดว่า เมื่อ ค่า Data Memory มีค่าเป็น 1 จริงให้รูปภาพของอุปกรณ์ที่เป็นสีแดงถูกแสดงขึ้นมา (True) แต่ถ้าค่า Data Memory มีค่าเป็น 0 ให้รูปภาพของอุปกรณ์ที่เป็นสีเขียวถูกแสดงขึ้นมาแทน (False) โดยค่าของ Data Memory จะมีสถานะเป็น 0 หรือ 1 ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของโปรแกรมที่เราได้กำหนดไว้แล้วภายในตัว พีแอลซี

EQUIPMENT	SYMBOL	DEFINITION
		High Pressure Pump
		RO Feed Pump & Cleaning Pump
		Kurifloat Feed Pump
		Agitator
		Automatic 3-Way Valve
		Automatic 2-Way Valve
		Cartridge Filter

รูปที่ 7.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในระบบออสโมซิสย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EQUIPMENT	SYMBOL	DEFINITION
		Temperature Transmitter
		Pressure Transmitter
		Flow Transmitter
		TDS Transmitter
		Membrane
		Level Switch and Storage Tank

รูปที่ 7.2 (ต่อ)

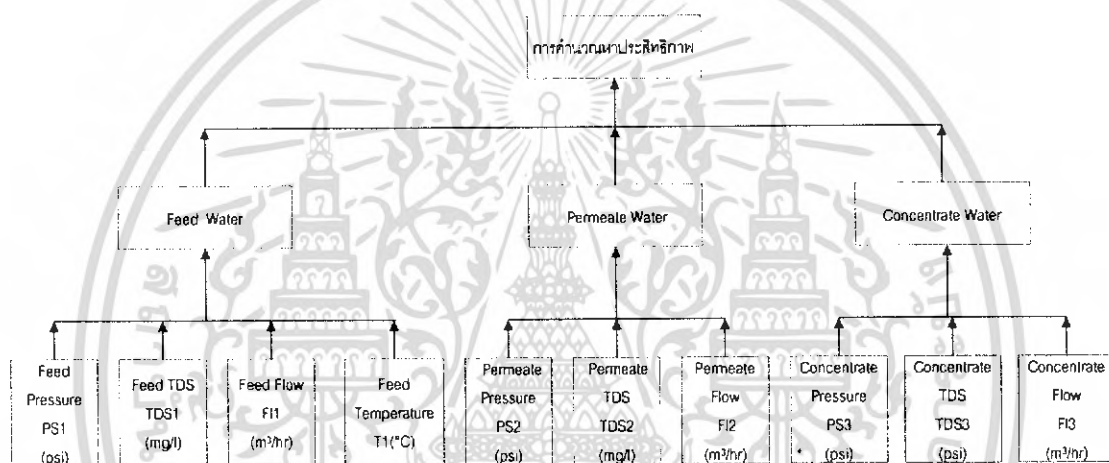
สำหรับรูปที่ใช้สื่อนี้ได้มาจากการ โปรแกรม CX-Supervisor ตัดภาพมาเป็น file.bmp ก่อนจะนำมาใช้ใน Visual Basic 6.0 โดยรูปภาพต่างภายในระบบสามารถแสดงออกมาได้ดังรูปที่ 7.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.3 ส่วนที่ใช้ในการแสดงข้อมูลในเชิงสถิติ

โดยโปรแกรมในส่วนนี้จะเป็นการแสดงข้อมูลประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับ ซึ่งจะเป็นการแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟ การคำนวณประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับ จะเป็นการคำนวณโดยอาศัยผลที่ได้จากการบันทึกข้อมูล ซึ่งจะเป็นการบันทึกข้อมูลของตัวแปรที่เป็นปัจจัยหลักทั้งหมดของระบบ โดยจะเป็นการบันทึกผลในขณะระบบทำงานเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ในตอนออกแบบตัวแปรที่เป็นปัจจัยหลักต่อประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำ อัตราการไหลของน้ำ แรงดัน และ อุณหภูมิของน้ำ โดยการบันทึกข้อมูลจะเป็นการบันทึกข้อมูลในตำแหน่งต่างๆภายในระบบดังแสดงในรูปที่

7.3



รูปที่ 7.3 รูปแบบการเก็บข้อมูล ในตำแหน่งต่างๆ

สำหรับโปรแกรมที่ทำการคำนวณ จะนำข้อมูลดิบที่ได้มาจากหัวข้อที่ 7.1 มาทำการคำนวณโดย แบ่งเป็น

7.1.3.1 คำนวณหาอัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ที่ลดลงอันเนื่องมาจากการอุดตันของเมมเบรน (Normalized Permeate Flow : PF)

$$PF = \frac{Pf_s \cdot \frac{\Delta p_s - p_{p_s} + \pi c_s}{2} \times \frac{TCF_s}{TCF_o} \times GF_o}{Pf_o \cdot \frac{\Delta p_o - p_{p_o} + \pi c_o}{2}} \quad (7.1)$$

Subscript s เป็นค่ามาตรฐาน (ได้จากการกำหนด)

Subscript o เป็นค่าขณะระบบทำงาน(ได้จากการวัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_f แรงดันระบบทางด้านเข้า (Feed Pressure)

$\Delta P/2$ ครึ่งหนึ่งของแรงดันในระบบที่ตกลง

P_p แรงดันของระบบทางด้านออก (Product Pressure)

GF_o อัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ (Product Flow)

π_{fc} แรงดันออสโมซิสรวมกับ Concentrate Return

TCF แฟคเตอร์อุณหภูมิจำกัด

$$TCF = \text{EXP} \left[2640 \times \left\{ \frac{1}{298} - \frac{1}{(273+T)} \right\}; T \geq 25^\circ\text{C} \right] \quad (7.2)$$

กำหนดให้ $\pi_{fc_s} = \pi_{fc_o}$

7.1.3.2 คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการอุดตันของเมมเบรน (Normalized Permeate TDS : PT)

$$PT = \frac{P_{f_o} - \frac{\Delta P_o}{2} - P_{p_o} - \pi_{fc_o} + \pi_{p_o}}{P_{f_s} - \frac{\Delta P_s}{2} - P_{p_s} - \pi_{fc_s} + \pi_{p_s}} \times \frac{C_{fc_s} \times GT_o}{C_{fc_o}} \quad (7.3)$$

$$C_{fc} = \left[\ln \left(\left(\frac{1}{1-y} \right) / y \right) \right] \times C_f \quad (7.4)$$

y อัตราส่วนระหว่างน้ำสะอาดที่ผลิตได้กับน้ำดิบ (Recovery Ratio)

C_{fc} ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำดิบ (Feed TDS)

GT_o ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ (Product TDS)

π_p แรงดันออสโมซิสทางด้านออก

กำหนดให้ $\pi_{fc_s} = \pi_{fc_o}; \pi_{p_s} = \pi_{p_o}$

7.1.3.3 คำนวณหาอัตราส่วนระหว่างน้ำสะอาดที่ผลิตได้กับปริมาณน้ำดิบ (%Recovery: %R)

$$\% \text{ Recovery} = \left[\frac{\text{Permeate Flow}}{\text{Feed Flow}} \right] \times 100 \quad (7.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.3.4 คำนวณหาอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้กับความเข้มข้นเฉลี่ยของสารละลายในระบบ (% Salt Passage : %SP)

$$\% \text{ Salt Passage} = \left[\frac{\text{Permeate TDS}}{\text{Average TDS}} \right] \times 100 \quad (7.6)$$

$$\% \text{ Average TDS} = \left[\frac{\text{Concentrate TDS} + \text{Permeate TDS}}{2} \right] \times 100 \quad (7.7)$$

7.1.3.5 คำนวณหาอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารละลายในน้ำทิ้ง (Concentrate Water) กับความเข้มข้นเฉลี่ยของสารละลายในระบบ (% Salt Rejection: %SR)

เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของเมมเบรน ในการกำจัดเกลือแร่ต่างๆในน้ำ ค่า Salt Rejection สามารถอธิบายได้ดังสมการ

$$\% \text{ Salt Rejection} = \left[1 - \frac{\text{Permeate TDS}}{\text{Feed Water Concentration TDS}} \right] \times 100\% \quad (7.8)$$

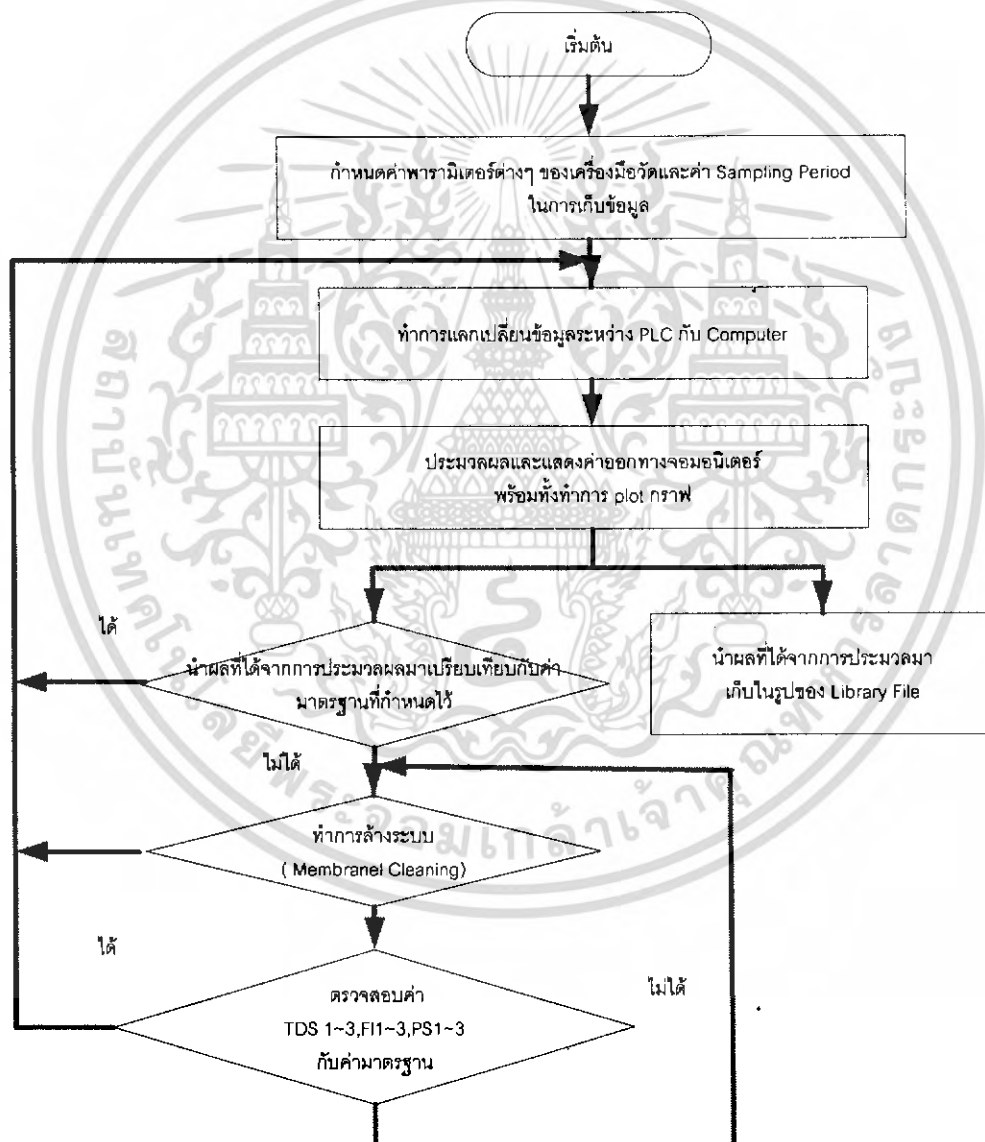
$$\% \text{ Salt Rejection} = 100 - \% \text{ Salt Passage} \quad (7.9)$$

เมื่อทำการคำนวณแล้วก็นำค่าที่คำนวณได้เหล่านี้ และ ค่าข้อมูลดิบ มาแสดงในรูปของกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการสังเกตดูแนวโน้มของประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับ จากนั้นก็จะทำการบันทึกข้อมูลตัวเลขเหล่านี้ลงใน File ข้อมูล (Note Pad) เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบย้อนกลับ

7.2 รูปแบบการทำงานของโปรแกรม

รูปแบบการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับระบบออสโมซิสย้อนกลับ สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 7.4 เริ่มแรกโปรแกรมจะทำการแสดงหน้าระบบหลัก (Main Page) และ ทำการอ่านข้อมูลที่ใช้กำหนดที่หน้ากำหนดพารามิเตอร์ (Setting Parameter Page) จากนั้นโปรแกรมจะทำการอ่านข้อมูลจาก พีแอลซี ผ่าน Hostlink Mode พร้อมทั้งจัดการข้อมูลและ คำนวณหาประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับ พร้อมทั้งนำไปเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำที่กำหนดไว้เพื่อตัดสินใจให้ระบบเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาด

ข้อมูลที่ได้จาก พีแอลซี ซึ่งจะแสดงสภาวะการทำงานของระบบในขณะนั้นให้เราทราบ โดยผู้ใช้สามารถติดตามระบบการทำงานได้โดยผ่านหน้ากระบวนกร. (Reverse Osmosis Diagram Page) และในหน้าการแสดงผลข้อมูลในรูปของกราฟ (Data Page Page) นั้นจะเป็น การแสดงค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ต่างๆที่ต่ออยู่ในระบบออสโมซิสย้อนกลับ จากนั้นก็จะทำการ คำนวณหาประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับพร้อมแสดงผลออกมาในรูปกราฟ (Reverse Osmosis System Performance Curve Page) รวมทั้งได้มีการบันทึกข้อมูลลงในไฟล์ข้อมูลเพื่อ สะดวกและง่ายต่อการตรวจสอบย้อนกลับ



รูปที่ 7.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

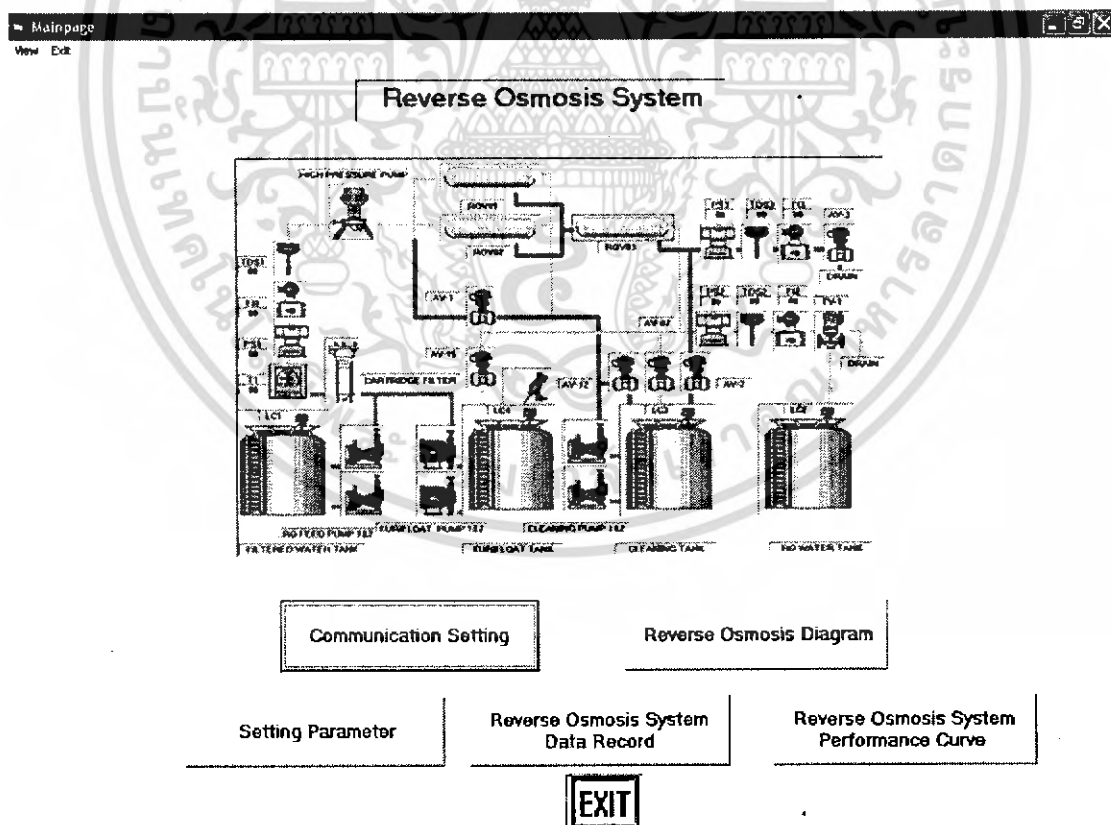
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 การใช้งานโปรแกรม

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าโปรแกรมทั้งหมดจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆซึ่งในแต่ละส่วนของโปรแกรมจะมีหน้าต่างแต่ละหน้าต่างเพื่อใช้สื่อสารกับผู้ใช้งาน ซึ่งสามารถแสดงออกมาเป็นหน้าจอหลักๆได้ทั้งหมด 6 หน้าด้วยกัน ดังนี้

1. หน้าแสดงระบบหลัก (Main Page)
2. หน้ากำหนดการติดต่อสื่อสารกับ พีแอลซี (Communicate Setting Page)
3. หน้ากระบวนการ (Reverse Osmosis Diagram Page)
4. หน้ากำหนดพารามิเตอร์ (Setting Parameter Page)
5. หน้าการแสดงผลข้อมูล (Data Page)
6. หน้าตรวจสอบประสิทธิภาพระบบออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis System Performance Curve Page)

โดยเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม จะทำการแสดงหน้าระบบหลัก(Main Page) ดังรูปที่ 7.5 โดยในหน้าต่างนี้จะใช้สำหรับให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกเข้าไปดูที่ส่วนอื่นๆของโปรแกรมทั้งหมด สามารถทำได้โดยการคลิกที่ปุ่มคำสั่งเลือกหน้าในแต่ละหน้า



รูปที่ 7.5 หน้าจอหลัก (Main Page)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของหน้าการกำหนดการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับตัวพีแอลซี (Communicate Setting Page) มีเพื่อเป็นการตรวจสอบค่าสถานะภายในหน่วยความจำของเครื่องพีแอลซีว่าในขณะที่นั้น ภายในแต่ละหน่วยความจำมีสถานะเปลี่ยนแปลงอย่างไร รวมถึงปรับตั้งค่าต่างๆที่จำเป็นของตัวพีแอลซี ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 7.6



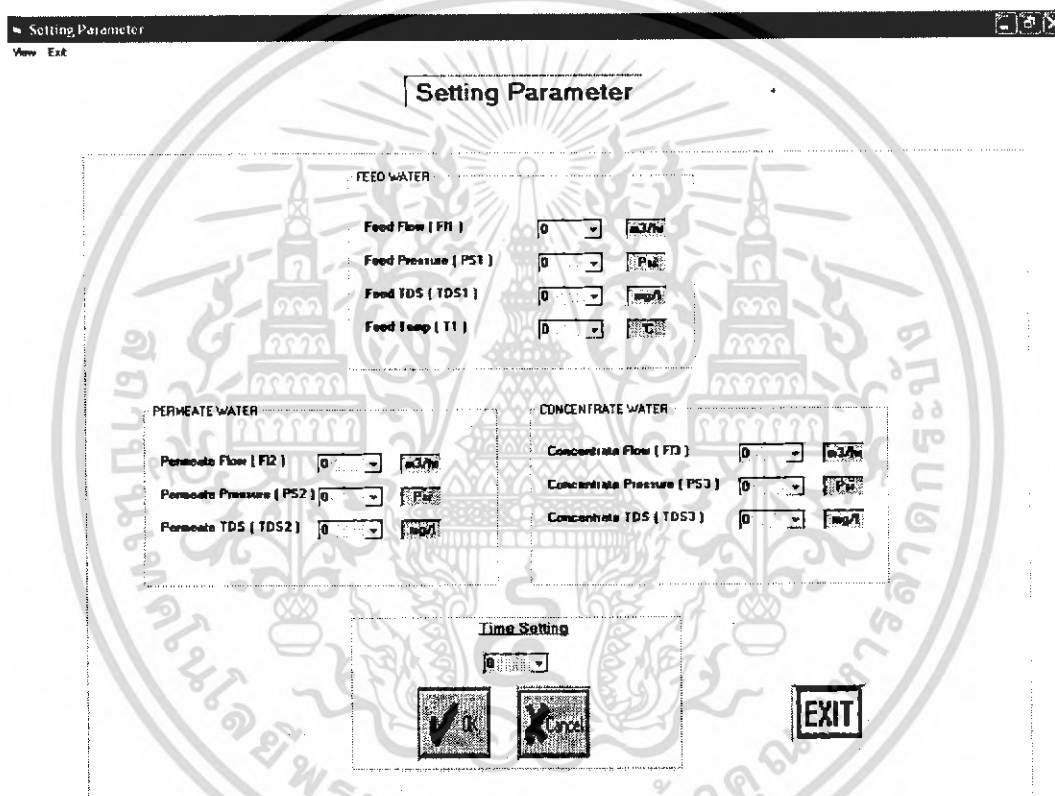
Communication Setting

ค้นหา DM (bcd) Data Memory <input type="text" value="0"/> <input checked="" type="checkbox"/> Value (bcd) <input type="text" value="0"/>	ค้นหา Bit IR Channel <input type="text" value="0"/> Bit <input type="text" value="0"/> <input type="button" value="SET"/> <input type="button" value="RESET"/>																									
Table <table border="1"> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>																										Monitor data of PLC <input type="text" value="0"/> <input checked="" type="checkbox"/> Selection Area <input checked="" type="radio"/> DM <input type="radio"/> IR <input type="radio"/> HR
Comunicazione <input type="button" value="Start Communication"/> <input type="button" value="Stop Communication"/> <input type="button" value="Close Data Communication"/>	Port <input checked="" type="radio"/> Com1 <input type="radio"/> Com4 <input type="radio"/> Com2 <input type="radio"/> Com5 <input type="radio"/> Com3 <input type="radio"/> Com6	Baud Rate <input checked="" type="radio"/> 4800 <input type="radio"/> 9600 <input type="radio"/> 19200																								

