

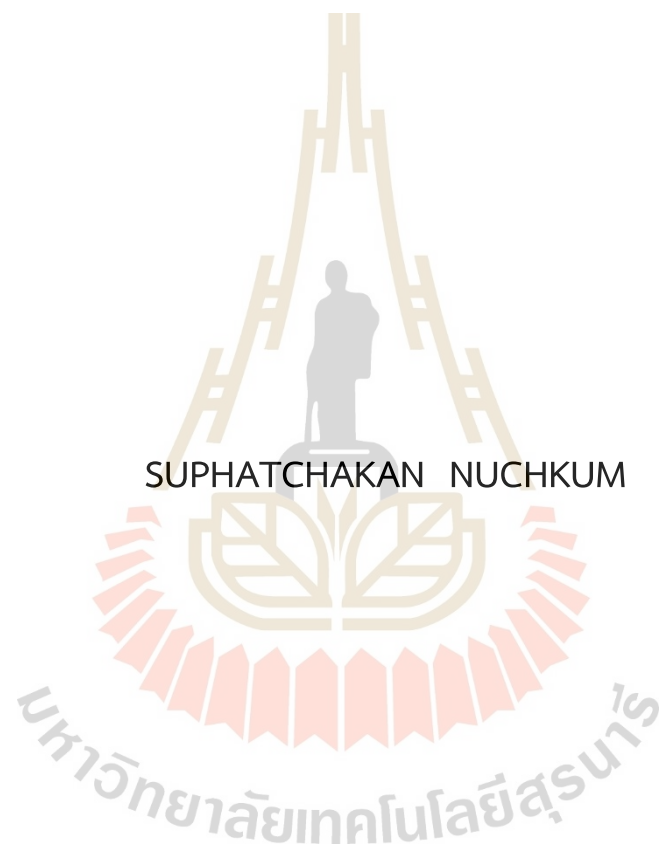
ระบบควบคุมสำหรับการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิส
แบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุง คุณภาพน้ำบน PLC และ HMI



นางสาวศุภัชกาญจน์ นุชคำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2564

CONTROL SYSTEM FOR WATER PURIFIER USING BY REVERSE
OSMOSIS TECHNIQUE PLUS PRETREATMENT SYSTEM BASED
ON PLC AND HMI



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechatronics Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2021

ระบบควบคุมสำหรับการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับ
ร่วมกับระบบปรับปรุง คุณภาพน้ำบน PLC และ HMI

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร.ชัยยุทธ์ สัมภาวะคุปต์)
ประธานกรรมการ



(รศ. ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร.โสธรฐา แข็งการ)
กรรมการ



(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ศุภัชกาญจน์ นุชคำ : ระบบควบคุมสำหรับการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำบน PLC และ HMI (CONTROL SYSTEM FOR WATER PURIFIER USING BY REVERSE OSMOSIS TECHNIQUE PLUS PRETREATMENT SYSTEM BASED ON PLC AND HMI) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล, 106 หน้า.

คำสำคัญ: ระบบควบคุม/รีเวิร์สออสโมซิส/ Water softening / PLC/HMI

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับเครื่องกรองน้ำที่ใช้เทคนิคการ Reverse Osmosis (RO) ร่วมกับกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยเครื่องกรองน้ำนี้ประกอบด้วยกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ที่ประกอบด้วยการกรองตะกอน สารอินทรีย์และอนินทรีย์ต่าง ๆ รวมถึงการปรับสภาพของน้ำด้วยตัวกรองชนิดเรซินเพื่อกำจัดหินปูน (Hardness) ที่เป็นสาเหตุทำให้น้ำมีความกระด้าง จึงได้น้ำที่ถูกรองเอาความกระด้างออก เรียกว่า น้ำอ่อน (Soft water) ดังนั้นเมื่อน้ำมีคุณภาพดีก่อนเข้าสู่ระบบ RO จึงสามารถเพิ่มแรงดันได้สูงกว่าแรงดันทั่วไป โดยระบบควบคุมประกอบด้วย Programmable Logic Control (PLC) สำหรับควบคุมฟังก์ชันในการใช้งานโปรแกรม และ Touch Screen Human Machine Interface (HMI) เพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบ ควบคุมหรือทำงานร่วมกับ PLC ที่รับสัญญาณเข้าจากเครื่องวัดการไหล เครื่องวัดค่าความดัน และเครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้า พร้อมทั้งแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ เช่น บั๊มน้ำ โพลีไวนิลไคลไรด์ และปริมาตรของน้ำสะอาดที่ได้จากการกรองแสดงผลผ่าน HMI โดยโปรแกรมควบคุมอัตโนมัติ ประกอบด้วยการกรองน้ำด้วยระบบ RO การควบคุมทิศทางการไหลของน้ำ และการฟื้นฟูเรซิน โดยพิจารณาความปลอดภัยจากการป้องกันกระแสเกินจากมอเตอร์ การป้องกันความดันเกินก่อนเข้าสู่ระบบ RO ด้วยระบบที่ทำงานอย่างอัตโนมัติและมีประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้ได้ปริมาณน้ำสะอาดมากกว่า 60% และสามารถเพิ่มอายุการใช้งานของเรซินและเมมเบรน RO ได้

สาขาวิชา วิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนักศึกษา ศุภัชกาญจน์



ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [ลายมือ]

SUPHATCHAKAN NUCHKUM : CONTROL SYSTEM FOR WATER PURIFIER USING
BY REVERSE OSMOSIS TECHNIQUE PLUS PRETREATMENT SYSTEM BASED ON
PLC AND HMI. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. JIRAPHON SRISERTPOL, Ph.D.,
106 PP.

Keyword: Control system design/Reverse osmosis/Water softening/PLC/HMI

This research demonstrated development of highly efficient control system for water purifier using by reverse osmosis (RO) technique plus pretreatment system. This water purifier consists of pretreatment and RO system. Pretreatment system is filtered sediment, P5, various organic substances, and resin filter before entering to RO system as water softening. Thus, the RO system can be increased pressure higher than conventional pressure. The control system is composed of Programmable Logic Control (PLC) for controlling function to operate program and Touch Screen Human Machine Interface (HMI) has been using for monitoring, control, or collaboration with PLC. The input signals are measured flow meter, pressure meter, and electricity conductivity meter. In addition, the display of HMI shows status of pumps, valves, value of sensors, and volume of water purifier. The automatic control program consists of resin cleaning of RO system based on safety, stable operation, and efficiency. The results of the control system can be enhanced water volume of 60% and service life of resin and RO membrane of 50%, compared with original RO system.

School of Mechatronic Engineering
Academic Year 2021

Student's Signature 
Advisor's Signature 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่างๆ ได้แก่

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล ผดุงทน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความรู้และคำแนะนำเกี่ยวกับเกี่ยวกับการศึกษาวิจัยการปรับปรุงคุณภาพและการเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน ลีตน และ ดร.นิติศักดิ์ หนูมาน้อย ที่ให้ความรู้คำปรึกษาพร้อมทั้งสละเวลาให้คำแนะนำ และความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับแนวทางการทำวิจัย การปรับปรุงและนำเสนองาน ทำให้ผู้จัดทำได้ข้อมูลที่ครบถ้วนและสามารถนำมาใช้วิเคราะห์วางแผนรวมทั้งแผนงานต่างๆ และสรุปข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมาก

อนึ่ง ผู้จัดทำหวังว่า งานโครงการนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดี ทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ จนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้จัดทำรับผิดชอบและพร้อมนำไปปรับปรุงและยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาต่อไป

ศุภชกาญจน์ นุชคำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	8
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	8
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย.....	9
1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	9
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	10
2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.1 บทนำ.....	11
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการปรับปรุงคุณภาพของน้ำ.....	12
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมอัตโนมัติโดยใช้ PLC ร่วมกับ HMI.....	29
2.4 สรุป.....	39
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	40
3.1 บทนำ.....	40
3.2 โครงสร้างและการทำงาน.....	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 รายการคำนวณหาขนาดสายไฟฟ้า อุปกรณ์ป้องกัน และการเดินสายอุปกรณ์.....	41
3.4 การออกแบบโปรแกรม (software) การทำงานของเครื่องกรองน้ำ RO อัตโนมัติ.....	47
3.5 การออกแบบโหมดการทำงาน.....	51
3.6 สรุป.....	55
4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล.....	56
4.1 บทนำ.....	56
4.2 การทดสอบฟังก์ชันการทำงานของระบบควบคุม.....	56
4.3 การทดลองประสิทธิภาพของการกรองน้ำด้วยกระบวนการ Reverse Osmosis.....	65
4.4 ผลการทดสอบด้านพลังงานไฟฟ้า.....	84
4.5 การสอบเทียบเครื่องมือวัด.....	92
4.6 สรุปผลการวิเคราะห์.....	94
5 บทสรุป.....	96
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	96
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	97
รายการอ้างอิง.....	98
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	100
ภาคผนวก ข.....	102
ประวัติผู้เขียน.....	106

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	แสดงความเสียหายของชิ้นงานจากการนำน้ำที่ไม่มีคุณภาพเข้ามาใช้ในกระบวนการทำงานต่าง ๆ.....2
1.2	ข้อแตกต่างระหว่างรุ่นที่มีวงจำหน่ายกับรุ่นที่มีแนวคิดการออกแบบและพัฒนา.....6
1.3	เปรียบเทียบปริมาณและราคาของน้ำดื่มตามยี่ห้อต่างๆที่วางขายในท้องตลาด.....7
2.1	ผลลัพธ์ประสิทธิภาพของการกำจัดสารละลายในน้ำ.....14
2.2	การเปรียบเทียบชนิดของเยื่อกรองเมมเบรน.....19
2.3	คุณลักษณะของน้ำดิบและน้ำล้างเมมเบรน.....22
2.4	เปอร์เซ็นต์การกำจัดแร่ธาตุในน้ำของระบบ RO.....27
2.5	ค่าความดันต่ออัตราการไหล.....33
2.6	รายการอุปกรณ์หน้าที่การใช้งาน.....36
3.1	ตารางการเลือกขนาดสายไฟสำหรับมอเตอร์.....42
3.2	ความหมายและสัญลักษณ์ของอุปกรณ์.....47
3.3	แสดงสัญลักษณ์และความหมายของแผนภาพการทำงานของระบบ.....51
4.1	การปรับความดันน้ำเพื่อดูประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์น้ำสะอาด TDS = 86 mg/L.....69
4.2	ผลการทดสอบของน้ำดิบที่เข้าระบบโดยมีค่า TDS = 86 mg/L.....70
4.3	การปรับความดันน้ำเพื่อดูประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์น้ำสะอาด TDS = 833 mg/L.....71
4.4	ผลการทดสอบของน้ำดิบที่เข้าระบบโดยมีค่า TDS = 86 mg/L.....73
4.5	การปรับความดันน้ำเพื่อดูประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์น้ำสะอาด TDS = 2,500 mg/L.....75
4.6	ผลการทดสอบของน้ำดิบที่เข้าระบบโดยมีค่า TDS = 86 mg/L.....76
4.7	การปรับ Pressure เพื่อดูประสิทธิภาพการกำจัดค่า TDS = 86 mg/L.....78
4.8	การปรับ Pressure เพื่อดูประสิทธิภาพการกำจัดค่า TDS = 833 mg/L.....80
4.9	การปรับ Pressure เพื่อดูประสิทธิภาพการกำจัดค่า TDS.....81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.10	การปรับค่า TDS ฝึ่งน้ำดิบ เพื่อดูปริมาตรของน้ำในการตัดสลับคอลัมน์การทำงาน.....	83
4.11	การจำลองการเดินเครื่องต่ออัตราการใช้หน่วยการไฟฟ้า.....	85
4.12	การจำลองการเดินเครื่องจำนวน 8 ชั่วโมง/วัน ต่ออัตราค่าไฟฟ้า.....	85
4.13	การจำลองการเดินเครื่องจำนวน 12 ชั่วโมง/วัน ต่ออัตราค่าไฟฟ้า.....	86
4.14	การจำลองการเดินเครื่องจำนวน 18 ชั่วโมง/วัน ต่ออัตราค่าไฟฟ้า.....	86
4.15	การจำลองการเดินเครื่องจำนวน 24 ชั่วโมง/วัน ต่ออัตราค่าไฟฟ้า.....	87
4.16	การคำนวณรายรับ-รายจ่าย ของการผลิตน้ำเพื่อจำหน่าย.....	89
4.17	รายการเปรียบเทียบการเปลี่ยนเรซินต่อค่าใช้จ่าย.....	90
4.18	รายการเปรียบเทียบการเปลี่ยนเมมเบรนต่อค่าใช้จ่าย.....	91
4.19	การสอบเทียบของเซนเซอร์วัดอัตราการไหลให้ได้ลิตรจากการตวงภาชนะ.....	92
4.20	การสอบเทียบค่าความดันของน้ำในท่อฝึ่งขาเข้าระบบ และฝึ่งขาเข้า RO.....	93
4.21	การ Calculation EC meter ฝึ่งขาเข้าระบบ และฝึ่งน้ำสะอาด.....	94

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ระบบการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ.....	5
2.1	แผนผังโรงบำบัดระบบรีเวิร์สออสโมซิส.....	13
2.2	การเปลี่ยนความเข้มข้นของ TDS ในน้ำที่ผ่านการกรอง.....	14
2.3	การนับจำนวนแบคทีเรียที่ต้นน้ำและปลายน้ำ.....	15
2.4	ค่าฟลักซ์เฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการกรองทั้ง 2 ชั้นของระบบ.....	15
2.5	แรงดันลดในโมดูล RO.....	16
2.6	ค่าความต้านทานสัมพัทธ์.....	16
2.7	กระบวนการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....	17
2.8	กระบวนการกรองด้วยเยื่อกรองสำหรับกรองน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสุระ.....	18
2.9	กระบวนการทำงานของระบบเครื่องกรองน้ำแบบ RO.....	22
2.10	ค่าความขุ่นเฉลี่ยของน้ำที่ได้จากการกรองถังเมมเบรนทั้งน้ำดิบและน้ำทิ้ง.....	23
2.11	ค่าเฉลี่ยของสารละลายของแข็งในน้ำจากการกรองถังเมมเบรนทั้งน้ำดิบและน้ำทิ้ง.....	24
2.12	กระบวนการกรองด้วยระบบ Reverse Osmosis แบบทั่วไป.....	24
2.13	การใช้ Cartridge Filter เป็นกระบวนการเตรียมน้ำก่อนเข้าระบบ RO.....	28
2.14	การฉีดสารในการป้องกันการเกิดตะกอนในเมมเบรน.....	29
2.15	การจำลองของการทดลองสำหรับการมอนิเตอร์และการควบคุมความดันและการไหล.....	30
2.16	Diagram สำหรับการติดตั้งการทดลอง.....	31
2.17	HMI หน้าจอสำหรับการมินิเตอร์ระยะไหลของการควบคุมการไหลและความดัน.....	32
2.18	การออกแบบระบบควบคุม.....	32
2.19	หน้าจอ touch screen โปรแกรมการควบคุม PLC.....	34
2.20	แสดงวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์.....	35
2.21	การเชื่อมต่อระบบมอนิเตอร์ในช่อง 1.....	37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 การเชื่อมต่อระบบควบคุมในช่องที่ 2.....	37
2.23 การเชื่อมต่อระบบมอเตอร์ในช่อง 2.....	38
3.1 การออกแบบโปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของ Motor.....	43
3.2 การจำลองการเคลื่อนที่ Motor ทั้ง 3 ตัว.....	43
3.3 การจำลอง Over Load Relay ทำการแจ้งเตือน.....	44
3.4 การเดินสายไฟฟ้าและจุดเชื่อมต่อสายไฟฟ้า AC.....	45
3.5 การเดินสายไฟฟ้าและจุดเชื่อมต่อสายไฟฟ้า DC.....	46
3.6 ออกแบบการทำงานในคอลัมน์ที่ 1 เป็นกรองหลัก.....	48
3.7 สถานะการทำงานของอุปกรณ์ในการกรองด้วยเรซินคอลัมน์ที่ 1.....	49
3.8 ออกแบบการทำงานในคอลัมน์ที่ 2 เป็นกรองหลัก.....	50
3.9 สถานะการทำงานของอุปกรณ์ในการกรองด้วยเรซินคอลัมน์ที่ 2.....	50
3.10 ผังการทำงานของโปรแกรมระบบเครื่องกรองน้ำอัตโนมัติแบบ RO.....	52
3.11 โหมดในการทำงานของระบบเครื่องกรองน้ำ.....	54
4.1 โทนสีพื้นหลังของหน้าจอแบบสัมผัส.....	57
4.2 ระบบให้ผู้ใช้กรอก Username และ password.....	57
4.3 แผงหน้าตู้ควบคุม.....	58
4.4 หน้าต่าง HOME บน HMI.....	58
4.5 หน้าต่างการทำงานด้วยโหมด Manual.....	59
4.6 การกดปุ่ม RESET ก่อนการเลือกการทำงานใหม่.....	59
4.7 แสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์โดยการกรองด้วยเรซินคอลัมน์ที่ 2.....	60
4.8 การเลือกใช้งานโหมดการทำงานแบบ Auto.....	60
4.9 แผงหน้าตู้ควบคุม.....	61
4.10 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบ.....	62
4.11 STEP การทำงานที่ 1 โดยเรซินคอลัมน์ที่1 เป็นตัวกรองหลัก.....	62
4.12 STEP การทำงานฟื้นฟูเรซินคอลัมน์ที่ 2.....	63
4.13 STEP การทำงาน 3 โดยเรซินคอลัมน์ที่1 เป็นตัวกรองหลัก.....	63
4.14 STEP การทำงานที่ 4 โดยเรซินคอลัมน์ที่2 เป็นตัวกรองหลัก.....	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 STEP การทำงานฟื้นฟูเรซินคอลัมน์ที่ 1.....	64
4.16 STEP การทำงานที่ 6 โดยเรซินคอลัมน์ที่ 2 เป็นตัวกรองหลัก.....	65
4.17 เครื่องกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ บน PLC และ HMI.....	66
4.18 สารละลาย NaCl ที่ใช้ในการทดลอง.....	66
4.19 การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl).....	68
4.20 การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ลงในน้ำ 100 ลิตร.....	68
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure (PSI) กับ ประสิทธิภาพน้ำสะอาด (%RO Recovery).....	69
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure (PSI) กับ ประสิทธิภาพน้ำสะอาด (%RO Recovery).....	72
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure (PSI) กับ ประสิทธิภาพน้ำสะอาด (%RO Recovery).....	75
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure (PSI) กับ ประสิทธิภาพการกำจัด TDS (mg/L).....	78
4.25 ระดับการกรองของเยื่อเมมเบรนในและลักษณะการกรอง.....	79
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure (PSI) กับ ประสิทธิภาพการกำจัด TDS (mg/L).....	80
4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure (PSI) กับ ประสิทธิภาพการกำจัด TDS (mg/L).....	82
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการตัดสลับคอลัมน์การทำงานของน้ำ กับ ค่าTDS (mg/L).....	83
4.29 ระบบเครื่องกรองน้ำ RO.....	84
4.30 โปรแกรมคำนวณค่าน้ำของการประปาส่วนภูมิภาค.....	86
4.31 โปรแกรมคำนวณค่าน้ำของการประปาส่วนภูมิภาค.....	86

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

RO System	=	ระบบการกรองน้ำด้วยเทคนิค Reverse Osmosis
PLC	=	โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable logic Control)
HMI	=	อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อระหว่างผู้ใช้งานกับเครื่องจักร (Human Machine Interface)
TDS	=	ปริมาณสารละลายที่อยู่ในน้ำ
Hardness	=	หินปูน
L	=	หน่วยปริมาตรน้ำ
mg/L	=	หน่วยสารละลายต่อปริมาตรน้ำ
kW	=	หน่วยของกำลังไฟฟ้า
THB	=	สกุลเงิน (บาท)
THB/Unit	=	ราคาไฟฟ้าบาทต่อหน่วย



บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมมีความหลากหลายและได้มีการขยายตัวอย่างกว้างขวาง อาทิเช่น อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วน อุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้า โรงงานผลิตอาหารกระป๋อง โรงไฟฟ้า โรงพยาบาล โรงสีข้าว โรงแรม เป็นต้น โดยน้ำบาดาลเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรมเพราะเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติที่สามารถหาได้ง่าย ราคาถูก สามารถขุดได้เองจึงถูกนำมาใช้ในกระบวนการต่าง ๆ อาทิเช่น นำมาใช้ในเครื่องจักรหม้อไอน้ำ ซึ่งเครื่องจักรเหล่านี้มีราคาสูงจำเป็นต้องมีการดูแลและการบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม โดยปัญหาที่พบภายในตัวหม้อไอน้ำ คือ การเกิดตะกรัน และการกัดกร่อน ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง โดยปัญหาดังกล่าวยังพบเจอทั่วไปในระบบหล่อเย็น ซึ่งมักจะประสบปัญหาเรื่องตะกรันและการกัดกร่อนเช่นกัน ซึ่งวัสดุที่มีตะกรันเกาะจับในระบบจะทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงตามความหนาของตะกรันหรือ สิ่งปนเปื้อน เกิดผลที่ตามมาคือพลังงานที่ต้องสูญเสียไปกับการขุดเซย ความสมดุลที่สูญเสียไป เนื่องจากมีตัวขัดขวางการทำงานของระบบ นอกจากนี้ตะกรันและการกัดกร่อนทำให้ ระบบน้ำหล่อเย็นเสียหายและทรุดโทรมอย่างเห็นได้ชัดและการทำงานของเครื่องเป็นไปได้ไม่เต็มที่เพราะระบบแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำงานได้ดีต้องอาศัยระบบ น้ำหล่อเย็นที่มีประสิทธิภาพด้วย ความสำคัญของระบบหล่อเย็นจึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญและใส่ใจในเรื่องของความสะอาดของน้ำ หากเครื่องจักรชำรุด เสียหาย จะทำให้ระบบการผลิตของโรงงานหยุดการทำงานและเสียโอกาสในเรื่องของรายได้ อีกทั้งปัญหาดังกล่าวยังพบเจอใน CHILLER โดยเป็นเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ที่มีหน้าที่ในการผลิตน้ำเย็นหรือปรับอากาศหม้อไอน้ำเย็นและส่งไปยังเครื่องปรับอากาศที่มีอยู่ในห้องต่างๆ ของอาคารแต่ละอาคาร เพื่อถ่ายเทความร้อน CHILLER สามารถผลิตน้ำเย็นได้อย่างต่อเนื่อง หากน้ำที่นำมาไม่สะอาดและมีตะกรันมาใช้ในกระบวนการ น้ำเย็นนี้ที่จ่ายให้เครื่องปรับอากาศก็จะทำให้ท่อหรือทางเดินน้ำเกิดการอุดตันแสดงได้ดังตารางที่ 1.1 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของปัญหาและความเสียหายของชิ้นงานที่เกิดจากการนำน้ำที่ไม่มีคุณภาพมาใช้ในกระบวนการต่าง ๆ

ตารางที่ 1.1 แสดงความเสียหายของชิ้นงานจากการนำน้ำที่ไม่มีคุณภาพเข้ามาใช้ในกระบวนการทำงานต่าง ๆ

ภาพการเกิดความเสียหายของวัสดุ	คำอธิบาย	ผลกระทบ
	<p>การเกิดตะกรันในท่อของระบบของระบบ cooling tower</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ทำให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นลดลง - ลดอายุการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์
	<p>การเกิดตะกรันในท่อของระบบปะปา</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ทำให้ท่อตัน น้ำไหลน้อย - ทำให้เกิดตะกอนจากสนิมปนเปื้อนในน้ำ
	<p>การเกิดตะกรันใน Chiller</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ทำให้ท่อหรือทางเดินน้ำเกิดการอุดตัน - ทำให้ประสิทธิภาพในการทำความเย็นลดลง

ตารางที่ 1.1 แสดงความเสียหายของชิ้นงานจากการนำน้ำที่ไม่มีคุณภาพเข้ามาใช้ในกระบวนการทำงานต่าง ๆ (ต่อ)

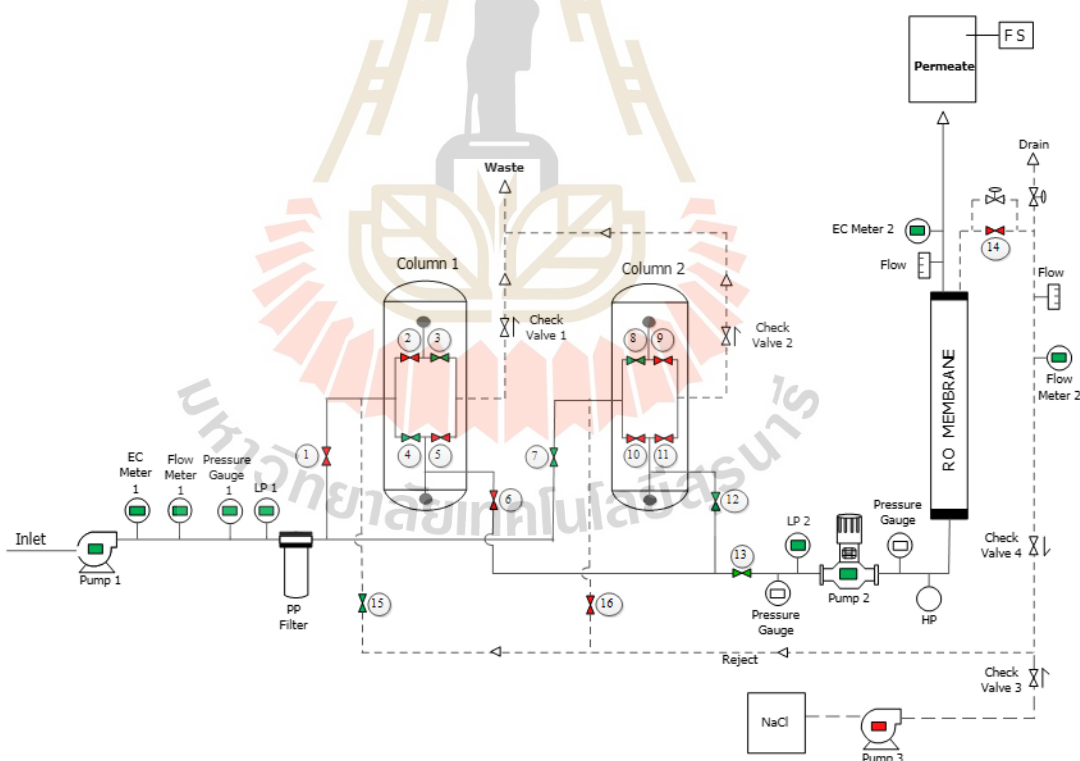
ภาพการเกิดความเสียหายของวัสดุ	คำอธิบาย	ผลกระทบ
	<p>การเกิดตะกรันตามขอบผนังของหม้อต้มไอน้ำ</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนลดลง - ต้องสิ้นเปลืองพลังงานในการ ทำให้น้ำกลายเป็นไอเพิ่มขึ้น
	<p>การอุดตันของเมมเบรนที่เกิดจากเกิดตะกรัน</p>	<ul style="list-style-type: none"> - กำลังการผลิตน้ำสะอาดลดลง - เกิดช่องว่างภายในรูพรุนลดลงหรือทางน้ำไหลในมัดเมมเบรนแคบลง เมื่อใช้ความดันที่สูงอาจทำให้เมมเบรนแตกหรือเสียหายได้

ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้การกรองน้ำก่อนเข้าระบบที่เหมาะสมและปลอดภัย เพื่อการบริโภค และนำไปใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ของอุตสาหกรรม ในปัจจุบันเครื่องกรองน้ำระบบ RO เป็นกระบวนการกรองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เนื่องจากมีเยื่อกรอง (Membrane Filtration) ที่มีความละเอียดสูง สามารถกำจัด คอลลอยด์ สารละลายน้ำแบคทีเรีย ไวรัสหรือแม้กระทั่งไอออน จึงทำให้ได้น้ำที่บริสุทธิ์มากกว่า 95% [2] แต่มีข้อเสียคือ โดยทั่วไปแล้วอัตราของน้ำที่ RO เมื่อคำนวณปริมาณเป็นรูปแบบเปอร์เซ็นต์พบว่าการกรองได้น้ำสะอาดมีปริมาณเพียง 60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำที่จะถูกคัดแยกออกไปเป็นน้ำทิ้งนั้นมีปริมาณมากถึง 40 เปอร์เซ็นต์ [3] จึงทำให้ได้ผลผลิตที่ไม่มากนัก และความดันที่ใช้ในการป้อนอยู่ระหว่าง 80-150 PSI โดยปัจจัยสำคัญหลักของกระบวนการนี้ คือ การ

แยกเกลือออกจากน้ำ จึงได้น้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยมีคุณสมบัติของเยื่อกรองเมมเป็นสิ่งสำคัญ กล่าวคือขนาดของรูพรุนจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงความสามารถในการกักกัน สารอินทรีย์ธรรมชาติ สารอนินทรีย์ คอลลอยด์ ของแข็งละลายน้ำ และ อนุภาคต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น ความสามารถในการกักกันเกลือใช้บอกคุณลักษณะของเยื่อกรองเมมเบรนชนิดออสโมซิสผันกลับ (Reverse Osmosis: RO) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการกักกันสารตามมวลโมเลกุลของสาร เมื่อมีการสะสมของอนุภาคต่างๆที่ผิวเยื่อกรองเมมเบรน ทำให้ผิวหน้าของเมมเบรนหนาขึ้นหรือช่องว่างภายในรูพรุนลดลง ตะกอนถูกรวมตัวกันเมื่อสารเคมีมีความเข้มข้นเกินจุดอิ่มตัว จนเกิดการอุดตัน ซึ่งสำหรับการอุดตันเป็นสิ่งสำคัญสำหรับกระบวนการออสโมซิสผันกลับ เนื่องจากกระบวนการนี้ต้องใช้ความดันที่ค่อนข้างสูง อาจเกิดการเสียหายของเมมเบรน และระบบได้ จากปัญหาข้างต้น การบำรุงรักษาหรือการเปลี่ยนเยื่อกรองเมมเบรนมีค่าใช้จ่ายที่สูงจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำก่อนเข้าระบบที่มีประสิทธิภาพ สำหรับเครื่องกรองที่ใช้ในการผลิตน้ำในระดับอุตสาหกรรมนั้น ระบบดั้งเดิมที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปมีประสิทธิภาพต่ำ (ได้น้ำได้น้อยกว่าร้อยละ 50) โดยปัญหาของเครื่องกรองน้ำในระดับอุตสาหกรรมได้แก่ เครื่องมีประสิทธิภาพต่ำ (ผลิตน้ำได้ได้น้อยกว่าร้อยละ 50) เนื่องจากขาดระบบกำจัดหินปูน (มีผลต่อการอุดตันของเมมเบรน) หรือมีระบบกำจัดหินปูน (softening) ที่เดินระบบประสิทธิภาพต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 50 ของ exchange capacity) หรือ ขนาดของถังกรองเรซินไม่เหมาะสมกับระบบ RO และข้อจำกัดการล้างเรซินด้วยน้ำเกลือที่ยังไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้สิ้นเปลืองและปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม และไม่สามารถควบคุมปริมาณเกลือได้ การใช้สารเคมีในการป้องกันการเกิดตะกรัน ไม่มีระบบอัตโนมัติและไม่สามารถตรวจสอบอายุการใช้งานไส้กรอง ปริมาณน้ำดีและน้ำเสีย จึงจำเป็นต้องใช้คนงานมาคอยตรวจเช็ค

จากปัญหาดังกล่าว จึงนำมาเป็นหัวข้อที่จะศึกษาและออกแบบพัฒนาระบบกำจัดน้ำกระด้างและรีเวิร์สออสโมซิสแบบอัตโนมัติประสิทธิภาพสูง ก่อนการนำน้ำเข้ามาใช้ในกระบวนการต่าง ๆ ของอุตสาหกรรม ซึ่งหากนำน้ำที่ไม่มีคุณภาพเข้ามายังระบบ อาจก่อปัญหาที่ตามมาหลายประการดังที่กล่าวไว้ข้างต้น อาทิเช่น เกิดการกัดกร่อนในวัสดุทำให้ลดอายุการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ อีกทั้งยังทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและส่งผลให้การทำงานไม่มีประสิทธิภาพ จึงเลือกใช้กระบวนการเตรียมน้ำด้วยเรซิน เพื่อกำจัดตะกรันและแร่ธาตุหินปูนต่างๆ ที่ก่อให้เกิดปัญหาที่สำคัญคือ การอุดตันในเมมเบรน ด้วยการมีโหมดในการทำงานแบบสลับคอลัมน์ของเรซิน ซึ่งถือเป็นขั้นตอนการกำจัดน้ำกระด้าง (Pretreatment) จึงได้น้ำที่เรียกว่า Water Softening ก่อนเข้าระบบ RO ส่งผลให้สามารถที่จะใช้แรงดันที่สูงมากกว่า 150 PSI ในการอัดเข้าเมมเบรน จึงได้น้ำสะอาดที่มากกว่าระบบทั่วไป ถึง 75% อีกทั้ง ยังมีระบบการนำน้ำทิ้งซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของเกลือสูง (RO reject) ในการล้างย้อน (back wash) เพื่อล้างฟื้นฟูสภาพของเรซิน อีกทั้งยังติดตั้งระบบส่งน้ำเกลือด้วยอัตราการไหลคงที่ควบคุมปริมาณจาก (salt optimized model) โดยการคำนวณการป้อนน้ำเกลือจากเงื่อนไขตาม

ปริมาณการใช้น้ำที่ผ่านเรซิน ไม่มีการฉีดสารเคมีในกระบวนการ สั่งงานจาก PLC ลดการใช้เกลือภายนอกลง น้ำทิ้งมีปริมาณเกลือ (TDS) ต่ำ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยยังสามารถผลิตน้ำดื่มได้มากกว่าร้อยละ 75 ซึ่งระบบสามารถปรับแรงดันได้สูงกว่า 160 PSI (ระบบทั่วไปทำได้เพียง 140 PSI) โดยมีระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ PLC เป็นคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลและความคุ้มค่าแล้ว ไฟฟ้าทั้งหมด 16 ตัว อีกทั้งมอเตอร์ 3 ตัวซึ่งเป็นดิจิทัลเอาพุต ส่วนด้านอินพุตที่สำคัญคือ เซนเซอร์อนาล็อกในการตรวจวัดปริมาณน้ำโดยใช้ Flow rate ความดันของน้ำโดยใช้ Pressure gate และการตรวจวัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำโดยใช้เครื่องวัด Electricity Conductivity Meter (EC meter) เพื่อมาใช้เป็นเงื่อนไขการทำงานของระบบ และทำให้ระบบสามารถทำการล้างและฟื้นฟูเรซินได้อย่างอัตโนมัติ โดยแสดงผลและรับข้อมูลผ่านหน้าจอสัมผัส HMI แสดงดังรูปที่ 1.1 อีกทั้งการออกแบบตู้ควบคุมยังคำนึงถึงความปลอดภัยแก่เครื่องจักรและบุคคลโดยอาศัยหลักการคำนวณทางวิศวกรรมไฟฟ้าตามมาตรฐานการติดตั้งของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์และมีการต่อระบบสายดินเพื่อความปลอดภัยทางไฟฟ้าอีกด้วย



รูปที่ 1.1 ระบบการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ

เครื่องกรองน้ำด้วยระบบ RO มีการจำหน่ายตามท้องตลาดหลายรุ่นและหลายยี่ห้อ ซึ่งทางผู้จัดทำจึงได้รวบรวมรายละเอียดถึงข้อแตกต่างระหว่างรุ่นที่มีวางจำหน่ายกับรุ่นที่มีแนวคิดการออกแบบและพัฒนาจากระบบเดิม แสดงไว้ในตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ข้อแตกต่างระหว่างรุ่นที่มีวางจำหน่ายกับรุ่นที่มีแนวคิดการออกแบบและพัฒนา

รายการ	ชื่อสินค้า	สิ่งที่มีขาย	แนวคิด
ประเภทของถังกรอง	เครื่องกรองน้ำระบบ RO รุ่น RO-6Q	ใช้ระบบการเตรียมน้ำ Pretreatment ด้วยไส้กรองหยาบ (PP)	ติดตั้งถังกรองเรซิน กำจัดความกระด้าง
การประเมินเรซิน	เครื่องกรองน้ำระบบ RO รุ่น 3QS1	ใช้เวลาเป็นตั้กำหนดการฟื้นฟูไส้กรองเรซิน	กำหนดการล้างฟื้นฟูตามค่าของ TDS และ Hardness จากน้ำดิบที่นำมาใช้
การใช้สารเคมี	เครื่องกรองน้ำระบบ RO รุ่น A001	มีการฉีดน้ำยาแอนตี้สเกล ป้องกันการเกิดตะกรันก่อนเข้าเมมเบรน	ไม่มีสารเคมีฉีดเข้าระบบ
ลักษณะภายนอก	เครื่องกรองน้ำระบบ RO รุ่น GW-RO3Q	แผงวงจรไฟฟ้าอย่างง่าย มีปุ่มเยอะ อาจสร้างความสับสนในการทำงาน	มีความสวยงาม น่าใช้น่าเชื่อถือ ใช้การควบคุมสั่งงาน โดยใช้จอ Touch screen
การเก็บข้อมูล/การแจ้งเตือน	เครื่องกรองน้ำระบบ RO รุ่น RO.900 GPD	ไม่มีการเก็บข้อมูล	มีระบบเก็บข้อมูล และแสดงผล Graphic ขึ้นเตือนอายุการใช้งานบนหน้าจอ
ประเภทของถังกรอง	เครื่องกรองน้ำระบบ RO รุ่น 7QS1	ติดตั้งระบบถังกรองเรซิน 1 ถัง	เทคโนโลยีระบบถังกรองคู่ โดยทำงานสลับกัน
ประสิทธิภาพของ RO	เครื่องกรองน้ำระบบ RO รุ่น Absolute RO 3Q	ร้อยละ 50	มากกว่าร้อยละ 60

ตารางที่ 1.2 ข้อแตกต่างระหว่างรุ่นที่มีวางจำหน่ายกับรุ่นที่มีแนวคิดการออกแบบและพัฒนา (ต่อ)

รายการ	ชื่อสินค้า	สิ่งที่มีขาย	แนวคิด
การใช้เกลือในการฟื้นฟูสภาพเรซิน	ชุดเครื่องกรองน้ำระบบ RO	ใช้เกลือ 10 % จากปริมาณที่แนะนำของผู้ผลิต	ลดการใช้เกลือด้วยการนำน้ำทิ้งที่มีเกลือสูงกลับมาใช้ล้างฟื้นฟู

ในปัจจุบัน พบว่า นอกจากการนำน้ำที่ผ่านระบบการกรองด้วย (Reverse Osmosis) มาใช้ในกระบวนการต่าง ๆ อาทิเช่น เครื่องจักรหม้อไอน้ำ CHILLER และ cooling tower แล้วพบว่า ยังนำมาผลิตเป็นน้ำดื่ม น้ำอัดลม ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดและห้างสรรพสินค้าทั่วไป โดยระบุถึงปริมาณ และราคาซึ่งแสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 เปรียบเทียบปริมาณและราคาของน้ำดื่มตามยี่ห้อต่าง ๆ ที่วางขายในท้องตลาด

รายการ	ปริมาณ (ml)	ราคา (บาท)	กระบวนการ
น้ำดื่มตรา คริสตัล	600	7	REVERSE OSMOSIS (RO)
น้ำดื่มตรา เอเชีย	600	6	REVERSE OSMOSIS (RO)
น้ำดื่มตราสปริงเคิล	600	7	REVERSE OSMOSIS (RO)
น้ำดื่มตราน้ำเพชร	600	6	REVERSE OSMOSIS (RO)
น้ำดื่มตรา มงกุฎทิพย์	600	6	REVERSE OSMOSIS (RO)
น้ำดื่มตราคาราบาว	600	6	REVERSE OSMOSIS (RO)
น้ำดื่มตราเอชทูโอ	600	6	REVERSE OSMOSIS (RO)
น้ำดื่มตรา มทส.	600	6	REVERSE OSMOSIS (RO)
น้ำดื่มตรา มทส.	18,900	18	REVERSE OSMOSIS (RO)
น้ำอัดลมตรา โค้ก	500	18	REVERSE OSMOSIS (RO)
ตู้จำหน่ายเครื่องดื่ม ระบบ RO	1,000	1	REVERSE OSMOSIS (RO)

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 ออกแบบระบบควบคุมเครื่องปรับปรุงคุณภาพน้ำอัตโนมัติโดยใช้เทคนิค Reverse Osmosis ร่วมกับกระบวนการฟลูออเรซินด้วย PLC และ HMI
- 1.2.2 เพิ่มประสิทธิภาพของน้ำด้วยกระบวนการกำจัดความกระด้าง (Resin filter)
- 1.2.3 ออกแบบระบบฟลูออเรซินแบบอัตโนมัติโดยอาศัยค่า TDS และค่า Hardness จากน้ำดิบ

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1.3.1 น้ำดิบที่เข้ากระบวนการฟลูออเรซินเป็นน้ำบาดาล และน้ำในอุตสาหกรรมที่มีค่า Hardness ไม่เกิน 300 mg/L
- 1.3.2 ใช้ระบบการเตรียมน้ำก่อนเข้า RO ด้วยการกรองถังแบบคอลัมน์เรซิน 2 ถัง ถังละ 25 L
- 1.3.3 พิกัดกำลังการผลิตน้ำของเครื่อง 250 L/h
- 1.3.4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในระบบได้แก่ EC meter, Flow rate, Pressure Gate
- 1.3.5 ยี่ห้อ PLC ที่ใช้เป็น TM221C24R Schneider Electric Modicon M221 Logic controller
- 1.3.6 ทักษกรีน ที่ใช้งานคือ Wecon PI 7 inch HMI : PI3070N เชื่อมต่อผ่านสาย LAN
- 1.3.7 มอเตอร์ปั้มน้ำขาเข้าพิกัด 1 Hp ปั้มเครื่องกรอง RO 2 Hp ปั้มฟลูออเรซิน 100 W

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.4.1 งานวิจัยเน้นการออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยรับสัญญาณที่เป็นเงื่อนไข ผ่านเซนเซอร์ เครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้าในน้ำ (EC meter) เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow rate meter) และ เครื่องวัดค่าความดัน (Pressure Gate meter)
 - 1.4.2 แสดงสถานะการทำงาน 4 โหมด ได้แก่ 1) โหมดกำจัดความกระด้างด้วยเรซินคอลัมน์ที่ 1 ก่อนเข้าระบบ RO 2) โหมดฟลูออเรซินคอลัมน์ที่ 2 ด้วย NaCl 3) โหมดกำจัดความกระด้าง ด้วยเรซินคอลัมน์ที่ 2 ก่อนเข้าระบบ RO 4) โหมดฟลูออเรซินคอลัมน์ที่ 1 ด้วย NaCl
 - 1.4.3 การตัดต่อวงจรมอเตอร์เพื่อความปลอดภัยใช้ Overload Relay ปุ่ม Emergency สวิตช์ลูก ลอยเมื่อน้ำเต็มถึงบรรจุน้ำ ค่าความดันน้ำขาเข้าไม่เกิน 50 psi และขาออกไม่เกิน 180 psi
 - 1.4.4 หลักการออกแบบขนาดสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันยึดตามหลักเกณฑ์ของ วสท.
 - 1.4.5 การสั่งการ ป้อนข้อมูล และการแสดงผล แจ้งเตือนต่าง ๆ จะทำผ่านหน้าจอ HMI

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

อ้างอิงวัตถุประสงค์ ข้อตกลงเบื้องต้น และขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.5.1 ทัศนวิสัยการมองเห็นและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้เทคนิคออสโมซิส แบบผันกลับ และระบบควบคุมอัตโนมัติผ่าน PLC และ HMI Touch Screen

1.5.2 ศึกษากระบวนการกรองน้ำแบบ RO ทั้งหลักการทำงานและอุปกรณ์ที่ใช้ในการกรองให้เกิดแรงดันสูง

1.5.3 ศึกษาการเตรียมน้ำที่จะผ่านเข้าสู่กระบวนการ RO (Pre-Treatment)

1.5.4 ศึกษาเครื่องมือวัดเพื่อตรวจวัดคุณภาพน้ำและคุณภาพของเครื่องกรองน้ำแบบดั้งเดิมและเพื่อไปปรับปรุงให้เป็นเงื่อนไขในการกรองแบบอัตโนมัติ

1.5.5 ออกแบบโปรแกรมให้สอดคล้องกับพฤติกรรมของเครื่องกรองน้ำผ่าน PLC และหน้าจอ HMI Touch Screen.

1.5.6 คำนวณขนาดสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันให้เหมาะสมตามพิกัดเครื่องใช้ไฟฟ้า อาศัยหลักเกณฑ์ของ วสท.

1.5.7 ติดตั้งทั้งอุปกรณ์ทางไฟฟ้า PLC หน้าจอ ให้ระบบทำงานตามที่กำหนดเป็นโหมดการทำงานที่แยกไว้ในขั้นต้น

1.5.8 ใช้การสอบเทียบเครื่องจากห้องปฏิบัติการ เช่น ค่าที่อ่านได้จาก EC meter เทียบกับ เครื่องวัด TDS จากยี่ห้อ HACH รุ่น HQ40d ปริมาณน้ำเทียบกับถังตวง และความดันเทียบกับ gate ที่อ่านได้จาก Analog pressure ด้านฮาร์ดแวร์

1.5.9 ทดสอบระบบด้วยการจ่ายน้ำให้กับเครื่อง ทำการสอบเทียบ calibrate เครื่องมือวัด

1.5.10 อุปกรณ์มาตรฐาน ทดสอบระบบความปลอดภัยในการตัดวงจรมอเตอร์ของเครื่อง

1.5.11 เก็บผลการทดลองที่วัดน้ำเข้าจากเซนเซอร์ขาเข้าและเทียบกับน้ำออก

1.5.12 สรุปผลการวิจัยและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ด้านฮาร์ดแวร์

1.6.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสำหรับการพัฒนาโปรแกรม PLC และ HMI Touch Scree

1.6.2 เซนเซอร์ EC meter, Flow rate, Pressure Gate

1.6.3 มอเตอร์ปั้มน้ำขาเข้า 1 Hp, ปั้มเครื่อง RO 2 Hp และ ปั้มฟุ้งเรซิน 100 W

1.6.4 โซลินอยล์วาล์ว 16 ตัวในการควบคุมการไหลของน้ำเข้า-ออกระบบ

1.6.5 Digital Multimeter (DMM) ด้านซอฟต์แวร์

1.6.6 โปรแกรม PI Studio เพื่อใช้เขียนหน้าจอ touch screen ใช้โปรแกรม EcoStruxure Machine Expert – Basic ใช้ในการเขียน PLC

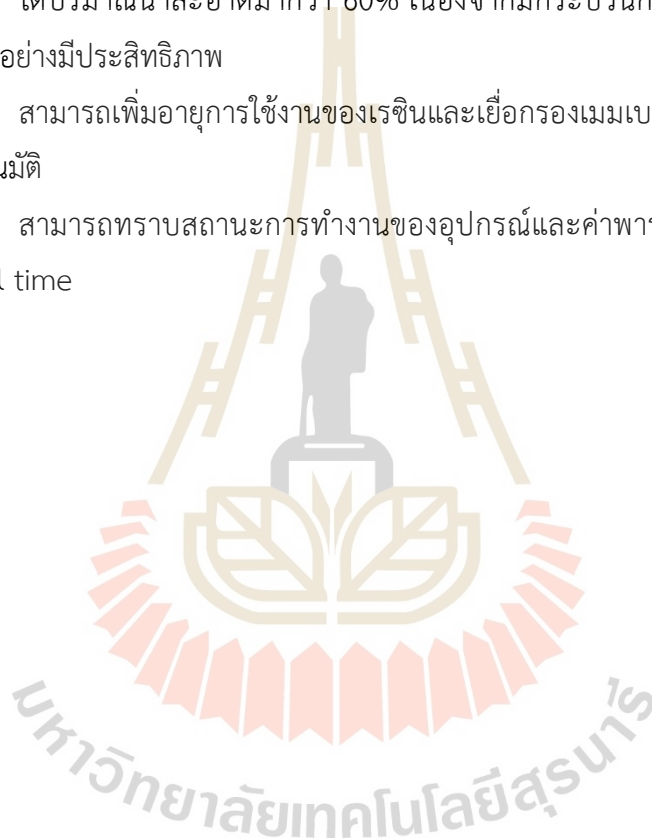
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ได้ระบบควบคุมเครื่องปรับปรุงคุณภาพน้ำอัตโนมัติโดยใช้เทคนิค Reverse Osmosis ร่วมกับกระบวนการ Water Softening ด้วย PLC ผ่านหน้าจอ HMI Touch Screen

1.7.2 ได้ปริมาณน้ำสะอาดมากกว่า 60% เนื่องจากมีกระบวนการเตรียมน้ำก่อนเข้าเยื่อกรองเมมเบรน อย่างมีประสิทธิภาพ

1.7.3 สามารถเพิ่มอายุการใช้งานของเรซินและเยื่อกรองเมมเบรนเนื่องจากมีระบบฟื้นฟูเรซินแบบ อัตโนมัติ

1.7.4 สามารถทราบสถานะการทำงานของอุปกรณ์และค่าพารามิเตอร์ของ sensor ในระบบแบบ real time



บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบควบคุมอัตโนมัติให้สอดคล้องกับเครื่องกรองน้ำที่ใช้เทคนิค reverse osmosis โดยการสืบค้นข้อมูลที่ได้จากอดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบกรองน้ำด้วย RO พบอยู่ในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมน้ำดื่มเพราะจำเป็นต้องเน้นในด้านคุณภาพน้ำและการกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำก่อนนำไปบริโภค โดยเฉพาะเชื้อโรค แต่จำเป็นต้องมีกระบวนการเตรียมน้ำที่เหมาะสมเพราะหากน้ำที่มีความกระด้างเข้ามาใช้ในระบบ RO อาจส่งผลทำให้เยื่อกรองมีการอุดตัน ทำให้ลดประสิทธิภาพของการกรองและ ส่งผลเสียต่อการใช้งานในเครื่องจักรได้ อีกทั้งงานวิจัยยังแสดงให้เห็นว่าระบบ PLC ยังเป็นที่นิยมและทันสมัยในการนำไปใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือกระบวนการทำงานต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม เช่น ควบคุมงานที่ทำตามลำดับก่อนหลัง งานในด้านการคำนวณ หรือรับคำสั่งสัญญาณแบบอนาล็อกเพื่อเป็นเงื่อนไขในการทำงานได้อย่างอัตโนมัติ โดยจะมีส่วนที่เป็นอินพุตและเอาต์พุต ที่สามารถต่อออกไปใช้งานได้ทันทีที่ PLC แต่มีความยากที่จะตรวจสอบสถานะการทำงานและค่าพารามิเตอร์จากเครื่องวัดในระบบ จึงจำเป็นต้องมีการใช้งานร่วมกับ HMI เพื่อมาเป็นตัวติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกับอุปกรณ์ควบคุมภายในระบบ เช่น การสั่งการ หรือ การตั้งค่าพารามิเตอร์จากผู้ใช้งาน การตรวจสอบสถานะการทำงานของ PLC และ กระบวนการทำงานได้แบบ real time ในส่วนนี้จึงนำเสนอการสำรวจวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปทฤษฎี หลักการ และวิธีการดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ รวมถึงอธิบายสาระสำคัญที่ได้จากการวิจัยในแต่ละบทความตามที่ผู้วิจัยได้รวบรวมไว้ โดยใช้ฐานข้อมูลที่เป็นแหล่งสะสมงานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี เช่น ฐานข้อมูล IEEE Science Direct หนังสือ และ เว็บไซต์ Google เป็นต้น โดยผู้วิจัยได้มีการสรุปบทความที่ได้ศึกษามาเกี่ยวกับงานโดยแยกออกเป็น ส่วน คือส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบการปรับปรุง 2 คุณภาพของน้ำและส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมอัตโนมัติเครื่องกรองน้ำด้วย PLC ที่ใช้งานร่วมกับ Human Machine Interface (HMI) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

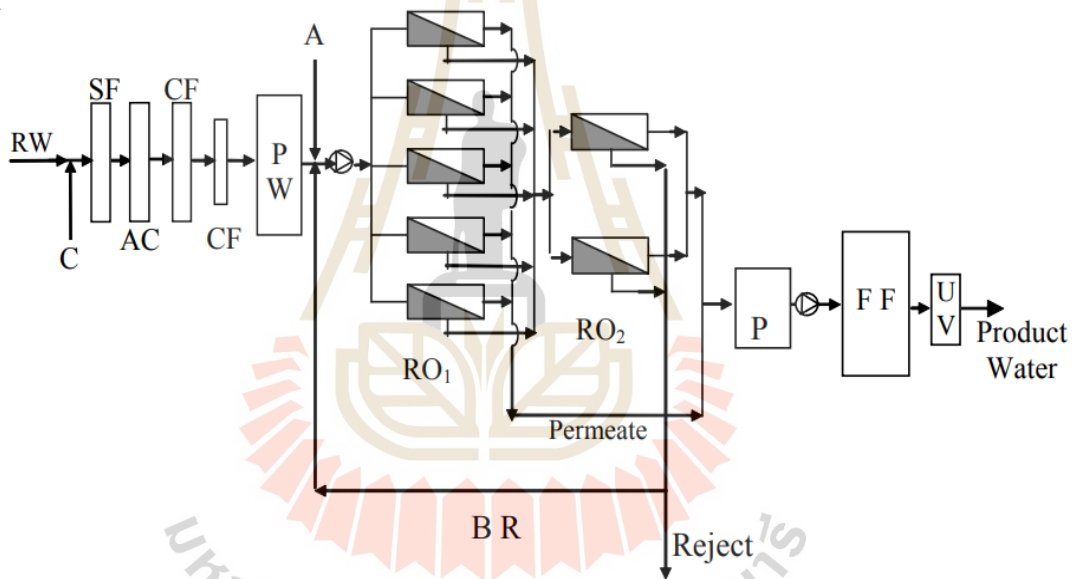
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการปรับปรุงคุณภาพของน้ำ

