สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทำความสะอาดระบบออสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัติ โดยวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์

AUTOMATION CLEANING REVERSE OSMOSIS SYSTEM BASE ON COMPUTER ANALIZE

T049517

จตุวิทย์ อโนทัยอดิกูล

JATTUWIT ANOTHAIADIKOON

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49517
วัน, เดือน, ปี 24 ก.พ. 2547

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2546

ISBN 974-324-570-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATION CLEANING REVERSE OSMOSIS SYSTEM BASE ON COMPUTER ANALIZE

JATTUWIT ANOTHAIADIKOON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENT ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

ISBN 974-324-570-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำความสะอาดระบบออสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัติโดยวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์
นักศึกษา	นาย จตุวิทย์ อโนทัยอดิกูล
รหัสนักศึกษา	44061401
ปริญญา	มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. สุพรรณ กุลพาณิชย์

บทคัดย่อ

ในขณะที่ระบบการผลิตน้ำดื่ม และ น้ำบริสุทธิ์ ถูกนำไปใช้อย่างมากในโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้ ระบบออสโมซิสย้อนกลับ นั้นกลายมาเป็นที่นิยม และ ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากประสิทธิภาพในการกำจัดเกลือแร่ และ สารอินทรีย์ ในน้ำของมัน แต่อย่างไรก็ดีระบบเมมเบรนนั้นต้องมีการทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ

ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอถึงวิธีการใหม่ในการทำความสะอาดเมมเบรนใน ระบบออสโมซิสย้อนกลับ โดยการใช้คอมพิวเตอร์คำนวณ และ วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเมมเบรน เพื่อตัดสินใจเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดอัตโนมัติ สำหรับตัวแปรที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของเมมเบรนนั้นประกอบด้วย ปริมาณสารละลายในน้ำ อัตราการไหล ความดัน และ อุณหภูมิของน้ำ โดยตัวแปรเหล่านี้จะถูกนำมาวิเคราะห์ใช้ในการตัดสินใจเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดอัตโนมัติ เพื่อที่จะรักษาปริมาณ และ คุณภาพน้ำ ของระบบออสโมซิสย้อนกลับให้คงปริมาณ และ คุณภาพดีอยู่เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 หลักการออกแบบระบบ Reverse Osmosis.....4

2.1 นิยาม และ คำจำกัดความ ของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบ Reverse Osmosis.....4

2.2 หลักการทำงานพื้นฐานของระบบ Reverse Osmosis.....4

2.2.1 การคำนวณหาแรงดันออสโมซิส (Osmotic Pressure).....6

2.2.2 ขีดความสามารถของกระบวนการ Reverse Osmosis.....8

2.2.3 กลไกการทำงานของ Reverse Osmosis ในการกำจัดสารต่างๆ.....8

2.3 การคำนวณ และ ออกแบบระบบ Reverse Osmosis.....12

2.3.1 พารามิเตอร์สำหรับออกแบบระบบ Reverse Osmosis 12

2.3.2 วิธีคำนวณและออกแบบระบบ Reverse Osmosis 15

2.3.3 การออกแบบระบบ Reverse Osmosis ด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรม.....16

2.3.4 การต่อเมมเบรน.....17

2.3.5 มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม.....18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ Reverse Osmosis.....20

3.1 Membrane ที่ใช้ในระบบ Reverse Osmosis.....20

3.1.1 วัสดุของ Reverse Osmosis เมมเบรน.....20

3.1.2 รูปแบบของเมมเบรน.....21

3.2 ระบบ Pretreatement ของ Reverse Osmosis.....25

3.2.1 การกำจัดคอลลอยด์ และ สารแขวนลอย.....25

3.2.2 การกำจัดแบคทีเรีย.....25

3.2.3 การกำจัดคลอรีน.....26

3.2.4 การกำจัดน้ำมัน และ ไขมัน.....26

3.3 เครื่องสูบน้ำที่มีแรงดันสูง.....27

3.3 เครื่องมือวัดที่ใช้ในกระบวนการ.....28

บทที่ 4 หลักการทำงาน และ ควบคุมระบบ Reverse Osmosis.....29

4.1 การทำงานของระบบ Reverse Osmosis.....29

4.2 การควบคุมระบบ Reverse Osmosis.....31

บทที่ 5 การเกิด Fouling และ วิธีการ Cleaning.....32

5.1 สาเหตุของการ Fouling.....32

5.1.1 การเกิดตะกรันบนเมมเบรน (Scale Fouling) 32

5.1.2 การตกผลึกของเหล็กและแมงกานีส (Iron & Manganese Oxide Fouling).33

5.1.3 การอุดตันเนื่องจากสารคอลลอยด์ (SDI Fouling) 33

5.1.4 การอุดตันเนื่องจากจุลินทรีย์ (Biological Fouling).....34

5.2 วิธี และ ขั้นตอนการ Cleaning.....34

5.2.1 วิธีการ Cleaning.....34

5.2.2 ขั้นตอนการ Cleaning.....35

บทที่ 6 การคำนวณหาประสิทธิภาพของ Membrane.....37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.1 Normalize Permeate Flow (PF).....38

6.2 Normalize Permeate TDS (PT).....38

6.3 Recovery (%R).....40

6.4 Salt Passage (%SP).....41

6.5 Salt Rejection (%SR).....41

บทที่ 7 การประยุกต์ และ พัฒนาระบบ Reverse Osmosis.....42

7.1 การประยุกต์และพัฒนาระบบสู่ Automation Reverse Osmosis.....42

7.1.1 รายละเอียดและหน้าที่ของอุปกรณ์ที่เพิ่มเติม.....43

7.2 การควบคุมระบบ Automation Reverse Osmosis.....44

บทที่ 8 การออกแบบและใช้งาน Software Computer.....45

8.1 การออกแบบ Software.....45

8.1.1 Software ที่ทำการติดต่อสื่อสาร และ จัดการข้อมูลกับ PLC.....45

8.1.2 Software ที่ติดต่อกับผู้ใช้.....48

8.1.3 Software ที่ทำการคำนวณ บันทึกข้อมูล และ แสดงผลในรูปของกราฟ.....50

8.2 ขั้นตอนการทำงานของ Software.....50

8.3 การใช้งาน Software.....52

บทที่ 9 ผลการทดลอง.....57

9.1 ผลการทดลอง.....58

บทที่ 10 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....67

บรรณานุกรม.....68

ภาคผนวก ก. 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ข. 87

ภาคผนวก ค. 123

ภาคผนวก ง. 144

ภาคผนวก จ. 146

ภาคผนวก ฉ. 147

ประวัติผู้เขียน.....160

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 แรงดันออสโมซิสของสารประกอบบางชนิดที่ 25 °C.....6
2.2 ความสามารถของ RO ในการกำจัดสารละลาย Anions.....9
2.3 ความสามารถของ RO ในการกำจัดสารละลาย Cations.....10
2.4 ความสามารถของ RO ในการกำจัดสารอินทรีย์.....12
2.5 มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภค.....18
2.6 มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม.....19
2.7 มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์.....19
3.1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเมมเบรนชนิด CA และ PA.....21
3.2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ RO Module แบบต่างๆ.....24
3.3 คุณสมบัติของน้ำดิบก่อนเข้าระบบออสโมซิสย้อนกลับในอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม.....26
4.1 คำจำกัดความของอุปกรณ์ในระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....29
6.1 ตารางการเก็บข้อมูลเพื่อใช้คำนวณหาประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....37
8.1 ตารางแสดงการคำนวณ Frame Check Sequence (FCS) 47
9.1 มาตรฐานของน้ำดิบและน้ำที่ผลิตได้จากระบบออสโมซิสย้อนกลับ.....57
9.2 แนวโน้มประสิทธิภาพเมมเบรน.....60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ออสโมซิส	5
2.2	ออสโมซิสย้อนกลับ	5
2.3	กลไกการกำจัดเกลือแร่ของระบบออสโมซิสย้อนกลับ	8
2.4	กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบออสโมซิสย้อนกลับ	11
2.5	สัญลักษณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณระบบ RO	15
2.6	ตัวอย่างการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรม	16
2.7	การต่อเมมเบรนแบบขนานและแบบอนุกรม	17
3.1	RO-Plate and Frame Module	21
3.2	RO-Tubular Module	22
3.3	RO-Spiral Wound Module	23
3.4	RO-Hollow Fiber Module	23
3.5	Vertical multistage centrifugal pump	27
4.1	ระบบออสโมซิสย้อนกลับ	29
4.2	ขั้นตอนการทำงานของระบบออสโมซิสย้อนกลับ	30
4.3	รูปแบบของอุปกรณ์ควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับ	31
5.1	ขั้นตอนในการทำความสะอาดระบบออสโมซิสย้อนกลับ	36
7.1	ระบบออสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัติ	42
7.2	รูปแบบของอุปกรณ์ควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัติ	44
8.1	การติดต่อสื่อสารระหว่าง PLC กับ Computer	45
8.2	รูปแบบของบล็อกคำสั่งและบล็อกตอบสนอง (Hostlink Mode)	45
8.3	การส่ง Command and Response Command Block ระหว่างคอมพิวเตอร์กับ PLC	46
8.4	สัญญลักษณ์ที่ใช้ในกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ	48
8.5	ขั้นตอนการทำงานของ Software	51
8.6	หน้าจอหลัก (Main Menu Page)	52
8.7	หน้ากำหนดพารามิเตอร์ (Setting Parameter Page)	53
8.8	หน้ากระบวนการ (Process Diagram Page)	54
8.9	หน้าแนวโน้มประสิทธิภาพเมมเบรน (Trend Performace Page)	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

8.10 หน้าตรวจสอบประสิทธิภาพเมมเบรนย้อนหลัง (Historical Page) 56
9.1 การจัดเรียงและบันทึกข้อมูลประสิทธิภาพเมมเบรน.....58
9.2 การเฝ้ามองกระบวนการผ่านคอมพิวเตอร์.....59
9.3 แนวโน้ม Normalize Permeate Flow (PF) 61
9.4 แนวโน้ม Normalize Permeate TDS (PT).....62
9.5 แนวโน้มประสิทธิภาพเมมเบรน (PF , PT).....63
9.6 แนวโน้ม Recovery (%R).....64
9.7 แนวโน้ม Salt Passage (%SP).....65
9.8 แนวโน้มของค่า Salt Rejection (%SR).....66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

1. การเสื่อมลงของประสิทธิภาพเมมเบรน อันเนื่องจากสาเหตุการอุดตัน หรือ มีความปนเปื้อนสูง มีผลกระทบให้ปริมาณ และ คุณภาพน้ำ ที่ผลิตได้จากระบบออสโมซิสย้อนกลับลดลง และ ระบบขาดความน่าเชื่อถือ
2. ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไปเนื่องจากการทำความสะอาดเมมเบรนที่บ่อยครั้งเกินไป
3. การพิจารณาตัวแปรที่เหมาะสมที่ใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อเลือกใช้อุปกรณ์เครื่องมือวัด รวมไปถึงการเฝ้ามองค่าตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อระบบ
4. การประยุกต์ใช้งาน ระบบอัตโนมัติของออสโมซิสย้อนกลับ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพดีขึ้น และ สามารถลดต้นทุนในการผลิตได้มากขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ควบคุมคุณภาพน้ำที่ผลิตได้จาก ระบบออสโมซิสย้อนกลับ อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น โดยเราสามารถนำน้ำที่ผลิตได้นั้นไปใช้ต่อในกระบวนการผลิตที่ต้องการปริมาณ และ คุณภาพน้ำที่ดีสม่ำเสมอได้
2. ลดค่าใช้จ่ายที่สูญเสียเนื่องจากการทำความสะอาดเมมเบรน
3. การเลือกตัวแปรที่เหมาะสมนั้นจะสอดคล้องกับการออกแบบอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่เหมาะสม
4. เพื่อประยุกต์ใช้งานระบบอัตโนมัติของออสโมซิสย้อนกลับให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ลดต้นทุนการผลิต รวมถึงลดความเสี่ยงของคนที่ต้องเติม และ ผสมสารเคมีเพื่อที่จะใช้ในการทำความสะอาดเมมเบรนด้วย

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ผลจากการเสื่อมลงของประสิทธิภาพเมมเบรน เนื่องจากสาเหตุการอุดตัน หรือ มีความปนเปื้อนสูง มีผลกระทบให้ปริมาณ และ คุณภาพน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตได้จากระบบออสโมซิสย้อนกลับลดลง และ ระบบขาดความน่าเชื่อถือ ทำให้เกิดการตั้งสมมติฐานของการศึกษา โดยการประยุกต์ใช้ระบบอัตโนมัติของออสโมซิสย้อนกลับ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพ และ มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น วิธีการในการศึกษาคือการวิเคราะห์หาแนวโน้มประสิทธิภาพของเมมเบรน เพื่อที่จะทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมมเบรนอัตโนมัติ ก่อนที่จะประสิทธิภาพของเมมเบรนจะลดลงจนทำให้คุณภาพน้ำที่ผลิตได้ต่ำกว่ามาตรฐาน

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

เนื่องจากเมมเบรนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการแยกน้ำบริสุทธิ์กับน้ำที่มีความเข้มข้นของสารละลายสูง ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับ จึงให้ความสนใจไปที่ประสิทธิภาพของเมมเบรน โดยการประยุกต์พัฒนาให้ระบบสามารถทำความสะอาดเมมเบรนได้เองอัตโนมัติ เมื่อปริมาณและคุณภาพน้ำที่ผลิตได้ต่ำกว่ามาตรฐาน เพื่อรักษาคุณภาพน้ำให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด วิธีการคือทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเมมเบรน โดยอ้างอิงถึงทฤษฎีการคำนวณหาประสิทธิภาพเมมเบรน (Plant Performance Normalization) ซึ่งการคำนวณนี้จะแสดงถึงประสิทธิภาพของเมมเบรนที่ลดลงเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับการเดินระบบครั้งแรก (Normalize Permeate Flow, Normalize Permeate TDS) สำหรับตัวแปรที่เป็นปัจจัยหลักต่อกระบวนการประกอบด้วย Flow, TDS, Pressure, Temperature ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะถูกใช้วิเคราะห์หาแนวโน้มประสิทธิภาพเมมเบรน และ แสดงผลที่ได้ในรูปของกราฟ เพื่อสะดวกและง่ายต่อการตรวจสอบย้อนกลับ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

สำหรับการวิจัยนี้นำเสนอถึงวิธีการ และ ขั้นตอนในการประยุกต์ใช้ระบบออสโมซิสย้อนกลับ ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยการวิจัยนี้มีการออกแบบ Software ที่ใช้สำหรับการเฝ้ามองกระบวนการ การคำนวณวิเคราะห์หาแนวโน้มประสิทธิภาพของเมมเบรนพร้อมทั้งการจัดเก็บข้อมูลเพื่อง่ายต่อการตรวจสอบย้อนกลับ โดยแสดงผลในรูปของกราฟ การทำความสะอาดเมมเบรนโดยกำหนดจากคุณภาพน้ำ และ การออกแบบโปรแกรมให้กับเครื่องควบคุม PLC เพื่อใช้ควบคุมกระบวนการทำงานอัตโนมัติสื่อสารผ่าน Port RS-232C (Hostlink Mode) สำหรับในการจัดเก็บข้อมูล จะสามารถกำหนดช่วงระยะเวลาได้ตั้งแต่ 1 – 24 ชั่วโมง และ ข้อมูลถูกเก็บได้มากที่สุด 11,520 ข้อมูล หรือ ประมาณ 12 เดือน โดยขอบเขตของการวิจัยจะอยู่เป็นส่วนของระบบออสโมซิสเท่านั้น

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

สำหรับขั้นตอนในการศึกษาประกอบด้วย

1. การศึกษาทฤษฎี และ หลักการทำงานของระบบออสโมซิสย้อนกลับ
2. การศึกษาปัญหาที่เกิดจากการเสื่อมลงของประสิทธิภาพเมมเบรน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การศึกษาขั้นตอน และ วิธีการทำความสะอาดเมมเบรน
4. การศึกษาทฤษฎีการคำนวณหาประสิทธิภาพเมมเบรน
5. การประยุกต์และพัฒนาใช้งานระบบออสโมซิสอัตโนมัติ
6. การออกแบบ Software ที่ใช้สำหรับเฝ้ามองกระบวนการ และ วิเคราะห์คำนวณหาแนวโน้มประสิทธิภาพเมมเบรนโดยแสดงผลที่ได้ในรูปของกราฟ
7. การออกแบบโปรแกรมให้กับเครื่องควบคุม PLC เพื่อใช้ควบคุมการทำงานอัตโนมัติของระบบ
8. สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการออกแบบระบบ Reverse Osmosis

2.1 นิยาม และ คำจำกัดความ ของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบ Reverse Osmosis

Feed Flow (Q_f) หมายถึง อัตราการไหลของน้ำดิบก่อนผ่านเมมเบรน

Permeate Flow (Q_p) หมายถึง อัตราการไหลของน้ำดีที่ไหลผ่านเมมเบรน

Concentrate Flow (Q_C) หมายถึง อัตราการไหลของน้ำทิ้ง (น้ำที่มีอิออนมาก)

Total Dissolve Solid (TDS) หมายถึง ปริมาณความเข้มข้นของเกลือแร่ หรือสารแขวนลอยต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำ สามารถวัดความนำไฟฟ้าได้มีหน่วยเป็น us/cm.

Recovery (%R) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณของน้ำดี กับ ปริมาณของน้ำดิบ คิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์

Salt Passage (%SP) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำดี กับ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารละลายในระบบ คิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์

Salt Rejection (%SR) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำทิ้ง กับ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารละลายในระบบ คิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์

Silt Density Index (SDI) เป็น หน่วยวัดค่าของปริมาณอนุภาคต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำ

Langelin Saturation Index (LSI) เป็นดรรชนีที่สามารถบอกถึงสภาพน้ำว่ามีแนวโน้มในการเกิดตะกรัน

Normalize Permeate Flow (PF) หมายถึง อัตราการไหลของน้ำดีที่ลดลงของระบบ เนื่องจากการอุดตันของเมมเบรน

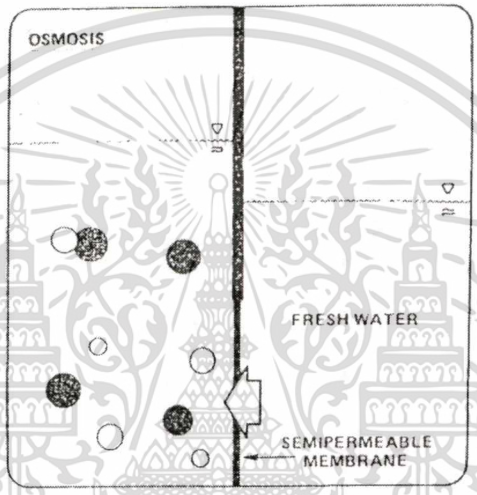
Normalize Permeate TDS (PT) หมายถึง ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำดีที่เพิ่มขึ้นของระบบ เนื่องจากการอุดตันของเมมเบรน

2.2 หลักการทำงานพื้นฐานของระบบ Reverse Osmosis

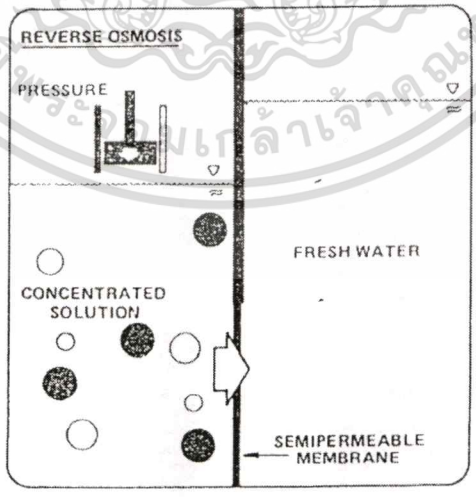
ออสโมซิส (Osmosis) หมายถึงการเคลื่อนที่ซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติของน้ำผ่านเยื่อเมมเบรนบางๆ (Semi Permeable Membrane) จากสารละลายเจือจาง ไปสารละลายเข้มข้น (ภาพที่ 2.1) เยื่อเมมเบรนในอุดมคติยอมให้น้ำไหลผ่านได้เท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติ โมเลกุลหรือไอออนบางชนิด อาจไหลผ่านได้เช่นกัน ถ้าจัดระบบออสโมซิสให้มีการไหลเป็นแบบที่แสดงใน ภาพที่ 2.1 เมื่อปล่อยให้มีการไหลของน้ำผ่านเมมเบรนจนกระทั่งถึงจุดสมดุล (ไม่มีการไหลอีก) ระดับน้ำใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านซ้ายซึ่งเป็นสารละลายเข้มข้นจะสูงกว่าระดับน้ำในด้านขวาซึ่งเป็นน้ำจืด ผลต่างของระดับน้ำนี้เรียกว่า แรงดันออสโมซิส (Osmotic Pressure) นักวิทยาศาสตร์ได้อธิบายถึง ปรากฏการณ์ ออสโมซิสว่าอาจเกิดขึ้นเนื่องจากสารละลายเข้มข้นมี Vapor Pressure ต่ำกว่าสารละลายเจือจาง ระดับน้ำในทั้งสองด้านของเมมเบรนจึงมีการปรับตัว จนกระทั่งแรงดันบนผิวน้ำทั้งสองด้านมีค่าเท่ากัน ถ้ามีแรงดันที่มีค่าสูงกว่าแรงดันออสโมซิสมากระทำต่อด้านที่มีสารละลายเข้มข้น น้ำจะไหลย้อนกลับ (ภาพที่ 2.2) ซึ่งเป็นการต้านการไหลธรรมชาติ วิธีดังกล่าวนี้วิศวกรนำมาใช้เพื่อแยกน้ำออกจากสารละลายเข้มข้นต่างๆ และ เรียกว่า Reverse Osmosis (RO) หรือ ออสโมซิสย้อนกลับ ดังนั้นกระบวนการ RO จึงอาศัยปัจจัยสำคัญ 2 อย่าง คือ แรงดัน และ เมมเบรน



รูปที่ 2.1 ออสโมซิส



รูปที่ 2.2 ออสโมซิสย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การคำนวณหาแรงดันออสโมซิส (Osmotic Pressure)

แรงดันออสโมซิส (π) เป็นคุณสมบัติของสารละลายที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ดังแสดงได้ด้วยสมการ ดังนี้

$$\pi = nCRT$$

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_2SO_4	1,000	0.000705	6
$MgSO_4$	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)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณหาแรงดันออสโมซิส

A. ถ้าสารละลายมีความเข้มข้น 100 g/l จงคำนวณหาแรงดันออสโมซิสที่อุณหภูมิ 300 °K ตัวถูกละลายที่มีน้ำหนักโมเลกุล 50, 500, 5,000 และ 50,000 g

. เมื่อน้ำหนักโมเลกุล = 50

$\pi = (100/50) \times 300 \times 0.082 = 49$ atm.

. เมื่อน้ำหนักโมเลกุล = 500

$\pi = (100/500) \times 300 \times 0.082 = 4.9$ atm.

. เมื่อน้ำหนักโมเลกุล = 5,000

$\pi = (100/5,000) \times 300 \times 0.082 = 0.49$ atm.

. เมื่อน้ำหนักโมเลกุล = 50,000

$\pi = (100/50,000) \times 300 \times 0.082 = 0.049$ atm.

ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่า เมื่อโมเลกุลยิ่งเล็กแรงดันออสโมซิสยิ่งสูง ด้วยเหตุนี้แรงดันออสโมซิส จึงมีบทบาทสำคัญในระบบออสโมซิสย้อนกลับ จึงทำให้ RO ต้องใช้แรงดันสูง

B. จงคำนวณหาแรงดันของสารละลายเกลือแกงที่มีความเข้มข้น 1,000 และ 35,000 mg/l ที่อุณหภูมิ 25 °C (น้ำหนักโมเลกุลของ NaCl = 58.5)

. เมื่อความเข้มข้น = 1,000 mg/l

$\pi = 2 \times (1/58.5) \times (273+25) \times 0.082 = 0.82$ atm.

. 35,000 mg/l

$\pi = 2 \times (35/58.5) \times (273+25) \times 0.082 = 29.2$ atm.

C. ถ้าไอออนต่างๆ มีความเข้มข้น (mol/l) ดังต่อไปนี้

Na^{+}	0.462	Mg^{++}	0.059
Ca^{++}	0.011	K^{+}	0.007
Cl^{-}	0.553	SO_4^{-}	0.028

จงคำนวณหาแรงดันออสโมซิสของสารละลายดังกล่าวที่อุณหภูมิ 25 °C

เนื่องจาก $C = 0.462 + 0.059 + 0.011 + 0.007 + 0.553 + 0.028$

$= 1.12$ mol/l

$n = 1$

$T = 273 + 25 = 298$ °K

จากสูตร $\pi = nCRT$

$= 1 \times 1.12 \times 298 \times 0.082$

$= 27.4$ atm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ขีดความสามารถของกระบวนการ Reverse Osmosis

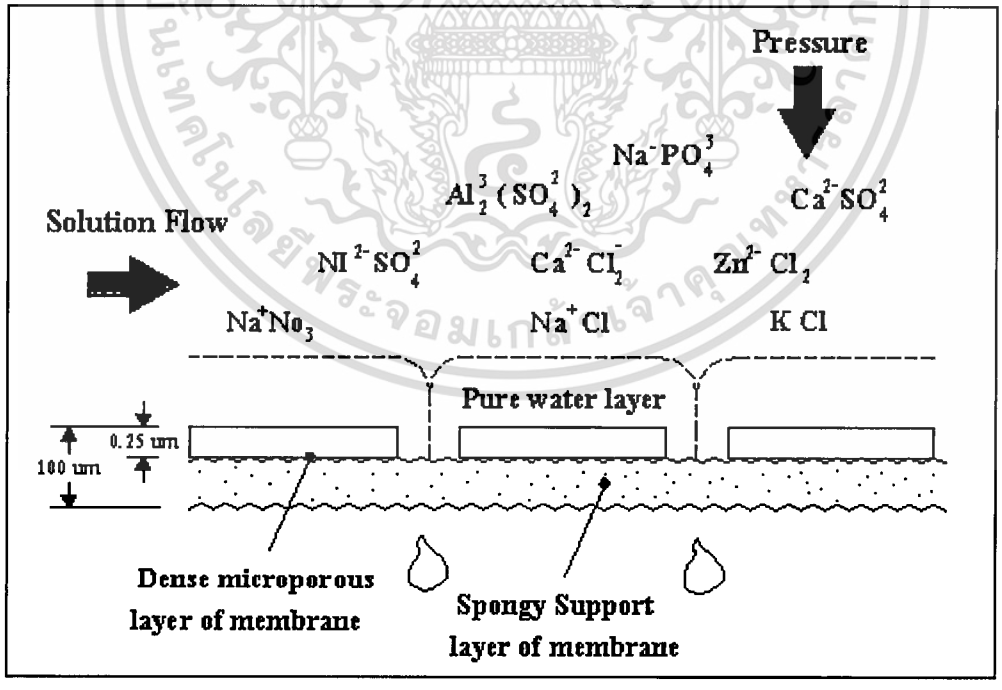
1. ลดปริมาณของสารละลายในน้ำ (TDS)
2. ลดปริมาณความกระด้าง
3. ลดปริมาณของฟลูออไรด์
4. ลดหรือกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ
5. ลดหรือกำจัดโลหะหนักที่เป็นพิษ และ สร้างความรำคาญ
6. ลดหรือกำจัดจุลินทรีย์ต่างๆ รวมทั้งไวรัสด้วย

สำหรับ Membrane จะมีลักษณะเป็นแผ่นบางมาก มีรูพรุนขนาดเล็กมากประมาณ 0.002 μm กระจายอยู่ทั่วพื้นผิว ทำจาก Polymer มีหลายชนิด เป็นส่วนสำคัญที่กำจัดเกลือแร่ และ สารอินทรีย์ ชั้นล่างจะเป็นวัสดุพรุนจะทำหน้าที่รองรับน้ำบริสุทธิ์จากเมมเบรนส่งผ่านมายังภายนอก น้ำดิบที่ถูกอัดเข้าเครื่องจะต้องเป็น Turbulent Flow มีความปั่นป่วน และ มีแรงดันสูง ทำให้สามารถระบายน้ำที่มีความเข้มข้นมากระบายออกได้ง่าย

2.2.3 กลไกการทำงานของ Reverse Osmosis ในการกำจัดสารต่างๆ

เราสามารถแบ่งกลไกการกำจัดสารออกเป็น 2 แบบ

2.2.3.1 กลไกการกำจัดเกลือแร่ (อิออนต่างๆ ที่มีประจุ)



รูปที่ 2.3 กลไกการกำจัดเกลือแร่ของระบบออสโมซิสย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกลไกการกำจัดอิออนนี้ จะอาศัยการผลักประจุ เนื่องจากที่ผิวของเมมเบรนจะมี ชั้นโมเลกุลของน้ำปกคลุมอยู่โดยโมเลกุลของน้ำนี้จะยึดเหนี่ยวด้วย H-Bond ขณะเดียวกันก็จะมีแรงผลักประจุหรืออิออนเหล่านี้ด้วยเช่นกัน (Dielectric Interaction) เฉพาะโมเลกุลของน้ำเท่านั้นที่สามารถซึมผ่านชั้นน้ำนี้ได้ ส่วนอิออนก็จะถูกผลักออกไป อิออนที่มี Valency สูงๆ เช่น Ca^{2+}, SO_4^{2-}, Mg^{2+}, Fe^{2+} ก็จะถูกผลักได้ดีกว่าอิออนที่มี Valency ต่ำๆ เช่น Na^+, Cl^-, F^- จึงมักพบว่าในน้ำบริสุทธิ์มักจะมีอิออนเหล่านี้เล็ดลอดออกมาด้วย

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

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 ($B_4O_2^{2-}$)	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 ($S_2O_3^{2-}$)	99+	1	10-14
Ferrocyanide [$Fe(CN)_6^{3-}$]	99+	1	8-14

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ตารางที่ 2.3 ความสามารถของ RO ในการกำจัดสารละลาย Cations

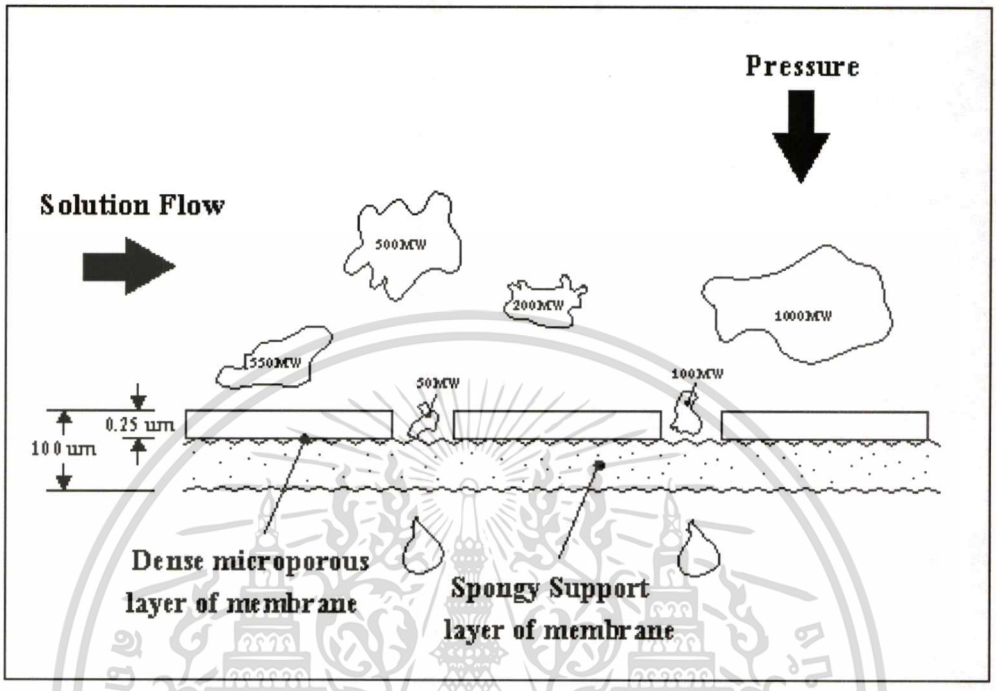
Cations	%Recovery	%Average passage	%Maximum Concentration
Sodium (Na^{+})	94-96	5	3-4
Calcium (Ca^{2+})	96-98	3	+
Magnesium (Mg^{2+})	96-98	3	+
Potassium (K^{+})	94-96	5	3-4
Iron (Fe^{2+})	98-99	2	+
Manganese (Mn^{2+})	98-99	2	+
Aluminium (Al^{3+})	99+	1	5-10
Ammonium (NH^{4+})	88-95	8	3-4
Copper (Cu^{2+})	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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่



รูปที่ 2.4 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบออสโมซิสย้อนกลับ

เช่น โปรตีน , Polymer ต่างๆ สำหรับกลไกการกำจัดสารอินทรีย์จะคล้ายคลึงกับการกรองปกติ คือ สารอินทรีย์ที่มีขนาดโต M_w > 150 ก็จะไม่สามารถเล็ดลอดออกนอกช่องว่างออกมาได้ จะติดค้างและถูก Flow ออกไปจากพื้นผิวของ Membrane ส่วนสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กซึ่งจะไม่เกิดการผลัก เนื่องจากไม่มีประจุ ก็จะสามารถซึมผ่านชั้นน้ำมายังส่วนที่รองรับได้ สารอินทรีย์ เช่น โปรตีน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแบคทีเรีย , ไวรัส เชื้อโรคต่างๆ ที่มีขนาดใหญ่ไม่สามารถซึมผ่านเมมเบรนออกมาได้ โดยความสามารถของ RO ในการกำจัดสารอินทรีย์ แสดงในตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

2.3 การคำนวณ และ ออกแบบระบบ Reverse Osmosis

2.3.1 พารามิเตอร์สำหรับออกระบบ Reverse Osmosis

2.3.1.1 Water Flux (F_w)

ในขณะที่การกรองน้ำธรรมดามีอัตราการกรอง (m^3 / m^2- hr) เป็นพารามิเตอร์สำคัญ ระบบ RO ก็มี Water Flux เป็นตัวสำคัญ พารามิเตอร์ตัวนี้ หมายถึงอัตราเร็วของน้ำที่ซึมผ่านเมมเบรนซึ่งเท่ากับอัตราไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่ของเมมเบรน เช่น mm/cm^3-S เป็นต้น น้ำสามารถซึมผ่านเมมเบรนได้อัตราที่ขึ้นอยู่กับแรงดันของเครื่องสูบ และ แรงดันออสโมซิสที่ต้านไว้ ดังจะเห็นได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$F_w = A(\Delta P - \Delta \pi) \qquad (2)$$

โดยที่ F_w = Water Flux

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A = สปส.ของการไหลของน้ำผ่านเมมเบรน สำหรับเมมเบรนที่ทำจาก เซลลูโลสอะเซเตต A อาจถือว่ามีค่าประมาณ $1.5 * 10^{-5}$ mm/cm^3-atm

ΔP = ความแตกต่างระหว่างแรงดันของน้ำที่อยู่คนละด้านของเมมเบรน(บรรยากาศ)

$\Delta \pi$ = ความแตกต่างระหว่างแรงดันออสโมซิสของน้ำที่อยู่คนละด้านของเมมเบรน

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

สมการที่ 2 แสดงให้เห็นว่าอัตราผลิตน้ำสะอาดเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของผลต่างระหว่าง ΔP และ $\Delta \pi$ ซึ่งทำให้กล่าวได้ว่า อัตราผลิตน้ำสะอาดเพิ่มตามการเพิ่มของแรงดันของเครื่องสูบ ในตอนต่อไปจะเห็นอีกว่า การเพิ่มแรงดันของน้ำ ยังทำให้ได้น้ำสะอาดที่มีคุณภาพสูงขึ้นอีกด้วย

2.3.1.2 Salt Flux (F_s)

สำหรับในอุดมคติ เมมเบรนต้องไม่ยอมให้สารละลายไหลซึมผ่านได้เลย แต่ในความเป็นจริงแล้วเมมเบรนไม่สามารถผลักโมเลกุลหรือไอออนได้หมดทุกตัวทำให้น้ำที่ผลิตได้ (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 - S จะเห็นได้ว่า ทั้ง F_s และ F_w เป็นพารามิเตอร์ที่คิดต่อหน่วยพื้นที่เหมือนกัน

Salt Flux ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำดิบ และไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันดังจะเห็นได้จากสมการ

$F_s = B (C_0 - C_P)$ (3)

F_s = Salt Flux

B = สปส. ของการไหลของสารละลายผ่านเมมเบรน สำหรับเมมเบรนเซลลูโลสอะเซเตต B มีค่าประมาณ 2*10-5 cm / S

C_0 = ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำดิบ

C_P = ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำสะอาด

สมการที่ 3 แสดงว่าน้ำเค็ม (TDS ประมาณ 30000 ppm) จะมีการรั่วของสารละลาย (F_s) สูงกว่าน้ำกร่อย (TDS 5000 ppm หรือน้อยกว่า) ดังนั้นระบบ RO ที่ใช้กับน้ำเค็ม หรือ น้ำทะเล จึงต้องใช้แรงดันสูงมาก เพื่อให้ได้ Water Flux สูงมาก สำหรับมาเจือจางสารละลายที่รั่วซึมผ่านเมมเบรน จึงจะสามารถผลิตน้ำสะอาดที่มีคุณภาพสูง สำหรับในกรณีของน้ำกร่อยแรงดันไม่จำเป็นต้องสูงมาก เนื่องจากมีการรั่วซึมของสารละลายน้อยกว่าจึงไม่ต้องการน้ำมาเจือจางมาก น้ำทะเลและน้ำกร่อย มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันออสโมซิสประมาณ 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

2.3.1.3 Rejection Factor หรือ %Rejection

Rejection เป็นคุณสมบัติที่เมมเบรนจะต้องมี เมมเบรนที่ดีต้องไม่ยอมให้โมเลกุลหรือไอออนไหลผ่านได้มาก นั้นคือ ต้องมี Rejection Factor หรือ %Rejection สูง เมมเบรนในอุดมคติจะมี %Rejection เท่ากับ 100% คุณภาพของน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากระบบ RO เป็นเครื่องสะท้อนถึง Rejection ของเมมเบรน เช่น ระบบ RO ที่มี %Rejection ต่ำ จะมีค่า C_P สูงเป็นต้น ความหมายของ Rejection อาจแสดงให้เห็นด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\%\text{Rejection} = Rj = 100\,(C_0 - C_P)/C_0$$

$$= 100\,(1 - C_P/C_0) \qquad (4)$$

เนื่องจาก $C_P = F_S/F_W$ (5)

ดังนั้น $Rj = 100\,(1 - F_S/C_0F_W)$ (6)

เมมเบรน มีความสามารถในการผลักหรือ Reject สารละลายต่างๆ ไม่เท่ากัน (ดังตารางที่ 2.2 และ 2.3) โดยทั่วไป %Rejection ของสารละลายอนินทรีย์และอินทรีย์จะมีค่าประมาณ 90-99% และ 95-99% ตามลำดับ ส่วน %Rejection ของคอลลอยด์ต่างๆ (เช่น แบคทีเรีย ความขุ่น ฯลฯ) มักสูงถึง 100%

2.3.1.4 Recovery Factor หรือ %Recovery

คุณสมบัติของเมมเบรนที่คู่ไปกับ Rejection หรือ Recovery ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนระหว่างปริมาตรน้ำสะอาดที่ผลิตได้ ต่อปริมาตรของน้ำดิบที่ใช้ผลิตน้ำสะอาด

$$\%\text{Recovery} = R = 100\,Q_P/Q_0 \qquad (7)$$

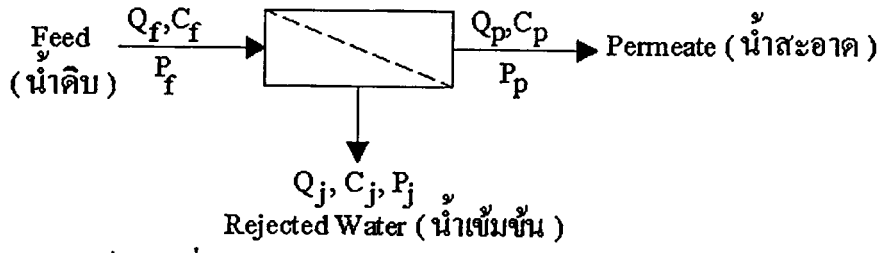
โดยที่ Q_P = อัตราการไหลของน้ำสะอาดที่ผลิตได้จากระบบ RO

Q_0 = อัตราการไหลของน้ำดิบที่เข้าระบบ RO

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 วิธีคำนวณและออกแบบระบบ Reverse Osmosis



รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณระบบ RO

จากรูปที่ 2.5 กำหนดให้

C = ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำ

P = แรงดันของน้ำ

Q = อัตราไหลของน้ำ

o,p,j = น้ำดิบ , น้ำสะอาด และ น้ำเข้มข้น ตามลำดับ

A = พื้นที่ของเมมเบรน

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า

$$F_W = Q_P/A$$

$$F_S = 100\, C_P\, Q_P / C_0\, Q_0 \quad (9)$$

และ $$R = 100\, Q_P/Q_0 \quad (10)$$

สมการแสดงสมดุลของมวลของน้ำโดยรอบระบบ RO สามารถเขียนได้ดังนี้

$$Q_0 = Q_P + Q_j \quad (11)$$

ในทำนองเดียวกัน สมการแสดงสมดุลของมวลของสารละลายอาจเขียนได้ดังนี้

$$Q_0C_0 = Q_PC_P + Q_jC_j \quad (12)$$

เนื่องจาก $$F_S = B(C_0 - C_P) \quad (3)$$

และ $$C_P = F_S/F_W \quad (5)$$

แทนค่า FS จากสมการ 3 ลงในสมการ 5 จะได้

$$C_P = B(C_0 - C_P)/F_W$$

หรือ $$C_P = BC_0/(B + F_W) \quad (13)$$

ในกรณีส่วนใหญ่ เรามักทราบค่า C_0 และ มักต้องกำหนดค่า F_W ซึ่งคิดว่าเหมาะสมที่สุด สมการ 13 อาจช่วยในการเลือกค่า F_W ที่ทำให้ระบบ RO สามารถผลิตน้ำสะอาดที่มีสารละลายเข้มข้นเท่ากับ C_P แต่ทั้งนี้จะต้องรู้ค่า B ก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก $R_j = 1 - C_P/C_0$

หรือ $1 - R_j = C_P/C_0$

แทนค่า $C_P/C_0 = 1 - R_j$ ลงในสมการที่ 13 จะได้

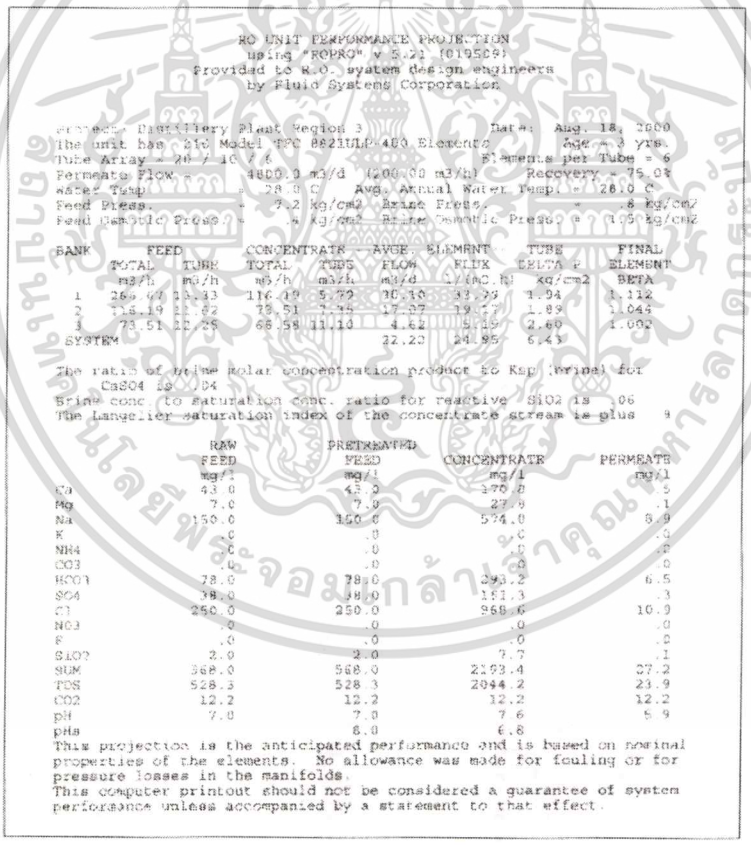
$$B/(B + F_W) = 1 - R_j$$

หรือ $$F_W = [B/(1 - R_j) - B] \quad (14)$$

นั่นคือ เมื่อกำหนด Rejection และ F_W จะมีค่าเป็นไปตามสมการที่ 14 ในทางตรงกันข้าม เมื่อกำหนดค่า F_W แล้ว R_j จะถูกกำหนดไปโดยอัตโนมัติ เมื่อหาค่า F_W ได้แล้ว P ก็สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 2 สามารถคำนวณได้จากส่วนประกอบ และ ความเข้มข้นของน้ำดิบ

2.3.3 การออกแบบระบบ Reverse Osmosis ด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรม

เนื่องจากการคำนวณด้วยมือจะค่อนข้างยุ่งยาก ใช้เวลานาน และ อาจไม่ถูกต้อง ปัจจุบันจึงได้พัฒนาการออกแบบโดยใช้เป็นระบบคอมพิวเตอร์ และ ซอฟต์แวร์โปรแกรมเฉพาะเข้าช่วย ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้โปรแกรมดังรูปที่ 2.6



RO UNIT PERFORMANCE PROJECTION
using "ROPRO" v 5.21 (019509)
Provided to R.O. system design engineers
by Fluid Systems Corporation

Printed: Distillery Plant Region 3 Date: Aug. 18, 2000
The unit has 210 Model TFC 8821ULP 400 Elements Age = 3 yrs.
Tube Array = 20 / 10 / 6 Elements per Tube = 6
Permeate Flow = 4800.0 m3/d (200.00 m3/h) Recovery = 75.0%
Water Temp = 28.0 C Avg. Annual Water Temp. = 28.0 C
Feed Press. = 7.2 kg/cm2 Brine Press. = .8 kg/cm2
Feed Osmotic Press. = 4 kg/cm2 Brine Osmotic Press. = 105 kg/cm2

BANK	FEED TOTAL m3/h	FEED TUBE m3/h	CONCENTRATE TOTAL m3/h	CONCENTRATE TUBE m3/h	AVGE. ELEMENT FLUX l/(m2.h)	TUBE DELTA P kg/cm2	FINAL ELEMENT BETA
1	266.67	33.33	116.19	5.79	30.10	1.94	1.112
2	116.19	21.62	73.51	7.35	17.07	1.09	1.044
3	73.51	12.25	66.58	11.10	4.62	2.60	1.002
SYSTEM					22.20	24.95	6.43

The ratio of brine molar concentration product to Ksp (mineral for CaSO4 is .04
Brine conc. to saturation conc. ratio for reactive SiO2 is .06
The Langelier saturation index of the concentrate stream is plus 9

	RAW FEED mg/l	PRETREATED FEED mg/l	CONCENTRATE mg/l	PERMEATE mg/l
Ca	43.0	43.0	176.8	.5
Mg	7.0	7.0	27.9	.1
Na	150.0	150.0	524.0	8.9
K	.0	.0	.0	.0
NH4	.0	.0	.0	.0
CO3	.0	.0	.0	.0
HCO3	78.0	78.0	293.2	6.5
SO4	38.0	38.0	151.3	.3
Cl	250.0	250.0	968.6	10.9
NO3	.0	.0	.0	.0
F	.0	.0	.0	.0
SiO2	2.0	2.0	7.7	.1
SUM	568.0	568.0	2193.4	27.2
TDS	528.3	528.3	2044.2	23.9
CO2	12.2	12.2	12.2	12.2
pH	7.0	7.0	7.6	5.9
pHs		6.8	6.8	

This projection is the anticipated performance and is based on nominal properties of the elements. No allowance was made for fouling or for pressure losses in the manifolds.
This computer printout should not be considered a guarantee of system performance unless accompanied by a statement to that effect.