รูปที่ 7.6 แสดงการกำหนดการติดต่อสื่อสาร (Communication Setting Page)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

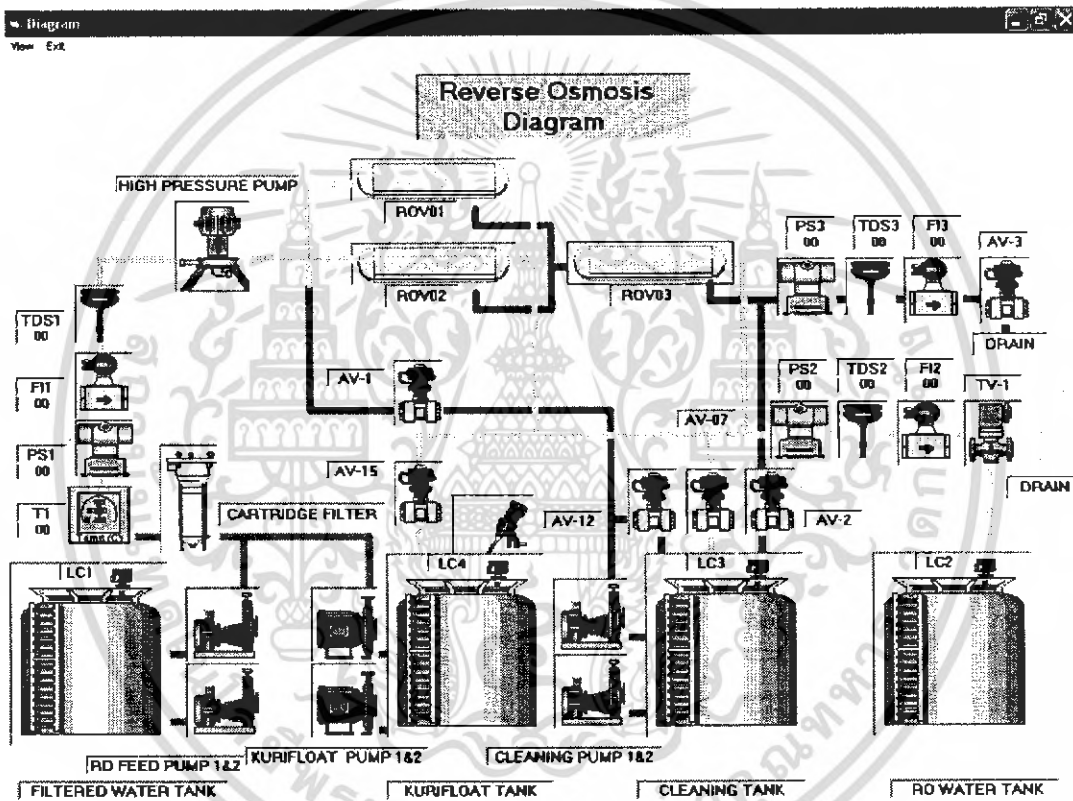
จากนั้นให้เลือกคลิกไปที่หน้ากำหนดพารามิเตอร์ (Setting Parameter Page) เพื่อกำหนดค่าให้พารามิเตอร์ให้กับเครื่องมือวัดที่ใช้ในกระบวนการ พร้อมทั้งทำการกำหนดค่า Sampling Time เพื่อกำหนดระยะเวลาในการเก็บข้อมูลในแต่ละรอบว่าต้องการให้มีระยะเวลาห่างกันเท่าใดดัง รูปที่ 7.7 โดยการเก็บข้อมูลในแต่ละครั้งจะเป็นการรับส่งข้อมูลจากตัว พีแอลซี ไปยังตัวคอมพิวเตอร์โดยการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 7.1.1 โดยมีวัตถุประสงค์ของหน้ากำหนดพารามิเตอร์จะมีเพื่อให้สำหรับการปรับตั้งค่าที่กำหนดลงไป ใน DATA MEMORY ของตัว พีแอลซี ซึ่งบางครั้งเมื่อมีความจำเป็นต้องปรับปรุงฐานความรู้ของเครื่องสามารถทำได้ง่ายและสะดวก เนื่องจาก พีแอลซี มีโปรโตคอลที่เป็นมาตรฐานอยู่แล้ว



รูปที่ 7.7 หน้ากำหนดพารามิเตอร์ (Setting Parameter Page)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

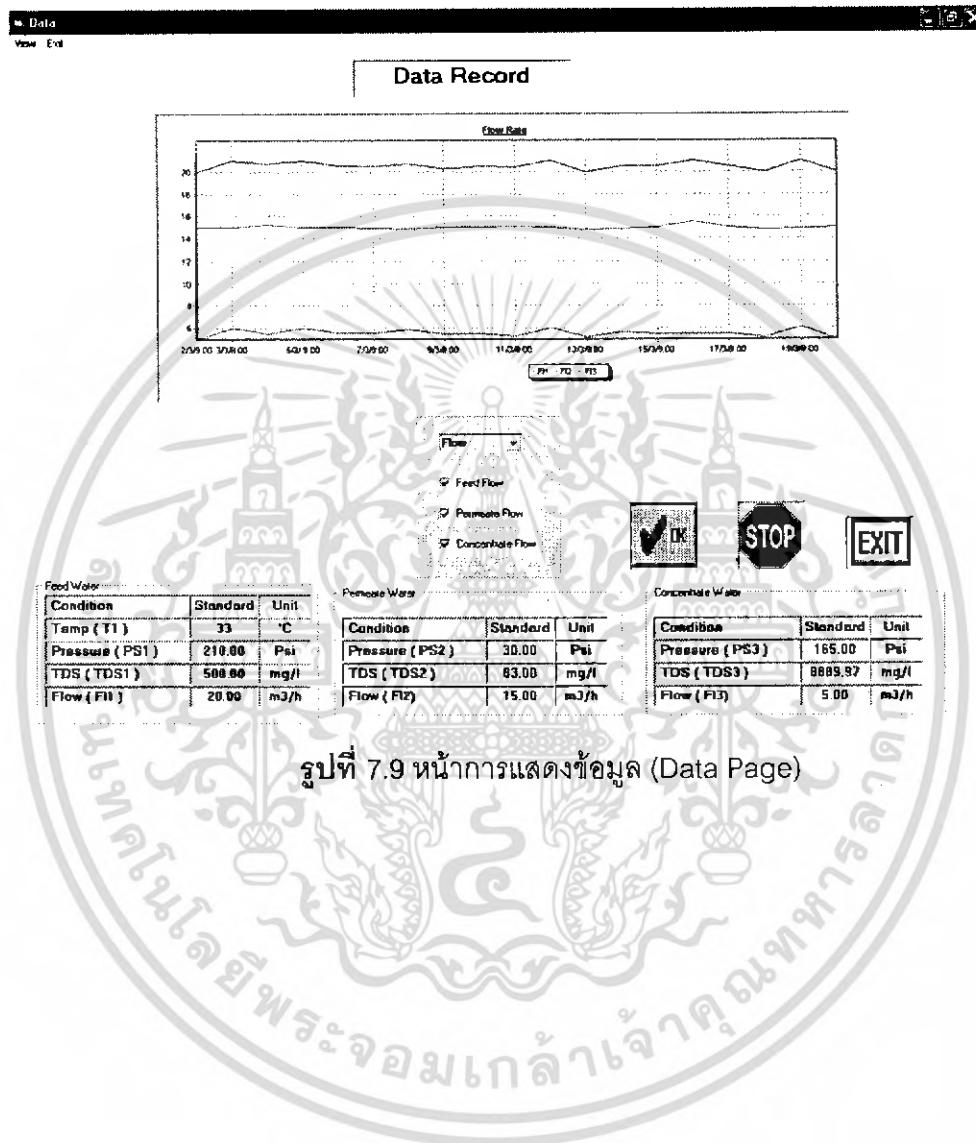
ในส่วนของหน้าการเฝ้ามองการทำงานของกระบวนการทำงานของระบบออสโมซิสย้อนกลับผู้ใช้สามารถตรวจสอบ เพื่อดูการทำงานของอุปกรณ์ และค่าของเครื่องมือวัดได้จากหน้าหน้ากระบวนการ(Reverse Osmosis Diagram Page) โดยในหน้าต่างนี้จะเป็นการแสดงสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ในสภาวะขณะนั้น ว่าในแต่ละสภาวะนั้นอุปกรณ์แต่ละตัวอยู่ในสภาวะ ON หรือ OFF พร้อมทั้งยังสามารถตรวจสอบคุณภาพของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ในขณะนั้นว่ามีค่าได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยสามารถดูได้จากค่าที่แสดงอยู่ที่เครื่องมือวัด ดังแสดงในรูปที่ 7.8



รูปที่ 7.8 หน้ากระบวนการ (Reverse Osmosis Diagram Page)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

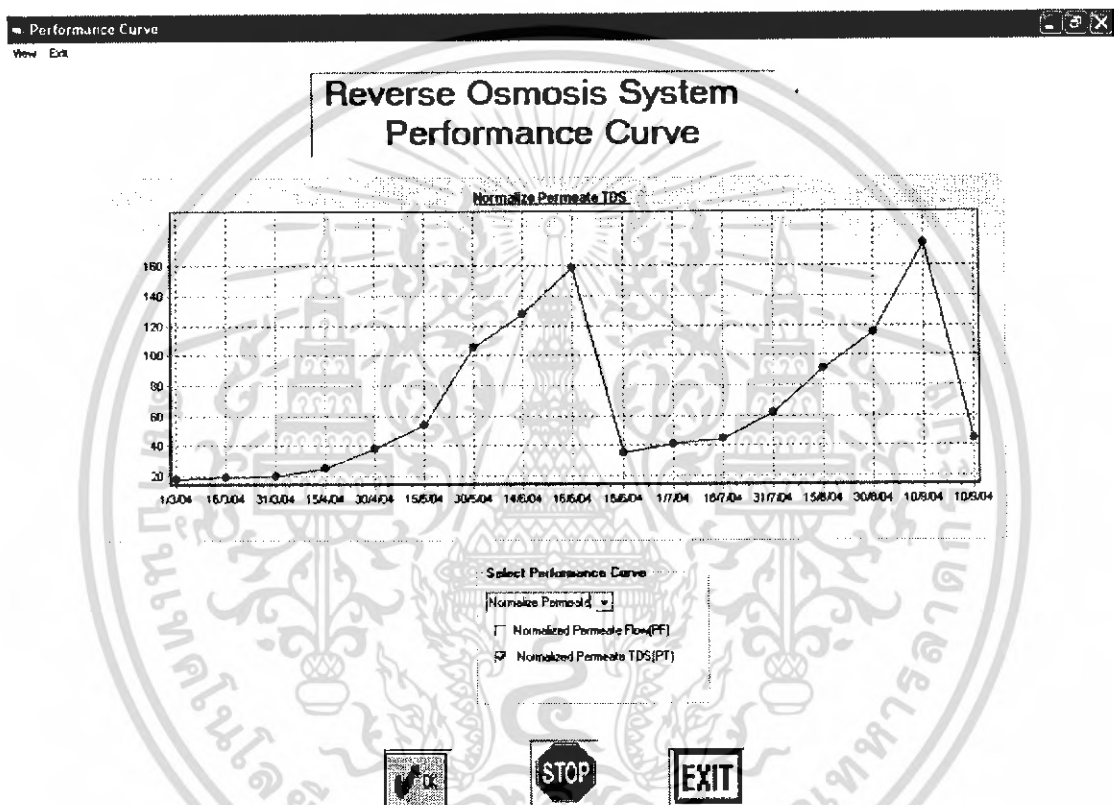
ในกรณีที่ต้องการอ่านค่าของอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ ที่แสดงในรูปของกราฟ สามารถตรวจสอบได้โดยการตรวจสอบจากหน้าการแสดงผลข้อมูล (Data Page) โดยในหน้าต่างนี้จะเป็นการแสดงผลข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องมือวัดต่างๆ ที่ติดตั้งอยู่ในระบบออสโมซิสย้อนกลับออกมาในรูปของกราฟ เพื่อให้ง่ายต่อการดูแลแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 7.9



รูปที่ 7.9 หน้าการแสดงผลข้อมูล (Data Page)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกรณีที่ต้องการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับ ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบได้โดยการเปิดดูที่หน้าต่างการตรวจสอบประสิทธิภาพระบบออสโมซิสย้อนหลัง (Reverse Osmosis System Performance Curve Page) โดยในหน้าต่างนี้จะเป็นการรวบรวมข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจากเครื่องมือวัดมาทำการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับ โดยผลการคำนวณที่ได้จะถูกนำมาแสดงในรูปกราฟ เพื่อให้ง่ายต่อการดูแล โนมประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับว่า ระบบออสโมซิสย้อนกลับขณะนี้ มีแนวโน้มที่ประสิทธิภาพจะลดลงจากเดิมมากน้อยแค่ไหน ดังแสดงในรูปที่ 7.10



รูปที่ 7.10 หน้าตรวจสอบประสิทธิภาพระบบออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis System Performance Curve Page)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

การดำเนินการวิจัยและผลการทดสอบ

การทดสอบการพัฒนาระบบออสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัติโดยใช้คอมพิวเตอร์นั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับว่าสามารถทำงานได้ถูกต้องแม่นยำเพียงใดรวมทั้งสามารถผลิตน้ำสะอาดได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ อีกทั้งยังเป็นการทดสอบการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบไว้ ว่าสามารถทำการเชื่อมต่อและควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับได้แม่นยำตามเงื่อนไขหรือไม่ พร้อมทั้งเป็นการทดสอบหาจุดบกพร่องในกรณีต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขและพัฒนาต่อไป

โดยการทดสอบระบบจะเป็นการติดตามผลการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการแสดงข้อมูลที่ได้รับมาจากอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ ที่ติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่งต่างภายในระบบ การคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับ การแสดงผลของข้อมูลที่ได้ในรูปแบบของกราฟ การจัดเก็บข้อมูลลงในไฟล์ การนำข้อมูลเข้ามาตรวจสอบย้อนหลังโดยแสดงผลในรูปแบบของกราฟ การแสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นที่ปริมาณและคุณภาพน้ำสะอาดที่ผลิตได้จะมีค่าลดลงเนื่องจากผลของประสิทธิภาพเมมเบรนที่ลดลง รวมถึงการตัดสินใจให้ระบบออสโมซิสย้อนกลับเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดเมมเบรนโดยอัตโนมัติเมื่อได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณและคุณภาพของน้ำสะอาดที่ผลิตได้แล้วพบว่า มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ และพร้อมทั้งแสดงขั้นตอนในการทำความสะอาดเมมเบรน

ในการทดลองนี้เป็นการทดสอบกับระบบออสโมซิสย้อนกลับที่ใช้ในการผลิตน้ำสะอาดเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมาตรฐานของน้ำดิบที่เข้าระบบ และ น้ำสะอาดที่ผลิตได้จากระบบจะมีค่าดังแสดงไว้ในตารางที่ 8.1 โดยระบบมีความสามารถในการผลิตน้ำสะอาดได้ 15 m³/hr ต่อ น้ำดิบ 20 m³/hr (Recovery 75%) และ เมมเบรนมีความสามารถในการแยกสารอินทรีย์ออกจากน้ำ 98.15% (Salt Rejection) สำหรับการทำความสะอาดเมมเบรน (Cleaning) นั้น จะใช้ปริมาณสารเคมี 25 กิโลกรัม ต่อ น้ำ Permeate 500 ลิตร ในการทำความสะอาด 1 ครั้ง สำหรับข้อมูลที่น่ามาใช้ในการทดลองนี้มาจากกระบวนการผลิตน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ภายใน โรงงานโรมอินทิเกรต เซมิคอนดักเตอร์ จำกัด

ตารางที่ 8.1 มาตรฐานของน้ำดิบและน้ำที่ผลิตได้จากระบบออสโมซิสย้อนกลับ

การวิเคราะห์	น้ำดิบ	น้ำสะอาดที่ผลิตได้
Total Dissolve Solids (mg/l)	500	<83
Electrical Conductivity (us/cm)	300	<50
Water Flow Rate (m ³ /hr)	20	15
Total Hardness (ppm as CaCO ₃)	180	<0.2
Total Alkalinity(ppm as CaCO ₃)	56	20-50
Chloride (mg/l)	350 Max	35-100
Total Iron (mg/l)	0.1	<0.04
Turbidity NTU	Very Slightly Turbid	<5
pH at 28 oC	8.0	6.5-7.5
Color	Very Pale Green	<5

8.1 การทดสอบ

หลังจากระบบออสโมซิสย้อนกลับได้รับการติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว พร้อมทั้งได้มีการทดสอบการเดินระบบเพื่อตรวจสอบและแก้ไขความบกพร่องเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จำเป็นจะต้องกำหนดค่ามาตรฐานของคุณภาพน้ำสะอาดที่ต้องการ โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้ให้ความสำคัญกับค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำสะอาดที่ผลิตได้ (TDS2) มีความสำคัญมากที่สุด โดยจำเป็นจะต้องกำหนดค่าความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ ว่าต้องมีค่าไม่เกิน 83 mg/l เมื่อใดก็ตามที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำสะอาดที่ผลิตได้มีค่าเกินกว่าที่กำหนดไว้ ระบบออสโมซิสย้อนกลับจะเข้าสู่กระบวนการล้างเมมเบรนโดยอัตโนมัติ และเมื่อระบบออสโมซิสย้อนกลับทำการล้างเมมเบรนเสร็จเรียบร้อยแล้วระบบออสโมซิสย้อนกลับจะมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำสะอาดที่ผลิตได้อีกครั้งว่ามีค่าตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าคุณภาพน้ำสะอาดที่ผลิตได้ยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานระบบออสโมซิสย้อนกลับก็จะกลับเข้าสู่กระบวนการล้างเมมเบรนซ้ำอีกครั้ง ดังที่กล่าวไว้แล้วในขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในหัวข้อที่ 7.2

และเมื่อเริ่มทำการเดินระบบคอมพิวเตอร์จะทำการบันทึกข้อมูลของระบบออสโมซิส
ย้อนกลับเมื่อเริ่มเดินระบบครั้งแรก ดังรูปที่ 8.1 จากนั้นก็ทำการเก็บข้อมูล ซึ่งผลการเก็บข้อมูล
ภายในระยะ 7 เดือน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 8.2

RECORD(9.3.04) - Notepad

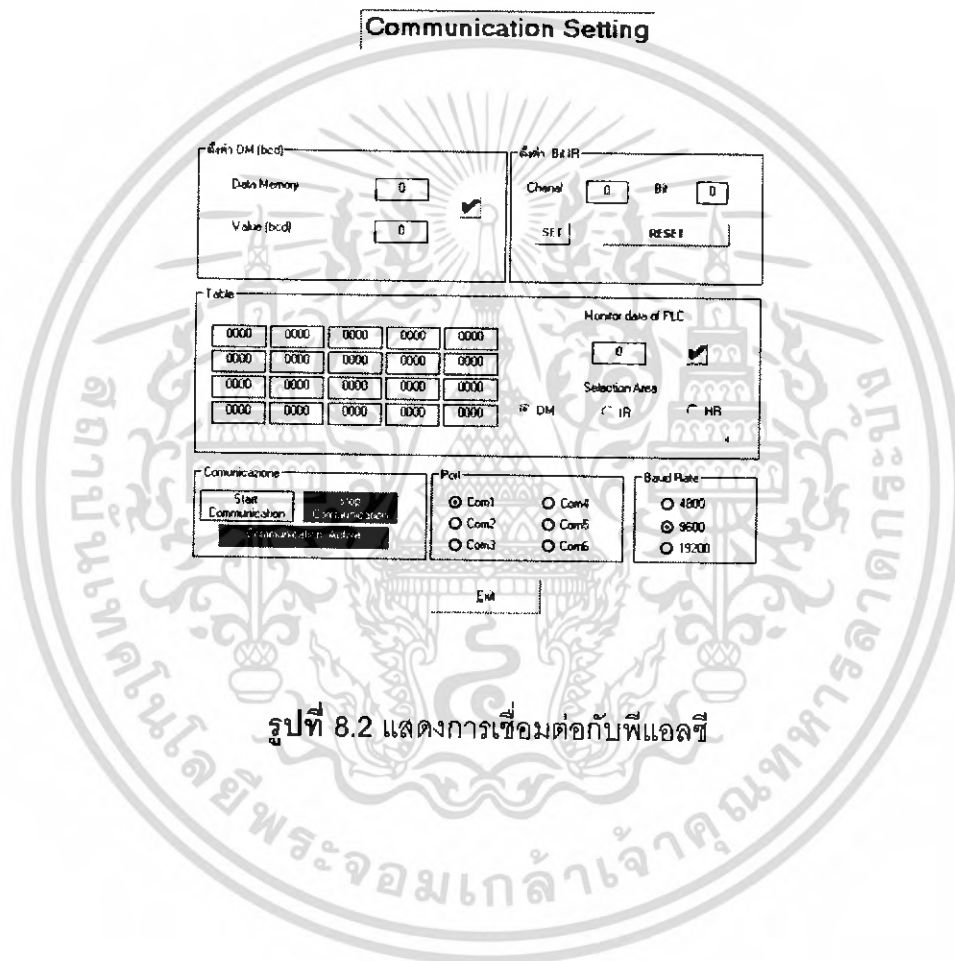
07/3/04	F11	P1	TDS1	T1	F12	P2	TDS2	F13	P3	TDS3	1R	1SP	1SR	PE	PT
2.00	20.00	186.00	335.00	33.00	15.00	15.00	13.50	5.00	135.00	2180.3575	0.001	2398.77	15.57		
11.00	20.50	190.00	335.00	33.00	15.00	15.00	13.50	5.00	135.00	2237.5673	0.001	1898.82	15.20		
13.00	20.00	190.45	340.00	33.00	15.00	15.00	13.45	5.00	135.40	2235.4875	0.001	1998.81	15.17		
15.00	20.50	190.55	325.00	32.50	15.50	15.45	14.50	4.92	135.85	2237.5676	0.001	2898.72	15.79		
17.00	20.00	191.84	335.05	33.00	15.62	15.57	14.50	4.38	134.28	2235.4578	0.001	2998.71	15.71		
19.00	20.50	190.00	340.00	33.00	15.45	15.04	15.00	5.05	135.04	2385.2575	0.001	2598.75	15.66		
21.00	20.00	190.88	345.48	33.00	15.00	15.00	13.50	5.00	134.27	2394.3075	0.001	1298.88	15.12		
23.00	20.00	191.78	335.75	33.00	15.50	15.48	13.50	4.50	138.28	2405.5577	0.001	1198.89	15.59		
01.00	21.00	192.50	335.50	33.00	15.50	15.50	13.50	5.50	139.00	2230.5674	0.001	2098.80	15.52		
03.00	20.50	193.00	335.42	33.00	15.50	15.72	13.45	5.00	139.50	2238.4576	0.001	1998.81	15.50		
05.00	20.50	193.56	340.08	33.00	15.50	15.54	13.55	4.96	139.50	2240.5076	0.001	2098.80	15.43		
07.00	20.50	192.80	340.00	33.00	15.74	15.50	13.40	4.76	139.45	2235.6076	0.001	1998.80	15.80		