ในปี 2006 Mohamed Belkacem และคณะ นำเสนอการบำบัดน้ำบาดาลโดยวิธีการรีเวิร์สออสโมซิส ในโมดูลการรีเวิร์สออสโมซิสแบบสองขั้นตอนในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม ด้วยน้ำบาดาลได้รับการบำบัดโดยการรีเวิร์สออสโมซิสเพื่อกำจัดสารที่ละลายในน้ำออก ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการรีเวิร์สออสโมซิสสามารถปรับให้เข้ากับการบำบัดนี้ได้ดี การเก็บกักมีมากกว่า 95% ในจำนวนสารที่ละลายน้ำทั้งหมด โดยมี ค่าการนำไฟฟ้าทั้งหมดลดลงจาก $1,070 \mu\text{s} / \text{cm}$ เป็น $33 \mu\text{s} / \text{cm}$ โดยบทความได้กล่าวถึงกระบวนการเมมเบรนที่ขับเคลื่อนด้วยแรงดันเป็นทางเลือกการบำบัดในอุตสาหกรรมน้ำดื่ม โดยมีคนให้ความสนใจมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการบำบัดแบบธรรมดา ซึ่งกระบวนการเมมเบรนมีการแข่งขันกันด้านมีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นละออง และสิ่งปนเปื้อนที่ละลายน้ำ รวมทั้ง จุลินทรีย์ และเชื้อโรค ที่ก่อให้เกิดโรค ความกระด้างของน้ำ และการฆ่าเชื้อโรคจากสารตั้งต้นของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะการกรองโดยการใช้น้ำผ่านเยื่อเมมเบรนแสดงให้เห็นว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการกำจัดของแข็งที่แขวนลอยหรือละลายอยู่ในน้ำรวมถึงไอออนและสารประกอบอินทรีย์ ด้วยประการฉะนี้ สามารถใช้วิธีนี้เพื่อผลิตน้ำดื่มคุณภาพสูงที่ใช้เพื่อการอุตสาหกรรมได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม แต่อย่างไรก็ตาม ตะกอนของเมมเบรนที่เกิดจากการสะสมของสิ่งสกปรกบนพื้นผิวเมมเบรนคือสาเหตุสำคัญของความล้มเหลวของระบบรีเวิร์สออสโมซิส ซึ่งตะกอนของการกรองโดยการใช้น้ำผ่านเยื่อเมมเบรนเป็นปรากฏการณ์ซับซ้อนที่เกี่ยวข้องกับการสะสมของสารอินทรีย์ อนินทรีย์และวัสดุชีวภาพในรูปของอนุภาคหรือสารแขวนลอยคอลลอยด์ โดยตะกอนดังกล่าว ส่งผลกระทบต่อเป็นอันตรายหลายประการต่อเมมเบรนรวมถึง ทำให้การผลิตน้ำลดลง เนื่องจากการค่อย ๆ ลดลงของค่าพลาซิกซ์ โดยจำเป็นต้องเพิ่มความดันที่ใช้สำหรับให้อัตราการผลิตน้ำที่คงที่ อีกทั้งยังส่งผลให้อายุการใช้งานของเมมเบรนสั้นลงและส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำที่ผ่านการกรองจะลดลงตามไปด้วย ซึ่งตะกอนเป็นผลจากการอุดตันหรือปิดกั้นของรูพรุนของเมมเบรน อันเป็นผลมาจากการสะสมของอนุภาคและคอลลอยด์บนผิวเมมเบรนและการตกตะกอนของวัสดุที่ละลายน้ำขนาดเล็กภายในรูพรุน

วัสดุและวิธีการของบทความนี้เป็นการนำน้ำดิบจากแหล่งน้ำบาดาลในท้องถิ่นแอลเจียร์ มาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม โดยน้ำถูกส่งมาจากหน่วยปรับสภาพน้ำก่อนการบำบัด จากนั้น ก็เข้าสู่กระบวนการในโรงบำบัดรีเวิร์สออสโมซิสที่ทำงานในโหมดรีไซเคิลบางส่วนตามรูปแบบที่แสดงในรูปที่ 2 ที่ต้นน้ำของโรงงานโดยก่อนเข้าสู่ระบบ RO จะมีการฉีดน้ำยาป้องกันการเกิดตะกอนและการอุดตันของไส้กรองเมมเบรนเข้าไปเพื่อยับยั้งการตกตะกอนของสารที่ละลายในน้ำที่พื้นผิวเมมเบรน โรงบำบัดรีเวิร์สออสโมซิสที่แสดงในรูปที่ 2.1 ประกอบด้วยภาชนะรับความดันเจ็บบางจัดเรียงเป็นสองขั้นตอน: ขั้นแรกมีห้าโมดูลและขั้นที่สองมีสองโมดูล โดยน้ำทั้งในขั้นแรกคือน้ำที่ป้อนไปสู่ขั้นที่สอง การจัดเรียงนี้นำไปสู่การฟื้นตัวขึ้น 75% ภาชนะรับความดันแต่ละตัวของโรงบำบัดรีเวิร์สออสโมซิส

ประกอบด้วยเยื่อโพลีเอไมด์แบบแผ่นเกลียว 5 อัน (BW30LE-440 FilmTec) แรงดันที่ใช้ที่ต้นน้ำของแต่ละขั้นตอน RO1 และ RO2 คือ 12 บาร์ และ 7 บาร์ ตามลำดับ ส่วนหนึ่งของน้ำเกลือ RO ในขั้นที่สองถูกหมุนเวียนกลับไปยังส่วนบำบัดรักษา ในขณะที่ส่วนอื่น ๆ จะถูกสกัดไว้อย่างต่อเนื่อง โหมดการหมุนเวียนกลับนี้ทำให้เกิดการฟื้นตัวของน้ำที่ถูกสกัดเอาสารละลายไว้ได้ถึง 47% ในที่สุด น้ำที่ผ่านการกรองก็ผ่านไปยังตัวกรองสุดท้าย $1.2 \mu\text{m}$ จากนั้น ก็ถูกฆ่าเชื้อโดยการฉายรังสี UV และจัดส่งไปยังส่วนผลิตภัณฑ์

บทความได้นำเสนอการตรวจวัดคุณภาพของน้ำที่ผลิตได้ โดยจะมีการตรวจวัดพารามิเตอร์คุณภาพน้ำก่อนการบำบัด (RW) ตามขั้นตอนก่อนการบำบัด (PW) แล้วจึงเข้าสู่การบำบัดด้วยระบบรีเวิร์สออสโมซิส (P) แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนผังโรงบำบัดระบบรีเวิร์สออสโมซิส

บทความได้อธิบายผลลัพธ์และการอภิปรายว่าน้ำดิบที่ส่งมาจากน้ำบาดาลมีตัวถูกละลายและสารแขวนลอยเป็นจำนวนมาก (TDS ตั้งแต่ 757 mg/L ถึง 964 mg/L) นอกจากนี้องค์ประกอบของน้ำในแง่ของไอออนิกที่มีความสำคัญที่สุด แสดงให้เห็นว่าน้ำดิบอุดมไปด้วยซัลเฟตคลอไรด์และแคลเซียมสูง ซึ่งคุณภาพของน้ำที่ได้จากการปรับสภาพแสดงให้เห็นความขุ่นที่ลดลงมาสูงสุด 87% ลดลงจาก 1.3 NTU ถึง 0.167 NTU นอกจากนี้เราสังเกตเห็นว่าเยื่อกรองรีเวิร์สออสโมซิสทำให้เกิดการสกัดไอออนได้มากขึ้นของน้ำที่ปรับสภาพ สาเหตุหลักมาจากความเป็นไปได้ของกระบวนการ RO

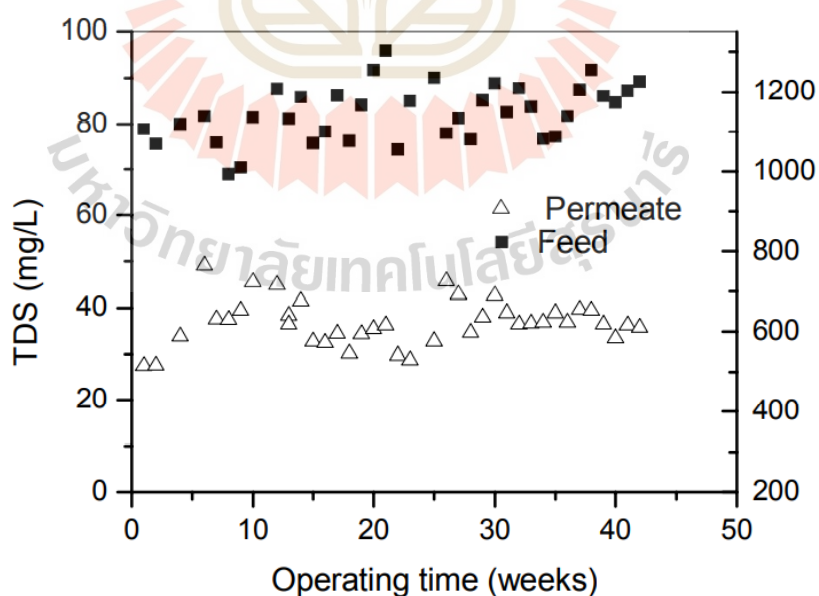
เปอร์เซ็นต์การสกัดเกิน 95% สำหรับไอออนที่วิเคราะห์โดยรวม อย่างไรก็ตามการสกัดของไนเตรตอยู่ที่ประมาณ 88.18% ซึ่งต่ำกว่าเล็กน้อยสำหรับสารที่ละลายในน้ำอื่น แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ผลลัพธ์ประสิทธิภาพของการกำจัดสารละลายในน้ำ

Parameters	Raw water	Pretreated water	Permeate	Purification
Turbidity, NTU	1.3	0.167	0	100
Conductivity, $\mu\text{s/cm}$	1280	1000	33.18	97
TH, $^{\circ}\text{F}$	49	42	0.6	98.57
Ca^{2+} , mg/L	159	128	5.79	95.47
Mg^{2+} , mg/L	23	20	1.6	92
Cl^{-} , mg/L	218	113	7.93	92.98
SO_4^{2-} , mg/L	130	140	1	99.28
Na^{+} , mg/L	92	63	2.53	95.98
K^{+} , mg/L	1	1	0.066	93.4
NO_3^{-} , mg/L	33.5	27.68	3.27	88.18
HCO_3^{-} , mg/L	310.4	271	12.2	95.5
TDS, mg/L	964.22	753.3	25	96.68
pH	7.22	7.71	6.6	—
TA	0	0	0	—

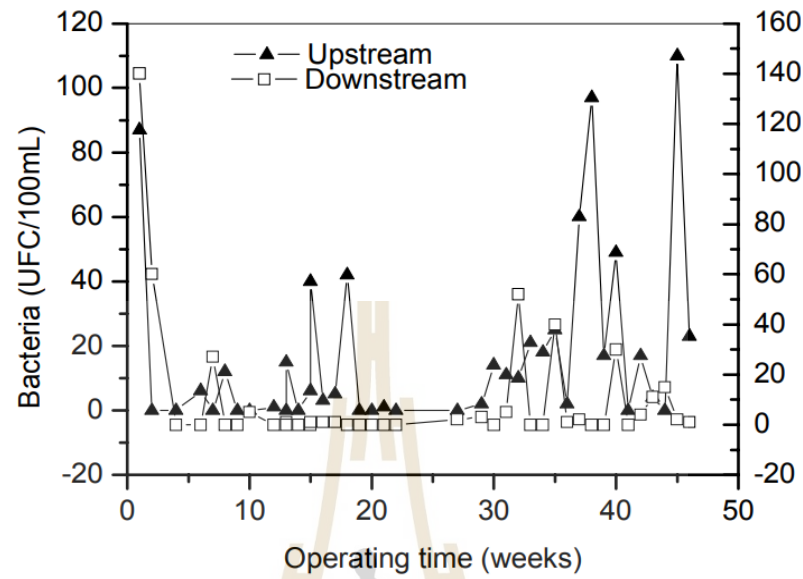
โดยการตรวจวัดคุณภาพของน้ำบาดาลที่ผ่านการกรอง โดยแยกผลการทดสอบออกเป็นด้านประสิทธิภาพดังต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพของการกำจัด TDS ด้วยระบบบรีเวียร์สออสโมซิส แสดงดังรูปที่ 2.2



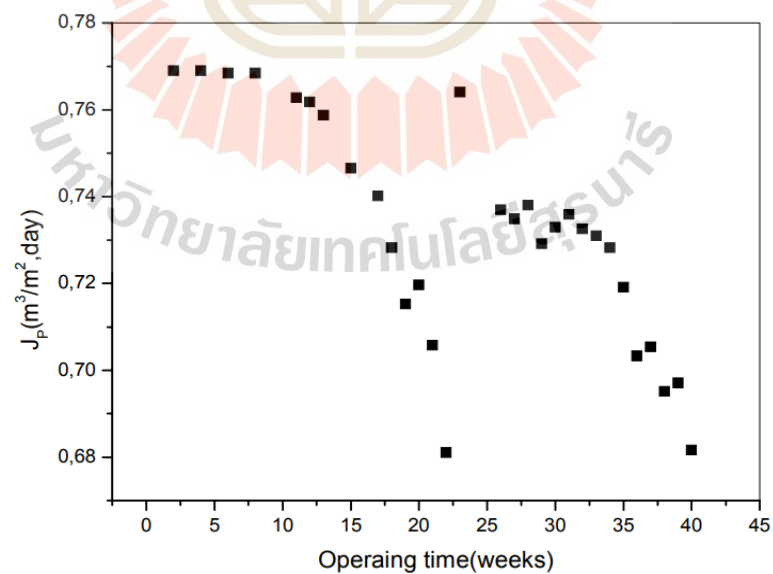
รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนความเข้มข้นของ TDS ในน้ำที่ผ่านการกรอง

2. ประสิทธิภาพในการกำจัดแบคทีเรีย แสดงดังรูปที่ 2.3



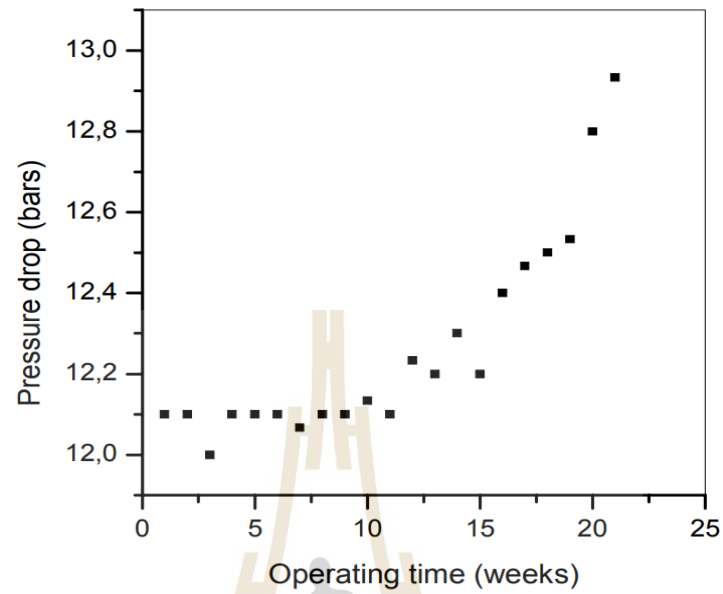
รูปที่ 2.3 การนับจำนวนแบคทีเรียที่ต้นน้ำและปลายน้ำ

3. วิวัฒนาการของค่าเฉลี่ยฟลักซ์ของน้ำที่ผ่านการกรอง แสดงดังรูปที่ 2.4



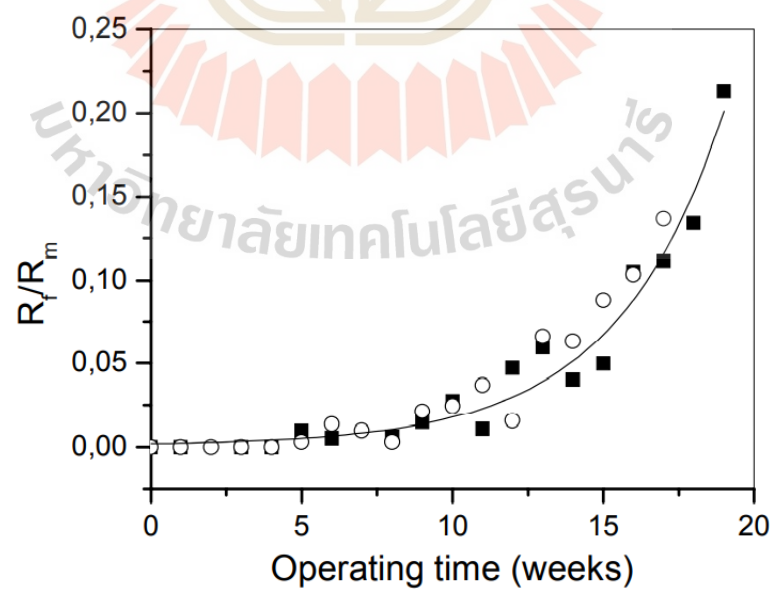
รูปที่ 2.4 ค่าฟลักซ์เฉลี่ยของน้ำที่ผ่านการกรองทั้ง 2 ชั้นของระบบ

4. ค่าอัตราความดันตกในช่วงการเดินระบบ แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แรงดันตกในโมดูล RO

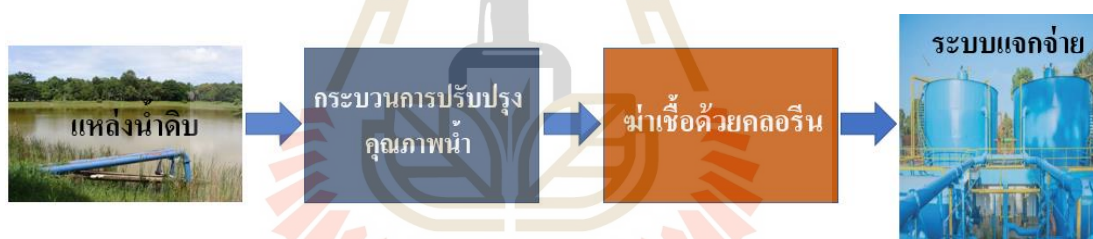
5. ความต้านทานสัมพัทธ์อันเนื่องจากการอุดตันของเมมเบรน แสดงดังรูปที่ 2.6



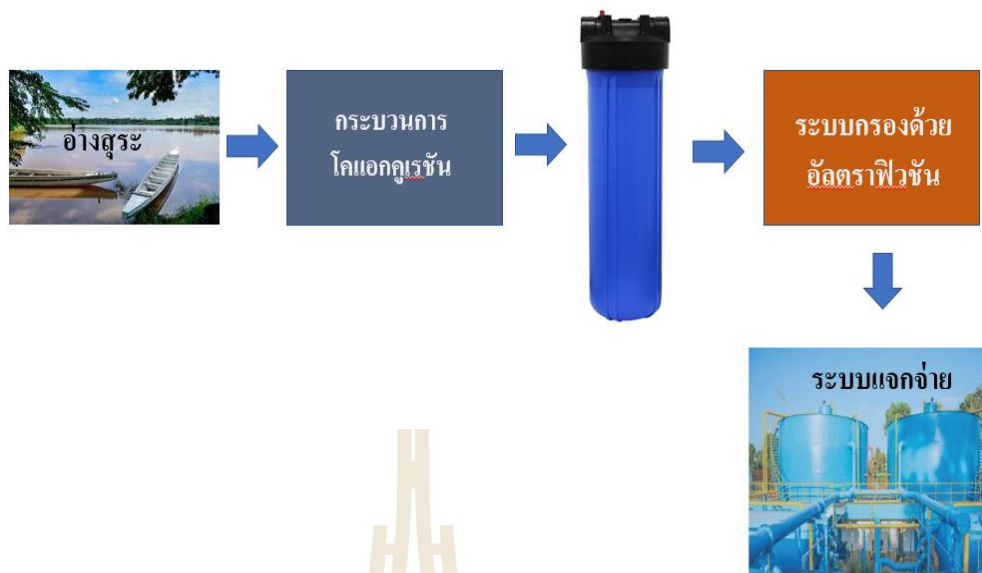
รูปที่ 2.6 ค่าความต้านทานสัมพัทธ์

โดยบทความได้กล่าวสรุปไว้ว่าการแสดงกระบวนการบำบัดน้ำแบบรีเวอร์สออสโมซิส สำหรับการผลิตน้ำจะมีความบริสุทธิ์สูงสุดนี้ได้ถูกตรวจสอบในเรื่องของการกรองและการกำจัดไอออน จุลินทรีย์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง หรือดูจากอีกด้านหนึ่ง คือกระบวนการบำบัดน้ำแบบรีเวอร์สออสโมซิส ช่วยลดการนำไฟฟ้า หรือกล่าวได้ว่าดูจากค่า TDS ของน้ำบาดาลที่ลดลงมากกว่า 95% และค่าฟลักซ์ของน้ำที่ผ่านการกรองจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามการลดลงของพารามิเตอร์นี้ปรากฏหลังจาก 20 สัปดาห์ของการทำงานของโรงบำบัด Reverse Osmosis นี้คือผลจากการสะสมตะกอนบนผิวของเมมเบรน

ในปี 2009 บุญชัย วิจิตรเสถียรและคณะ นำเสนอการประยุกต์ใช้กระบวนการกรองผ่านเยื่อกรองสำหรับการนำน้ำที่ชุมชนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ซึ่งปัญหาหลักของการนำน้ำผิวดินมาใช้เพื่อผลิตน้ำประปาเกิดจากการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural Organic Matter: NOM) ในปริมาณที่สูง อีกทั้งสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด กลิ่น รสชาติ การกัดกร่อน และการเจริญเติบโตขึ้นใหม่ของแบคทีเรียในระบบจ่ายน้ำ รวมทั้งสามารถก่อให้เกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรค ด้วยคลอรีน โดยคลอรีนอิสระจะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ธรรมชาติในขั้นตอนการผลิตน้ำประปา ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กระบวนการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ดังนั้น การกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) ในน้ำจึงมีความสำคัญต่อการเกิดสารตกค้างจากการฆ่าเชื้อโรค เช่น ไตรฮาโลมีเทน (THMs) และฮาโลอะซิติกแอซิด (HAAs) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง อีกทั้งยังเป็นข้อกำหนดสำหรับมาตรฐานน้ำดื่มและโดยการศึกษาการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM) และสถานะการเดินระบบกรองด้วยอัลตราฟิลเตรชันในน้ำผิวดินและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยน้ำผิวดินและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียจะถูกนำมาผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้น (Pretreatment) ด้วยกระบวนการโคแอกกูเลชันและกรองผ่านคาร์ทริก 100 ไมครอน ก่อนเข้าสู่ระบบกรองอัลตราฟิลเตรชัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กระบวนการกรองด้วยเยื่อกรองสำหรับกรองน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสระ

กระบวนการกรองด้วยเยื่อกรองสำหรับกรองน้ำผิวดินจากอ่างเก็บน้ำสระสามารถแบ่งขั้นตอนในการบำบัดออกได้ดังนี้ (1) หน่วยบำบัดขั้นเตรียมการ (Pretreatment) เป็นการกำจัดของแข็งขนาดใหญ่ที่ไม่ละลายน้ำออกด้วยตะแกรงเพื่อไม่ให้เป็นอุปสรรคในการบำบัดขั้นต่อไป (2) หน่วยบำบัดขั้นต้น (Primary Treatment) เพื่อลดมวลสารที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยสารอินทรีย์ ที่มีอยู่ในน้ำไปได้เพียงบางส่วน แต่มวลสารที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปมาก คือ มวลสารที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยด้วยกระบวนการตกตะกอน (Precipitation) หรือกระบวนการสร้างตะกอน (Coagulation-Flocculation) (3) หน่วยบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) เป็นกระบวนการปรับสภาพของน้ำดิบหรือน้ำเสีย เพื่อลดสารแขวนลอยที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำหน่วยบำบัดแบบนี้มักเป็นหน่วยบำบัดทางชีวภาพ โดยอาศัยจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ และจะทำให้น้ำทิ้งมีปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำเช่น การเติมอากาศเพื่อให้จุลินทรีย์เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำและ (4) หน่วยบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary Treatment) หรือเรียกว่าการบำบัดขั้นสูง (Advance Treatment) เป็นหน่วยบำบัดที่ต้องการนำเอาน้ำกลับมาใช้ใหม่ โดยมีคุณภาพที่ดีขึ้น

การกรองสิ่งปนเปื้อนขนาดเล็กด้วยการกรองขั้นสูง เช่น อัลตราฟิลเตรชัน ไมโครฟิลเตรชัน และการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับ (Reverse Osmosis) โดยส่วนมากเป็น ในการผลิตน้ำสะอาดจากน้ำบาดาลเพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรม เช่น สำหรับหม้อไอน้ำ และในกระบวนการผลิตบางอย่างที่ต้องใช้น้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง และเริ่มมีการใช้งานสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งตลอดจนมีการใช้กระบวนการบำบัดควบคู่กับเยื่อกรองอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration Membrane) และเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration Membrane)

โดยคุณสมบัติของเยื่อกรองเมมเบรนแต่ละประเภทเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องทราบ เนื่องจากต้องเลือกเยื่อกรองเมมเบรนให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานตามคุณลักษณะของน้ำและสภาวะในการเดินระบบเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้การใช้เทคโนโลยีเมมเบรนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งขนาดของรูพรุนและความสามารถในการกักกันเป็นคุณสมบัติของเยื่อกรองเมมเบรนอย่างแรกที่ต้องทราบ ยกตัวอย่างเช่น ความสามารถในการกักกันเกลือใช้บอกคุณลักษณะของเยื่อกรองเมมเบรนชนิดออสโมซิสผันทกลับ (Reverse Osmosis: RO) โดยที่ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบชนิดและความละเอียดของเยื่อกรองประเภทต่าง ๆ สามารถแยกได้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบชนิดของเยื่อกรองเมมเบรน [2]