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรม

จากโปรแกรมนี้ ข้อมูลที่ต้องใส่เข้าไปมีดังนี้

1. Cations และ Anions ทุกชนิด
2. ค่าซิลิกา (SiO_2) ของ Feed Water

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่า pH และ อุณหภูมิของ Feed Water
4. จำนวน RO Element ต่อหนึ่ง Pressure Vessel
5. การจัด Array
6. Recovery Rate
7. RO Product Flow Rate
8. การเติมกรด (ถ้าต้องการ) และ ค่า pH ที่ต้องการหลังจากเติมกรด

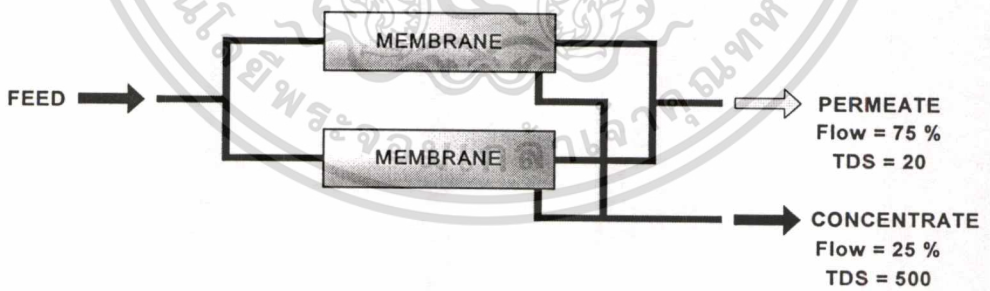
เมื่อเดินโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะคำนวณ และ แสดงค่าดังต่อไปนี้

1. คุณภาพของ RO Product Water (Permeate)
2. คุณภาพของ Concentrate หรือ Brine
3. Flow Rate ที่ไหลผ่าน RO Element และ Pressure Vessel
4. ปริมาณกรดที่ต้องใช้
5. แสดงค่า KSP ของ $CaSO_4$, SiO_2 และ ค่า LSI ของ Brine ซึ่งจะบ่งชี้ว่าจะเกิดปัญหาตะกรันหรือไม่

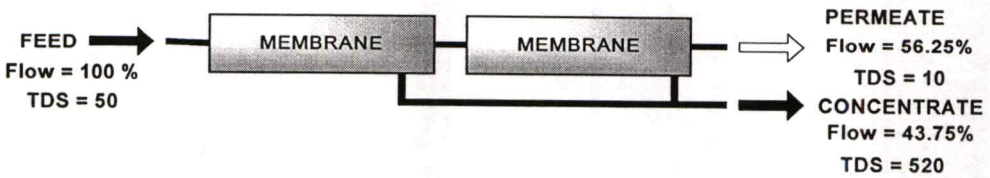
การเดินโปรแกรมอาจจะต้องทำ 2-3 ครั้ง เพื่อแก้ไขตัวเลขให้สอดคล้องกับคำเตือนที่ออกมาจากโปรแกรม เช่น Feed Rate สูงเกินไป ต้องเพิ่มจำนวน RO Element เป็นต้น

2.3.4 การต่อเมมเบรน

การต่อเมมเบรนเพื่อใช้งานนั้นแบ่งเป็น 2 แบบ คือแบบขนาน (Parallel) และ แบบอนุกรม (Series) โดยการต่อแบบขนานจะทำให้ได้ปริมาณน้ำบริสุทธิ์มากขึ้น และ การต่อแบบอนุกรมจะทำให้คุณภาพน้ำบริสุทธิ์ดีมากขึ้นแต่ปริมาณน้ำบริสุทธิ์ที่ได้ก็จะลดลงดังตัวอย่างรูปที่ 2.7



ก) แบบขนาน



ข) แบบอนุกรม

รูปที่ 2.7 การต่อเมมเบรนแบบขนานและแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
49517

2.3.5 มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม

คุณภาพน้ำใช้ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภท จะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้งาน เช่น การใช้น้ำผสมกับผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในการบริโภค อาจจะใช้คุณภาพน้ำดื่มเป็นมาตรฐาน หรือ น้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ต้องเป็นน้ำที่บริสุทธิ์ เป็นต้น มาตรฐานคุณภาพน้ำใช้สำหรับอุตสาหกรรมเป็นดังนี้

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภค

มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภค		
ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน
คุณลักษณะทางกายภาพ		
สี (Colour)	Hazen Unit	20
กลิ่น (Odour)	-	ไม่มีกลิ่น (ไม่รวมคลอรีน)
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
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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

เงิน (Ag)	mg/l	0.05
ซัลเฟต (SO_4)	mg/l	250
สังกะสี (Zn)	mg/l	5
ฟลูออไรด์ (F)	mg/l	1.5
คุณลักษณะทางบัตเตรี		
โคลิฟอร์ม (Coliform)	MPN/100ml	2.2
อี. โคไล (E.Coli)	MPN/100ml	ตรวจไม่พบ

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม

มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม		
สาร/ดรรชนีในน้ำ	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

ตารางที่ 2.7 มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

มาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์					
สาร / ดรรชนีในน้ำ	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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ส่วนประกอบต่างๆ ของระบบ Reverse Osmosis

3. 1 Membrane ที่ใช้ในระบบ Reverse Osmosis

3.1.1 วัสดุของ Reverse Osmosis เมมเบรน

วัสดุที่นิยมใช้ทำเมมเบรนนั้นมีอยู่ 2 ชนิด ดังนี้

3.1.1.1 Cellulose Acetate (CA) และ Cellulose Triacetate (CTA)

เป็นเมมเบรนรุ่นแรกที่ผลิตออกมาใช้ โดยผลิตจากเซลลูโลสมี 2 ชนิด คือ เซลลูโลสอะเซเตต (Cellulose Acetate, CA) และ เซลลูโลสไตรอะเซเตต (Cellulose Triacetate) สารประกอบเหล่านี้ไม่สามารถทนกรดด่าง หรืออุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียสได้ เพราะจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ทำให้เมมเบรนเสื่อมสภาพ ซึ่งโดยปกติแผ่นเมมเบรนจะหนาประมาณ 100 ไมครอน และมี 2 ชั้น ชั้นที่ใช้งานจริงๆ มีความหนาประมาณ 0.2 ไมครอน และ ทำหน้าที่ขัดขวางหรือกักสารละลายต่างๆ มิให้ซึมผ่านเมมเบรนออกไปพร้อมกับน้ำ ชั้นที่หนากว่า ทำหน้าที่เป็นพื้นรองรับและมีรูพรุนเต็มไปหมดสำหรับให้น้ำไหลผ่านได้ ชั้นบางมิได้มีเนื้อพรุนเหมือนชั้นหนา รูที่ยอมให้โมเลกุลของน้ำไหลผ่านไปได้เป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์ การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านเยื่อเมมเบรนเป็นการแพร่กระจายของน้ำผ่านช่องว่างดังกล่าวทีละโมเลกุล

3.1.1.2 Polyamide (PA)

เป็นเมมเบรนที่ผลิตจากโพลีเอไมด์ (PA) จะมีความทนทานต่อ pH และ อุณหภูมิ ได้ดีกว่าเซลลูโลส (CA) อย่างไรก็ตาม เมมเบรนเซลลูโลสมีความทนทานต่อออกซิไดซิงเอเจนต์ (Oxidizing Agent) ได้ดีกว่ายกตัวอย่างเช่น เมมเบรนเซลลูโลสสามารถทนคลอรีนเข้มข้นไม่เกิน 1 ppm ได้เป็นเวลานานๆ และ สามารถทนคลอรีนเข้มข้น 10-20 ppm ได้ภายในเวลาสั้นๆ และ เป็นครั้งคราว แต่เมมเบรนโพลีเอไมด์ทนคลอรีนได้ไม่เกิน 0.1 ppm ซึ่งตารางที่ 3.1 จะสรุปเปรียบเทียบคุณสมบัติของเมมเบรนทั้งสองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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)

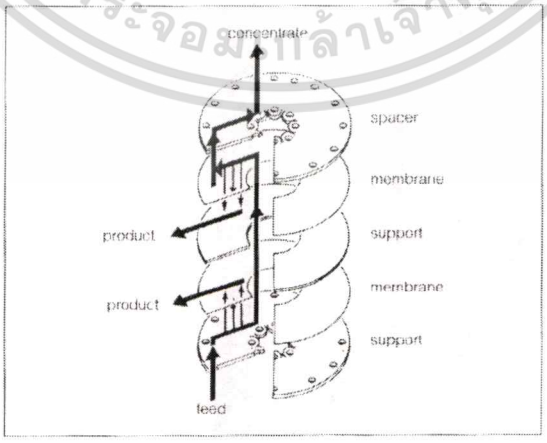
3.1.2 รูปแบบของเมมเบรน

เมมเบรนที่ใช้ในการกรองน้ำนั้นจะต้องนำมาประกอบเป็นโมดูล เพื่อความพร้อมในการใช้งาน โดยการพิจารณาโมดูลของเมมเบรนเพื่อนำมาใช้ในเครื่อง Reverse Osmosis จะต้องคำนึงถึง

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

ในปัจจุบันนี้ มีการสร้างโมดูลออสโมซิสย้อนกลับแบบต่างๆ 4 แบบ คือ

3.1.2.1 Plate and Frame Module

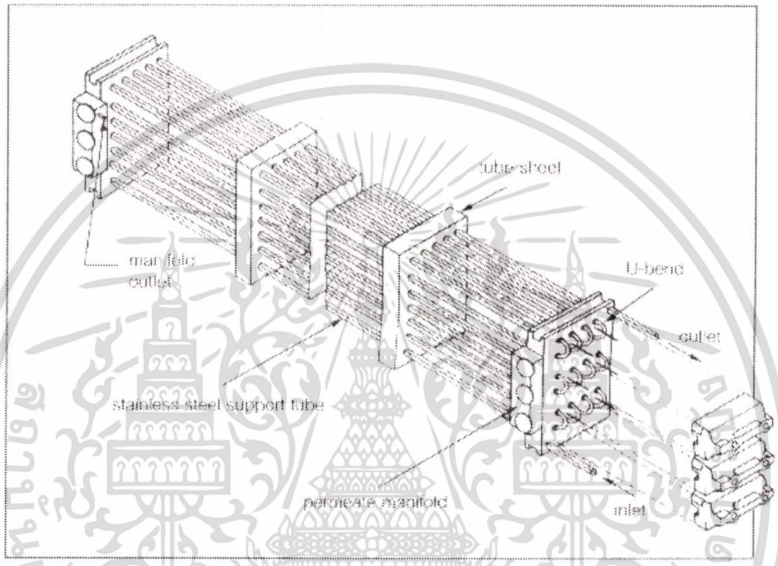


รูปที่ 3.1 RO-Plate and Frame Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูลนี้เป็นการจัดแผ่นเมมเบรนแบบที่ง่ายที่สุด (รูปที่ 3.1) โดยมีลักษณะการทำงานคล้าย Filter Press แผ่นเมมเบรนวางอยู่บนแผ่นรองรับซึ่งมีรูพรุน (Porous Plate) หรือแผ่นรองรับที่มีร่องให้น้ำไหลออกได้ เมมเบรนและ แผ่นรองรับจะวางซ้อนและสลับกัน น้ำถูกบังคับให้ซึมผ่านเมมเบรนและ แผ่นรองรับ และ ไหลออกจากโมดูล โมดูลแบบนี้ต้องเสียเงินค่าติดตั้ง และ ดูแลรักษาแพงมาก ส่วนมากนิยมใช้ในการทดลองเล็กๆ ในห้องทดลองปฏิบัติการต่างๆ

3.1.2.2 Tubular Module

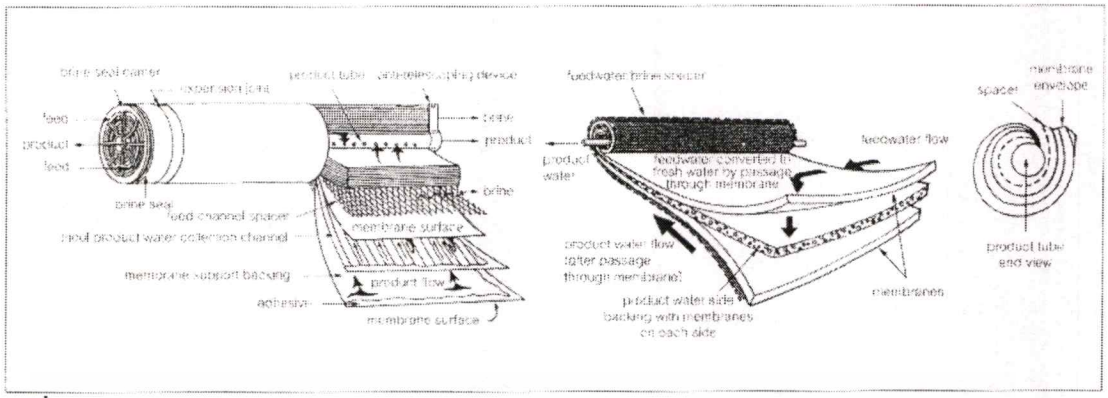


รูปที่ 3.2 RO-Tubular Module

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

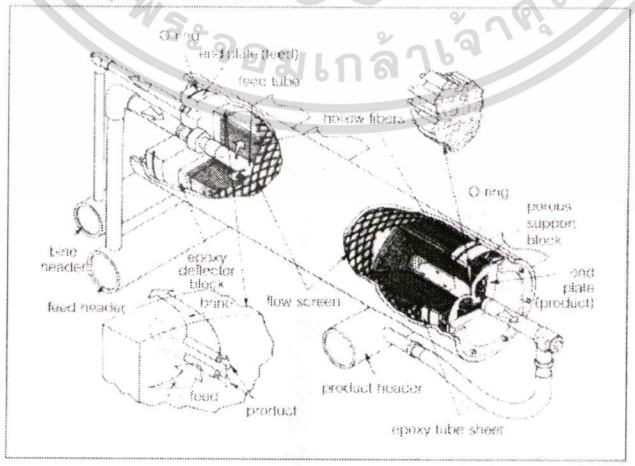
3.1.2.3 Spiral Wound Module



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 กันแต่มักไม่เกิน 1 เมตร โมดูลแบบนี้สามารถที่จะติดตั้งไว้ใน Pressure Vessel ได้มากถึง 7 โมดูลด้วยกัน

3.1.2.4 Hollow Fiber Module



รูปที่ 3.4 RO-Hollow Fiber Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูลนี้มีลักษณะเป็นเส้นยาวเหมือนเส้นผม และมีรูอยู่ภายใน ทำมาจากวัสดุไนลอนจำพวกโพลีเอไมด์ (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 เป็นแบบที่ได้รับการนิยมรองจากแบบ Spiral-Wound นิยมใช้ในการกรองน้ำทะเลแถวประเทศในตะวันออกกลาง

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของ RO Module แบบต่างๆ

ชนิด 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 (Samnitizing) ทำได้ยาก - Feed Water ที่มี TDS สูง จะ Foul เมมเบรนอย่างถาวร
Hollow Fiber	- ผลิตน้ำได้มากที่สุดต่อปริมาตรของโมดูล - Recovery Rate สูงกว่า RO แบบอื่นๆ	- ใส่โมดูลได้แค่ 1-2 ตัวใน Pressure Vessel - คุณภาพน้ำดิบต้องเตรียมมากกว่า RO แบบอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ระบบ Pretreatment ของ Reverse Osmosis

ระบบนี้มีหน้าที่เตรียมน้ำก่อนเข้าระบบ RO โดยมีจุดมุ่งหมายในการทำ Pretreatment ได้แก่

3.2.1 การกำจัดคอลลอยด์ และ สารแขวนลอย

ดัชนีที่ใช้ในการวัดว่าน้ำมีความสะอาดพอที่จะส่งเข้าเครื่อง RO โดยที่ไม่ทำให้เกิดการอุดตันนั้นคือ Silt Density Index (SDI) การหา SDI นั้นทำได้ด้วยการเอาน้ำมากรองผ่านแผ่นกรองในระยะเวลาที่กำหนดโดยใช้ความดันคงที่ และ วัดเอาปริมาตรที่กรองได้ในเวลานั้นมาเปรียบเทียบกัน โดยค่า SDI ของน้ำดิบที่เหมาะสมนั้น ไม่ควรเกิน 5.0 สำหรับกระบวนการที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อให้ได้ค่า SDI ที่ต้องการนั้นทำได้หลายวิธี ดังต่อไปนี้

- **กระบวนการผสมผสานของการกวนเร็วกวนช้า การตกตะกอน และการกรอง** ซึ่งเป็นกระบวนการในการผลิตน้ำประปา กระบวนการนี้เหมาะสมสำหรับน้ำผิวดินที่มีความขุ่น และสารแขวนลอยสูง
- **กระบวนการผสมผสานของการกวนเร็วกวนช้า และการกรอง** หรือบางครั้งอาจเรียกว่า การกรองโดยตรง (Direct Filtration) กระบวนการนี้เหมาะสมสำหรับน้ำผิวดินที่มีความขุ่น และ สารแขวนลอยต่ำ
- **การกรองแบบ Coating Filter** โดยใช้ Diatomaceous Earth เหมาะสำหรับน้ำที่ค่อนข้างใส และน้ำที่ผ่านการกรองออกมาจะมีค่า SDI ประมาณ 2.0
- **การกรองโดยใช้ Microfiltration (MF)** แบบ Cartridge Filter โดยกำหนดให้ไส้กรองมีขนาด 1.0 ไมครอน หรือต่ำกว่า เหมาะสำหรับน้ำที่ค่อนข้างใสสะอาดแล้ว ในระบบ RO จะใช้ MF แบบนี้เป็น Prefilter อีกชั้นหนึ่งเสมอ ถึงแม้ว่าน้ำดิบจะผ่านการปรับปรุงคุณภาพมาแล้วก็ตาม
- **การกรองด้วย Ultrafiltration (UF)** จะลด SDI ลงได้เหลือประมาณ 1.0 การลงทุนติดตั้งจะค่อนข้างแพงมักจะใช้กับอุตสาหกรรมที่ต้องการน้ำบริสุทธิ์มาก (Ultrapure Water)

3.2.2 การกำจัดแบคทีเรีย

แบคทีเรียหรือสารชีวภาพ (Biological Matters) จะก่อให้เกิดปัญหากับผิวของเมมเบรน ซึ่งจะเกิดการเกาะจับตัวและ เกิดการย่อยสลายผิวของเมมเบรน เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำเมมเบรนนั้นเป็นพวกสารอินทรีย์ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการกรอง และ การสกัดสารละลายต่ำลง วิธีการกำจัดแบคทีเรียที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกันดังนี้

- **การฆ่าด้วยคลอรีน** การเติมคลอรีนให้มีคลอรีนอิสระเหลืออยู่ประมาณ 0.5 mg/l จะทำลายสารชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าคลอรีนอิสระหลุดเข้าไปในเมมเบรนแบบ CA แล้ว ก็จะทำลายผิวของเมมเบรน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การฆ่าด้วยรังสี UV** เป็นวิธีการที่นิยมกันแพร่หลาย เนื่องจากจะไม่เกิด Byproducts ขึ้นมา การฆ่าของรังสี UV เกิดขึ้นจากการทำลายเซลล์ และ DNA ของแบคทีเรีย การฆ่าจะให้ผลดีที่สุดถ้าน้ำใสสะอาดปราศจากสารแขวนลอย
- **การกรองด้วย UF** ซึ่งสามารถกรองสกัดแบคทีเรียออกได้ถึง 100%

3.2.3 การกำจัดคลอรีน

การมีคลอรีนอิสระเข้าไปในเมมเบรนจะเกิดการออกซิเดชัน ทำให้ผิวเมมเบรนเสื่อมคุณภาพ การกำจัดคลอรีนทำได้ดังนี้

- **เติมสารละลาย $NaHSO_3$** ลงไปในน้ำก่อนเข้า RO คลอรีนจะถูกออกซิไดซ์เป็นเกลือคลอไรด์
- **กรองด้วยถ่านกัมมันต์** ซึ่งคลอรีนจะถูกดูดซับไว้ด้วยถ่านกัมมันต์ และวิธีนี้อาจจะมีข้อเสียคือ ถ้าแบคทีเรียถูกทำลายไม่หมด และตกค้างอยู่ในชั้นถ่าน ก็จะเจริญเติบโต ทำให้ปัญหาตามมาอีก

3.2.4 การกำจัดน้ำมัน และ ไขมัน

น้ำมันและไขมันเมื่อเข้าสู่เมมเบรน ก็จะทำลายผิวหน้าของเมมเบรนให้เสื่อมคุณภาพเช่นเดียวกัน ควรจะต้องกำจัดออกด้วยการใช้ระบบแยกน้ำมันออกจากน้ำ (Oil-Water Separator) หรือ ระบบตกตะกอนลอย (Dissolved Air Flotation Unit)

สำหรับคุณสมบัติของน้ำดิบก่อนเข้าระบบออสโมซิสย้อนกลับเป็นดังต่อไปนี้

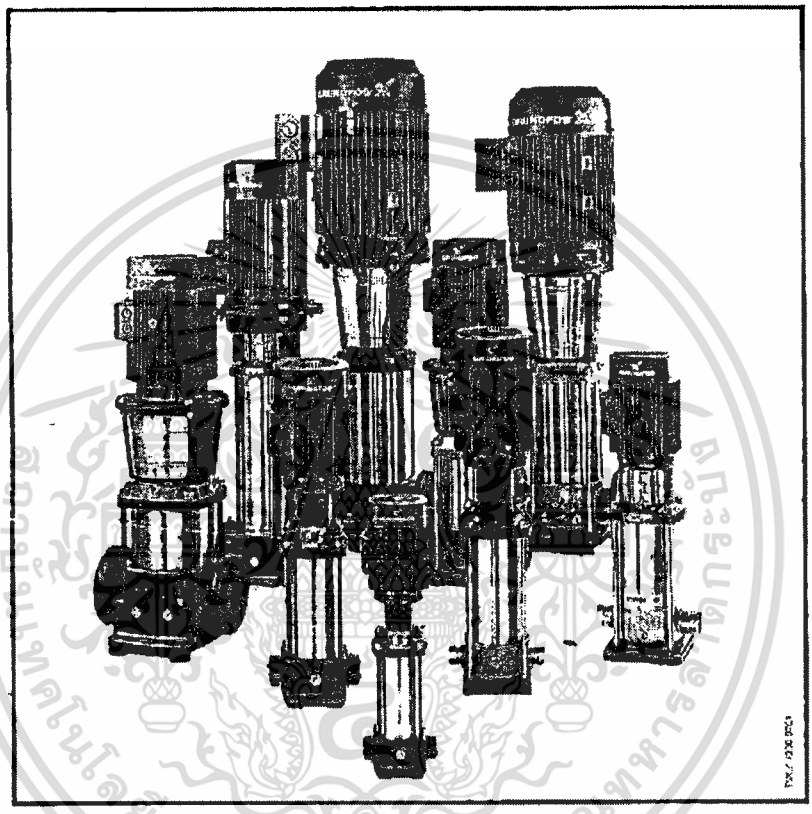
ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของน้ำดิบก่อนเข้าระบบออสโมซิสย้อนกลับในอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม

คุณสมบัติของน้ำดิบก่อนเข้าระบบออสโมซิสย้อนกลับสำหรับอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม		
สาร/ดรรชนีในน้ำ	หน่วย	ความต้องการต่ำสุด
ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness)	mg/l	180
เหล็ก (Fe)	mg/l	0.10
แมงกานีส (Mn)	mg/l	0.20
ปริมาณของสารละลายในน้ำ (TDS)	mg/l	1000
คลอไรด์ (Chloride)	mg/l	350
pH at 28 °C		7.0-8.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เครื่องสูบน้ำที่มีแรงดันสูง

เครื่องสูบน้ำที่มีแรงดันสูง มีความสำคัญมากต่อระบบ โดยปกติแรงดันที่ใช้มักอยู่ในช่วง 200-1000 psi/inch^2 หรือ สูงกว่า (ทั้งนี้ขึ้นกับคุณสมบัติของน้ำดิบ และ เมมเบรน) เครื่องสูบที่ใช้อาจแบ่งเป็นแบบหอยโข่ง (Centrifugal) หรือ แบบ Positive Displacement แต่ที่นิยมใช้คือ Vertical multistage centrifugal pump (รูปที่ 3.5) เป็นเครื่องสูบที่มีใบพัดหลายชุดทำให้สามารถสร้างแรงดันสูงได้ดี และ เนื่องจากเป็น Vertical Type ทำให้ประหยัดเนื้อที่ใน Frame R/O ด้วย



รูปที่ 3.5 Vertical multistage centrifugal pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในกระบวนการ

เครื่องมือวัดที่ใช้ในกระบวนการประกอบด้วย Pressure, Flow, Conductivity และ Temperature โดยทำการติดตั้งตามตำแหน่งต่างๆ ดังในรูปที่ 4.1 สำหรับ TDS นั้นจะทำการแปลงจากค่า Conductivity ของน้ำโดยอาศัยความสัมพันธ์ (0.75)TDS = Conductivity ซึ่งในเครื่องมือวัดมีโหมดที่ใช้สำหรับแปลงค่านี้อยู่แล้ว เครื่องมือวัดมีคุณสมบัติดังนี้

1. Pressure Transmitter (P)

- Diaphragm Type
- Operation Range 0-58 Psi For P2 และ 0-580 Psi For P1, P3
- Output 4-20 mA
- Accuracy +-1% of Range

2. Flow Transmitter (F)

- Turbine Type
- Operation Range 0-100 m^3/hr
- Output 4-20 mA
- Accuracy +-1% of Range

3. TDS Transmitter (TDS)

- Water Conductivity Type
- Operation Range 0-1,333 mg/l for TDS2 และ 0-13,333 mg/l for TDS1,3
- Convert Between TDS and Conductivity
- Output 4-20 mA
- Accuracy +-1% of Range

4. Temperature Transmitter (T)

- RTD PT100 Type
- Operation Range 0-90 °C
- Output 4-20 mA
- Accuracy +-1% of Range

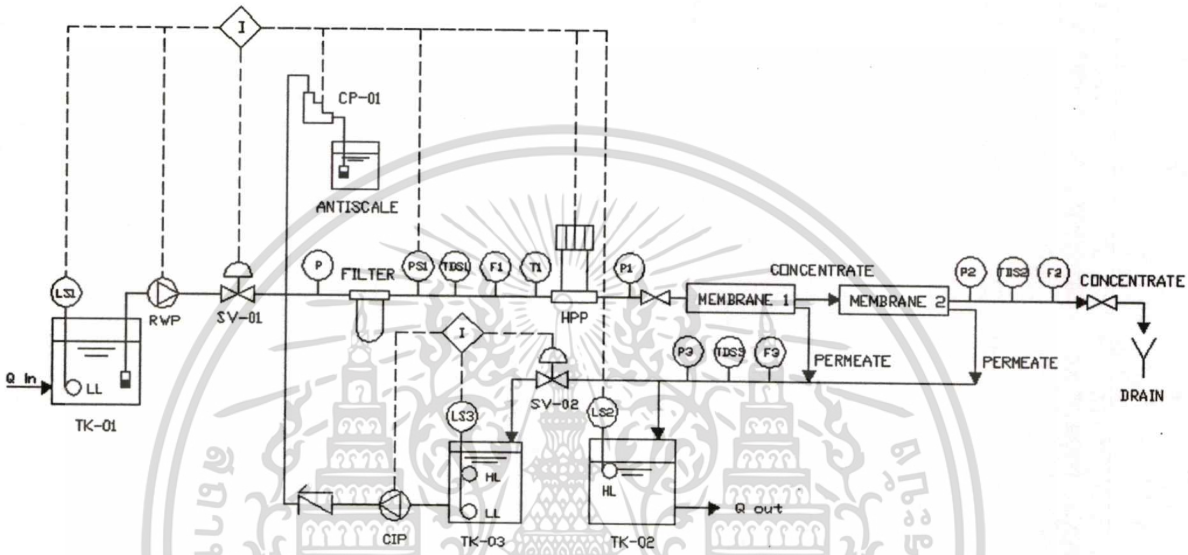
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

หลักการทำงาน และ ควบคุมระบบ Reverse Osmosis

4.1 การทำงานของระบบ Reverse Osmosis

ระบบออสโมซิสย้อนกลับดังรูปที่ 4.1 นั้นมีอุปกรณ์ประกอบและคำจำกัดความของอุปกรณ์เหล่านี้ดังตารางที่ 4.1 ส่วนหลักการ และ ขั้นตอนการทำงานของระบบเป็นดังรูปที่ 4.2



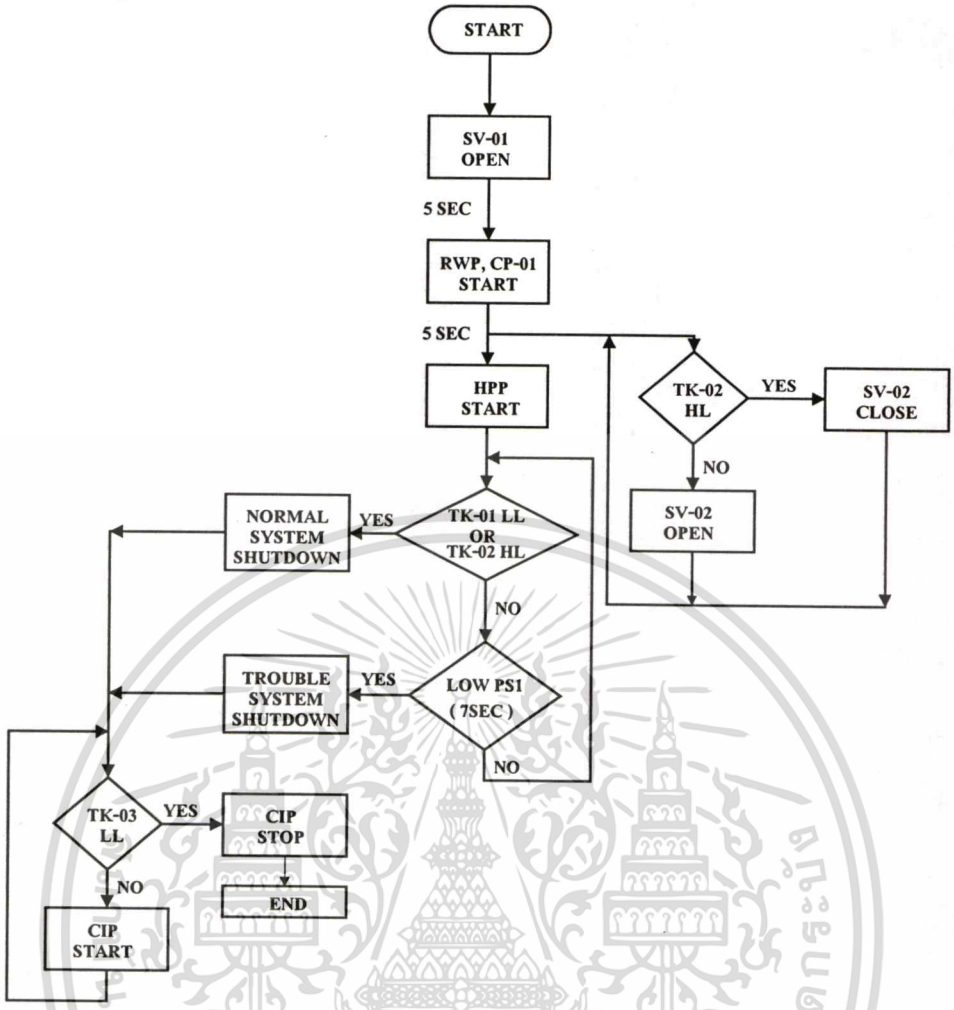
รูปที่ 4.1 ระบบออสโมซิสย้อนกลับ

ตารางที่ 4.1 คำจำกัดความของอุปกรณ์ในระบบออสโมซิสย้อนกลับ

Tag	Equipment
TK-01	Pretreatment water Tank
TK-02	RO water storageTank
TK-03	CIP water storage Tank
SV	Automatic Valve
RWP	Raw water Pump
HPP	High pressure Pump
CIP	CIP Pump
CP-01	Chemical feed Pump

Tag	Equipment
MX	Mixer
LS	Level Switch
PS	Pressure Switch
P	Pressure Sensor
TDS	TDS Sensor
F	Flow Sensor
HL	High Level
LL	Low Level

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบออสโมซิสย้อนกลับ

สำหรับขั้นตอนการทำงานเป็นดัง รูปที่ 4.2 เมื่อระบบเริ่มทำงาน

- SV-1 จะเปิดก่อนประมาณ 5 วินาที แล้ว CP-01 และ RWP จะเริ่มทำงาน 5 วินาที แล้ว [CP-01 จะเติมสาร Antiscale ลงไปในน้ำเพื่อลดค่า LSI (Langelier Saturation Index) และ RWP จะเป็นตัวส่งน้ำให้กับ HPP]
- HPP จะทำงานเพื่อที่จะเพิ่มแรงดันน้ำก่อนเข้าเมมเบรน SV-02 จะเปิดเพื่อที่จะเติมน้ำ Permeate ลงในถัง TK-03 และ จะปิดเมื่อน้ำในถังเต็ม
- หลังจากระบบหยุดผลิตน้ำแล้ว CIP จะเริ่มทำงาน และ หยุดทำงานเมื่อน้ำในถัง TK-03 เต็ม

  <u>ระบบหยุดแบบปกติ</u> น้ำในถัง TK-01 ต่ำ หรือ น้ำในถัง TK-01 เต็ม

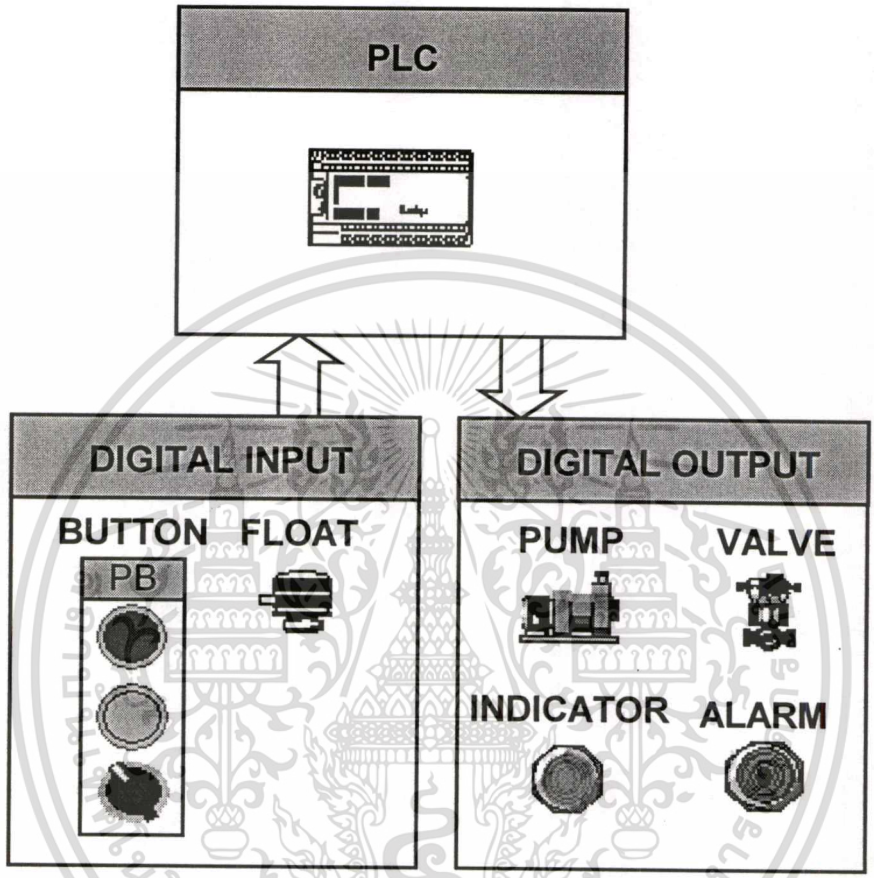
  <u>ระบบหยุดแบบมีปัญหา</u> แรงดันน้ำต่ำก่อนเข้า HPP (ประมาณ 7 วินาที) เพื่อป้องกันความเสียหายของปั๊ม

สำหรับการทำงานครั้งแรกของระบบนั้นต้องมีการปรับวาล์ว Concentrate เพื่อปรับค่า %Recovery

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การควบคุมระบบ Reverse Osmosis

การทำงานของระบบจะควบคุมโดย PLC ซึ่งมี รูปแบบของอุปกรณ์ควบคุมเป็นดังรูปที่ 4.3 ซึ่ง PLC จะทำการควบคุมการทำงานตามขั้นตอนของระบบ (รูปที่ 4.2) โดย PLC จะประมวลผลตามโปรแกรมที่ป้อนเข้าไป



รูปที่ 4.3 รูปแบบของอุปกรณ์ควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การเกิด Fouling และ วิธีการ Cleaning

5.1 สาเหตุของการ Fouling

การเตรียมน้ำดิบที่มีคุณสมบัติไม่เหมาะสม เข้าเครื่อง RO จะสร้างความเสียหายให้กับระบบได้อย่างรวดเร็วหรืออาจทำให้อายุการใช้งานลดน้อยลงได้ ความเสียหายที่เกิดขึ้นมักเนื่องมาจากการอุดตันของเมมเบรน โดยสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

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

5.1.1 การเกิดตะกรันบนเมมเบรน (Scale Fouling)

ลักษณะการทำงานของระบบ RO ซึ่งยอมให้โมเลกุลของน้ำซึมผ่านเมมเบรน และ กักโมเลกุลชนิดต่างๆ ไว้ ทำให้มีการสะสมตัวของโมเลกุล และ ไอออนต่างๆ อยู่ในด้านน้ำดิบของเมมเบรน โดยปกติระดับสารละลายในน้ำดิบจะมีการตกผลึก $CaCO_3$ และ/หรือ $CaSO_4$ $CaCO_3$ มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำมาก จึงตกผลึกได้ง่ายกว่าสารประกอบอื่นๆ ส่วน $CaSO_4$ มักตกผลึกเมื่อ TDS ของน้ำดิบมีค่าประมาณ 1500 ppm หรือ มากกว่า สารประกอบอื่นๆ ที่อาจตกผลึกได้คือ ซิลิกา (SiO_2), Strontium Sulfate, $BaSO_4$ และ CaF_2 ผลึกของสารต่างๆ ที่ทำให้เกิดการอุดตันของเมมเบรนซึ่งถ้าไม่รีบแก้ไขจะทำให้เมมเบรนเสียอย่างถาวร ถ้าตรวจพบการตกผลึกของหินปูน ควรรีบล้างด้วยสารละลายกรดเจือจางเพื่อละลายผลึกดังกล่าว แต่ถ้าเป็นผลึกของ $CaSO_4$ ควรใช้กรดซิตริก (Citric Acid) หรือ EDTA ล้างเพื่อละลายให้หมด

การป้องกันผลึกมิให้เกิดขึ้น อาจทำได้โดยการกำจัดต้นเหตุเช่น Ca^{++} , SO^{-}_4 และ CO_3 เป็นต้น หรือใช้สารเคมีห้ามผลึกมิให้เกิดขึ้น แม้การกำจัดแคลเซียมหรือซัลเฟตจะเป็นไปได้แต่ไม่นิยมทำในทางปฏิบัติเนื่องจากต้องสิ้นเปลืองมาก และ สร้างของเสียทำให้เป็นปัญหาขึ้นอีก ในทางปฏิบัติมักกำจัดคาร์บอเนต โดยการใช้กรดเกลือเปลี่ยนคาร์บอเนตให้เป็นไบคาร์บอเนต และ/หรือ CO_2 ดังนั้นการเติมกรดจึงสามารถป้องกันการตกผลึกของ $CaCO_3$ ถ้าต้องการป้องกันการตกผลึกของ $CaSO_4$ ควรใช้สารห้ามตะกรัน เช่น Sodium Hexametaphosphate เช่น HMP ในปริมาณประมาณ 10 ppm

นอกจากวิธีต่างๆ ดังกล่าวแล้ว การป้องกันผลึกมิให้เกิดขึ้นอาจกระทำได้โดยการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายในโมดูล มิให้มีค่าสูงเกินกว่าความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ วิธีการคือควบคุมอัตราไหลของน้ำเข้มข้นที่ปล่อยออกจากระบบให้มีปริมาณสูงเพียงพอ เพื่อลดความเข้มข้นของสารละลายที่สะสมตัวอยู่ในโมดูล (วิธีการเช่นนี้เป็นการควบคุม Recovery มิให้สูงเกินไปนั่นเอง)

5.1.2 การตกผลึกของเหล็ก และ แมงกานีส (Iron & Manganese Oxide Fouling)

ภายใต้สภาวะทั่วไป เหล็กสามารถตกผลึกได้รวดเร็ว และ ง่ายกว่าแมงกานีสเป็นอย่างมาก ผลึกของเหล็กจึงพบในโมดูล RO มากกว่าของในแมงกานีส ส่วนใหญ่มักเป็นผลึกออกไซด์ การตกผลึกของเหล็กเกิดขึ้น เนื่องจากเหล็กเฟรัส (Fe^{+2}) ซึ่งละลายน้ำได้ ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในน้ำ กลายเป็นเหล็กเฟริก ซึ่งตกผลึกได้ง่าย โดยปกติ ถ้าน้ำดิบมีออกซิเจนละลายน้ำน้อย หรือ ไม่มีเลย ระบบ RO สามารถทนต่อน้ำที่มีเฟรัสได้ไม่เกิน 4 ppm แต่ถ้าน้ำดิบมีออกซิเจนประมาณ 5 ppm หรือมากกว่า จะต้องมีเหล็กเฟรัสไม่เกิน 0.05 ppm

อันที่จริงแล้ว เหล็กจะไม่สร้างปัญหาให้ระบบ RO เลย ถ้าสามารถควบคุมให้อยู่ในรูปของเฟรัสตลอดเวลา ดังนั้นจึงอาจแก้ปัญหาในเรื่องตกผลึกได้ โดยการเติมกรดเกลือเพื่อลด pH ซึ่งเป็นการลดอัตราออกซิเดชันของเหล็ก ในกรณีที่มีการตกผลึกของเหล็กเกิดขึ้นอยู่ก่อนแล้ว ควรล้างด้วยสารละลายกรดซิตริก (Citric Acid) แล้ว ปรับ pH ให้ได้เท่ากับ 4 ด้วยแอมโมเนียไฮดรอกไซด์

5.1.3 การอุดตันเนื่องจากสารคอลลอยด์ (SDI Fouling)

น้ำที่เข้าเครื่อง RO ต้องปราศจากสารแขวนลอยเพื่อป้องกันการเข้าไปอุดตันในรูของเมมเบรน โดยสารแขวนลอยสามารถกำจัดโดยใช้ Cartridge Filter 5 Micron สำหรับสารคอลลอยด์ จะมีการสะสมตัวใกล้แผ่น เมมเบรน และ มีการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) เกิดขึ้น การสะสมตัวของสารละลายในโมดูล ทำให้มีระดับเกลือแร่สูงจนกระทั่ง Diffuse Layer ของคอลลอยด์ถูกบีบให้แคบลง และ เกิดโคแอกกูเลชันได้ ผลที่เกิดขึ้นคือ มีการรวมตัวกันของคอลลอยด์จนเป็นกลุ่มก้อน และเกาะอยู่บนเมมเบรน ทำให้มีการอุดตันเมมเบรนเกิดขึ้น

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

การวัดเสถียรภาพและความเข้มข้นของคอลลอยด์ อาจกระทำได้โดยการวัดซีตาโพเทนเซียล (Zeta Potential) และ Silt Density Index (SDI) ตามลำดับ คอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพสูง จะมีซีตาโพเทนเซียลสูง และ เกิดโคแอกกูเลชันได้ยาก ในทางตรงข้าม คอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพต่ำ จะมีซีตาโพเทนเซียลต่ำ และ เกิดโคแอกกูเลชันได้ง่าย Silt Density Index (SDI) เป็นดรรชนีที่ใช้แสดงระดับความเข้มข้นของคอลลอยด์ น้ำบาดาลมักมี SDI ประมาณ 2-3 หรือน้อยกว่า และ ไม่ก่อปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเรื่องการอุดตันเมมเบรน น้ำผิวดินอาจมี SDI สูงตั้งแต่ 10 จนถึง 175 และมีคอลลอยด์เข้มข้นจนเกิดการอุดตันของเมมเบรน

5.1.4 การอุดตันเนื่องจากจุลินทรีย์ (Biological Fouling)

ถ้าปล่อยให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้บนเมมเบรน (ด้านน้ำเข้มข้นหรือน้ำดิบ) ปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้มีดังนี้

- เมมเบรนถูกทำลาย ทั้งนี้เพราะเมมเบรนเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถใช้เป็นอาหารได้
- อุดตันเมมเบรน
- จุลินทรีย์อาจรั่วผ่านเมมเบรน และ หลุดออกไปพร้อมกับน้ำสะอาดที่ผลิตได้ ทำให้น้ำสะอาดมมลทิน

ในจำนวนโมดุล RO ทั้ง 4 ชนิด ที่กล่าวถึงในตอนที่ 3.1 มีชนิดเดียวเท่านั้นที่ทนทานต่อการทำลายของจุลินทรีย์ ได้เป็นอย่างดีคือโมดูลแบบเส้นใยกลวง ซึ่งใช้โพลีเอไมด์ทำเมมเบรน การใช้คลอรีนฆ่าจุลินทรีย์ต้องกระทำอย่างระมัดระวังเท่านั้น เนื่องจากคลอรีนมีปฏิกิริยากับเมมเบรนส่วนใหญ่ ถ้าปล่อยให้สัมผัสกันนานเกินไป หรือ คลอรีนเข้มข้นเกินไป เมมเบรนอาจถูกทำลายจนสูญเสียคุณภาพ วิธีรักษาเมมเบรนให้สามารถใช้ได้นานและมีคุณภาพดีตลอดเวลา อาจกระทำได้โดยการทำลายจุลินทรีย์ในน้ำดิบด้วยคลอรีนเสียก่อน จากนั้นจึงกำจัดคลอรีนตกค้างที่มากเกินไปก่อนส่งน้ำเข้าโมดูล ในกรณีที่ต้องปิดเครื่อง RO เป็นเวลานานๆ ควรล้างเมมเบรนด้วยสารละลาย ฟอร์แมลดีไฮด์ (Formaldehyde) เสียก่อนเพื่อป้องกันจุลินทรีย์มิให้เติบโตภายใต้สภาวะสงบนิ่ง

5.2วิธี และ ขั้นตอนการ Cleaning

5.2.1 วิธีการ Cleaning

Chemical Cleaning เป็นการทำความสะอาดเมมเบรนโดยใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับสิ่งสกปรกที่ตกค้าง และ อุดตันซึ่งเป็นสารที่ไม่สามารถกำจัดออกได้ด้วยน้ำ Permeate สำหรับสารเคมีที่ใช้จะแบ่งเป็น

5.2.1.1 Acid Cleaning นำสาร Acid Cleaning มาละลายน้ำโดยน้ำที่นำมาละลายนั้นจะต้องใช้น้ำ Permeate จาก R/O เท่านั้น โดยผสมให้มีค่า pH = 2.5-3.0 ใช้กำจัดสารอนินทรีย์พวก Inorganic Mineral Scale ซึ่งเป็นพวกตะกรันต่างๆเช่น CaCO3 (Scale Fouling) และ สารชีวภาพ (Biological Fouling)

5.2.1.2 Alkaline Cleaning นำสาร Alkaline Cleaning มาละลายน้ำ โดยน้ำที่นำมาละลายนั้น จะต้องใช้น้ำ Permeate จาก R/O เท่านั้น โดยผสมให้มีค่า pH = 11.0-11.5 ใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่ตกค้างใน เมมเบรน เช่น โปรตีน ไขมัน (SDI Fouling) และ กำจัดตะกอนเหล็กคราบสนิม (Iron & Maganese Oxide Fouling)

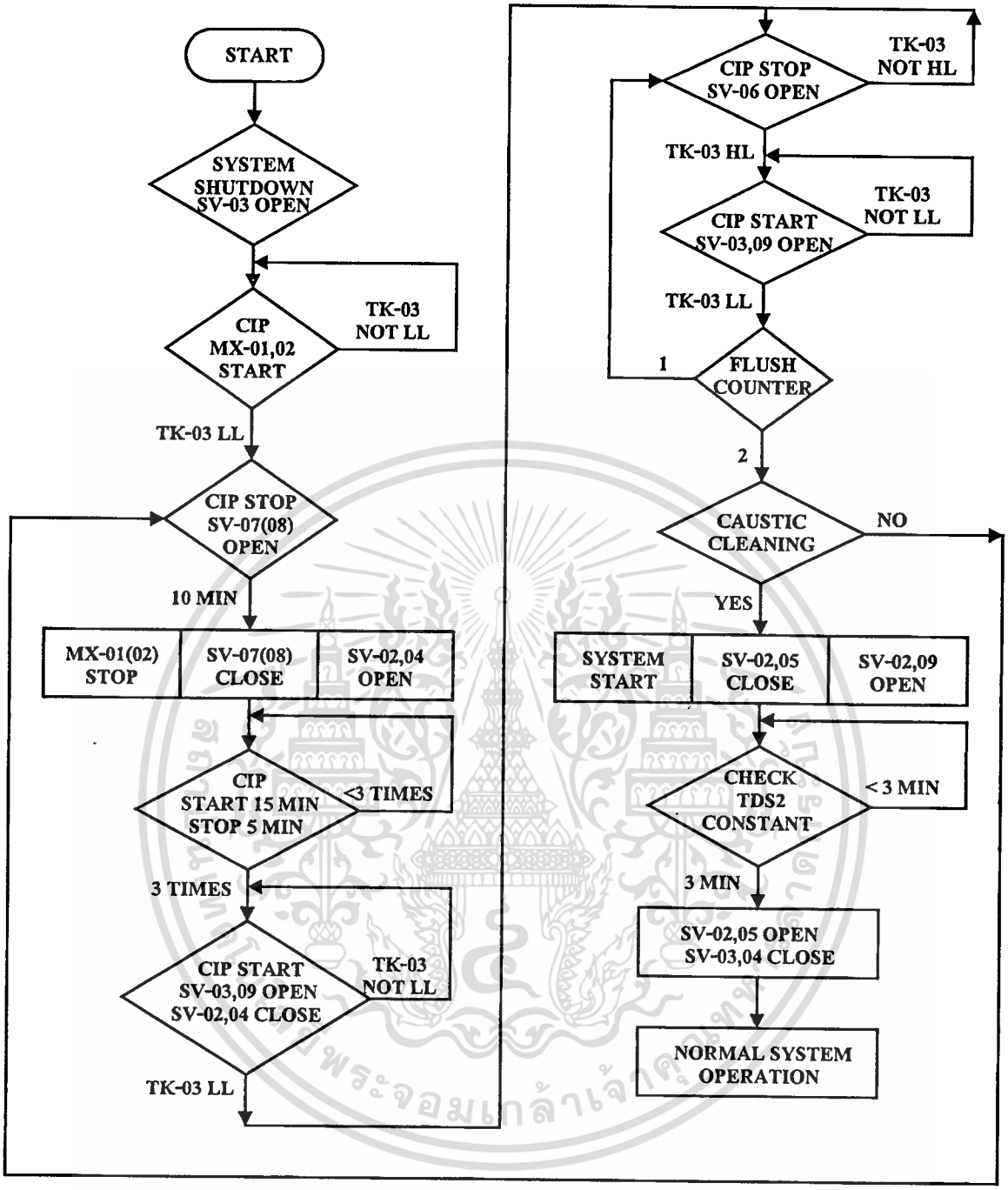
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 ขั้นตอนการ Cleaning