รูปที่ 8.1 การเก็บข้อมูลต่างๆลงไฟล์เอกสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับระบบจะถูกควบคุมการทำงานโดยผ่าน พีแอลซี โดยขั้นตอนการทำงานทั้งหมดจะถูกโปรแกรมไว้แล้วภายในตัว พีแอลซี ซึ่งผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูลภายในหน่วยความจำของตัวพีแอลซีได้ โดยการตรวจสอบผ่านหน้าต่างแสดงการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์พีแอลซี ดังแสดงในรูปที่ 8.2 ซึ่งผู้ใช้งานสามารถทราบสถานะในหน่วยความจำในตำแหน่งต่างๆว่าในขณะนั้นมีสถานะ เป็น 1 หรือ 0

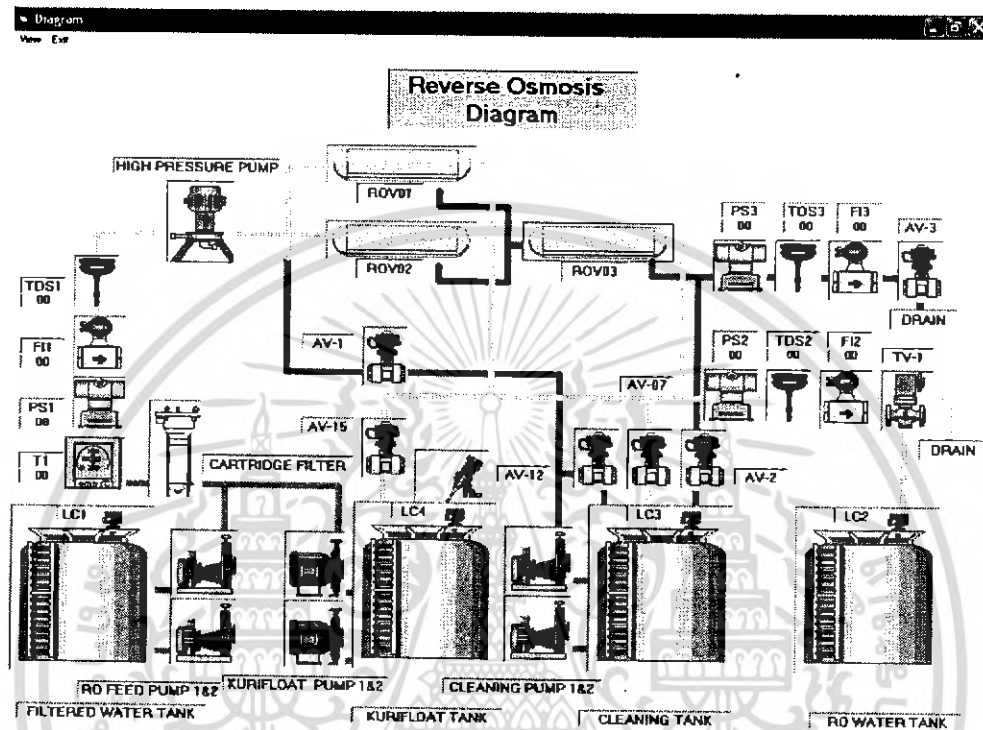
Communicate Setting



รูปที่ 8.2 แสดงการเชื่อมต่อกับพีแอลซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงการตรวจสอบกระบวนการทำงานของระบบออสโมซิสย้อนกลับโดยผู้ใช้งานสามารถ
เฝ้าดูการทำงานของระบบโดยผ่านหน้าต่าง Reverse Osmosis Diagram ดังแสดงในรูปที่ 8.3
ซึ่งจะเป็นการแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆภายในระบบออสโมซิสย้อนกลับ



รูปที่ 8.3 แสดงหน้าจอบควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับที่ใช้ในโรงงานโอมอินทิเกรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.2 แสดงแรงดัน Feed Water (PS1) Permeate Water (PS2) Concentrate Water (PS3), ความเข้มข้นของสารละลายของ Feed Water (TDS1) Permeate Water (TDS2) Concentrate Water (TDS3), อัตราการไหลของ Feed Water (F1) Permeate Water (F2) Concentrate Water (F3) อุณหภูมิของ Feed Water (T1)

ผลการบันทึกข้อมูล												
เงื่อนไข	วันที่	F1 (m ³ /hr)	PS1 (psi)	TDS1 (mg/l)	T1 (°C)	F2 (m ³ /hr)	PS2 (psi)	TDS2 (mg/l)	F3 (m ³ /hr)	PS3 (psi)	TDS3 (mg/l)	
ค่ามาตรฐาน	1/3/2004	≈20	≤210	≤400	33	11~15	≤30	≤85	5~9	165	8789	
ค่าเริ่มต้นระบบ	1/3/2004	20	185	335	33	15	15	12.5	5	130	1987.5	
	16/3/2004	21	186	340	32	15.5	15.5	13.3	5.5	131	1928.3	
	31/3/2004	20.7	188	345	32	15.3	16.5	14.1	5.4	133	1971.8	
	15/4/2004	21	190	340	33	15	17.5	16.6	6	135	2237.5	
	30/4/2004	20.6	192	350	33	14	18.5	25	6.6	137	3005.3	
	15/5/2004	20.5	195	342	33	13.5	20	33.3	7	140	3838.8	
	30/5/2004	20.7	198	330	33	12.4	21.5	58.3	8.3	143	6492.3	
	14/6/2004	20.3	200	355	33	12	22.5	75	8.3	145	8166.75	
ก่อนล้างระบบ	16/6/2004	20.5	205	345	32	11	26	85	9.5	148	8844.18	
หลังล้างระบบ	16/6/2004	20.4	187	345	33	15.1	15.5	25	5.3	125	2951.2	
	17/2004	21	188	342	33	15	15.5	27.5	6	130	3226.9	
	16/7/2004	20	190	336	32	14.8	18	30.8	5.2	135	3592.7	
	31/7/2004	20.5	193	345	33	14	19.5	40	6.5	138	4557.7	
	15/8/2004	20.5	197	335	33	13	21	53.3	7.5	141	5969.3	
	30/8/2004	20	200	340	33	12	22.5	65	8	144.5	7157.2	
ก่อนล้างระบบ	10/9/2004	21	207	335	33	10.5	25.5	87	10.5	148.5	9070.4	
หลังล้างระบบ	10/9/2004	20	186	335	33	15.2	15.5	32	4.8	130.5	3710.7	

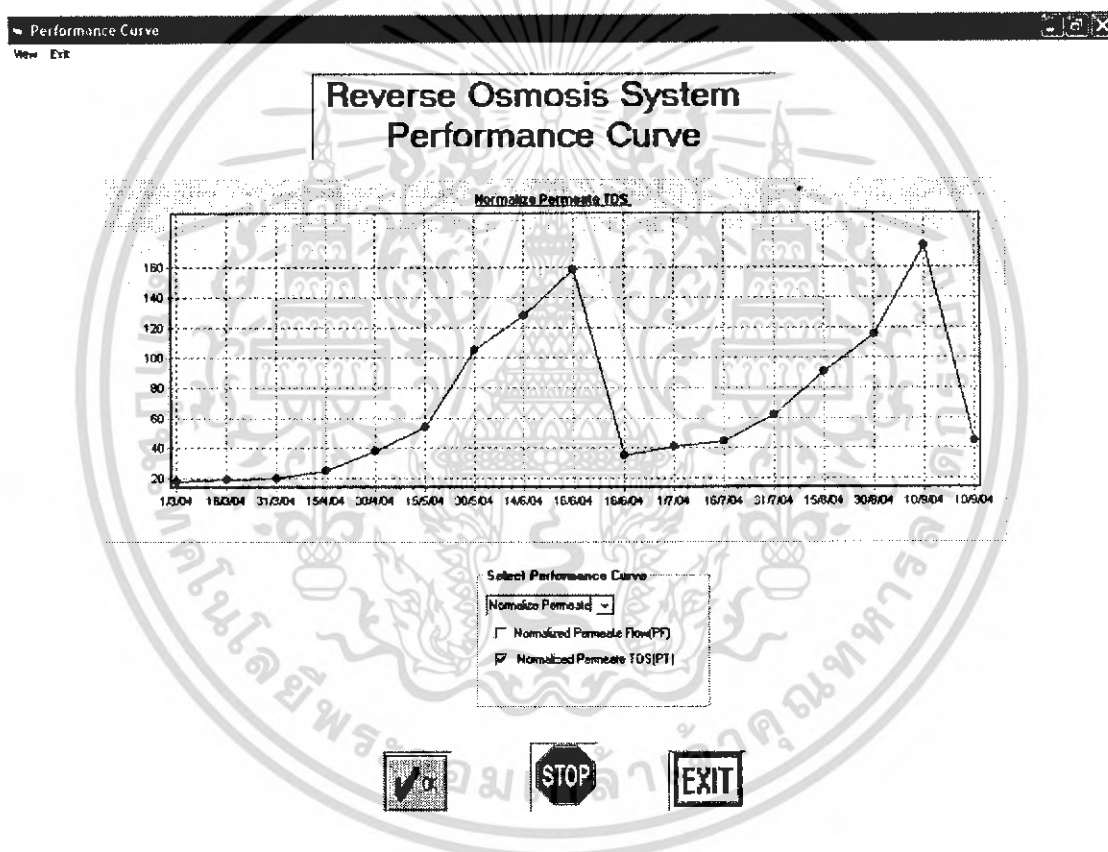
ตารางที่ 8.3 แสดงการคำนวณประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับ

ผลที่ได้จากการคำนวณ						
เงื่อนไข	วันที่	%R	%SP	%SR	PF	PT
ค่ามาตรฐาน	1/3/04	≈75.00	≤1.85	≥98.15		
ค่าเริ่มต้นระบบ	1/3/04	75.00	1.25	98.75	17.12	17.63
	16/3/04	73.80	1.37	98.63	16.80	18.87
	31/3/04	73.91	1.42	98.58	15.90	19.80
	15/4/04	71.42	1.58	98.42	15.68	24.79
	30/4/04	67.96	1.65	98.35	14.55	38.01
	15/5/04	65.85	1.72	98.28	13.90	54.14
	30/5/04	59.90	1.78	98.22	12.64	105.04
	14/6/04	59.11	1.82	98.18	12.17	127.43
ก่อนล้างระบบ	16/6/04	53.65	1.85	98.15	11.48	159.06
หลังล้างระบบ	16/6/04	74.01	1.68	98.32	16.21	35.06
	1/7/04	71.42	1.69	98.31	15.67	40.87
	16/7/04	74.00	1.70	98.30	14.53	44.48
	31/7/04	68.29	1.74	98.26	13.86	61.67
	15/8/04	63.41	1.77	98.23	13.29	90.73
	30/8/04	60.00	1.80	98.20	12.17	115.45
ก่อนล้างระบบ	10/9/04	50.00	1.85	98.15	10.40	174.80
หลังล้างระบบ	10/9/04	76.00	1.71	98.29	16.07	44.55

จากการเฝ้าติดตามและเก็บข้อมูลจากตัวระบบออสโมซิสย้อนกลับที่ได้พัฒนาขึ้น พบว่าภายในระยะเวลา 7 เดือน ระบบมีการทำความสะอาด 2 ครั้ง คือเมื่อวันที่ 16/6/2004 และ 10/9/2004 ซึ่งเกิดจากระบบออสโมซิสย้อนกลับไม่สามารถผลิตน้ำสะอาดได้ตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ อันมีสาเหตุมาจากการอุดตันภายในตัวเมมเบรน โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ (TDS2) ระหว่างค่ามาตรฐานที่กำหนดให้กับขณะใช้งานจริงจะพบว่าค่าเพิ่มขึ้นค่อนข้างสูง คือในครั้งหนึ่ง ค่ามาตรฐานกำหนดให้ไม่เกิน 83.00 mg/l เพิ่มเป็น 85.00 mg/l แต่เมื่อระบบออสโมซิสย้อนกลับได้รับการล้างระบบแล้วทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

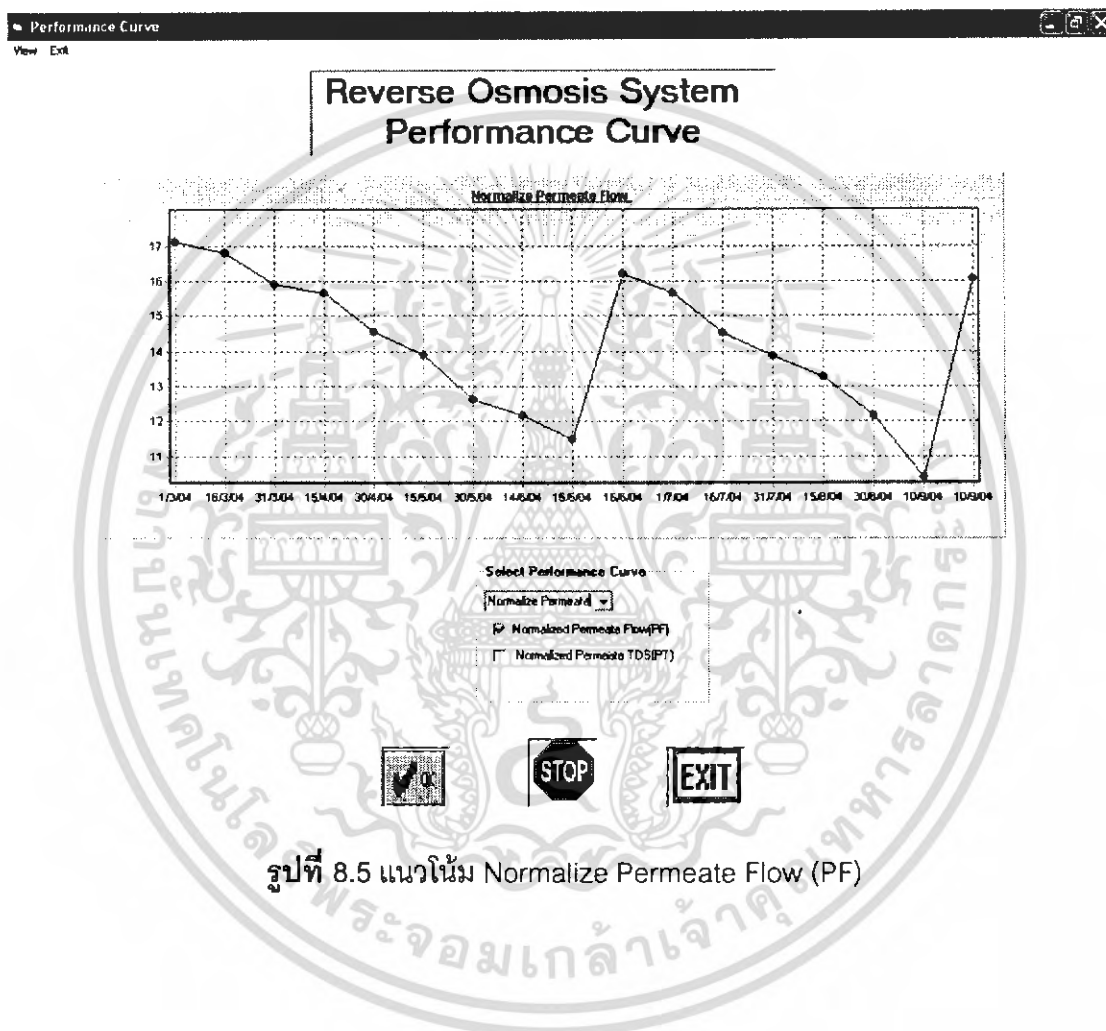
ตรวจสอบค่าความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ มีค่าลดลง เหลือ 25.00 mg/l และในการล้างระบบในครั้งที่สองเกิดขึ้นเมื่อ ค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำสะอาดที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 87.00 mg/l แต่เมื่อระบบได้รับการล้างทำความสะอาดแล้วพบค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำสะอาดที่ผลิตได้มีค่าลดลงเหลือ 32.00 mg/l นั้นแสดงให้เห็นว่าที่ตัวเมมเบรนมีการอุดตันที่ผิวมาก ซึ่งอาจเนื่องมาจากคุณภาพน้ำดิบที่ป้อนให้ระบบออสโมซิสย้อนกลับมีคุณภาพไม่ดีพอ โดยสามารถสังเกตได้จากกราฟที่ได้มาจากการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับที่แสดงออก มาในรูปของการคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ที่มีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อสังเกตจากกราฟจะเห็นว่าระบบออสโมซิสย้อนกลับจะมีค่าความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้มีค่าขึ้น เป็นลักษณะค่อนข้างคงที่ (PT) ดังแสดงในรูปที่ 8.4



รูปที่ 8.4 แนวโน้ม Normalize Permeate TDS (PT)

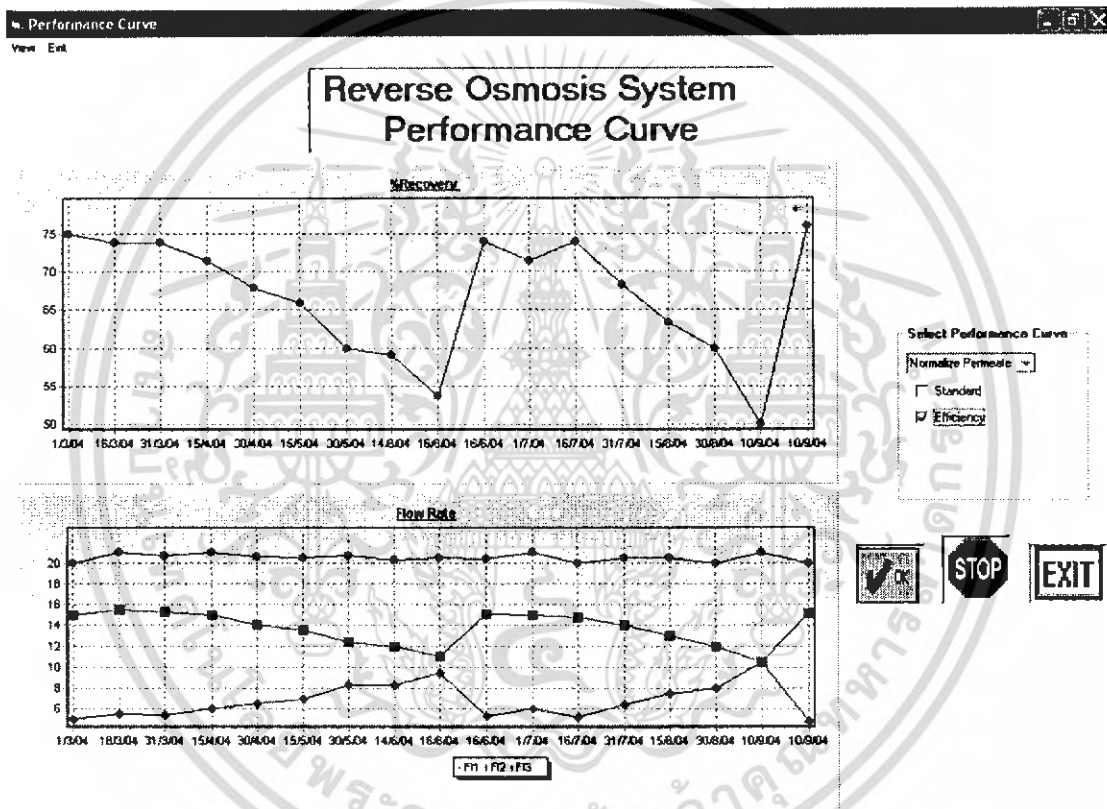
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของอัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ก็จะมีค่าลดลงจากเดิมคือจาก 15.00 m³/hr เหลือเพียง 11.00 m³/hr และ 10.50 m³/hr ตามลำดับ แต่เมื่อระบบได้รับการล้างทำความสะอาดแล้วพบอัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้น เป็น 15.10 m³/hr และ 15.20 m³/hr ตามลำดับ และเมื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับก็สามารถแสดงออกมาได้ในรูปของการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ที่มีค่าลดลง อันเนื่องมาจากการอุดตันของเมมเบรน (PF) ดังแสดงในรูปที่ 8.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