กระบวนการ	ขนาดรูพรุน (nm)	ขนาดน้ำหนักโมเลกุล (Da)	แรงดัน (Unit x 100 kPa)	ความสามารถในการกำจัด
ไมโครฟิลเตรชัน	50-5,000	> 300,000	Pressure < 2	- แบคทีเรีย - คอลลอยด์ - โปรโตซัว
อัลตราฟิลเตรชัน	5-100	1,000-300,000	Pressure < 3	- แบคทีเรีย - ไวรัส - สารที่ละลายน้ำ ขนาด 10-500 kDa
นาโนฟิลเตรชัน	~ 1	100-1,000	Pressure 2-15	- สารที่มีขนาด 200-300 Da - เกลือประจุบวกสอง
ออสโมซิสผันทกลับ	< 1	10-100	Pressure >15	- ไอออนละลายน้ำ

และสิ่งหนึ่งที่ต้องให้ความสำคัญกับการเดินระบบการกรองคือในเรื่องของการอุดตันของเยื่อกรองเมมเบรนมักเกิดกับเยื่อกรองเมมเบรนที่มีรูพรุนแบบ อัลตราฟิลเตรชันและไมโครฟิลเตรชัน โดยขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่ป้อนเข้าซึ่งสามารถแบ่งได้ 4 ประเภท คือ

1. Organic Fouling ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของสารอินทรีย์ ซึ่งส่งผลให้ค่าฟลักซ์ลดลง โดยสารอินทรีย์ธรรมชาติยังเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการอุดตันที่เกิดจากการสะสมที่ผิวหน้าและช่องว่างของเยื่อกรอง

2. Inorganic Fouling การอุดตันที่เกิดจากสารอนินทรีย์ เกิดจากการสะสมของสารอนินทรีย์ที่ผิวเยื่อกรองเมมเบรน เช่น สารประกอบโลหะ แคลเซียม (Calcium) แมกนีเซียม (Magnesium) คาร์บอนเนต (Carbonate) ซัลเฟต (Sulfate) และเหล็ก (Iron) เป็นต้นทำให้ผิวหน้าของเมมเบรนหนาขึ้นหรือช่องว่างภายในรูพรุนลดลง ตะกอนถูกรวมตัวกันเมื่อสารเคมามีความเข้มข้นเกินจุดอิ่มตัว ซึ่งจะสร้างชั้นความเข้มข้นบนผิวเยื่อกรองที่เรียกว่าการสะสมของชั้นเค้ก

3. Colloid/Particle Fouling ในที่นี้หมายถึงอนุภาคที่มีขนาด 1 nm ถึง 1 μm โดยอนุภาคดังกล่าวอาจประกอบไปด้วยสารประกอบอินทรีย์ คอลลอยด์ อนินทรีย์ สำหรับสหารายแบคทีเรีย และสารอินทรีย์ธรรมชาติถูกจัดอยู่ในกลุ่มของคอลลอยด์

4. Microbial Fouling การอุดตันจากสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก การอุดตันของจุลินทรีย์เป็นผลมาจากการรวมตัวกันของสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ บนผิวหน้าของเยื่อกรอง เมื่อแบคทีเรียสัมผัสกับเยื่อกรองนานขึ้นจะก่อให้เกิด EPS หรือ Extracellular Polymetric Substance ซึ่งมีลักษณะชั้นเป็นโคลน

สำหรับการเดินระบบด้วยการไหลแบบ Cross Flow พบว่าอัตราการไหลผ่านเยื่อกรอง (Flux) ที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อความดันที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการสะสมของอนุภาคที่ผิวหน้าเยื่อกรอง เมื่อทำการเดินระบบในช่วงที่หนึ่ง (เริ่มต้น) อัตราการไหลผ่านเยื่อกรอง (Flux) จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นในช่วงที่สองอัตราการไหลผ่านเยื่อกรองเป็นแบบเอกโพเนนเชียลและในช่วงที่สามพบว่าอัตราการไหลผ่านเยื่อกรองเริ่มคงที่ค่าความดันสูง เปรอร์เซ็นต์กักกัน หมายถึง จำนวนเปอร์เซ็นต์ที่เยื่อเมมเบรนสามารถกักกักตัว ถูกละลายเอาไว้มิให้ผ่านเมมเบรน ดังสมการ (2.1)

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \quad (2.1)$$

เมื่อ R คือ อัตราการกักกันตัวถูกละลายออกจากน้ำ
 C_p คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในน้ำเพอมีเอท
 C_f คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในน้ำป้อนเมมเบรน

ค่าเพอมีเอทฟลักซ์ หมายถึง อัตราการไหลของน้ำเพอมีเอทผ่านพื้นที่ผิวเมมเบรน มีหน่วยเป็นปริมาตรต่อพื้นที่ผิวเมมเบรนต่อเวลา มีความสัมพันธ์กับแรงขับเคลื่อน และสภาพการซึมผ่านเมมเบรนของตัวทำละลาย คำนวณได้จากสมการ (2.2)

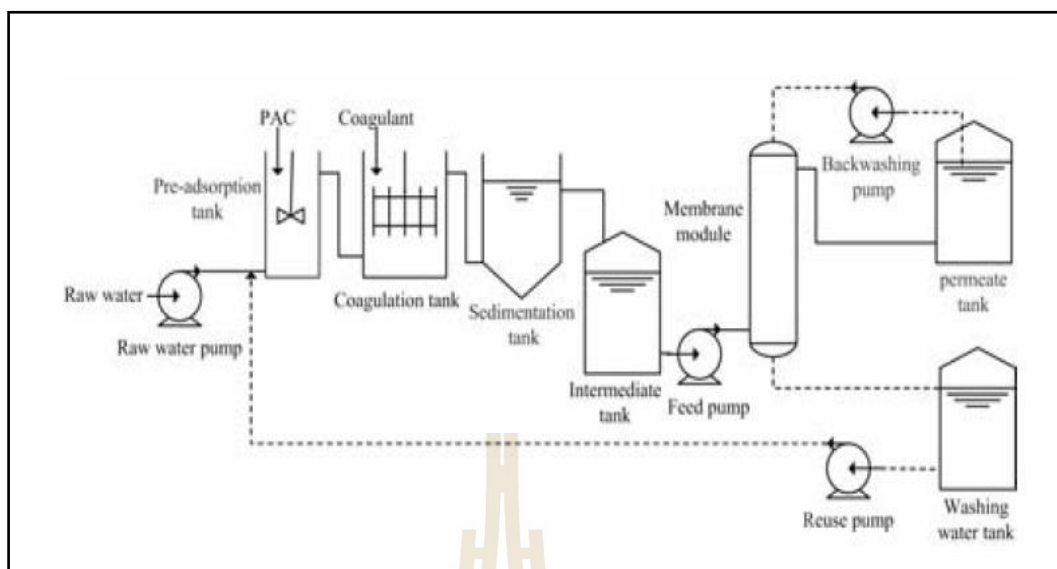
$$J = \frac{\Delta P - \Delta \pi}{\mu R} \quad (2.2)$$

เมื่อ	J	คือ	ฟลักซ์ของสารละลายผ่านเมมเบรน ($m^3/m^2 \cdot sec$)
	ΔP	คือ	ผลต่างของความดันที่ใช้กับสารละลาย (Pascal)
	$\Delta \pi$	คือ	ผลต่างความดันออสโมติกของสารละลาย (Pascal)
	μ	คือ	ความหนืดของสารละลาย (Pascal/sec)
	R	คือ	ความต้านทานต่อการไหลผ่าน (Per meter)

สุดท้ายแล้วเมื่อทำการเดินระบบเป็นระยะเวลาหนึ่งสังเกตได้ว่าจะเกิดค่าฟลักซ์ที่ลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการที่เยื่อกรองเมมเบรนเกิดการอุดตัน (Fouling) บนผิวหน้าและภายในรูพรุนของเยื่อกรอง จึงจำเป็นต้องทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนเพื่อให้เยื่อกรองมีสภาพที่ใกล้เคียงกับเยื่อกรองใหม่มากที่สุด และเพื่อยืดอายุการใช้งานด้วยวิธีที่เหมาะสม โดยการทำความสะอาดเยื่อกรองเมมเบรนนั้น แบ่งออกเป็น 2 วิธีหลัก คือ (1) วิธีทางกายภาพ (Physical Method) เป็นการทำความสะอาดที่ใช้การเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงาน เช่น การเพิ่มอัตราการไหล การขูดชั้นสะสมออกจากหน้าผิวด้วยฟองน้ำ การล้างกลับ (Back Washing) เป็นต้น (2) วิธีทางเคมี (Chemical Method) เป็นการใช้สารเคมีทำความสะอาดเยื่อกรองเช่น กรด ต่าง เอ็มไซม์ เป็นต้นวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี

ในปี 2011 Yi Wang และคณะ ได้นำเสนอ การเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำและความขุ่นน้อยโดยปรับการนำน้ำล้างเมมเบรนกลับมาใช้ใหม่ โดยการการรีไซเคิลน้ำล้างเมมเบรนอัลตราฟิลเตรชัน (UF) การใช้กระบวนการ PAC ร่วมกับกระบวนการ UF โดยมีการตรวจสอบในการบำบัดน้ำที่อุณหภูมิต่ำและความขุ่นต่ำ ผลปรากฏว่าการนำน้ำล้างเมมเบรนกลับมาใช้ซ้ำสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการตกตะกอนและชะลอการอุดตันของเมมเบรนได้เป็นอย่างดี โดยดูจากค่าเฉลี่ย DOC เช่น อลูมิเนียมลดลงเหลือ $2.21 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ และ $0.081 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ ตามลำดับ

โดยบทความได้นำเสนอกระบวนการ coagulation ใช้ในโรงบำบัดน้ำหลายแห่งซึ่งเป็นการกระบวนการที่ได้รับการยอมรับอย่างดีในการกำจัดอนุภาคและสารอินทรีย์ในการบำบัดน้ำดื่ม ซึ่งจากปัญหานี้ วิศวกรและช่างเทคนิคได้กังวลมากเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการตกตะกอนที่น้อยสำหรับน้ำดิบที่มีอุณหภูมิต่ำและความขุ่นต่ำ ซึ่งอุณหภูมิต่ำมีผลเสียอย่างสำคัญต่ออัตราการรวมตัว ไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ในการตกตะกอน ซึ่งเป็นสิ่งที่เป็ปฏิกิริยาที่สำคัญสำหรับการทำให้อนุภาคแขวนลอยและสารอินทรีย์ไม่เสถียรภาพ ในน้ำที่มีความขุ่นต่ำ การที่ขาดแหล่งของ (nucleating sites) ส่งผลในทางลบที่ต่อการรวมตัวของตะกอน (floc) ซึ่งสะท้อนเห็นถึงความไม่มีประสิทธิภาพของ coagulation and การตกตะกอน มีรายงานว่า การใช้น้ำกรองซ้ำน้ำ ไม่เพียงแต่ช่วย coagulation ในน้ำขุ่นต่ำ แต่ยังช่วยประหยัดน้ำจากแหล่งกำเนิดและการใช้สารตกตะกอน แต่ยังประหยัดน้ำและสารเคมีชนิดอนินทรีย์ที่เร่งการตกตะกอน เช่น สารส้ม



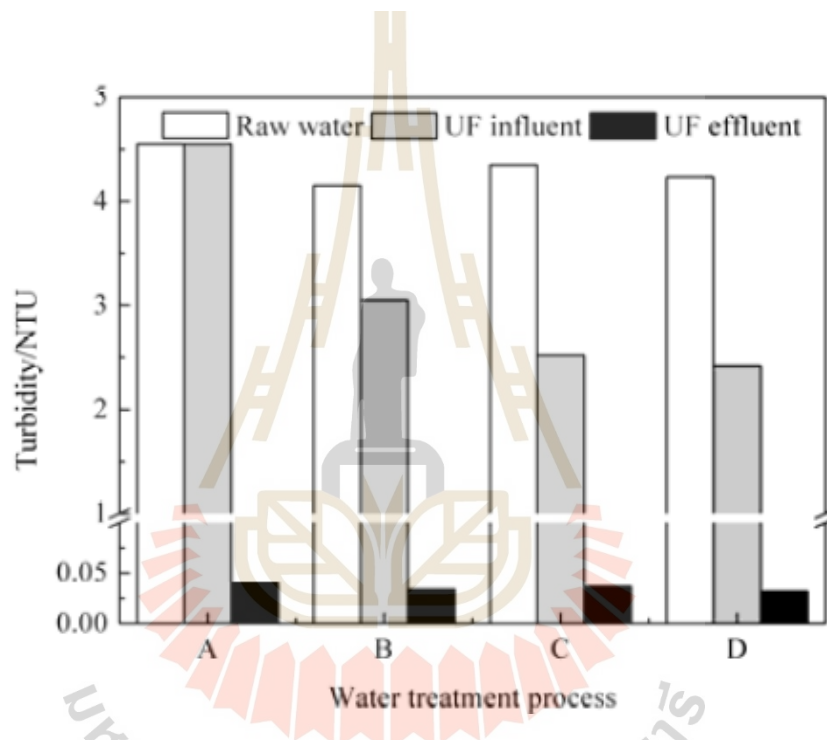
รูปที่ 2.9 กระบวนการทำงานของระบบเครื่องกรองน้ำแบบ RO

น้ำดิบได้มาจากอ่างเก็บน้ำที่ตั้งอยู่ในแม่น้ำเหลืองตอนล่างของจีน แม้ว่าคุณภาพน้ำของ อ่างเก็บน้ำเปลี่ยนไปตามฤดูกาล ในฤดูหนาวมักมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำและมีความขุ่นต่ำ ลักษณะของน้ำดิบและน้ำล้างเมมเบรนที่ใช้ในการศึกษาสรุปไว้ในตารางที่ 2.3

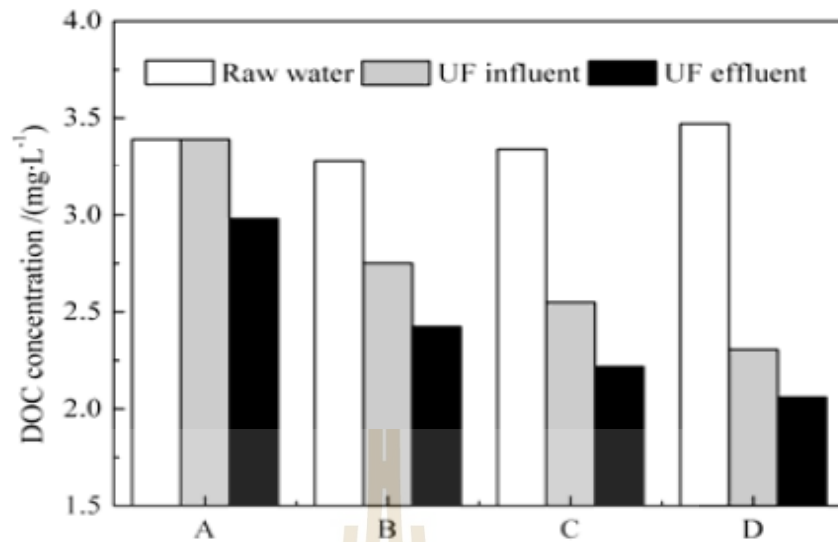
ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะของน้ำดิบและน้ำล้างเมมเบรน

Parameter	Raw Water	Washing Water
Temperature / C°	2.5 – 4.2	2.5 – 4.2
Turbidity / NTU	2.98 – 5.34	8.50 – 17.12
pH	7.86 – 8.67	7.74 – 8.45
Parameter	Raw Water	Washing Water
DOC/ ($mg \cdot L^{-1}$)	2.98 – 3.59	3.54 – 5.17
UV254/ cm^{-1}	0.047 – 0.059	0.042 – 0.051

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ที่ได้กล่าวถึงกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งสี่ขั้นตอนที่แตกต่างกัน ได้แก่ การใช้กระบวนการ UF ของน้ำดิบโดยตรง (บันทึกเป็นกระบวนการ A) การใช้กระบวนการ coagulation+UF (บันทึกเป็นกระบวนการ B), การใช้กระบวนการนำ reuse ของน้ำล้างเมมเบรนกลับมาใช้ใหม่ + coagulation + UF (บันทึกเป็นกระบวนการ C) และ การใช้กระบวนการของ PAC + การนำน้ำล้างเมมเบรนกลับมาใช้ใหม่ + coagulation + UF (บันทึกเป็นกระบวนการ D) ตามลำดับ โดยแสดงผลการทดสอบคุณภาพน้ำที่ได้จากกระบวนการทั้ง 4 กระบวนการได้ดังรูปที่ 2.10 ถึง รูปที่ 2.11



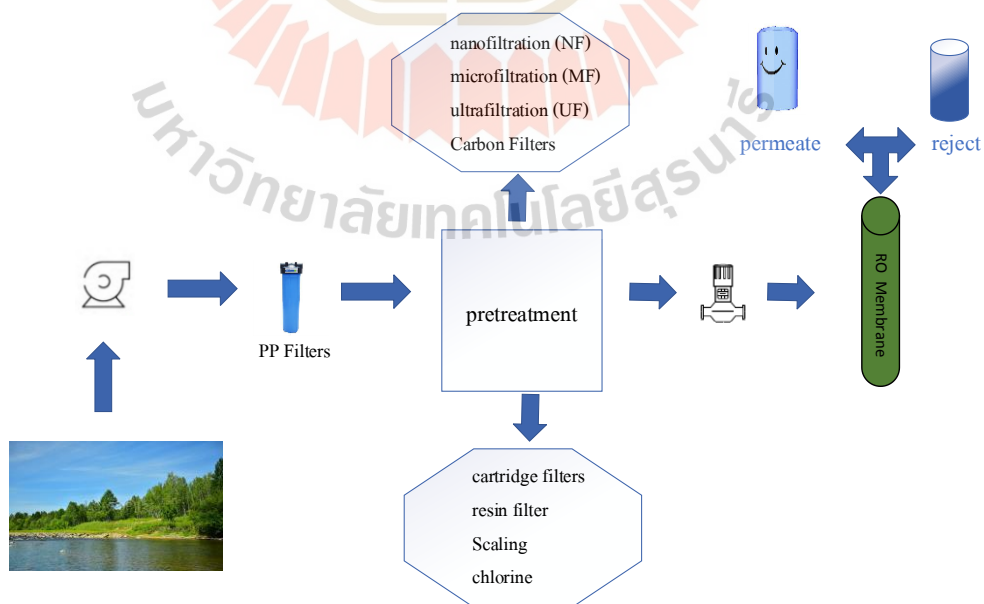
รูปที่ 2.10 ค่าความขุ่นเฉลี่ยของน้ำที่ได้จากการกรองถึงเมมเบรนทั้งน้ำดิบและน้ำทิ้ง



รูปที่ 2.11 ค่าเฉลี่ยของสารละลายของแข็งในน้ำจากการกรองถึงเมมเบรนทั้งน้ำดิบและน้ำทิ้ง

จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการนำน้ำล้างเมมเบรนกลับมาใช้ใหม่ของทั้ง 4 กระบวนการพบว่า (กระบวนการ D) สามารถปรับปรุงการกำจัดอนุภาคได้ และเพิ่มประสิทธิภาพให้เมมเบรนในการบำบัดน้ำดิบที่มีอุณหภูมิต่ำ และความขุ่นต่ำ

ในปี 2016 Jane Kucera ได้นำเสนอเรื่องกระบวนการกรองด้วย Reverse Osmosis โดยกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ กระบวนการกรองด้วย Reverse Osmosis ดังนี้คือ



รูปที่ 2.12 กระบวนการกรองด้วยระบบ Reverse Osmosis แบบทั่วไป

จากรูปที่ 2.12 แสดงกระบวนการกรองด้วยระบบ Reverse Osmosis แบบทั่วไป ประกอบด้วย ขั้นตอน ดังนี้ คือ 1) การสูบน้ำเข้ามายังการกรองด้วยไส้กรอง PP หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการกรองแบบหยาบ 2) การนำน้ำมาปรับสภาพโดยกระบวนการต่าง ๆ อาทิเช่น กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนด้วยเรซิน ซึ่งเป็นการกำจัดน้ำกระด้าง โดยแยก แร่ธาตุหินปูนต่าง ๆ ออกจากน้ำ ทำให้ได้น้ำที่เรียกว่า Water Softening หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ากระบวนการ pretreatment 3) การใช้ปั๊มน้ำแรงดันสูงเพื่อผลักเอาน้ำที่ผ่านขั้นตอนการ pretreatment แล้ว ให้ไหลเข้าสู่เมมเบรน 4) เมื่อน้ำเข้ามายังเมมเบรน จะเกิดการคัดแยกน้ำขึ้นมาอีกขั้นตอนหนึ่ง เพื่อให้สามารถจัดการกับน้ำที่ผ่านตัวเครื่องกรองหรือผ่านระบบ RO ทั้งหมดได้ โดยถ้ามีน้ำที่คุณภาพไม่ดีเข้ามาในกระบวนการนี้จะทำให้เมมเบรนมีการทำงานที่หนัก 5) น้ำจะถูกกักการคัดแยกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ น้ำบริสุทธิ์ และน้ำที่มีความเข้มข้นของเกลือหรือน้ำทิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.12 และเนื่องจากเยื่อกรองเมมเบรนจะยอมให้เฉพาะโมเลกุลของน้ำไหลผ่านได้ ซึ่งไอออนต่าง ๆ ของเช่น เกลือ จะถูกเมมเบรนผลักดันทำให้ไม่สามารถผ่านได้ ส่วนโมเลกุลที่ไม่ถูกเมมเบรนผลักก็จะถูกกำจัดโดยการกรอง โดยระบบ Reverse Osmosis ที่มีความสามารถในการกำจัดสารละลาย และคอลลอยด์ อาทิเช่น สารละลายในน้ำ (TDS) ความกระด้าง และสารอินทรีย์ต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งในการกำจัดอนุภาคต่างที่กล่าวมาข้างต้น จะต้องมิตัวชีวิตเพื่อบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการกรองต่าง ๆ เช่น

ประสิทธิภาพของปริมาณการกรอง (%Recovery) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำสะอาดที่ผลิตได้ต่อปริมาณน้ำเข้าระบบที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำสะอาดซึ่งมีสมการดังนี้

$$\% \text{Recovery} = 100 \times \frac{Q_p}{Q_f} \quad (2.3)$$

เมื่อ Recovery คือ ปริมาณน้ำสะอาดที่ผลิตได้ต่อปริมาณน้ำที่เข้าระบบ
 Q_p คือ ปริมาณน้ำสะอาด
 Q_f คือ ปริมาณน้ำที่เข้าระบบ

เช่น มีน้ำดิบที่เข้ามาในระบบปริมาณ 100 ลิตร โดยผ่านการกรองแล้วได้น้ำสะอาด 75 ลิตร น้ำทิ้ง 25 ลิตร แสดงว่าเราจะได้ประสิทธิภาพในการกรองที่ 75 % ประสิทธิภาพด้านการกำจัด (% Rejection) หมายถึง อัตราส่วนความเข้มข้นสารละลายของน้ำสะอาดต่อความเข้มข้นสารละลายของน้ำที่ป้อนเข้าระบบ

$$\% \text{Rejection} = \left(\frac{C_f - C_p}{C_f} \right) \times 100 \quad (2.4)$$

เมื่อ	Rejection	คือ	ความเข้มข้นสารละลายของน้ำสะอาดต่อความเข้มข้นสารละลายของน้ำที่ป้อนเข้าระบบ
	C_f	คือ	ความเข้มข้นสารละลายของน้ำเข้าระบบ
	C_p	คือ	ความเข้มข้นสารละลายของน้ำสะอาด

ซึ่งประสิทธิภาพโดยทั่วไปในการกำจัดอนุภาคของเมมเบรนที่อุณหภูมิห้อง โดยมีค่า PH 7.5 จะแสดงดังตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบการกำจัดแร่ธาตุในน้ำของระบบ RO



ตารางที่ 2.4 เปอร์เซ็นการกำจัดแร่ธาตุในน้ำของระบบ RO

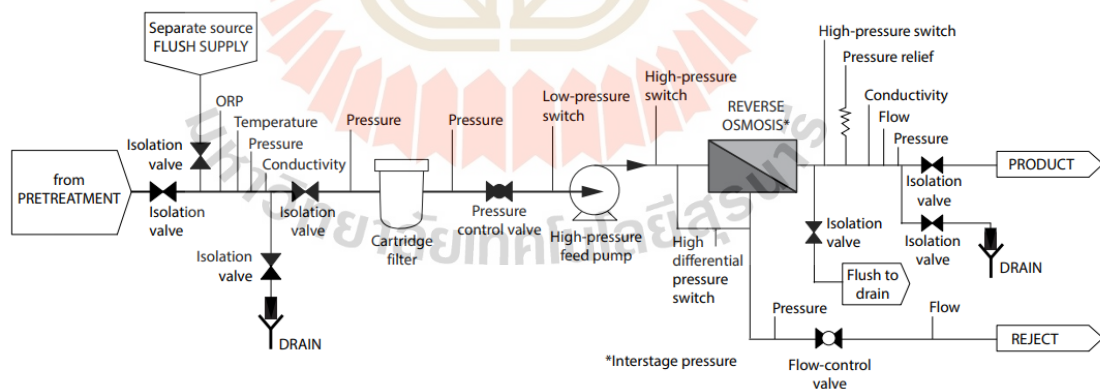
Species	Rejection (%)
Sodium	92-98
Calcium	93-99+
Magnesium	93-98
Potassium	92-96
Iron	96-98
Manganese	96-98
Aluminum	96-98
Ammonium*	80-90
Copper	96-99
Nickel	96-99
Zinc	93-96
Silver	94-97
Mercury	93-99
Hardness	92-98
Chloride	96-99
Biocarbonate	96-99
Sulfate	96-99+
Fluoride	92-95
Silicate	92-95
Phosphate	96-98
Bromide	90-95
Borate	30-50
Chromate	85-95
Cyanide	90-99+

เนื่องจาก เมมเบรนมีความละเอียดสูงซึ่งผ่านได้แค่โมเลกุลของน้ำ เมื่อมีการเดินระบบ หากน้ำดิบที่ป้อนเข้ามายังระบบ RO มีตะกอน และ สารแขวนลอยต่าง ๆ เช่น คอลลอยด์ สารอินทรีย์ จุลินทรีย์ หรือสารละลาย เจือปนอยู่จะทำให้เกิดการสะสมบนผิวหน้าของเมมเบรนและในช่องน้ำไหลในมัดเมมเบรน ทำให้ขัดขวางการไหลของน้ำที่จะซึมผ่านเมมเบรน ส่งผลให้กำลังการผลิตน้ำสะอาดของระบบกรองน้ำ RO และประสิทธิภาพลดลง ต้องใช้แรงดันที่เพิ่มขึ้น บางครั้งเกิดการสะสมของตะกอนที่หนาขึ้น เกิดช่องว่างภายในรูพรุนลดลงหรือทางน้ำไหลในมัดเมมเบรนแคบลง ทำให้แรงดันสูญเสียของมัดเมมเบรนสูงขึ้น จนทำให้แรงดันภายในมัดเมมเบรนและนอกเมมเบรนต่างกันมาก จน