สำหรับขั้นตอนการทำความสะอาดระบบออสโมซิสย้อนกลับ (อ้างอิงจากรูปที่_7.1) เป็นดังรูปที่ 5.1 ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

1. ในขณะที่กำลังเดินเครื่อง RO อยู่เปิด Valve (SV- 02) ให้น้ำ Permeate ไหลเข้าสู่ Cleaning Tank (TK-02) ประมาณครึ่งหนึ่ง
2. หยุดเครื่อง R/O
3. เตรียมสารละลายส่วน Acid Cleaning Solution ลงใน Cleaning Tank (TK-02)
4. ปิดวาล์วน้ำ Concentrate to Drain (SV-03) , Permeate to Storage Tank (SV-05), Inlet Valve (SV-01)
5. เปิดวาล์วน้ำ Concentrate Recycle (SV-04), Permeate Recycle (SV-02) เพื่อให้สารเคมีในเครื่องไหลวนลงสู่ Cleaning Tank (TK-02) ได้
6. เปิด CIP Pump เพื่อดูดสารเคมีเข้ามาทำการชะล้างเมมเบรน แล้วไหลลงสู่ Cleaning Tank (TK-02) โดยใช้เวลาประมาณ 15 นาที จากนั้นปิด CIP Pump เพื่อทำการแช่เมมเบรนนานประมาณ 5 นาที ทำอย่างนี้ 3 รอบ
7. เมื่อครบ 3 รอบให้เปิดวาล์ว Concentrate to Drain (SV-03), Permeate to Drain (SV-09) และ ปิดวาล์ว Permeate Recycle (SV-02), Concentrate Recycle (SV-04) และ เปิด CIP Pump เพื่อ Drain เคมีออกจากเครื่องให้หมด
8. เปิดวาล์ว Storage to CIP (SV-06) เพื่อเติมน้ำ Permeate ลงใน CIP Tank (TK-02) จากนั้นให้เปิด CIP Pump เพื่อดูดน้ำ Permeate มาชะล้างสารเคมีในเมมเบรน ทำอย่างนี้ 2 รอบ
9. ให้เริ่มต้นทำความสะอาดใหม่อีกครั้งโดยเปลี่ยนเป็นสารละลาย Alkaline Cleaning Solution
10. สุดท้ายเมื่อ Cleaning เสร็จแล้ว ก่อนเริ่มเดินเครื่อง R/O ให้เปิดวาล์ว Permeate to Drain (SV-09) ไว้ และ เช็คค่าน้ำจนกระทั่งค่า TDS ที่ได้เป็นไปตามมาตรฐาน จึงปิด และ เปิดวาล์ว Permeate to Storage Tank (SV-05) เพื่อให้น้ำที่ผลิตได้เข้าสู่กระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนในการทำความสะอาดระบบออสโมซิสย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การคำนวณหาประสิทธิภาพของ Membrane

การที่จะคำนวณหาประสิทธิภาพของเมมเบรน จำเป็นต้องมีการบันทึก และ เก็บข้อมูลของตัวแปรที่เป็นปัจจัยหลักทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการเดินระบบครั้งแรก ตัวแปรที่เป็นปัจจัยหลักต่อประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำ ปริมาณ แรงดัน และ อุณหภูมิของน้ำ โดยข้อมูลที่ถูกจัดเก็บนั้นเป็นดังตารางที่ 6.1

Data & Condition	start-up	operation	unit
Feed pressure (P1)			psi
Permeate pressure (P2)			psi
Concentrate pressure (P3)			psi
Feed TDS (TDS1)			ppm
Feed TDS (TDS2)			ppm
Feed TDS (TDS3)			ppm
Feed flow (F1)			m^3/hr
Feed flow (F2)			m^3/hr
Feed flow (F3)			m^3/hr
Feed temperature (T1)			celsius

ตารางที่ 6.1 ตารางการเก็บข้อมูลเพื่อใช้คำนวณหาประสิทธิภาพของระบบออสโมซิสย้อนกลับ

เพื่อที่จะพิจารณาความเสื่อมลงของประสิทธิภาพเมมเบรนระหว่าง เมื่อระบบเริ่มทำงานครั้งแรก กับ เมื่อระบบทำงาน ณ.ปัจจุบัน การคำนวณเปรียบเทียบต้องสามารถกำจัดตัวแปรที่เป็นปัจจัยภายนอกต่อประสิทธิภาพเมมเบรนออกไปได้ โดยใช้สูตรการคำนวณหาประสิทธิภาพเมมเบรนที่กล่าวถึงต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 Normalize Permeate Flow (PF)

$$Q_S = \frac{Pf_S - \Delta P_S/2 - Pp_S + \pi fc_S}{Pf_0 - \Delta P_0/2 - Pp_0 + \pi fc_0} \times \frac{TCF_S}{TCF_0} \times Q_0 \qquad (6.1)$$

with Pf = Feed Pressure

ΔP/2 = One half divide pressure drop

Pp = Product Pressure

Q = Product Flow

πfc = Osmotic pressure of the feed concentrate mixture

TCF = Temperature correction factor

$$EXP[2640 \times \{1/298 - 1/(273+T)\}]; T \geq 25C$$

Subscript s = standard condition

Subscript o = operation condition

Note this calculation assume $\pi fc_s = \pi fc_o$

6.2 Normalize Permeate TDS (PT)

$$Cp_S = Cp_0 \times \frac{Pf_0 - \Delta P_0/2 - Pp_0 - \pi fc_0 + \pi p_0}{Pf_S - \Delta P_S/2 - Pp_S - \pi fc_S + \pi p_S} \times \frac{Cf_{CS}}{Cf_{C0}} \qquad (6.2)$$

$$Cf_C = Cf \times \ln\left(\frac{1}{1-Y}\right) \Big/ Y \qquad (6.3)$$

Where Y = Recovery ratio = product flow / feed flow

Cf = TDS feed mg/l

Cp = Product concentration as ion in mg/l

πp = Osmotic pressure of the permeate in bar

Note this calculation assume $\pi fc_s = \pi fc_o$, $\pi p_s = \pi p_o$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพเมมเบรน

ค่าน้ำเมื่อระบบเริ่มทำงานครั้งแรก

Feed Temp:	15 °C (59°F)	Feed TDS:	1986 mg/l
Feed Pressure:	363 psi (25 Bar)	Pressure Drop:	43.5 psi (3 Bar)
Feed Flow:	150 m^3/h (660gpm)	Permeate Pressure:	14.5 psi (1 Bar)
Recovery:	75 %	Permeate TDS:	83 mg/l

ค่าน้ำเมื่อเดินระบบผ่านไป 3 เดือน

Feed Temp:	10 °C (50°F)	Feed TDS:	1942 mg/l
Feed Pressure:	406 psi (25 Bar)	Pressure Drop:	58 psi (4 Bar)
Feed Flow:	127 m^3/h (660gpm)	Permeate Pressure:	29 psi (2 Bar)
Recovery:	72 %	Permeate TDS:	80 mg/l

สำหรับสภาวะระบบเริ่มทำงานครั้งแรกเราจะได้ว่า

Pf_s = 363 psi (25 Bar)

$\frac{\Delta P_s}{2}$ = 22.5 psi (1.5 Bar)

Cf_s = 1986 mg/l

$$Cf_s = 1986 \times \frac{\ln \frac{1}{1-0.75}}{0.75} = 3671 \text{ mg/l}$$

π_{fc_s} = 36.3 psi (2.5 Bar)

TFC_S = EXP [2640 × {1 / 298 – 1 / (273+15)}] = 0.67

สำหรับสภาวะการทำงานเมื่อระบบทำงานผ่านไป 3 เดือน เราจะได้ว่า

Pf_o = 406 psi (28 Bar)

$\frac{\Delta P_o}{2}$ = 29 psi (2 Bar)

Cf_o = 1942 mg/l

$$Cf_o = 1942 \times \frac{\ln \frac{1}{1-0.72}}{0.72} = 3433 \text{ mg/l}$$

π_{fc_o} = 39.4 psi (2.72 Bar)

TFC_O = EXP [2640 × {1 / 298 – 1 / (273+10)}] = 0.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าตัวแปรทั้งหมดในสมการ Normalize Permeate Flow (สมการที่ 6.1) จะได้

$$PF = Q_s = \frac{25-1.5-1-2.5}{28-2-2-2.7}\times\frac{0.67}{0.54}\times 127$$

$$= 148\ m^3/h \text{ หรือ } 652\ gpm$$

เมื่อเปรียบเทียบกับตอนระบบเริ่มทำงานครั้งแรก จะพบว่าระบบสูญเสียปริมาณไปเพียงแค่ 1.65% หรือ ประมาณ 2 m^3/h ซึ่งถือว่าปริมาณน้ำที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ดังนั้นระบบไม่จำเป็นต้องทำความสะอาด

แทนค่าตัวแปรทั้งหมดในสมการ Normalize Permeate TDS (สมการที่ 6.2) จะได้

$$PT = C_{ps} = \frac{28-2-2-2.72+0.06}{25-1.5-1-2.5-0.05}\times\frac{3671}{3433}\times 80$$

$$= 91.48\ mg/l$$

เมื่อเปรียบเทียบกับตอนระบบเริ่มทำงานครั้งแรก จะพบว่าระบบมีค่า TDS สูงขึ้น 10.2% หรือประมาณ 8.43 mg/l ซึ่งถือว่าคุณภาพน้ำยังอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ ดังนั้นระบบไม่จำเป็นต้องทำความสะอาด

6.3 Recovery (%R)

เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณของน้ำดี กับ ปริมาณของน้ำดิบ คิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ เพื่อบอกถึงความสามารถในการผลิตน้ำบริสุทธิ์ของระบบ

$$\%Recovery = \frac{PermeateFlow}{FeedFlow}\times 100 \qquad (6.4)$$

ตัวอย่างการคำนวณ

- Permeate Flow (P2) = 95 gpm
- Feed Flow (P1) = 126.5 gpm

ดังนั้น $\%Recovery = \frac{95}{126.5}\times 100$

%R = 75%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 Salt Passage (%SP)

เป็น อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำดี กับ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารละลายในระบบ คิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ เพื่อบอกถึงความสามารถของเมมเบรนในการยอมให้สารอินทรีย์ผ่าน

$$\%SaltPassage = \frac{PermeateTDS}{AverageTDS} \times 100 \quad (6.5)$$

$$\%AverageTDS = \frac{ConcentrateTDS + PermeateTDS}{2} \quad (6.6)$$

ตัวอย่างการคำนวณ

- Permeate TDS (TDS2) = 30 mg/l
- Concentrate TDS (TDS3) = 3000 mg/l

$$\%AverageTDS = \frac{3000 + 30}{2} = 1515 \text{ mg/l}$$

$$\%SaltPassage = \frac{30}{1515} \times 100$$

%SP = 1.98%

6.5 Salt Rejection (%SR)

เป็น อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำทิ้ง กับ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารละลายในระบบ คิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ เพื่อบอกถึงความสามารถของเมมเบรนในการแยกสารอินทรีย์ออกจากน้ำดิบ

$$\%Salt\ \text{Re}\ jection = 1 - \%SaltPassage \quad (6.6)$$

ตัวอย่างการคำนวณ

- %Salt Passage (%SP) = 1.98%

$$\%Salt\ \text{Re}\ jection = 1 - 1.98$$

%SR = 98.02%

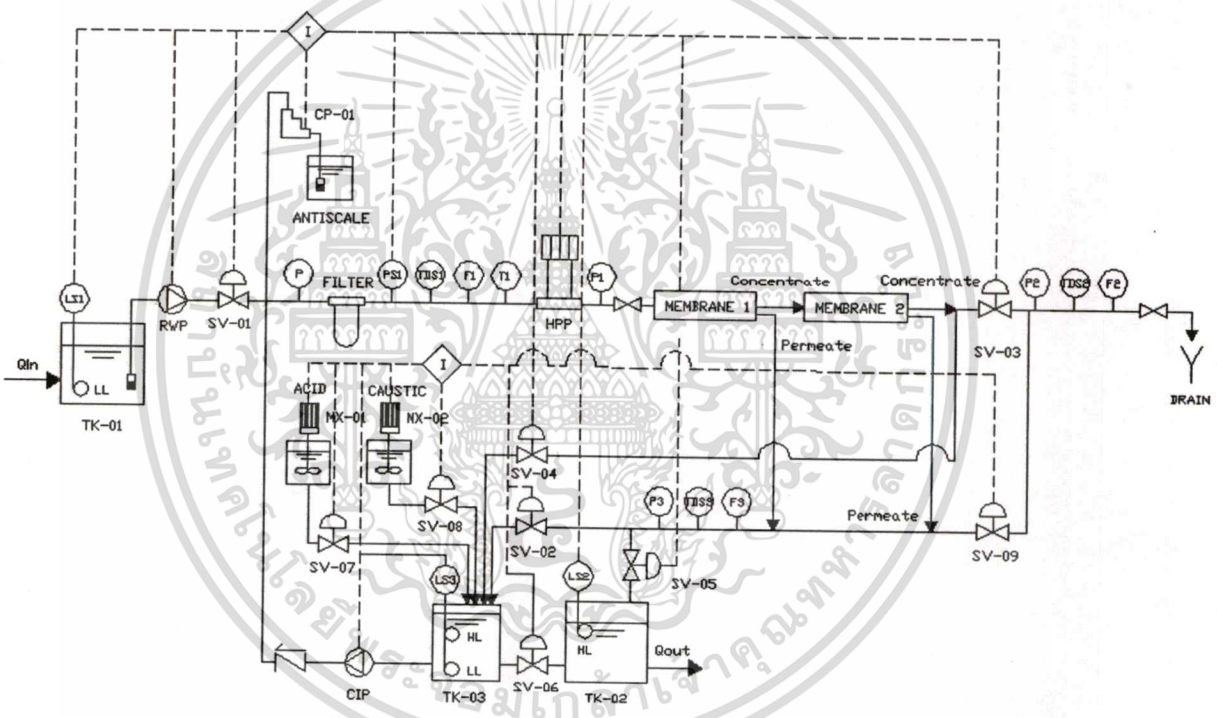
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การประยุกต์และพัฒนาระบบ Reverse Osmosis

7.1 การประยุกต์และพัฒนาระบบสู่ Automation Reverse Osmosis

สำหรับหลักการทำงานของระบบออสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัติ เป็นการประยุกต์มาจากระบบออสโมซิสย้อนกลับ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยที่ระบบสามารถคำนวณวิเคราะห์หาแนวโน้มประสิทธิภาพของเมมเบรนเพื่อทำความสะอาดอัตโนมัติ ซึ่งกำหนดจากปริมาณและคุณภาพน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตได้ ในการประยุกต์นี้จำเป็นต้องมีการเพิ่มเติมอุปกรณ์ดังแสดงรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 ระบบออสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.1 รายละเอียดและหน้าที่ของอุปกรณ์ที่เพิ่มเติม

7.1.1.1 Automatic Valve

สำหรับวาล์วอัตโนมัติที่เพิ่มขึ้นจะมีทั้งหมด 7 ตัว และ มีหน้าที่ใช้งานดังนี้

- SV-03 (Drain Concentrate Valve) ใช้สำหรับปล่อยน้ำ Concentrate ทิ้งออกจากระบบ
- SV-04 (Concentrate to CIP Tank Valve) ใช้สำหรับหมุนเวียนสารเคมีจากท่อ Concentrate สู่ถัง CIP
- SV-05 (RO Storage Tank Valve) ใช้สำหรับปล่อยน้ำ Permeate สู่ถัง RO
- SV-06 (RO Tank to CIP Tank Valve) ใช้สำหรับเติมน้ำ Permeate จาก RO Tank ไปยัง CIP Tank
- SV-07 (Acid Valve) ใช้สำหรับเติมกรดลงใน CIP Tank ตอนทำความสะอาด
- SV-08 (Caustic Valve) ใช้สำหรับเติมกรดลงใน CIP Tank ตอนทำความสะอาด
- SV-09 (Drain Permeate Valve) ใช้สำหรับปล่อยน้ำ Permeate ทิ้งออกจากระบบ

7.1.1.2 Mixer

สำหรับ Mixer ที่เพิ่มขึ้นจะมีทั้งหมด 2 ตัว และ มีหน้าที่ใช้งานดังนี้

- MX-01 (Acid Mixer) ใช้สำหรับกวนสารเคมีกรด เพื่อให้กรดละลายทั่วกัน
- MX-02 (Caustic Mixer) ใช้สำหรับกวนสารเคมีด่าง เพื่อให้ด่างละลายทั่วกัน

7.1.1.3 Analog Card Module 4 Channels (12 bits)

สำหรับ Analog Card Module ที่เพิ่มขึ้นจะมีทั้งหมด 3 การ์ด และ มีหน้าที่ใช้งานดังนี้

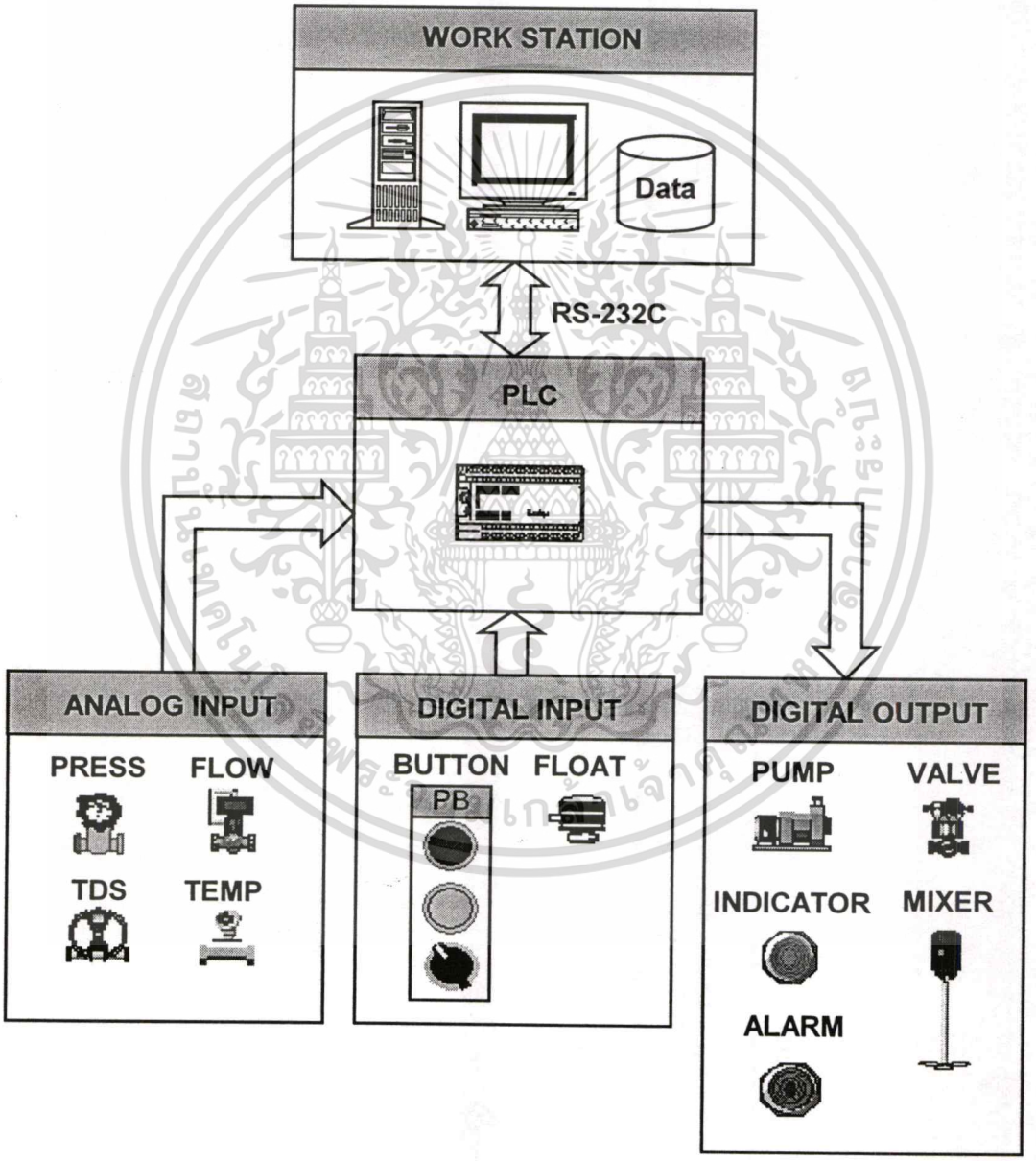
- Analog Card Module (Extension 1) ใช้รับสัญญาณจากเครื่องมือวัด P1, P2, P3, TDS1
- Analog Card Module (Extension 2) ใช้รับสัญญาณจากเครื่องมือวัด TDS2, TDS3, F1, F2
- Analog Card Module (Extension 3) ใช้รับสัญญาณจากเครื่องมือวัด F3, T1

โดยหลักการทำงานของระบบจะเหมือนกับระบบออสโมซิสย้อนกลับ ต่างกันที่ระบบออสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัตินี้สามารถทำความสะอาดเมมเบรนได้เอง โดยกำหนดจากคุณภาพน้ำบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1 การควบคุมระบบ Automation Reverse Osmosis System

การทำงานของระบบจะมีคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการเฝ้ามองกระบวนการ การคำนวณวิเคราะห์หาแนวโน้มประสิทธิภาพของเมมเบรนพร้อมทั้งการจัดเก็บข้อมูลเพื่อง่ายต่อการตรวจสอบย้อนกลับ โดยแสดงผลในรูปของกราฟ การทำความสะอาดเมมเบรนจะถูกกำหนดจากคุณภาพน้ำ ซึ่งมีรูปแบบของอุปกรณ์ควบคุมเป็นดังรูปที่ 7.2 โดย PLC จะทำการควบคุมการทำงานตามขั้นตอนของระบบ และ ขั้นตอนในการทำความสะอาด โดย PLC จะควบคุมการทำงานตามโปรแกรมที่ป้อนเข้าไป (รายละเอียดโปรแกรม PLC ของระบบ Automation Reverse Osmosis นี้ดูได้จากภาคผนวก ก.)



รูปที่ 7.2 รูปแบบของอุปกรณ์ควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

การออกแบบและใช้งาน Software Computer

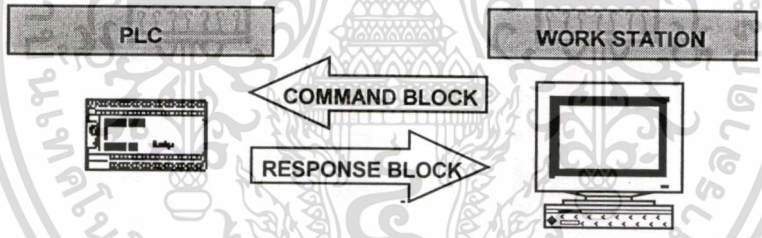
8.1 การออกแบบ Software

ในการออกแบบ Software นั้นแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

- ส่วนที่ทำการติดต่อสื่อสาร และ จัดการข้อมูลกับ PLC
- ส่วนที่ทำการติดต่อกับผู้ใช้
- ส่วนที่ทำการคำนวณ บันทึกข้อมูล และ แสดงผลในรูปของกราฟ

8.1.1 Software ที่ทำการติดต่อสื่อสาร และ จัดการข้อมูลกับ PLC

สำหรับการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่าง PLC กับ Computer จะเป็นการสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232C โดยใช้ Hostlink โหมด ซึ่งเป็นหนึ่งในมาตรฐานการสื่อสารของ PLC OMRON การติดต่อสื่อสารข้อมูลจะเป็นลักษณะการถามตอบกันระหว่าง PLC กับ Computer (รูปที่ 8.1) ซึ่ง Computer จะเป็นฝ่ายถามก่อนโดยการส่งบล็อกคำสั่ง (Command Block) ออกไป จากนั้น PLC จะทำการตรวจสอบแล้วส่งบล็อกตอบสนองกลับมา (Response Block) โดยความเร็วของการรับส่งบล็อกหนึ่งรอบอยู่ที่ประมาณ 0.2 วินาที รูปแบบของบล็อกเป็นดังรูปที่ 8.2



รูปที่ 8.1 การติดต่อสื่อสารระหว่าง PLC กับ Computer

@	UNIT NO.	COMMAND	DATA (123 CHARECTERS MAX)	FCS	*	CR

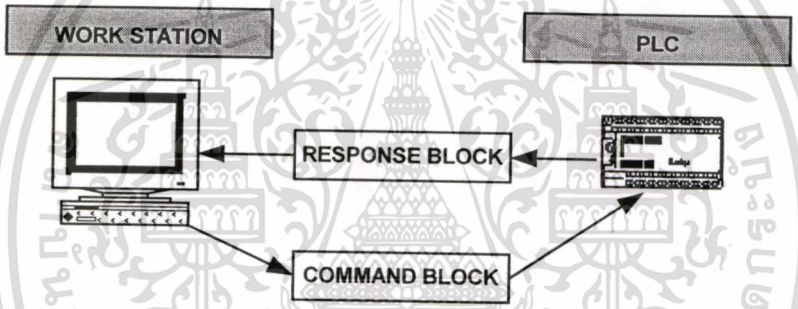
@	UNIT NO.	RESPONSE COMMAND	DATA (123 CHARECTERS MAX)	FCS	*	CR

รูปที่ 8.2 รูปแบบของบล็อกคำสั่งและบล็อกตอบสนอง (Hostlink Mode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะบล็อกของเครื่องควบคุม PLC ที่ใช้ (Hostlink Mode) ติดต่อสื่อสารประกอบด้วย

- **Startor (@)** เป็นมาตรฐาน (Hostlink) ที่ใช้ในการเริ่มต้นส่งบล็อค
- **Unit No.** เป็นส่วนที่กำหนดหมายเลขเครื่องของ PLC ที่ต้องการติดต่อสื่อสาร กรณีที่มีเครื่องควบคุม PLC เพียงตัวเดียว อักขระที่ใช้จะเป็น 00
- **Header** เป็นส่วนของคำสั่งหลัก (Command/Response Command)ว่าต้องการกระทำกับข้อมูลส่วนใดของเครื่องควบคุม PLC
- **Data** เป็นส่วนของข้อมูล เช่น ค่าที่อ่านได้จากอินพุท หรือ ค่าที่จะต้องเขียนในพื้นที่ต่าง ๆ
- **Frame Check Sequence (FCS)** เป็นส่วนที่ควบคุมความพิดพลาดของข้อมูลซึ่งได้จากการคำนวณ
- **Terminator (*)** เป็นมาตรฐาน (Hostlink) ที่ใช้ในการบอกว่าจบบล็อก
- **Carriage Return (CR)** เป็นมาตรฐาน (Hostlink) ที่ใช้ในการส่งข้อมูลเมื่อพบอักขระนี้



รูปที่ 8.3 การส่ง Command and Response Command Block ระหว่างคอมพิวเตอร์ กับ PLC

Command เป็น คำสั่งที่คอมพิวเตอร์ส่งไปที่ PLC เพื่อบอกว่าต้องการกระทำกับข้อมูลส่วนใดของเครื่องควบคุม PLC

Response Command เป็น คำสั่งตอบสนองที่ PLC ส่งคืนไปที่คอมพิวเตอร์เพื่อบอกถึงส่วนของข้อมูลที่คอมพิวเตอร์กระทำกับเครื่องควบคุม PLC

เมื่อ Computer ได้รับบล็อกตอบสนอง (Response Block) มาแล้ว ก็จะทำการตรวจสอบดูว่าข้อมูลที่ได้รับมานั้นถูกต้อง โดยการเช็ค FCS ของ บล็อคตอบสนอง (Response Block) ทั้งนี้เพื่อป้องกันความผิดพลาดของข้อมูลที่เกิดจากรบกวนภายนอก จากนั้นก็จะทำการแยกข้อมูลที่ต้องการนำไปใช้ (Data) ออกจากบล็อกตอบสนอง และ เนื่องจากข้อมูลที่ได้นั้นอยู่ในรูปแบบของเลขฐาน 16 จึงต้องแปลงข้อมูลที่ได้ให้อยู่ในรูปแบบของไบนารี่ (Binary) ก่อน เพื่อให้ง่ายต่อการนำข้อมูลไปใช้ในกระบวนการต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.1.1.1 การคำนวณ Frame Check Sequence (FCS)

ตารางที่ 8.1 ตารางแสดงการคำนวณ Frame Check Sequence (FCS)

อักขระ	รหัส ASCII (HEX)	รหัส ASCII (BINARY)	XOR (BINARY)	FCS (HEX)
@	40	0100 0000		
0	30	0011 0000	0111 0000	70
0	30	0011 0000	0100 0000	40
R	52	0101 0010	0001 0010	12
R	52	0101 0010	0100 0000	40
0	30	0011 0000	0111 0000	70
0	30	0011 0000	0100 0000	40
0	30	0011 0000	0111 0000	70
0	30	0011 0000	0100 0000	40
0	30	0011 0000	0111 0000	70
0	30	0011 0000	0100 0000	40
1	31	0011 0001	0111 0001	71
6	36	0011 0110	0100 0111	**47**

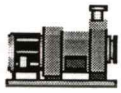
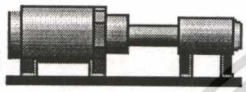
FCS หรือ Frame Check Sequence เป็นส่วนที่ใช้ในการตรวจสอบข้อผิดพลาดของการสื่อสาร เป็นการนำตัวอักษรข้อมูล ASCII มาเปลี่ยนข้อมูลไบนารี 8 บิท แล้วนำมาทำการ EXCLUSIVE-OR (XOR) โดยเริ่มจาก @ จนถึงตัวอักษรตัวสุดท้ายของ DATA จนสุดท้ายก็ทำการเปลี่ยนข้อมูลไบนารี 8 บิท มาเป็นตัวอักษรข้อมูล ASCII ซึ่งอักษร ASCII นี้ถือเป็น FCS

ตัวอย่างการคำนวณ FCS ต้องการอ่านพื้นที่ IR จำนวน 15 Word ตั้งแต่ Word ที่ 0000 ถึง Word ที่ 0016 ของ PLC ซึ่งมีบล็อกคำสั่งดังนี้ “@00RR00000016+FCS+*+CR” ซึ่งจะได้ว่า FCS = 47 ดังการคำนวณในตารางที่ 8.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

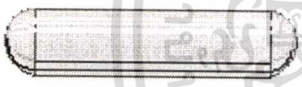
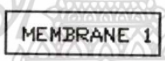
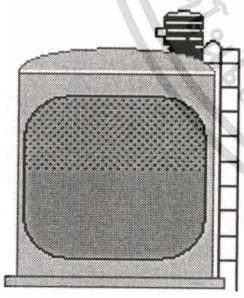
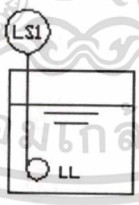
8.1.2Software ที่ติดต่อกับผู้ใช้

สำหรับ Software ที่ติดต่อกับผู้ใช้ จะสื่อออกมาในรูปของกระบวนการ เพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการเฝ้ามอง โดยเมื่ออุปกรณ์ทำงานจะทำการเปลี่ยนสีจากสีแดงเป็นสีเขียว และ ค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดจะแสดงที่อุปกรณ์ Instrument ซึ่งจะทำการเปลี่ยนแปลงตามข้อมูลล่าสุด

EQUIPMENT	SYMBOL	DEFINITION
		**Raw Water Pump**
		**High Pressure Pump**
		Mixer
		Clemical Feed Pump
		Automatic Valve
		Check Valve
		Manual Ball Valve

รูปที่ 8.4 สัญลักษณ์ที่ใช้ในกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

รูปที่ 8.4 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำข้อมูลที่ได้จากหัวข้อที่ 8.1.1 มาใช้นั้น เราต้องทำการกำหนดข้อมูลและอุปกรณ์ให้สอดคล้องกัน โดยกำหนดค่า Address ของอุปกรณ์ให้ตรงกับ PLC โดยใส่ค่าที่คุณสมบัติ Tool Tip Text สำหรับรูปที่ใช้สื่อนี้นำมาจาก Software RS View32 Version 5.0 โดยทำการ Capture ภาพมาเป็น .bmp ก่อนจะ import เข้าไปใช้ใน VB 6.0 โดยสื่ออุปกรณ์ที่ใช้เป็นดังรูปที่ 8.4

นอกจากส่วนที่ใช้ในการแสดงผลให้ผู้ใช้ได้รับทราบผลแล้วส่วนที่ทำการติดต่อกับผู้ใช้ยังมีส่วนของการกำหนดค่าต่างๆ ของข้อมูลด้วย เช่น

1. Pre Scale เป็นการกำหนดค่าสูงสุดและต่ำสุดของย่านในการวัดของอุปกรณ์เครื่องมือวัด

2. Sampling Period เป็นการกำหนดช่วงระยะเวลาในการเก็บบันทึกข้อมูลของกระบวนการ

8.1.3Software ที่ทำการคำนวณ บันทึกข้อมูล และ แสดงผลในรูปของกราฟ

สำหรับ Software ที่ทำการคำนวณ จะนำข้อมูลดิบที่ได้มาจากหัวข้อที่ 8.1 มาทำการคำนวณ โดย แบ่งเป็น

- **Normalize Permeate Flow (PF)** เป็นการหา อัตราการไหลของน้ำดีที่ลดลงของระบบ เนื่องจากการอุดตันของเมมเบรน
- **Normalize Permeate TDS (PT)** เป็นการหา ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำดีที่เพิ่มขึ้นของระบบ เนื่องจากการอุดตันของเมมเบรน
- **Recovery (%R)** เป็นการคำนวณเพื่อหาอัตราส่วนระหว่างปริมาณของน้ำดี กับ ปริมาณของน้ำดิบ
- **Salt Passage (%SP)** เป็นการหาอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำดี กับ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารละลายในระบบ
- **Salt Rejection (%SR)** เป็นการหาอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำทิ้ง กับ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารละลายในระบบ

เมื่อทำการคำนวณแล้วก็จะนำค่าที่คำนวณได้เหล่านี้ และ ค่าข้อมูลดิบ มาแสดงในรูปของกราฟ เพื่อให้ง่ายต่อการสังเกตุดูแนวโน้มของประสิทธิภาพเมมเบรน โดยการใช้ ActiveX Tee chart Pro 4.0 เข้ามาช่วยในการแปลงจากข้อมูลตัวเลขมาเป็นกราฟ จากนั้นก็จะทำการบันทึกข้อมูลตัวเลขเหล่านี้ลงใน File ข้อมูล (Note Pad) เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบย้อนกลับ

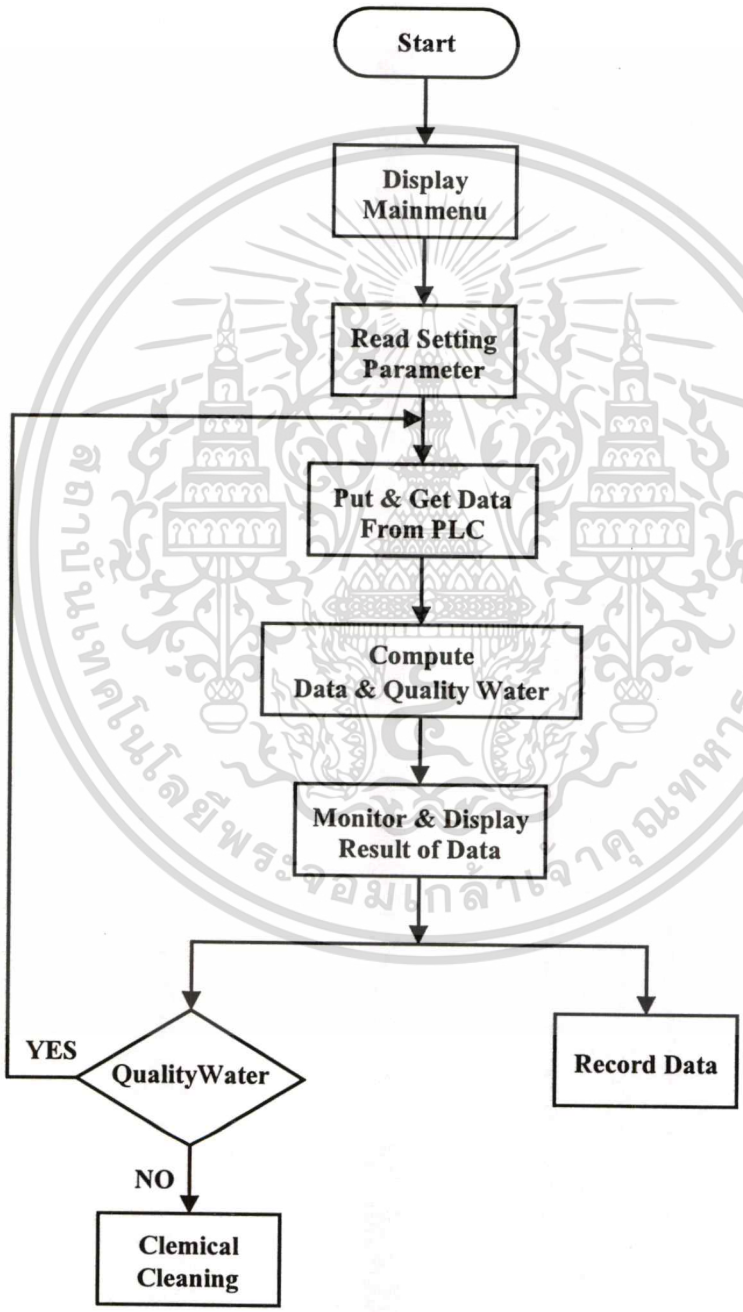
8.2 ขั้นตอนการทำงานของ Software

ขั้นตอนการทำงานของ Software สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 8.5 เริ่มแรก Software จะทำการแสดงหน้าจอหลัก (Main Menu Page) และ ทำการอ่านข้อมูลที่ ผู้ใช้กำหนดที่หน้ากำหนดพารามิเตอร์ (Setting Parameter Page) จากนั้น Software จะทำการอ่านข้อมูลจาก PLC ผ่าน Hostlink Mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พร้อมทั้ง จัดการข้อมูลและคำนวณหาประสิทธิภาพของ เมมเบรน พร้อมทั้งนำไปเปรียบเทียบกับคุณภาพน้ำที่กำหนดไว้เพื่อตัดสินใจให้ระบบเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาด

ข้อมูลที่ได้จาก PLC และ จากการคำนวณ จะถูกแสดงในหน้าของกระบวนการ (Process Diagram Page) และ ในหน้าแนวโน้มประสิทธิภาพเมมเบรนในรูปของกราฟ (Trend Performance Page) จากนั้นก็จะทำการบันทึกข้อมูลลงในไฟล์ข้อมูลเพื่อสะดวกและง่ายต่อการตรวจสอบย้อนกลับ ซึ่งข้อมูลที่เก็บบันทึกไว้นี้สามารถเปิดดูได้ในหน้าตรวจสอบประสิทธิภาพเมมเบรนย้อนหลังในรูปของกราฟ (Historical Page)



รูปที่ 8.5 ขั้นตอนการทำงานของ Software

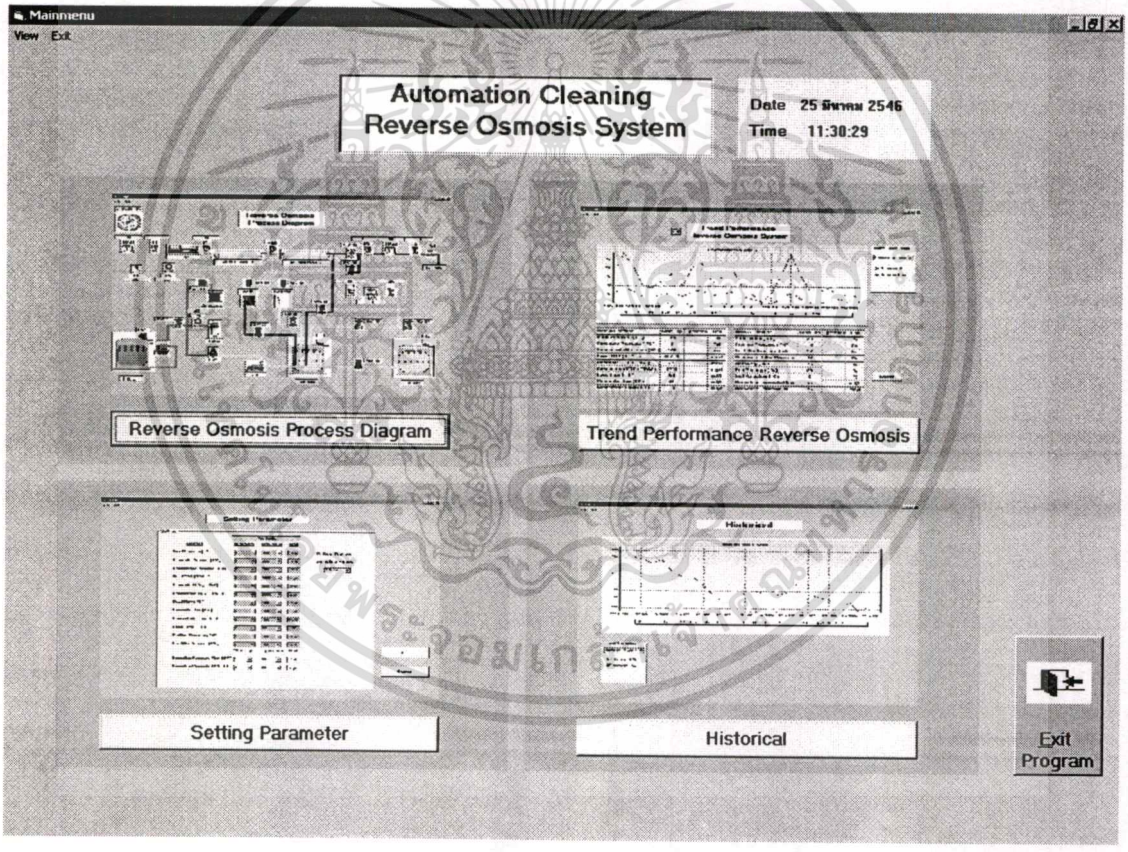
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.3 การใช้งาน Software

สำหรับการใช้งาน Software นั้นประกอบไปด้วย หน้าหลักๆ อยู่ 5 หน้า คือ

1. หน้าจอหลัก (Main Menu Page)
2. หน้ากระบวนการ (Process Diagram Page)
3. หน้ากำหนดพารามิเตอร์ (Setting Parameter Page)
4. หน้าแนวโน้มประสิทธิภาพเมมเบรน (Trend Performace Page)
5. หน้าตรวจสอบประสิทธิภาพเมมเบรนย้อนหลัง (Historical Page)

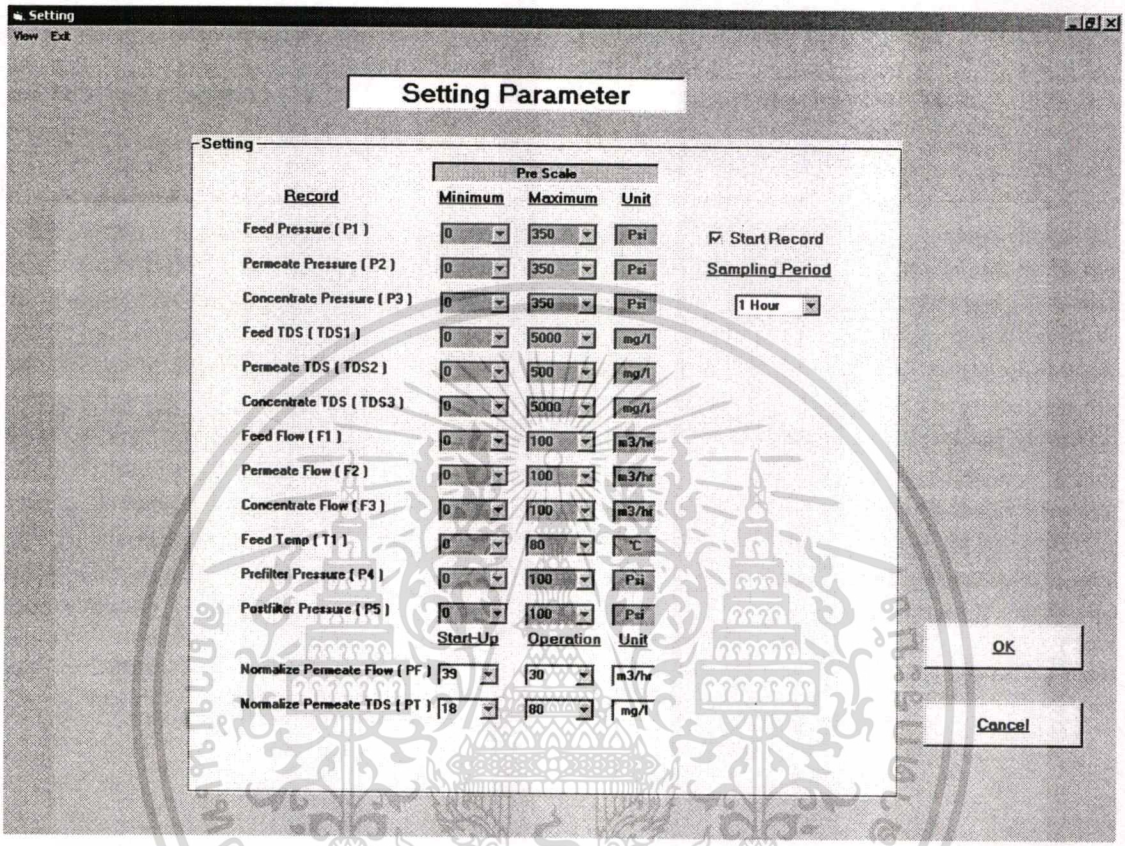
โดยเริ่มต้นการทำงาน Software จะทำการแสดงหน้าจอหลัก ดังรูปที่ 8.6 โดยผู้ใช้สามารถเลือกเข้าไปดูที่หน้าอื่นๆ ได้โดยการคลิกที่รูปนั้น



รูปที่ 8.6 หน้าจอหลัก (Main Menu Page)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

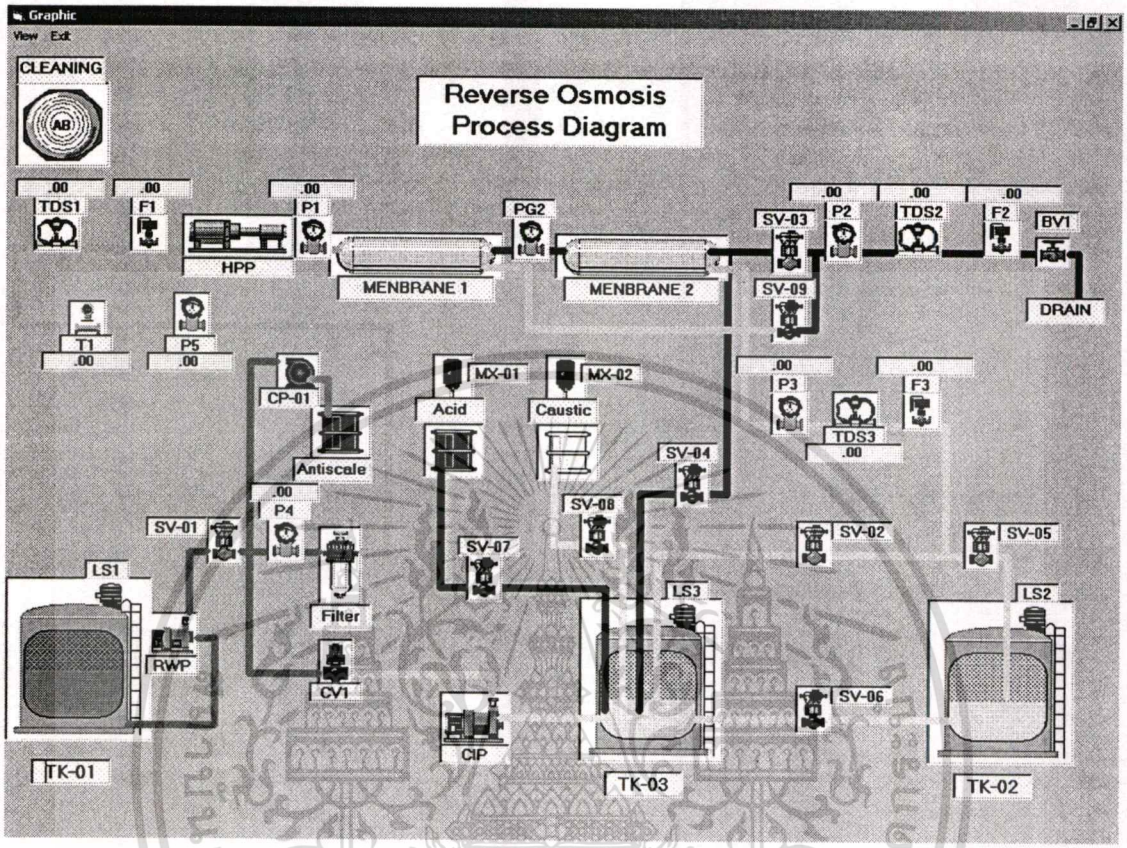
จากนั้นให้เลือกคลิกไปที่หน้ากำหนดพารามิเตอร์ เพื่อกำหนดค่า Pre Scale ของอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ใช้ในกระบวนการ และ ค่า Sampling Period เพื่อกำหนดระยะเวลาในการเก็บข้อมูลดังรูปที่ 8.7