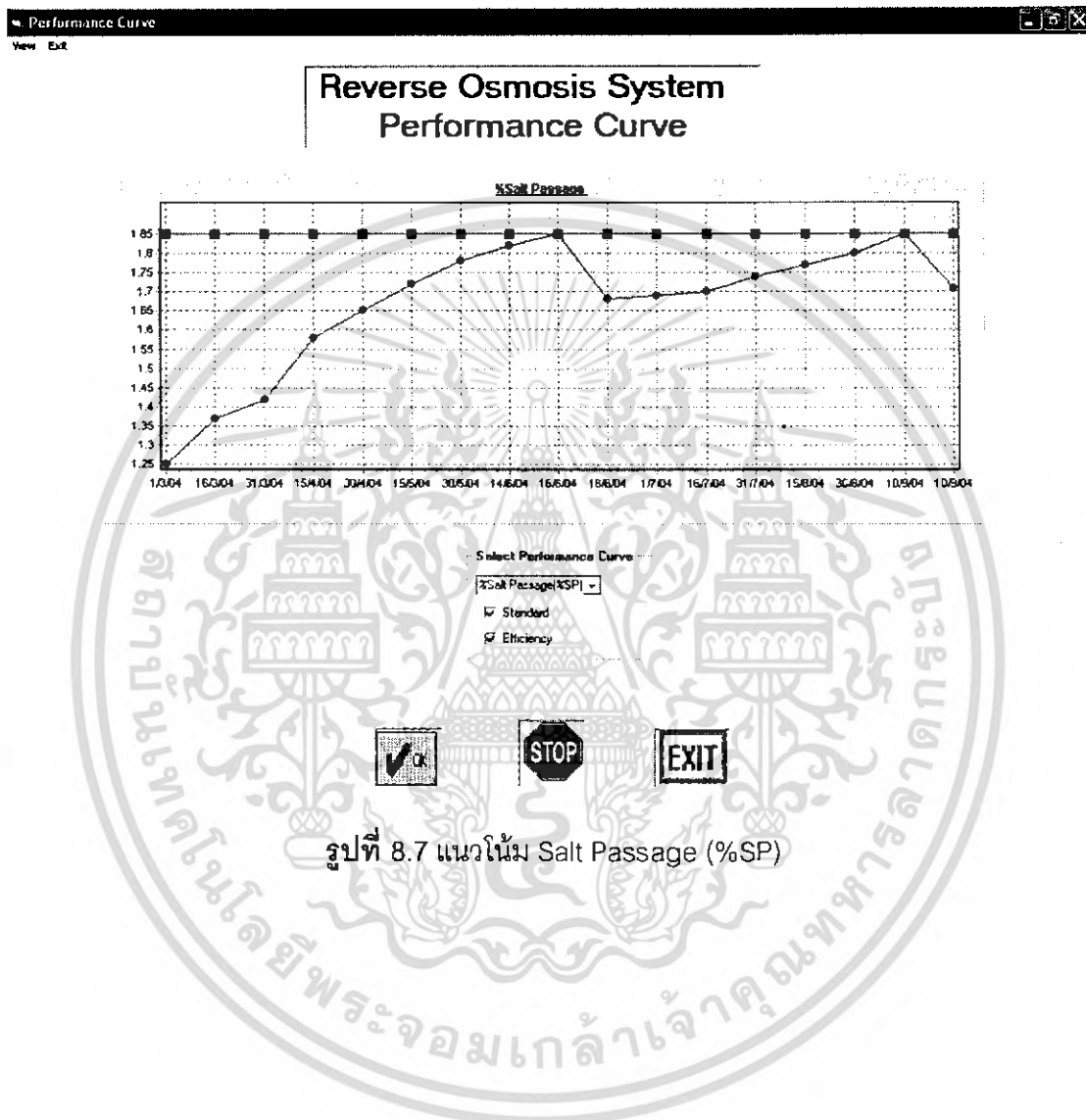
แนวโน้มของค่า Recovery (%R) เป็นดังกราฟรูปที่ 8.6 โดยแนวโน้มของค่านี้จะลดลงเสมอเมื่อระบบออสโมซิสย้อนกลับมีประสิทธิภาพลดลง คือจากผลการทดลองพบว่า %Recovery จะมีค่าลดลงเหลือ 53.65 % และ 50.00 %ตามลำดับนั้นแสดงถึงว่าปริมาณน้ำสะอาดที่ผลิตได้ต่อปริมาณน้ำดิบที่ป้อนให้ระบบมีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลทำให้มีปริมาณน้ำทิ้งที่สูงขึ้น ทำให้ระบบไม่สามารถผลิตน้ำสะอาดที่มีอัตราการไหลได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ รวมทั้งภายในหน้าต่างแสดง %Recovery จะมีการแสดงอัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากระบบ รวมถึงปริมาณน้ำทิ้งและน้ำดิบที่ป้อนให้กับระบบออสโมซิสย้อนกลับเพื่อใช้พิจารณาคู่กับ %Recovery ของระบบออสโมซิสย้อนกลับ ว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร



รูปที่ 8.6 แนวโน้ม Recovery (%R)

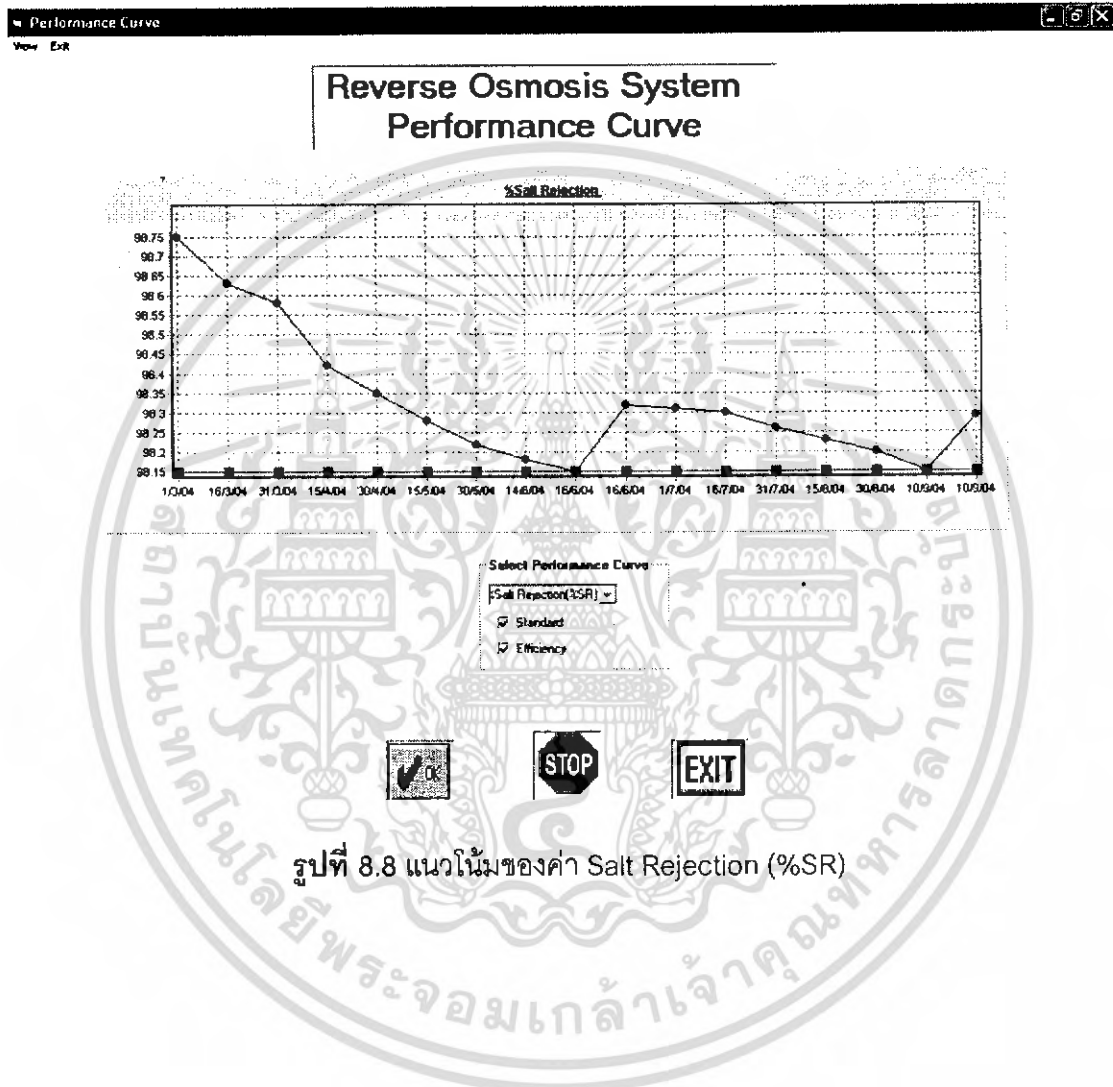
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มของค่า Salt Passage (%SP) เป็นดังกราฟรูปที่ 8.7 โดยแนวโน้มของค่านี้จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระบบออสโมซิสย้อนกลับมีประสิทธิภาพลดลง นั่นแสดงถึงว่าเมมเบรนยอมให้สารอินทรีย์ไหลผ่านตัวมันได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตได้มีค่าสูงขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแนวโน้มของค่า Salt Rejection (%SR) จะมีค่าแปรผกผันกันกับค่า Salt Passage ดังแสดงในรูปกราฟที่ 8.8 โดยเมื่อค่า % Salt Passage มีแนวโน้มสูงขึ้น ค่า % Salt Rejection ก็จะมีแนวโน้มต่ำลง โดยค่านี้จะมีค่าลดลงเมื่อเมมเบรนมีการอุดตัน นั้นแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับในการแยกสารอินทรีย์ออกจากน้ำดิบมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ จึงทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้มีค่าสูงขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

9.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการพัฒนาระบบออสโมซิสย้อนกลับจากแบบเดิมโดยให้คอมพิวเตอร์ โดยจะเป็นการควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับผ่านเครื่องควบคุม พีแอลซี โดยการสื่อสารระหว่างตัวพีแอลซีกับตัวคอมพิวเตอร์ จะเป็นการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม แม้ว่าการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมจะมีข้อจำกัดในด้านความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลที่ช้ากว่าการส่งข้อมูลแบบขนาน เนื่องจากการส่งข้อมูลจะเป็นการส่งทีละบิต เมื่อเทียบกับการส่งข้อมูลแบบขนานที่จะเป็นการส่งทีละ 1 ไบต์ หรือทีละ 8 บิต ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 5.1.1 แต่การสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมก็จะมีข้อได้เปรียบตรงที่จำนวนสายสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลจะมีจำนวนน้อยกว่าแบบขนาน ส่วนมาตรฐานที่ใช้เป็นข้อกำหนดในการสื่อสารที่ใช้เป็นแบบ RS-232 C แม้ว่าการมาตรฐานของการสื่อสารแบบ RS-232 C จะมีข้อจำกัดเรื่องระยะทางในการส่งข้อมูลที่ไม่ไกลมากนักคือ ประมาณ 50 ฟุต ซึ่งในปัจจุบัน จะมีการกำหนดมาตรฐานในการสื่อสารอื่นออกมาแก้ไขแล้ว เช่น มาตรฐานของการสื่อสาร แบบ RS-422 A ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ในระยะไกลขึ้น คือ ประมาณ 4,000 ฟุต ส่วนภายในวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการเลือกใช้มาตรฐานการสื่อสารแบบ RS-232 C เนื่องจากระยะทางจากเครื่องควบคุม พีแอลซี ไปยังตัวคอมพิวเตอร์มีระยะทางไม่ไกลเกินกว่าที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ ประกอบการไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการสร้างตัวแปลงมาตรฐาน จาก RS-232 C เป็น แบบ RS-422 A ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 5.1.5

เมื่อข้อมูลจากระบบออสโมซิสย้อนกลับถูกส่งผ่านไปยังคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะทำการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ พร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลและคุณภาพน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากระบบ กับ ค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ เพื่อดูอัตราการลดลงของอัตราการไหลและคุณภาพน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากระบบ ที่เป็นผลมาจากการเสื่อมลงของประสิทธิภาพเมมเบรน ผลของการเปรียบเทียบนี้จะถูกคอมพิวเตอร์นำมาใช้ตัดสินใจให้ระบบเข้าสู่การทำความสะอาดเมมเบรนโดยอัตโนมัติ เมื่อคุณภาพของน้ำสะอาดที่ผลิตได้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด วิธีนี้จะช่วยให้สามารถควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับให้สามารถผลิตน้ำสะอาดได้ตามต้องการ เนื่องจากมีการเฝ้ามอง และมีการกำหนดปริมาณ และ คุณภาพน้ำสะอาดที่ต้องการไว้แล้ว นอกจากนี้ผลการคำนวณที่ได้ยังมีการบันทึกและแสดงผลออกมาในรูปของกราฟ รวมทั้งข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจะถูกนำมาเก็บลงในคอมพิวเตอร์เพื่อง่ายต่อการดูแลแนวโน้มประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับ และ สะดวกต่อการตรวจสอบระบบในภายหลังด้วย

ในปัจจุบันการกำหนดระยะเวลาในการทำความสะอาดระบบออสโมซิสย้อนกลับนั้น จะเป็นการกำหนดจากผู้ออกแบบระบบโดยกำหนดให้ทุกๆ 1 เดือน ให้ทำความสะอาดระบบ 1 ครั้ง โดยเป็นการกำหนดจากการคำนวณโดยเฉลี่ย ซึ่งในบางครั้งประสิทธิภาพของระบบยังดีอยู่ เนื่องจากมีปริมาณการผลิตน้ำที่น้อย หรือ น้ำดิบที่เข้ามามีคุณภาพดี โดยไม่จำเป็นต้องทำความสะอาดระบบแต่สุดท้ายก็ต้องทำความสะอาดตามระยะเวลาที่ผู้ออกแบบระบบกำหนดให้ เป็นเหตุให้ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้การเก็บข้อมูล การคำนวณวิเคราะห์ ประสิทธิภาพเมมเบรน รวมถึงการทำความสะอาดระบบ ยังต้องใช้พนักงานที่มีประสบการณ์ด้านนี้โดยตรง ซึ่งอย่างไรก็ดีการเก็บข้อมูลและการคำนวณด้วยคนนั้นสามารถผิดพลาดได้ง่าย และเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรบุคคลอีกด้วย สำหรับข้อมูล และ ผลการคำนวณที่ได้ ก็จะถูกจัดเก็บเป็นเอกสารไว้ซึ่งยากต่อการสังเกตแนวโน้มประสิทธิภาพเมมเบรนและการตรวจสอบย้อนกลับ

9.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

เวลาในการเก็บ ข้อมูลในแต่ละรอบควรกำหนดไว้ประมาณทุก 2 ชั่วโมง เนื่องจากในการทดลองที่ผ่านมาพบว่าค่า TDS1-3; FI1-3; PS1-3 จะมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละชั่วโมงไม่มากนัก ดังนั้นเวลาในการการเก็บข้อมูล ข้อมูลที่ทุกๆ 2 ชั่วโมงน่าจะเหมาะสมที่สุด แต่ถ้าต้องการความละเอียดของข้อมูลก็สามารถปรับ ลดเวลาในการเก็บข้อมูลในแต่ละรอบลงได้โดยสามารถทำการปรับเปลี่ยนได้เมื่อเข้าไปที่ หน้าต่างหน้ากำหนดพารามิเตอร์ แล้วทำการเปลี่ยนในที่ช่อง Time Setting

9.3 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางในการแก้ไขปัญหา

จากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าระยะเวลาในการบันทึกผลตั้งแต่เริ่มเดินระบบจนถึงระยะเวลาในการล้างทำความสะอาดระบบในแต่ละครั้งค่อนข้างใช้เวลานานในแต่ละรอบ เนื่องจากผลการทดลองที่ได้จะขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำดิบที่เข้าสู่ระบบร่วมกับระยะเวลาในการใช้งานระบบ ดังนั้นเพื่อลดระยะเวลาให้สั้นลงอาจต้องใช้ในการจำลองคุณภาพน้ำดิบที่เข้าระบบให้เหมาะสมมากขึ้น

9.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

ในบางกรณีที่ระบบผลิตน้ำสะอาดมีขนาดใหญ่อาจนำคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และควบคุมคุณภาพน้ำทั้งระบบทั้งก่อนเข้าสู่ระบบออสโมซิสย้อนกลับ และออกจากระบบออสโมซิสย้อนกลับไปสู่ระบบอื่นๆเพื่อให้ได้น้ำสะอาดที่มีคุณภาพดีมากขึ้น ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการพัฒนาต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] ดร.วิลาศ ชวงศ์,บุญเจริญ ศิริเนาวกุล "ระบบผู้เชี่ยวชาญ" ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
- [2] จตุวิทย์ อโนทัยอดิกุล"การทำควมสะอาดระบบบอสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัติโดยวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัดคุม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2546.
- [3] คมกฤษณ์ ศรีสุวรรณ "การศึกษาพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมและจัดการพลังงาน" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัดคุม,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2546.
- [4] เจนวิทย์ เหลืองอร่าม,ปิยวิทย์ เหลืองอร่าม "การเขียนโปรแกรมสำหรับ Applications ด้วย Visual Basic 6" บริษัท ธรรมสาร,2543.
- [5] จันทวุฒิ พิษผล คู่มือเรียน Visual Basic 6 บริษัท เอช เอ็น กรุป จำกัด,2542
- [6] อรรถพล บุญยะโกคาม,วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล "เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม" บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์,2543
- [7] มั่นสิน ดันทุลเวศน์ "วิศวกรรมการประปา" จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2539
- [8] OMRON CORPORATION "SYSMAC CSIG Programmable Controller Instructions Reference Manual" Revised May,2001.
- [9] John D. Mc Donald "Substation Automation IED integration and availability of information" IEEE power energy magazine,march/april2003,p.22-31.
- [10] Raycheba,J."Membrane Technology Reference Guide" 700 University Avenue
- [11] Filmtec "Filmtec Membrane Elements" 1995
- [12] Goshu Kohsan " Text -Book Water Treatment " 1994

ภาคผนวก ก

แสดงการเปรียบเทียบระบบออสโมซิสย้อนกลับแบบทั่วไป กับระบบออสโมซิสย้อนกลับที่ได้มีการพัฒนาขึ้น



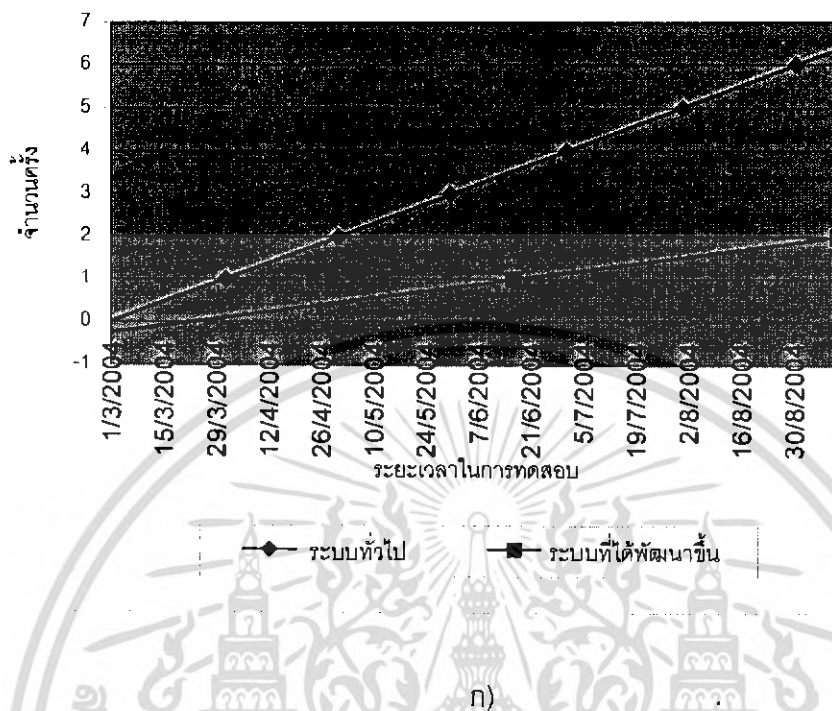
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงผลการทดสอบระบบออสโมซิสย้อนกลับแบบทั่วไป แรงดัน Feed Water (PS1)Permeate Water (PS2)ConcentrateWater (PS3),ความเข้มข้นของสารละลายของ Feed Water (TDS1)Permeate Water (TDS2)Concentrate Water (TDS3),อัตราการไหลของ Feed Water(F11)Permeate Water (F12)Concentrate Water (F13) อุณหภูมิของ Feed Water(T1)