อาจทำให้มีด เมมเบรนแตกเสียหายได้ จึงควรมีการเตรียมน้ำก่อนเข้าการกรองด้วยระบบ Reverse Osmosis ซึ่งกระบวนการเตรียมน้ำนั้นเรียกว่ากระบวนการ pretreatment ซึ่งมีหลายวิธีการ อาทิ เช่น

การใช้กระบวนการ microfiltration (MF) ultrafiltration (UF) และ nanofiltration (NF) เป็นกระบวนการเตรียมน้ำเนื่องจากสามารถกำจัดจุลินทรีย์ได้ที่มาจากแหล่งน้ำได้ แต่อย่างไรก็ตาม ขนาดรูพรุนของเมมเบรนประเภท UF membrane และ MF membrane มีขนาดใหญ่กว่าที่จะกำจัดสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ ดังนั้น จึงมักจะทำให้มีการอุดตันควบคู่ไป กับกระบวนการ MF membrane และ UF membrane เพื่อที่จะลดศักยภาพของการอุดตันใน RO membrane ในส่วนของ Nanofiltration membranes จะมีความละเอียดในการกรองมากกว่า UF membranes และ MF membranes ซึ่งมีความสามารถในการกำจัด สารละลาย จุลินทรีย์ คอลลอยด์ และ สารอินทรีย์ได้ แต่จะมีความละเอียดน้อยกว่า RO membranes โดยน้ำที่จะผ่านเข้ามากรองใน NF membranes นั้น จะต้องเป็นน้ำที่ใสสะอาดปราศจากสารแขวนลอย มิฉะนั้น จะเกิดการอุดตันในเมมเบรนอย่างถาวร ซึ่งหลักการทำงานจะคล้ายกันกับ RO เพียงแต่เยื่อกรองจะมีความละเอียดที่น้อยกว่า RO membranes

การใช้ Cartridge Filter (ใส่กรองแบบแท่ง) สำหรับกรองของเหลวต่าง ๆ สามารถกรอง สิ่งปนเปื้อน ตะกอน สสารหรืออนุภาคต่าง ๆ ซึ่งโดยทั่วไปจะนิยมนำมาใช้ในกระบวนการเตรียมน้ำ (pretreatment) เพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งปนเปื้อนเข้าไปยังระบบ RO ดังแสดงในรูปที่ 2.13



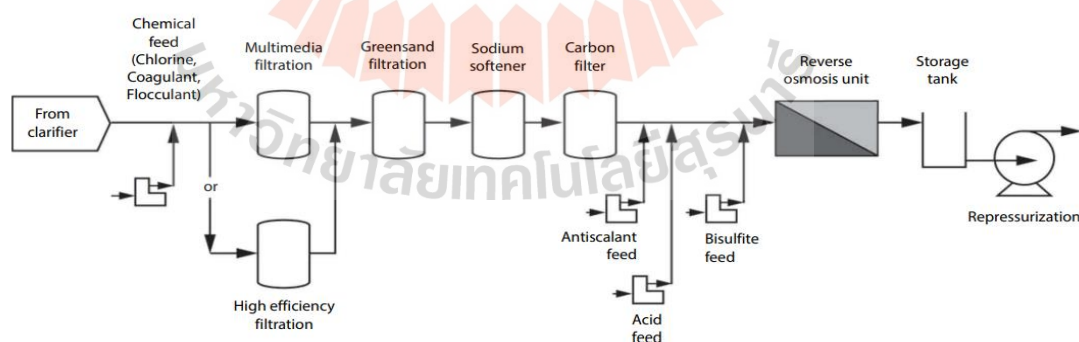
รูปที่ 2.13 การใช้ Cartridge Filter เป็นกระบวนการเตรียมน้ำก่อนเข้าระบบ RO

การฉีด คลอรีน (Chlorine) เป็นการใส่สารเคมีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายซึ่งเป็นสารฆ่าเชื้อโรค จุลินทรีย์ ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยจะมีการฉีดลงไปในช่วงของต้นน้ำที่ป้อนเข้ามา ซึ่งถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเตรียมน้ำก่อนเข้าระบบ RO แต่จำเป็นต้องมีการจำกัดปริมาณสารโดยในน้ำประปา

จะอยู่ที่ประมาณ 0.2-1.2 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีต้องมีความระมัดระวังในการใช้ เช่น คลอรีน เมื่อมีความเข้มข้นจะกัดกร่อนโลหะเกือบทุกชนิด และเป็นอันตรายต่อร่างกายเมื่อสัมผัสกับคลอรีนจะมีอาการอักเสบของผิวหนัง สุดคมเข้าไปจะมีการหายใจไม่สะดวก แน่นหน้าอก หรือถ้าสุดคมมากไปอาจทำให้เกิดอันตรายได้

การทำให้ตกตะกอน (coagulation) คือกระบวนการทำให้สารแขวนลอยค่อย ๆ ตกตะกอนนอนก้นภาชนะ หรือใช้สารตัวกลางที่ทำให้อนุภาคของตะกอนมาเกาะ เมื่อมีมวลมากขึ้น น้ำหนักจะมากขึ้นจะตกตะกอนได้เร็วขึ้น เช่น ใช้สารส้มแกว่ง อนุภาคของสารส้มจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้โมเลกุลของสารที่ต้องการตกตะกอนมาเกาะ ตะกอนจะตกเร็วขึ้น ซึ่งการตกตะกอนของเรียกว่า flocculation แต่การใช้สารเร่งการตกตะกอนที่มากเกินไปอาจส่งผลเสียต่อเมมเบรนเพราะมีความเข้มข้นของสารละลายที่สูง จึงนำไปสู่การอุดตันในเยื่อเมมเบรนได้ และอาจส่งผลต่อสุขภาพหากร่างกายได้รับในปริมาณที่มากเกินไป

สารเคมีป้องกันตะกรัน (Anti-Scale) หรือน้ำยาป้องกันการเกิดตะกรัน ใช้ในการควบคุมการเกิดตะกรันจาก Calcium Sulfate, Calcium Carbonate, Barium Sulfate ได้อย่างมีประสิทธิภาพช่วยทำให้ผิวหน้าเมมเบรนสะอาดด้วยความสามารถในการทำให้สิ่งอุดตันเกิดการกระจายตัว แสดงดังรูปที่ 2.14 โดยแอนตี้สเกลที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดมีหลายรุ่น หลายยี่ห้อ การใช้ Anti-Scale จึงควรปรึกษาผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ เนื่องจาก Anti-Scale แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการควบคุมการเกิดตะกรันต่างกัน และควรใช้ในปริมาณที่กำหนด หากมีความเข้มข้นสูงเกินไป จะทำให้เกิดการอุดตัน หรืออาจเกิดความเสียหายต่อเยื่อผิวของเมมเบรนได้

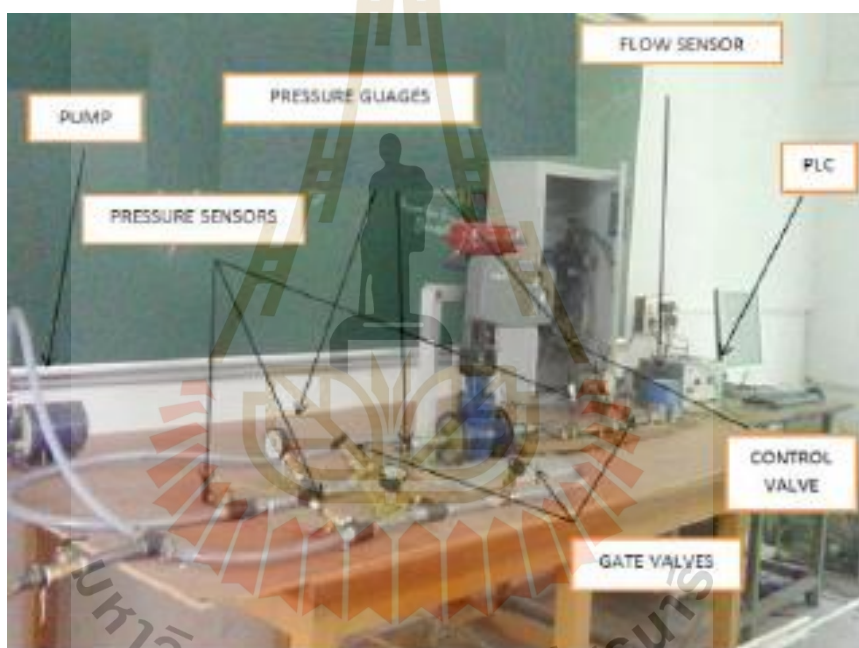


รูปที่ 2.14 การฉีดสารในการป้องกันการเกิดตะกรันในเมมเบรน

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมอัตโนมัติโดยใช้ PLC ร่วมกับ HMI

ในปี 2016 E.B.Priyanka และคณะ ได้นำเสนอการตรวจสอบระยะไกลและการควบคุมความดันและการไหล ในระบบท่อขนส่งน้ำมันโดยใช้ PLC เป็นตัวควบคุมโดยอาศัยข้อมูลที่สำคัญของ

ปีโตรเลียมได้มาจากทะเล และปัญหาสำคัญที่คนงานต้องเผชิญด้านการคงค่าความดันและการไหลที่ต้องการจากต้นถึงปลายทาง ในบทความนี้พารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น ความดันและการไหลจะถูกรักษาไว้อย่างต่อเนื่องโดยใช้วาล์วควบคุมขึ้นอยู่กับความแตกต่างกันของความดันและอัตราการไหลของท่อส่ง พารามิเตอร์เหล่านี้จะได้รับการตรวจสอบและควบคุมโดยใช้ หน้าจอ HMI เข้ามาช่วย ดังนั้นระบบอัตโนมัติในท่อระบบขนส่งเป็นพื้นที่วิจัยที่สำคัญ เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดข้างต้น ดังนั้นจึงเลือกใช้ PLC เพื่อควบคุมการไหลและความดันโดยอัตโนมัติของปีโตรเลียมโดยการควบคุมเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์ว และกำหนดจุดที่ต้องการสำหรับความดันและการไหลของท่อคอนกรีตสายส่ง โดยการตั้งค่าการทดลองจากแบบจำลองจะถูกสร้างขึ้นในรูปแบบระดับห้องปฏิบัติการและจะแสดงในรูปที่ 2.15

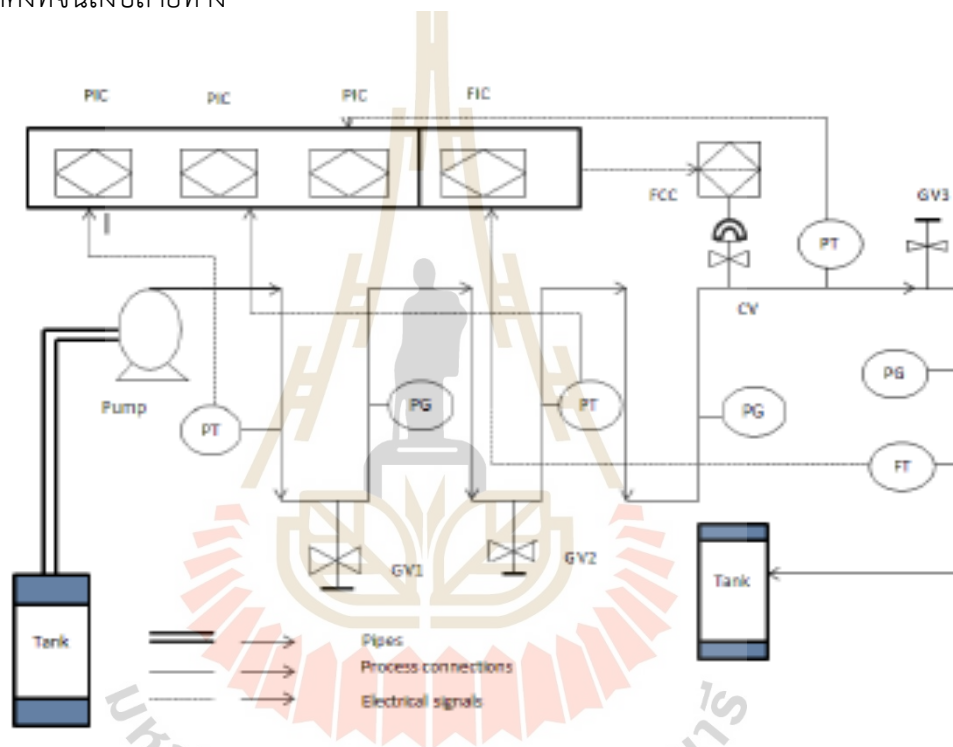


รูปที่ 2.15 การจำลองของการทดลองสำหรับการมอนิเตอร์และการควบคุมความดันและการไหล

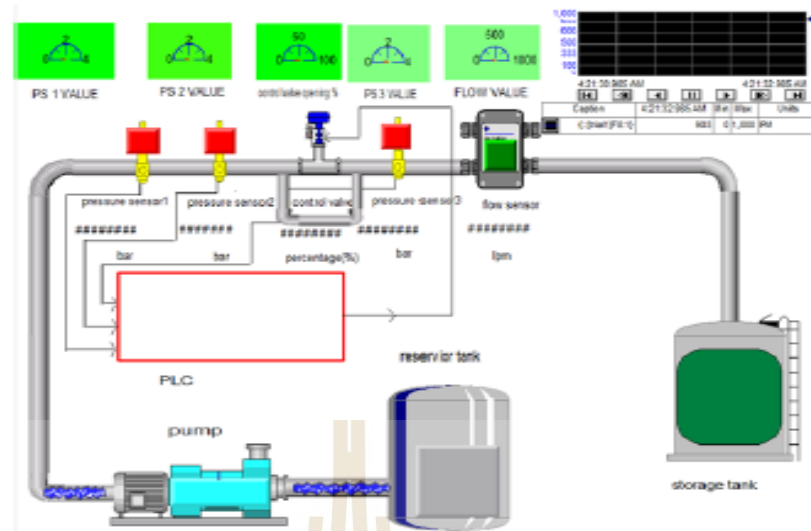
ส่วนประกอบในรูปที่ 2.15 แบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ประกอบด้วยเครื่องส่งสัญญาณแรงดันเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความดันและแปลงสัญญาณออกมาเป็นสัญญาณมาตรฐานที่มีทั้งสัญญาณ Analog 4-20mA, 0-10V DC เพื่อนำไปควบคุมขบวนการทำงานต่างๆหรือ (pressure transmitter PT), เครื่องวัดความดัน ซึ่งอ่านค่าได้อย่างเดียว (pressure gauge PG) และวาล์ว (gate valve GV) ซึ่งในตอนท้าย ของส่วน 2 เท่ากับเปอร์เซ็นต์การเปิดของวาล์วควบคุม (control valve CV) ถูกนำมาใช้และในตอนท้ายของวางเครื่องส่งสัญญาณการไหลของส่วนที่สาม (flow transmitter FT) แล้ว ส่วนควบคุมประกอบด้วยการระบุแรงดัน ตัวควบคุม (pressure indicating Controller PIC)

ตัวควบคุมการไหล (flow indicating controller FIC) และ ตัวควบคุมการไหล (flow controlling controller FCC) ติดตั้ง PLC จะกำหนดระดับการเปิดวาล์วควบคุม

ระบบ Real-Time Monitoring จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยใช้คอนโทรลเลอร์ PLC ร่วมกับ หน้าจอ HMI เพื่อการรักษาความดันและอัตราการไหลของสายส่งดังแสดงในรูปที่ 2.17 โดยหน้าจอจะระดับความดันทั้งสามตัว และสัญญาณการไหลพร้อมกับค่าพารามิเตอร์ โดยมีการตั้งค่าอัตราการไหล จากนั้น ความดันจะแสดงบนหน้าจอ ซึ่งการควบคุมวาล์วจะขึ้นอยู่กับความดันและอัตราการไหล โดยใช้ PLC เป็นตัวควบคุมเพื่อรักษาระดับอัตราการไหลให้คงที่จนถึงปลายทาง

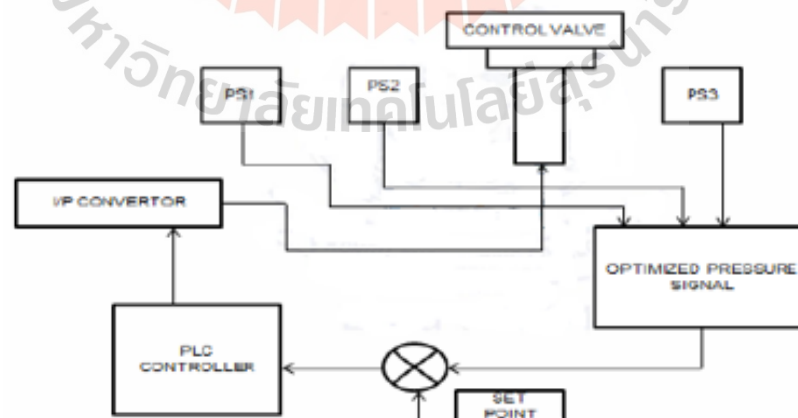


รูปที่ 2.16 Diagram สำหรับการติดตั้งการทดลอง



รูปที่ 2.17 HMI หน้าจอสำหรับการมินิเตอร์ระยะไหลของการควบคุมการไหลและความดัน

การควบคุมของหน้าจอ HMI ประกอบด้วย การแสดงตัวเลขของการอ่านค่าความดันที่อ่าน โดย เซ็นเซอร์ความดัน 1 เซ็นเซอร์ความดัน 2 และเซ็นเซอร์ความดัน 3 นอกจากนี้ยังแสดงอัตราการไหลที่อ่านโดยเซ็นเซอร์การไหลและความเร็วที่ปั๊มทำงาน และเปอร์เซ็นต์ของการเปิดวาล์ว สัญญาณเตือน ไฟกะพริบเมื่อความดันของปั๊มหรืออัตราการไหลของปั๊มที่เกินขีดจำกัด ที่ปลอดภัย รวมถึงมีปุ่มกดฉุกเฉินในแผงควบคุมใช้เพื่อ ปิดระบบทั้งหมดในกรณีฉุกเฉิน โดยมีการออกแบบระบบควบคุมดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การออกแบบระบบควบคุม

ตารางที่ 2.5 ค่าความดันต่ออัตราการไหล

%control Valve Opening	Pressure 1 (psi)	Pressure 2 (psi)	Pressure 3 (psi)	Pressure 4 (psi)	Flow Rate (lpm)
10	18	16	0.9	0.9	457
20	17	15	1	1	460
30	15	14	1	1	464
40	14	12	1	1	555
50	12	11	1	1	627
60	11	10	1	1	665
70	9	8	1	1	691
80	9	8	2	2	712
90	8	6	2	2	713
100	7	6	3	3	730

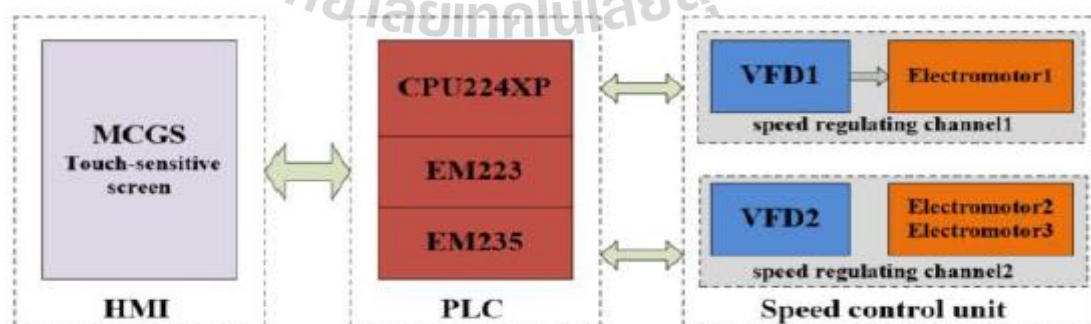
ในปี 2019 Xiaoming CUI และคณะ นำเสนอระบบการวัดและการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ด้วย PLC ร่วมกับ HMI ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการควบคุมความเร็วที่เหมาะสมที่สุดสำหรับมอเตอร์แบบอะซิงโครนัส เฟส โดยมุ่งเน้นไปที่ปัญหาการควบคุมสำหรับการควบคุมความเร็วรอบ 3 และความถี่ของมอเตอร์ ด้วย PLC แต่ยากที่จะตรวจสอบสถานะการทำงานของ PLC และ VFD แบบเรียลไทม์ ในบทความนี้จึงได้นำเสนอการวัดและการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ด้วย PLC ร่วมกับ HMI โดยประการแรกได้นำ PLC ใช้งานร่วมกับ HMI การออกแบบตามหลักการของระบบควบคุมไฟฟ้าทั่วไป ประการที่สองวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์และวงจรควบคุม VFD ได้รับการออกแบบและมีการพัฒนาโปรแกรมควบคุมของ PLC เชื่อมต่อกับ HMI โดยผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การเชื่อมต่อของระบบมีการทำงานที่มีความเสถียรภาพและสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี

โดยบทความนี้ได้อธิบายถึง Variable-frequency drive (VFD) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งแปลงความถี่ไฟฟ้า AC เป็น AC สามเฟสด้วยการปรับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ ซึ่งมีข้อดีหลายประการ อาทิ เช่น การประหยัดพลังงาน ควบคุมความเร็วที่แม่นยำต่อการควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในสายการผลิตอัตโนมัติและระบบควบคุมมอเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งเป็นหนึ่งในระบบควบคุมความเร็วที่ดีที่สุดในปัจจุบัน รวมถึง Programmable Logic Controller (PLC) เป็นคอมพิวเตอร์พิเศษสำหรับการควบคุมอุตสาหกรรมโดยใช้เทคโนโลยีไมโครโปรเซสเซอร์ โดยระบบอัตโนมัติระบบควบคุมประกอบด้วยข้อดี อาทิเช่น ระบบเครือข่ายที่สะดวก มีความน่าเชื่อถือสูง มีความสามารถใน

การป้องกันการรบกวนที่แข็งแกร่งและสามารถปรับให้เข้ากับสภาพแวดล้อมการทำงานต่างๆได้ ดังนั้นจึงมักใช้ในด้านของการควบคุมในภาคอุตสาหกรรม ระบบการวัดและควบคุมการคงค่าความเร็ว ด้วยการปรับค่าความถี่ที่ใช้ PLC มีข้อดีหลายประการ ทั้ง PLC และ VFD ซึ่งถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการควบคุมภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในปัจจุบัน PLC เป็นศูนย์กลางในการควบคุม VFD ด้วยการขับเคลื่อนมอเตอร์ เช่น การคงค่าความเร็วด้วยการปรับความถี่ โดยเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างผู้ใช้งานกับ PLC และการแสดงค่าจากเครื่องมือวัดแต่ปัญหาหลักคือยากที่จะตรวจสอบสถานการณ์ทำงาน ของ PLC และ VFD แบบ real time ดังนั้น จึงนำ Human-machine interface (HMI) เป็นตัวติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานอุปกรณ์ควบคุม โดยจะวิเคราะห์และสื่อสารร่วมกันระหว่างผู้ใช้งานกับ PLC เช่น การสั่งการ หรือ การตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากผู้ใช้งาน และการมอนิเตอร์สถานการณ์ทำงานของ PLC และกระบวนการทำงานแบบ real time ดังนั้น HMI สามารถแก้ปัญหาระบบการคงค่าความเร็วด้วยการปรับความถี่จากแบบเดิมได้เป็นอย่างดี

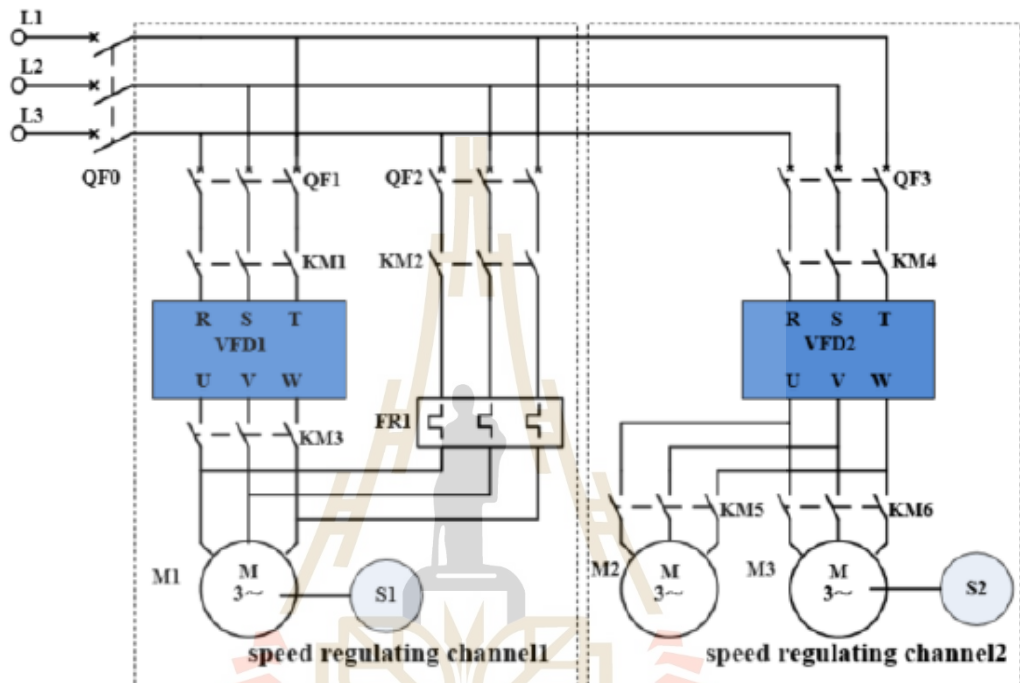
การออกแบบในบทความนี้มีดังนี้คือ 1) ระบบสามารถปรับปรุงการควบคุม VFD และมีการทำงานร่วมกันระหว่างคนและเครื่องจักร ซึ่งจัดเป็นการควบคุมแบบอัจฉริยะ โดยสามารถแปลงความถี่เพื่อให้สามารถควบคุมความเร็วให้คงที่ 2) มีระบบการป้องกัน อาทิเช่น การแจ้งเตือนการทำงานของอุปกรณ์ที่ผิดปกติ และมีประสิทธิภาพในการจัดการ 3) ระบบสามารถที่จะขยายได้ ถึงในภาคอุตสาหกรรม 4) ต้องเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมและการประยุกต์ใช้ เพื่อปรับให้เข้ากับการพัฒนาระบบการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ AC และปรับปรุงให้สามารถทำงานได้จริง