รูปที่ 8.7 หน้ากำหนดพารามิเตอร์ (Setting Parameter Page)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

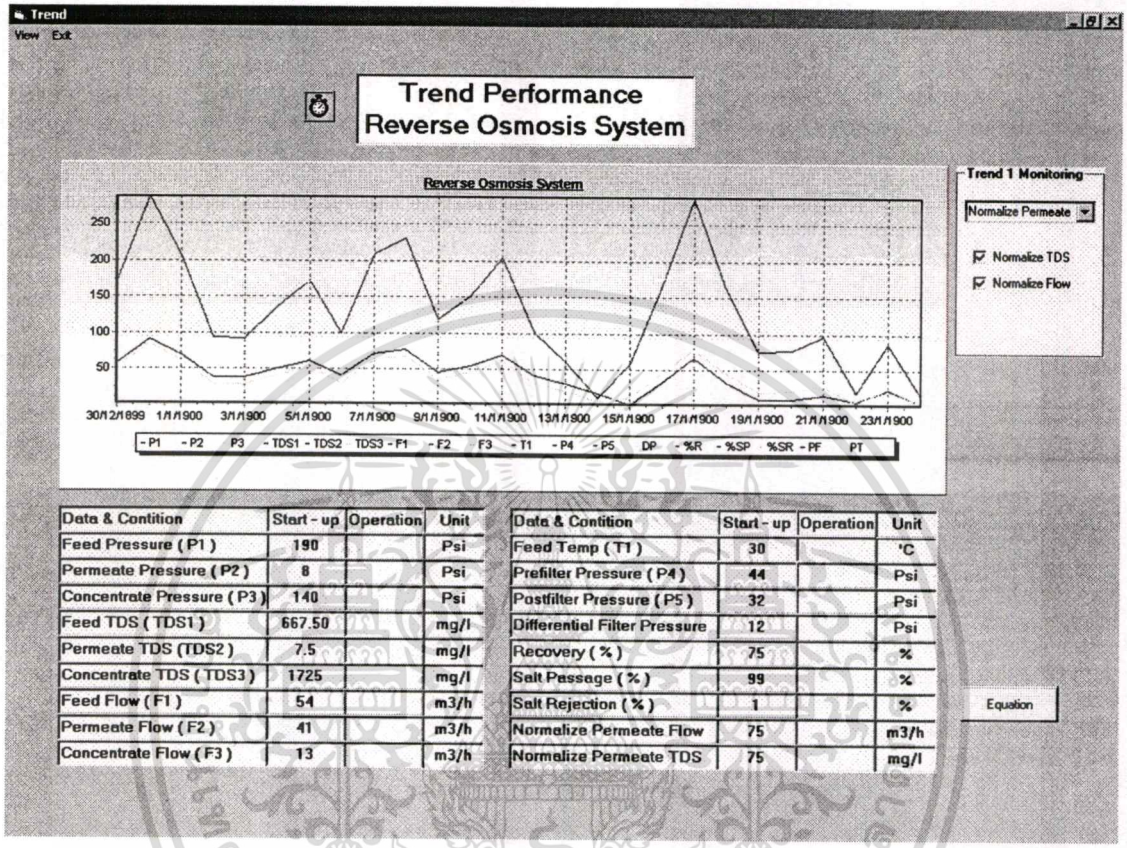
จากนั้นก็จะเป็นการเฝ้ามองการทำงานของกระบวนการ โดยเลือกไปที่หน้ากระบวนการเพื่อดูการทำงานของอุปกรณ์ และ ค่าของเครื่องมือวัด ดังในรูปที่ 8.8



รูปที่ 8.8 หน้ากระบวนการ (Process Diagram Page)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ต้องการดูแนวโน้มของประสิทธิภาพเมมเบรน หรือ ค่าของอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ ที่แสดงในรูปของกราฟ ให้เลือกไปที่หน้าแนวโน้มประสิทธิภาพเมมเบรน (Trend Performace Page) ดังในรูปที่ 8.9



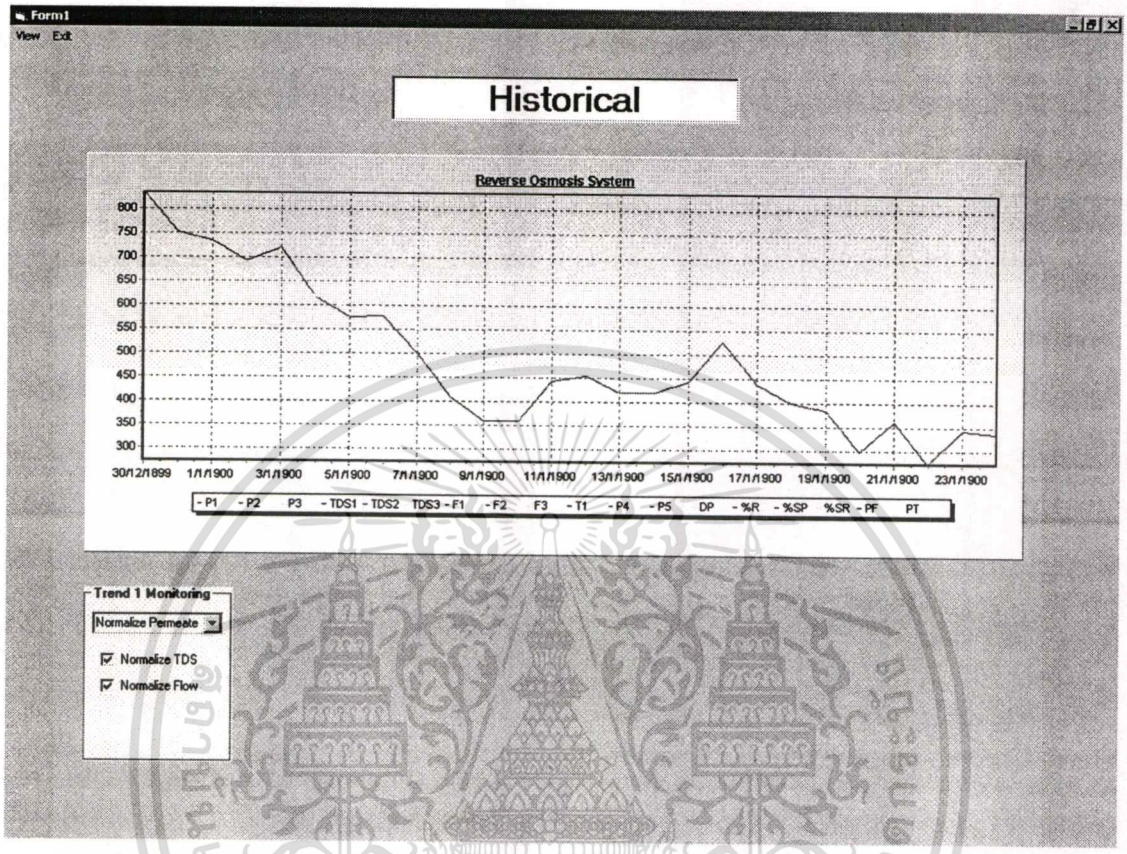
Data & Contition	Start - up	Operation	Unit
Feed Pressure (P1)	190		Psi
Permeate Pressure (P2)	8		Psi
Concentrate Pressure (P3)	140		Psi
Feed TDS (TDS1)	667.50		mg/l
Permeate TDS (TDS2)	7.5		mg/l
Concentrate TDS (TDS3)	1725		mg/l
Feed Flow (F1)	54		m3/h
Permeate Flow (F2)	41		m3/h
Concentrate Flow (F3)	13		m3/h

Data & Contition	Start - up	Operation	Unit
Feed Temp (T1)	30		'C
Prefilter Pressure (P4)	44		Psi
Postfilter Pressure (P5)	32		Psi
Differential Filter Pressure	12		Psi
Recovery (%)	75		%
Salt Passage (%)	99		%
Salt Rejection (%)	1		%
Normalize Permeate Flow	75		m3/h
Normalize Permeate TDS	75		mg/l

รูปที่ 8.9 หน้าแนวโน้มประสิทธิภาพเมมเบรน (Trend Performace Page)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกรณีที่ต้องการตรวจสอบย้อนกลับถึงประสิทธิภาพเมมเบรน หรือ ค่าของอุปกรณ์เครื่องมือวัด ก็ให้เลือกที่หน้าตรวจสอบประสิทธิภาพเมมเบรนย้อนหลัง (Historical Page) ดังรูปที่ 8.10



รูปที่ 8.10 หน้าตรวจสอบประสิทธิภาพเมมเบรนย้อนหลัง (Historical Page)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

ผลการทดลอง

การทดลองระบบออสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัติโดยวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์นั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสมรรถนะการทำงานของ Software ว่าสามารถทำงานได้ถูกต้องแม่นยำหรือไม่ โดยการเฝ้ามองการทำงานของอุปกรณ์ในกระบวนการ การแสดงข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เครื่องมือวัด การคำนวณหาประสิทธิภาพเมมเบรน การแสดงผลของข้อมูลที่คำนวณได้ในรูปของกราฟ การจัดเก็บข้อมูลลงในไฟล์ การนำข้อมูลเก่ามาตรวจสอบย้อนหลังโดยแสดงผลในรูปของกราฟ การแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการลดลงของปริมาณและคุณภาพน้ำเนื่องจากผลของประสิทธิภาพเมมเบรนที่เสื่อมลง การตัดสินใจเข้าสู่การทำความสะอาด และ ขั้นตอนในการทำความสะอาด อีกทั้งเพื่อทดสอบหาจุดบกพร่องในกรณีต่างๆที่ทำการจำลองเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

ตารางที่ 9.1 มาตรฐานของน้ำดิบและน้ำที่ผลิตได้จากระบบออสโมซิสย้อนกลับ

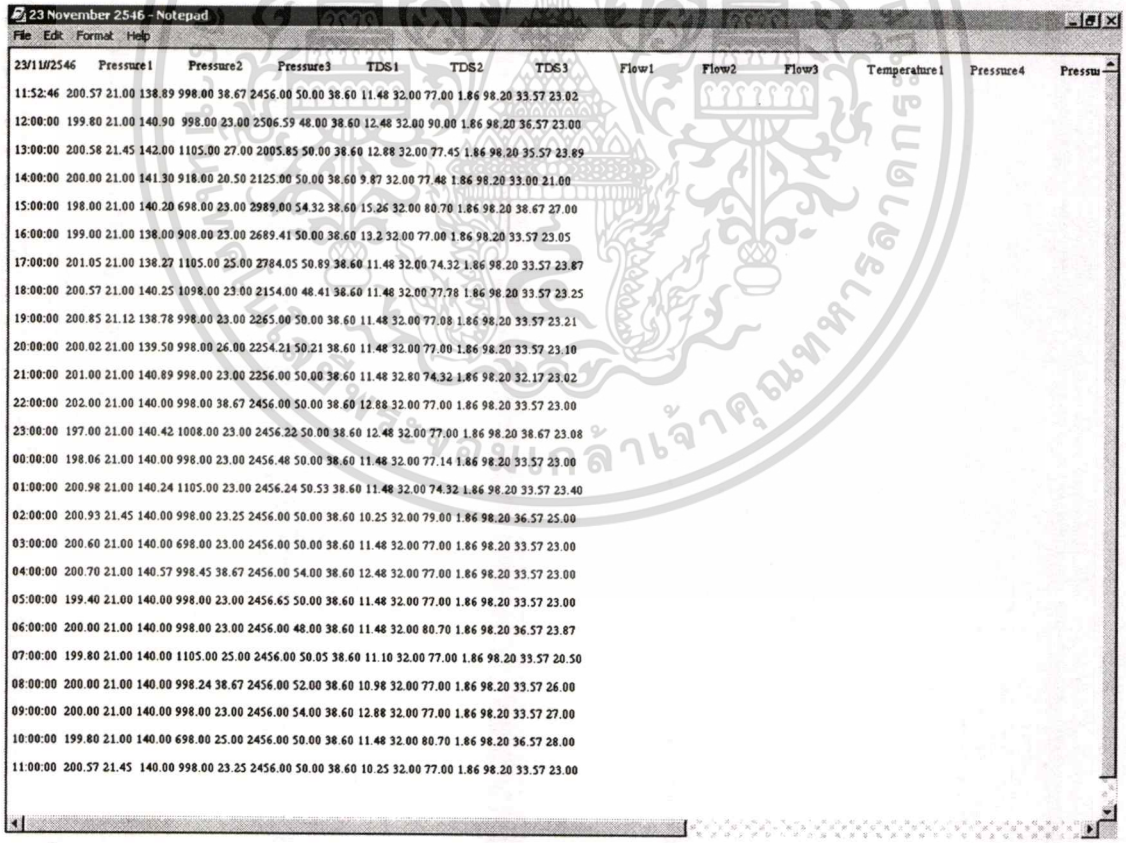
ตัวอย่างน้ำที่ผลิตได้จากระบบออสโมซิสย้อนกลับ			
สาร/ดรรชนีในน้ำ	หน่วย	น้ำดิบ	น้ำบริสุทธิ์
Total Dissolve Solids	mg/l	1000	<250
Electrical Conductivity	us/cm	1337	<333.33
Water Flow Rate	m^3/hr	54	35
Total Hardness	ppm as $CaCO_3$	180	<0.2
Total Alkalinity	ppm as $CaCO_3$	56	20-50
Chloride	mg/l	350 Max	35-100
Total Iron	mg/l	0.1	<0.04
Turbidity	NTU	Very Slightly Turbid	<5
pH at 28 oC		8.0	7.0-8.0
Color		Very Pale Green	<5
Normalize Permeate Flow	m^3/hr	-	>30
Normalize Permeate TDS	mg/l	-	<250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองนี้เป็นการจำลองระบบออสโมซิสย้อนกลับที่ใช้ในการผลิต น้ำดื่ม และ น้ำที่เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตน้ำเชื่อม (Sirup) ซึ่งมาตรฐานของน้ำดิบที่เข้าระบบ และ น้ำที่ผลิตได้จากระบบเป็นดังตารางที่ 9.1 โดยระบบมีความสามารถในการผลิตน้ำ 41 m^3/hr ต่อ น้ำดิบ 54 m^3/hr (Recovery 80%) และ เมมเบรนมีความสามารถในการแยกสารอินทรีย์ออกจากน้ำ 99% (Salt Rejection) สำหรับการทำความสะอาด (Cleaning) นั้น จะใช้ปริมาณสารเคมีกรด และ ด่างอย่างละ 40 กิโลกรัม ต่อ น้ำ Permeate 460 ลิตร ต่อการทำความสะอาด 1 ครั้ง สำหรับข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลองนี้นำมาจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำอัดลม บริษัท เสริมสุข จำกัด

9.1 การทดลอง

หลังจากระบบออสโมซิสถูกติดตั้งเสร็จเรียบร้อย รวมถึง การปรับตั้งอัตราการเปิดวาล์วน้ำทิ้ง อัตราการเติมสารเคมี (Antiscale) และ ทดสอบการเดินเครื่องเพื่อซ่อมแซมรอยรั่วซึมทั้งหมดแล้ว คอมพิวเตอร์จะทำการบันทึกประสิทธิภาพของเมมเบรนเมื่อระบบเริ่มเดินเครื่องครั้งแรก ดังรูปที่ 9.1 จากนั้นก็ทำการเก็บข้อมูล ซึ่งผลการเก็บข้อมูลภายในระยะ 9 เดือน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 9.2 สำหรับระบบจะถูกควบคุมโดย PLC และ ถูกเฝ้ามองผ่านคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 9.2



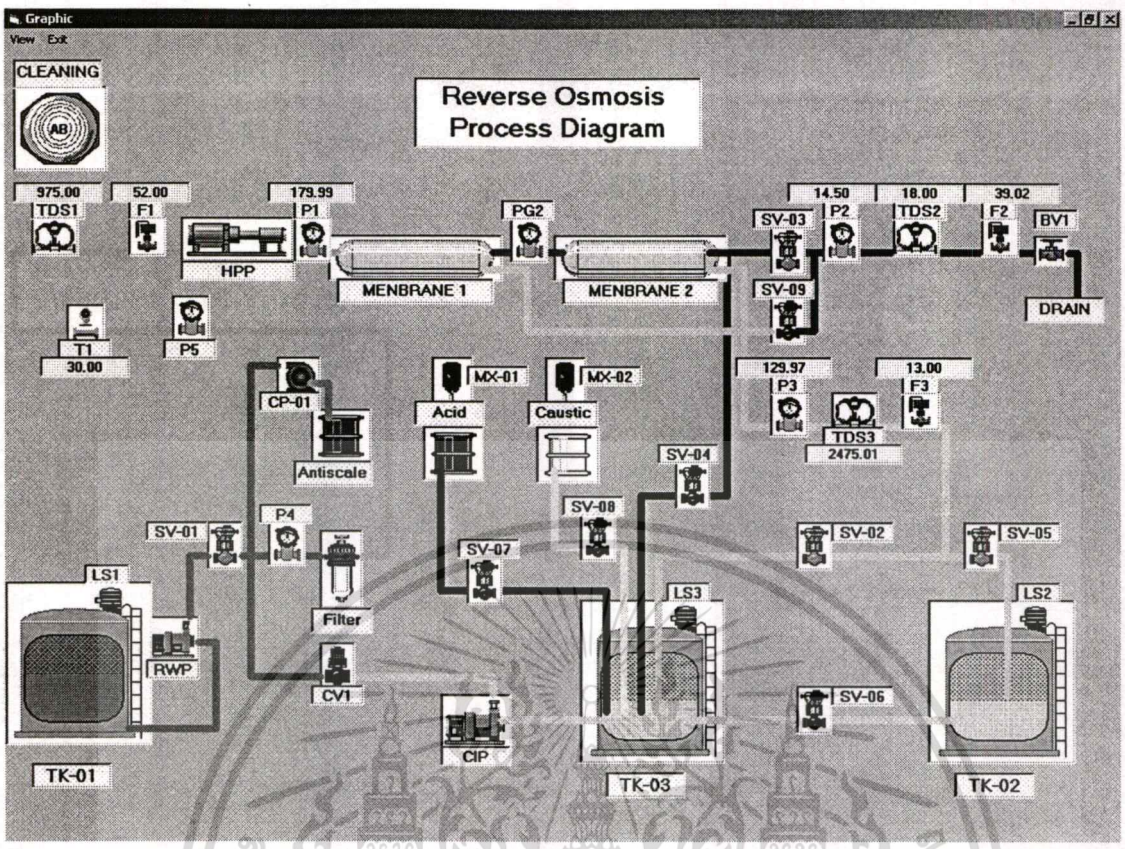
23 November 2546 - Notepad

File Edit Format Help

23/11/2546	Pressure1	Pressure2	Pressure3	TDS1	TDS2	TDS3	Flow1	Flow2	Flow3	Temperature1	Pressure4	Pressu
11:52:46	200.57	21.00	138.89	998.00	38.67	2456.00	50.00	38.60	11.48	32.00	77.00	1.86	98.20	33.57	23.02		
12:00:00	199.80	21.00	140.90	998.00	23.00	2506.59	48.00	38.60	12.48	32.00	90.00	1.86	98.20	36.57	23.00		
13:00:00	200.58	21.45	142.00	1105.00	27.00	2005.85	50.00	38.60	12.88	32.00	77.45	1.86	98.20	35.57	23.89		
14:00:00	200.00	21.00	141.30	918.00	20.50	2125.00	50.00	38.60	9.87	32.00	77.48	1.86	98.20	33.00	21.00		
15:00:00	198.00	21.00	140.20	698.00	23.00	2989.00	54.32	38.60	15.26	32.00	80.70	1.86	98.20	38.67	27.00		
16:00:00	199.00	21.00	138.00	908.00	23.00	2689.41	50.00	38.60	13.2	32.00	77.00	1.86	98.20	33.57	23.05		
17:00:00	201.05	21.00	138.27	1105.00	25.00	2784.05	50.89	38.60	11.48	32.00	74.32	1.86	98.20	33.57	23.87		
18:00:00	200.57	21.00	140.25	1098.00	23.00	2154.00	48.41	38.60	11.48	32.00	77.78	1.86	98.20	33.57	23.25		
19:00:00	200.85	21.12	138.78	998.00	23.00	2265.00	50.00	38.60	11.48	32.00	77.08	1.86	98.20	33.57	23.21		
20:00:00	200.02	21.00	139.50	998.00	26.00	2254.21	50.21	38.60	11.48	32.00	77.00	1.86	98.20	33.57	23.10		
21:00:00	201.00	21.00	140.89	998.00	23.00	2256.00	50.00	38.60	11.48	32.80	74.32	1.86	98.20	32.17	23.02		
22:00:00	202.00	21.00	140.00	998.00	38.67	2456.00	50.00	38.60	12.88	32.00	77.00	1.86	98.20	33.57	23.00		
23:00:00	197.00	21.00	140.42	1008.00	23.00	2456.22	50.00	38.60	12.48	32.00	77.00	1.86	98.20	38.67	23.08		
00:00:00	198.06	21.00	140.00	998.00	23.00	2456.48	50.00	38.60	11.48	32.00	77.14	1.86	98.20	33.57	23.00		
01:00:00	200.98	21.00	140.24	1105.00	23.00	2456.24	50.53	38.60	11.48	32.00	74.32	1.86	98.20	33.57	23.40		
02:00:00	200.93	21.45	140.00	998.00	23.25	2456.00	50.00	38.60	10.25	32.00	79.00	1.86	98.20	36.57	25.00		
03:00:00	200.60	21.00	140.00	698.00	23.00	2456.00	50.00	38.60	11.48	32.00	77.00	1.86	98.20	33.57	23.00		
04:00:00	200.70	21.00	140.57	998.45	38.67	2456.00	54.00	38.60	12.48	32.00	77.00	1.86	98.20	33.57	23.00		
05:00:00	199.40	21.00	140.00	998.00	23.00	2456.65	50.00	38.60	11.48	32.00	77.00	1.86	98.20	33.57	23.00		
06:00:00	200.00	21.00	140.00	998.00	23.00	2456.00	48.00	38.60	11.48	32.00	80.70	1.86	98.20	36.57	23.87		
07:00:00	199.80	21.00	140.00	1105.00	25.00	2456.00	50.05	38.60	11.10	32.00	77.00	1.86	98.20	33.57	20.50		
08:00:00	200.00	21.00	140.00	998.24	38.67	2456.00	52.00	38.60	10.98	32.00	77.00	1.86	98.20	33.57	26.00		
09:00:00	200.00	21.00	140.00	998.00	23.00	2456.00	54.00	38.60	12.88	32.00	77.00	1.86	98.20	33.57	27.00		
10:00:00	199.80	21.00	140.00	698.00	25.00	2456.00	50.00	38.60	11.48	32.00	80.70	1.86	98.20	36.57	28.00		
11:00:00	200.57	21.45	140.00	998.00	23.25	2456.00	50.00	38.60	10.25	32.00	77.00	1.86	98.20	33.57	23.00		

รูปที่ 9.1 การจัดเรียงและบันทึกข้อมูลประสิทธิภาพเมมเบรน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



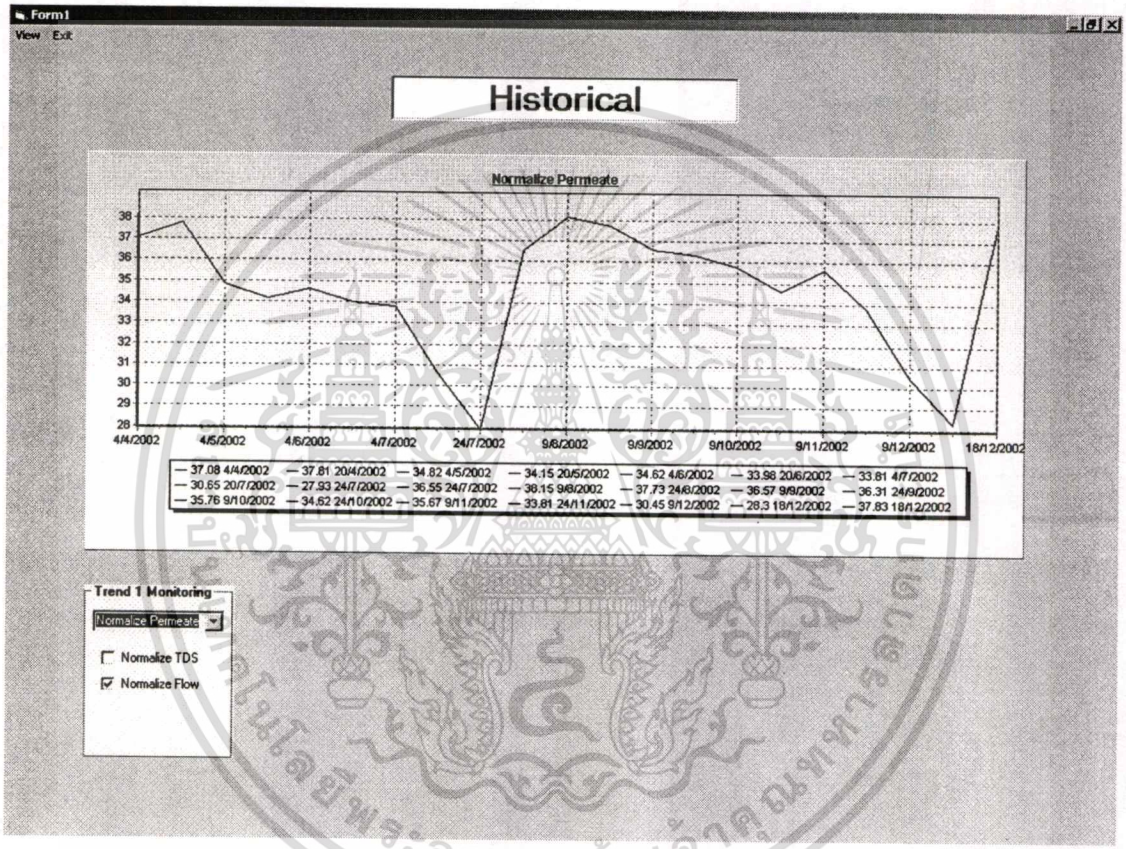
รูปที่ 9.2 การเฝ้ามองกระบวนการผ่านคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9.2 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องกรองน้ำ

Data Performance of Reverse Osmosis System																
Condition	**Date**	**P1**	**P2**	**P3**	**TDS1**	**TDS2**	**TDS3**	**F1**	**F2**	**F3**	**T1**	**%R**	**%SP**	**%SR**	**PF**	**PT**
Start-Up	3/4/02	180.00	14.50	130.00	975.00	**18.00**	2475.00	52.00	**39.00**	13.00	32.00	75.00	1.44	98.56		
	4/4/02	180.00	14.50	128.00	667.50	14.50	1725.00	54.00	40.90	13.10	32.60	75.74	1.67	98.33	37.08	20.78
	20/4/02	185.00	15.00	132.00	773.43	17.32	2752.00	54.00	41.00	13.00	31.50	75.93	1.25	98.75	37.81	21.97
	4/5/02	190.00	16.50	135.00	853.00	19.00	2205.00	54.00	40.20	13.80	32.60	74.44	1.71	98.29	34.82	22.76
	20/5/02	192.00	18.00	134.00	983.00	22.00	2785.00	53.00	38.20	14.80	32.00	72.08	1.57	98.43	34.15	23.52
	4/6/02	195.00	19.00	135.00	1050.00	24.00	2810.00	52.00	39.00	13.00	32.00	75.00	1.69	98.31	34.62	23.15
	20/6/02	198.00	20.00	135.00	851.00	23.40	2476.00	51.00	38.40	12.60	32.00	75.29	1.87	98.13	33.98	27.82
	4/7/02	200.00	21.00	138.00	752.00	22.00	2350.00	50.00	38.60	11.40	32.00	77.20	1.85	98.15	33.81	29.00
	20/7/02	202.00	22.00	138.00	1025.00	32.00	2204.00	51.00	35.00	16.00	32.00	68.63	2.86	97.14	30.65	35.08
Before Cleaning	24/7/02	210.00	29.00	145.00	1080.00	52.00	1725.00	52.00	32.00	20.00	32.00	61.54	5.85	94.15	27.93	59.06
After Cleaning	24/7/02	182.00	14.50	125.00	982.00	16.00	2620.00	52.00	39.20	12.80	32.00	**75.38**	**1.21**	**98.79**	**36.55**	**15.62**
	9/8/02	185.00	15.00	125.00	854.00	17.00	2412.00	54.00	41.20	12.80	32.00	76.30	1.40	98.60	38.15	18.94
	24/8/02	185.00	14.50	125.00	720.00	17.00	2050.00	54.00	40.90	13.10	32.00	75.74	1.64	98.36	37.73	22.75
	9/9/02	187.00	15.00	128.00	1025.00	22.00	2714.00	52.00	40.20	11.80	32.00	77.31	1.61	98.39	36.57	20.45
	24/9/02	190.00	16.50	130.00	853.00	19.00	2205.00	54.00	40.20	13.80	32.00	74.44	1.71	98.29	36.31	22.37
	9/10/02	192.00	17.00	132.00	721.00	17.50	1822.00	53.00	40.00	13.00	32.00	75.47	1.90	98.10	35.76	24.24
	24/10/02	195.00	19.00	135.00	682.00	17.00	1920.00	52.00	39.00	13.00	32.00	75.00	1.76	98.24	34.62	25.25
	9/11/02	198.00	20.00	140.00	1002.00	27.00	2878.00	54.00	41.00	13.00	32.00	75.93	1.86	98.14	35.67	27.45
	24/11/02	200.00	21.00	138.00	998.00	32.00	2832.00	50.00	38.60	11.40	32.00	77.20	2.23	97.77	33.81	31.78
	9/12/02	202.00	22.00	140.00	966.00	36.00	2830.00	51.00	35.00	16.00	32.00	68.63	2.51	97.49	30.45	42.16
Before Cleaning	18/12/02	210.00	32.00	150.00	914.00	60.00	3200.00	50.00	31.00	19.00	31.00	62.00	3.68	96.32	28.30	79.84
After Cleaning	18/12/02	185.00	15.00	125.00	982.00	18.00	2620.00	52.00	39.20	12.80	31.00	**75.38**	**1.36**	**98.64**	**37.83**	**17.70**

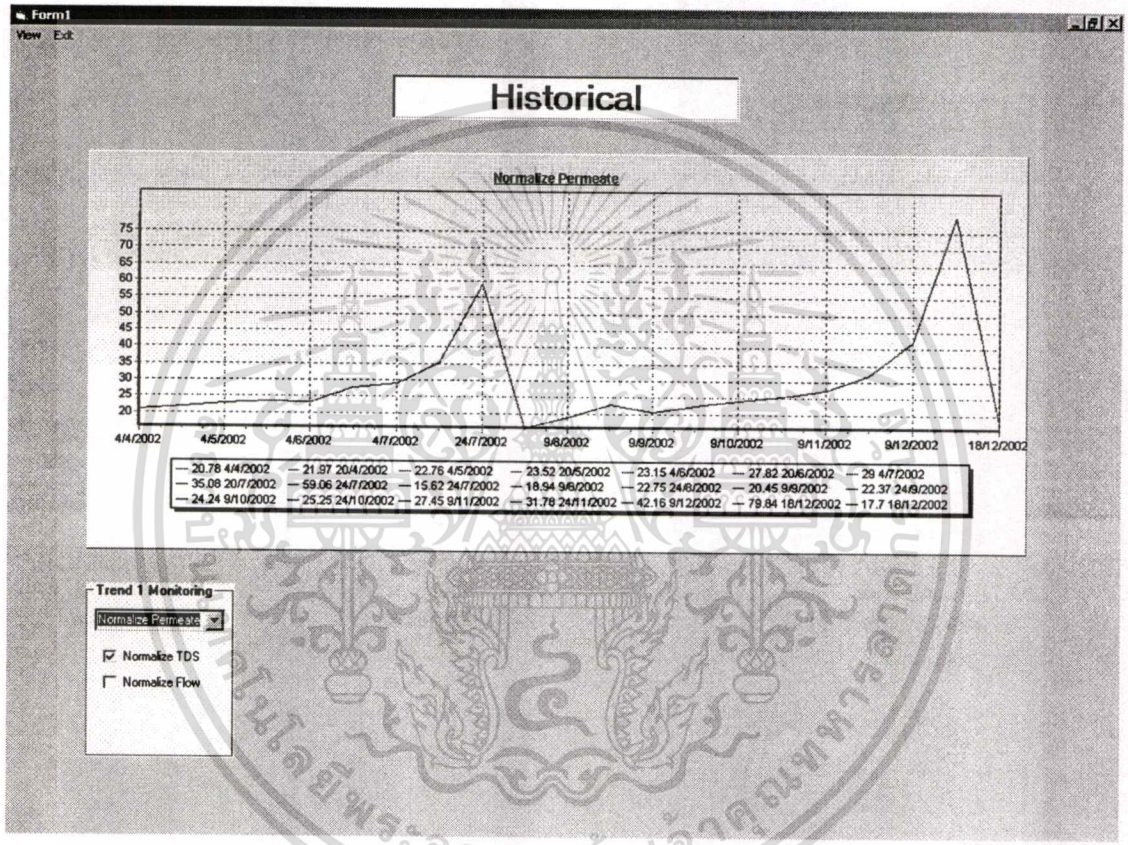
จะสังเกตเห็นว่าในระยะเวลา 9 เดือน ระบบมีการทำความสะอาด 2 ครั้ง คือเมื่อวันที่ 24/7/2202 และ 18/12/2002 ซึ่งเกิดเนื่องจากระบบมีปริมาณน้ำที่ผลิตได้ลดลง เมื่อเทียบกับเมื่อเริ่มเดินระบบ (PF) โดยต่ำกว่าค่ามาตรฐานโดยมีค่าลดลงเหลือ 27.93 m^3/hr และ 28.30 m^3/hr ตามลำดับ นั่นแสดงถึงว่าเมมเบรนมีการอุดตันที่ผิวมาก โดยสามารถสังเกตได้จากแนวโน้มของกราฟ รูปที่ 9.3 จึงทำให้ระบบเข้าสู่การทำความสะอาดอัตโนมัติ เพื่อให้ระบบมีปริมาณ และ คุณภาพน้ำที่ดีขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อทำความสะอาดระบบเสร็จแล้วปริมาณของน้ำบริสุทธิ์จะเพิ่มขึ้นเป็น 36.55 m^3/hr และ 37.83 m^3/hr ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานตารางที่ 9.1



รูปที่ 9.3 แนวโน้ม Normalize Permeate Flow (PF)

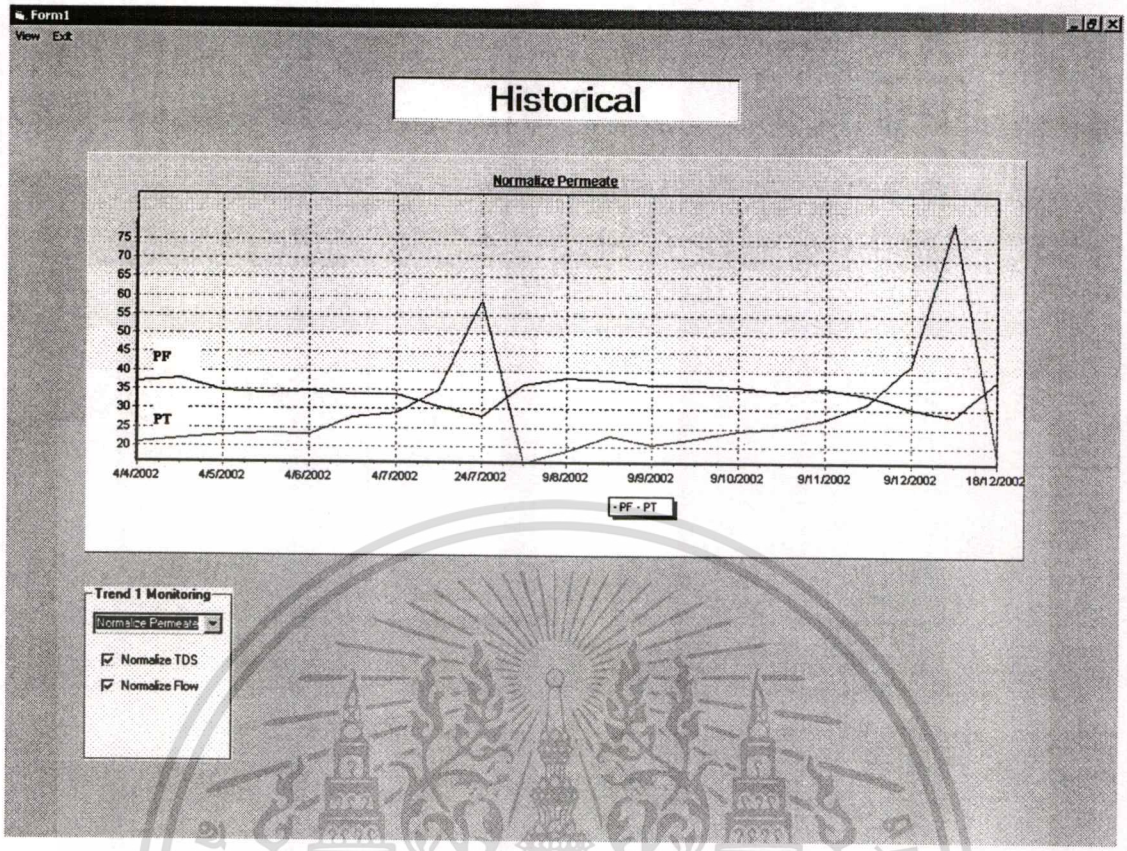
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแนวโน้มของความเข้มข้นของสารละลายในน้ำบริสุทธิ์ (PT) ก็เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเหมือนกัน เมื่อเทียบกับเมื่อเริ่มเดินเครื่อง ดังกราฟในรูปที่ 9.4 โดยเมื่อทำการเทียบแล้วเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วมีอัตราสูงกว่า PF เสียอีก นั่นคือ PT ตอนทำงานจะสูงกว่าเมื่อเริ่มเดินระบบครั้งแรกประมาณ 4 เท่า แต่ PF จะตอนทำงานจะลดลงกว่าเมื่อเริ่มเดินระบบครั้งแรกประมาณ 30% ดังกราฟรูปที่ 9.5 อย่างไรก็ดีสำหรับระบบที่จำลองนี้ไม่ต้องการน้ำที่มีความบริสุทธิ์มากนัก (>250 mg/l) จึงทำให้ระบบไม่จำเป็นต้องทำความสะอาดในกรณีนี้ แต่อย่างไรก็ดีทุกครั้งที่ทำความสะอาดระบบจะทำให้ค่าความเข้มข้นของสารละลายในน้ำบริสุทธิ์ลดลง



รูปที่ 9.4 แนวโน้ม Normalize Permeate TDS (PT)

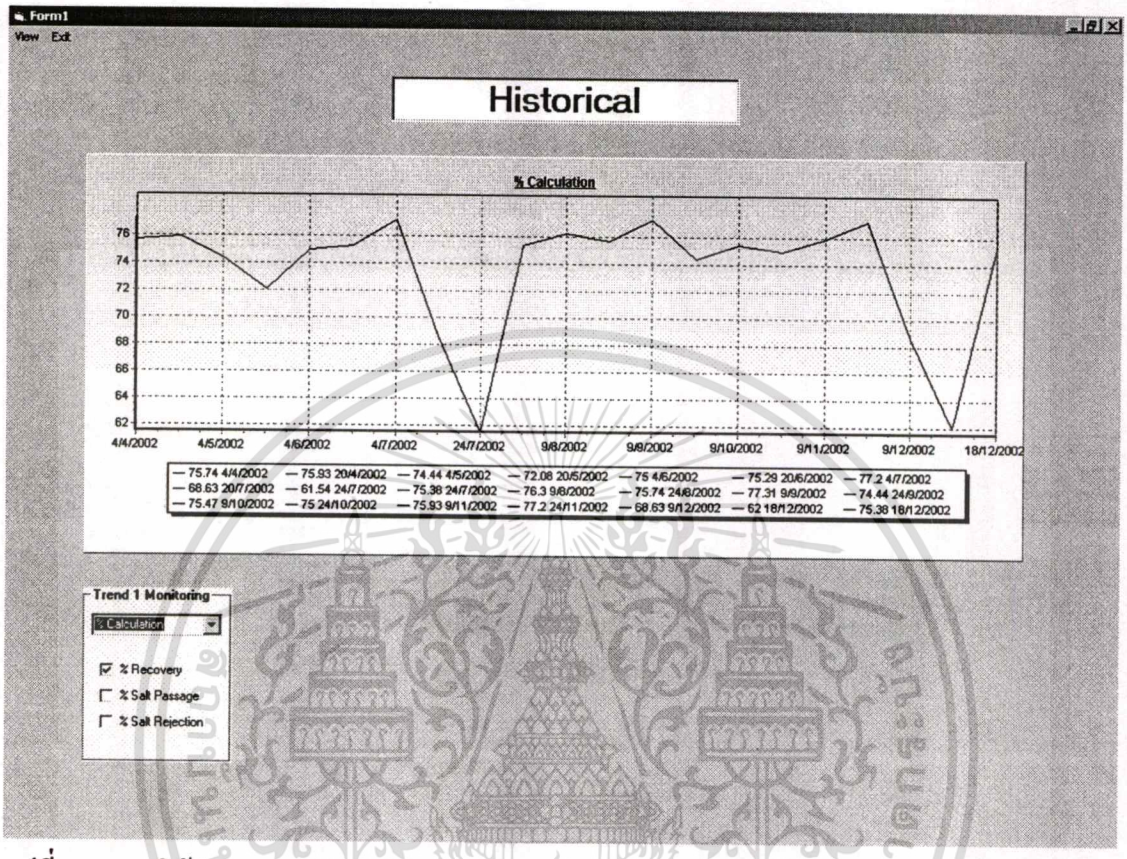
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.5 แนวโน้มประสิทธิภาพเมมเบรน (PF , PT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

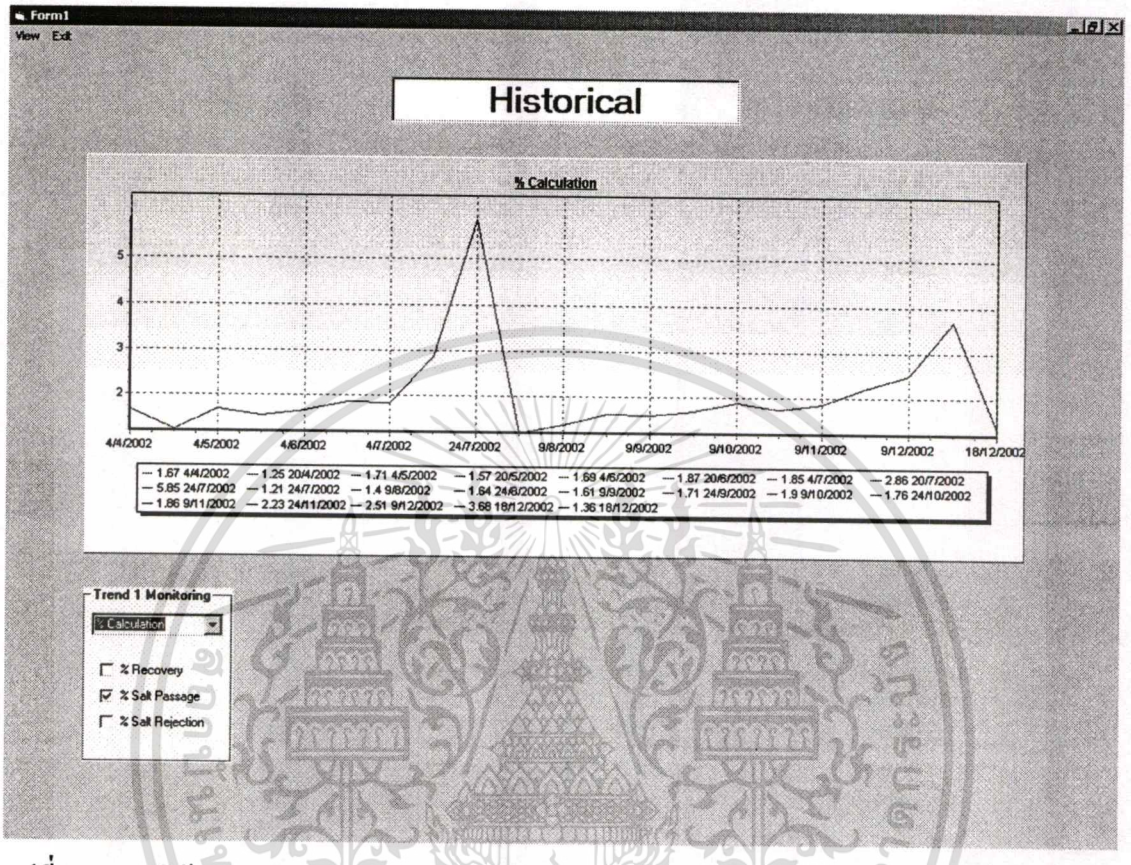
แนวโน้มของค่า Recovery (%R) เป็นดังกราฟรูปที่ 9.6 โดยแนวโน้มของค่านี้จะลดลงเมื่อเมมเบรนมีการอุดตัน นั่นแสดงถึงว่าปริมาณน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตได้ต่อปริมาณน้ำดิบมีค่าลดลง ซึ่งผลจะทำให้มีปริมาณน้ำทิ้งที่สูงขึ้น



รูปที่ 9.6 แนวโน้ม Recovery (%R)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

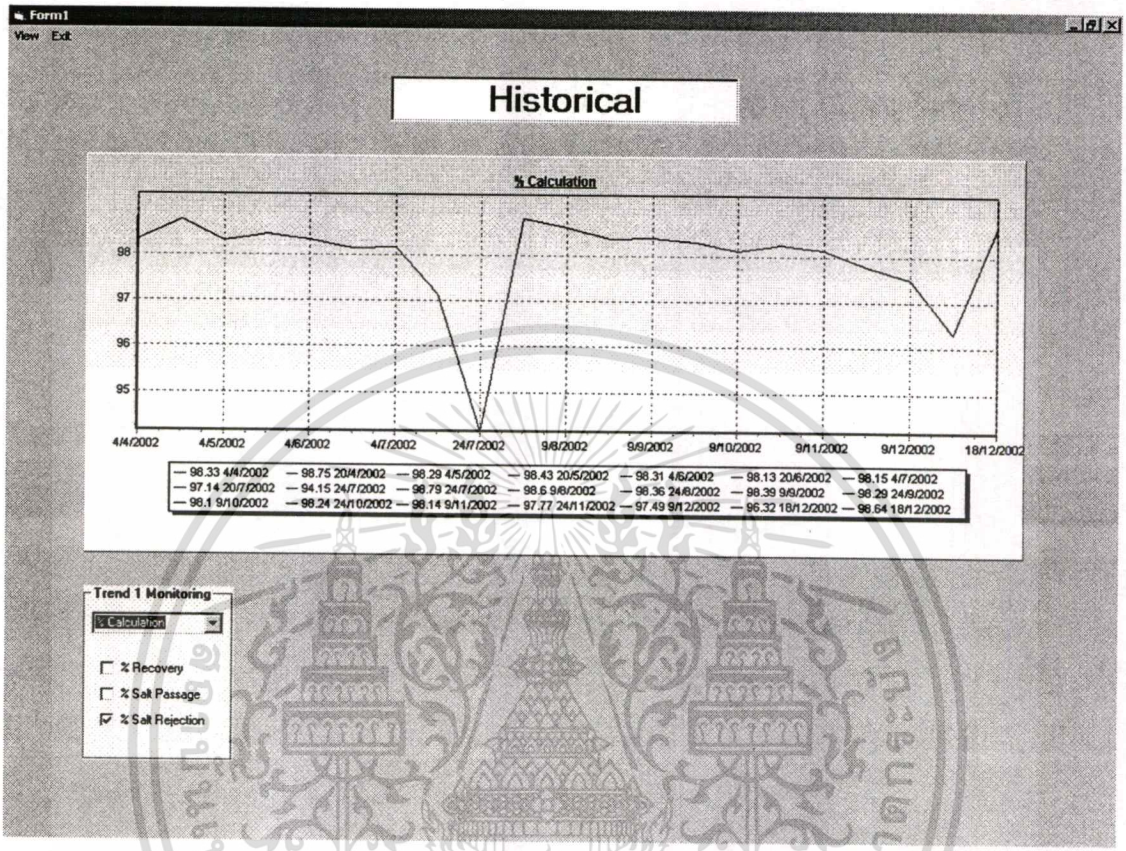
แนวโน้มของค่า Salt Passage (%SP) เป็นดังกราฟรูปที่ 9.7 โดยแนวโน้มของค่านี้จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเมมเบรนมีการอุดตัน นั่นแสดงถึงว่าเมมเบรนยอมให้สารอินทรีย์กรองผ่านตัวมันได้มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของน้ำบริสุทธิ์มีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 9.7 แนวโน้ม Salt Passage (%SP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแนวโน้มของค่า Salt Rejection (%SR) จะตรงข้ามกับค่า Salt Passage เป็นดังกราฟที่ 9.8 โดยแนวโน้มของค่านี้จะลดลงขึ้นเมื่อเมมเบรนมีการอุดตัน นั่นแสดงถึงว่าความสามารถของเมมเบรนในการแยกสารอินทรีย์ในน้ำลดลง ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของน้ำบริสุทธิ์มีค่าสูงขึ้น



รูปที่ 9.8 แนวโน้มของค่า Salt Rejection (%SR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 10
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิธีการทำความสะอาดระบบออสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัติโดยใช้คอมพิวเตอร์วิเคราะห์นั้น ใช้หลักการคำนวณเปรียบเทียบปริมาณและคุณภาพน้ำเมื่อเครื่องเริ่มทำงานครั้งแรก กับ เมื่อปัจจุบันมาเปรียบเทียบดูแนวโน้มการลดลงของปริมาณและคุณภาพน้ำ ที่เป็นผลมาจากการเสื่อมลงของประสิทธิภาพเมมเบรนโดยมีการชดเชยผลกระทบจากภายนอกแล้ว ผลของการเปรียบเทียบนี้จะถูกคอมพิวเตอร์นำมาใช้ตัดสินใจให้ระบบเข้าสู่การทำความสะอาด จะเห็นได้ว่าวิธีนี้จะช่วยให้ระบบสามารถผลิตน้ำบริสุทธิ์ได้ตามมาตรฐาน เนื่องจากมีการเฝ้ามอง มีการกำหนดปริมาณ และ คุณภาพน้ำบริสุทธิ์โดยผู้ใช้ นอกจากนี้ผลการคำนวณที่ได้ยังแสดงยังถูกแสดงในรูปของกราฟ และ เก็บข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์เพื่อง่ายต่อการดูแนวโน้มประสิทธิภาพเมมเบรน และ สะดวกต่อการตรวจสอบย้อนกลับอีกด้วย

ปัจจุบันการทำความสะอาดระบบออสโมซิสย้อนกลับนั้น ใช้เพียงระยะเวลาที่ผู้จำหน่ายระบบกำหนดให้ เช่น ทุกๆ 2 เดือน ให้ทำความสะอาดระบบ 1 ครั้ง ซึ่งในบางครั้งประสิทธิภาพของเมมเบรนยังดีอยู่เนื่องจากมีปริมาณการผลิตน้ำที่น้อย หรือ น้ำดิบที่เข้ามามีคุณภาพดี แต่สุดท้ายก็ต้องทำความสะอาดตามระยะเวลาที่ผู้จำหน่ายระบบกำหนด เป็นเหตุให้ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้การเก็บข้อมูล การคำนวณวิเคราะห์ประสิทธิภาพเมมเบรน รวมถึงการทำความสะอาดระบบ ยังต้องใช้พนักงานที่มีประสบการณ์ด้านนี้โดยตรง ซึ่งอย่างไรก็ดีการเก็บข้อมูลและการคำนวณด้วยคนนั้นสามารถผิดพลาดได้ง่าย และ เป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรบุคคลอีกด้วย สำหรับข้อมูล และ ผลการคำนวณที่ได้ ก็จะถูกจัดเก็บเป็นเอกสารไว้ซึ่งยากต่อการสังเกตุแนวโน้มประสิทธิภาพเมมเบรนและการตรวจสอบย้อนกลับ

เมื่อพิจารณาถึงการลงทุนระบบออสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัติจะพบว่าสูงกว่าปกติอยู่ประมาณ 130% ดังนั้นสำหรับระบบที่ไม่ต้องการความละเอียดในการควบคุมปริมาณและคุณภาพน้ำบริสุทธิ์มากนักอาจใส่อุปกรณ์เครื่องมือวัดเพิ่มเพียง 4 อันคือ Flow Transmitter และ TDS Transmitter ทางด้านน้ำดิบและด้านน้ำบริสุทธิ์ โดยการควบคุมจะนำค่าความแตกต่างของ Flow และ TDS ระหว่างน้ำดิบและน้ำบริสุทธิ์มาควบคุม ซึ่งการลงทุนแบบนี้จะสูงกว่าปกติประมาณ 120 %

สำหรับแนวทางในการพัฒนาระบบออสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัติโดยการวิเคราะห์จากคอมพิวเตอร์นั้น คือ การวิเคราะห์ควบคุมคุณภาพน้ำดิบก่อนเข้าสู่ระบบออสโมซิสย้อนกลับให้ตรงตามมาตรฐาน เพื่อให้ระบบออสโมซิสย้อนกลับสามารถใช้งานได้ยาวนานและมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กฤษดา ใจเย็น และ คณะ. **เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม**. กรุงเทพ ฯ : อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล และ จำลอง ครูอุตสาหะ. **Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์**. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพ ฯ : KTP comp & consult

ณรงค์ วุทธเสถียร. **การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม**. กรุงเทพ ฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น)

ทวีพล ซื่อสัตย์. **ระบบโรงงานอัตโนมัติ**. กรุงเทพ ฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธาริน สิทธิธรรมชารี. **คู่มือการเขียนโปรแกรม Visual Basic Version 6.0**. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพ ฯ : ซัคเซส มีเดีย

ธาริน สิทธิธรรมชารี และ สุรสิทธิ์ ศิวประสพศักดิ์. **คู่มือการเขียนโปรแกรม Advanced Visual Basic Version 6.0**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพ ฯ : ซัคเซส มีเดีย

พจนาฎ สุวรรณมณี. 2545. **เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์เบื้องต้น**. กรุงเทพ ฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น)

มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. 2539. **วิศวกรรมการประปา เล่ม 2**. กรุงเทพ ฯ : จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย

สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์. 2537. **หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 16 กรุงเทพ ฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น)

ไพศาล วีรกิจ. 2545. **การผลิตน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ** : เอ็มแอนด์อี

Filmtec. 1995. **Filmtec Membrane Elements**. USA : Filmtec.