ผลการบันทึกข้อมูล												
เงื่อนไข	วันที่	F11(m ³ /hr)	PS1(psi)	TDS1(mg/l)	T1(°C)	F12(m ³ /hr)	PS2(psi)	TDS2(mg/l)	F13(m ³ /hr)	PS3(psi)	TDS3(mg/l)	
ค่ามาตรฐาน		≈ 20	≤ 210	≤ 400	33	11~15	≤ 30	≤ 85	5~9	165	8789	
ค่าเริ่มต้นระบบ	1/3/2004	20	185	335	33	15	15	12.5	5	132.5	1987.5	
	16/3/2004	20	186	340	33	15	15	13.3	5	134.5	1928.3	
ก่อนล้างระบบ	31/3/2004	21	186	345	32	15.3	16.5	14.1	5.7	135	1971.8	
หลังล้างระบบ	31/3/2004	21	186	345	32	15	15.5	13.3	6	134	1990.5	
	15/4/2004	21	192	340	33	15	17.5	16.6	6	138	2237.5	
ก่อนล้างระบบ	30/4/2004	20.6	198	350	33	14.7	18.5	25	5.9	143	3005.3	
หลังล้างระบบ	30/4/2004	20.6	190	350	33	15	18	14	5.6	135.5	2005.3	
	15/5/2004	20.7	200	342	33	14.5	18.4	33.3	6.2	145.1	3838.8	
ก่อนล้างระบบ	30/5/2004	20.3	205	330	33	14	20.5	58.3	6.3	148	6492.3	
หลังล้างระบบ	30/5/2004	20.5	195	330	32	14.8	20	55	5.5	138.5	5970.5	
	16/6/2004	20.4	198	345	33	14.5	22	89	5.9	139.5	9052.4	
ก่อนล้างระบบ	30/6/2004	21	200	342	33	14	25	90	7	138.5	9071.4	
หลังล้างระบบ	30/6/2004	21	190	342	32	14.8	23.2	45	6.2	130.3	4560.5	
	16/7/2004	20.5	197	336	33	14.8	24.5	48	5.7	136	4564.8	
ก่อนล้างระบบ	31/7/2004	20.5	200	345	33	14	25	50.5	6.5	138.5	5895.2	
หลังล้างระบบ	31/7/2004	20.5	197	345	33	14.5	20.4	45.2	6	140.1	4565.0	
	15/8/2004	21	198	335	33	14.2	23.8	53.3	6.8	137.7	5969.3	
ก่อนล้างระบบ	30/8/2004	20	201	340	33	14	24	67.5	6	140.5	7205.3	
หลังล้างระบบ	30/8/2004	20	196	340	33	14.7	20	47.5	5.3	139.5	4565.0	

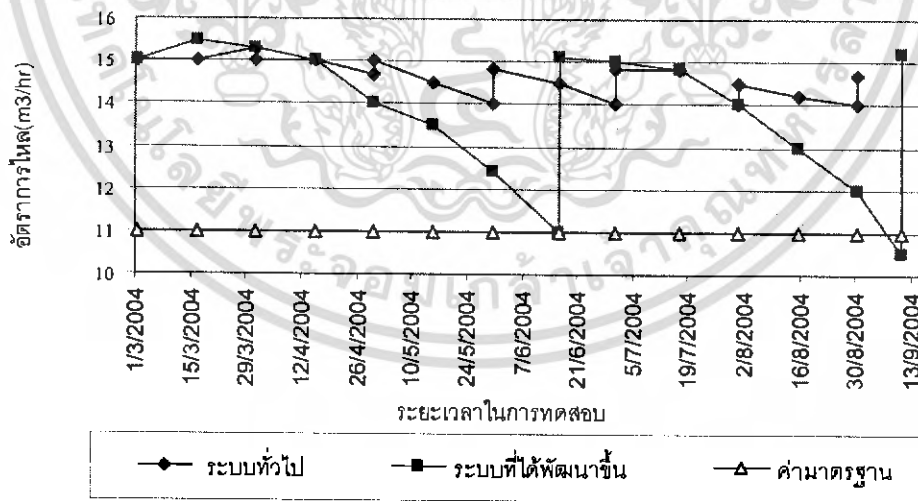
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบความถี่ในการล้างระบบระหว่างระบบออสโมซิสย้อนกลับแบบ
ทั่วไปกับระบบออสโมซิสย้อนกลับที่พัฒนาขึ้น



ก)

การเปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ระหว่างระบบออสโมซิสย้อนกลับ
ทั่วไปกับระบบออสโมซิสย้อนกลับแบบที่พัฒนาขึ้น

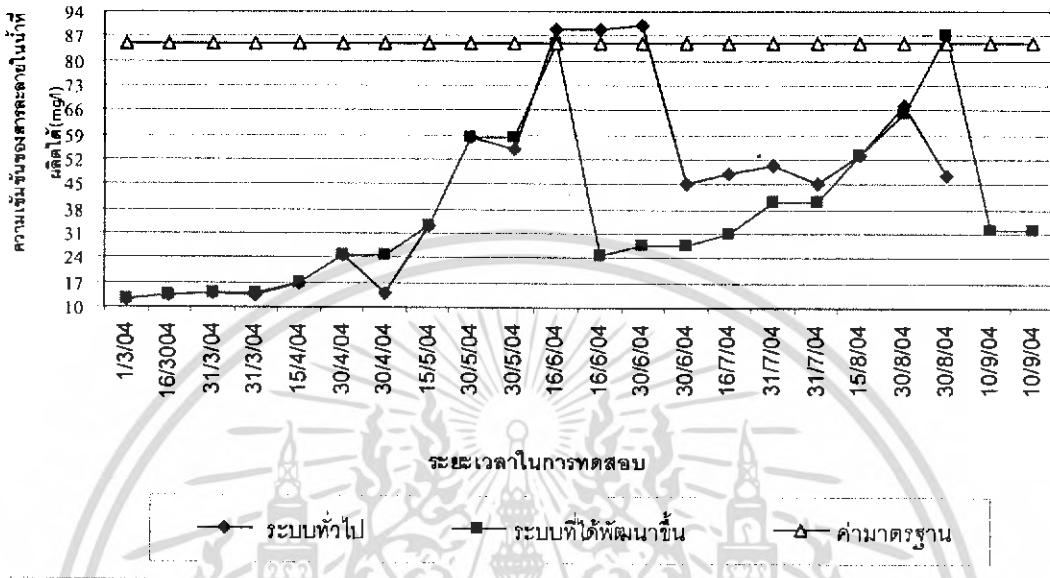


ข)

รูปที่ 1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบออสโมซิสย้อนกลับแบบทั่วไปกับระบบ
ออสโมซิสย้อนกลับแบบที่ได้มีการพัฒนาขึ้น

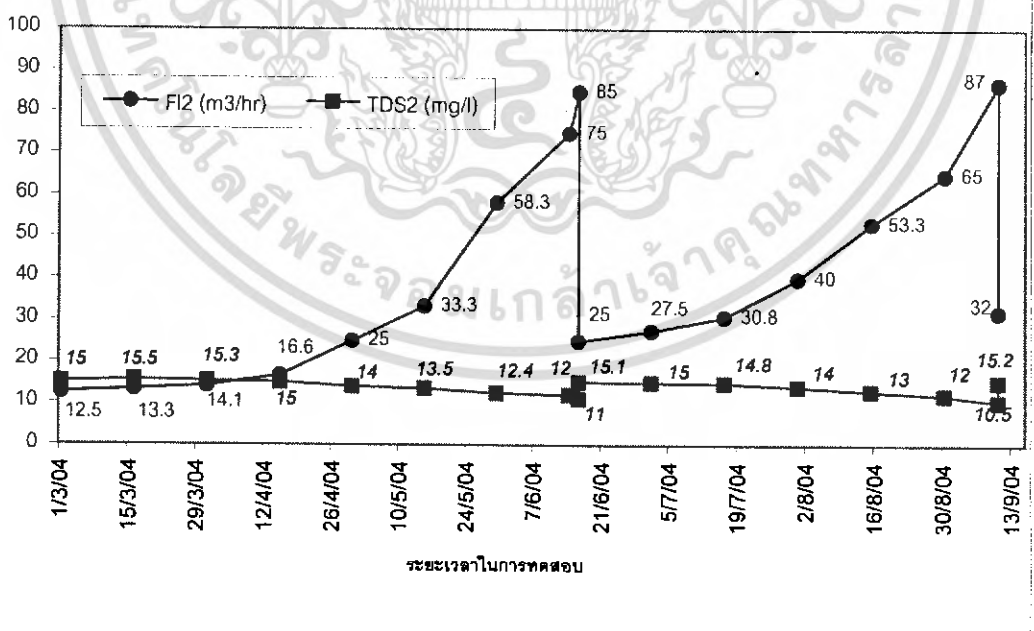
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ระหว่างระบบออสโมซิสย้อนกลับทั่วไปกับระบบออสโมซิสย้อนกลับแบบที่ได้พัฒนาขึ้น



ค)

เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ของระบบออสโมซิสย้อนกลับที่ได้พัฒนาขึ้น



ง)

รูปที่ 1 ต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในกำลังเมมเบรนระหว่างระบบออสโมซิสย้อนกลับแบบเดิมกับระบบ
ออสโมซิสย้อนกลับแบบที่ได้มีการพัฒนาขึ้น

รายจ่ายจากค่าไฟฟ้า					
	อุปกรณ์	ขนาดกิโลวัตต์ (Kw)	จำนวน	ระยะเวลาการใช้ งาน (ชม./ครั้ง)	ปริมาณการใช้ (หน่วย/ครั้ง)
1	High Pressure Pump	11	1	1	11
2	RO Feed Pump	7.5	2	1	15
3	Kurifloat Feed Pump	0.2	2	1	0.4
4	Agitator	0.4	1	0.5	0.4
5	Cleaning Pump	2.2	2	0.5	2.2

คิดราคาไฟฟ้าที่ = 1.6 บาท/หน่วย
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด = 29 หน่วย/ครั้ง
รวมค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไป = 47 บาท/ครั้ง

รายจ่ายจากค่าเคมี			
เคมีที่ใช้	จำนวนเคมีที่ใช้ (กิโลกรัม)	ราคาต่อ กิโลกรัม (บาท)	ค่าใช้จ่ายที่เสียไป ในแต่ละครั้ง (บาท)
กรดมะนาว (Citric Acid)	25	50	1,250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการที่เสียไปจากถังเมมเบรนในแต่ละครั้ง				
	จำนวนครั้งในการ ล้างเมมเบรน	ค่าใช้จ่าย จากสารเคมี (บาท/ครั้ง)	ค่าใช้จ่ายจากค่า ไฟฟ้า (บาท/ครั้ง)	รวมค่าใช้จ่ายที่ สูญเสียไปทั้งหมด (บาท)
ระบบออสโมซิส ย้อนกลับ แบบเดิม	6	1,250	47	7,782
ระบบออสโมซิส ย้อนกลับแบบที่ ได้พัฒนาขึ้น	2	1,250	47	2,594

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อกำหนดในการสื่อสาร(Communication Protocol) ของ
เครื่องควบคุมแบบตรรกะที่โปรแกรมได้ ผลิตภัณฑ์ Omron



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6-1 Host Link Command Summary.

The Host Link commands listed in the following table can be sent to the CQM1H for Host Link communications.

Header code	PC mode			Name	Page
	RUN	MON	PRG		
RR	Valid	Valid	Valid	IR/SR AREA READ	441
RL	Valid	Valid	Valid	LR AREA READ	441
RH	Valid	Valid	Valid	HR AREA READ	442
RC	Valid	Valid	Valid	PV READ	442
RG	Valid	Valid	Valid	TC STATUS READ	442
RD	Valid	Valid	Valid	DM AREA READ	443
RE	Valid	Valid	Valid	EM AREA READ	443
RJ	Valid	Valid	Valid	AR AREA READ	444
WR	Not valid	Valid	Valid	IR/SR AREA WRITE	444
WL	Not valid	Valid	Valid	LR AREA WRITE	445
WH	Not valid	Valid	Valid	HR AREA WRITE	445
WC	Not valid	Valid	Valid	PV WRITE	446
WG	Not valid	Valid	Valid	TC STATUS WRITE	446
WD	Not valid	Valid	Valid	DM AREA WRITE	447
WE	Not valid	Valid	Valid	EM AREA WRITE	448
WJ	Not valid	Valid	Valid	AR AREA WRITE	448
R#	Valid	Valid	Valid	SV READ 1	449
R\$	Valid	Valid	Valid	SV READ 2	450
R%	Valid	Valid	Valid	SV READ 3	451
W#	Not valid	Valid	Valid	SV CHANGE 1	452
W\$	Not valid	Valid	Valid	SV CHANGE 2	452
W%	Not valid	Valid	Valid	SV CHANGE 3	453
MS	Valid	Valid	Valid	STATUS READ	454
SC	Valid	Valid	Valid	STATUS WRITE	455
MF	Valid	Valid	Valid	ERROR READ	456
KS	Not valid	Valid	Valid	FORCED SET	457
KR	Not valid	Valid	Valid	FORCED RESET	458
FK	Not valid	Valid	Valid	MULTIPLE FORCED SET/RESET	459
KC	Not valid	Valid	Valid	FORCED SET/RESET.CANCEL	460
MM	Valid	Valid	Valid	PC MODEL READ	461
TS	Valid	Valid	Valid	TEST	461
RP	Valid	Valid	Valid	PROGRAM READ	462
WP	Not valid	Not valid	Valid	PROGRAM WRITE	462
QQ	Valid	Valid	Valid	COMPOUND COMMAND	462
XZ	Valid	Valid	Valid	ABORT (command only)	464
**	Valid	Valid	Valid	INITIALIZE (command only)	464
EX	Valid	Valid	Not valid	TXD RESPONSE (response only)	465
IC	---	---	---	Undefined command (response only)	465

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6-2 End Codes

6-2-1 Codes

The response (end) codes listed in the following table are returned in the response frame for Host Link commands. When two or more errors occur, the end code for the first error will be returned.

End code	Contents	Probable cause	Corrective measures
00	Normal completion	No problem exists.	--
01	Not executable in RUN mode	The command that was sent cannot be executed when the PC is in RUN mode.	Check the relation between the command and the PC mode.
02	Not executable in MONITOR mode	The command that was sent cannot be executed when the PC is in MONITOR mode.	
03	UM write-protected	The PC's UM is write-protected.	Turn OFF pin 1 of the CPU Unit's DIP switch (SW1).
04	Address over	The program address setting in an read or write command is above the highest program address.	Check the program.
13	FCS error	The FCS is wrong.	Check the FCS calculation method. If there was influence from noise, transfer the command again.
14	Format error	The command format is wrong, or a command that cannot be divided has been divided, or the frame length is smaller than the minimum length for the applicable command.	Check the format and transfer the command again.
15	Entry number data error	The data is outside of the specified range or too long. Hexadecimal data has not been specified.	Correct the data and transfer the command again.
16	Command not supported	The operand specified in an SV Read or SV Change command does not exist in the program.	Check search data or the search starting point.
18	Frame length error	The maximum frame length of 132 bytes was exceeded. If the frame exceeds 280 bytes, the Reception Overflow Flag will be turned ON and there will not be a response.	Check the command and divide it into multiple frames if necessary.
19	Not executable	The read SV exceeded 9,999, or an I/O memory batch read was executed when items to read were not registered for composite command.	Register items to read before attempting batch read.
23	User memory protected	The UM is write-protected.	Turn OFF the write-protection
A3	Aborted due to FCS error in transmission data	An FCS error occurred in the second or later frame, or there were two bytes or less of data in an intermediate or final frame for multiple writing.	Correct the command data and transfer the command again.
A4	Aborted due to format error in transmission data	The command format did not match the number of bytes in the second or later frame.	
A5	Aborted due to entry number data error in transmission data	There was an entry number data error in the second or later frame, a data length error, or data was not set in hexadecimal.	
A8	Aborted due to frame length error in transmission data	The length of the second and later frames exceeded the maximum of 128 bytes.	

A response will not be received with some errors, regardless of the command. These errors are listed in the following table.

Error	PC operation
Parity, overrun, or framing error during command reception. (Same even for commands address to other Units.)	The Communications Error Flag will be turned ON, an error code will be registered, and receptions will be reset. (The error will be cleared automatically if communications restart normally.) The Communications Error Flags are as follows: Peripheral port: AR 0812 Built-in RS-232C port: AR 0804 Serial Communications Board port 1: IR 20104, Serial Communications Board port 2: IR 20112
A command is received that does not have the @ character at the beginning of the first frame.	The command will be discarded.
Incorrect node number (Not a local unit or over 30)	The command will be discarded.
The data in an intermediate or final frame for multiframe writes is longer than 2 bytes.	An FCS error will occur.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6-2-2 Codes and Applicable Commands

The following table shows which end codes can be returned for each command.

Header	Possible End Codes								Comments
RR	00	13	14	15	18	A3	A8	---	
RL	00	13	14	15	18	A3	A8	---	
RH	00	13	14	15	18	A3	A8	---	
RC	00	13	14	15	18	A3	A8	---	
RG	00	13	14	15	18	A3	A8	---	
RD	00	13	14	15	18	A3	A8	---	
RE	00	13	14	15	18	A3	A8	---	
RJ	00	13	14	15	18			---	
WR	00 01	13	14	15	18	A3 A4 A5 A8		---	
WL	00 01	13	14	15	18	A3 A4 A5 A8		---	
WH	00 01	13	14	15	18	A3 A4 A5 A8		---	
WC	00 01	13	14	15	18	A3 A4 A5 A8		---	
WG	00 01	13	14	15	18	A3 A4 A5 A8		---	
WD	00 01	13	14	15	18	23 A3 A4 A5 A8		---	
WE	00 01	13	14	15	18	A3 A4 A5 A8		---	
WJ	00 01	13	14	15	18	A3 A4 A5 A8		---	
R#	00	13	14	15	16 18	23		---	
RS	00	04	13	14	15 16 18	23		---	
R%	00	04	13	14	15 16 18	23		---	
W#	00 01	13	14	15	16 18	23		---	
W\$	00 01	04	13	14	15 16 18	23		---	
W%	00 01	04	13	14	15 16 18	23		---	
MS	00	13	14		18			---	
SC	00	13	14	15	18 19			---	
MF	00	13	14	15	18			---	
KS	00 01	13	14	15	18			---	
KR	00 01	13	14	15	18			---	
FK	00 01	13	14	15	18			---	
KC	00 01	13	14		18			---	
MM	00	13	14		18			---	
TS		13	14		18			---	
RP	00	13	14		18	23 A3	A8	---	
WP	00 01 02	13	14	15	18 19	23 A3 A4 A5 A8		---	
QQ	00	13	14	15	18 19	A3 A4 A5 A8		---	
XZ								No response	
**								No response	
IC								No end code	
EX								No end code	

6-3 Communications Procedure

Host Link communications are executed by means of an exchange of commands and responses between the host computer and the PC.

With the CQM1H, there are two communications methods that can be used. One is the normal method, in which commands are issued from the host computer to the PC. The other method allows commands to be issued from the PC to the host computer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ

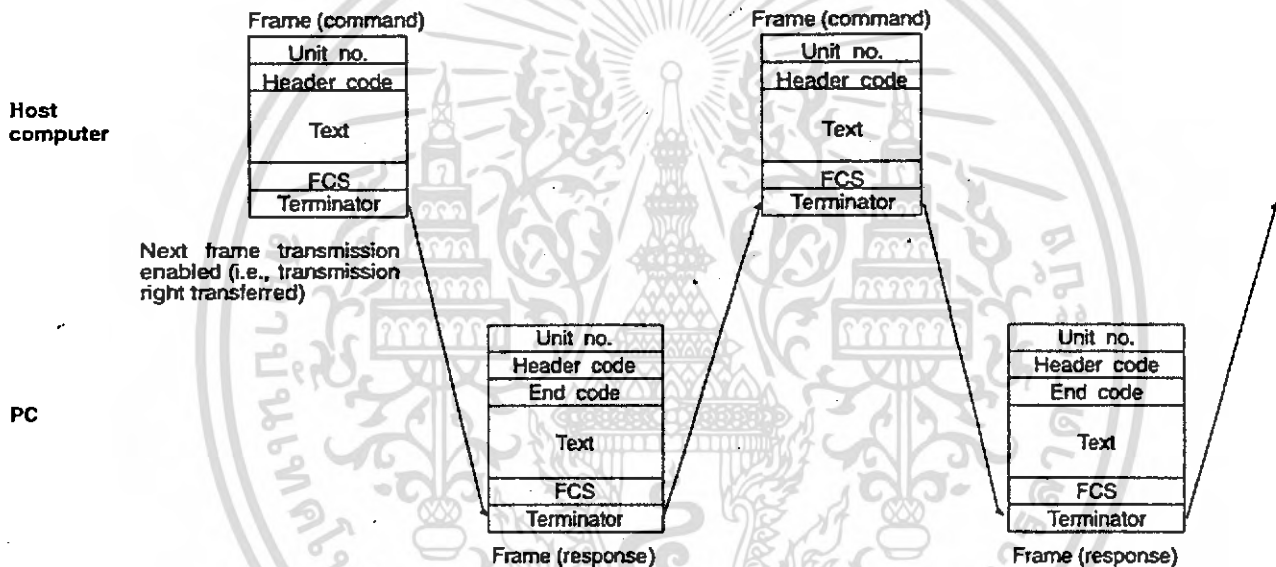
Frame Transmission and Reception

Commands and responses are exchanged in the order shown in the illustration below. The block of data transferred in a single transmission is called a "frame." A single frame is configured of a maximum of 131 characters of data.

The right to send a frame is called the "transmission right." The Unit that has the transmission right is the one that can send a frame at any given time. The transmission right is traded back and forth between the host computer and the PC each time a frame is transmitted. The transmission right is passed from the transmitting Unit to the receiving Unit when either a terminator (the code that marks the end of a command or response) or a delimiter (the code that sets frames apart) is received.