ในบทความนี้มีการวัดและควบคุมแบบอัจฉริยะสำหรับการคงค่าความเร็วด้วยการปรับความถี่ ด้วยการ ใช้ PLC ร่วมกับ HMI ตามแนวคิดการออกแบบขั้นต้นและหลักการของการควบคุมทางไฟฟ้าทั่วไป ซึ่งประกอบด้วย หน้าจอ touch screen โปรแกรมการควบคุม PLC หน่วยควบคุมความเร็ว 1 หน่วยควบคุมความเร็ว 2 แสดงดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 หน้าจอ touch screen โปรแกรมการควบคุม PLC

วงจรรีบมอเตอร์เป็นวงจรระบบควบคุมประกอบด้วย วงจรรีบมอเตอร์และวงจรรควบคุม PLC ตามรูปแบบการออกแบบข้างต้นและลักษณะของระบบควบคุมทางไฟฟ้า ประกอบด้วย วงจรรีบเคลื่อนมอเตอร์ซึ่งเป็นวงจรหลักของ VFD มอเตอร์แบบอะซิงโครนัสสามเฟส เบรกเกอร์ คอนแทคเตอร์ และรีเลย์ดังแสดงในรูปที่ 2.20



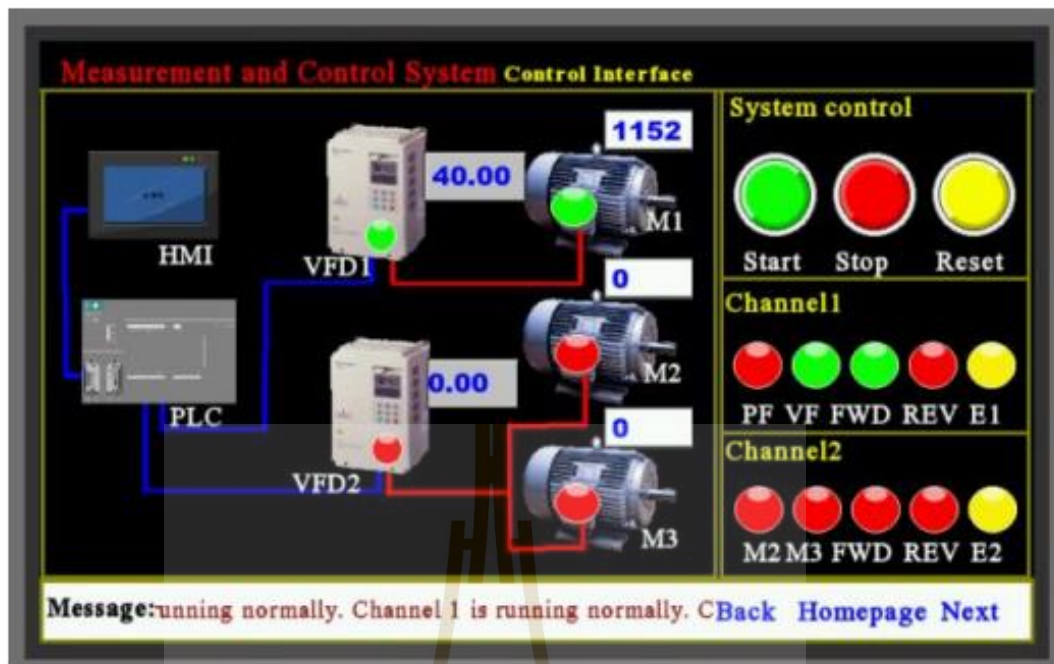
รูปที่ 2.20 แสดงวงจรรีบเคลื่อนมอเตอร์

จากวงจรรีบเคลื่อนมอเตอร์แบบอะซิงโครนัสสามเฟส ในรูปที่ 2.20 แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์และการใช้งานได้ดังตารางที่ 2.6

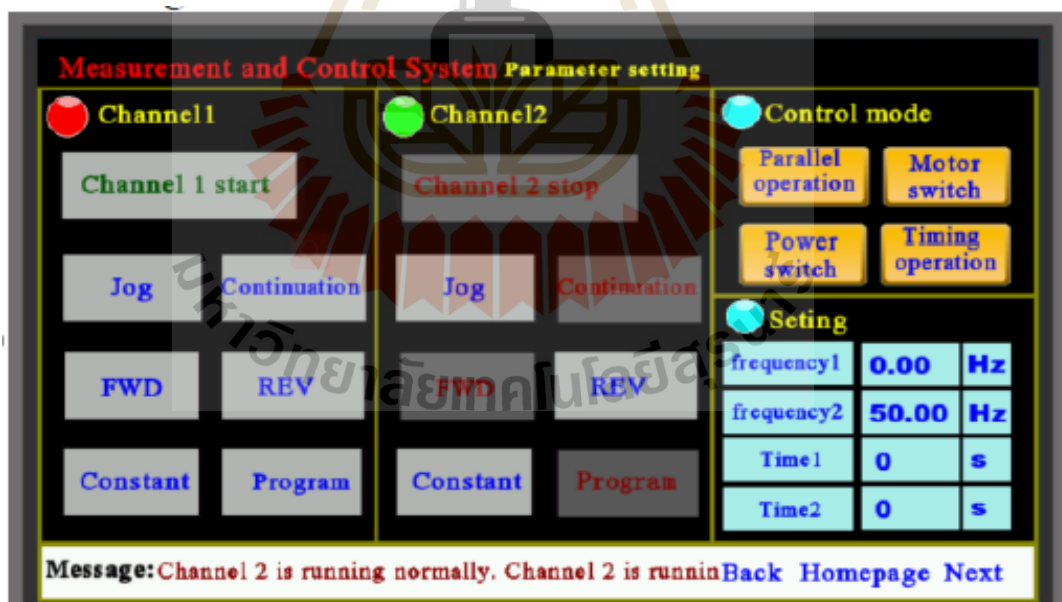
ตารางที่ 2.6 รายการอุปกรณ์หน้าที่การใช้งาน

Devices	Applications	Notes
QFO	System power supply	Breaker
QF1 ~ QF3	Speed regulating channel power	Breaker
KM1	VFD1 power control	Contactora
KM2	M1 powe frequency operation	Contactora
KM3	M1 variable frequency operation	Contactora
KM4	VFD2 power control	Contactora
KM5	M2 variable frequency operation	Contactora
KM6	M3 variable frequency operation	Contactora
M1	Power/ variable frequency operation	Motor
M2	variable frequency motor	Motor
M3	Standby motor	Motor
S1	M1 rotational speed measurement	Motor
S2	M2 rotational speed measurement	Motor

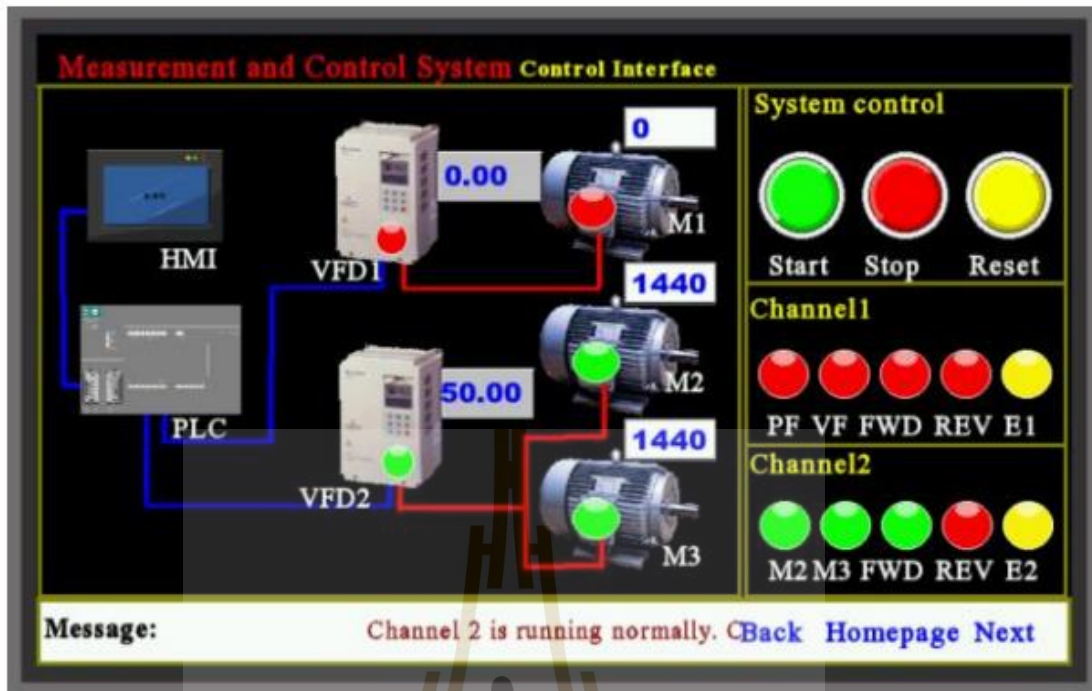
อีกทั้งระบบควบคุมวงจรรีบเคลื่อนมอเตอร์ยังสามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของแต่ละอุปกรณ์ และผู้ใช้งานสามารถ ตั้งค่าพารามิเตอร์ผ่านหน้าจอ HMI แสดงดังรูปที่ 2.21 ถึง 2.23



รูปที่ 2.21 การเชื่อมต่อระบบมอนิเตอร์ในช่อง 1



รูปที่ 2.22 การเชื่อมต่อระบบควบคุมในช่องที่ 2



รูปที่ 2.23 การเชื่อมต่อระบบมอเตอร์ในช่อง 2

บทสรุปของบทความ ในเอกสารนี้ระบบการวัดและควบคุมสำหรับการคงค่าความเร็วด้วยการปรับค่าความถี่ ของมอเตอร์ถูกนำเสนอโดย PLC และหน้าจอ touch-sensitive โดยมุ่งเน้นปัญหาที่ระบบควบคุมสำหรับการคงค่าความเร็วด้วยการปรับค่าความถี่ ซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะตรวจสอบสถานการณ์ทำงานของ PLC และ the VFD แบบ real time รูปแบบระบบการวัดและควบคุมอัจฉริยะสำหรับการคงค่าความเร็วด้วยการปรับค่าความถี่บน PLC และ HMI ได้รับการพัฒนาตามแนวคิดการออกแบบของการควบคุมที่ชาญฉลาดและหลักการจัดองค์ประกอบตามแบบฉบับวิศวกรรมระบบควบคุมไฟฟ้า ข้อมูลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบการวัดและควบคุมการคงค่าความเร็วด้วยการปรับค่าความถี่ มีความเสถียรภาพอันชาญฉลาดและเชื่อถือได้ รวมถึงสามารถอินเทอร์เฟซสำหรับมนุษย์กับเครื่องจักรได้เป็นอย่างดี เรียบง่าย ที่สำคัญกว่านั้นได้ตระหนักถึงการตรวจสอบสถานะการทำงานระยะไกลของระบบแบบเรียลไทม์ ซึ่งสามารถปรับปรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพการในใช้งานและในระดับเทคโนโลยีของ ระบบการคงค่าความเร็วด้วยการปรับค่าความถี่บน PLC

2.4 สรุป

บทนี้เป็นการนำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งออกเป็น งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมอัตโนมัติด้วย PLC ร่วมกับ HMI ซึ่งโดยทั่วไประบบการกรองน้ำเป็นกระบวนการที่ช่วยกำจัดสารปนเปื้อน เช่น เชื้อโรค แบคทีเรีย ทินปูน และสารเคมีต่าง ๆ ที่ปนมากับน้ำ โดยแบ่งออกตามการใช้งานได้แก่ ระบบกรองน้ำใช้และระบบกรองน้ำดื่ม โดยจะมีการกรองอยู่ 4 ระบบหลักที่เรียงจากความละเอียดของเยื่อกรองจากน้อยไปมาก คือ Microfiltration (MF), Ultrafiltration (UF) Nanofiltration (NF) และ Reversr Osmosis (RO) ตามลำดับ โดยการกรองแบบระบบ RO เป็นการกรองที่มีความละเอียดสูงสุดและใช้แรงดันสูงเพื่อให้ผ่านเยื่อกรองเมมเบรน จึงมีความสามารถกำจัดสารละลายออกจากน้ำได้มากกว่า 95 % ในจำนวนสารละลายทั้งหมด และมีอยู่ในอุตสาหกรรมน้ำดื่ม แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของเยื่อกรองที่มีความละเอียดจึงต้องให้ความสำคัญกับคุณภาพน้ำที่จะเข้าระบบมายังระบบ RO ซึ่งหากนำน้ำที่มีตะกอนปนเปื้อนเข้ามาในระบบจะทำให้เกิดการอุดตันที่ผิวหน้าของเยื่อกรองเมมเบรนได้ ซึ่งหากใช้แรงดันสูงจึงอาจทำให้เมมเบรนแตกหักและมีตะกอนออกมาคือน้ำสะอาดได้ ดังนั้น จึงมีกระบวนการเตรียมน้ำ (pretreatment) ก่อนเข้าระบบ RO ที่แตกต่างกันไปอาทิเช่น การนำกระบวนการ Microfiltration(MF), Ultrafiltration(UF) ,Nanofiltration(NF) ซึ่งทั้ง 3 กระบวนการนี้เป็นเยื่อกรองที่มีความละเอียดแต่น้อยกว่าเยื่อกรองของระบบ RO จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการกำจัดหินปูนควบคุม ส่วนกระบวนการ Resin เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างสารกรองกับประจุในน้ำ และ กระบวนการการฉีดสารป้องกันการเกิดตะกอน (Scaling) เป็นการช่วยทำให้สิ่งอุดตันบนผิวหน้าของเมมเบรนเกิดการกระจายตัว แต่ควรใช้ในปริมาณที่กำหนดหากใช้ในปริมาณความเข้มข้นที่สูงเกินไปจะไปทำลายเยื่อกรองเมมเบรนได้ อีกทั้ง จากงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าในอุตสาหกรรมได้นำ PLC มาใช้กับงานควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ในกระบวนการต่าง ๆ อาทิเช่น การนำ PLC มาเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลในท่อส่งปิโตเลียม ซึ่งอาศัยค่าจากสัญญาณเซ็นเซอร์วัดความดันและแปลงสัญญาณออกมาเป็น 4-20 mA เพื่อนำไปควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วไฟฟ้า ให้ทำงานได้อย่างอัตโนมัติ และสามารถตรวจสอบและควบคุมผ่านหน้าจอ HMI ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องระบบควบคุมสำหรับการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำบน PLC และ HMI โดยมีกระบวนการเตรียมน้ำด้วยเรซิน แทนการฉีดน้ำยาป้องกันการเกิดตะกอนที่ทำลายเยื่อกรองเมมเบรน และมีคุณสมบัติในการกำจัดหินปูนที่ปนมากับน้ำดิบเพื่อแลกเปลี่ยนไอออนจึงได้น้ำที่มีคุณภาพ (Water Softening) ก่อนเข้าสู่ระบบ RO ทำให้ประสิทธิภาพในการกรองสูงขึ้นด้วยอัตราการผลิตน้ำสะอาดและเพิ่มอายุการใช้งานของเมมเบรน อีกทั้งยังนำ PLC มาใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบ โดยรับสัญญาณที่เป็นเงื่อนไขผ่านเซนเซอร์ ให้ระบบทำงานได้อย่างอัตโนมัติ และสามารถตรวจสอบการทำงานหรือตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ผ่าน HMI.

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 บทนำ

การศึกษานี้มุ่งเน้นการทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมสำหรับการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำบน PLC และ HMI โดยมีการจำแนกการศึกษาออกเป็น 2 กระบวนการ ได้แก่ การศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบระบบควบคุมด้วย PLC ร่วมกับ HMI และ การศึกษาเกี่ยวกับระบบปรับปรุงและทดสอบประสิทธิภาพน้ำ โดยมีชุดกรองหยาบ (Sediment filter) 1 ชุด, ชุดปรับสภาพน้ำชนิดเรซิน ขนาด 25 L จำนวน 2 คอลัมน์, ระบบกรองน้ำ Reverse Osmosis (RO) ที่มีพิกัดกรองน้ำสะอาด 250 L/h หรือ 6,000 L/day โดยมีการตั้งสัญญาณ analog input จากเซนเซอร์วัดปริมาณน้ำ flow rate เซนเซอร์วัดความดัน pressure gate และเซนเซอร์วัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ electricity conductivity meter หรือ EC meter เพื่อนำมาเป็นเงื่อนไขในการทำงานได้อย่างอัตโนมัติ โดยมีการควบคุม digital output ผ่านโซลินอยด์วาล์วทั้ง 16 ตัว เพื่อเป็นตัวกำหนดทิศทางการเดินของน้ำ และมอเตอร์อีก 3 ตัว ได้แก่ มอเตอร์ตัวที่ 1 ขนาด 750 W ทำหน้าที่ปั้มน้ำดิบเข้าสู่ระบบ, มอเตอร์ตัวที่ 2 ขนาด 1,500 W ทำหน้าที่ปั้มน้ำที่ได้จากกระบวนการปรับสภาพด้วยเรซินเข้าสู่ระบบ RO ส่วนมอเตอร์ตัวที่ 3 ขนาด 100 W ทำหน้าที่ปั้มน้ำเกลือเพื่อไปฟื้นฟูเรซินในคอลัมน์ที่ 1 และเรซินในคอลัมน์ที่ 2 ตามเงื่อนไขการทำงานทั้ง 6 โหมด โดยนำ PLC มาเป็นตัวควบคุมและ HMI มาเป็นตัวสื่อสารระหว่างผู้ใช้งาน (Human) กับระบบ module ของ PLC โดยมีการออกแบบดังนี้คือ

3.2 โครงสร้างและการทำงาน

โครงสร้างและการทำงานของระบบควบคุมสำหรับการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำบน PLC และ HMI (Control System for Water Purifier using Reverse Osmosis Technique plus Pretreatment system based on PLC and HMI) จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้ คือ

3.2.1 ส่วนประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) ได้แก่ โครงสร้างหลักของชุด PLC และทัชสกรีนซึ่ง PLC ที่ใช้งานคือ TM221C24R Schneider Electric Modicon M221 Logic controller และทัชสกรีน ที่ใช้งานคือ Wecon PI7 inch HMI รุ่น PI3070N

3.2.2 ส่วนประกอบทางด้านซอฟต์แวร์ (Software) ได้แก่ โปรแกรม PStudio.exe เพื่อใช้ในการเขียนหน้าจอตชสกรีน PI3070N และโปรแกรม EcoStruxure Machine Expert Basic เพื่อใช้ในการเขียน Ladder diagram ของ PLC TM221C24R Schneider Electric

3.3 รายการคำนวณหาขนาดสายไฟฟ้า อุปกรณ์ป้องกัน และการเดินสายอุปกรณ์ (Hardware)

3.3.1 หลักการคำนวณกระแสไฟฟ้า การเลือกขนาดสายไฟฟ้า และอุปกรณ์ป้องกัน

จาก Motor ตัวที่ 1 พิกัด 750 W และ Motor ตัวที่ 2 พิกัด 1,500 W โดยคำนวณหา circuit breaker (CB) และขนาดของสายไฟ ดังนี้คำนวณหากระแส Full Load ของมอเตอร์ (I_L)

$$I_L = \frac{(750W + 1,500W)}{(230V)(0.8)} = 12.78 A \quad (3.1)$$

การเลือกขนาดของอุปกรณ์ป้องกัน circuit breaker (CB)

$$I_{CB} = 2 \times I_L = 2 \times 12.78 A = 25.56 A \quad (3.2)$$

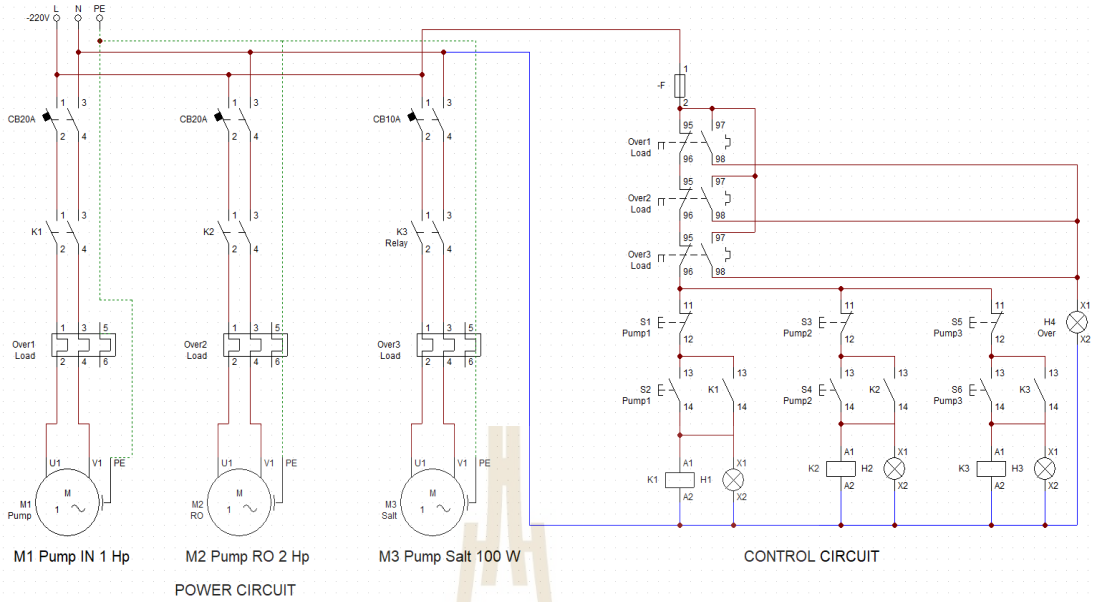
ดังนั้น เลือก circuit breaker (CB) ขนาด 25 A

เลือกขนาดสายไฟจากตารางออกแบบมาตรฐานสายไฟ ตารางที่ 5-20 ใช้สายประเภท VCT ชนิด 1 แกน สายอ่อน กลุ่มที่ 2 แบบร้อยท่อรางเดินสาย โดยใช้เป็นสายขนาด 4 mm^2 เพราะทนกระแสได้ 28 A แสดงดังตารางที่ 3.1

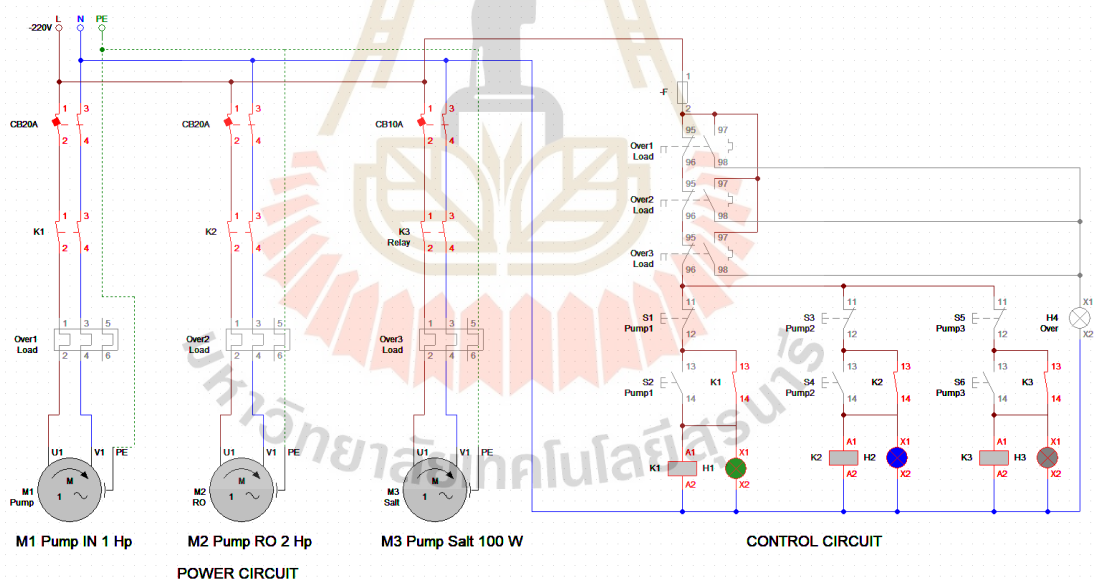
ตารางที่ 3.1 ตารางการเลือกขนาดสายไฟสำหรับมอเตอร์ตัวที่ 1 [20]

ลักษณะการติดตั้ง	กลุ่มที่ 1				กลุ่มที่ 2			
	2		3		2		3	
จำนวน/ลักษณะตัวนำกระแส	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน	แกนเดียว	หลายแกน
รูปแบบการติดตั้ง								
รหัสชนิดเคเบิลที่ใช้งาน	60227 IEC 01, 60227 IEC 02, 60227 IEC 05, 60227 IEC 06, 60227 IEC 10, NYY, VCT, IEC 60502-1 และสายที่มีคุณสมบัติต่างๆ ที่มีฉนวนพีวีซี เช่น สายทนไฟ, สายไร้ฮาโลเจน, สายควีนน็อก เป็นต้น							
ขนาดสาย (ตร.มม.)	ขนาดกระแส (แอมแปร์)							
1	10	10	9	9	12	11	10	10
1.5	13	12	12	11	15	14	13	13
2.5	17	16	16	15	21	20	18	17
4	23	22	21	20	28	26	24	23
6	30	28	27	25	36	33	31	30
10	40	37	37	34	50	45	44	40
16	53	50	49	45	66	60	59	54
25	70	65	64	59	88	78	77	70
35	86	80	77	72	109	97	96	86
50	104	96	94	86	131	116	117	103
70	131	121	118	109	167	146	149	130
95	158	145	143	131	202	175	180	156
120	183	167	164	150	234	202	208	179
150	209	191	188	171	261	224	228	196
185	238	216	213	194	297	256	258	222
240	279	253	249	227	348	299	301	258
300	319	291	285	259	398	343	343	295
400	-	-	-	-	475	-	406	-
500	-	-	-	-	545	-	464	-