Omron. 1994. **Operation manual PLC C28H**. JAPAN : Omron .

Osmonics. 1991. **Pure Water Hand Book**. USA : Osmonics.

Raycheba, J. 1990. **Membrane Technology Reference Guide**. Canada : 700 University Avenue.

Rockwell. 1996. **Operation manual RS View 32 Build 6.30.16**. USA : Rockwell.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมของเครื่องควบคุม (PLC)

1. กำหนดอินพุทและเอาท์พุทของ PLC ดังนี้

PLC IO ASSIGNMENT					
DIGITAL INPUT					
WORD	BIT	TAG	DESCRIPTION	DEVICE	SIGNAL
000	02	LL_TK01	Low Level Raw Water Tank	Level Switch	Contact
000	03	HL_TK02	High Level RO Storage Tank	Level Switch	Contact
000	04	LL_TK03	Low Level CIP Tank	Level Switch	Contact
000	05	HL_TK03	High Level CIP Tank	Level Switch	Contact
000	06	Start_Button	Strat System Button	Push Button Switch	Contact
000	07	Clean_Button	Manual Cleaning Button	Push Button Switch	Contact
000	08	PB1	Bypass Button	Push Button Switch	Contact

ANALOG INPUT				
WORD	TAG	DESCRIPTION	DEVICE	SIGNAL
004	P1	Feed Pressure	Pressure Transmitter	4-20 mA
005	P2	Permeate Pressure	Pressure Transmitter	4-20 mA
006	P3	Concentrate Pressure	Pressure Transmitter	4-20 mA
007	TDS1	Feed TDS	TDS Transmitter	4-20 mA
008	TDS2	Permeate TDS	TDS Transmitter	4-20 mA
009	TDS3	Concentrate TDS	TDS Transmitter	4-20 mA
010	F1	Feed Water Flow	Flow Transmitter	4-20 mA
011	F2	Permeate Water Flow	Flow Transmitter	4-20 mA
012	F3	Concentrate Water Flow	Flow Transmitter	4-20 mA
013	T1	Feed Water Temperature	Temperature Transmitter	4-20 mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIGITAL OUTPUT					
WORD	BIT	TAG	DESCRIPTION	DEVICE	SIGNAL
002	00	RWP	Raw Water Pump	Relay	24 VDC
002	01	HPP	High Pressure Pump	Relay	24 VDC
002	02	CIP	CIP Pump	Relay	24 VDC
002	03	CP-01	Antiscale Feed Pump	Relay	24 VDC
002	04	MX-01	Acid Mixer	Relay	24 VDC
002	05	MX-02	Caustic Mixer	Relay	24 VDC
002	06	SV-01	Inlet RO Valve	Relay	24 VDC
002	07	SV-02	Permeate to CIP Tank Valve	Relay	24 VDC
002	08	SV-03	Drain Concentrate Valve	Relay	24 VDC
002	09	SV-04	Concentrate to CIP Tank Valve	Relay	24 VDC
002	10	SV-05	RO Storage Tank Valve	Relay	24 VDC
002	11	SV-06	RO to CIP Tank Valve	Relay	24 VDC
002	12	SV-07	Acid Valve	Relay	24 VDC
002	13	SV-08	Caustic Valve	Relay	24 VDC
002	14	SV-09	Drain Permeate Valve	Relay	24 VDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตารางสำหรับตรวจสอบฟังก์ชั่นการควบคุมระบบออสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัติ

FUNCTIONAL TEST AUTOMATION REVERSE OSMOSIS SYSTEM																									
NO.	PROCEDURE	002.00	002.01	002.02	002.03	002.04	002.05	002.06	002.07	002.08	002.09	002.10	002.11	002.12	002.13	002.14	000.02	000.03	000.04	000.05	000.06	000.07	000.08
		RWP	HPP	CIP	CP-01	MIX-01	MX-02	SV-01	SV-02	SV-03	SV-04	SV-05	SV-06	SV-07	SV-08	SV-09	LL_TK01	HL_TK02	LL_TK03	HL_TK03	START	CLEAN	BYPASS
	CIP Tank Low																		M				
9	CIP Stop & Fill Permeate Water to CIP Tank			S			H			H			R			H							
	CIP Tank Full																			M			
10	CIP Flushing Remain Acid Chemical			R			H			H			S			H							
	CIP Tank Low																		M				
11	CIP Stop & Fill Permeate Water to CIP Tank			S			H			H			R			H							
	CIP Tank Full																			M			
12	CIP Flushing Remain Acid Chemical			R			H			H			S			H							
	CAUSTIC CHEMICAL CLEANING																		M				
13	Fill Caustic Chemical			S			H			S					R	S							
	10 Minutes Ago																						
14	Close Caustic Valve & Open Return Valve						H		R		R				S								
15	Stop Mixer Caustic Chemical & CIP Run			R			S		H		H												
	CIP Run 15 Mins.& Stop 5 Mins (3 Times)																						
16	Drain Caustic Chemical			H					S	R	S					R							
	CIP Tank Low																		M				
17	CIP Stop & Fill Permeate Water to CIP Tank			S						H			R			H							
	CIP Tank Full																			M			
18	CIP Flushing Remain Caustic Chemical			R						H			S			H							
	CIP Tank Low																		M				
19	CIP Stop & Fill Permeate Water to CIP Tank			S						H			R			H							
	CIP Tank Full																			M			
20	CIP Flushing Remain Acid Chemical			R						H			S			H							
	SYSTEM START																		M				
21	System Operation	R	R	S	R			R		H						R							
	TDS Constant 3 Minutes																						
22	NORMAL OPERATION	H	H		H			H	R	H		R				S							

NOTE: R = RUNNING, H = HOLDING, S = STOP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FUNCTIONAL TEST AUTOMATION REVERSE OSMOSIS SYSTEM																								
NO.	PROCEDURE	002.00	002.01	002.02	002.03	002.04	002.05	002.06	002.07	002.08	002.09	002.10	002.11	002.12	002.13	002.14	000.02	000.03	000.04	000.05	000.06	000.07	000.08
		RWP	HPP	CIP	CP-01	MX-01	MX-02	SV-01	SV-02	SV-03	SV-04	SV-05	SV-06	SV-07	SV-08	SV-09	LL_TK01	HL_TK02	LL_TK03	HL_TK03	START	CLEAN	BYPASS
	NORMAL OPERATION																						
1	Force Start System																				M		
2	Valve Open							R		R		R											
	5 Seconds ago																						
3	RWP,CP Run	R			R			H		H		H											
	5 Seconds ago																						
4	HPP Run, Water fill CIP Tank	H	R		H			H	R	H		H											
	CIP Tank Full																			M			
5	Stop fill water to CIP tank								S														
	RO Tank Full / Raw Tank Low																M	M					
6	Flushing by CIP Pump	S	S	R	S			S		H		S											
	CIP Tank Low																		M				
7	System Shutdown			S						S													
	CLEANING OPERATION																						
1	System Normal Operation	H	H		H			H		H		H											
	CLEANING REQUEST																					M	
	ACID CHEMICAL CLEANING																						
2	System Shutdown	S	S		S			S		H		S											
3	CIP Flushing & Mixer Chemical			R		R	R																
	CIP Tank Low																		M				
4	CIP Stop			S			H			S													
5	Fill Acid Chemical						H							R									
	10 Minutes Ago																						
6	Close Acid Valve & Open Return Valve						H		R		R			S									
7	Stop Mixer Acid Chemical & CIP Run			R		S	H		H		H												
	CIP Run 15 Mins& Stop 5 Mins (3 Times)																						
8	Drain Acid Chemical			H			H		S	R	S					R							

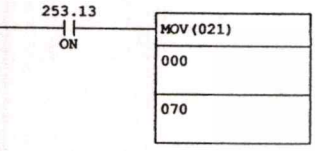
3. โปรแกรมของเครื่องควบคุม PLC สำหรับระบบออสโมซิสย้อนกลับอัตโนมัติ

adder Diagram - 1:1 PLC_RO.SWP 24/05/03 18:11:22 Page 1

ain 1 -

etwork 1 - Move_DI

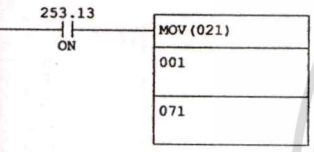
d Digital Input and move to Variable IR Memory.



000	LD	253.13	ON
001	MOV	000 070	000 070

etwork 2 - Move_DI

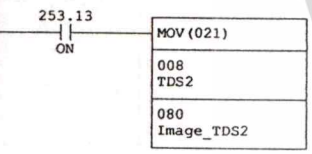
d Digital Input and move to Variable IR Memory.



002	LD	253.13	ON
003	MOV	001 071	001 071

etwork 3 - Move_AI

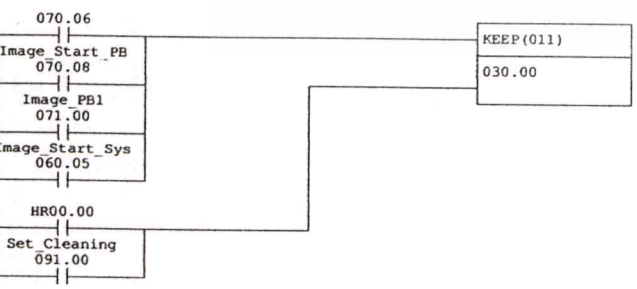
Analog Input and move to Variable DM Memory.



004	LD	253.13	ON
005	MOV	008 080	TDS2 Image_TDS2

twork 4 - Start System

t System

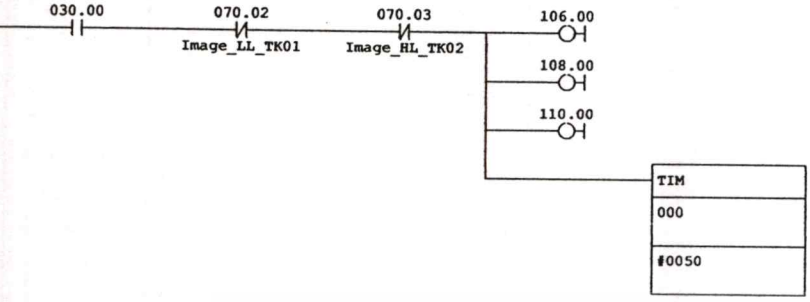


006	LD	070.06	Image_Start_PB
007	OR	070.08	Image_PB1
008	OR	071.00	Image_Start_Sys
009	OR	060.05	060.05
010	LD	HR00.00	Set_Cleaning
011	OR	091.00	091.00
012	KEEP	030.00	030.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Network 5 - Open Valve

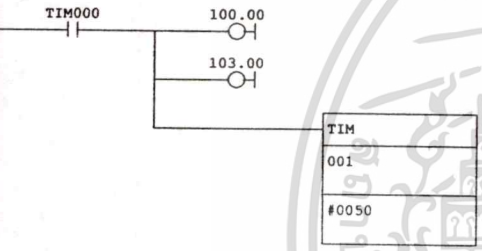
en RO System Valve.
-01(Inlet RO Valve), SV-03(Drain Concentrate Valve)
-05(Inlet Permeate to Storage Tank Valve)




```
0013   LD          030.00          030.00
0014   AND NOT     070.02          Image_LL_TK01
0015   AND NOT     070.03          Image_HL_TK02
0016   OUT         106.00          106.00
0017   OUT         108.00          108.00
0018   OUT         110.00          110.00
0019   TIM         000  #0050      000 #0050
```

Network 6 - Start RWP, CP

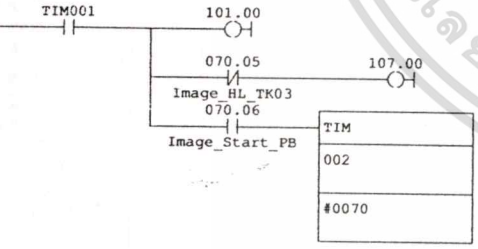
rt RWP (Raw Water Pump) and CP-01 (Antiscale Feed Pump)




```
0020   LD          TIM000          TIM000
0021   OUT         100.00          100.00
0022   OUT         103.00          103.00
0023   TIM         001  #0050      001 #0050
```

Network 7 - Start HPP

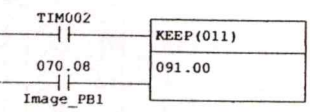
rt HPP (High Pressure Pump).




```
0024   LD          TIM001          TIM001
0025   OUT         TR0             TR0
0026   OUT         101.00          101.00
0027   AND NOT     070.05          Image_HL_TK03
0028   OUT         107.00          107.00
0029   LD          TR0             TR0
0030   AND         070.06          Image_Start_PB
0031   TIM         002  #0070      002 #0070
```

Network 8 - Set_Low_Press

Low Pressure Alarm
HPP run at Pressure less than 10 psi about 7 seconds.

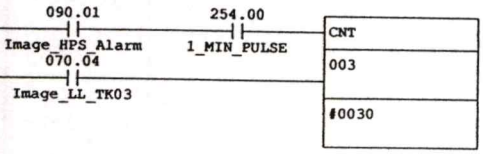



```
0032   LD          TIM002          TIM002
0033   LD          070.08          Image_PB1
0034   KEEP        091.00          091.00
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

etwork 9 - Timer_Operation

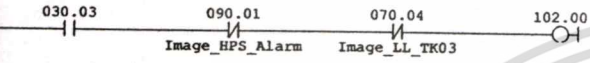
er Operation of HPP.
n HPP running more than 30 minutes
tem will auto flushing after system shutdown.




```
035   LD        090.01          Image_HPS_Alarm
036   AND       254.00          1_MIN_PULSE
037   LD        070.04          Image_LL_TK03
038   CNT       003  #0030      003 #0030
```

etwork 10 - Start_CIP

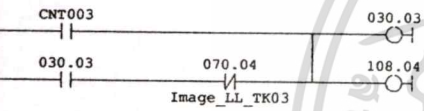
rt CIP Pump in order to Flushing System.




```
039   LD        030.03          030.03
040   AND NOT   090.01          Image_HPS_Alarm
041   AND NOT   070.04          Image_LL_TK03
042   OUT       102.00          102.00
```

etwork 11 - Interlock_CIP

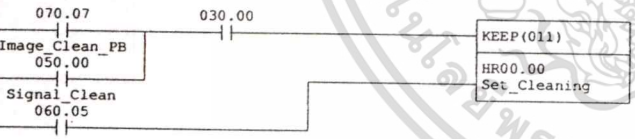
: CIP have to running after HPP stop.




```
043   LD        CNT003          CNT003
044   LD        030.03          030.03
045   AND NOT   070.04          Image_LL_TK03
046   OR LD
047   OUT       030.03          030.03
048   OUT       108.04          108.04
```

twork 12 - Cleaning_Signal

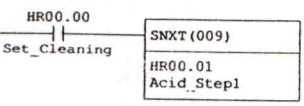
ning Operation will be request from Computer.




```
049   LD        070.07          Image_Clean_PB
050   OR        050.00          Signal_Clean
051   AND       030.00          030.00
052   LD        060.05          060.05
053   KEEP      HR00.00         Set_Cleaning
```

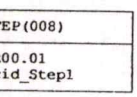
twork 13 - Acid_Step1

: Procedure of Acid Chemical Cleaning.




```
054   LD        HR00.00         Set_Cleaning
055   SNXT      HR00.01         Acid_Step1
```

work 14 -

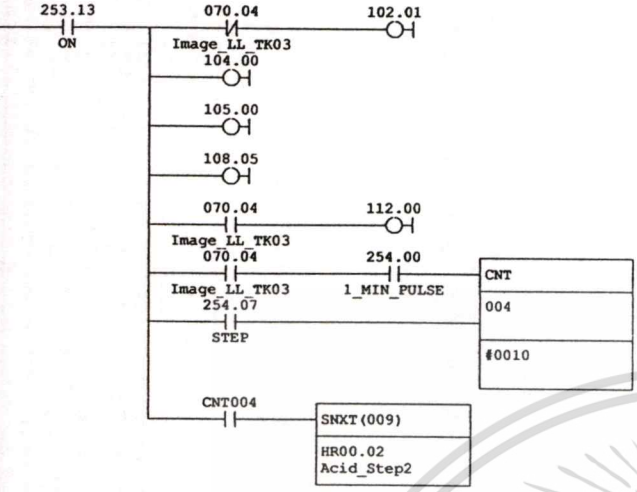



```
056   STEP      HR00.01         Acid_Step1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

etwork 15 - Detail_Acid1

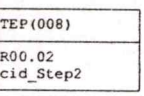
flushing until CIP Tank Low.
Acid and Caustic Chemical.
Acid Chemical into CIP Tank about 10 minutes.



57	LD	253.13	ON
58	OUT	TR0	TR0
59	AND NOT	070.04	Image_LL_TK03
60	OUT	102.01	102.01
61	LD	TR0	TR0
62	OUT	104.00	104.00
63	OUT	105.00	105.00
64	OUT	108.05	108.05
65	AND	070.04	Image_LL_TK03
66	OUT	112.00	112.00
67	LD	TR0	TR0
68	AND	070.04	Image_LL_TK03
69	AND	254.00	1_MIN_PULSE
70	LD	TR0	TR0
71	AND	254.07	STEP
72	CNT	004 #0010	004 #0010
73	LD	TR0	TR0
74	AND	CNT004	CNT004
75	SNXT	HR00.02	Acid_Step2

twork 16 - Acid_Step2

nd Procedure of Acid Chemical Cleaning.

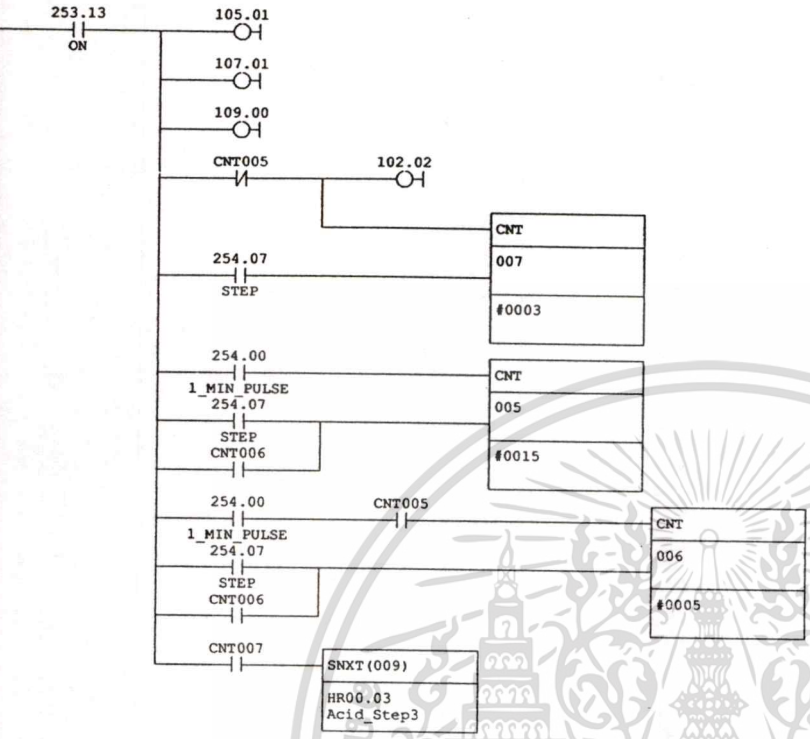


76	STEP	HR00.02	Acid_Step2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Network 17 - Detail_Acid2

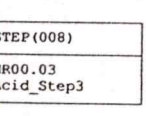
ose Acid Valve and Stop Acid Mixer.
en Return Valve and Start CIP Pump.
P (Run 15 minutes and Stop 5 minutes about 3 times).




```
077   LD          253.13          ON
078   OUT         TR0             TR0
079   OUT         105.01          105.01
080   OUT         107.01          107.01
081   OUT         109.00          109.00
082   AND NOT     CNT005          CNT005
083   OUT         102.02          102.02
084   LD          TR0             TR0
085   AND         254.07          STEP
086   CNT         007  #0003      007 #0003
087   LD          TR0             TR0
088   AND         254.00          1_MIN_PULSE
089   LD          TR0             TR0
090   AND         254.07          STEP
091   LD          TR0             TR0
092   AND         CNT006          CNT006
093   OR LD
094   CNT         005  #0015      005 #0015
095   LD          TR0             TR0
096   AND         254.00          1_MIN_PULSE
097   AND         CNT005          CNT005
098   LD          TR0             TR0
099   AND         254.07          STEP
100   LD          TR0             TR0
101   AND         CNT006          CNT006
102   OR LD
103   CNT         006  #0005      006 #0005
104   LD          TR0             TR0
105   AND         CNT007          CNT007
106   SNXT        HR00.03         Acid_Step3
```

twork 18 - Acid_Step3

d Procedure of Acid Chemical Cleaning.

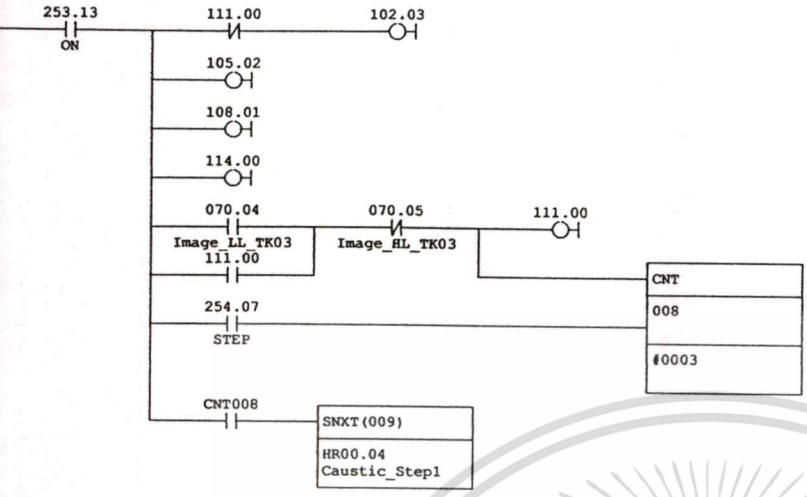



```
07    STEP        HR00.03                 Acid_Step3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

etwork 19 - Detail_Acid3

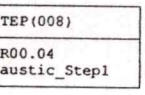
in Acid Chemical and Fill Permeate water to CIP Tank.
shing remain Acid Chemical within System by CIP.
l Permeate about 2 times.



08	LD	253.13	ON
09	OUT	TR0	TR0
10	AND NOT	111.00	111.00
11	OUT	102.03	102.03
12	LD	TR0	TR0
13	OUT	105.02	105.02
14	OUT	108.01	108.01
15	OUT	114.00	114.00
16	AND	070.04	Image_LL_TK03
17	LD	TR0	TR0
18	AND	111.00	111.00
19	OR LD		
20	AND NOT	070.05	Image_HL_TK03
21	OUT	111.00	111.00
22	LD	TR0	TR0
23	AND	254.07	STEP
24	CNT	008 #0003	008 #0003
25	LD	TR0	TR0
26	AND	CNT008	CNT008
27	SNXT	HR00.04	Caustic_Step1

twork 20 - Caustic_Step1

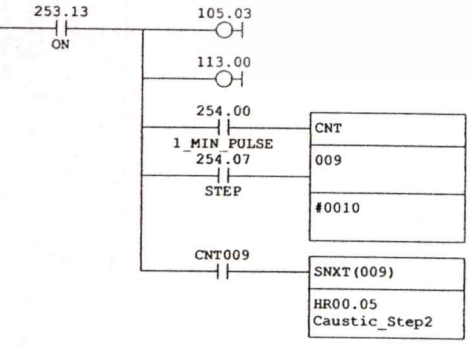
t Procedure of Caustic Chemical Cleaning.



28	STEP	HR00.04	Caustic_Step1

twork 21 - Detail_Caustic1

Caustic Chemical into CIP Tank about 10 minutes.



29	LD	253.13	ON
30	OUT	TR0	TR0
31	OUT	105.03	105.03
32	OUT	113.00	113.00
33	AND	254.00	1_MIN_PULSE
34	LD	TR0	TR0
35	AND	254.07	STEP
36	CNT	009 #0010	009 #0010
37	LD	TR0	TR0
38	AND	CNT009	CNT009
39	SNXT	HR00.05	Caustic_Step2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

etwork 22 - Caustic_Step2

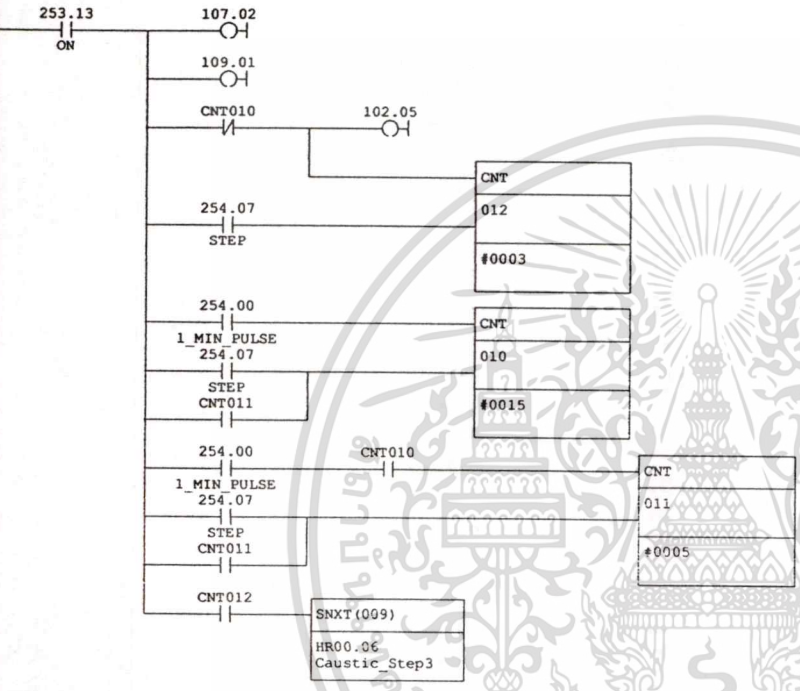
ond Procedure of Caustic Chemical Cleaning.

STEP(008)
HR00.05
Caustic_Step2

```
140   STEP        HR00.05                   Caustic_Step2
```

etwork 23 - Detail_Caustic2

se Caustic Valve and Stop Caustic Mixer.
Return Valve and Start CIP Pump.
(Run 15 minutes and Stop 5 minutes about 3 times).




```
141   LD          253.13                    ON
142   OUT         TR0                       TR0
143   OUT         107.02                    107.02
144   OUT         109.01                    109.01
145   AND NOT     CNT010                    CNT010
146   OUT         102.05                    102.05
147   LD          TR0                       TR0
148   AND         254.07                    STEP
149   CNT         012  #0003                012 #0003
150   LD          TR0                       TR0
151   AND         254.00                    1_MIN_PULSE
152   LD          TR0                       TR0
153   AND         254.07                    STEP
154   LD          TR0                       TR0
155   AND         CNT011                    CNT011
156   OR LD
157   CNT         010  #0015                010 #0015
158   LD          TR0                       TR0
159   AND         254.00                    1_MIN_PULSE
160   AND         CNT010                    CNT010
161   LD          TR0                       TR0
162   AND         254.07                    STEP
163   LD          TR0                       TR0
164   AND         CNT011                    CNT011
165   OR LD
166   CNT         011  #0005                011 #0005
167   LD          TR0                       TR0
168   AND         CNT012                    CNT012
169   SNXT        HR00.06                   Caustic_Step3
```

twork 24 - Caustic_Step3

l Procedure of Caustic Chemical Cleaning.

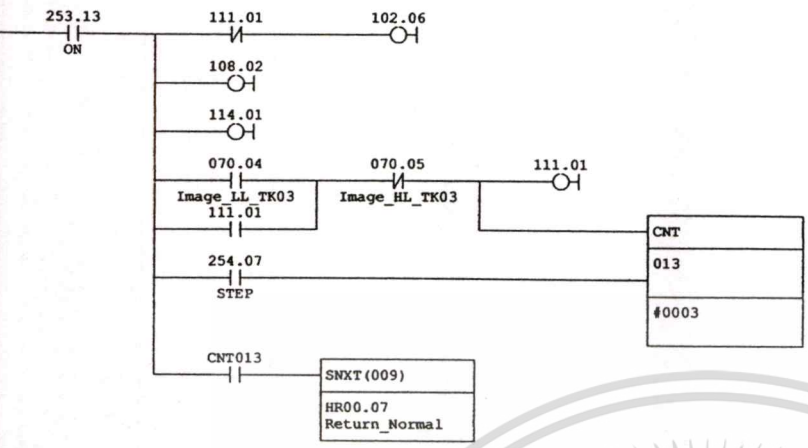
TEP(008)
R00.06
austic_Step3

```
70    STEP        HR00.06                   Caustic_Step3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

etwork 25 - Detail_Caustic3

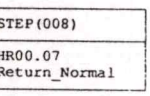
in Caustic Chemical and Fill Permeate water to CIP Tank.
shing remain Caustic Chemical within System by CIP.
l Permeate about 2 times.




```
171   LD          253.13          ON
172   OUT         TR0             TR0
173   AND NOT     111.01          111.01
174   OUT         102.06          102.06
175   LD          TR0             TR0
176   OUT         108.02          108.02
177   OUT         114.01          114.01
178   AND         070.04          Image_LL_TK03
179   LD          TR0             TR0
180   AND         111.01          111.01
181   OR LD
182   AND NOT     070.05          Image_HL_TK03
183   OUT         111.01          111.01
184   LD          TR0             TR0
185   AND         254.07          STEP
186   CNT         013  #0003      013 #0003
187   LD          TR0             TR0
188   AND         CNT013          CNT013
189   SNXT        HR00.07         Return_Normal
```

etwork 26 - Start_Sys_again

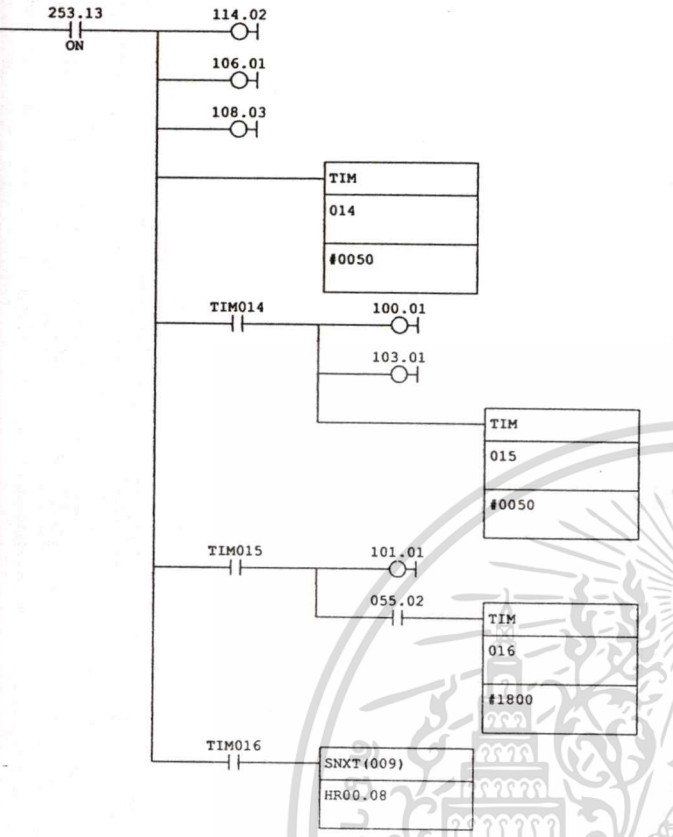
rt System agiain after finish Chemical Cleaning Procedure.




```
190   STEP        HR00.07         Return_Normal
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

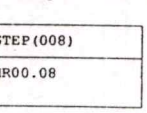
Network 27 -




```
191   LD      253.13          ON
192   OUT     TR0             TR0
193   OUT     114.02          114.02
194   OUT     106.01          106.01
195   OUT     108.03          108.03
196   TIM     014  #0050     014 #0050
197   AND     TIM014          TIM014
198   OUT     100.01          100.01
199   OUT     103.01          103.01
200   TIM     015  #0050     015 #0050
201   LD      TR0             TR0
202   AND     TIM015          TIM015
203   OUT     101.01          101.01
204   AND     055.02          055.02
205   TIM     016  #1800     016 #1800
206   LD      TR0             TR0
207   AND     TIM016          TIM016
208   SNXT    HR00.08         HR00.08
```

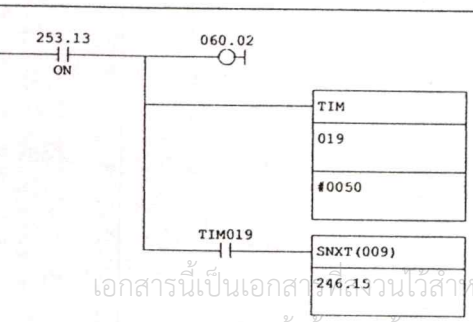
Network 28 - Step_Dummy

Dummy use for Restart System




```
209   STEP    HR00.08         HR00.08
```

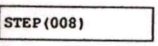
Network 29 -




```
210   LD      253.13          ON
211   OUT     060.02          060.02
212   TIM     019  #0050     019 #0050
213   AND     TIM019          TIM019
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

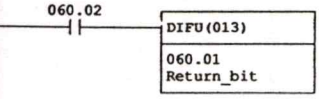
Network 30 -




```
0215    STEP
```

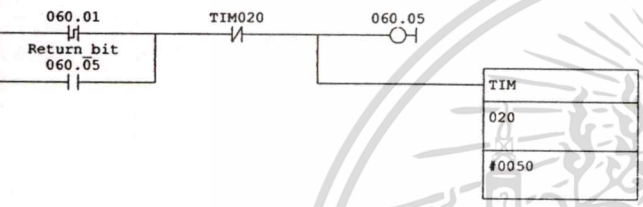
Network 31 - Restart_System

Set Cleaning Procedure and
Start Reverse Osmosis System




```
0216    LD          060.02                  060.02
0217    DIFU        060.01                  Return_bit
```

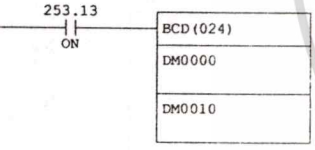
Network 32 -




```
0218    LD          060.01                  Return_bit
0219    OR          060.05                  060.05
0220    AND NOT     TIM020                  TIM020
0221    OUT         060.05                  060.05
0222    TIM         020  #0050             020 #0050
```

Network 33 - TDS2_Data

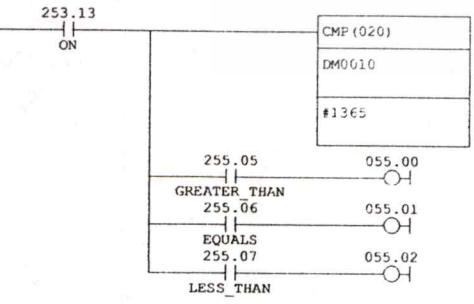
Change TDS2 Value from Binary ot BCD.




```
0223    LD          253.13                  ON
0224    BCD         DM0000  DM0010          DM0000 DM0010
```

Network 34 - Compare_TDS2

Compare Permeate TDS(TDS2) After Cleaning that value within
Range or not. By Raw Data 1350 equal TDS 250 mg/l.



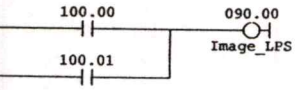

```
0225    LD          253.13                  ON
0226    OUT         TR0                     TR0
0227    CMP         DM0010  #1365           DM0010 #1365
0228    AND         255.05                  GREATER_THAN
0229    OUT         055.00                  055.00
0230    LD          TR0                     TR0
0231    AND         255.06                  EQUALS
0232    OUT         055.01                  055.01
0233    LD          TR0                     TR0
0234    AND         255.07                  LESS_THAN
0235    OUT         055.02                  055.02
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ladder Diagram - 1:35 PLC_RO.SWP 24/05/03 18:11:22 Page 11

Network 35 - RWP_Control

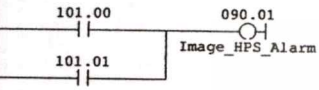
aw Water Pump Control.



00236	LD	100.00	100.00
00237	OR	100.01	100.01
00238	OUT	090.00	Image_LPS

Network 36 - HPP_Control

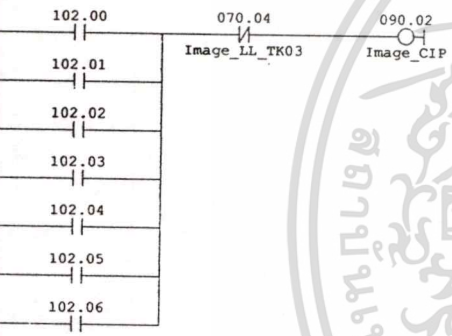
gh Pressure Pump Control.



0239	LD	101.00	101.00
0240	OR	101.01	101.01
0241	OUT	090.01	Image_HPS_Alarm

Network 37 - CIP_Control

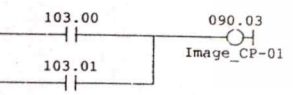
P Pump Control.



0242	LD	102.00	102.00
0243	OR	102.01	102.01
0244	OR	102.02	102.02
0245	OR	102.03	102.03
0246	OR	102.04	102.04
0247	OR	102.05	102.05
0248	OR	102.06	102.06
0249	AND NOT	070.04	Image_LL_TK03
0250	OUT	090.02	Image_CIP

etwork 38 - CP-01_Control

iscale Feed Pump Control.



0251	LD	103.00	103.00
0252	OR	103.01	103.01
0253	OUT	090.03	Image_CP-01

etwork 39 - MX-01_Control

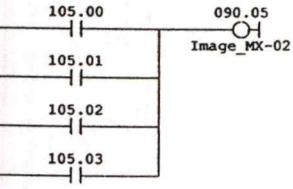
d Mixer Control.

0254	LD	104.00	104.00
0255	OUT	090.04	Image_MX-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Network 40 - MX-02_Control

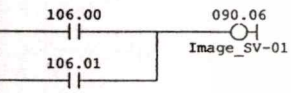
stic Mixer Control.



256	LD	105.00	105.00
257	OR	105.01	105.01
258	OR	105.02	105.02
259	OR	105.03	105.03
260	OUT	090.05	Image_MX-02

Network 41 - SV-01_Control

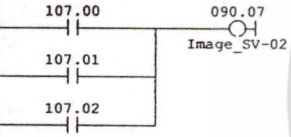
et RO Valve Control.



261	LD	106.00	106.00
262	OR	106.01	106.01
263	OUT	090.06	Image_SV-01

etwork 42 - SV-02_Control

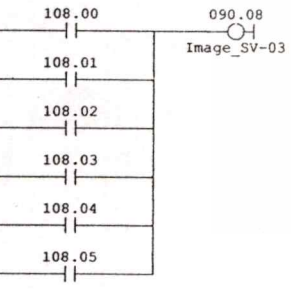
et Permeate to CIP Tank Valve Control.



264	LD	107.00	107.00
265	OR	107.01	107.01
266	OR	107.02	107.02
267	OUT	090.07	Image_SV-02

etwork 43 - SV-03_Control

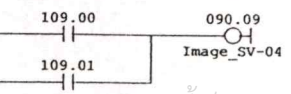
in Concentrate Valve Control.



268	LD	108.00	108.00
269	OR	108.01	108.01
270	OR	108.02	108.02
271	OR	108.03	108.03
272	OR	108.04	108.04
273	OR	108.05	108.05
274	OUT	090.08	Image_SV-03

etwork 44 - SV-04_Control

et Permeate to CIP Tank Valve Control.



275	LD	109.00	109.00
276	OR	109.01	109.01
277	OUT	090.09	Image_SV-04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

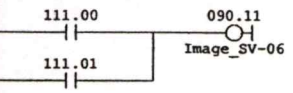
etwork 45 - SV-05_Control

et Permeate to RO Tank Valve Control.

278	LD	110.00	110.00
279	OUT	090.10	Image_SV-05

etwork 46 - SV-06_Control

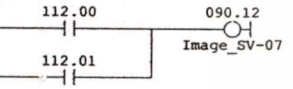
et Water from RO to CIP Tank Valve Control.



280	LD	111.00	111.00
281	OR	111.01	111.01
282	OUT	090.11	Image_SV-06

etwork 47 - SV-07_Control

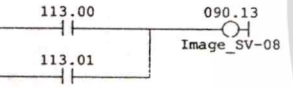
et Acid Valve Control.



283	LD	112.00	112.00
284	OR	112.01	112.01
285	OUT	090.12	Image_SV-07

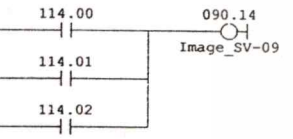
etwork 48 - SV-08_Control

et Caustic Valve Control.



286	LD	113.00	113.00
287	OR	113.01	113.01
288	OUT	090.13	Image_SV-08

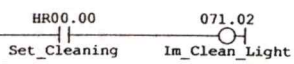
etwork 49 - SV-09_Control



289	LD	114.00	114.00
290	OR	114.01	114.01
291	OR	114.02	114.02
292	OUT	090.14	Image_SV-09

twork 50 - Cleaning_Light

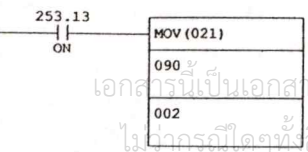
ning Process Indicator



293	LD	HR00.00	Set_Cleaning
294	OUT	071.02	Im_Clean_Light

twork 51 - Move_DO

e Digital Output from Variable IR Memory.

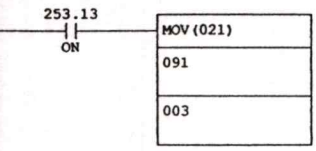


295	LD	253.13	ON
296	MOV	090 002	090 002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

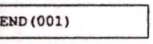
etwork 52 - Move_DO

te Digital Output from Variable IR Memory.




```
297    LD          253.13                  ON
298    MOV         091  003                091 003
```

etwork 53 -




```
299    END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

โปรแกรม Computer (Visual Basic) ของการวิจัยนี้

1. Main Menu Page

```
Option Explicit 'For this Program can additional digital and analog Equipment by
'- For digital, copy image1() then define address in tooltiptext property
'- For analog, 1.copy image2() then define address in tooltiptext property
'                2.copy text4() then paste it near image
'note : For tag of image we can see in imagelist box.
'Limited :1. For total digital + Analog word < 28 words
'          2. Every index of image and textbox must consequencely

Private Sub Command1_Click()
Graphic.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub Command2_Click()
Trend.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub Command3_Click()
Setting.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub Command4_Click()
End
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Command5_Click()
Historical.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub Exitmenu_Click()
End
End Sub

Private Sub Form_Load()
Dim Step1 As String
Dim Step2 As String

'0.Set Default of Total Data setting
SaveDataSetting

'1.Search Beginword and Rangeword in Ghaphic
'2.Create Frameformat in order to read data from PLC
Step1 = Search(Beginword, Rangeword)
Step2 = Createformat(Frame, Beginword, Rangeword)

'3.Open port for send Frameformat to PLC
If MSComm1.PortOpen = False Then
   MSComm1.PortOpen = True
End If
Timer2.Enabled = True

'4.Load textbox in order to keep Digital Responsedata by amount of the both are equal
  For i = 1 To Dmax - Dmin + 1
     Load Text1(i)
  Next
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'5.Load textbox in order to keep Analog Responsedata by amount of the both are equal
  For i = 1 To Graphic.Image2.Count
    Load Text2(i)
  Next

'Keep Start Program Time.
StartProgram = Left(FormatDateTime(Time, 4), 2)
End Sub

Private Sub Image1_dblClick()
Graphic.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub Image2_DblClick()
Trend.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub Image3_DblClick()
Setting.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub Image4_DblClick()
Historical.Show
Me.Hide
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub subview1_Click()
Graphic.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub subview2_Click()
Trend.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub subview3_Click()
Setting.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub subview4_Click()
Historical.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
Static a
a = a + 10
If a > 510 Then a = 0
Label1.BackColor = RGB(0, Abs(a - 256), 200)

Text3(0).Text = FormatDateTime(Date, 1)
Text3(1).Text = Time
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Timer2_Timer() 'Part send Frameformat to PLC

'6.Clear inbuffer in computer then send Frameformat to PLC
MSComm1.InBufferCount = 0
MSComm1.Output = Frame

'7.Delay time in order to wait response from PLC
Timer2.Enabled = False
Timer3.Enabled = True
End Sub

Private Sub Timer3_Timer() 'Part Receive Response Frameformat from PLC and processing data
Dim ResponseFrame As String

'8.Recieve Response Frameformat from PLC
'9.Processing Response Frameformat to Digital Responsedata
ResponseFrame = MSComm1.Input
DResponsedata = ProcessingDigitaldata(ResponseFrame)
AResponsedata = ProcessingAnalogdata(ResponseFrame)

'10.Define Textbox1(i) keep Digital Responsedata(i) in order to distribute any form
  For i = 0 To Dmax - Dmin
    Text1(i).Text = DResponsedata(i)
    Text1(i).Visible = False

      If i <> 0 Then Text1(i).Top = Text1(i - 1).Top + 500
  Next
'11.Define Textbox2(i) keep Analog Responsedata(i) in order to distribute any form
  For i = 0 To Graphic.Image2.Count - 1
    Text2(i).Text = AResponsedata(i)
    Text2(i).Visible = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        If i <> 0 Then Text2(i).Top = Text2(i - 1).Top + 500
    Next
'CalculateData
'12.Delay time in order to execute any form before read PLC again
Timer3.Enabled = False
Timer2.Enabled = True
End Sub
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Graphic Page

```
Option Explicit
Private Sub Exitmenu_Click()
End
End Sub

Private Sub Form_Load()
Timer1.Enabled = True
End Sub

Private Sub subview1_Click()
Mainmenu.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub subview2_Click()
Trend.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub subview3_Click()
Setting.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub subview4_Click()
Historical.Show
Me.Hide
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Text4_DblClick(Index As Integer)
Trend.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub Timer1_Timer() 'Executed from Responsedata to graphic.
Dim Daddress() As String, Aaddress() As String
Dim Dword As String, Dbit As String, Refword As String
Dim Status As String, HMI As String
ReDim Daddress(Image1.Count), Aaddress(Image2.Count)

'1.Seperate word and bit of Digital Address(image1).
'2.Search status address from Responsedata in mainmenu.
'3.Change HMI following status address(binary).