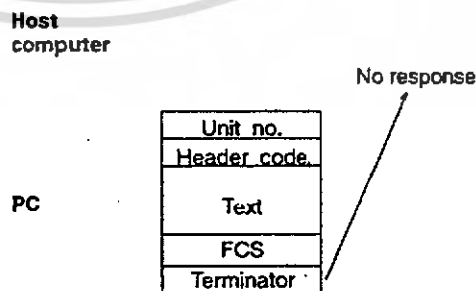
Commands from Host

In Host Link communications, the host computer ordinarily has the transmission right first and initiates the communications. The PC then automatically sends a response.



Commands from PC

With CQM1H PCs, it is also possible in Host Link communications for the PC to send commands to the host computer. In this case it is the PC that has the transmission right and initiates the communications.



When commands are issued to the host computer, the data is transmitted in one direction from the PC to the host computer. If a response to a command is required, use a Host Link communications command to write the response from the host computer to the PC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมการขนส่งทางบก ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6-4 Command and Response Formats

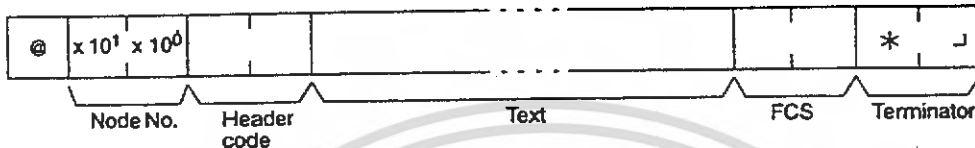
This section explains the formats for the commands and responses that are exchanged in Host Link communications.

6-4-1 Commands from the Host Computer

When a command is issued from the host computer, the command and response formats are as shown below.

Command Format

When transmitting a command from the host computer, prepare the command data in the format shown below.



@

An "@" symbol must be placed at the beginning.

Node No.

Identifies the PC communicating with the host computer.

Specify the Host Link node number set for the PC in the PC Setup (DM 6648 and DM 6653 for CPU Unit, DM 6553 and DM 6558 for Serial Communications Board).

Header Code

Set the 2-character command code.

Text

Set the command parameters.

FCS

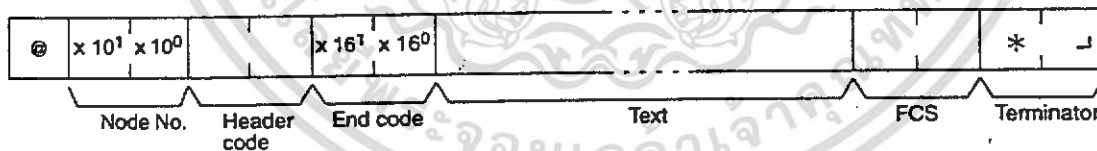
Set a 2-character Frame Check Sequence code. See page 439.

Terminator

Set two characters, "*" and the carriage return (CHR\$(13)) to indicate the end of the command.

Response Format

The response from the PC is returned in the format shown below. Prepare a program so that the response data can be interpreted and processed.



@, Node No., Header Code

Contents identical to those of the command are returned.

End Code

The completion status of the command (e.g., whether or not an error has occurred) is returned.

Text

Text is returned only when there is data such as read data.

FCS, Terminator

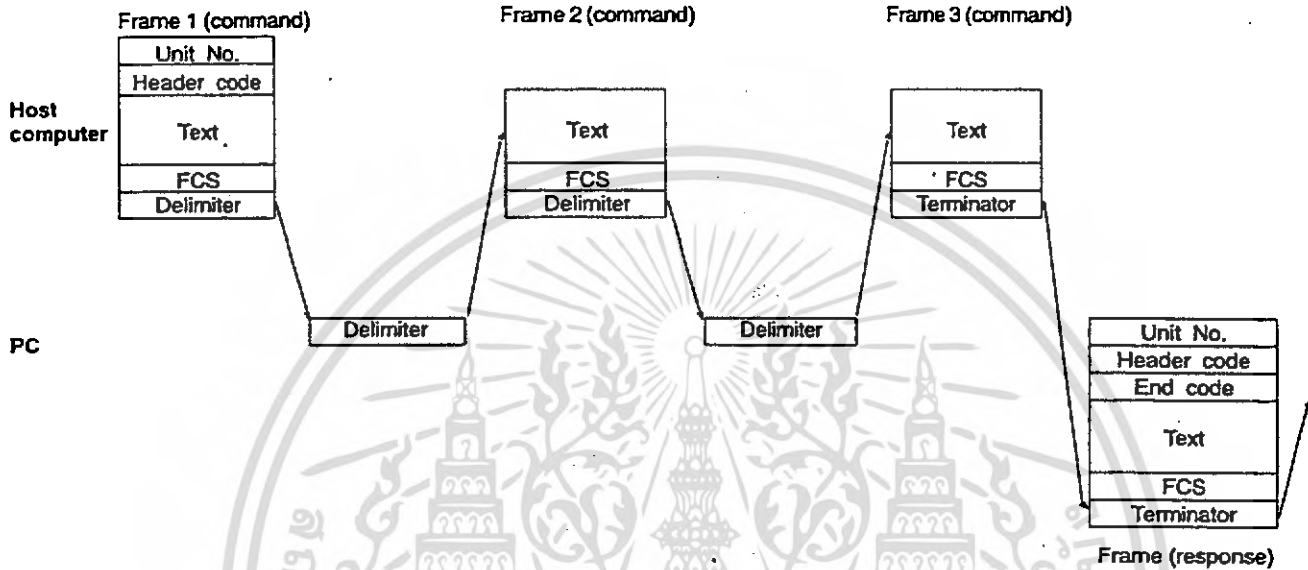
Refer to the corresponding explanations under "Command Format."

Long Transmissions

The largest block of data that can be transmitted as a single frame is 131 characters. A command or response of 132 characters or more must therefore be divided into more than one frame before transmission. When a transmission is split, the ends of the first and intermediate frames are marked by a delimiter instead of a terminator.

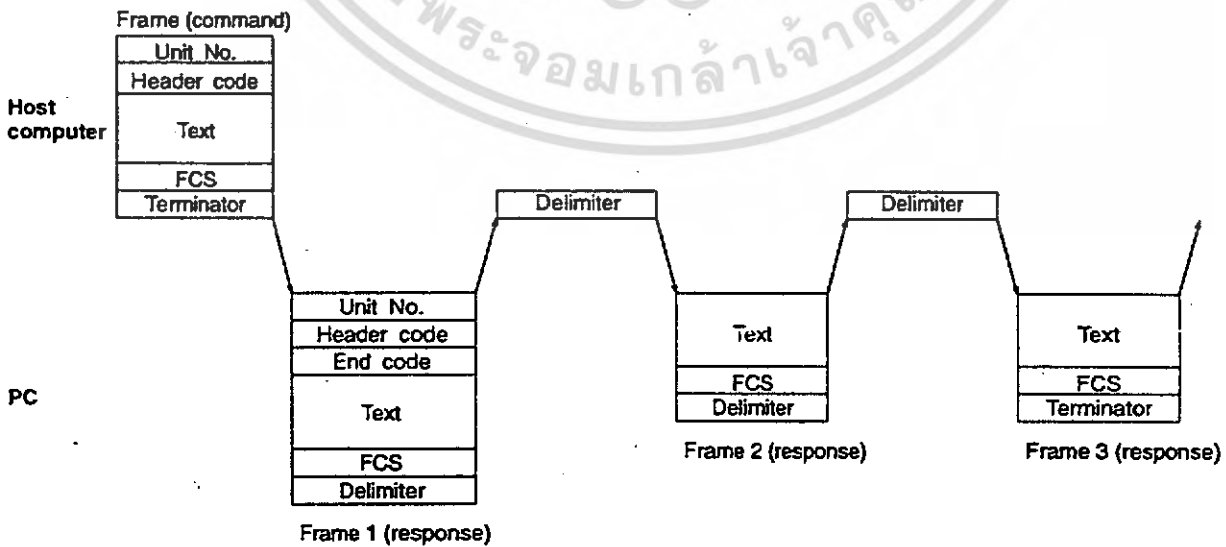
Dividing Commands (Host Computer to PC)

As each frame is transmitted by the host computer, the computer waits for the delimiter to be transmitted from the PC. After the delimiter has been transmitted, the next frame will then be sent. This procedure is repeated until the entire command has been transmitted.



Dividing Responses (PC to Host Computer)

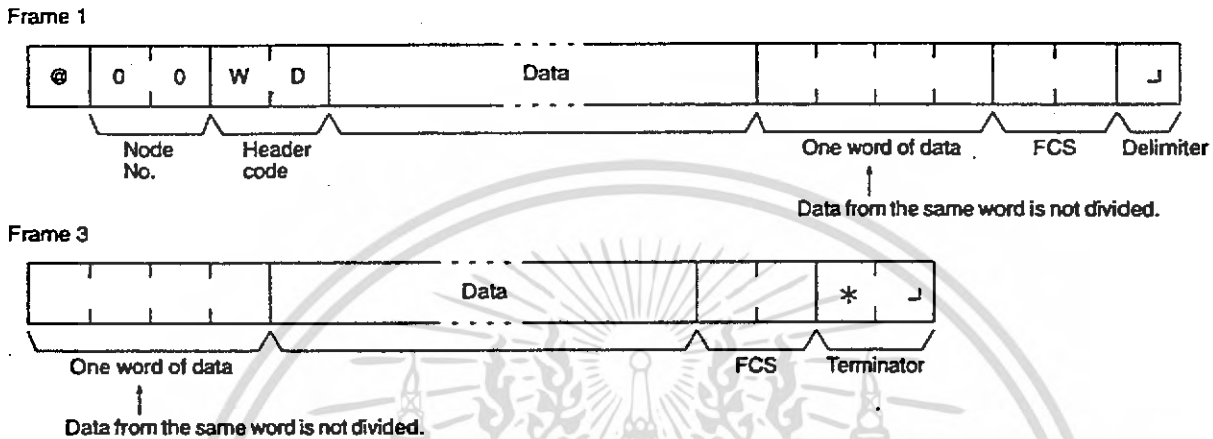
As each frame is received by the host computer, a delimiter is transmitted to the PC. After the delimiter has been transmitted, the PC will transmit the next frame. This procedure is repeated until the entire response has been transmitted.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

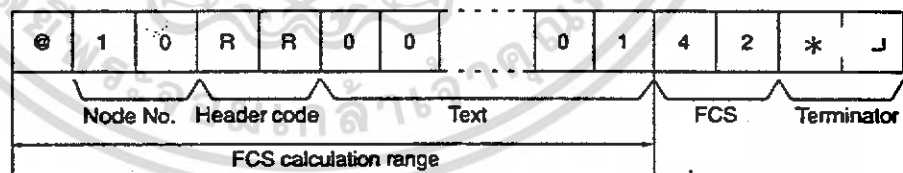
Precautions for Long Transmissions

When dividing commands such as WR, WL, WC, or WD that execute write operations, be careful not to divide into separate frames data that is to be written into a single word. As shown in the illustration below, be sure to divide frames so that they coincide with the divisions between words.



FCS (Frame Check Sequence)

When a frame is transmitted, an FCS is placed just before the delimiter or terminator in order to check whether any data error has been generated. The FCS is 8-bit data converted into two ASCII characters. The 8-bit data is the result of an EXCLUSIVE OR performed on the data from the beginning of the frame until the end of the text in that frame (i.e., just before the FCS). Calculating the FCS each time a frame is received and checking the result against the FCS that is included in the frame makes it possible to check for data errors in the frame.



ASCII code				
@	40	0100	0000	
		XOR		
1	31	0011	0001	
		XOR		
0	30	0011	0000	
		XOR		
R	52	0101	0010	
		...		
1	31	0011	0001	
Calculation result		0100	0010	
		↓	↓	Converted to hexadecimal.
		4	2	Handled as ASCII characters.

Example Program for FCS

This example shows a BASIC subroutine program for executing an FCS check on a frame received by the host computer.

```

400 *FCSCHECK
410 L=LEN(RESPONSE$) ' ..... Data transmitted and received
420 Q=0:FCCK$=""
430 A$=RIGHT$(RESPONSE$,1)
440 PRINT RESPONSE$,A$,L
450 IF A$="*" THEN LENG$=LEN(RESPONSE$)-3
      ELSE LENG$=LEN(RESPONSE$)-2
460 FCSP$=MID$(RESPONSE$,LENG$+1,2) ' .... FCS data received
470 FOR I=1 TO LENG$ ' ..... Number of characters in FCS
480 Q=ASC(MID$(RESPONSE$,I,1)) XOR Q
490 NEXT I
500 FCSD$=HEX$(Q)
510 IF LEN(FCSD$)=1 THEN FCSD$="0"+FCSD$ ' ..... FCS result
520 IF FCSD$<>FCSP$ THEN FCCK$="ERR"
530 PRINT"FCSD$=";FCSD$,"FCSP$=";FCSP$,"FCCK$=";FCCK$
540 RETURN

```

- Note**
1. Normal reception data includes the FCS, delimiter or terminator, and so on. When an error occurs in transmission, however the FCS or some other data may not be included. Be sure to program the system to cover this possibility.
 2. In this program example, the CR code (CHR\$(13)) is not entered for RESPONSE\$. When including the CR code, make the changes in lines 430 and 450.

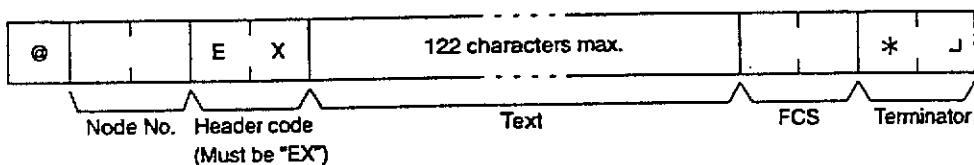
6-4-2 Commands from the PC

In Host Link communications, commands are ordinarily sent from the host computer to the PC, but it is also possible for commands to be sent from the PC to the host computer. In Host Link Mode, any data can be transmitted from the PC to the host computer. To send a command to the host computer, use the TRANSMIT instruction (TXD(48)) in the PC program in Host Link Mode.

TXD(48) outputs data from the specified port (the RS-232C port, the peripheral port, or ports 1 or 2 of the Serial Communications Board). Refer to page 410 for details on using TXD(48).

Reception Format

When TXD(48) is executed, the data stored in the words beginning with the first send word is converted to ASCII and output to the host computer as a Host Link command in the format shown below. The "@" symbol, node number, header code, FCS, and delimiter are all added automatically when the transmission is sent. At the host computer, it is necessary to prepare in advance a program for interpreting and processing this format.

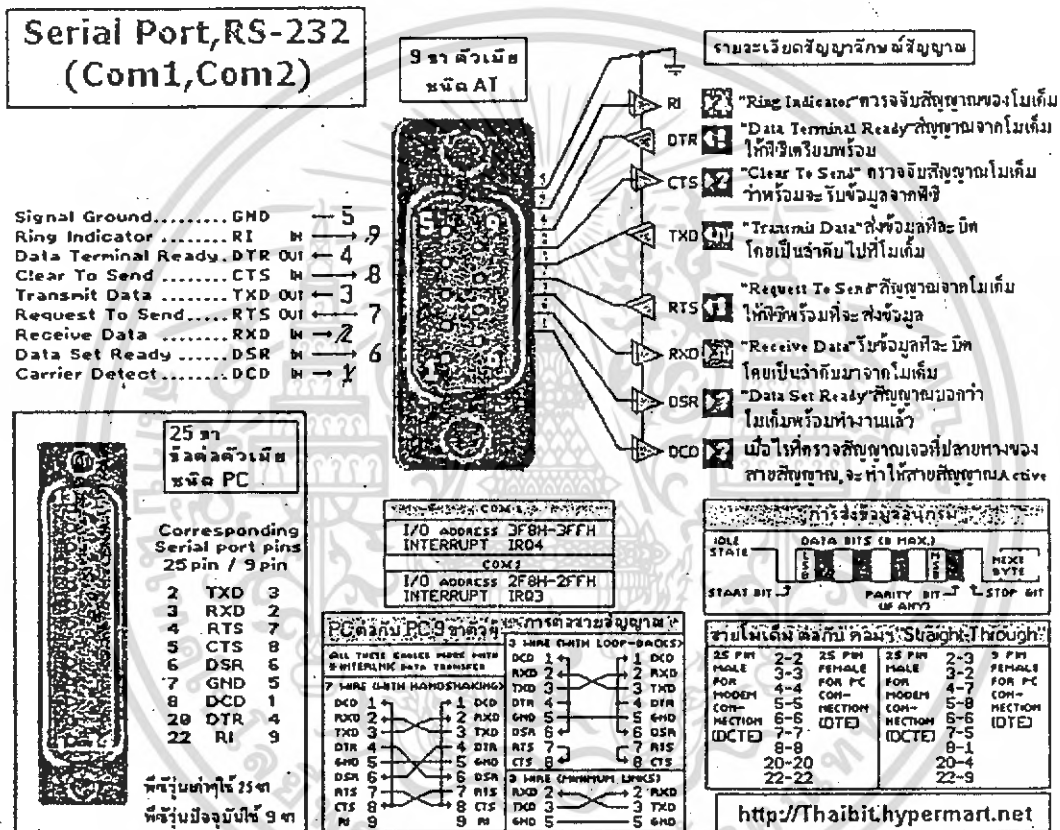


One byte of data (2 digits hexadecimal) is converted to two characters in ASCII for transmission, the amount of data in the transmission is twice the amount of words specified for TXD(48). The maximum number of characters for transmission is 122 and the maximum number of bytes that can be designated for TXD(48) is one half of that, or 61.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เฉพาะในโครงการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การเชื่อมต่อทางไฟฟ้าของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม
ตามมาตรฐาน RS-232C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์

1. ธเนศ หาญพัฒนนะนุสรณ์, มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ "การพัฒนา ระบบบออสโมซิสย้อนกลับโดยใช้คอมพิวเตอร์" วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 หน้า 52-57

2. Taned Harnpattanusorn, Monthon Leelajindakrairerk "Development of Reverse Osmosis System by Computer" Proceedings of the First Electrical Engineering/Electronics Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI) Annual Conference 13-14 May 2004



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ISSN 0125-1724

วิศวกรรม

ลาดกระบัง

ณวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 21 ฉบับที่ 1

มีนาคม 2547

1.	กระบวนการไฟโตโกลราฟิบนชั้นซิลิคอนไดออกไซด์สำหรับสร้างลวดลายวงรวมแบบเทคโนโลยีซิลิคอนขนาด 5 ไมครอน	1
	ชลิลา คุหาเวียง วีระ เพ็งจันทร์ สรศักดิ์ เนียมเจริญ สมเกียรติ ศกเศ	
2.	วงจรถ่วงสองแบบ เรล ที เรล	7
	สุพจน์ หุ่นย่อง กอบชัย เดชหาญ อภิรพีพงศ์ ชัยสายัณห์	
3.	วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นความถี่สูงและเท็องตรงสูงด้วยเทคโนโลยีซิลิคอน	12
	มนตรี คำเงิน สุรพันธ์ สุวรรณไพบลย์ ทพัฒน์ พรหมมี กอบชัย เดชหาญ	
4.	การวิเคราะห์และประเมินค่าสมรรถนะของการเข้ารหัส MC DS-CDMA โดยใช้ของสัญญาณการจพแบบภาคภูมิ	17
	ธเนศ พลายเพชร กอบชัย เดชหาญ	
5.	การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเครือข่ายท้องถิ่น WDM Bus ที่มีวิธีการเข้าถึงแบบ CSMA/CA	23
	อัญชลลา ราศรีมินทร์ กฤษณะพงศ์ พันธศรี สุวิมล สิทธิชีวภาค เกียรติกร วงศ์โรจน์ภรณ์	
6.	วงจรถ่วงกำลังแอดทีฟแบบขนาน 3 เฟสที่ใช้ตัวตรวจจับกระแสฮาร์มอนิก ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล	29
	ลิขิต ชูทรัพย์ วิจิตร กิณเรศ	
7.	การวิเคราะห์การกระจายของความเข้มข้นผิวตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีรูพรุนในการทดลองแทป	35
	ก่อพงศ์ หงษ์ศรี ผิงผาย พรรณาวดี	
8.	อิทธิพลของปัจจัยทางกายภาพที่มีต่อความรู้สึกทางความร้อนของคนไทยในสภาพแวดล้อมแบบสำนักงาน	41
	นุภาพ แยมไทรพัฒน์ โจเซฟ เคดารี จงจิตร หิรัญลาภ	
9.	คุณลักษณะในการลดเสียงของตัวเก็บเสียงชนิดกล่องกังวานคู่แบบเฮลิคัมโซลาร์	47
	มิ่ง โลกกิจแสงทอง ณัฐวุฒิ วิริยะจิตรสมบูรณ์	
10.	การพัฒนาเรบบอสโมซิสย้อนกลับโดยใช้คอมพิวเตอร์	52
	ธเนศ หาญพัฒนานุสรณ์ มณฑล ลีลาจินดากรฤกษ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาระบบออสโมซิสย้อนกลับโดยใช้คอมพิวเตอร์

Development of Reverse Osmosis System by Computer

ชเนศ หาญพัฒนานุสรณ์ มณฑาทิลาจินดาไกรฤกษ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ระบบออสโมซิสย้อนกลับเป็นระบบที่ใช้แยกน้ำออกจากสารละลายอินทรีย์ โดยอาศัยปัจจัยสองอย่างคือแรงดัน และเมมเบรน โดยเมื่อระบบผ่านการใช้งานไป จำนวนจะต้องมีการล้างทำความสะอาดเมมเบรนโดยพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อัตราการไหลที่ลดลงของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ ปริมาณความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ สุดท้ายคือแรงดันทางด้านเข้าทางด้านออกมีความแตกต่างกันมาก

บทความฉบับนี้นำเสนอเทคนิคใหม่ในการล้างทำความสะอาดเมมเบรน โดยใช้คอมพิวเตอร์ ช่วยในการคำนวณและประเมินประสิทธิภาพของเมมเบรน โดยใช้หลักการควบคุมระบบผ่านคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อกับระบบผ่านพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232C ในแบบ Hostlink Mode ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคใหม่ที่ได้เสนอนำไปประยุกต์ใช้กับระบบออสโมซิสย้อนกลับได้ดีและมีประสิทธิภาพ

Abstract

The reverse osmosis system is used to separate water from dissolved organic solution by a membrane and controlling the operating pressure. In a certain application, reverse osmosis system need to be cleaned by considering from the decreasing of water flow rate, the increasing of total dissolved solids (TDS) or the large pressure drop between influent and effluent.

This paper proposes a new technique of automatic cleaning in reverse osmosis system controlled by computer. The protocol (RS-232C) in the Hostlink mode is used as interfacing port for the computer to control the cleaning process. The results show that this new proposed technique can be applied for the increasing the efficiency of the system.

1. บทนำ

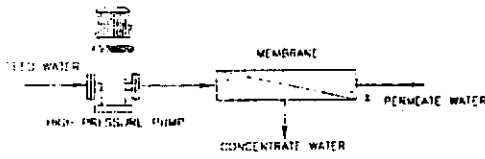
แม้ว่าวิศวกรและนักวิทยาศาสตร์จะรู้จักออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis : RO) มานานนับสิบปีแล้ว แต่ก็เพิ่งมีการพัฒนา RO จนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้ไม่นานมานี้เอง แต่ระบบ RO นั้นไม่ได้มีการพัฒนาในส่วนของการดูแลและคำนวณหาประสิทธิภาพที่แท้จริงของระบบ RO ซึ่งงานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการพัฒนาระบบ RO ขึ้นมาโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณหาประสิทธิภาพและดูแลระบบ RO ทำให้ระบบ RO มีความน่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้นและทำให้ลดค่าใช้จ่าย

จ่ายในการดูแลระบบ

2. ทฤษฎี

ออสโมซิสย้อนกลับ (RO) มีความสามารถในการกำจัดเกลือและสารอินทรีย์ต่างๆ ได้ ด้วยกลไกที่แตกต่างไปจากกลไกของการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) หรือการดูดซับ (Adsorption) [1] โดยระบบ RO สามารถกำจัดสารละลายต่างๆ ในน้ำได้โดยใช้เมมเบรน ซึ่งเมมเบรนจะยอมให้เฉพาะโมเลกุลของน้ำไหลผ่านเท่านั้น ส่วนไอออนต่างๆ ของเกลือจะถูกเมมเบรนผลักคั้นออกไปจึงไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้ และโมเลกุลของเกลืออินทรีย์

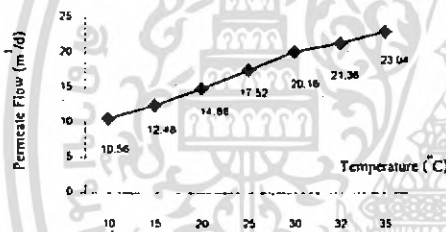
ต่างๆจะไม่ถูกเมมเบรนหลักคืนแต่ถูกกำจัดโดยการกรอง
ติดค้าง (Seive) โดยหลักการของระบบออสโมซิสย้อนกลับ
สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการทำงานของออสโมซิสย้อนกลับ

2.1 ปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบออสโมซิส
ย้อนกลับ (Reverse Osmosis: RO)

1. อุณหภูมิและพีเอช การเพิ่มอุณหภูมิแต่ละองศา
ช่วยให้อัตราการไหลของน้ำ (Water Flux) เพิ่มขึ้นไป
ด้วย(2)ดังรูปที่ 2 แต่ไม่เพิ่มการรั่วไหลของสารละลาย (Salt
Flux)แต่ถ้าต้องการให้เมมเบรนมีอายุการใช้งานนานๆ ควร
รักษาระดับพีเอชให้อยู่ในช่วง 3-7 และอย่าใช้น้ำที่มี
อุณหภูมิสูง

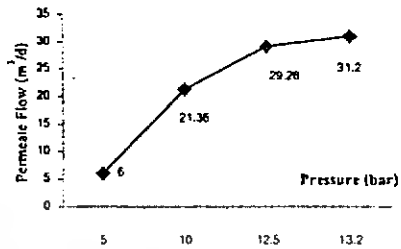


รูปที่ 2 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณน้ำสะอาด ที่ผลิตได้

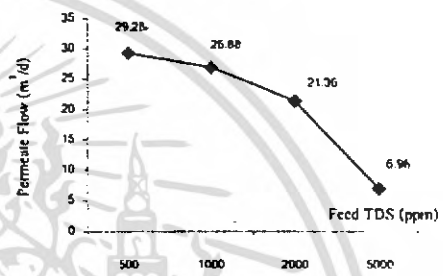
2. แรงดัน แรงดันมีอิทธิพลโดยตรงต่ออัตราการผลิต
น้ำสะอาด (Water Flux) ของระบบ RO เป็นอย่างมากแต่
แทบไม่มีผลกระทบต่ออัตราการรั่วไหลของสารละลาย
(Salt Flux) ด้วยเหตุนี้ การเพิ่มแรงดัน จึงมีผลทำให้ระบบ
RO สามารถผลิตน้ำสะอาดได้เพิ่มขึ้นดังรูปที่3 และทำให้
คุณภาพของน้ำดีขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามแรงดันสูงก็สามารถ
ส่งผลเสียได้เช่นกัน ทั้งนี้เพราะว่าแรงดันทำให้โครงสร้าง
ของเมมเบรนเกิดการอัดตัวแน่น จนกระทั่งน้ำไม่สามารถ
ไหลผ่านได้สะดวก ผลเสียอันนี้ถือว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้
อัตราการผลิตน้ำสะอาด (Water Flux) มีค่าลดลงเรื่อยๆ

3. ความเข้มข้นของน้ำดิบ การเพิ่มความเข้มข้นของ
สารละลายในน้ำดิบมีผลทำให้อัตราการผลิตน้ำ (Water

Flux) มีค่าลดลงดังรูปที่ 4 และทำให้สมรรถนะของระบบ
RO ลดลงเนื่องจากอัตราการรั่วไหลของสารละลาย (Salt
Flux) มีอัตราเพิ่มขึ้นพร้อมทั้งแรงดันออสโมซิสมีค่าเพิ่ม
ขึ้นด้วย



รูปที่ 3 ผลของแรงดันที่มีต่อปริมาณน้ำสะอาดที่ผลิตได้



รูปที่ 4 ผลของความเข้มข้นของสารละลายต่อปริมาณน้ำ
สะอาดที่ผลิตได้

2.2. การประยุกต์ระบบออสโมซิสย้อนกลับ

หลักการ ทำงาน ของระบบออสโมซิสย้อนกลับ
อัตโนมัติเป็นการพัฒนาจากระบบออสโมซิสย้อนกลับ
เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยที่ระบบ
สามารถคำนวณและวิเคราะห์หาแนวโน้มประสิทธิภาพ
ของเมมเบรนเพื่อทำความเข้าใจความสะอาดอัตโนมัติ ซึ่งกำหนดจาก
ปริมาณและคุณภาพน้ำสะอาดที่ผลิตได้ ซึ่งระบบออสโม
ซิสย้อนกลับอัตโนมัติจะมีอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 5

โดยการคำนวณและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเม
มเบรนจะเป็นการนำข้อมูลที่ได้อัตโนมัติ โดยแบ่งเป็น(3)

1.) ค่าหน่วยอัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ที่ลดลง
อันเนื่องมาจากการอุดตันของเมมเบรน

(Normalized Permeate Flow: PF)

$$PF = \frac{P_{fs} \frac{\Delta p_s}{2} - P_{ps} + \pi f_{cs}}{P_{fo} \frac{\Delta p_o}{2} - P_{po} + \pi f_{co}} \times \frac{TCF_s}{TCF_o} \times GF_o \quad (1)$$

Subscript s เป็นค่ามาตรฐาน (ได้จากการกำหนด)
 Subscript o เป็นค่าขณะระบบทำงาน (ได้จากการวัด)
 P_f แรงดันระบบทางด้านเข้า (Feed Pressure)
 $\Delta P/2$ ครึ่งหนึ่งของแรงดันในระบบที่ตกลง
 P_p แรงดันของระบบทางด้านออก (Product Pressure)
 GF_p อัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ (Product Flow)
 π_c แรงดันออสโมซิสรวมกับ Concentrate Return
 TCF แฟคเตอร์อุณหภูมิ

$$EXP \left[2640 \times \left\{ \frac{1}{298} - \frac{1}{(273+T)} \right\}; T \geq 25^\circ C \right]$$

กำหนดให้ $\pi_{fc_s} = \pi_{fc_o}$

2.) จำนวนหาความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการอุดตันของเมมเบรน (Normalized Permeate TDS: PT)

$$PT = \frac{P_{fo} - \frac{\Delta P_o}{2} - P_{po} - \pi_{fc_o} + \pi_{po}}{P_{fs} - \frac{\Delta P_o}{2} - P_{po} - \pi_{fc_o} + \pi_{po}} \times \frac{C_{fc_s}}{C_{fc_o}} \times GT_o \quad (2)$$

$$C_{fc} = \ln \frac{1-y}{y} \times C_f \quad (3)$$

y อัตราส่วนระหว่างน้ำสะอาดที่ผลิตได้กับน้ำดิบ (Recovery Ratio)

C_{fc} ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำดิบ (Feed TDS)
 GT_p ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ (Product TDS)

π_p แรงดันออสโมซิสทางด้านออก
 กำหนดให้ $\pi_{fc_s} = \pi_{fc_o}; \pi_{p_s} = \pi_{p_o}$

3.) จำนวนหาอัตราส่วนระหว่างน้ำสะอาดที่ผลิตได้กับปริมาณน้ำดิบ (% Recovery: %R)

$$\% \text{ Recovery} = \left[\frac{\text{Permeate Flow}}{\text{Feed Flow}} \right] \times 100 \quad (4)$$

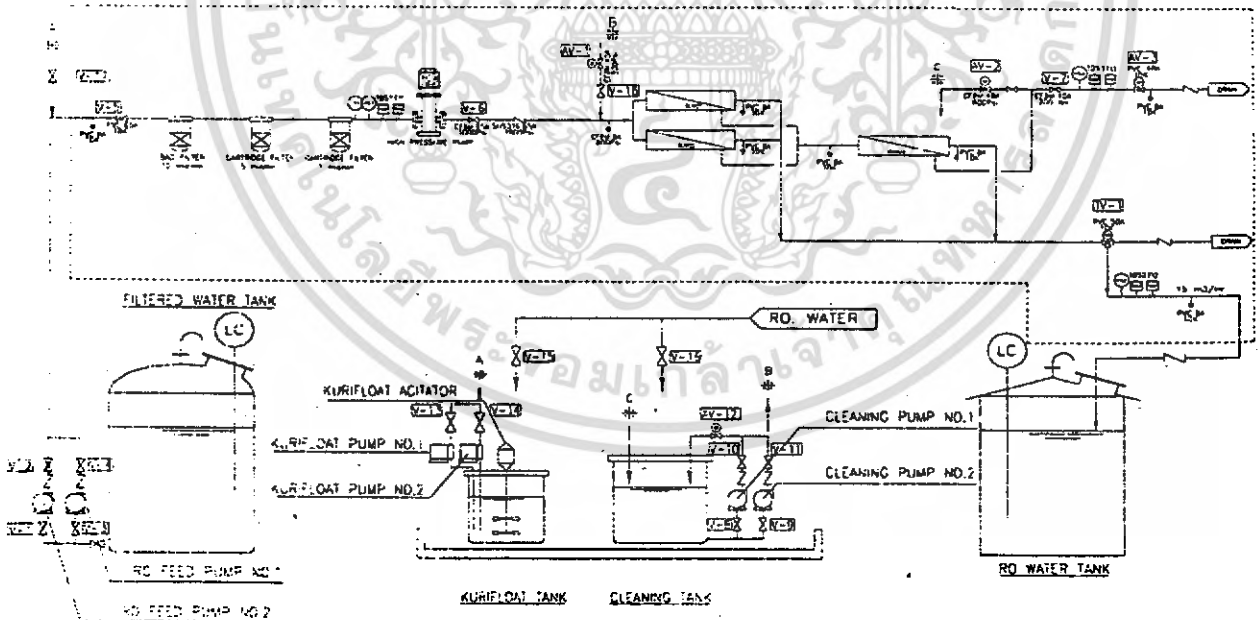
4.) จำนวนหาอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้กับความเข้มข้นเฉลี่ยของสารละลายในระบบ (% Salt Passage: %SP)

$$\% \text{ Salt Passage} = \left[\frac{\text{Permeate TDS}}{\text{Average TDS}} \right] \times 100 \quad (5)$$

$$\% \text{ Average TDS} = \left[\frac{\text{Concentrate TDS} + \text{Permeate TDS}}{2} \right] \times 100 \quad (6)$$

5.) จำนวนหาอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารละลายในน้ำทิ้ง (Concentrate Water) กับความเข้มข้นเฉลี่ยของสารละลายในระบบ (% Salt Rejection: %SR)

$$\% \text{ Salt Rejection} = 100 - \% \text{ Salt Passage} \quad (7)$$



รูปที่ 5 ระบบออสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวิเคราะห์

ขั้นตอนการวิเคราะห์และการประเมินประสิทธิภาพของเมมเบรนจะถูกปฏิบัติการบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer: PC) เพนเทียม III 500 MHz หน่วยความจำ 256 MB จากรูปที่ 5 การประเมินประสิทธิภาพของระบบ RO จะเป็นการนำข้อมูลที่ได้จาก Sensor มาใช้ประกอบในการพิจารณาและประเมินประสิทธิภาพของระบบ RO ซึ่งประกอบด้วย อัตราการไหล (FI1-FI3); ความดันในระบบ (PS1-PS3) และความเข้มข้นของสารละลายในน้ำ (TDS1-TDS3)

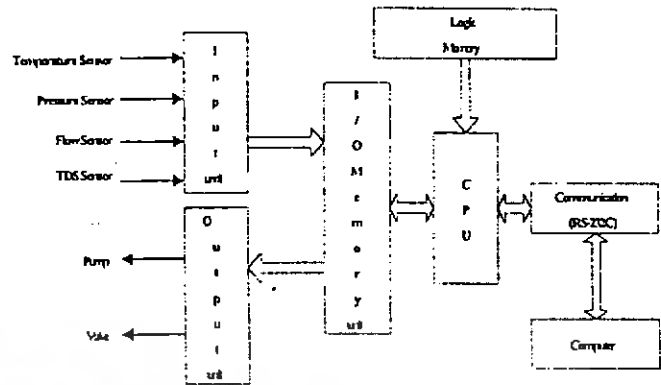
3.1 การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ

สัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากอุปกรณ์ภายนอกถูกนำมาเป็นข้อมูลป้อนให้ PLC และส่งผ่านไปยังคอมพิวเตอร์ ผ่าน Hostlink Mode (ดังแสดงในรูปที่ 6) จากนั้นโปรแกรม[4] จะทำการจัดการข้อมูลและคำนวณหาประสิทธิภาพของเมมเบรนพร้อมทั้งนำไปเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำที่กำหนดไว้เพื่อตัดสินใจให้ระบบเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดเมมเบรน

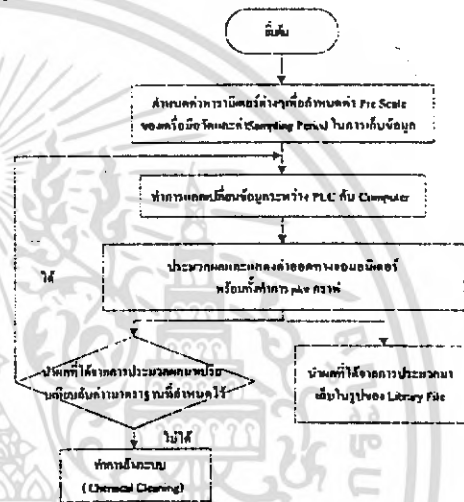
3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม สามารถสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 7 เริ่มแรกโปรแกรมจะทำการแสดงหน้าจอหลัก และทำการอ่านข้อมูลที่ผู้ใช้กำหนดคีย์หน้ากำหนดพารามิเตอร์ (Setting Parameter Page) ดังแสดงในรูปที่ 8 จากนั้น Software จะทำการอ่านข้อมูลจาก PLC ผ่าน Hostlink Mode พร้อมทั้งจัดการข้อมูลและคำนวณหาประสิทธิภาพของเมมเบรน ข้อมูลที่ได้จาก PLC และจากการคำนวณจะถูกแสดงในหน้าจอคอมพิวเตอร์พร้อมทั้งทำการบันทึกข้อมูลลงในไฟล์ข้อมูลเพื่อสะดวกและง่ายต่อการตรวจสอบย้อนกลับ (ดังแสดงในรูปที่ 9) ข้อมูลที่ได้จาก PLC และจากการคำนวณจะถูกแสดงในหน้าแนวโน้มประสิทธิภาพเมมเบรนในรูปกราฟ (Trend Performance Page) ดังแสดงในรูปที่ 10 จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลลงในไฟล์ข้อมูลเพื่อสะดวกและง่ายต่อการตรวจสอบย้อนหลัง โดยข้อมูลที่เก็บบันทึกไว้สามารถเปิดดูได้ในหน้าตรวจสอบ

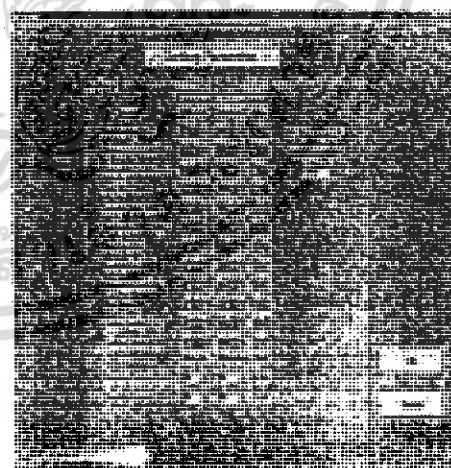
ประสิทธิภาพเมมเบรนย้อนหลังในรูปกราฟ (Historical Page) ดังแสดงในรูปที่ 9



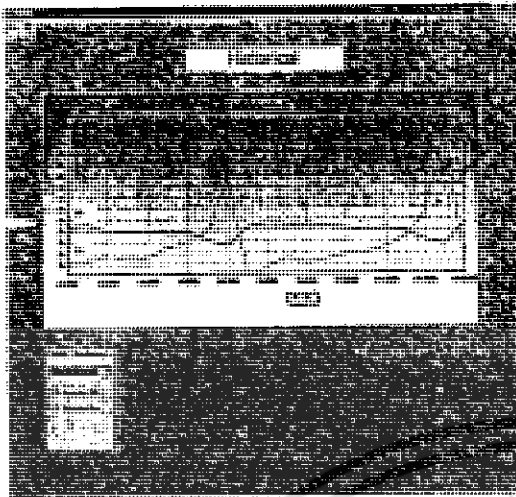
รูปที่ 6 ระบบอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ



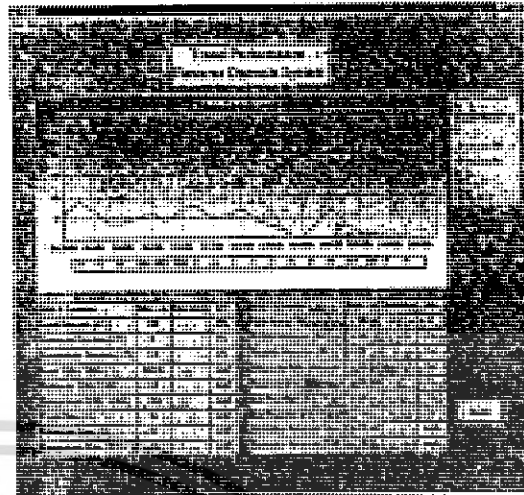
รูปที่ 7 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 8 Setting Parameter Page



รูปที่ 10 Historical Page



รูปที่ 11 Trend Performance Page

ตารางที่ 1 แรงดัน Feed Water (PS1) แรงดัน Permeate Water (PS2) แรงดัน Concentrate water (PS3)

ความเข้มข้นของสารละลายของ Feed Water (TDS1) ความเข้มข้นของสารละลายของ Permeate Water (TDS2)

ความเข้มข้นของสารละลายของ Concentrate Water (TDS3) อัตราการไหลของ Feed Water (F11) อัตราการ

ไหลของ Permeate Water (F12) อัตราการไหลของ Concentrate Water (F13) อุณหภูมิของ Feed Water (T1)

ผลการบันทึกข้อมูล											
เงื่อนไข	จำนวนที่วัด (ครั้งที่)	PS1 (psi)	PS2 (psi)	PS3 (psi)	TDS1 (ppm)	TDS2 (ppm)	TDS3 (ppm)	F11 (m ³ /hr)	F12 (m ³ /hr)	F13 (m ³ /hr)	T1 (°C)
มาตรฐาน		180.00	14.50	130.00	975.00	18.00	2475.00	52.00	39.00	13.00	32.00
	1	180.00	14.50	128.00	667.50	14.50	1725.00	54.00	40.90	13.10	32.60
	2	185.00	15.00	132.00	773.43	17.32	2752.00	54.00	41.00	13.00	31.50
	3	190.00	16.50	135.00	853.00	19.00	2205.00	54.00	40.20	13.80	32.60
	4	192.00	18.00	134.00	983.00	22.00	2785.00	53.00	38.20	14.80	32.00
	5	195.00	19.00	135.00	1050.00	24.00	2810.00	52.00	39.00	13.00	32.00
	6	198.00	20.00	135.00	851.00	23.40	2476.00	51.00	38.40	12.60	32.00
	7	200.00	21.00	138.00	752.00	22.00	2350.00	50.00	38.60	11.40	32.00
	8	202.00	22.00	138.00	1025.00	32.00	2204.00	51.00	35.00	16.00	32.00
ก่อนล้าง	9	210.00	29.00	145.00	1080.00	52.00	1725.00	52.00	32.00	20.00	32.00
หลังล้าง	10	182.00	14.50	125.00	982.00	16.00	2620.00	52.00	39.20	12.80	32.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 การคำนวณประสิทธิภาพของเมมเบรน