  For i = 0 To Image1.Count - 1
    Daddress(i) = Image1(i).ToolTipText
    Dword = Left(Daddress(i), 3) 'word
    Dbit = Right(Daddress(i), 2) 'bit
    Refword = Mainmenu.Text1(Dword).Text 'Reference Responsedata
    If Refword = "" Then Exit For

      Status = Mid(Refword, 16 - Dbit, 1)
        If Status = 1 Then
          HMI = Image1(i).Tag + " " + "on"
        Else
          HMI = Image1(i).Tag
        End If

    Set Image1(i) = ImageList1.ListImages(HMI).Picture
  Next
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'4.Change instrument data value following Analog Responsedata in mainmenu

    For i = 0 To Image2.Count - 1
        Text4(i).Text = Mainmenu.Text2(i).Text
    Next

End Sub
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Setting Parameter Page

```
Option Explicit
Dim a As Integer

Private Sub Cancelbutton_Click()
UnsaveDataSetting
End Sub

Private Sub Command1_Click()
RecordData
End Sub

Private Sub Exitmenu_Click()
End
End Sub

Private Sub Form_Load()
Combo3(1).ListIndex = 0
End Sub

Private Sub OKbutton_Click()
SaveDataSetting
End Sub

Private Sub subview1_Click()
UnsaveDataSetting
Mainmenu.Show
Me.Hide
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub subview2_Click()
UnsaveDataSetting
Graphic.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub subview3_Click()
UnsaveDataSetting
Trend.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub subview4_Click()
UnsaveDataSetting
Historical.Show
Me.Hide
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Trend Performance Page

```
Option Explicit
Dim IntervalTime As Integer
Dim SetInterval As Integer
Dim z As Integer

Private Sub Combo1_Click(Index As Integer)
MonitorTrend
End Sub

Private Sub Command1_Click()
MsgBox " DP = P5-P4 " & vbCrLf & _
      " %R = F3*100/(F2+F3) " & vbCrLf & _
      " %SP = (TDS3)*200/(TDS2+TDS1) " & vbCrLf & _
      " %SR = 1 - %SP " & vbCrLf & _
      " PF = {[P1 -(P1-P2)/2 - P3]Standard / [P1 - (P1-P2)/2 - P3]Operation } *
{(T1 Standard - 25)/(T1 Operation - 25)} * F2(Operation) " & vbCrLf & _
      " PT = {[P1 -(P1-P2)/2 - P3]Operation / [P1 - (P1-P2)/2 - P3]Standard } *
{(TDS1 Standard )/(TDS1 Operation )} * TDS2(Operation) "
End Sub

Private Sub Exitmenu_Click()
End
End Sub

Private Sub Form_Load()
Combo1(0).ListIndex = 6 'Set Default at Normalize Permeate Monitor
MonitorTrend
Timer1.Enabled = True
z = 0
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub subview1_Click()
Mainmenu.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub subview2_Click()
Graphic.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub subview3_Click()
Setting.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub subview4_Click()
Historical.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()

  For i = 0 To Text2.Count - 1
    Text2(i).Text = Mainmenu.Text2(i).Text
  Next

  For i = 0 To Text4.Count - 1
    Text4(i).Text = Mainmenu.Text4(i).Text
  Next
'Setting Interval Time for Plot Trend.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
If Setting.Combo3(1).ListIndex = 0 Then SetInterval = 1
If Setting.Combo3(1).ListIndex = 1 Then SetInterval = 2
If Setting.Combo3(1).ListIndex = 2 Then SetInterval = 6
If Setting.Combo3(1).ListIndex = 3 Then SetInterval = 24

'Plot Following Setting Sampling Period Time.
hr = Left(FormatDateTime(Time, 4), 2)
IntervalTime = StartProgram + (SetInterval * z)
If hr = IntervalTime Then
PlotTrend
z = z + 1
End If

End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Historical Page

```
Option Explicit
Private Sub Combo1_Click(Index As Integer)
MonitorHistorical
End Sub

Private Sub Exitmenu_Click()
End
End Sub

Private Sub Form_Load()
Combo1(0).ListIndex = 6 'Set Default at Normalize Permeate Monitor
MonitorHistorical

Dim getdata As Data
Dim u As String
u = App.Path & "\" & Format(Date, "mmmm yyyy") & "\" & FormatDateTime(Date, 1) &
".TXT"
Database = u.Count
Open u For Random As #1 Len = Len(getdata)
For j = 1 To Database
Get #1, 2, getdata
Text1(j).Text = getdata.Time
Text2(j).Text = getdata.P1
Text3(j).Text = getdata.P2
Text4(j).Text = getdata.P3
Text5(j).Text = getdata.TDS1
Text6(j).Text = getdata.TDS2
Text7(j).Text = getdata.TDS3
Text8(j).Text = getdata.F1
Text9(j).Text = getdata.F2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Text10(j).Text = getdata.F3
Text11(j).Text = getdata.T1
Text12(j).Text = getdata.P4
Text13(j).Text = getdata.P5
Text14(j).Text = getdata.DP
Text15(j).Text = getdata.R
Text16(j).Text = getdata.SP
Text17(j).Text = getdata.PR
Text18(j).Text = getdata.PF
Text19(j).Text = getdata.PT
Next
Close

End Sub

Private Sub subview1_Click()
Mainmenu.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub subview2_Click()
Graphic.Show
Me.Hide
End Sub

Private Sub subview3_Click()
Trend.Show
Me.Hide
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub subview4_Click()
Setting.Show
Me.Hide
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Module

```
Option Explicit
Global i As Integer, j As Integer, k As Integer
Global Beginword As String, Rangeword As String, Frame As String
Global Dmin As String, Dmax As String, Amin As String, Amax As String
Global DResponsedata() As String, AResponsedata() As String
Global Recdata() As String, DataMin() As String, DataMax() As String
Global hr As String, StartProgram As String
Global Database As Integer

Type Data
    T As String * 15
    P1 As String * 20
    P2 As String * 20
    P3 As String * 20
    TDS1 As String * 20
    TDS2 As String * 20
    TDS3 As String * 20
    F1 As String * 20
    F2 As String * 20
    F3 As String * 20
    T1 As String * 20
    P4 As String * 20
    P5 As String * 20
    DP As String * 20
    RE As String * 20
    SP As String * 20
    SR As String * 20
    PF As String * 20
    PT As String * 20
    crlf As String * 2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End Type

Public Function Search(Beginword As String, Rangeword As String)
'Function for search beginword and rangeword

Dim Lastword As String
Dim Dword() As String
Dim Aword() As String
ReDim Dword(Graphic.Image1.Count - 1) As String 'Number array of total Digital
ReDim Aword(Graphic.Image2.Count - 1) As String 'Number array of total Analog

'1.Fine minimum and maximum of digital word
  For i = 0 To Graphic.Image1.Count - 1
    Dword(i) = Left(Graphic.Image1(i).ToolTipText, 3) 'Concentrate only word
  Next
    'Search word min,max of Digital
    Dmin = Dword(0)
    Dmax = Dword(0)
      For i = 0 To Graphic.Image1.Count - 2
        If Dmin <= Dword(i + 1) Then Dmin = Dmin Else Dmin = Dword(i + 1)
        If Dmax >= Dword(i + 1) Then Dmax = Dmax Else Dmax = Dword(i + 1)
      Next

'2.Fine minimum and maximum of Analog word
  For i = 0 To Graphic.Image2.Count - 1
    Aword(i) = Graphic.Image2(i).ToolTipText
  Next
    'Search word min,max of Analog
    Amin = Aword(0)
    Amax = Aword(0)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        For i = 0 To Graphic.Image2.Count - 2
            If Amin <= Aword(i + 1) Then Amin = Amin Else Amin = Aword(i + 1)
            If Amax >= Aword(i + 1) Then Amax = Amax Else Amax = Aword(i + 1)
        Next
'3.Compare digital and analog word in order to search minimun and maximum of totalword
    If Dmin <= Amin Then Beginword = Dmin Else Beginword = Amin
    If Dmax >= Amax Then Lastword = Dmax Else Lastword = Amax

'4.Calculate range of word
Rangeword = Lastword - Beginword + 1

End Function

Public Function Createformat(Frame As String, Beginword As String, Rangeword As String)
'Function for create Frameformat in order to send and can read data from PLC
Dim FCS As String, intFrame As String

'1.Adding beginword and rangeword following standard hostlink protocol
    Do While Len(Beginword) < 4
        Beginword = "0" + Beginword
    Loop
    Do While Len(Rangeword) < 4
        Rangeword = "0" + Rangeword
    Loop

'2.Calculate FCS
    intFrame = "@00RR" + Beginword + Rangeword
    j = 0
        For i = 1 To Len(intFrame)
            j = j Xor Asc(Mid(intFrame, i, 1))
    Next
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    FCS = Hex(j)
    If Len(FCS) = 1 Then FCS = "0" + FCS

'3.Assembly Frameformat
   Frame = intFrame + FCS + "*" + Chr$(13)

End Function

Public Function ProcessingDigitaldata(ResponseFrame As String) As String()
'Function for processing Response Frameformat to Digital Responsedata
Dim a As String, b As String, c As String
Dim resword() As String
ReDim resword(Val(Rangeword) + 1)

'1.Seperate Responseword from Response Frameformat
a = Mid(ResponseFrame, 8, 4 * Rangeword)
   For i = 0 To Val(Rangeword) - 1
      resword(i) = Mid(a, (4 * i) + 1, 4)
   Next

'2.For digital word, convert from Responseword(HEX) to Responsedata (Binary)
        For i = Dmin To Dmax
           For j = 1 To 4
              b = Mid(resword(i), j, 1)
                 If b = "0" Then b = "0000"
                 If b = "1" Then b = "0001"
                 If b = "2" Then b = "0010"
                 If b = "3" Then b = "0011"
                 If b = "4" Then b = "0100"
                 If b = "5" Then b = "0101"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                If b = "6" Then b = "0110"
                If b = "7" Then b = "0111"
                If b = "8" Then b = "1000"
                If b = "9" Then b = "1001"
                If b = "A" Then b = "1010"
                If b = "B" Then b = "1011"
                If b = "C" Then b = "1100"
                If b = "D" Then b = "1101"
                If b = "E" Then b = "1110"
                If b = "F" Then b = "1111"
              c = c + b
            Next
            resword(i) = c
            c = ""
          Next
ProcessingDigitaldata = resword

End Function

Public Function ProcessingAnalogdata(ResponseFrame As String) As String()
'Function for processing Response Frameformat to Analog Responsedata.
Dim a As String, c As String, f As String, g As String
Dim resword() As String, rawword() As String
ReDim resword(Val(Rangeword) + 1), rawword(Val(Rangeword) + 1)

'1.Seperate Responseword from Response Frameformat(only Analog).
a = Mid(ResponseFrame, 8, 4 * Rangeword)
  For i = Amin To Amax
    resword(i - Val(Amin)) = Mid(a, (4 * i) + 1, 4)
  Next
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'2.For Analog word, convert from Responseword(Hex) to Ten.
'4.Calculate from ten to Rawdata(sort of instrument following tag property)
  For i = 0 To Graphic.Image2.Count - 1 'amount of analog word
    c = Graphic.Image2(i).ToolTipText 'check analog address of image

      For j = 1 To 4 'convert Hex to Ten
        g = Mid(resword(c - Amin), j, 1) 'concentrate analog word used
        If g = "" Then Exit For
          If g = "A" Then g = 10
          If g = "B" Then g = 11
          If g = "C" Then g = 12
          If g = "D" Then g = 13
          If g = "E" Then g = 14
          If g = "F" Then g = 15
            If j = 1 Then g = 16 ^ 3 * g
            If j = 2 Then g = 16 ^ 2 * g
            If j = 3 Then g = 16 ^ 1 * g
            If j = 4 Then g = g
            f = Val(f) + Val(g)
            g = ""
    Next
      'Calculate EngineeringData from Rawdata following Preset value in Setting Page.
      If f = "" Then f = "0" 'Protect Error from not interface with PLC.
      f = f * (Setting.Combo2(i).Text - Setting.Combo1(i).Text) / 65535
      f = Format(f, "###.#0 ")
    'Select Case Graphic.Image2(i).Tag 'Create Format of EngineeringData to monitoring.
       ' Case "Pressure"
       '      f = Format(f, "###.#0 Psi")
       ' Case "TDS"
       '      f = Format(f, "###.#0 mg/l")
       ' Case "Flow"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            '       f = Format(f, "###.#0 m3/h")
            ' Case "Temp"
            '       f = Format(f, "###.#0 Celsius")
            ' Case "pH"
            '       f = Format(f, "###.#0 pH")
            '
        'End Select
        rawword(i) = f
        f = ""
    Next
ProcessingAnalogdata = rawword

End Function

Public Function CalculateData() As String
'Function for Calculation Data.
Dim P1 As Single, P2 As Single, P3 As Single, P4 As Single, P5 As Single
Dim TDS1 As Single, TDS2 As Single, TDS3 As Single
Dim F1 As Single, F2 As Single, F3 As Single
Dim T1 As Single, DP As Single
Dim RE As Single, SP As Single, SR As Single
Dim PF As Single, PT As Single

Dim P1S As Single, P2S As Single, P3S As Single, P4S As Single, P5S As Single
Dim TDS1S As Single, TDS2S As Single, TDS3S As Single
Dim F1S As Single, F2S As Single, F3S As Single
Dim T1S As Single

With Trend 'Buffer Start-Up Data to Variable Calculation
    P1S = .Text1(0).Text
    P2S = .Text1(1).Text
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        P3S = .Text1(2).Text
        TDS1S = .Text1(3).Text
        TDS2S = .Text1(4).Text
        TDS3S = .Text1(5).Text
        F1S = .Text1(6).Text
        F2S = .Text1(7).Text
        F3S = .Text1(8).Text
        T1S = .Text1(9).Text
End With

With Mainmenu 'Buffer Operation Data to Variable Calculation
        P1 = .Text2(0).Text
        P2 = .Text2(1).Text
        P3 = .Text2(2).Text
        TDS1 = .Text2(3).Text
        TDS2 = .Text2(4).Text
        TDS3 = .Text2(5).Text
        F1 = .Text2(6).Text
        F2 = .Text2(7).Text
        F3 = .Text2(8).Text
        T1 = .Text2(9).Text
        P4 = .Text2(10).Text
        P5 = .Text2(11).Text

'1.Differential Pressure
'DP = P5-P4
DP = Val(P5) - Val(P4)
.Text4(0).Text = Format(DP, "###.#0")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'2.%Recovery
'%R = F3*100/(F2+F3)
RE = Val(F3) * 100 / (Val(F2) * Val(F3))
.Text4(1).Text = Format(RE, "###.#0")

'3.%Salt Passage ; TDS 1ppm = Conduct 0.75 us/cm
'%SP = (TDS3)*200/(TDS2+TDS1)
SP = Val(TDS3) * 200 / (Val(TDS2) * Val(TDS1))
.Text4(2).Text = Format(SP, "###.#0")

'4.%Salt Rejection
'%SR = 1 - %SP
SR = 1 - Val(SP)
.Text4(3).Text = Format(SR, "###.#0")

'5.Normalize Permeate Flow
'PF = {[P1 -(P1-P2)/2 - P3]Standard / [P1 - (P1-P2)/2 - P3]Operation } * {(T1 Standard - 25)/(T1
Operation - 25)} * F2(Operation)
PF = (Trend.Text1(0) - (Trend.Text1(0) - Trend.Text1(1)) / 2 - Trend.Text1(2)) / (P1 - (P1 - P2) /
2 - P3) * (Trend.Text1(9) - 25) / (T1 - 25) * F2
.Text4(4).Text = Format(PF, "###.#0")

'6.Normalize Permeate TDS
'PT = {[PT = {[P1 -(P1-P2)/2 - P3]Operation / [P1 - (P1-P2)/2 - P3]Standard } * {(TDS1
Standard )/(TDS1 Operation )} * TDS2(Operation)
PT = (P1 - (P1 - P2) / 2 - P3) / (Trend.Text1(0) - (Trend.Text1(0) - Trend.Text1(1)) / 2 -
Trend.Text1(2)) * (Trend.Text1(3)) / (TDS1) * TDS2
.Text4(5).Text = Format(PT, "###.#0")
End With

End Function
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Public Function SaveDataSetting() As String
'Function for Save Data Setting in case of change it.
'ReDim Recdata(Setting.Check1.Count) As String
ReDim DataMin(Setting.Combo1.Count) As String
ReDim DataMax(Setting.Combo2.Count) As String

  '1.Keep Record Data selected in Recdata(i)
  'For i = 0 To Setting.Check1.Count - 1
  'Recdata(i) = Setting.Check1(i).Value
  'Next

  '2.Keep Preset Minimum value selected in DataMin(i)
  For i = 0 To Setting.Combo1.Count - 1
  DataMin(i) = Setting.Combo1(i).Text
  Next

  '3.Keep Preset Maximum value selected in DataMax(i)
  For i = 0 To Setting.Combo2.Count - 1
  DataMax(i) = Setting.Combo2(i).Text
  Next

End Function

Public Function UnsaveDataSetting() As String
'Function for Delete value of Total Setting Data in case of Unsave or Change page.

  '1.Restore Recdata(i) to Record Data Checkbox
  ' For i = 0 To Setting.Check1.Count - 1
  ' Setting.Check1(i).Value = Recdata(i)
  'Next
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'2.Restore DataMin(i) to Preset Minimum value
For i = 0 To Setting.Combo1.Count - 1
Setting.Combo1(i).Text = DataMin(i)
Next

'3.Restore DataMax(i) to Preset Maximum value
For i = 0 To Setting.Combo2.Count - 1
Setting.Combo2(i).Text = DataMax(i)
Next

End Function

Public Function RecordData() As String
'Function for keep Record data selected.
Dim HistoricalFolder As String
Dim HistoricalFoldernew As String
Dim HistoricalFile As String
Dim HistoricalFilenew As String
Dim Tempfile As Integer, CountRecData As Integer, ReadNumdata
Dim Variable As Data

'1.Seach path of this application and create montly folder.
HistoricalFolder = App.Path & "\" & Format(Date, "mmmm yyyy") 'Define Path of
HistoricalFolder.
HistoricalFoldernew = Dir(HistoricalFolder, vbDirectory) 'This command use check that have
exist HistoricalFolder yes or not?

  If HistoricalFoldernew = "" Then
    MkDir HistoricalFolder 'This command use create folder
  End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'2.Seach path of this application and create & record dialy file .
Tempfile = FreeFile ' This Command use searh Freefile for Temporary memory in order to Record File.
'Append Data in Record file
HistoricalFile = HistoricalFolder & "\" & FormatDateTime(Date, 1) & ".TXT" 'Define Path of HistoricalFile
HistoricalFilenew = Dir(HistoricalFile, vbDirectory) 'This command use check that have exist HistoricalFile yes or not?

  'Print Header of each day.
  If HistoricalFilenew = "" Then
  CountRecData = 1
    Open HistoricalFile For Random As #Tempfile Len = Len(Variable)
      Variable.T = Date
      Variable.P1 = "Pressure1"
      Variable.P2 = "Pressure2"
      Variable.P3 = "Pressure3"
      Variable.TDS1 = "TDS1"
      Variable.TDS2 = "TDS2"
      Variable.TDS3 = "TDS3"
      Variable.F1 = "Flow1"
      Variable.F2 = "Flow2"
      Variable.F3 = "Flow3"
      Variable.T1 = "Temperature1"
      Variable.P4 = "Pressure4"
      Variable.P5 = "Pressure5"
      Variable.DP = "Diff Pressure"
      Variable.RE = "%Recovery"
      Variable.SP = "%Salt Pass"
      Variable.SR = "%Salt Reject"
      Variable.PF = "Permeate Flow"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Variable.PT = "Permeate TDS"
        Variable.crlf = Chr(13) & Chr(10)
        Put #Tempfile, CountRecData, Variable
    Close
  End If

'Record Data from Application to HistoricalFile
Open HistoricalFile For Random As #Tempfile Len = Len(Variable)
'For i = 0 To 4
CountRecData = 2 'Hour(Time) '- (11 - i)
  Variable.T = Time
  Variable.P1 = Mainmenu.Text2(0).Text
  Variable.P2 = Mainmenu.Text2(1).Text
  Variable.P3 = Mainmenu.Text2(2).Text
  Variable.TDS1 = Mainmenu.Text2(3).Text
  Variable.TDS2 = Mainmenu.Text2(4).Text
  Variable.TDS3 = Mainmenu.Text2(5).Text
  Variable.F1 = Mainmenu.Text2(6).Text
  Variable.F2 = Mainmenu.Text2(7).Text
  Variable.F3 = Mainmenu.Text2(8).Text
  Variable.T1 = Mainmenu.Text2(9).Text
  Variable.P4 = Mainmenu.Text2(10).Text
  Variable.P5 = Mainmenu.Text2(11).Text
  Variable.DP = Mainmenu.Text4(0).Text
  Variable.RE = Mainmenu.Text4(1).Text
  Variable.SP = Mainmenu.Text4(2).Text
  Variable.SR = Mainmenu.Text4(3).Text
  Variable.PF = Mainmenu.Text4(4).Text
  Variable.PT = Mainmenu.Text4(5).Text
  Variable.crlf = Chr(13) & Chr(10)
  Put #Tempfile, CountRecData, Variable
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
'Next
Close

End Function

Public Function MonitorTrend() As String
'Function for audit that what user want monitor trend
With Trend
'1.Reset total Monitor Trend
For i = 0 To .TChart1.SeriesCount - 1
   .TChart1.Series(i).Active = False
Next

'2.Audit Monitor Trend selected in order to show Sub Monitor
For i = 0 To .Frame2.Count - 1
   .Frame2(i).Visible = False
Next i

Select Case .Combo1(0).ListIndex
  Case 0
     .Frame2(0).Visible = True
     .TChart1.Series(0).Active = True
     .TChart1.Series(1).Active = True
     .TChart1.Series(2).Active = True
     .TChart1.Header.Text(0) = "Pressure"
  Case 1
     .Frame2(1).Visible = True
     .TChart1.Series(3).Active = True
     .TChart1.Series(4).Active = True
     .TChart1.Series(5).Active = True
     .TChart1.Header.Text(0) = "TDS"
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Case 2
            .Frame2(2).Visible = True
            .TChart1.Series(6).Active = True
            .TChart1.Series(7).Active = True
            .TChart1.Series(8).Active = True
            .TChart1.Header.Text(0) = "Flow"
        Case 3
            .Frame2(3).Visible = True
            .TChart1.Series(9).Active = True
            .TChart1.Header.Text(0) = "Temperature"
        Case 4
            .Frame2(4).Visible = True
            .TChart1.Series(10).Active = True
            .TChart1.Series(11).Active = True
            .TChart1.Series(12).Active = True
            .TChart1.Header.Text(0) = "Filter Pressure"
        Case 5
            .Frame2(5).Visible = True
            .TChart1.Series(13).Active = True
            .TChart1.Series(14).Active = True
            .TChart1.Series(15).Active = True
            .TChart1.Header.Text(0) = "% Calculation"
        Case 6
            .Frame2(6).Visible = True
            .TChart1.Series(16).Active = True
            .TChart1.Series(17).Active = True
            .TChart1.Header.Text(0) = "Normalize Permeate"
    End Select
    For i = 0 To .Check1.Count - 1
        If .Check1(i).Value = 0 Then .TChart1.Series(i).Active = False
    Next
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End With
End Function

Public Function MonitorHistorical() As String
'Function for audit that what user want monitor Historical
With Historical
'1.Reset total Monitor Historical
For i = 0 To .TChart1.SeriesCount - 1
   .TChart1.Series(i).Active = False
Next

'2.Audit Monitor Historical selected in order to show Sub Monitor
For i = 0 To .Frame2.Count - 1
   .Frame2(i).Visible = False
Next i

Select Case .Combo1(0).ListIndex
  Case 0
     .Frame2(0).Visible = True
     .TChart1.Series(0).Active = True
     .TChart1.Series(1).Active = True
     .TChart1.Series(2).Active = True
     .TChart1.Header.Text(0) = "Pressure"
  Case 1
     .Frame2(1).Visible = True
     .TChart1.Series(3).Active = True
     .TChart1.Series(4).Active = True
     .TChart1.Series(5).Active = True
     .TChart1.Header.Text(0) = "TDS"
  Case 2
     .Frame2(2).Visible = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        .TChart1.Series(6).Active = True
        .TChart1.Series(7).Active = True
        .TChart1.Series(8).Active = True
        .TChart1.Header.Text(0) = "Flow"
    . Case 3
        .Frame2(3).Visible = True
        .TChart1.Series(9).Active = True
        .TChart1.Header.Text(0) = "Temperature"
    Case 4
        .Frame2(4).Visible = True
        .TChart1.Series(10).Active = True
        .TChart1.Series(11).Active = True
        .TChart1.Series(12).Active = True
        .TChart1.Header.Text(0) = "Filter Pressure"
    Case 5
        .Frame2(5).Visible = True
        .TChart1.Series(13).Active = True
        .TChart1.Series(14).Active = True
        .TChart1.Series(15).Active = True
        .TChart1.Header.Text(0) = "% Calculation"
    Case 6
        .Frame2(6).Visible = True
        .TChart1.Series(16).Active = True
        .TChart1.Series(17).Active = True
        .TChart1.Header.Text(0) = "Normalize Permeate"
End Select

For i = 0 To .Check1.Count - 1
    If .Check1(i).Value = 0 Then .TChart1.Series(i).Active = False
Next
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End With
End Function

Public Function PlotTrend() As String
'Function for Plot Trend Graph.
With Trend
.TChart1.Series(0).Add Mainmenu.Text2(0), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(1).Add Mainmenu.Text2(1), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(2).Add Mainmenu.Text2(2), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(3).Add Mainmenu.Text2(3), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(4).Add Mainmenu.Text2(4), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(5).Add Mainmenu.Text2(5), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(6).Add Mainmenu.Text2(6), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(7).Add Mainmenu.Text2(7), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(8).Add Mainmenu.Text2(8), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(9).Add Mainmenu.Text2(9), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(10).Add Mainmenu.Text2(10), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(11).Add Mainmenu.Text2(11), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(12).Add Mainmenu.Text4(0), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(13).Add Mainmenu.Text4(1), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(14).Add Mainmenu.Text4(2), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(15).Add Mainmenu.Text4(3), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(16).Add Mainmenu.Text4(4), hr, clTeeColor
.TChart1.Series(17).Add Mainmenu.Text4(5), hr, clTeeColor
End With

End Function
Public Function PlotHistorical() As String
'Function for Plot Historical Graph.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