เงื่อนไข	จำนวนที่วัด (ครั้งที่)	%R	%SP	%SR	PF	PT
มาตรฐาน		75.00	1.44	98.56		
	1	75.74	1.67	98.33	37.0	20.78
	2	75.93	1.25	98.75	37.8	21.97
	3	74.44	1.71	98.29	34.8	22.76
	4	72.08	1.57	98.43	34.1	23.52
	5	75.00	1.69	98.31	34.6	23.15
	6	75.29	1.87	98.13	33.9	27.82
	7	77.20	1.85	98.15	33.8	29.00
	8	68.63	2.86	97.14	30.6	35.08
ก่อนล้าง	9	61.54	5.85	94.15	27.9	59.06
หลังล้าง	10	75.38	1.21	98.79	36.5	15.62

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 พบว่า PSI, PS2, PS3 TDS1, TDS2 ในการวัดครั้งที่ 9 (ก่อนล้าง) พบว่ามีค่าสูงขึ้น อันเนื่องมาจากเกิดการอุดตันในตัวเมมเบรนเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบ RO ลดลง แต่เมื่อมีการ Cleaning ระบบ ค่า PSI, PS2, PS3, TDS1, TDS2 ที่วัดได้ในครั้งที่ 10 (หลังล้าง) ลดลงเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ FI1, FI2, FI3 ในการวัดครั้งที่ 9 (ก่อนล้าง) พบว่าเมื่ออัตราการไหลของ Feed Water (FI1) มีค่าต่ำเดิม (52 m³/hr) แต่ค่าอัตราการไหลของ Permeate Water (FI2) มีค่าลดลงพร้อมกับอัตราการไหลของ Concentrate Water (FI3) มีค่าเพิ่มขึ้น อันเป็นผลมาจากเกิดการอุดตันของเมมเบรนและทำให้ประสิทธิภาพของระบบ RO ลดลง แต่เมื่อมีการ Cleaning ระบบ ที่อัตราการไหลของ Feed Water (FI1) เท่าเดิมคือ 52 m³/hr จะทำให้ได้อัตราการไหลของ Permeate Water (FI2) ที่ 39 m³/hr และค่า Concentrate Water (FI3) 12.80 m³/hr ซึ่งมีค่าใกล้เคียงมาตรฐานที่กำหนด

จากผลการบันทึกข้อมูลในตารางที่ 1 เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบ RO ผ่านคอมพิวเตอร์ (ดังแสดงในตารางที่ 2) จะพบว่าค่าอัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้ที่ลดลงอันเนื่องมาจากการอุดตันของเมมเบรน (PF) มีค่าลดลงจาก 37.08

(วัดครั้งที่ 1) เป็น 27.93 (วัดครั้งที่ 9) แต่เมื่อมีการ Cleaning ระบบค่า PF มีค่าเพิ่มเป็น 36.55 (วัดครั้งที่ 10) มีค่าใกล้เคียงกับการเดินระบบในครั้งแรก ค่าความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาดที่ผลิตได้ก็เพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการอุดตันของเมมเบรน (PT) มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม 20.78 (วัดครั้งที่ 1) เป็น 59.06 (วัดครั้งที่ 9) แต่เมื่อมีการ Cleaning ระบบ ค่า PT มีค่าลดลงเหลือ 15.62 (วัดครั้งที่ 10) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการเดินระบบในครั้งแรก (20.78) อัตราส่วนระหว่างน้ำสะอาดที่ผลิตได้ กับปริมาณน้ำดิบ หรือ %R ในการวัดครั้งที่ 9 เหลือ 61.54 และ %SP ในการวัดครั้งที่ 9 (5.85) จะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่ามาตรฐานที่กำหนด (1.44) แต่เมื่อ Cleaning ระบบ %SP และ %R มีค่าไม่เกินมาตรฐาน

4. บทสรุป

การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของเมมเบรนของระบบออสโมซิสย้อนกลับว่าสมควรเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดเมมเบรนหรือไม่จะช่วยทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย โดยการคำนวณหาประสิทธิภาพของเมมเบรนจะเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณและคุณภาพของน้ำสะอาดที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำสะอาดที่ต้องการ หากมีค่าเกินกว่าที่กำหนดไว้ระบบออสโมซิสย้อนกลับจะเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดเมมเบรนโดยอัตโนมัติ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. T. anaturavast, "Water Engineering", Chulalongkorn University, 1996, p155-189
- [2] J. M. T. Raycheba, "Membrane Technology Reference Guide", 700 University Avenue, Toronto, Ontario, 1990
- [3] ฉันทวุฒิ พิษผล คู่มือเรียน Visual Basic 6 บริษัท เอช เอ็น กรุ๊ป จำกัด 2542
- [4] V. Tipsuwanporn, J. Anotaiadikoon, S. Gulpanich, V. Krongratana and T. Suesut "Automation Cleaning Reverse Osmosis System base on Computer Analize.", PSE Asia, Taiwan, p. 535-540, 2002

ECTI Conference

2004

ECTI Association

Proceedings of The First Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI) Annual Conference



Development of Reverse Osmosis System by Computer

Taned Harnpattananusorn

Montron. Leelajindakraierk

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
Tel: (662) 326-4111 E-mail: Taned9@hotmail.com

ABSTRACT

Reverse Osmosis System is the system to separate water from any density solvents. It operates by two factors which are feed and product pressure and membrane. Same to other mechanism systems, it need to be maintenance and for Reverse Osmosis System when it should be cleansing the membrane. The answer depend on three factor first, decreasing in rate of pure water producing of the system second, increasing of solvent density in pure water and third, the high different between feed and pressure product. This paper will present computer technique to control the membrane cleansing. This technique will help us for calculation and evaluation efficiency of membrane. We can control the membrane through computer by link to RS-232c series port in Hostlink Mode. From the result we can conclude that this technique can be applied to enhance Reverse Osmosis System

Keyword: Reverse Osmosis , Membrane, Hostlink Mode

1. Introduction

Although Reverse Osmosis System was known by engineers and scientists for many decades but Reverse Osmosis System did not have enough development until recently it have been developed and encouraged important role in industry. According to efficiency of Reverse Osmosis System, engineers are trying to improve the system continuously and then follow with efficiency and cheaply membrane which is the important factor to encourage Reverse Osmosis System

2. Theory

Operating flow of Reverse Osmosis (RO) is different from other mechanism ,RO will eliminate salt and any organics by Ion Exchange and Absorption. RO can eliminated an organics because only water molecule can be though type [2] membrane, but for salt molecule, it will be pushed out by membrane and for any organics molecule, it will be filtered and seized on membrane.

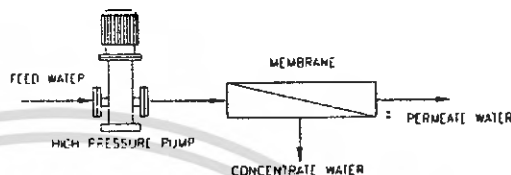


Fig. 1: Operating Flow of Reverse Osmosis System

2.1 Determining factor to potential Reverse Osmosis system

1. Temperature and PH each of degree increasing in temperature will stimulate rate of water flux but do not induce leakage of salt flux. In order to prolong life time of membrane, should be keep PH level in range 3-7 and do not use in over high temperature.

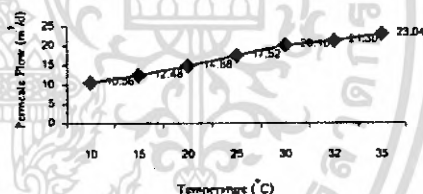


Fig. 2: Temperature of Pure water from System

2. Pressure will directly effect to rate of producing water flux [3] of the system but it rarely effect rate of salt flux. For this reason ,Increasing pressure to the system will enhance rate and quality of pure water production. However the over high pressure will also discourage the system since the over pressure will over tighten structure of membrane until water do not simply flow and will be decrease rate of water flux. gradually

3. Density of raw water

An increasing density of raw water has lead to decreasing in rate of water flux and efficiency of Reverse Osmosis system since it increase rate of salt flux leakage and also osmosis pressure

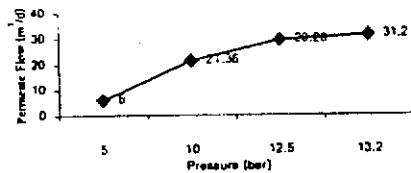


Fig. 3: Effect of Pressure on Pure Water

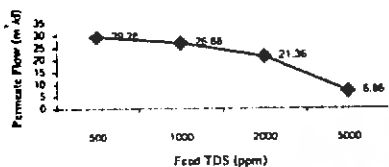


Fig. 4: Density of Solvent in Production Pure Water

2.2 Applied Reverse Osmosis System

An operation of Automatic Reverse Osmosis system has developed from Reverse Osmosis System to enhance the system efficiency. Automatic Reverse Osmosis System can calculate and analyze for efficiency and also automatic membrane cleaning which it depend on quality and quantity of produced pure water. Figure 5 will show Automatic Reverse Osmosis System's equipment. Step of calculation and analysis efficiency of membrane are the following

1. Calculating a decreasing in rate of pure water production caused from permeableness of membrane (Normalize Permeate Flow :PF)

$$PF_s = \left[\frac{(P_{f_s} - \Delta P_s / 2 - P_{p_s} + \pi_{f_s}) \cdot TCF_s}{(P_{f_o} - \Delta P_o / 2 - P_{p_o} + \pi_{f_o}) \cdot TCF_o} \right] \cdot PF_o \quad (1)$$

P_f : Feed Pressure

$\Delta P/2$: One half divide pressure drop

P_p : Product Pressure

PF : Product Flow

π_{fc} : Osmotic Pressure and Concentrate Return Pressure

TCF : Temperature correction factor

$$EXP \left[\frac{2640 \cdot (1 / 298 - 1 / (273 + T))}{T} \right] \cdot T \geq 25^\circ C$$

s : standard condition

o : operation condition

(In calculation assume $\pi_{f_c} = \pi_{f_o}$)

2. Calculating an increasing in rate of density in pure water caused from permeableness of membrane (Normalize Permeate TDS:PT)

$$PT_s = \left[\frac{(P_{f_s} - \Delta P_s / 2 - P_{p_s} - \pi_{f_s} + \pi_{p_s}) \cdot C_{f_s}}{(P_{f_o} - \Delta P_o / 2 - P_{p_o} - \pi_{f_o} + \pi_{p_o}) \cdot C_{f_o}} \right] \cdot PT_o \quad (2)$$

$$CF_c = \left[\ln \left(\frac{1}{1-Y} \right) / Y \right] \cdot C_f \quad (3)$$

Y : Recovery Ratio

C_f : Feed TDS

P_{p_o} : Product TDS

π_p : Osmotic pressure of the permeate

(In calculation assume $\pi_{f_c} = \pi_{f_o}$; $\pi_{p_s} = \pi_{p_o}$)

3. Calculating a ratio of pure water and raw water quantity (% Recovery:%R)

$$\% Recovery = \left[\frac{Permeate Flow}{Feed Flow} \right] \cdot 100 \quad (4)$$

4. Calculating a ratio of solvent's density in pure water and average solvent's density of system

$$\% Salt Passage = \left[\frac{Permeate TDS}{Average TDS} \right] \cdot 100 \quad (5)$$

$$\% Average TDS = \frac{Concentrate TDS + Permeate TDS}{2} \quad (6)$$

5. Calculating a ratio of solvent's density in concentrate water and average solvent's density of system (% Salt Rejection :%SR)

$$\% Salt Rejection = 1 - \% Salt Passage \quad (7)$$

3. Analysis

The step of analysis and evaluating efficiency of membrane will operate on personal computer pentium 500MHZ 256 MB

3.1 Efficiency analysis

Taking analog and digital signal from outsource equipment to be data for PLC and passing data through computer by hostlink mode. The program will manage and calculating for efficiency of membrane parallel to comparing with predetermined quality of water in order to making decision for cleaning membrane process.

3.2 Operating flow of program

First, the program will display on Setting Parameter Page (figure 7) and read the data as the user defined at the setting program, then software will read the data from PLC through Hostlink model and also manage data along with calculate the membrane efficiency (figure 6). Data collected from PLC and calculation results will display on computer screen and record the data to the file for conveniently and cross checking the data at later date. Data from PLC and calculating will display in Historical Page. Then will store data to file for convenient and cross checking later. The stored data can open in Historical Page in graph display show in figure 8

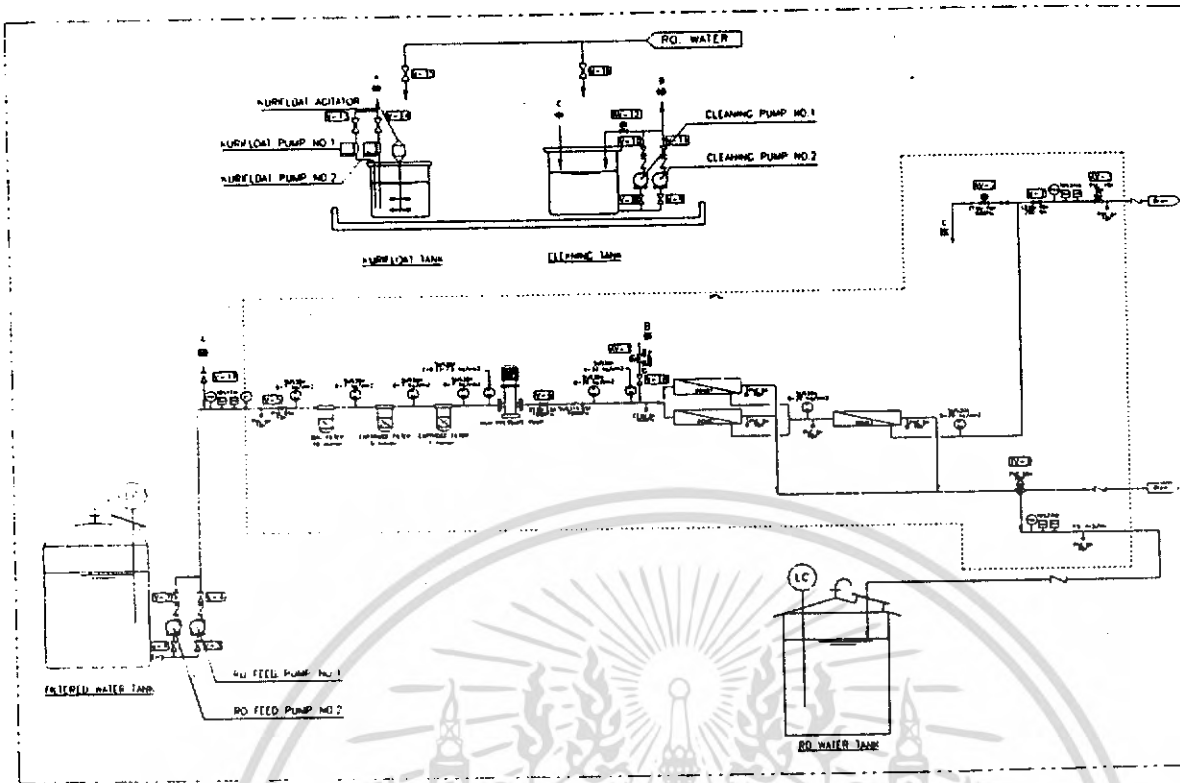


Fig. 5: Automation Reverse Osmosis System

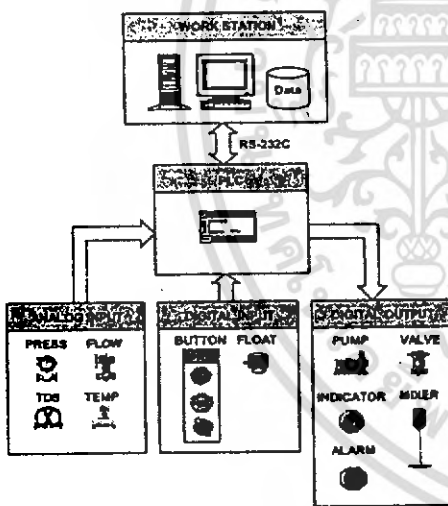


Fig. 6 :Communication Setting

Parameter	Min	Max	Unit
Feed Pressure (P1)	0.0	1.0	kg/cm ²
Permeate Pressure (P2)	0.0	0.5	kg/cm ²
Electrode Conductivity (P3)	0.0	1000.0	µS/cm
Feed Flow (P4)	0.0	10.0	m ³ /hr
Permeate Flow (P5)	0.0	10.0	m ³ /hr
Conductivity (P6)	0.0	1000.0	µS/cm
Feed Flow (P7)	0.0	10.0	m ³ /hr
Permeate Flow (P8)	0.0	10.0	m ³ /hr
Electrode Conductivity (P9)	0.0	1000.0	µS/cm
Feed Pump (P10)	0.0	10.0	m ³ /hr
Valve Pressure (P11)	0.0	1.0	kg/cm ²
Permeate Pressure (P12)	0.0	0.5	kg/cm ²
Conductivity (P13)	0.0	1000.0	µS/cm
Feed Pressure (P14)	0.0	1.0	kg/cm ²
Permeate Pressure (P15)	0.0	0.5	kg/cm ²

Fig. 7:Setting Parameter

from figure 7 show parameter setting of Reverse Osmosis System before operate

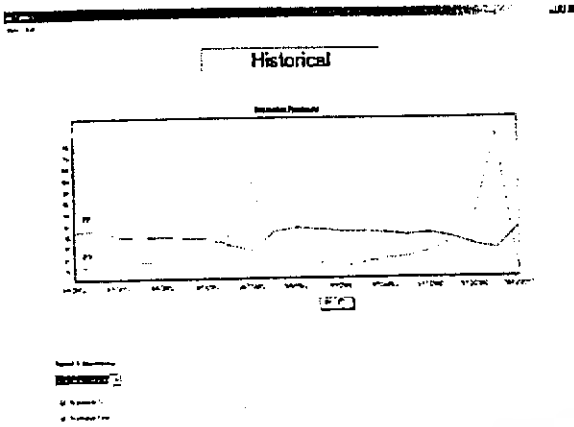


Fig. 8: Efficiency of Membrane

from figure 8 show efficiency of membrane by calculation from equation

Table 1: Calculation Efficiency of Membrane

Condition	Measurement (No.)	%R	%SP	%SR	PF	PT
Standard		75.00	1.44	98.56		
	1	75.74	1.67	98.33	37.08	20.78
	2	75.93	1.25	98.75	37.81	21.97
	3	74.44	1.71	98.29	34.82	22.76
	4	72.08	1.57	98.43	34.15	23.52
	5	75.00	1.69	98.31	34.62	23.15
	6	75.29	1.87	98.13	33.98	27.82
	7	77.20	1.85	98.15	33.81	29.00
	8	68.63	2.86	97.14	30.65	35.08
Before Cleansing	9	61.54	5.85	94.15	27.93	59.06
After Cleansing	10	75.38	1.21	98.79	36.55	15.62

4. Conclusion

We apply computer for calculating membrane efficiency in Reverse Osmosis System, whether membrane should be cleaning. It will save expenditure and time. The system will calculating membrane efficiency by analyzing and comparing quality and quantity of produced pure water to predetermined value. If the rate is deviated from predetermined value the system will clean membrane automatically.

5. Reference

- [1] Dr.M.Tantunravast, "Water Engineering" Chulalongkorn University; 1996, p.155-189
- [2] John M.T. Raycheba; " Membrane Technology Reference Guide", 700 University Avenue Toronto; Ontario, 1990
- [3] Osmosis; " Pure Water Hand Book"; Osmosis; Minesota; USA, 1991; p.54-94
- [4] Omron, " Omron Syswin Software Programming Tool for Omron Programmable Logic Controllers"; Omron Electronics; Japan, 1997
- [5] V.Tipsuwanporn, J. Anotaiadikoon "Automation Cleaning Reverse Osmosis System base on Computer Analyze"; International Symposium on Design, Operation and Control of Chemical Processes, (PSE Asia 2002) 2002, p.535-54

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายธนศ หาญพัฒนะนุสรณ์
วันเดือนปีเกิด	17 เมษายน 2519 ที่ กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	215/96 ถนนประชาราฎร์ 1 แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10700 โทร 0-25857982
ประวัติการศึกษา	2543 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1) ระบบ Water Treatment 2) ระบบ Waste Water Treatment 3) SCADA
ประสบการณ์ทำงาน และผลงานวิจัย	พ.ศ.2543-ปัจจุบัน ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า บริษัท โกลู-โคชั่น จำกัด
ผลงานทางวิชาการ	1.Taned Harnpattanusorn, Monthon Leelajindakraierk "Development of Reverse Osmosis System by Computer" Proceedings of the First Electrical Engineering/Electronics Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI) Annual Conference 13-14 May 2004 2. ธนศ หาญพัฒนะนุสรณ์, มณฑล สีสลาจินดาไกรฤกษ์ "การพัฒนาบบออสโมซิสย้อนกลับโดยใช้คอมพิวเตอร์" วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 หน้า 52-57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้