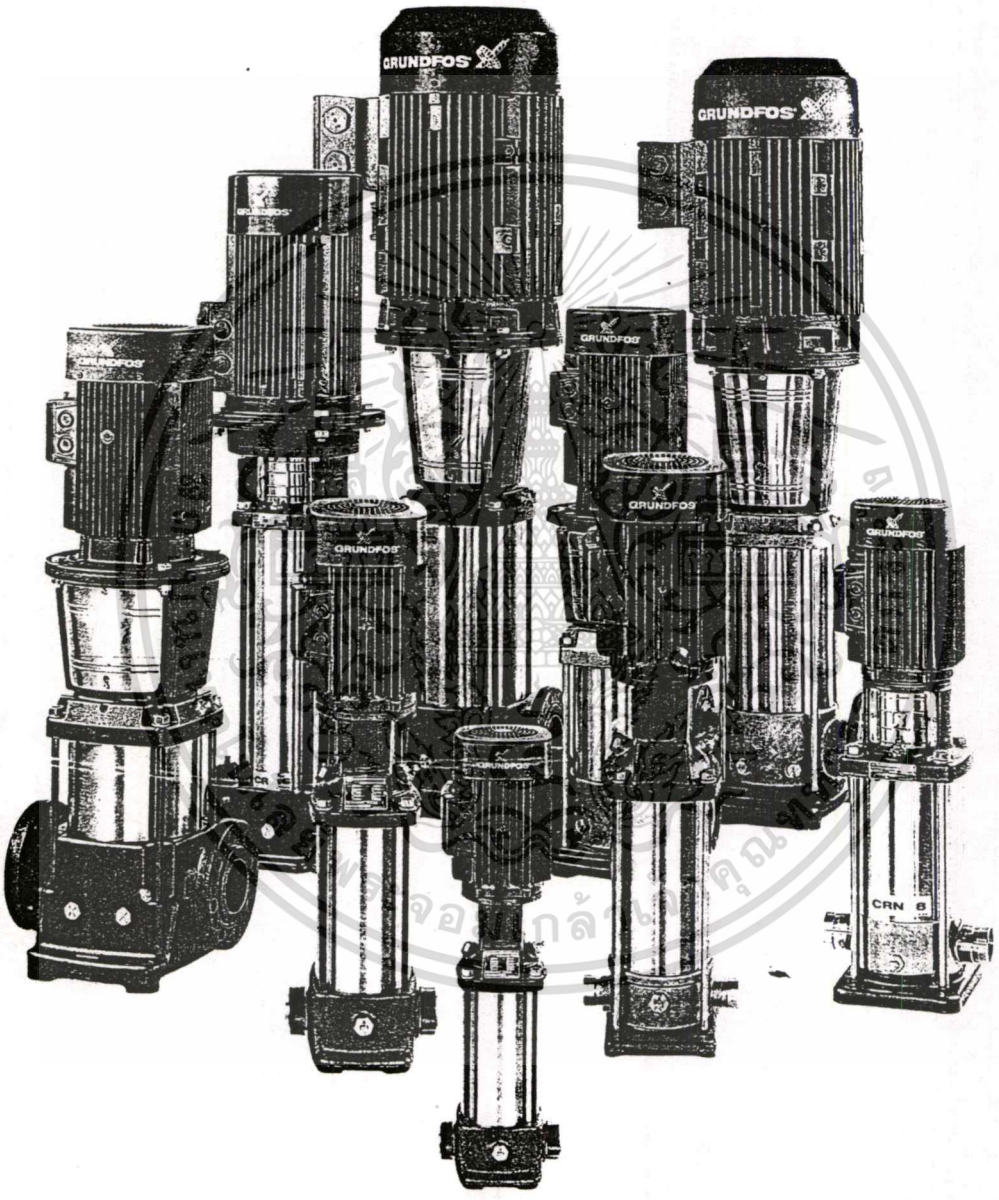
```
With Historical
For i = 1 To Database - 1
.TChart1.Series(0).Add Historical.Text2(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(1).Add Historical.Text3(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(2).Add Historical.Text4(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(3).Add Historical.Text5(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(4).Add Historical.Text6(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(5).Add Historical.Text7(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(6).Add Historical.Text8(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(7).Add Historical.Text9(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(8).Add Historical.Text10(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(9).Add Historical.Text11(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(10).Add Historical.Text12(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(11).Add Historical.Text13(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(12).Add Historical.Text14(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(13).Add Historical.Text15(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(14).Add Historical.Text16(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(15).Add Historical.Text17(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(16).Add Historical.Text18(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
.TChart1.Series(17).Add Historical.Text19(i), Historical.Text1(i), clTeeColor
Next
End With

End Function
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

Specification Device for Reverse Osmosis Application

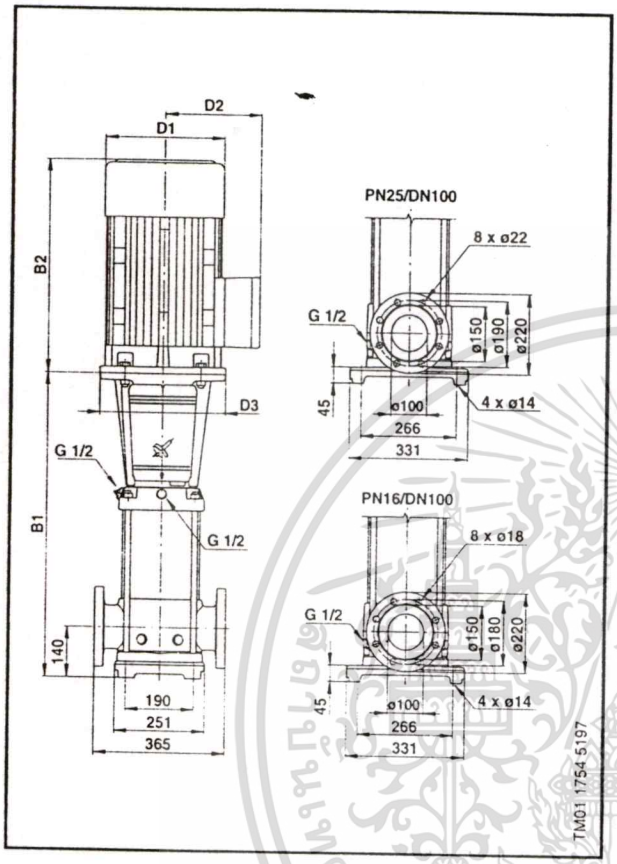


GRUNDFOS®

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technical Data

Dimensional Sketches



Dimensions and Weights

Pump Type	Dimensions [mm]						Net Weight [kg]
	B1	B2	B1 + B2	D1	D2	D3	
CRN 64-1-1	561	372	933	220	134	158	106
CRN 64-1	561	391	952	220	134	298	111
CRN 64-2-2	**644**	**391**	**1035**	**220**	**134**	**298**	**120**
CRN 64-2-1	754	464	1218	260	172	350	157
CRN 64-2	754	464	1218	260	172	350	157
CRN 64-3-2	836	478	1314	306	197	350	194
CRN 64-3-1	836	478	1314	306	197	350	194
CRN 64-3	836	478	1314	306	197	350	205
CRN 64-4-2	919	478	1397	306	197	350	208
CRN 64-4-1	919	600	1519	364	269	350	261
CRN 64-4	919	600	1519	364	269	350	261
CRN 64-5-2	1001	667	1668	404	306	400	344
CRN 64-5-1	1001	667	1668	404	306	400	344
CRN 64-5	1001	667	1668	404	306	400	344
CRN 64-6-2	**1084**	**667**	**1751**	**404**	**306**	**400**	**348**
CRN 64-6-1	1084	667	1751	404	306	400	368
CRN 64-6	1084	667	1751	404	306	400	368
CRN 64-7-2	1166	667	1833	404	306	400	373
CRN 64-7-1	1166	667	1833	404	306	400	373

Electrical Data

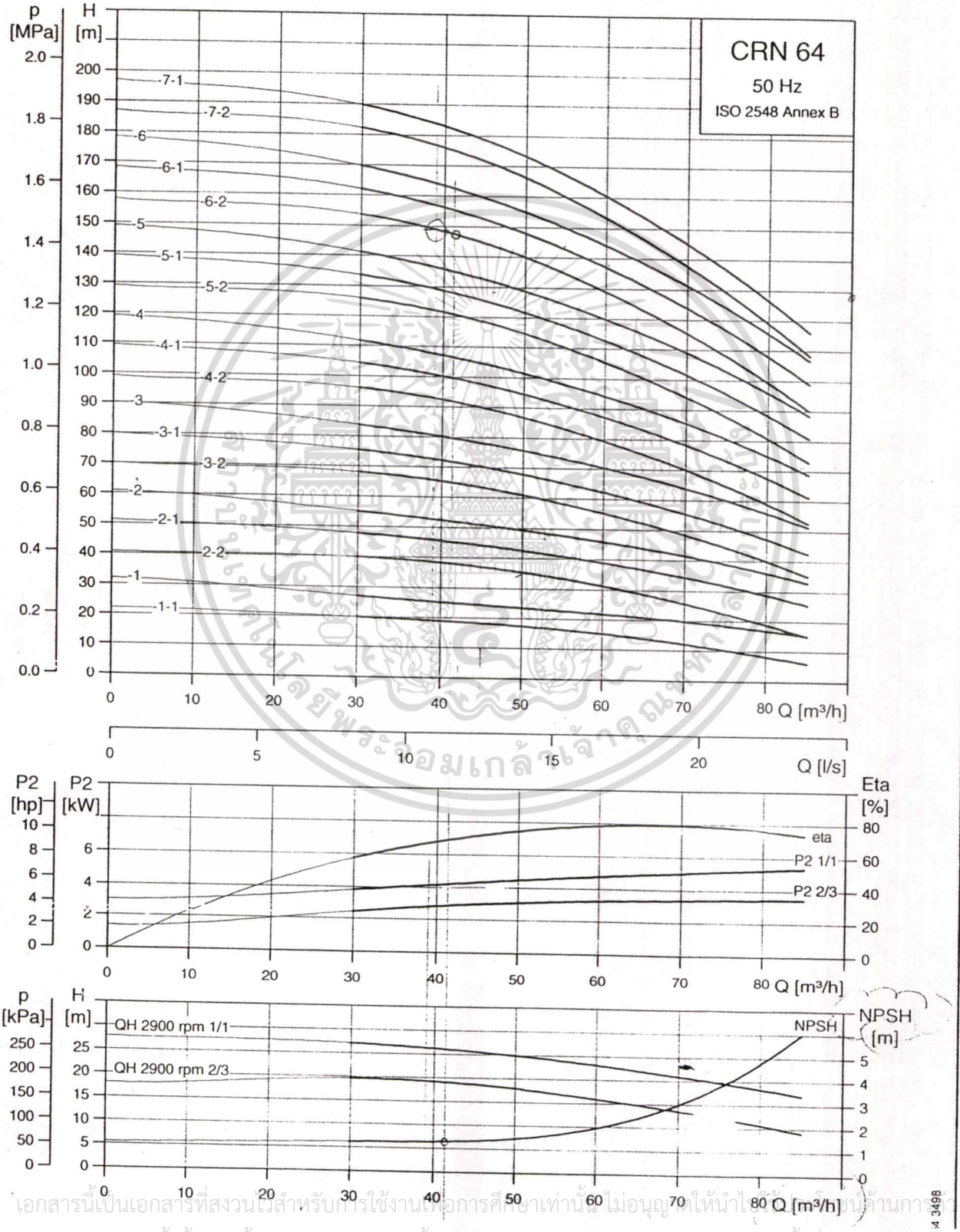
3 x 380-415 V, 50 Hz

Pump Type	Motor		Full Load Current $I_{1/1}$ [A]	Power Factor Cos $\varphi_{1/1}$	Motor Efficiency η[%]	$\frac{I_{start}}{I_{1/1}}$
	[kW]	[hp]				
CRN 64-1-1	4.0	5.5	8.00	0.90-0.87	87	8.7-9.5
CRN 64-1	5.5	7.5	11.0	0.89-0.86	88.5	8.9-9.7
CRN 64-2-2	**7.5**	**10**	**15.2**	**0.87-0.81**	**89**	**9.1-9.9**
CRN 64-2-1	11	15	21.5	0.91-0.87	85	7.3-8.0
CRN 64-2	11	15	21.5	0.91-0.87	85	7.3-8.0
CRN 64-3-2	15	20	28.7	0.87	86.0	6.0
CRN 64-3-1	15	20	28.7	0.87	86.0	6.0
CRN 64-3	18.5	25	35.9-34.1	0.86	87.0	7.2
CRN 64-4-2	18.5	25	35.9-34.1	0.86	87.0	7.2
CRN 64-4-1	22	30	42.0-40.0	0.86	89.2	7.3
CRN 64-4	22	30	42.0-40.0	0.86	89.2	7.3
CRN 64-5-2	30	40	56.0-52.0	0.88	91.7	7.5
CRN 64-5-1	30	40	56.0-52.0	0.88	91.7	7.5
CRN 64-5	30	40	56.0-52.0	0.88	91.7	7.5
CRNv 64-6-2	**30**	**40**	**56.0-52.0**	**0.88**	**91.7**	**7.5**
CRN 64-6-1	37	50	68.0-63.0	0.89	92.4	7.8
CRN 64-6	37	50	68.0-63.0	0.89	92.4	7.8
CRN 64-7-2	37	50	68.0-63.0	0.89	92.4	7.8
CRN 64-7-1	37	50	68.0-63.0	0.89	92.4	7.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance Curves

CRN 64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

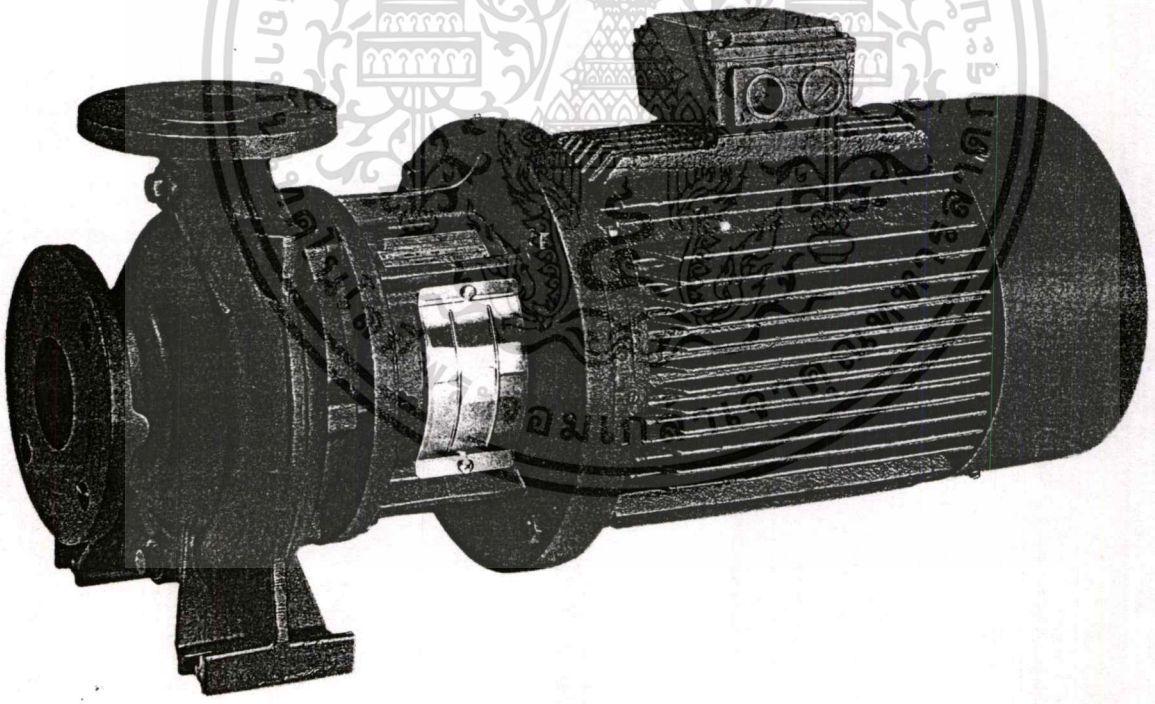
NB

Single-stage end-suction pumps

Designed for water supply, boosting, circulation and liquid transfer in industry, agriculture, horticulture, etc.

Pump flange sizes:	32-200 mm
Maximum system pressure:	16 bar
Liquid temperature:	–10°C to +140°C

50 Hz and 60 Hz



TM01 3411 1199

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Product description

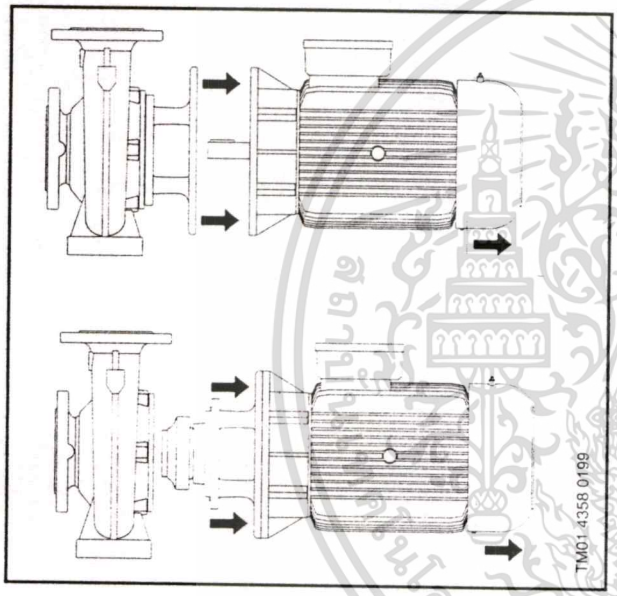
The NB pumps are single-stage centrifugal pumps with axial suction port and radial discharge port.

Nominal duty points and main dimensions are in accordance with EN 733 (Ex DIN 24255).

The pump is directly coupled with a totally enclosed fan-cooled standard motor with main dimensions to IEC and DIN standards.

The mechanical shaft seal has dimensions according to DIN 24960.

The back pull-out design enables removal and dismantling of the motor and impeller without disturbance of the pump housing or pipework. Consequently even the largest pumps can be serviced by a single person.



Applications

NB pumps are used for pressure boosting, liquid transfer, circulation of liquids and water supply in...

- district heating plants
- heating systems for blocks of flats
- air-conditioning systems
- cooling systems
- washdown systems
- other industrial systems
- other fields of application.

In air climate control systems, especially for residential applications, it is recommanded to adopt proper installation measures (e.g. compensation joints on the discharge side) to prevent transmission of hydraulic noise to the building. Pumps with 4 pole motor offer low noise operation, suitable to fit this requirement.

If a certain duty point is required, pumps with reduced impeller diameter can be delivered on request.

Pumped liquid

Liquid temperature: –10°C to +140°C.

Clean, thin, non-aggressive, non-explosive liquids without any contents of solids or fibres and which do not attack the pump mechanically or chemically.

Maximum operating pressure

Up to +140°C: 1.6 MPa (16 bar), (10 bar for DN 200).

According to EN 733 (Ex DIN 24255) the maximum required operating pressure is 1.0 MPa (10 bar).

NB pumps, however, are marketed as PN 16 because the pump housing is designed for 1.6 MPa (16 bar).

Inlet pressure

Minimum inlet pressure according to the NPSH curve plus a safety allowance of at least 0.5 m. The maximum inlet pressure is limited by the maximum operating pressure.

Test pressure

Before delivery, the pumps have been tested at 1.5 x maximum operating pressure: 2.5 MPa (25 bar).

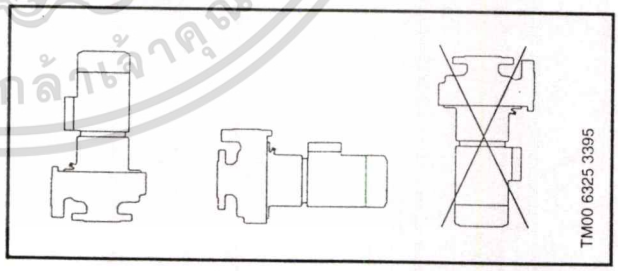
Test demands according to EN 733 are 1.3 x maximum operating pressure: 2.08 MPa (20.8 bar).

Test Liquid: Cold water.

Installation

If the pump has been installed with the terminal box pointing downwards, turn the motor to the required position.

The pump should never be installed with the motor pointing downwards.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technical data

Construction

Pump housing

Volute pump housing made of cast iron with axial suction port and radial discharge port. Flange connection dimensions are in accordance with EN 1092-2.

The bottom of the pump housing incorporates a drain plug.

The discharge port has a pressure gauge tapping.

Motor stool

The motor stool combines pump housing and motor and is provided with a manual air vent screw for the venting of the pump housing and the seal chamber. As seal between motor stool and pump housing, an O-ring is used.

Coupling guards are fitted in the centre part of the motor stool.

To remove the motor stool from the pump housing it is necessary to lever between the pump housing and the motor stool.

The motor flange sizes are as follows:

- Sizes up to MMG 132 IM B5, according to ISO 34-7.
- Size MMG 160 IM B3/B5, according to ISO 34-7.

Shaft

Stainless steel shaft of ø28 or ø38 mm.

The coupling end of the shaft is cylindrical and has two drilled holes for the shaft pin of the coupling.

Impeller

The impeller is made of cast iron (bronze optional) and is a closed impeller with double-curved blades with smooth surfaces. This ensures high efficiency.

All pumps are dynamically balanced and impellers are hydraulically balanced to compensate for axial thrust.

The direction of rotation of the impeller is clockwise when viewed from the motor fan.

If a certain duty point is required, pumps with reduced impeller diameter can be delivered on request.

Shaft seal

Unbalanced mechanical shaft seal with dimensions in accordance with DIN 24960. Seal faces of carbon/silicon carbide. The code of the standard version is BAQE.

The seal is not suitable for liquids containing abrasive particles as the carbon part will be worn down.

For shaft seals variants other than those specified in "Selection of pumps for various liquids" at page 7, contact Grundfos.

A brief liquid circulation during the start-up, by manually opening the air-vent screw in the motor stool, ensures a perfect lubrication and cooling of the shaft seal.

Coupling

A cylindrical hollow steel coupling secured by two hexagon socket head screws.

Motor

The motor is a totally enclosed, fan-cooled standard motor with main dimensions according to IEC and DIN standards. Grundfos MMG motors are used.

Electrical tolerances are in accordance with VDE 0530.

Mounting:

- Sizes up to MMG 132 IM B5, according to ISO 34-7.
- Size MMG 160 IM B3/B5, according to ISO 34-7.

Enclosure class: IP 55.

Insulation class: F according to IEC 85.

Maximum ambient temperature: +40°C.

The motor must be connected to a motor starter in accordance with local regulations.

Surface treatment

All stationary cast iron parts are dip-painted with water-based ether-epoxy no-lead painting. The thickness of the film is 25 µm ± 5 µm.

Finally the product is spray-painted with black water-based ether-epoxy no-lead painting. The thickness of the dry coating is 35 µm ± 5 µm.

Spare parts

Available spare parts kits.

1. Mechanical shaft seal complete
2. Casing gaskets
3. Impeller
4. Shaft

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ProMinent® alpha Motor Driven Diaphragm Dosing Pumps

Technical Data

pump type	Max. Pump Capacity at Maximum Back Pressure bar	l/h	Max. Pump Capacity at Medium Back Pressure bar	l/h	Stroke Frequency at Maximum Back Pressure strokes/min	Connector Sizes Outer Ø x Inner Ø mm	Suction Lift m WG	Intake Head m WG	Max. Permissible Priming Pressure bar	Shipping weight kg
50 Hz version	Antisedale Pump									
1001	10.0	1.2	5	1.3	30	8 x 5	6	2.5	10.0	3
1002	10.0	2.4	5	2.6	58	8 x 5	6	2.5	10.0	3
1003	10.0	3.5	5	3.8	88	8 x 5	6	2.5	10.0	3
0804	7.5	4.0	4	4.4	30	8 x 5	6	3.0	7.5	3
0808	7.5	8.0	4	8.5	58	8 x 5	6	3.0	7.5	3
0612	5.5	12.0	3	12.7	88	8 x 5	6	3.0	5.5	3
0419	4.0	16.5	2	18.0	128	8 x 5	6	3.0	4.0	3
60 Hz version										
1001	10.0	1.4	5	1.6	36	8 x 5	6	2.5	10.0	3
1002	10.0	2.9	5	3.2	69	8 x 5	6	2.5	10.0	3
1003	10.0	4.2	5	4.5	105	8 x 5	6	2.5	10.0	3
0804	7.5	5.0	4	5.4	36	8 x 5	6	3.0	7.5	3
0808	7.5	9.5	4	10.0	69	8 x 5	6	3.0	7.5	3
0612	5.5	14.0	3	15.2	105	8 x 5	6	3.0	5.5	3
0419	4.0	21.5	2	23.5	164	8 x 5	6	3.0	2.5	3

Materials in Contact With Chemicals

	Liquid End	Suction/Discharge Connector	Seals	Valve Balls	Patented Dearation
PP1	Polypropylene	Polypropylene	EPDM	ceramic	yes
PP2	Polypropylene	Polypropylene	FPM A (Viton® A)	ceramic	yes
PP3	Polypropylene	Polypropylene	FPM B (Viton® B)	ceramic	yes
NP3	Acrylic	PVC	FPM B (Viton® B)	ceramic	yes
NP6	Acrylic	PVC	FPM (Viton®)	ceramic	no

DEVELOPAN® dosing diaphragms with PTFE coating for all versions.

Viton® is a registered trademark of DuPont Dow Elastomers.

Included in delivery: dosing pump with 2 m mains cable and plug, connector set for hose/tube connection as indicated in tables.

Motor Data

Type:	Split pole motor with integrated thermal overload protection
Power supply:	220-240 V, 50/60 Hz (version A)
Power input:	50 W (at 230 V/50 Hz)
Power consumption:	0.4 A (at 230 V/50 Hz)

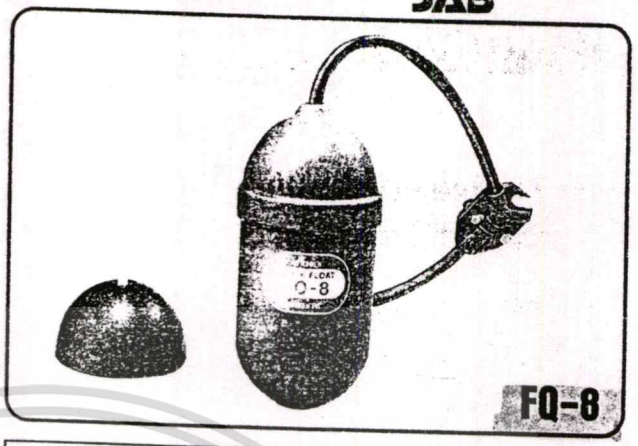
Guarantee: The warranties given under "General Commercial Terms and Conditions" apply. The alpha pump drive is, however, supplied with a 12 month warranty.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOHKEN สวิทช์ลูกลอยแบบ QUICK FLOAT

Model : FQ-8

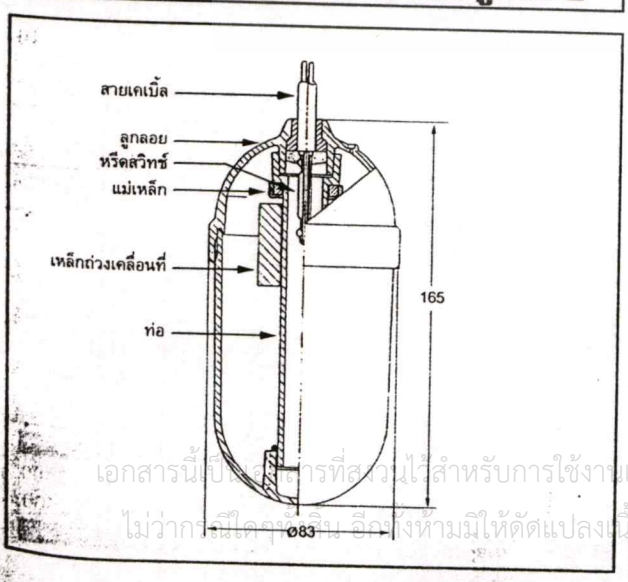
เหมาะอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้งาน ในบ่อระบายน้ำโสโครก, บ่อระบายน้ำ, ของเหลวที่มีความหนืดสูง, บ่อน้ำ, สระน้ำ, แท้งค์น้ำขนาดใหญ่ และอื่นๆ สวิทช์แบบนี้จะมีหรีดสวิทช์ทำการควบคุมระดับ ของของเหลวต่าง ๆ เช่น การระบายน้ำโสโครก การระบายน้ำเสียพวกของเหลวข้นๆ, ของเหลวที่มีลักษณะเหนียวหนืดสูงและอื่นๆ ใช้ลูกลอย FQ8 เพียงตัวเดียว ก็สามารถตรวจวัดได้ทั้งระดับสูงกว่า และต่ำกว่า ช่วงจำกัด โดยให้เป็นสัญญาณ ON หรือ OFF ยิ่งไปกว่านั้น ความลึกของการควบคุมสามารถปรับได้ตามสถานที่ที่จะใช้งาน



❑ คุณสมบัติ

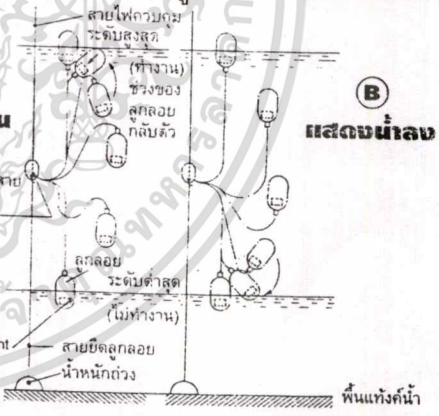
1. สามารถใช้ได้กับน้ำโสโครก ซึ่งเต็มไปด้วยสิ่งปฏิกูล และของเหลว ที่มีความเหนียวหนืดสูง โดยไม่มีปัญหา
2. เพียงลูกลอยตัวเดียว ก็สามารถควบคุมได้ทั้งระดับน้ำสูง และต่ำ
3. การหกคะเมนของลูกลอย หรือการกลับตัวของลูกลอย จะเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด ดังนั้นคอนแทคของหรีดสวิทช์จะทำงานทันทีโดยไม่สั่น
4. การควบคุมความลึกกระทำได้ง่ายตามสถานที่ที่ใช้งาน
5. แม้ว่าจะใช้ในของเหลวที่ไหลอยู่ ก็ไม่มีสัญญาณผิดปกติเกิดขึ้นได้ในระบบ
6. หน้าสัมผัสของหรีดสวิทช์ รับประกันได้ว่ามีอายุการใช้ที่ยาวนานมาก
7. ติดตั้งง่าย เพราะเพียงแต่ห้อยลงมาจากแท้งค์เท่านั้น

❑ ขนาดรูปร่างและโครงสร้างลูกลอย



❑ หลักการทำงาน

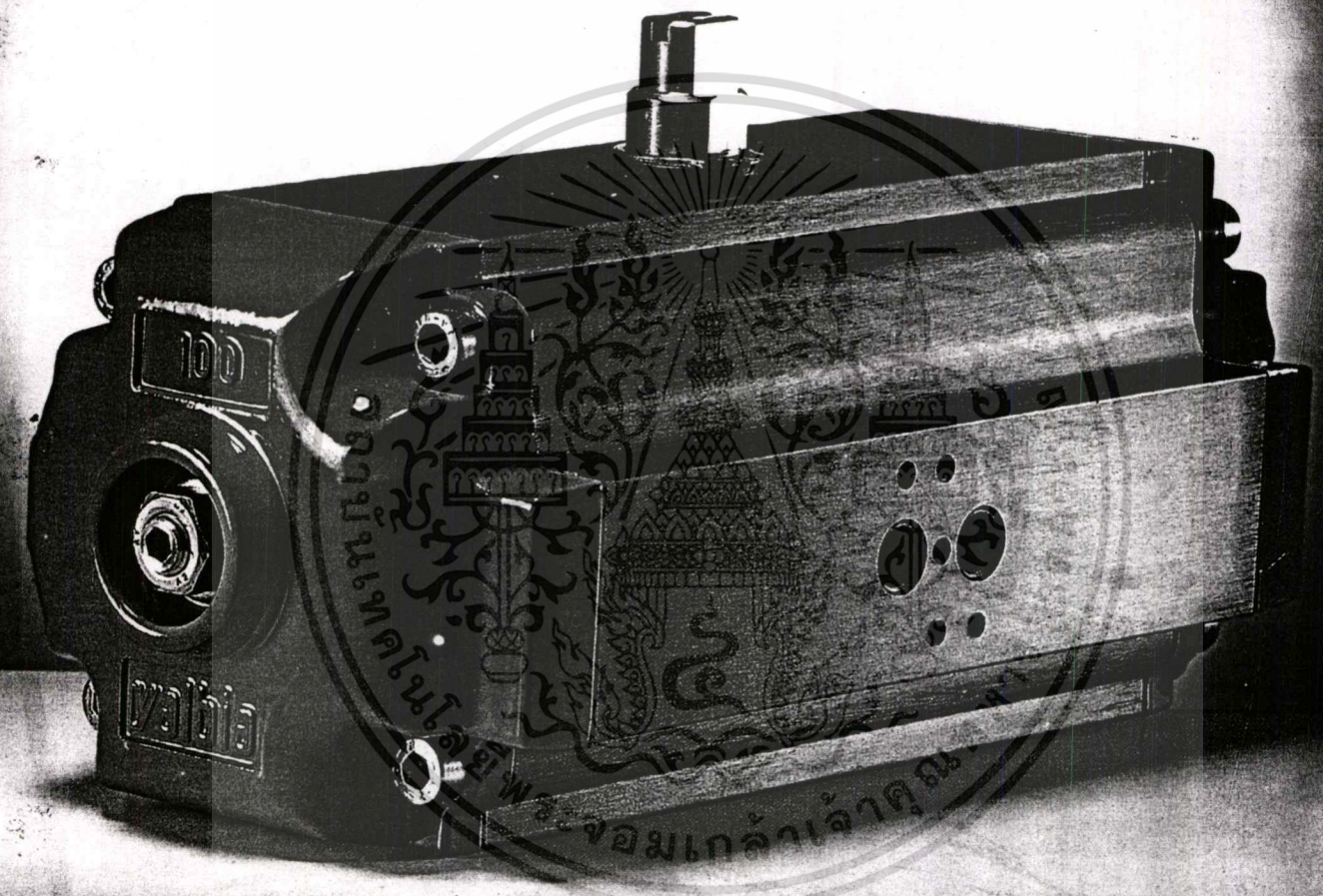
หลักของการเคลื่อนที่และการทำงานของลูกลอย ได้แสดง ไว้ทางด้านล่าง รูป A และ B สายเคเบิ้ลที่ห้อยแขวนลงมาจากบนแท้งค์ จะถูกยึดด้วยพลาสติกยึดสาย และจากพลาสติกยึดสายนี้จะมีเชือกที่ทำด้วยโพลีเอทธีลีน และตุ้มน้ำหนักขนาดใหญ่ ต่อลงมาวางไว้ที่ก้นถัง สายเคเบิ้ลที่เหลือสามารถเลื่อนขึ้นลงได้อย่างอิสระตามลูกลอย ความลึกของแท้งค์ที่สามารถควบคุมได้จะมีระยะเท่ากับ 2 เท่า ของความยาวสายเคเบิ้ลที่เหลือนั้น ภายในลูกลอยจะมีแท่งหรีดสวิทช์



1. การลอยตัวขึ้นของลูกลอย แสดงในรูป A ที่ระดับต่ำกว่าระดับจำกัด แม่เหล็กวงแหวนจะอยู่ทางส่วนล่างของลูกลอย เนื่องจากน้ำหนักของมันและหรีดสวิทช์จะถูกเซ็ทให้อยู่ตำแหน่ง OFF และเมื่อของเหลวเพิ่มขึ้นจนถึงระดับสูงสุด ลูกลอยจะถูกดึงโดยสายเคเบิ้ลของมันให้หันหัวคะเมนขึ้นบน โดยการเคลื่อนที่เช่นนี้ของลูกลอยจะทำให้แม่เหล็กตกลงมาส่วนล่างของลูกลอย (ตามน้ำหนักของมัน) อย่างทันทีทันใด และจะไปกระตุ้นให้หรีดสวิทช์ทำงานอยู่ในตำแหน่ง ON
2. การลอยตัวของลูกลอยตามรูป B ลูกลอยจะค่อยๆ ลอยตัวลงมา โดยหรีดสวิทช์ยังคงอยู่ในตำแหน่ง ON จนกระทั่งถึงระดับต่ำกว่าระดับช่วงจำกัดต่ำสุดของลูกลอย และจะหกคะเมนเอาหัวกลับลง โดยแม่เหล็กภายในลูกลอยจะตกลงมาทางส่วนล่างเช่นเคย และจะไปทำให้หรีดสวิทช์ทำงานกลับไปอยู่ตำแหน่ง OFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

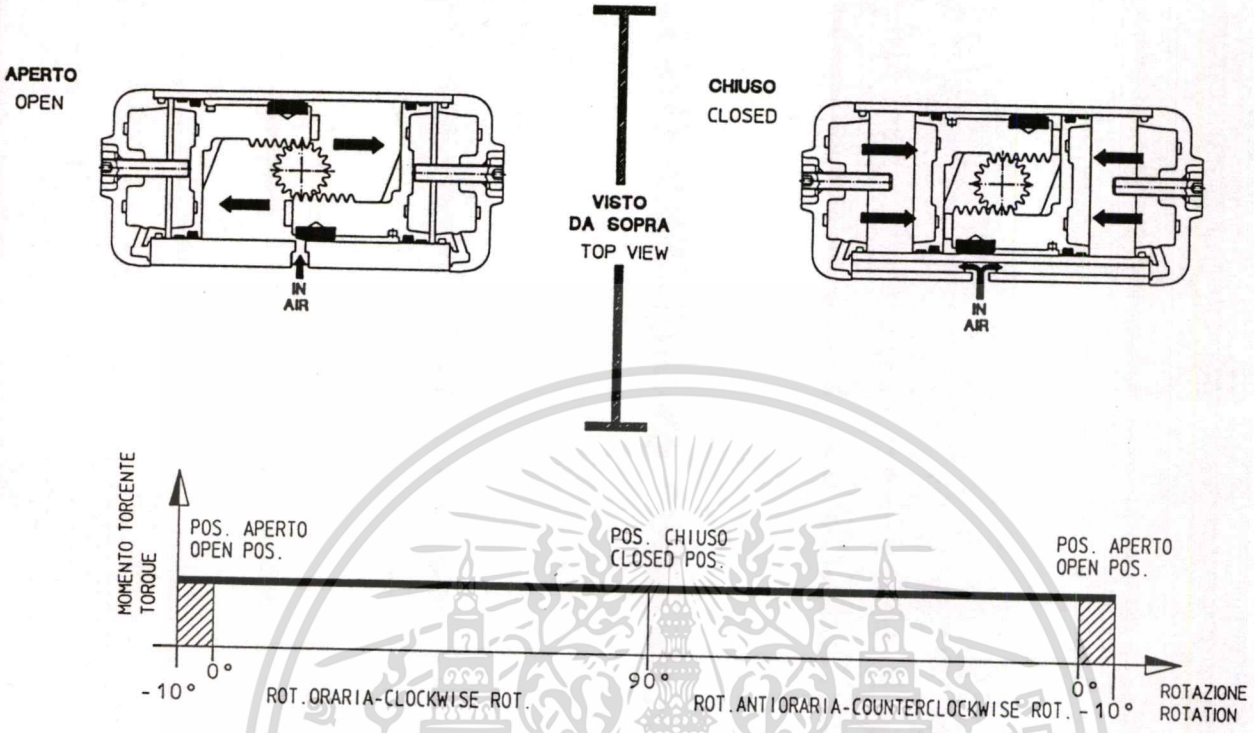
VALBIA



Reg.No. 13035
ISO 9001

PNEUMATIC ACTUATORS AND ACCESSORIES

ATTUATORE A DOPPIO EFFETTO
DOUBLE ACTING ACTUATOR



Dal Grafico riportato si può notare che la coppia di un attuatore a doppio effetto si mantiene costante lungo tutta la manovra. L'ulilizzatore potrà procedere alla scelta del modello idoneo alle proprie esigenze basandosi sulle seguenti indicazioni:

1. Verificare la coppia di spunto massima della valvola da automatizzare.
2. Aumentare del 25%-50% (dipende dal tipo di valvola e dalle condizioni di esercizio) il valore della coppia di spunto verificata, stabilendo così un coefficiente di sicurezza.
3. Ottenuto in questo modo il valore di coppia consigliato, si ricerca nella tabella dei momenti torcenti (in corrispondenza della pressione disponibile) un valore di coppia uguale o simile (comunque non inferiore) a quello ottenuto.
4. Trovato il valore basterà spostarsi in orizzontale verso sinistra nella colonna "modello" per avere la misura dell'attuatore adatto.

With reference to the above diagram it can be noted that the torque of a double acting actuator remains constant throughout the complete action.

The user can decide on which model to choose according to his/her own specific requirements, using the following guidelines:

1. Define the maximum torque of the valve to automate.
2. To obtain a safety factor increase the torque value chosen by 25%-50% (subject to the type of valve and working conditions).
3. Once the torque value suggested is obtained consult the torque chart and in relation to the corresponding air pressure find a torque value exact to or exceeding the one obtained.
4. Once the torque value is determined move horizontally to the column "model" to find the actuator model required.

PRESSIONE / PRESSURE bar — MODELLO / MODEL	TABELLA DEI MOMENTI TORCENTI / TORQUE OUTPUT Nm									
	2.5	3	4	5	5.5	6	7	8	9	10
DA 32	3.5	4.2	6	7.5	8	9	10	11.5	13	14.5
* DA 52	10	12	16	20	23	25	27	33	38	42
* DA 63	18	22	29	37	40	44	52	59	67	74
DA 75	25	31	41	51	56	61	72	82	92	102
DA 85	44	53	70	89	100	107	125	142	160	178
DA 100	70	84	113	140	158	169	197	226	254	282
DA 115	116	140	186	233	256	280	326	373	420	466
DA 125	165	198	264	330	370	397	463	529	596	662
DA 160	300	360	480	600	660	720	840	960	1080	1200
DA 200	562	675	900	1125	1237	1350	1575	1800	2025	2250
DA 270 *	1304	1565	2086	2608	2869	3130	3651	4173	/	/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* PRESSIONE DI ESERCIZIO MAX 8 bar
MAX AIR PRESSURE SUPPLY 8 bar

MOMENTO TORCENTE ATTUATORI SR
TORQUE SR ACTUATORS

MODELLO MODEL	SET	MOMENTO MOLLE SPRING TORQUE Nm 0 MMD	MOMENTO MOLLE SPRING TORQUE Nm 90 MMC
SR 52	01	4.5	6.9
	02	5.3	8.2
	03	6.3	9.6
	04	7.2	11
	05	9	14
SR 63	01	7.5	12
	02	8.2	13.8
	03	11.2	17.5
	04	11.8	19
	05	15.8	24.5
SR 75	01	10	18
	02	13	22
	03	14	25
	04	17	29
	05	21	36
SR 85	01	15.8	25
	02	17.5	28.7
	03	22.8	35.8
	04	24.5	39.5
	05	31.5	50
SR 100	01	26	44
	02	29	50.8
	03	37.8	62
	04	40.5	69
	05	53	88
SR 115	01	45	66
	02	53	75
	03	64	94
	04	72	103
	05	91	132
SR 125	01	56	93.7
	02	62.5	106
	03	81	134.5
	04	87.5	146.7
	05	112	187
SR 160	01	100	152
	02	147	225
	03	173	264
	04	200	321
	05	252	376
	06	300	473
SR 200	01	174	245
	02	247	356
	03	298	424
	04	353	531
	05	421	602
	06	527	776
SR 270	01	505	788
	02	606	946
	03	707	1103
	04	808	1261
	05	909	1418
	06	1010	1576
	07	1111	1733

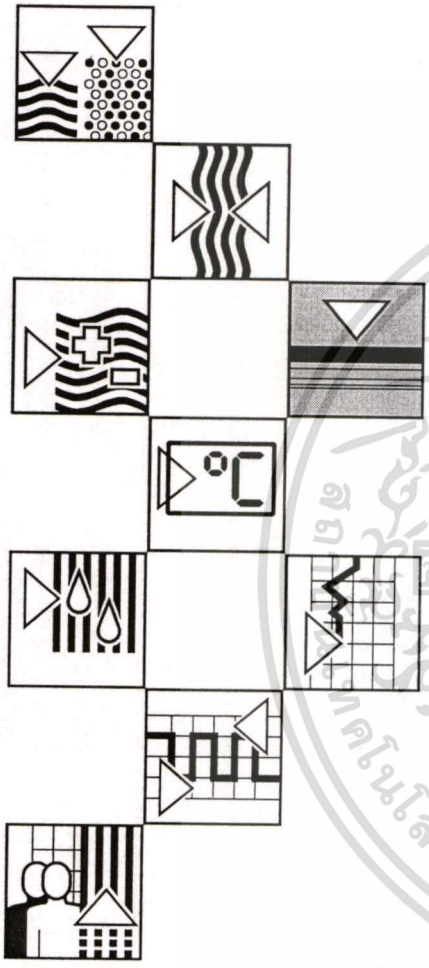
PRESSIONE DI ALIMENTAZIONE / AIR SUPPLY PRESSURE bar															
2.5		3		4		5		5.5		6		7			
MOMENTO TORCENTE ATTUATORI A SEMPLICE EFFETTO TORQUE SPRING RETURN ACTUATORS Nm															
0 MAD	90 MAC	0 MAD	90 MAC	0 MAD	90 MAC	0 MAD	90 MAC	0 MAD	90 MAC	0 MAD	90 MAC	0 MAD	90 MAC		
5.7	3.2	7.9	5.5	12	9.5										
		7	4	11.5	8.5	15.5	12.7								
		6	2	10.5	6.5	14	10.8	16.2	12.8						
				8.8	5	13	9.5	15.3	11.5	17.5	13.5				
						11.3	6.5	13.5	8.7	15.7	10.2	20	14		
10.3	5.7	14	9.5	21,5	16.7										
		13.5	8	21	15.7	28.5	23								
		10.5	3.3	18.3	10.8	24.5	18.5	28.5	22						
				16.3	9	24	16.8	28	20.5	32	24.5				
						20	11.5	24	15.5	28	18	35	25		
14	6	19	11	29	20										
		16	7	27	17	36	26								
		15	4	25	14	35	24								
				22	10	32	20	37	25						
						28	13	33	18	38	23	48	33		
22	12.5	30	20	45	35										
		27.8	16	43.5	31.5	59	46.5								
		22.5	9	38	24.5	53.7	40	61.5	48						
				36	20.5	51.5	36	59.5	43.8	67	51				
						44	24.8	52	32.7	60	40.5	75	55		
41.5	23.7	55.2	37.5	82.5	63.7										
		50.8	29	78.5	56.8	105.7	83.5								
		42	16.5	70	44.5	97.5	72.2	112	86						
				66.8	38.2	94.5	66	108.5	80	122.5	93.5				
						82.8	46	96.7	60	110.5	74	138.5	100		
67	44	90	68												
59	34	82	58	129	104										
		69	36	116	83	163	130								
				108	73	154	120	178	143	201	166	248	213		
				87	42	134	88	157	112	180	135	227	182		
101	61.5	133.7	94.5	194.5	154.2										
		126.5	79	192	145	255.5	207.5								
		106.7	48.8	172	115.5	237	181	269	212						
				164.8	100	230	166	262.5	199	294.7	231				
						201	122	234	155	267	181	330	248		
186	126	245	188												
		198	116	317	234										
		170	74	290	193	407	311								
				260	136	378	255	437	312						
						330	191	388	251	447	310				
								335	161	395	220	512	332		
362	270	472	387												
		398	273	621	498										
		344	192	568	425	789	649								
				510	317	731	541	842	651						
						655	447	767	562	878	675				
								662	396	777	510	994	721		
834	545	1109	819	1658	1368										
726	379	1001	654	1550	1203										
619	214	893	488	1442	1037	1991	1586								
511	48	785	323	1334	872	1884	1421	2158	1695						
		678	157	1227	706	1776	1255	2050	1530	2325	1804				
				1119	540	1668	1090	1943	1364	2217	1639				

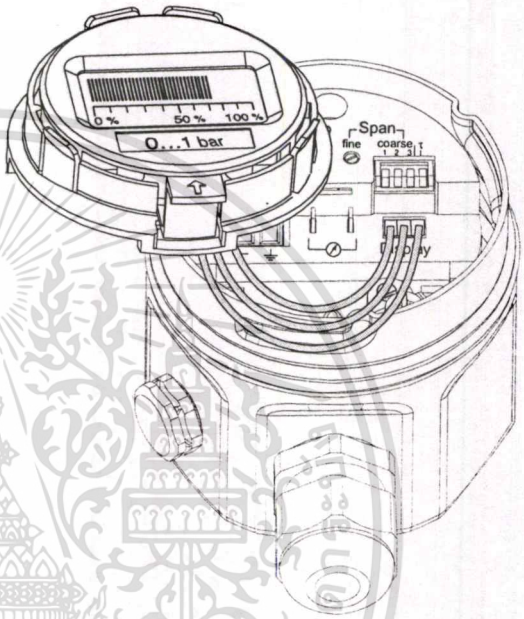
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BA 200P/00/en/04.99
Software version 1.0
52002512

cerabar M
Pressure Transmitter

Operating instructions
Cerabar M with analogue electronics





Endress+Hauser

Nothing beats know-how

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 Installation

Contents

This section describes:
- the mechanical installation of Cerabar M with and without diaphragm seal,
- the electrical connection.

2.1 Mounting instructions without diaphragm seal

Cerabar M without diaphragm seal
- PMC 41, 45
- PMP 41, 45

The Cerabar M without diaphragm seal is mounted in the same way as a manometer. The use of shut-off valves and pigtails is recommended. The position depends upon the application.

- Measurement in gases:
  Mount on the shut-off valve above the tapping point so that condensate can run back into the process.

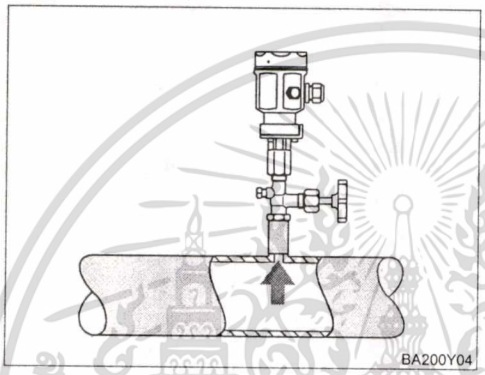
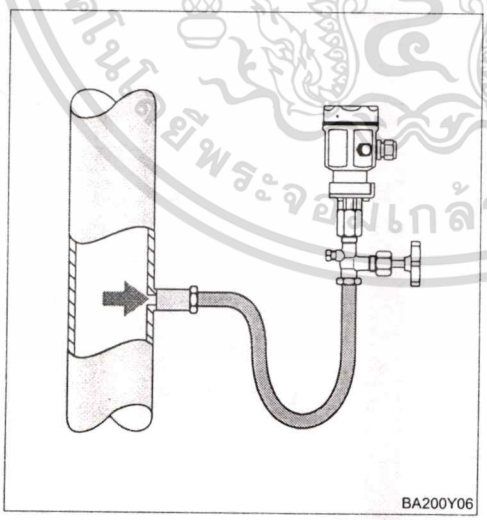


Figure 2.1
Mounting on a shut-off valve for measuring gases

- Measurement in steam:
  Mount with a pigtail above the tapping point.
  The pigtail reduces the temperature in front of the diaphragm to almost ambient temperature. Before start-up, the pigtail must be filled with water.



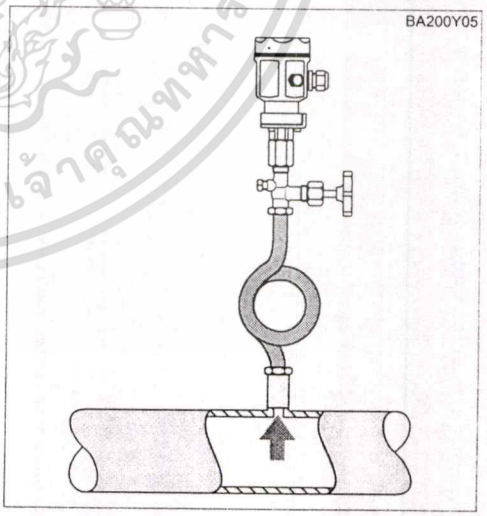


Figure 2.2
Left:
Mounting with a U-shaped pigtail for measuring steam
Right:
Mounting with a circular pigtail for measuring steam

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 Technical Data

General information

Manufacturer	Endress+Hauser
Instrument	Pressure transmitter
Designation	PMC 41, PMP 41, PMC 45, PMP 45, PMP 46, PMP 48
Technical documentation Version Technical data	BA 200P/00/en 04.99 according to DIN 19 259

Application

Measurement of absolute and gauge pressure in gases, vapours, liquids

Operation and system design

Measuring principle

PMC 41, PMC 45 with ceramic sensor	The pressure causes a slight deflection of the ceramic diaphragm of the sensor. The change in the capacitance is proportional to the pressure and is measured by the electrodes of the ceramic sensor. Volume of chamber: approx. 2 mm^3 (0.078 in^3)
PMP 41, PMP 45, PMP 46, PMP 48 with metal sensor	The process pressure acting on the metallic separating diaphragm of the sensor is transmitted via a filling fluid to a resistance bridge. The change in the output voltage of the bridge is proportional to the pressure and is then measured. Volume of chamber: smaller than 1 mm^3 (0.039 in^3)
Measuring system	– Cerabar M and power supply e.g. via RN 221 transmitter power pack – Calibration via potentiometers for zero point and span – Plug-in analogue display for showing measured values
Construction	Standard SS housing, for process connections see page 25
Signal transmission	4...20 mA, 2-wire

Input

Measured variables	Absolute or gauge pressure

Measuring ranges

PMC 41, PMC 45				PMP 41, PMP 45, PMP 46, PMP 48			
Type of pressure	Measurement limits	Min. span (TD 10:1)	Overload	Type of pressure	Measurement limits	Min. span (TD 10:1)	Overload
	bar	bar	bar		bar	bar	bar
gauge	0...0.1	0.01	4	gauge	0...1	0.1	4
gauge	0...0.4	0.04	7	gauge	0...4	0.4	16
gauge	0...1	0.1	10	gauge	0...10	1	40
gauge	0...4	0.4	25	gauge	0...40	4	160
gauge	0...10	1	40	gauge	0...100	10	400
gauge	0...40	4	60	gauge	0...400	40	600
gauge	–0.1...0.1	0.02	4	gauge	–1...+1	0.2	4
gauge	–0.4...0.4	0.08	7	gauge	–1...+4	0.5	16
gauge	–1...+1	0.2	10	gauge	–1...+10	1.0	40
gauge	–1...+4	0.5	25				
gauge	–1...+10	1.0	40				
absolute	0...0.4	0.04	7	absolute	0...1	0.1	4
absolute	0...1	0.1	10	absolute	0...4	0.4	16
absolute	0...4	0.4	25	absolute	0...10	1	40
absolute	0...10	1	40	absolute	0...40	4	160
absolute	0...40	4	60	absolute	0...100	10	400
				absolute	0...400	40	600

Conversion factors

1 bar = 14.5 psi
1 psi = 0.069 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Resistance to low pressures	PMC PMP	for sensors with nominal values 0.1 bar: to 0.7 $bar_{absolute}$; for all other sensors: to 0 $bar_{absolute}$ to 10 $mbar_{absolute}$
Calibration range (turndown)		via DIP switches to TD 10:1
Zero point increase and decrease		±10 % of cell measuring range

Output

Output signal		Analogue signal 4...20 mA
Signal on alarm	Signal overrun (>20.5 mA) Signal underrun (<3.6 mA)	Bargraph and scale on the display flash Scale flashes
Integration time		Depending on switch position: off: 0 s; on: 2 s

Accuracy

Reference conditions	DIN IEC 770 T_U=25°C (+77°F)
Linearity including hysteresis and reproducibility (based on the limit point method to DIN IEC 770)	PMC: ±0.2 % of set span PMP: ±0.3 % of set span
Linearity at low absolute pressure ranges (due to performance limits of currently available DKD calibration rigs)	Absolute: for ≥40 mbar to <100 mbar: ±0.3 % of set span
Warm-up time	200 ms
Rise time	60 ms
Response time	180 ms
Long-term drift	0.1 % (FS) per year
Thermal effects with reference to the set span TD = nominal value/set span	for –10...+60°C (+14...+140°F): ±(0.3% x TD+0.3%) for –40...–10°C (–40...+14°F); +60...+85°C (+140...+185°F): ±(0.5% x TD+0.5%)
Temperature coefficient (maximum TK) (But not exceeding the error due to thermal effects.)	for zero signal and span: for –10°C...+60°C (+14°F...+140°F): ±0.15% of nominal value/10 K for –40°C...–10°C (–40°F...+14°F); +60°C...+85°C (+140°F...+185°F): ±0.2% of nominal value/10 K
Vibration effects	None (4 mm in path peak-to-peak 5...15 Hz, 2 g: 15...150 Hz, 1g: 150 Hz...2000 Hz)

Process conditions

Mounting conditions	Any position

Ambient conditions

Ambient temperature	–40...+85°C (–40...+185°F)
Ambient temperature range (short-term)	–40...+100°C (–40...+257°F)
Storage temperature	–40...+85°C (–40...+185°F)
Climatic class	4K4H to DIN EN 60721-3
Protection	IP 66/Nema 4x with cable gland IP 68 (1 m water over 24 h) or Nema 6P (1.8 m water over 30 min.) with assembled cable with reference air feed
Electromagnetic compatibility	Interference emission to EN 50081-1, Interference immunity to EN 50082-2 and NAMUR NE 21: influence < 0.5%

Process conditions

Process temperature	PMC/PMP 41: –40...+85°C (–40...+185°F) PMC/PMP 45: –40...+125°C (–40...+257°F) PMP 46/48: –40...+85°C (–40...+185°F)
Process temperature range	Cleaning temperature for Cerabar M flush-mounted +150°C (+302°F) up to 60 minutes, diaphragm seal with temperature spacer and high-temperature oil max. 350°C (+662°F)
Process pressure	corresponds to permissible overload

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mechanical construction

Design

Housing	– Type F 15 Optional electrical connection via – cable gland M 20x1.5 – cable entry Pg 13.5, G ½, ½ NPT – Harting plug, M 12x1 plug – assembled cable with reference air feed
Process connections	All common thread versions, flush-mounted connections and diaphragm seals

Materials

Housing	– SS 1.4301 (SS 304) – Housing cover gasket: silicone
Nameplate	Engraved on housing with laser
Process connections PMP 41 PMC 41 PMP 45, PMC 45, PMP 46, PMP 48	– 1.4435 (SS 316L), adapter 1.4435 (SS 316L) – 1.4435 (SS 316L), Hastelloy 2.4819 (C 276) – 1.4435 (SS 316L)
Process diaphragm PMC 41, PMC 45 PMP 41, PMP 45, PMP 46 PMP 48	– Al_2O_3 aluminium oxide ceramic – 1.4435 (SS 316L) – 1.4435 (SS 316L), Hastelloy 2.4819 (C 276), tantalum, PTFE film on 1.4435 (SS 316L)
Seals	FPM Viton, FPM Viton grease-free, FPM Viton oil and grease-free for oxygen, EPDM, Kalrez, NBR, DVGW version with NBR seal
Mounting accessories	Bracket for pipe and wall mounting 1.4301 (SS 304)
Filling fluid in diaphragm seals	Silicone oil, vegetable oil, glycerine, high-temperature oil, FLUOROLOBE grease-free for oxygen

Gasket		Lower temperature limit
1	FPM, Viton	–20°C (–4°F)
6	FPM, Viton grease-free	–10°C (+14°F)
A	FPM, Viton oil and grease-free for oxygen	–10°C...+60°C (+14°F... +140°F)
8	NBR (DVGW)	–20°C...+80°C (–4°F...+176°F)
2	NBR	–20°C (–4°F)
7	FFKM, Kalrez Compound 4079	+5°C (+41°F)
4	EPDM	–40°C (–40°F)

Measuring cell

Filling fluid PMC 41, PMC 45 PMP 41, PMP 45, PMP 46, PMP 48	– None, dry cell sensor – optional silicone oil or inert oil (Voltalef) for oxygen

Display and operating interface

Display	Plug-in display with bargraph of pressure (30 segments)
Operation	– Calibration of zero point and span via two potentiometers and DIP switches on the instrument – Calibrating the damping via DIP switches on the instrument

Power supply

Power supply	11.5...45 V_{DC}
Overvoltage category	II to DIN EN 61 010-1
Ripple	No effect for 4...20 mA signal up to ±5 % residual ripple within permissible voltage range

Certificates and approvals

Ignition protection	see "Safety Instructions" page 4
CE Mark	By attaching the CE Mark, Endress+Hauser confirms that the instrument fulfils all the requirements of the relevant EC directives.

Supplementary documentation

Cerabar M System Information: SI 038P/00/en
Cerabar M pressure transmitter Technical Information: TI 321P/00/en
Cerabar M with diaphragm seal Technical Information: TI 322P/00/de
Cerabar M analogue electronics operating instructions: BA 201P/00/en

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+GF+ SIGNET 5800CR Conductivity/Resistivity Monitor

atures

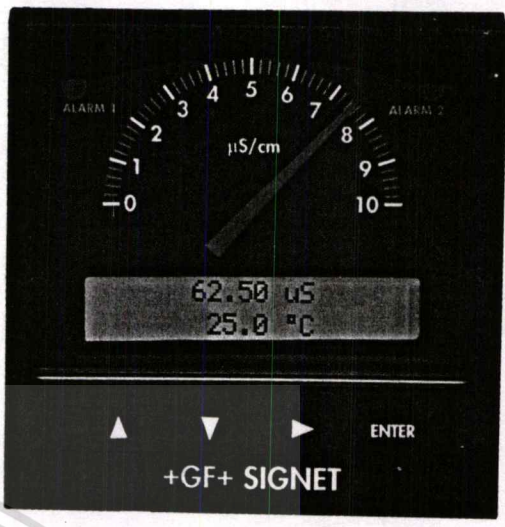
- Backlit LCD
- Wide operating range
- Programmable temperature compensation and TDS conversion factors
- Temperature display in °C or °F
- Display units: µS, mS, kΩ, MΩ, ppm (TDS)

plications

- Industrial process monitor
- Demineralizer regeneration and rinse
- Rinse tanks
- Cooling towers
- Reverse osmosis
- Boiler protection
- Chemical concentration

Description

Wide range and ease of use allow keypad configuration of the +GF+ SIGNET 5800CR Conductivity/Resistivity monitor to your process requirement. Automatic (and programmable) temperature compensation ensures accuracy. The vibration resistant air-core meter offers excellent visibility, coupled with the accuracy of a backlit liquid crystal display.



Compatibility

2800 Series Conductivity Sensors

Technical Data

Operating Range:	Conductance: 0.055 to 400,000 µS Resistance: 10 kΩ to 18.3 MΩ (0.055 to 0.1 µS) must be performed in solution temperatures from 20 to 100°C Temperature: PT-1000; 32 to 212°F
Power Requirements:	12 to 24 VAC or 12 to 24 VDC, unregulated, 50-60 Hz, 10 W Max.
Display:	Analog: Slide-in dials 0 to 2, 4, 6, 8, 10, or 100 Digital: Backlit 2X16 character alphanumeric LCD
Current Output:	4 to 20 mA, non-isolated, internally powered Loop impedance: 350Ω max. @ 12VDC, 950Ω max. @ 24VDC Accuracy: ±0.1%
Alarm Contacts:	Two SPDT relays: 5A @ 30 VDC, 5A @ 125 VAC, or 3A @ 250 VAC max. Hi/Lo programmable with adjustable hysteresis
Temperature Comp.:	Programmable 0 to 10%/°C
TDS Conversion Factor:	Programmable 0.00 to 3.00 µS/ppm (default 2.00)
Operating Conditions:	Operating temperature: 14 to 131°F Relative humidity: 0 to 95%, non-condensing
Accuracy:	±2% of reading
Materials:	Enclosure: ABS plastic, NEMA 4X/IP65 Keypad: Silicone rubber Panel and case gasket: Neoprene Window: Hard-coated polycarbonate
Immunity:	EN50082-1
Emissions:	EN55011
Safety:	EN61010-1
Quality Standards:	CE, CSA, UL

Ordering Information

	Part No.	Description
Basic Unit:	3-5800CR	5800CR Conductivity/Resistivity Monitor Reversible dial face kit included (0 to 2, 4, 6, 8, 10 and 100)
Accessories:	3-5000.395	Splashproof Back Cover Kit
	3-5000.598	Mounting Bracket
	3-5000.399	Retrofit Adapter Kit
	3-9000.392	Liquid Tight Connector Kit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+GF+ SIGNET 2819/2820/2821 Conductivity Sensors

Features

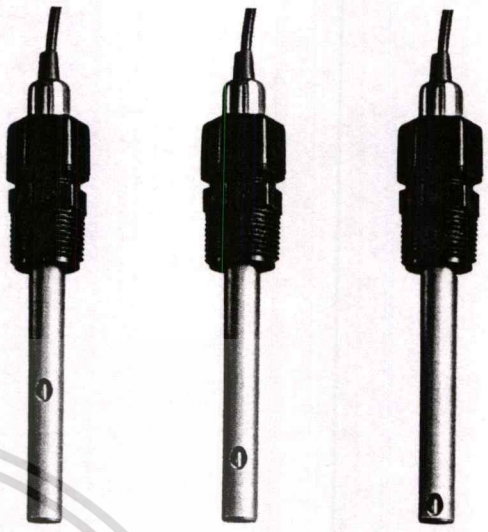
- Controlled surface finish
- Reversible 3/4 in. NPT process connection for in-line and tank usage
- Easy to install
- Integral PT-1000, Platinum RTD

Applications

- Water and wastewater treatment systems
- Industrial processes
- Plating
- Rinse tanks
- Heat exchanger leak detection
- Chemical concentration
- R.O. and D.I. processes
- Dual containment leak detection

Description

The +GF+ SIGNET 2819/2820/2821 Conductivity Sensors offer high performance and reliability. Controlled surface finish and integral temperature compensation devices ensure accurate conductivity measurement. Available in three cell constants, these sensors offer a measurement range from .055 to 10,000 µS when used with +GF+ SIGNET conductivity instrumentation.



Compatibility

5800CR Conductivity/Resistivity Monitor
9050CR Conductivity/Resistivity Controller

Technical Data

Operating Range:	0.01 Cell: 10 K Ω to 18.3 M Ω (0.055 to 100 µS) (max. recommended cable length 25 ft. in range from 10 M Ω to 18.3M Ω) 0.1 Cell: 1 to 1,000 µS 1.0 Cell: 10 to 10,000 µS
Temperature:	212 °F max. (opt. 316 SS fitting: 3-2820.392; 248 °F)
Pressure:	100 psi max. (opt. 316 SS fitting: 3-2820.392; 200 psi)
Pipe Size Range:	3/4 in. and larger
Materials:	Body: 316 Stainless Steel Insulator: Teflon® O-rings: EPR Fitting: 3/4 in. MNPT Polypropylene (reversible for submersion) Optional: 1/2 in. MNPT 316 Stainless Steel: 3-2820.392 Cable type: 3 conductor, foil shield, w/drain wire Cable length: 15 ft. (100 ft. max.)

Ordering Information

Part No.	Cell Constant	Temp. Comp.	Range (µS)
3-2819-1	Cond. Cell K=0.01	PT-1000	0.055 to 100 µS (10KΩ -18.3MΩ)
3-2820-1	Cond. Cell K=0.1	PT-1000	1 to 1000 µS
3-2821-1	Cond. Cell K=1.0	PT-1000	10 to 10,000 µS

Accessories	Description
3-2820.392	Optional 0.5 in. NPT Fitting, 316 SS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+GF+ SIGNET 5500 Flow Monitor

Features

- Analog visibility and digital accuracy
- Backlit LCD display
- Simple push-button operation
- Independently calibrated flow and totalizer displays
- Two 8-digit totalizers
- Programmable alarms
- Scaleable 4 to 20 mA

Applications

- Effluent monitoring
- Pump protection
- Pump sequencing
- Filtration systems
- Proportional addition (w/4-20 mA output)
- High flow alarm
- Low alarm for heating/cooling flows

Description

The +GF+ SIGNET 5500 Flow Monitor is a feature-packed monitor covering a wide range of applications. Dual totalizers are calibrated independently of the digital analog flow rate. Expand the communication range of the system by connecting peripheral equipment to the isolated frequency out, the alarm contact outputs, or the 4-20 mA current output. Packaged in a slim-line housing with NEMA 4X shatter-resistant front panel, the 5500 is the most sophisticated analog monitor available.

Compatibility

All +GF+ SIGNET Flow Sensors

Technical Data

Operating Range:	0.5 Hz to 10kHz, optically isolated
Power Requirements:	12 to 24 VAC or 12 to 24 VDC, unregulated, 50-60 Hz, 10W max.
Display:	Analog: Slide-in Dials 0-2, 4, 6, 8, 10 or 100 Digital: Backlit 2X16 character alphanumeric LCD
Current Output:	4 to 20 mA, non-isolated, internally powered Loop impedance: 350Ω max. @ 12V, 950Ω max. @ 24V Accuracy: ±0.1% Update rate: 100 msec.
Alarm Contacts:	Two SPDT relays: 5A @ 30 VDC, 5A @ 125 VAC, or 3A @ 250 VAC max. Hi/Lo programmable with adjustable hysteresis
Additional Functions:	Sensor Pulse, Count pulse, Remote totalizer reset
Operating Conditions:	Operating temperature: 14 to 131°F Relative humidity: 0 to 95%, non-condensing
Accuracy:	±0.5% of reading
Materials:	Enclosure: ABS Plastic, NEMA 4X/IP65 Keypad: Silicone rubber Panel and case gasket: Neoprene Window: Hard-coated polycarbonate
Immunity:	EN50082-2
Emissions:	EN55011
Safety:	EN61010-1
Quality Standards:	CE, CSA, UL

Ordering Information

	Part No.	Description
Basic Unit:	3-5500	5500 Flow Monitor
	Reversible dial face kit included (0-2, 4, 6, 8,10 and 100)	
Accessories:	3-5000.395	Splashproof Back Cover Kit
	3-5000.598	Mounting Bracket
	3-5000.399	Retrofit Adapter Kit
	3-9000.392	Liquid Tight Connector Kit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+GF+ SIGNET 515 Rotor-X Flow Sensor

Features

- Simple installation
- Minimal maintenance
- Rugged construction
- No pressure drop
- Variety of material options
- Reliable operation/ performance

Applications

- Water and wastewater
- Pure water production
- Power generation and distribution
- Metal finishing
- Feed water
- Process flows

Description

Constructing a flow monitoring or controlling system is simple with the +GF+ SIGNET 515 Rotor-X Flow Sensor. Combine the 515 with a +GF+ SIGNET installation fitting and flow meter or controller, and have an operational flow monitoring system in minutes. Available in a choice of chemically resistant housing materials, the 515 stands up to many industrial processes. For processes containing pure water or acids and solvents, the PVDF version combined with a PVDF +GF+ SIGNET fitting, provides protection from possible fluid product contamination.

Compatibility

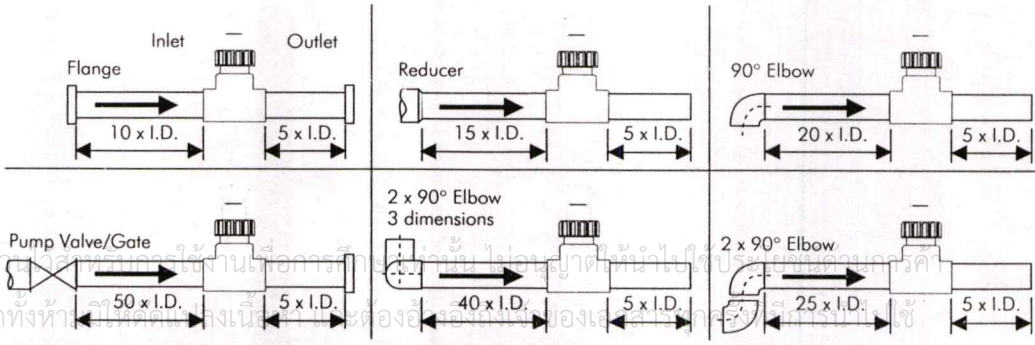
5090, 5100, 5500 Flow Monitors
5600 Batch Controller
8512 Flow Transmitter
8540 Pump Pulser
9010 Flow Controller

Technical Data

Output Signal:	1V p-p per ft/s nominal
Output Frequency:	6 Hz per ft/s nominal
Operating Range:	1 to 20 ft/s
Pressure/Temperature:	PP sensor body: 180 psi @ 68°F, 25 psi @ 185°F PVDF sensor body: 200 psi @ 68°F, 25 psi @ 185°F
Power Requirements:	none
Pipe Size Range:	0.5 to 36 in.
Repeatability:	±0.5% of full scale
Linearity:	1% of full range
Materials:	Refer to ordering info. for material options available. O-rings: Viton® Cable type: twisted pair, foil shield with drain wire Cable length: 25 ft. (200 ft. max.)
Quality Standards:	CE, FM (Class I, II, III/Div. 1/Groups A-G)

Installation

For maximum linearity and accuracy, the sensor should be located in a straight run o pipe upstream and downstream of the sensor. Major obstructions such as pumps or throttled valves will require longer straight runs.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+GF+ SIGNET 8300 Temperature Transmitter

Features

- Integral design includes sensor
- Chemically resistant polypropylene wetted materials
- Optional °C temperature display

Applications

- Effluent monitor
- Plastic piping systems
- Desalination
- Reverse osmosis systems
- Chemical process
- HVAC

Description

The +GF+ SIGNET 8300 Temperature Transmitter utilizes a solid state sensor that ensures high accuracy. It has a chemically resistant NEMA 4X enclosure, and no wetted metallic parts for increased durability and longer life. The two-wire 4 to 20 mA output is adjustable to any 20°C span from 0 to 90°C. The corrosion resistant plastic sensor uses standard +GF+ SIGNET installation fittings.

Compatibility

5091 Current Monitor

Technical Data

Loop Power:	10 to 30 VDC
Loop Impedance:	1Ω @ 10 VDC, 100Ω @ 12 VDC, 1000Ω @ 30 VDC
Electronics Operating Temp.:	5 to 122 °F
Sensor Operating Range:	Temperature: 0 to 90°C Pressure: 180 psi @ 20°C, 25 psi @ 90 °C max.
Current Output:	4 to 20 mA, 2-wire signal (Min. span 20 ° C) Optional display: 0 to 90 °C Response time: 5 sec. for 63% of change Accuracy: ±1°C
Relative Humidity:	0 to 95%, non-condensing
Materials:	Enclosure: Glass-filled Polypropylene, NEMA 4X/IP65 Enclosure seal: Viton® Window: Polycarbonate

Ordering Information

Part No.	Description	Sensor Material
3-8300.103	Temperature Transmitter 0.5 in. NPT Ports	Polypropylene
3-8300.103-D	Temperature Transmitter PG-13.5 DIN Ports	Polypropylene

Accessories

3-8020.390	Optional 2-1/2 digit LCD Kit (factory installation recommended)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

มาตรฐานน้ำที่ผลิตได้จากระบบออสโมซิสย้อนกลับ

มาตรฐานน้ำที่ผลิตได้จากระบบออสโมซิสย้อนกลับสำหรับอุตสาหกรรมน้ำอัดลม			
สาร/ดรรชนีในน้ำ	หน่วย	น้ำดิบ	น้ำบริสุทธิ์
Total Dissolve Solids	mg/l	1000	<250
Electrical Conductivity	us/cm	1337	<333.33
Water Flow Rate	m3/hr	54	35
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 °C		8.0	7.0-8.0
Color		Very Pale Green	<5
Normalize Permeate Flow (PF)	m^3/hr	-	>30
Normalize Permeate TDS (PT)	mg/l	-	<250

* ในการทดลองนี้อ้างอิงถึงค่ามาตรฐาน PF,PT ตามตารางดังนี้ โดยค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นๆน่าจะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ แต่อย่างไรก็ตามถ้าต้องการความถูกต้องมากขึ้นควรนำน้ำที่ผลิตได้นี้ไปทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานน้ำที่ผลิตได้จากระบบออสโมซิสย้อนกลับสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์			
สาร/ดรรชนีในน้ำ	หน่วย	น้ำดิบ	น้ำบริสุทธิ์
Total Dissolve Solids	mg/l	560	<30
Electrical Conductivity	us/cm	750	<40
Water Flow Rate	m^3/hr	8	6
Total Hardness	ppm as $CaCO_3$	112	<0.1
Chloride	mg/l	24.1	<5.3
Total Iron	mg/l	0.02	nil
pH at 28 °C		8.0	5.5-6.5
Normalize Permeate Flow	m^3/hr	-	>5.5
Normalize Permeate TDS	mg/l	-	<100

มาตรฐานน้ำที่ผลิตได้จากระบบออสโมซิสย้อนกลับสำหรับอุตสาหกรรมกระดาษ			
สาร/ดรรชนีในน้ำ	หน่วย	น้ำดิบ	น้ำบริสุทธิ์
Total Dissolve Solids	mg/l	128	<15
Electrical Conductivity	us/cm	170	<20
Water Flow Rate	m^3/hr	17	12
Total Hardness	ppm as $CaCO_3$	nil	nil
Chloride	mg/l	9	<3
Total Iron	mg/l	0.06	< 0.01
pH at 28 °C		7.6	6-7
Normalize Permeate Flow	m^3/hr	-	>10
Normalize Permeate TDS	mg/l	-	<50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

คำจำกัดความของหน่วยพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบออสโมซิสย้อนกลับ

คำจำกัดความของหน่วยพารามิเตอร์	
S	วินาที
atm	แรงดันบรรยากาศ
JTU	หน่วยวัดความขุ่นของน้ำ
ppb	percent per billion
ppm	percent per million
psi	หน่วยวัดความดัน ปอนด์/ตารางนิ้ว
moles	หน่วยน้ำหนักโมเลกุล
MPN	หน่วยนับแบคทีเรีย
MegaOhm	หน่วยความต้านทานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความวิจัยซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการดังต่อไปนี้

[1]. V.Tipsuwanporn, J.Anotaiadikoon, S.Gulpanich, V.Krongratana and T.Suesut, "Automation Cleaning Reverse Osmosis System based on Computer Analize." , Proceeding of the International symposium on Design, Operation and Control of Chemical Processes. (PSE Asia 2002) Taiwan, December 2002.

[2]. V.Tipsuwanporn, J.Anotaiadikoon, S.Gulpanich, V.Krongratana and K.Witheephanich, "Automation Reverse Osmosis System using Computer Analyze.", Conference on Electrical and Computer Engineering toward a Caring and Humane Technology. (IEEE Canada, CCECE 2003) Canada, May 2003.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCEEDINGS

PSE Asia 2002

International Symposium on
Design, Operation and Control of
Chemical Processes

PSE Asia 2002

December 4 – 6, 2002

Civil Service Development Institute

Taipei

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

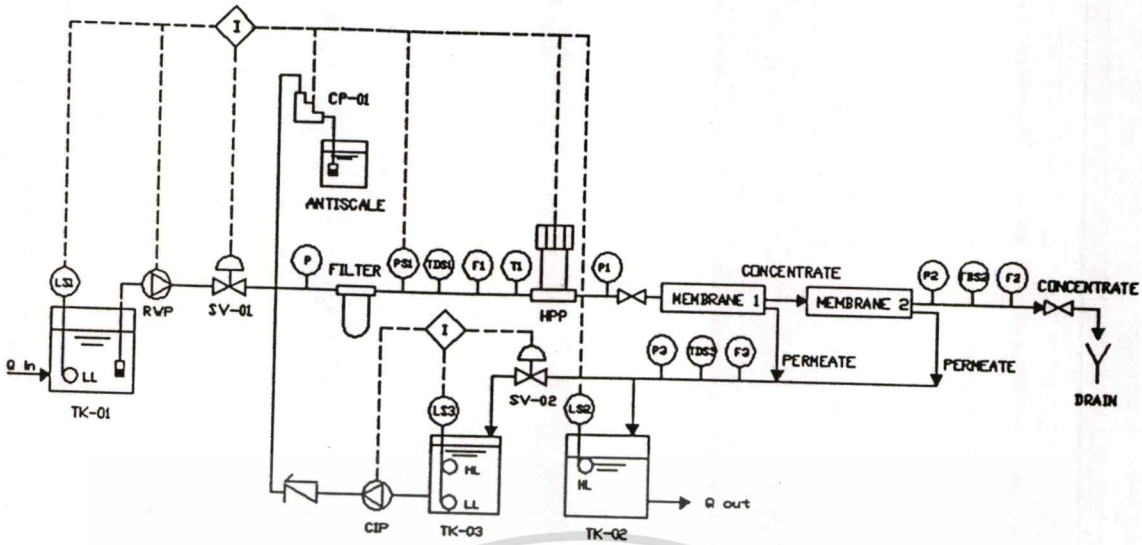


Fig 2: Reverse Osmosis System Configuration.

Tag	Equipment
TK-01	Pretreatment water Tank
TK-02	RO water storage Tank
TK-03	CIP water storage Tank
SV	Automatic Valve
RWP	Raw water Pump
HPP	High pressure Pump
CIP	CIP Pump
CP-01	Chemical feed Pump
MX	Mixer
LS	Level Switch
PS	Pressure Switch
P	Pressure Sensor
TDS	TDS Sensor
F	Flow Sensor
HL	High Level
LL	Low Level

Table 1: Definition Equipment Tags.

For sequence operation is shown as fig 3. When Start up System.

- SV-1 will be open early about 5 seconds then CP-01 and RWP will be start { CP-01 dosing for decrease LSI (Langelier Saturation Index)[4] and RWP use for transfer raw water to HPP } about 5 seconds then.
- HPP will be start in order to up pressure before inletmembrane, SV-02 will be open in order to fill permeate water into TK-03 and close when TK-03 full.
- After System stop CIP will be start and stop when water in TK-03 low.

Normal stop System, water in TK-01 is low or water in TK-02 is full.

Trouble stop System, low pressure inlet HPP (about 7 seconds) for protect pump.

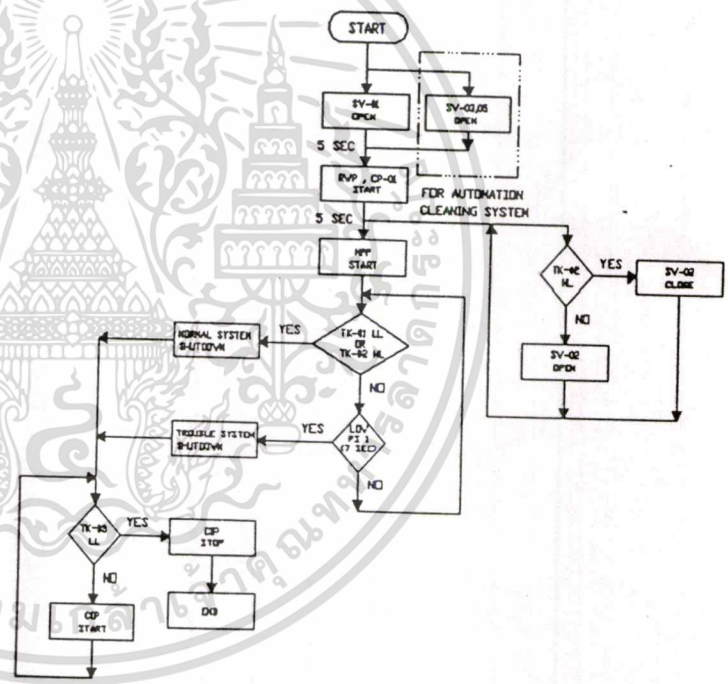


Fig 3: Sequence Operation.

- For first start-up have to adjust valve (manual) concentrate water in order to set recovery.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 Fouling and Cleaning

Fouling is the build up of unwanted deposits or scales on a membrane that result in reduce permeate flow and/or salt rejection. Membrane fouling divide 4 type following[1].

Scale Fouling occur from Ca^{2+} in water when it more concentrate it will crystallize become to calces, limestone of $CaCo_3$, $CaSO_4$

Metal Oxide Fouling Usually is crystal of iron oxide. Normally iron used to within Ferous (Fe^{2+}) form when oxidized it become to Ferric (Fe^{3+}) which crystallize to Fe_2O_3

Colloidal Fouling when colloid more concentrate it will Coagulation become to precipitate which it will cork membrane.

Biological Fouling microorganism can good grow up on membrane which it bring about any trouble i.e, destroy membrane, cork membrane, rise of TOC (total organic carbon).

Loss of salt rejection and loss of permeate flow are the most common problems encountered in reverse osmosis. If the salt rejection and/or the permeate flow decreases slowly, this may indicate a normal fouling/scaling which can be handled by proper and regular cleaning.

All membrane systems need regular cleaning to maintain productivity (permeate flow) and performance (salt rejection). Chemical cleaning is method that use chemical active with precipitates in membrane. For procedure cleaning divide 2 step following.

- Alkaline Cleaning for Organic and Metal oxide Fouling by use pH = 11.0 - 11.5.
- Acid Cleaning for Scale and Colloidal Fouling by use pH = 2.5 – 3.

4 Indicator data membrane performance

In order to able to follow the performance of the ROS, it is necessary that all relevant data are collected, recorded and kept on file, especially start-up record. The performance of the ROS is influenced [2] by the feed water composition, feed pressure, temperature and recovery. Indicator data record keeping is shown as Table2.

Data & Condition	start-up	operation	unit
Feed pressure (P1)			psi
Permeate pressure (P2)			psi
Concentrate pressure (P3)			psi
Feed TDS (TDS1)			ppm
Feed TDS (TDS2)			ppm
Feed TDS (TDS3)			ppm
Feed flow (F1)			m3/hr
Feed flow (F2)			m3/hr
Feed flow (F3)			m3/hr
Feed temperature (T1)			celsius

Table 2: Record Keeping.

5 Manual Cleaning

The most of Factory used to regular cleaning by use duration or observe abnormal quality water method which disadvantage such as quality water decreased go to process as membrane dirty, expensed in frequently cleaning and operator have to expert. In order to solve these, automation cleaning proposed.

For cleaning sequence operation of manual method as well as automation method as shown in Fig 5.

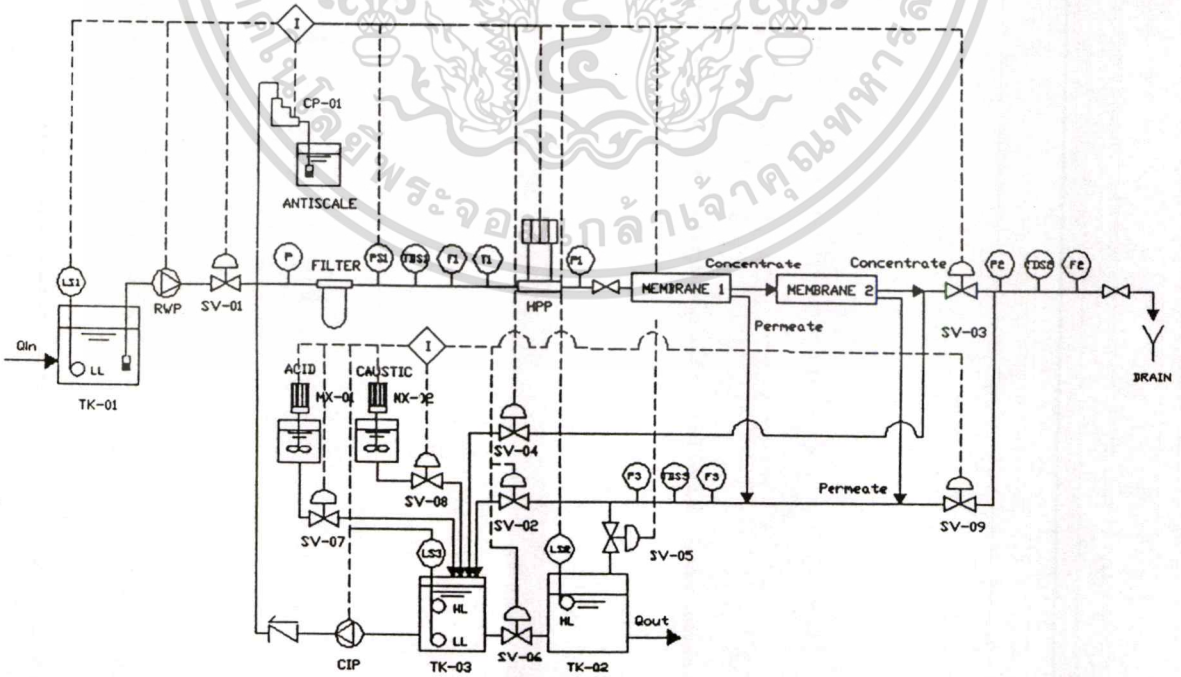


Fig 4: Automation Cleaning Reverse Osmosis System Configuration.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 Equipment additional for Automation Cleaning System

For automation cleaning system design is shown as Fig 4. By system required equipment addition following

- Automatic Valve 7 Ea
- PE Storage Tank 2 Ea
- Mixer 2 Ea
- Piping & Accessory
- Analog input module (resolution 12 bits) 4 points 3 Ea

Automation cleaning sequence operation system is shown as Fig 5.

When system enter to automation cleaning procedure, system will shutdown but SV-03 still open then.

- MX-01,02 will be start in order to mix chemical cleaning in tank, CIP will be start in order to flushing permeate water replace of concentrate water in membrane vessels.
- When TK-03 is low CIP will be stop, SV-07 will be open in order to fill acid chemical to TK-03 until it empty (about 10 minutes) SV-07 will be close, MX-01 will be stop.
- SV-02,04 will be open in order to circulated chemical in system, by use CIP run 15 minutes and stop 5 minutes continually.
- After 3 times ago SV-02,04 will be close and SV-03,09 will be open by CIP start continuous in order to drain chemical in system as far as TK-03 is low CIP as stop.
- SV-06 will be open in order to fill permeate water into TK-03 till full then CIP will be start in order to use permeate water flushing remain chemical (twice times).
- After acid cleaning finished then caustic cleaning will begin by use same procedure.
- Finally system will be start by SV-02,05 will be closed but SV-03,09 will be open in order to flushing remain chemical until TDS value are constant about 3 minutes then system will enter to normal operation.

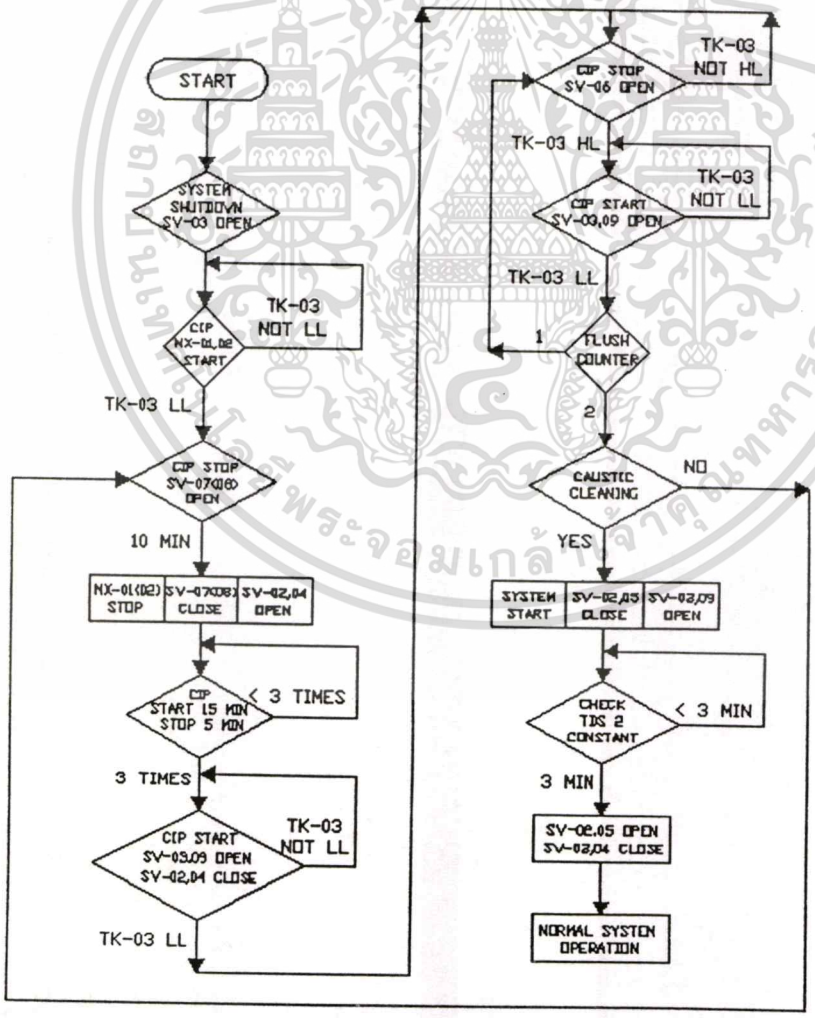


Fig 5: Automation Cleaning Sequence Operation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

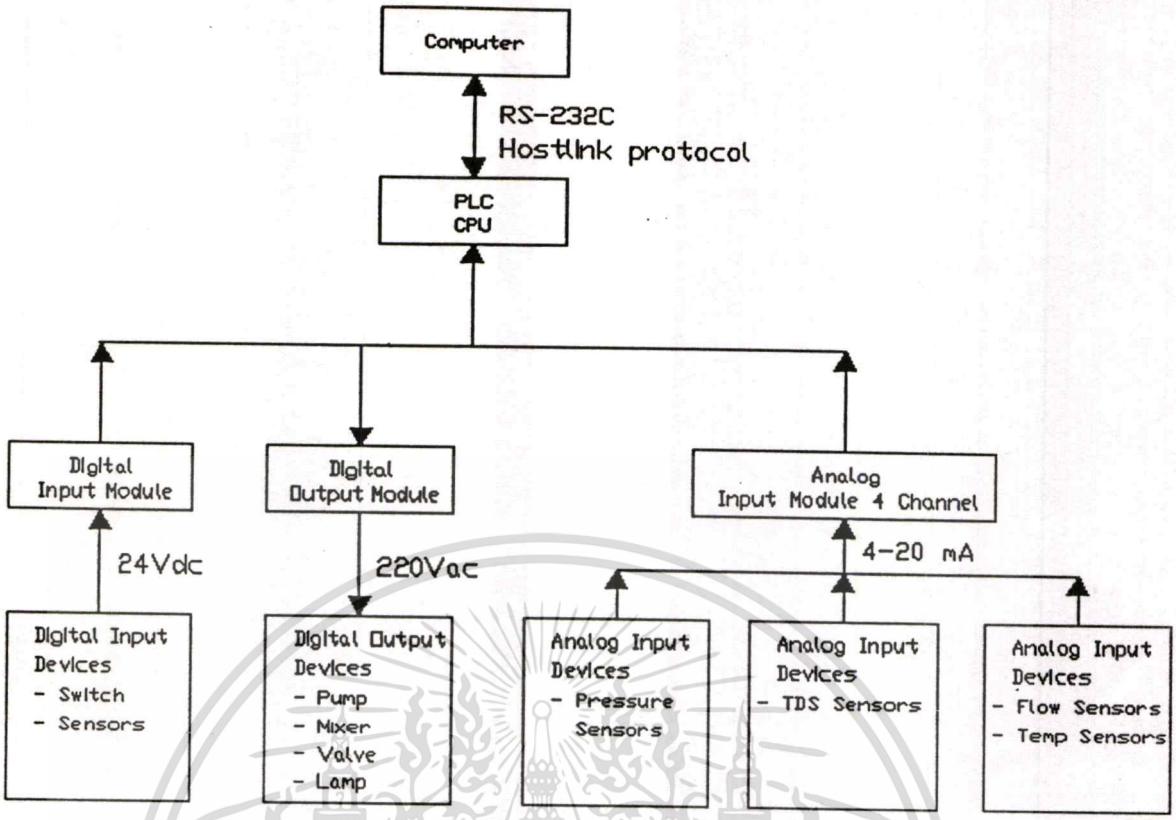


Fig 6: Control Hardware Configuration.

7 Data Processing

For data processing configuration is shown as Fig 6. First step instruments will sent signal to analog input module (resolution 12 bits). PLC will convert signal from 4-20 mA to binary and kept within register memory, Second step Host computer will request data from PLC pass RS-232C port by means of hostlink protocol[5].

8 Calculation membrane performance

In order to distinguish between normal and real performance change[4], the measured permeate flow and salt passage have to be normalize, this means compared to a given reference performance while the influences of operation parameters are taken into account. The reference performance maybe the designed performance or the measured initial performance.

A. Normalize Permeate Flow

$$Q_S = \frac{Pf_S - \Delta P_S/2 - Pp_S + \pi fc_S}{Pf_0 - \Delta P_0/2 - Pp_0 + \pi fc_0} \times \frac{TCF_S}{TCF_0} \times Q_0 \qquad (1)$$

with Pf = Feed Pressure
ΔP/2 = One half divide pressure drop
Pp = Product Pressure
Q = Product Flow
πfc = Osmotic pressure of the feed concentrate mixture
TCF = Temperature correction factor
$EXP[2640 \times \{1/298 - 1/(273+T)\}]; T \geq 25C$
Subscript s = standard condition
Subscript o = operation condition

Note this calculation assume $\pi fc_S = \pi fc_O$

B. Normalize Permeate TDS

$$Cp_S = Cp_0 \times \frac{Pf_0 - \Delta P_0/2 - Pp_0 - \pi fc_0 + \pi p_0}{Pf_S - \Delta P_S/2 - Pp_S - \pi fc_S + \pi p_S} \times \frac{Cf_C}{Cf_{C0}} \qquad (2)$$

$$Cf_C = Cf \times \ln\left(\frac{1}{1-Y}\right) \Big/ Y \qquad (3)$$

Where Y = Recovery ratio = product flow / feed flow
Cf = TDS feed mg/l
Cp = Product concentration as ion in mg/l
πp = Osmotic pressure of the permeate in bar

Note this calculation assume $\pi fc_S = \pi fc_O$, $\pi p_S = \pi p_O$

Q_S and Cp_S will limited following require water quality when the one of their exceed limited value system will enter to automation cleaning.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9 Software Analyze

The data analysis software process of computer is shown as Fig 7. On computer will display mainmenu which consist of 3 pages Graphics(System processing diagram), Setting menu and trend page. For the first procedure computer will read setting parameters such as record data, preset data, sampling and start sampling time etc. from setting menu. Then computer will read data from PLC.

After getting data, computer will compute these data and monitoring & display result of data in turn of Graphics in Graphics page and Graph in Trend page. Finally computer will consider quality water in order to discuss enter to chemical cleaning. By PLC will control procedure of cleaning after getting request from computer.

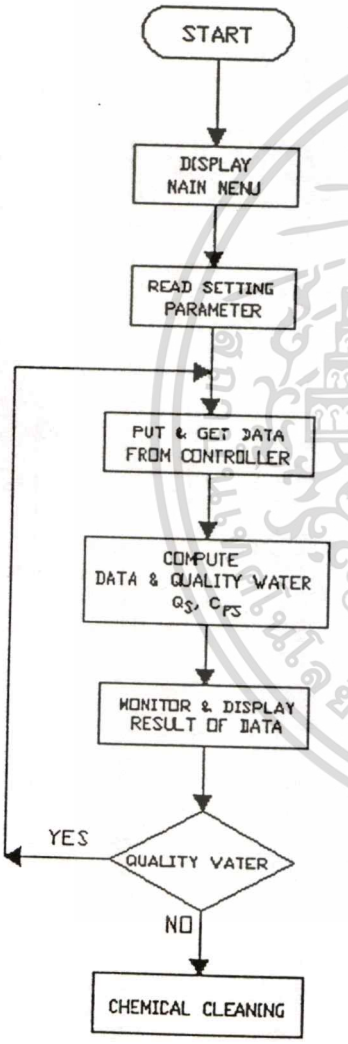


Fig 7: Data Analysis Software Process.

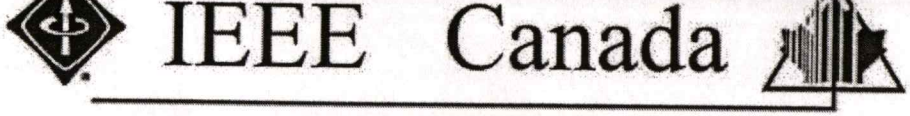
10 Conclusion

Advantage of new automation cleaning method have 3 points. First water quality guaranteed, Second decrease frequently cleaning and Third fully automation system by operator just fill chemical and observe which it mean expert not necessary. However disadvantage of this method is increased initial cost.

References

[1] Dr.Munsin Tantunravast, "Water Engineering", Chulalongkorn University, 1996, p155-189.
[2] John M.T. Raycheba, "Membrane Technology Reference Guide", 700 University Avenue, Toronto, Ontario, 1990.
[3] Osmonics, "Pure Water Hand Book", Osmonics, Minesota, USA, 1991, p54-94.
[4] Filmtec Technical Seminar, "Filmtec Membranes", Seminar at Regent Hotel, Thailand, 1997.
[5] Omron, "Operation manual PLC C28H", Omron Electronics, USA, 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MAIN MENU – MENU PRINCIPAL

- A Message from the President of IEEE Canada
  Un message du président d'IEEE Canada
- CCECE 2003
  CCGEI 2003
- Organizing Committee and Reviewing Committee
  Comité d'organisation et comité de lecture
- Sponsors
  Commanditaires
- Plenary sessions
  Sessions plénières
- Workshop on Grid-connection of Distributed Generators : Challenges and R&D Needs
  Atelier sur l'interconnexion des génératrices de production décentralisée : défis et besoins de R&D
- Call for papers for Niagara Falls 2004 Conference
  Appel aux communications pour la conférence de 2004 à Niagara Falls

TOOLS / OUTILS

- Program (How to find a paper)
  Programme (rechercher un article)
- Authors' Index
  Liste des auteurs
- Articles Index
  Liste des articles
- Search the CD-ROM
  Recherche dans le CD-ROM
- Help
  Aide
- Quit
  Quitter

© 2003 IEEE. Personal use of this material is permitted. However, permission to reprint/republish this material for advertizing or promotional purposes or for creating new collective works for resale or redistribution to servers or lists, or to reuse any copyrighted component of this work in other works must be obtained from the IEEE.

IEEE catalog number: 03CH37436C ISBN: 0-7803-7782-6

Technical inquiries : Bureau des Congrès Universitaires, CCECE 2003 secretariat, Tel : +1 (514) 340-3215, Fax : +1 (514) 340-4440, e-mail : ccece2003@congresbcu.com

AUTOMATION REVERSE OSMOSIS SYSTEM USING COMPUTER ANALYZE

V. Tipsuwanporn , J. Anotaiadikoon, S. Gulpanich, V. Krongratana and K. Witheephanich*
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520
THAILAND, Tel:(66-2)-326-7346 Ext. 102, E-mail: ktvittay@kmitl.ac.th
**Dept. of Electrical Engineering, Faculty of Engineering Srinakharinwirot University*
*Nakornnayok, THAILAND, E-mail: kritchai@psm.swu.ac.th

Abstract

As Pure & Drinking water system is universally employed in Industrial,Reverse Osmosis System (ROS) has been becoming increasingly popular due to efficiency in Salt & Organic Rejection of it. However membrane system need regular cleaning.

This paper present a new method for automation cleaning Reverse Osmosis System using Computer monitoring Process & analyze Trend of membrane performance & discuss enter to automation cleaning. The membrane performance consist of TDS, Water Flow, Pressure and Temperature. These variable analyzed for automation cleaning in order to maintain productivity and performance of RO System.

Keywords: *ROS; PLC; TDS; Permeate; Concentrate; Membrane*

1. INTRODUCTION

Reverse Osmosis, developed in 1959, is the newest method of water purification[3]. It is a system which removes organics and salt using Mechanism of Salt Rejection and Mechanism of Organism Rejection[4]. Membrane is essential for system due to performance membrane is the most affect to quality water. Besides membrane cost is very high, special attention is necessary, normally Factory used to maintain it by regular cleaning which sometimes it not necessary as it still good performance. However disadvantage of frequently cleaning is elevated expenses of chemical for cleaning, labor cost, system shutdown, etc.

So this paper present a new method for automation Reverse Osmosis System by use computer software analyze performance of membrane and discuss enter to automation cleaning in order to reduce frequency cleaning and guarantee quality water following standard water quality. Computer monitoring Process and essential variable in turn of graph in order to observe trend membrane performance.

CCECE 2003 - CCGEI 2003, Montréal, May/mai 2003
0-7803-7781-8/03/$17.00 © 2003 IEEE

For this application example modify from semi automation plant (PLC control) to fully automation plant (PLC & Computer control) by addition necessary equipment such as automatic valve, analog input module, etc.

2. SYSTEM DESIGN

2.1 Reverse Osmosis System

A reverse osmosis system, regardless of size of complexity, can be conceptualized as the simple "black box" shown in Fig 1[1].HPP will build up high pressure water enter the membrane in order to separate dissolved solids (solute) from water (solvent).

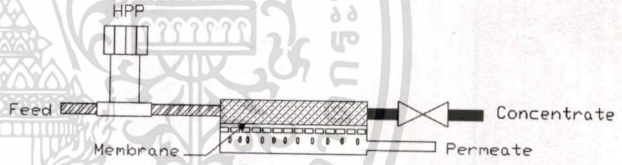


Fig. 1. Simple reverse osmosis system.

Total Dissolved Solids (TDS) The total organic and inorganic material dissolved in the water expressed as a concentration C (e.g. mg/L, ppm).

Permeate The solution (usually purifier water) which passes through the membrane and is collected for use.

Concentrate The solution which exits from the system which has not passed through the membrane. It is enriched in a particular rejected material.

ROS is shown as fig 2. design for Drinking & Produce Sirup Process. By raw water quality is TDS > 1275 mg/l, total hardness > 460 ppm as $CaCO_3$, flow rate 54 m^3/hr and Treated water quality is TDS < 37.5 mg/l, total hardness 0 ppm as $CaCO_3$, flow rate 41 m^3/hr. Main component of RO System consist of Membrane 43 pieces (spiral would module, Polyamide (PA Type) , 8" High surface area Brackish water RO element) and High Pressure Pump (Vertical Multistage Centrifugal pump, Power 30 kw, Head 122.2 metres, Flow rate 64 m^3/hr). For definition equipment tags is shown as table 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

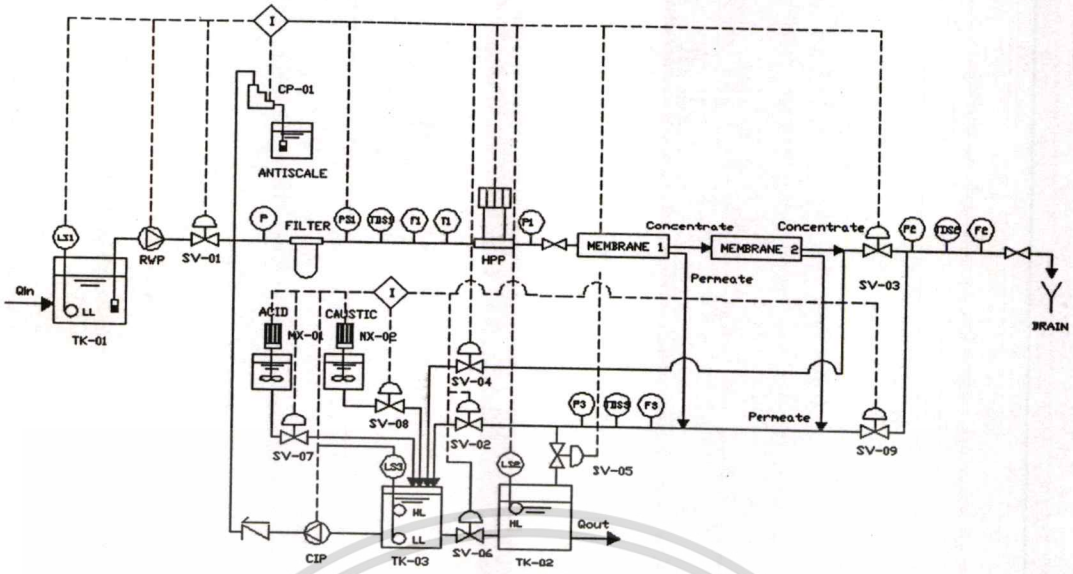


Fig. 2. Reverse osmosis system configuration.

Table 1. Definition equipment tags.

Tag	Equipment
TK-01	Pretreatment water Tank
TK-02	RO water storageTank
TK-03	CIP water storage Tank
SV	Automatic Valve
RWP	Raw water Pump
HPP	High pressure Pump
CIP	CIP Pump
CP-01	Antiscale feed Pump
MX	Mixer
LS	Level Switch
PS	Pressure Switch
P	Pressure Sensor
TDS	TDS Sensor
F	Flow Sensor
T	Temperature Sensor
HL	High Level
LL	Low Level

2.2 Indicator Data Membrane Performance

In order to able to follow the performance of the ROS, it is necessary that all relevant data are collected, recorded and kept on file, especially start-up record. The performance of the RO System is influenced [2] by the feed water composition, feed pressure, temperature and recovery. Indicator data record keeping is shown as Table2.

For data processing configuration is shown as Fig 3. First step instruments will sent signal to analog input module (resolution 12 bits). PLC will convert signal from 4-20 mA to binary and kept within register memory, Second step Host computer will request data from PLC pass RS-232C port by means of hostlink protocol[5].

Table 2. Record keeping.

Data & Condition	start-up	operation	unit
Feed pressure (P1)			psi
Permeate pressure (P2)			psi
Concentrate pressure (P3)			psi
Feed TDS (TDS1)			ppm
Feed TDS (TDS2)			ppm
Feed TDS (TDS3)			ppm
Feed flow (F1)			m3/hr
Feed flow (F2)			m3/hr
Feed flow (F3)			m3/hr
Feed temperature (T1)			celsius

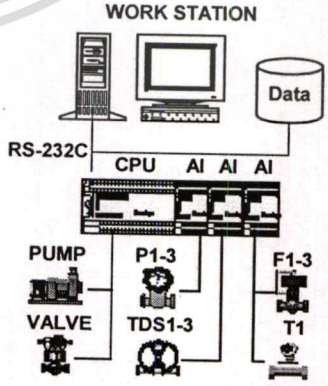


Fig. 3. Data processing configuration.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Fouling and Cleaning

Fouling is the build up of unwanted deposits or scales on a membrane that result in reduce permeate flow and/or salt rejection. Membrane fouling divide 4 type following[1].

Scale Fouling occur from Ca^{2+} in water when it more concentrate it will crystallize become to calces, limestone of $CaCo_3$, $CaSO_4$

Metal Oxide Fouling Usually is crystal of iron oxide. Normally iron used to within Ferous (Fe^{2+}) form when oxidized it become to Ferric (Fe^{3+}) which crystallize to Fe_2O_3

Colloidal Fouling when colloid more concentrate it will Coagulation become to precipitate which it will cork membrane.

Biological Fouling microorganism can good grow up on membrane which it bring about any trouble i.e, destroy membrane, cork membrane, rise of TOC (total organic carbon).

Loss of salt rejection and loss of permeate flow are the most common problems encountered in reverse osmosis. If the salt rejection and/or the permeate flow decreases slowly, this may indicate a normal fouling/scaling which can be handled by proper and regular cleaning.

All membrane systems need regular cleaning to maintain productivity (permeate flow) and performance (salt rejection). Chemical cleaning is method that use chemical active with precipitates in membrane. For procedure cleaning divide 2 step following.

- Alkaline Cleaning for Organic and Metal oxide Fouling by use pH = 11.0 - 11.5.
- Acid Cleaning for Scale and Colloidal Fouling by use pH = 2.5 – 3.

2.4 Calculation Membrane Performance

In order to distinguish between normal and real performance change[4], the measured permeate flow and salt passage have to be normalize, this means compared to a given reference performance while the influences of operation parameters are taken into account. The reference performance maybe the designed performance or the measured initial performance.

A. Normalize Permeate Flow

$$Q_S = \frac{Pf_S - \Delta P_S/2 - Pp_S + \pi fc_S}{Pf_0 - \Delta P_0/2 - Pp_0 + \pi fc_0} \times \frac{TCF_S}{TCF_0} \times Q_0 \qquad (1)$$

with Pf = Feed Pressure
$\Delta P/2$ = One half divide pressure drop
Pp = Product Pressure
Q = Product Flow
πfc = Osmotic pressure of the feed concentrate mixture
TCF = Temperature correction factor

$$EXP[2640 \times \{1/298 - 1/(273+T)\}]; T \geq 25C$$

Subscript s = standard condition
Subscript o = operation condition

Note this calculation assume $\pi fc_S = \pi fc_O$

B. Normalize Permeate TDS

$$Cp_S = Cp_0 \times \frac{Pf_0 - \Delta P_0/2 - Pp_0 - \pi fc_0 + \pi p_0}{Pf_S - \Delta P_S/2 - Pp_S - \pi fc_S + \pi p_S} \times \frac{Cf_C}{Cf_{C0}} \qquad (2)$$

$$Cfc = Cf \times \ln\left(\frac{1}{1-Y}\right) \Big/ Y \qquad (3)$$

Where Y = Recovery ratio = product flow / feed flow
Cf = TDS feed mg/l
Cp = Product concentration as ion in mg/l
πp = Osmotic pressure of the permeate in bar

Note this calculation assume $\pi fc = \pi fc$, $\pi p = \pi p$

Q and Cp will limited following require water quality when the one of their exceed limited value system will enter to automation cleaning.

3. SOFTWARE ANALYZE

On computer will display Mainmenu (Fig.4) which consist of 4 pages Process diagram (Fig.5)[6], Setting (Fig.6) Trend(Fig.7) and Historical page (Fig.8) . For data analysis software process, the first procedure software[7] will read setting parameters such as record data, preset data, sampling and start sampling time etc. from Setting. Then computer will read data from PLC.

After getting data, software will compute these data and monitoring & display result of data in turn of Process Diagram (HMI) and Graph in Trend, Historical page. Finally computer will analyze quality water in order to discuss enter to chemical cleaning. By PLC will control procedure of cleaning after getting request from software.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

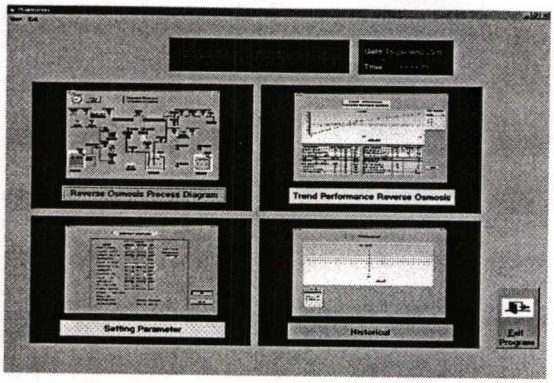


Fig. 4. Mainmenu view.

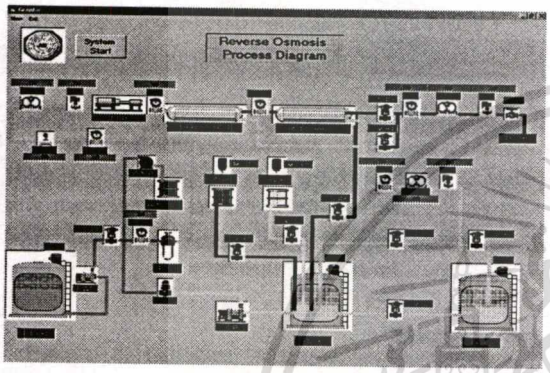


Fig. 5. Process diagram view.

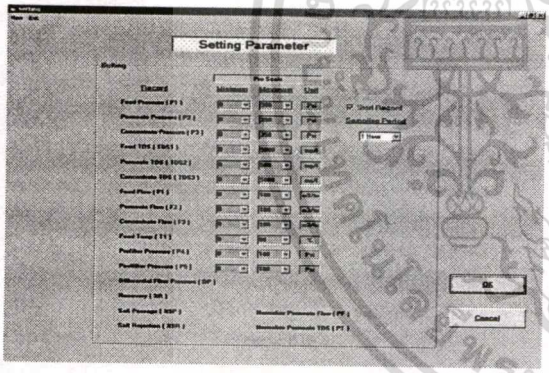


Fig. 6. Setting view.

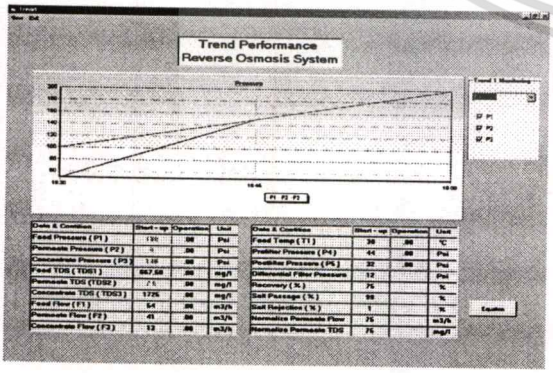


Fig. 7. Trend view.

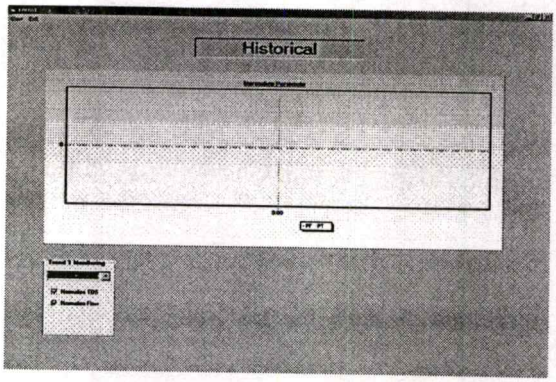


Fig. 8. Historical view.

4. CONCLUSIONS

Advantage of new automation cleaning method have 3 points. First water quality guaranteed, Second decrease frequently cleaning and Third fully automation system by operator just fill chemical and observe which it mean expert not necessary. However disadvantage of this method is increased initial cost.

References

[1] Dr.Munsin Tantunravast, "Water Engineering", Chulalongkorn University, 1996, p155-189.
[2] John M.T. Raycheba, "Membrane Technology Reference Guide", 700 University Avenue, Toronto, Ontario, 1990.
[3] Osmonics, "Pure Water Hand Book", Osmonics, Minesota, USA, 1991, p54-94.
[4] Filmtec Technical Seminar, "Filmtec Membranes", Seminar at Regent Hotel, Thailand, 1997.
[5] Omron, "Operation manual PLC C28H", Omron Electronics, USA, 1994.
[6] RS View32, Build 6.30.16, 1996
[7] Visual Basic 6.0, 1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นาย จตุวิทย์ อโนทัยอดิกูล เกิดเมื่อวันที่ 17 มกราคม พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2542

ปี พ.ศ. 2543 – 2545 ทำงานในตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า บริษัท ยูนิเทค จำกัด

ปี พ.ศ. 2545 ทำงานในตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า บริษัท แวนบิวส์ จำกัด

ปี พ.ศ. 2545 – ปัจจุบัน ทำงานในตำแหน่งวิศวกรระบบ (สกาดา) บริษัท ซินเนอร์จีเทค จำกัด พร้อมทั้ง เป็นวิศวกรที่ปรึกษางานระบบไฟฟ้า ไฟฟ้าควบคุม และ ระบบประปา ให้กับ บริษัท ซีดาห์ เอซโซซีเอท จำกัด และ บริษัท โกล์ดฟอร์ด เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด

ขณะศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมการวัดคุม ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้มีผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ จำนวน 2 เรื่อง

ประสบการณ์งานโครงการ

[1]. Pretreatment and Reverse Osmosis Plant, Electrical and Automation System. บ.เสริมสุข ประเทศไทย จำกัด (บางปะกง), 2544-2545

[2]. Daido Sittipol New Factory Plant, Manage Construction Work of Electrical and Piping System. โรงงาน ไดโดะสิทธิผล (ระยอง), 2545

[3]. Waste Water Treatement and Water Supply Plant, Design and Programming SCADA System. บ.ท่าอากาศยานกรุงเทพจำกัดมหาชน (สนามบินหนองงูเห่า), 2545-2546

ผลงานทางวิชาการ

[1]. V.Tipsuwanporn, J.Anotaiadikoon, S.Gulpanich, V.Krongratana and T.Suesut, "Automation Cleaning Reverse Osmosis System based on Computer Analize." , Proceeding of the International symposium on Design, Operation and Control of Chemical Processes. (PSE Asia 2002) Taiwan, December 2002.

[2]. V.Tipsuwanporn, J.Anotaiadikoon, S.Gulpanich, V.Krongratana and K.Witheephanich, "Automation Reverse Osmosis System using Computer Analyze.", Conference on Electrical and Computer Engineering toward a Caring and Humane Technology. (IEEE Canada, CCECE 2003) Canada, May 2003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้