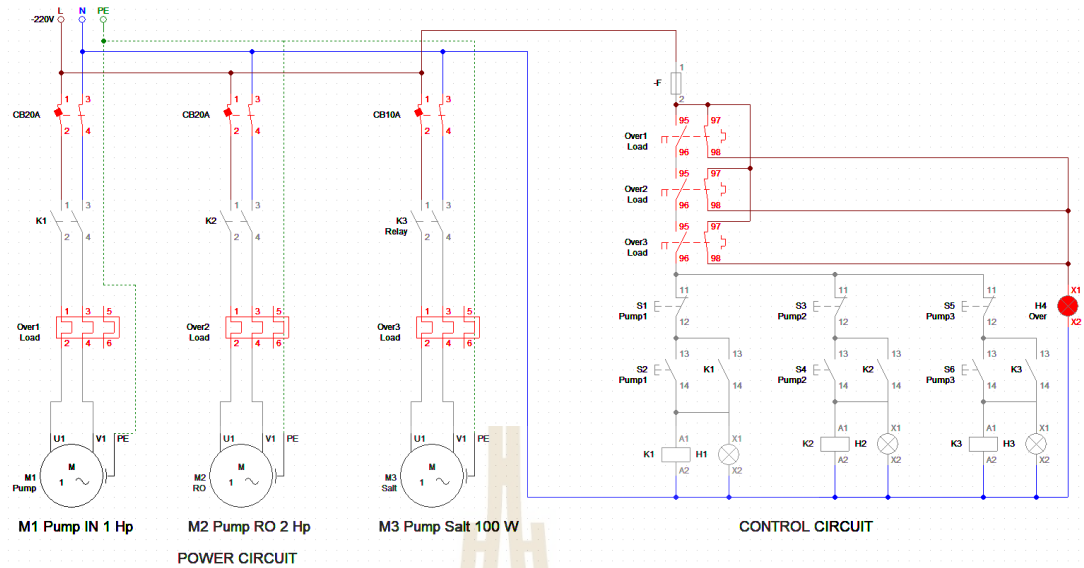
เพื่อให้การทำงานที่ถูกต้องผู้จัดทำได้จำลองและเขียนแบบผ่านโปรแกรมจำลอง CADE_SIMU_3.0 Blog Ensinando Elétrica ตรวจสอบการทำงานของหน้า Magnetic ตามรูปที่ 3.1 ถึง 3.3



รูปที่ 3.1 แบบและโปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของ Motor



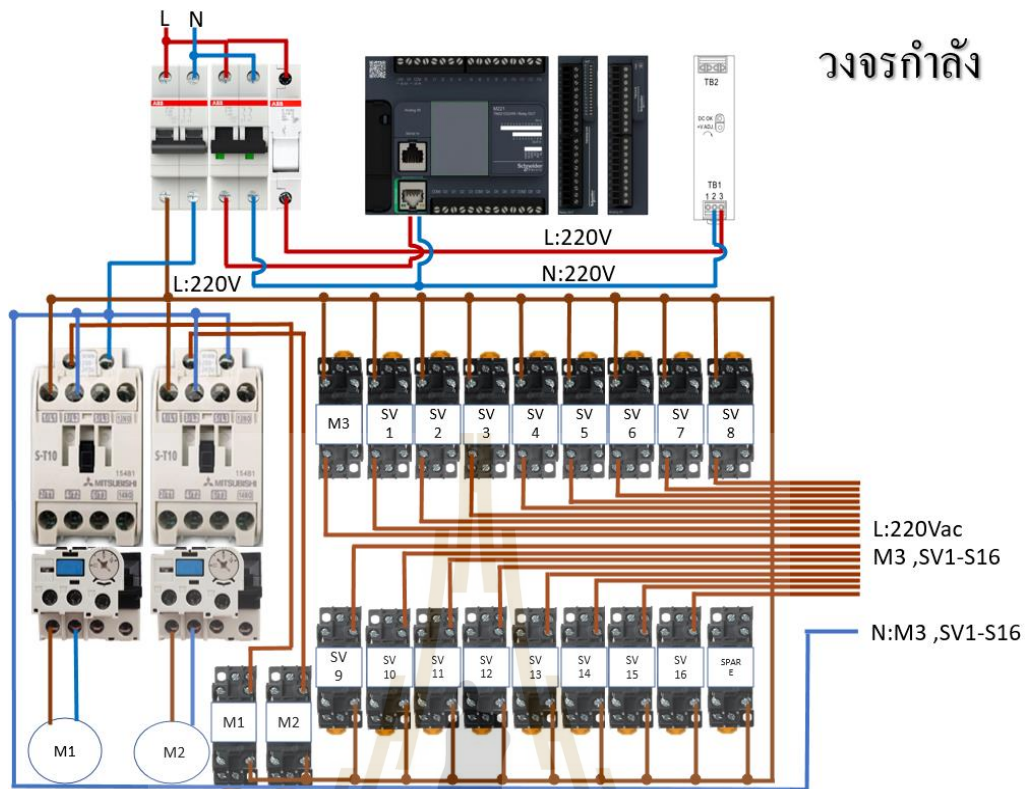
รูปที่ 3.2 การจำลองการเคลื่อนที่ Motor ทั้ง 3 ตัว



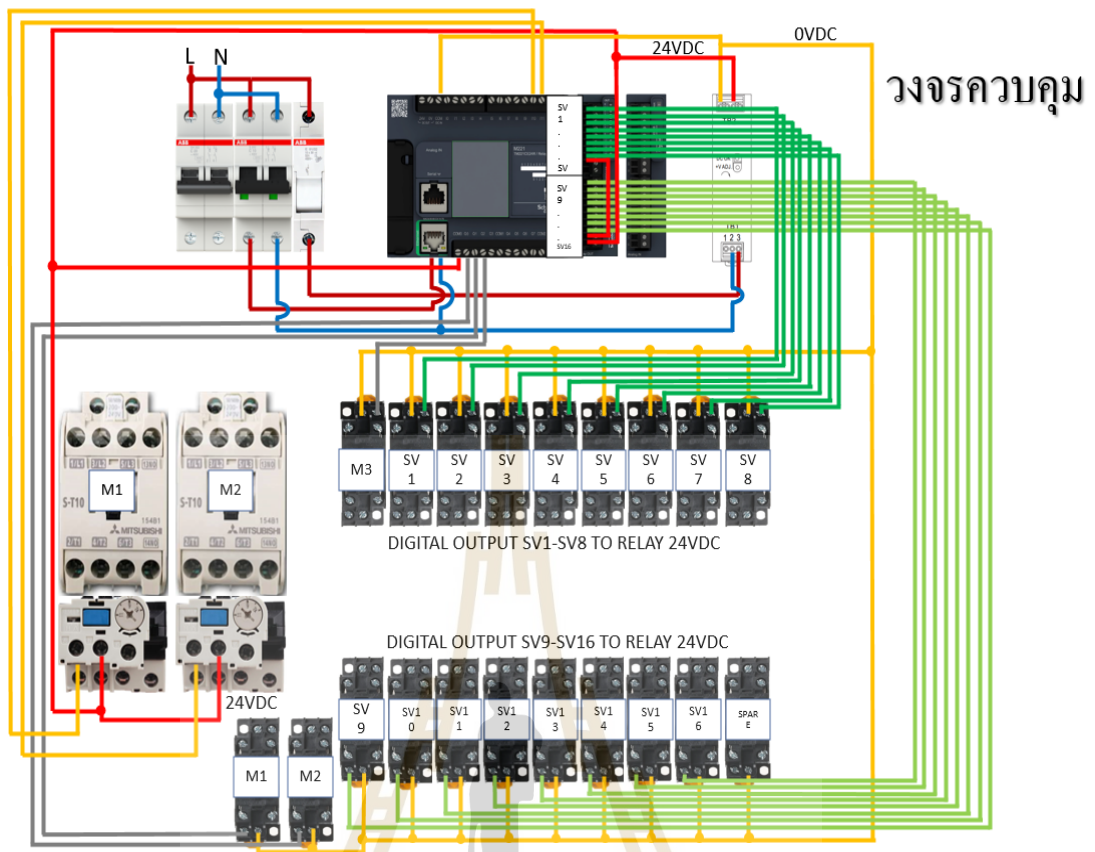
รูปที่ 3.3 การจำลอง Over Load Relay ทำการแจ้งเตือน

จากรูปที่ 3.4 ถึง 3.5 เป็นแผนผังวงจรในการเดินสายไฟฟ้าจากอุปกรณ์ป้องกันไปยังชุดควบคุมมอเตอร์และวาล์วต่าง ๆ รวมทั้งไปยัง supply DC และ PLC ด้วย ทั้งเป็นวงจรกำลัง AC และวงจรควบคุม DC





รูปที่ 3.4 การเดินสายไฟฟ้าและจุดเชื่อมต่อสายไฟฟ้า AC



รูปที่ 3.5 การเดินสายไฟฟ้าและจุดเชื่อมต่อสายไฟฟ้า DC

โดยความหมายและสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ แสดงได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.2 ความหมายและสัญลักษณ์ของอุปกรณ์

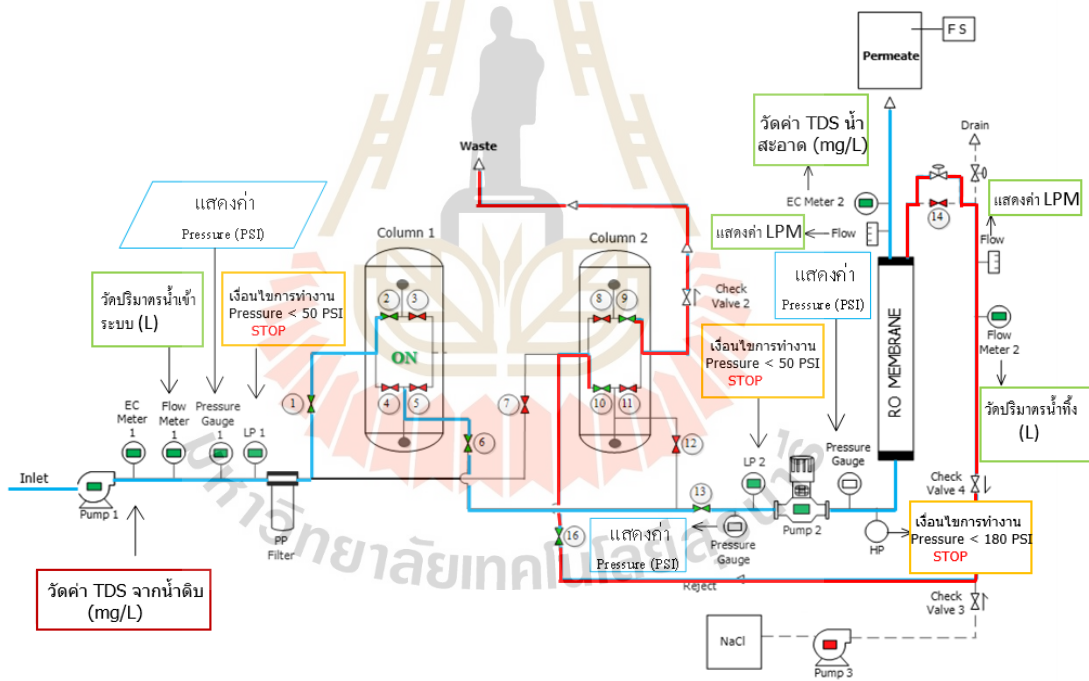
Device	Application	Notes
L-N-PE	AC power supply	To supply in power circuit
24V dc	DC power supply	To supply in control circuit
CB1	Protective Device, Circuit Breaker	CB1 20 A for power circuit
CB2	Protective Device, Circuit Breaker	CB2 20 A for control circuit
Device	Application	Notes
K1-K2	Main magnetic contactor	Contactor
K3	Relay contactor	Relay
M1-M3	AC Motor	M1 1 HP, M2 2 HP, M3 100W
F1-F2	Overload Relay	Thermal overload relay
SV1-SV16	Control water flow	Solenoid valve
F4	Protective Device	Fuse control circuit
PLC	Controller	Digital in/out and analog input interface with sensor

3.4 การออกแบบโปรแกรม (software) การทำงานของเครื่องกรองน้ำ RO อัตโนมัติ

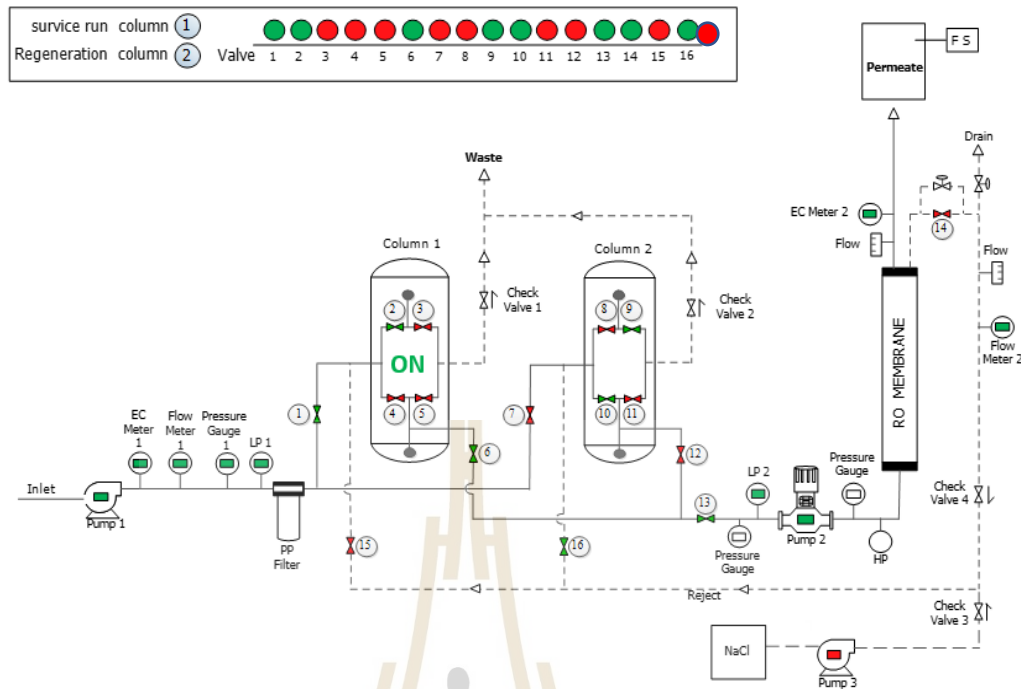
โหมดการทำงานและเงื่อนไขในการกรองน้ำของระบบจะทำงานโดยอาศัยค่าจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ อาทิเช่น Hardness, Lesin, TDS (Total dissolved solids), flow meter, EC meter และ pressure gauge เพื่อนำมาเป็นเงื่อนไขในการทำงาน รวมถึงการกำหนดสถานะการ เปิด-ปิด ของ

อุปกรณ์ในระบบ เช่น มอเตอร์ตัวที่ 1 (ปั้มน้ำดิบเข้าระบบ), มอเตอร์ตัวที่ 2 (ปั้มน้ำเข้าสู่ระบบ RO) , มอเตอร์ตัวที่ 3 (ปั้มน้ำเกลือเพื่อไปฟื้นฟูเรซิน) และ โซลีนอยด์วาล์วทั้ง 16 ตัว เพื่อเป็นตัวกำหนดทิศทางเดินของน้ำในการกรองแต่ละคอลัมน์

จากรูป 3.6 ถึง 3.7 แสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัว รวมถึงการเดินระบบ โดย น้ำดิบที่ถูกมอเตอร์ตัวที่ 1 ปั้เข้ามาจะถูกส่งผ่านมายังเครื่องมือวัดได้แก่ EC meter , Flow meter และ Pressure guage จากนั้นน้ำจะถูกส่งมายังโซลีนอยด์วาล์วตัวที่ 1 และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำด้วยเรซินคอลัมน์ที่ 1 เพื่อกำจัดความกระด้างของน้ำ จากนั้น น้ำที่ได้จะออกมาถึงโซลีนอยด์วาล์วตัวที่ 6 และ โซลีนอยด์วาล์วตัวที่ 13 ตามลำดับ และเข้าสู่มอเตอร์ตัวที่ 2 เพื่อปั้มน้ำไปยังระบบ RO หลังจากนั้นน้ำที่ออกจากระบบ RO จะแยกออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ น้ำสะอาด กับ น้ำทิ้ง (มีความเข้มข้นเกลือสูง) โดยน้ำทิ้งจะผ่านไปยังโซลีนอยด์วาล์วตัวที่ 16 และ เข้าสู่เรซินคอลัมน์ที่ 2 เพื่อทำการฟื้นฟูเรซิน

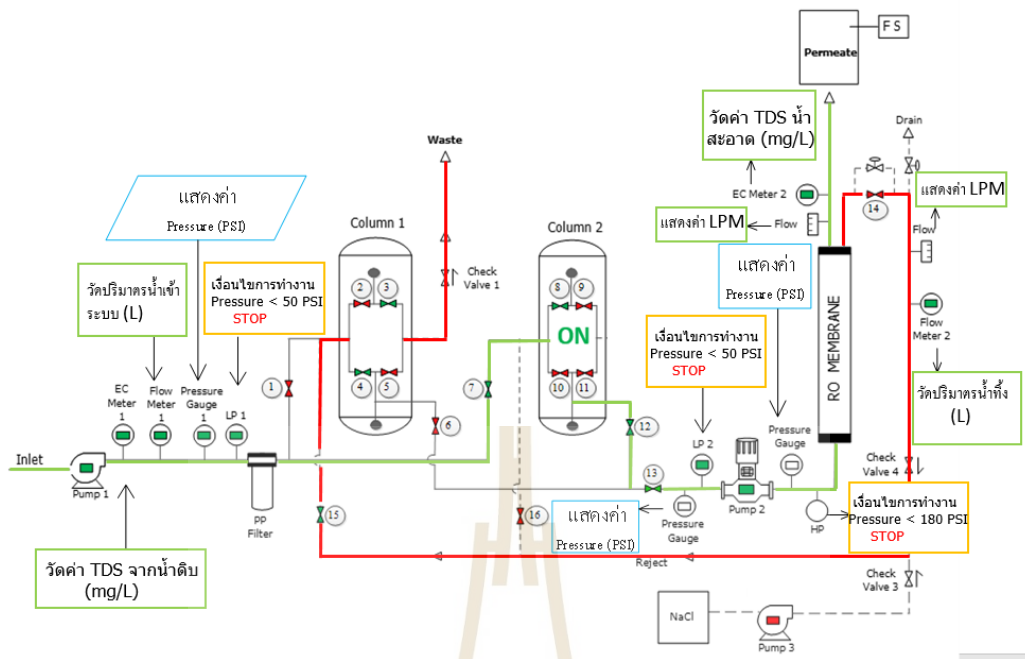


รูปที่ 3.6 ออกแบบการทำงานในคอลัมน์ที่ 1 เป็นกรองหลัก

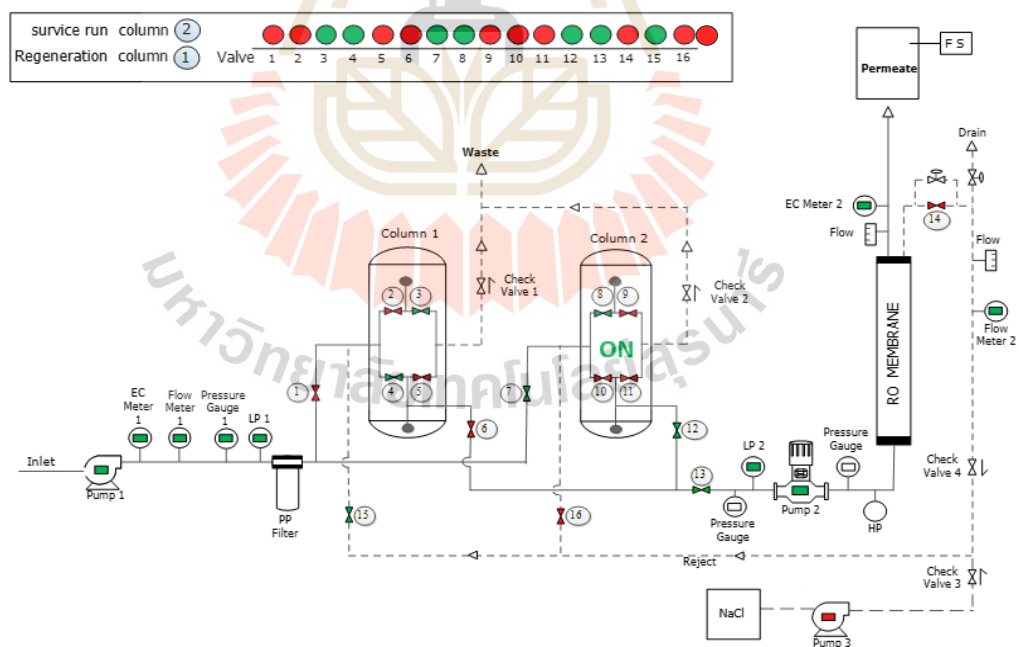


รูปที่ 3.7 สถานะการทำงานของอุปกรณ์ในการกรองด้วยเรซินคอลัมน์ที่ 1

จากรูป 3.8-3.9 แสดงสถานการณ์ทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัว รวมถึงการเดินระบบ โดยน้ำดิบที่ถูกมอเตอร์ตัวที่ 1 ปั๊มเข้ามาจะถูกส่งผ่านมายังเครื่องมีวัดได้แก่ EC meter , Flow meter และ Pressure guage จากนั้นน้ำจะถูกส่งมายังโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 7 และถูกบ่อบัดน้ำด้วยเรซินคอลัมน์ที่ 2 เพื่อกำจัดความกระด้างของน้ำที่มีหินปูน จากนั้น น้ำอ่อนที่ได้จะออกมายังโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 12 และ โซลินอยด์วาล์วตัวที่ 13 ตามลำดับ จากนั้น มอเตอร์ตัวที่ 2 จะปัมน้ำไปยังระบบ RO น้ำที่ออกจากระบบ RO จะแยกออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ น้ำสะอาด กับ น้ำทิ้ง (มีความเข้มข้นเกลือสูง) โดยน้ำทิ้งจะผ่านไปยังโซลินอยด์วาล์วตัวที่ 15 และเข้าสู่เรซินคอลัมน์ที่ 1 เพื่อทำการฟื้นฟูเรซิน



รูปที่ 3.8 ออกแบบการทำงานในคอลัมน์ที่ 2 เป็นกรองหลัก



รูปที่ 3.9 สถานะการทำงานของอุปกรณ์ในการกรองด้วยเรซินคอลัมน์ที่ 2

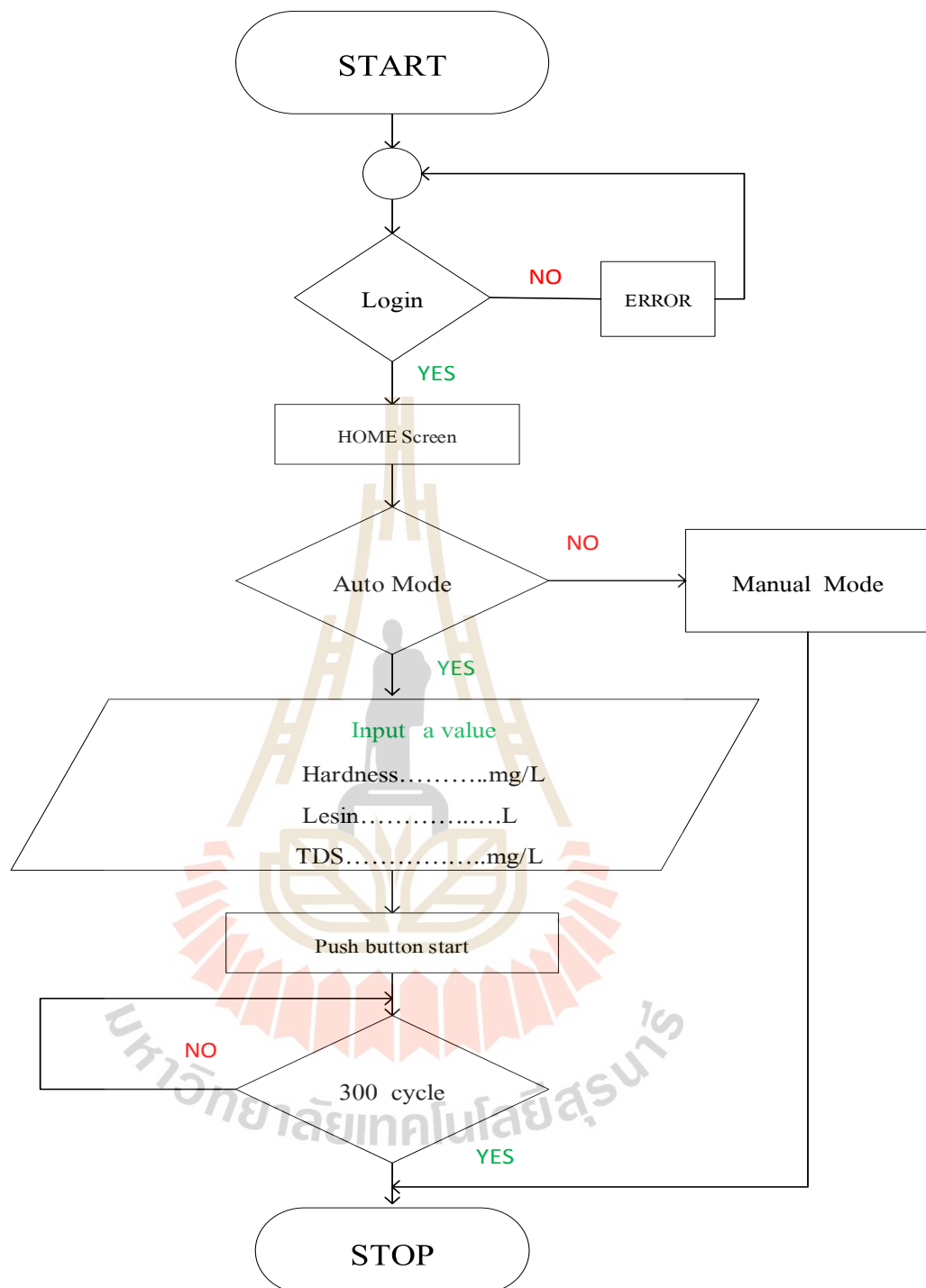
ตารางที่ 3.3 แสดงสัญลักษณ์และความหมายของแผนภาพการทำงานของระบบ

สัญลักษณ์ตัวอักษร	ความหมาย
V	โซลินอยด์วาล์ว
Sec	เวลาที่ใช้ในการล้างเรซินด้วยน้ำเกลือ
V สลับคอลัมน์	ปริมาณน้ำที่ต้องสลับคอลัมน์
Motor 1	Pump 1
Motor 2	Pump RO
Motor 3	Pump น้ำเกลือ
สีเขียว	แสดงสถานะการทำงาน ON
สีแดง	แสดงสถานะการทำงาน OFF
EC Meter1	เครื่องมือวัดค่า TDS ของน้ำดิบ
EC Meter2	เครื่องมือวัดค่า TDS ของน้ำที่ผ่านการกรอง
Flow Meter1	เครื่องมือวัดค่าอัตราการไหลของน้ำฝิ่งขาเข้า
Flow Meter2	เครื่องมือวัดค่าอัตราการไหลของน้ำฝิ่งน้ำทิ้ง
Pressure Gauge1	เครื่องมือวัดค่าความดันขาเข้า
Pressure Gauge2	เครื่องมือวัดค่าความดันขาเข้า RO
pressure switch	เครื่องมือควบคุมความดัน

3.5 การออกแบบโหมดการทำงานประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

3.5.1 Manual mode คือ โหมดที่มีการควบคุมการ เปิด-ปิด อุปกรณ์ เช่น โซลินอยด์วาล์ว มอเตอร์ปั้มน้ำ และ เลือกใช้คอลัมน์เรซินในการกรอง ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

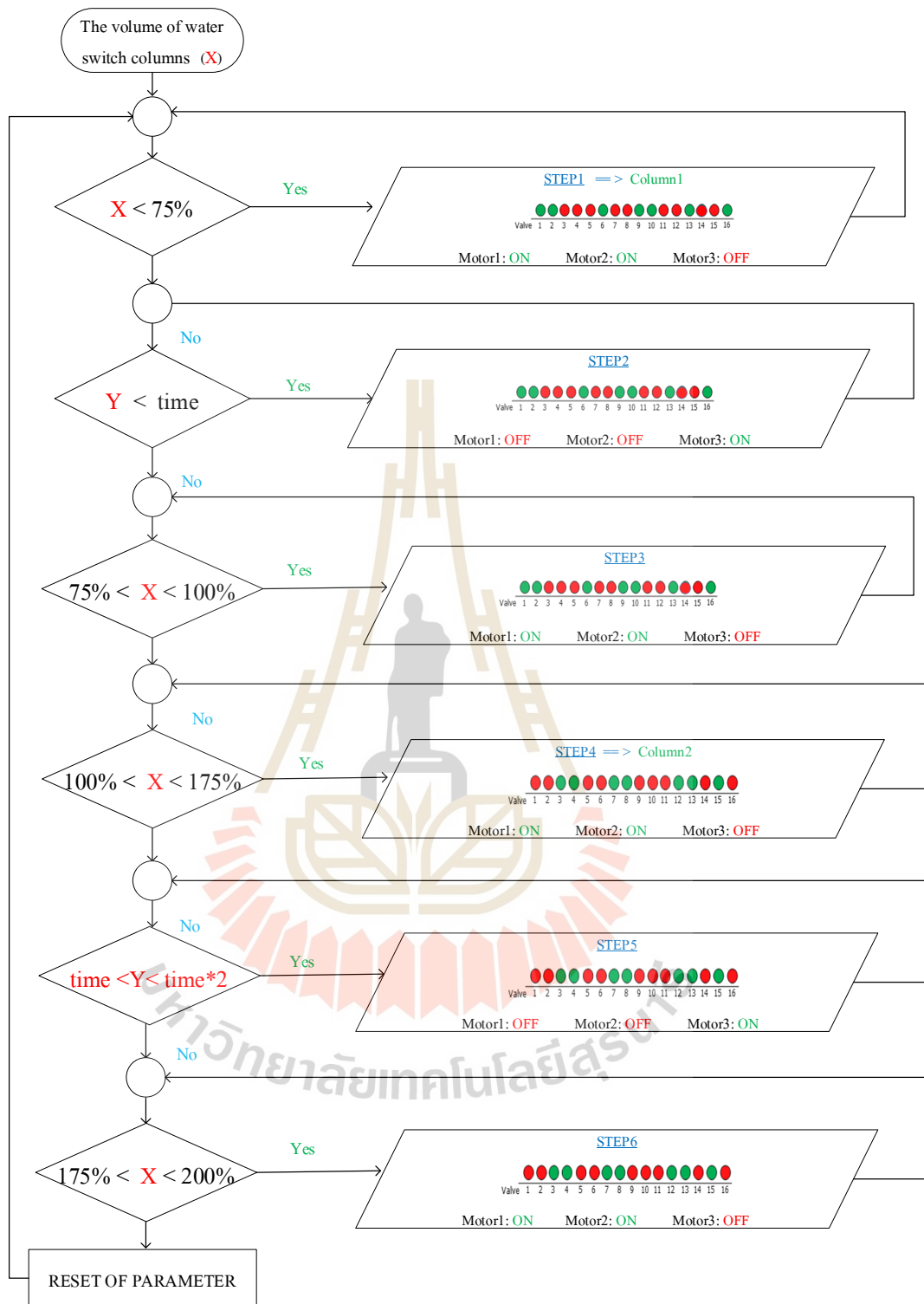
3.5.2 Auto mode คือ โหมดที่ทำการกรองน้ำโดยอัตโนมัติ โดยอาศัยอินพุทจากค่า Hardness, Lesin, TDS เพื่อนำมาเป็นเงื่อนไขของปริมาณน้ำในการตัดสลับคอลัมน์การทำงาน ปริมาณการปั้มน้ำเกลือที่นำไปฟื้นฟูเรซิน โดยรับสัญญาณ อนุาล็อก จาก flow meter ขึ้นมายัง PLC เพื่อเป็นตัวควบคุมการทำงานในแต่ละโหมด รวมถึงควบคุมเส้นทางการเดินน้ำโดยการส่งสัญญาณ ผ่าน digital output ที่เชื่อมต่อกับโซลินอยด์วาล์ว ทั้ง 16 ตัว โดยการทำงานของระบบมี STEP การทำงานด้วยกัน 6 STEP เริ่มจากการกรองโดยใช้เรซินคอลัมน์ที่ 1 ที่มีเงื่อนไขการตัดสลับคอลัมน์การทำงานจากปริมาณน้ำที่เข้ามาในระบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ผังการทำงานของโปรแกรมระบบเครื่องกรองน้ำอัตโนมัติแบบ RO

การทำงานของระบบ Auto mode มีขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 6 STEP ดังต่อไปนี้คือ

- STEP ที่ 1 น้ำจะผ่านไส้กรองหยาบและเรซินคอลัมน์ที่ 1 ก่อนเข้าเครื่อง RO จนถึง 75 % ของการคำนวณปริมาณน้ำที่ตัดสลับคอลัมน์ แทนด้วยตัวแปร (X) โดยที่ปั๊ม Motor 1 และ Motor 2 ทำงาน น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ RO จะนำมาล้างเรซินคอลัมน์ที่ 2 เพื่อทำการฟื้นฟู
- STEP ที่ 2 ทำการฟื้นฟูเรซิน โดยการดูดสารละลาย NaCl ล้างเรซินในคอลัมน์ที่ 2 เป็นระยะเวลาที่คำนวณได้ แทนด้วยตัวแปร (Y) โดยที่ปั๊ม Motor 3 ทำงาน ปั๊ม Motor 1 และ Motor 2 หยุดทำงาน
- STEP ที่ 3 ทำการกรองต่อจาก 75% ถึง 100 % ของการคำนวณปริมาณน้ำที่ตัดสลับคอลัมน์ เพื่อทำการล้างน้ำเค็มจาก NaCl โดยปั๊ม Motor 1 และ Motor 2 ทำงานจากนั้นจะทำการสลับคอลัมน์เป็นการกรองโดยเรซินคอลัมน์ที่ 2
- STEP ที่ 4 น้ำจะผ่านไส้กรองหยาบและเรซินคอลัมน์ที่ 2 ก่อนเข้าเครื่อง RO จนถึง 175 % ของการคำนวณปริมาณน้ำที่ตัดสลับคอลัมน์ โดยที่ปั๊ม Motor 1 และ Motor 2 ทำงาน น้ำทิ้งที่ออกจากระบบ RO จะนำมาล้างเรซินคอลัมน์ที่ 1 เพื่อทำการฟื้นฟู
- STEP ที่ 5 ทำการฟื้นฟูเรซิน โดยการดูดสารละลาย NaCl ล้างเรซินในคอลัมน์ที่ 1 เป็น 2 เท่าของระยะเวลาที่คำนวณได้ โดยที่ปั๊ม Motor 3 ทำงาน ปั๊ม Motor 1 และ Motor 2 หยุดทำงาน
- STEP ที่ 6 ทำการกรองต่อจาก 175% ถึง 200 % ของการคำนวณปริมาณน้ำที่ตัดสลับคอลัมน์ เพื่อทำการล้างน้ำเค็มจาก NaCl โดยปั๊ม Motor 1 และ Motor 2 ทำงานจากนั้นจะทำการสลับคอลัมน์เป็นการกรองโดยเรซินคอลัมน์ที่ 2



รูปที่ 3.11 STEP ในการทำงานของระบบเครื่องกรองน้ำ

3.6 สรุป

การออกแบบโครงสร้างและการทำงานของระบบควบคุมสำหรับการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำบน PLC และ HMI (Control System for Water Purifier using Reverse Osmosis Technique plus Pretreatment system based on PLC and HMI) โดยส่วนประกอบ ได้แก่ PLC รุ่น TM221C24R Schneider Electric 14 input 10 relay output, digital output module รุ่น TM3DQ16 R สำหรับ โซลีนอยด์วาล์ว จำนวน 10 ช่อง, Analog input module รุ่น TM3AI8 สำหรับเซนเซอร์ จำนวน 16 ช่อง ซึ่งใช้โปรแกรม EcoStruxure Machine Expert Basic ในการเขียน Ladder diagram ของ PLC และทัชสกรีน ที่ใช้งานคือ Wecon PI7 inch HMI รุ่น PI3070N ซึ่งใช้ โปรแกรม PISudio.exe ในการเขียนเงื่อนไขการทำงานผ่านหน้าจอทัชสกรีน โดยผู้ควบคุมยึดออกแบบตามมาตรฐานสายไฟของ วสท.



บทที่ 4

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

4.1 บทนำ

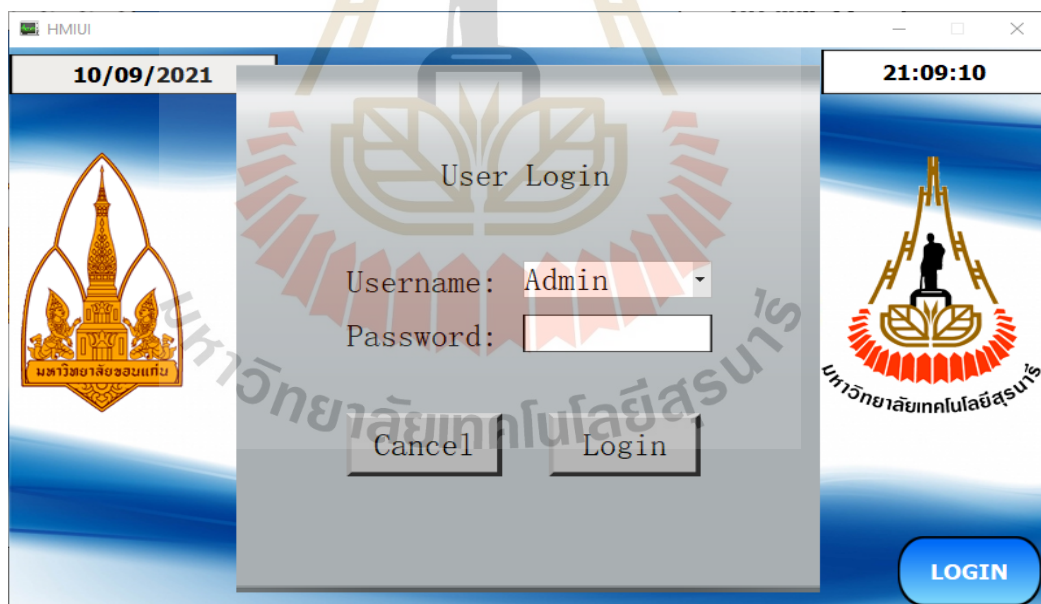
จากวิธีการดำเนินการวิจัยบทนี้จะนำเสนอผลลัพธ์ของการทดลองระบบควบคุมสำหรับการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำบน PLC และ HMI โดยแยกการพิจารณาการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ทดสอบฟังก์ชันการทำงานของระบบแมนนวลและระบบอัตโนมัติของเครื่องตามที่ออกแบบไว้ ลำดับถัดมาเป็นการการทดลองประสิทธิภาพของการกรองน้ำด้วยกระบวนการ Reverse Osmosis (RO) และการทดสอบวิเคราะห์ผลด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2 การทดสอบฟังก์ชันการทำงานของระบบควบคุมสำหรับการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำบน PLC และ HMI ทั้งระบบแมนนวลและระบบอัตโนมัติ

จากการออกแบบโปรแกรมของ PLC และ HMI เพื่อให้ทำงานที่สอดคล้องกับฮาร์ดแวร์ในการควบคุมเครื่องฟั้นฟูน้ำจะเริ่มจาก login เข้าหน้าจอมาแล้วจะแสดงหน้าต่าง HOME ของระบบ ซึ่งจะแสดงการทำงานของเครื่อง ประกอบไปด้วยวาล์ว ต่าง ๆ meter วัดค่าความน้ำไฟฟ้า (EC Meter) เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow meter) เซนตเซอร์วัดความดัน (Pressure Gate) ทั้งขาเข้าและขาออก แสดงสถานะการทำงานของมอเตอร์ ทั้งมอเตอร์ปั้มน้ำเข้า (M1) มอเตอร์ของปั้มเครื่อง RO และมอเตอร์ปั้มของสารฟั้นฟูเรซิน (M3) พร้อมทั้งเส้นแสดงทิศทางการไหลของน้ำไปยังวาล์วต่าง ๆ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 โดยจะมีปุ่มให้กดด้านซ้ายล่าง เพื่อการเลือกโหมดการทำงาน ประกอบด้วย ระบบ MANUAL และ AUTO



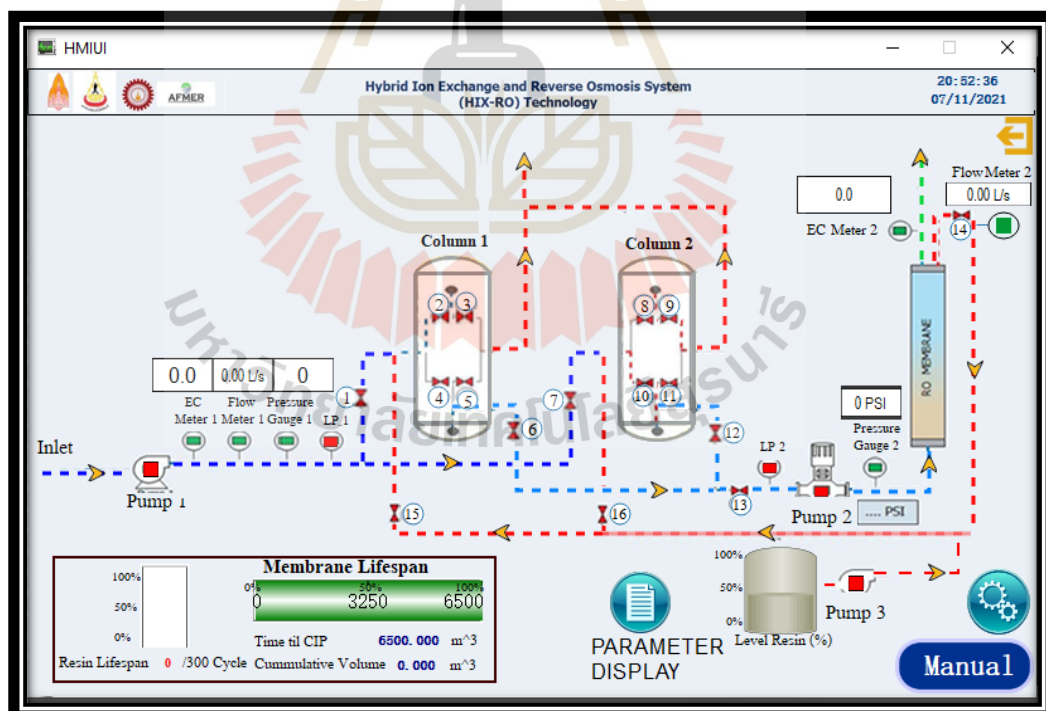
รูปที่ 4.1 โทนสีพื้นหลังของหน้าจอแบบสัมผัส



รูปที่ 4.2 ระบบให้ผู้ใช้กรอก Username และ password



รูปที่ 4.3 แผงหน้าตู้ควบคุม



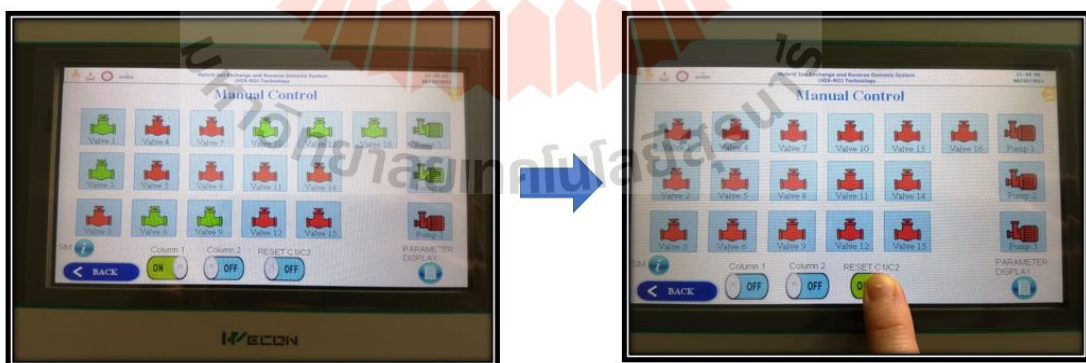
รูปที่ 4.4 หน้าต่าง HOME บน HMI

จากรูปหน้าต่าง HOME ที่ 4.4 หากผู้ใช้งานเลือกใช้งานโหมดการทำงานแบบ MANUAL สามารถเลือกอุปกรณ์ให้ทำงานได้ตามต้องการ ดังรูปที่ 4.5



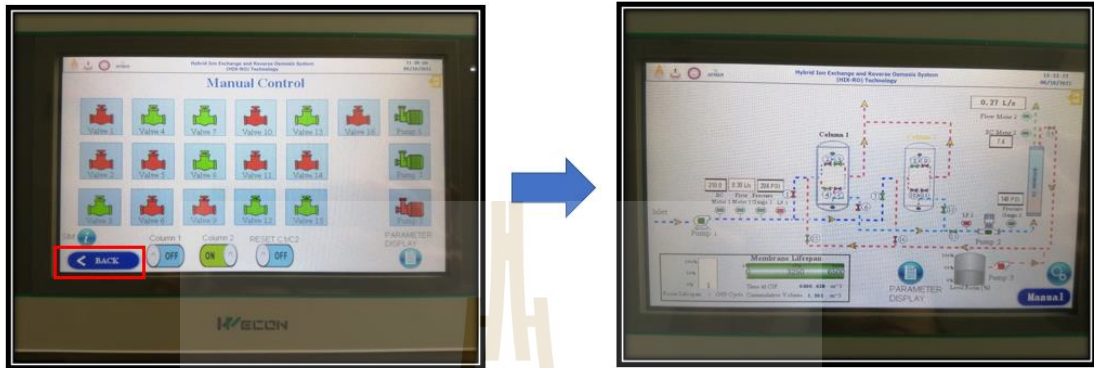
รูปที่ 4.5 หน้าต่างการทำงานด้วยโหมด Manual

ผู้ใช้งานยังสามารถเลือกการกรองน้ำโดยใช้เรซินในคอลัมน์ที่ 1 หรือ เรซินในคอลัมน์ที่ 2 ได้ตามต้องการ โดยที่เรซินทั้ง 2 คอลัมน์จะไม่สามารถทำงานพร้อมกันได้ ดังนั้นต้องเลือกใช้งานคอลัมน์ใดคอลัมน์หนึ่งเท่านั้น หากต้องการเปลี่ยนคอลัมน์การทำงานให้กดปุ่ม RESET แล้วจึงจะสามารถเลือกการทำงานคอลัมน์ใหม่ได้ ดังรูปที่ 4.6 โดยจะมีการแสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์แต่ละตัว (สีเขียวจะแสดงถึงอุปกรณ์ที่กำลังทำงาน) และ (สีแดงจะแสดงถึงอุปกรณ์ที่หยุดทำงาน)



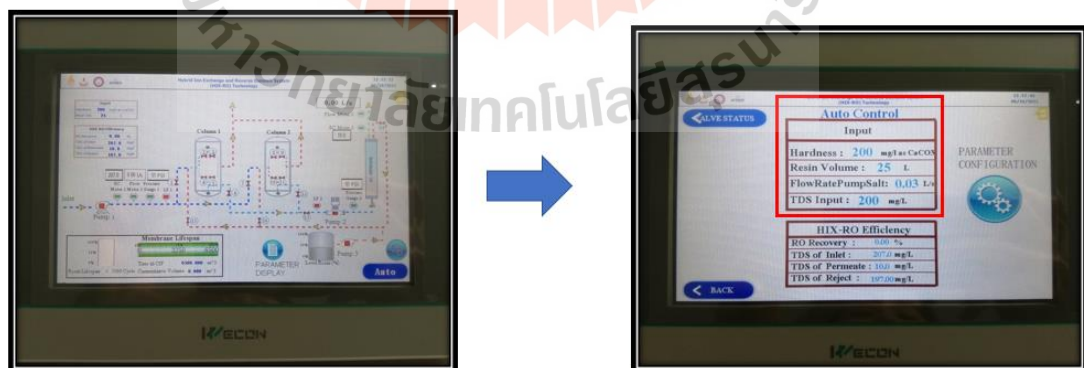
รูปที่ 4.6 การกดปุ่ม RESET ก่อนการเลือกการทำงานใหม่

จากรูปที่ 4.7 แสดงการทำงานโดยเลือกให้เรซินคอลัมน์ที่ 2 ทำการกรอง พร้อมทั้งแสดงสถานะการทำงานของโซลินอยด์วาล์วและปั๊มมอเตอร์ทั้ง 3 ตัว และหากต้องการย้อนกลับไปยังหน้าต่าง HOME เพื่อดูการการงานทั้งระบบ สามารถกดที่คำว่า BACK มุมซ้ายด้านล่างดังรูปที่ 4.7



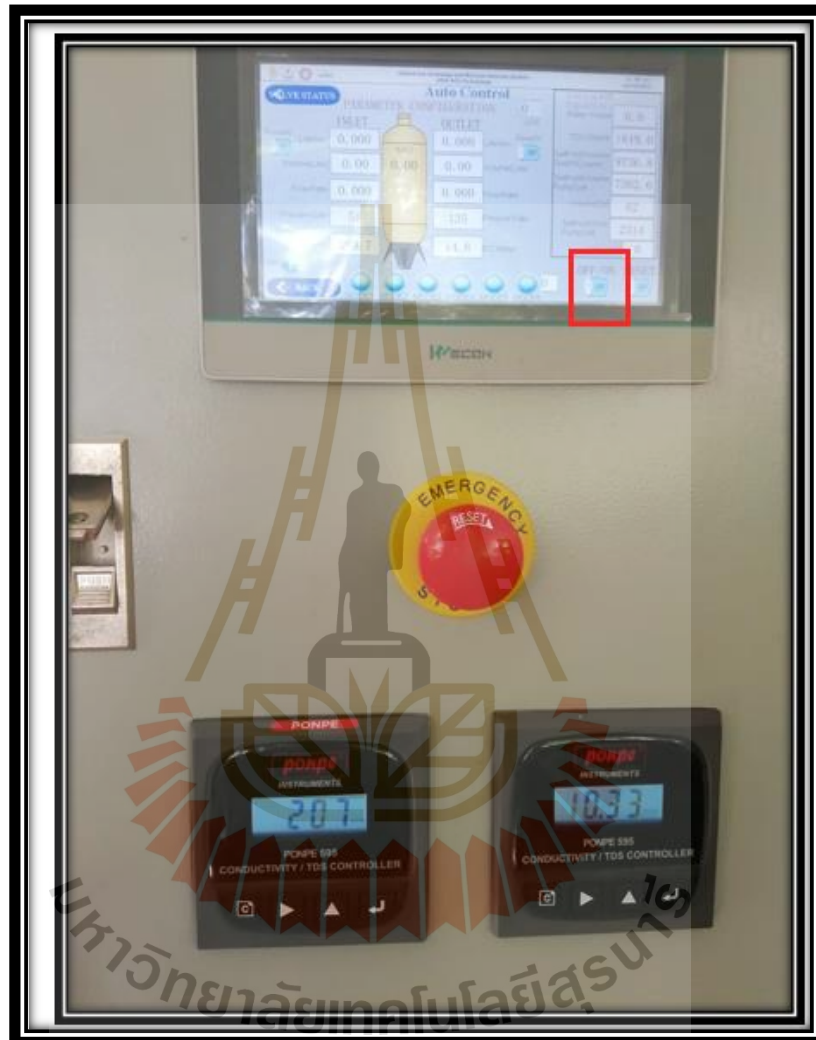
รูปที่ 4.7 แสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์โดยการกรองด้วยเรซินคอลัมน์ที่ 2

จากหน้าต่าง HOME ของระบบหากผู้ใช้งานเลือกโหมดการทำงานแบบ Auto ผู้ใช้งานสามารถรอกค่าพารามิเตอร์ประกอบด้วย ปริมาณค่า Hardness ปริมาณค่า Resin และ ปริมาณค่า TDS จากนั้นกดปุ่มสวิตช์ เพื่อที่จะนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการสลับคอลัมน์การทำงาน และปริมาณน้ำเกลือในการใช้ฟื้นฟูเรซิน รวมถึง ระยะเวลาในการปั้มน้ำเกลือเพื่อเข้าไปฟื้นฟูเรซิน แสดงดังรูปที่ 4.8



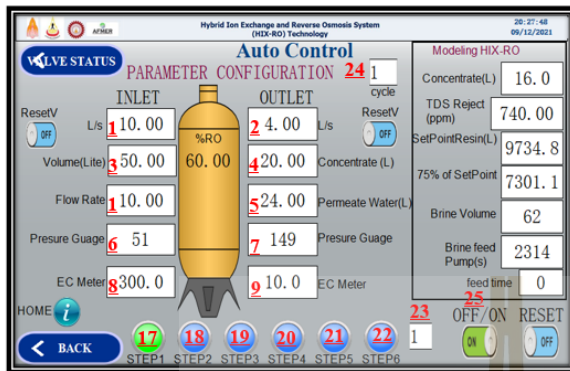
รูปที่ 4.8 การเลือกใช้งานโหมดการทำงานแบบ Auto

จากรูปที่ 4.9 ถึง 4.10 แสดงหน้าจอ HMI สำหรับการทำงานด้วยโหมด Auto Control เพื่อแสดงค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดต่างๆในระบบ และแสดงค่าพารามิเตอร์ที่เป็นเงื่อนไขการทำงานของรอบในการกรองน้ำ โดยสามารถเริ่มการทำงานได้โดยกดปุ่ม Switch



รูปที่ 4.9 แผงหน้าตู้ควบคุม

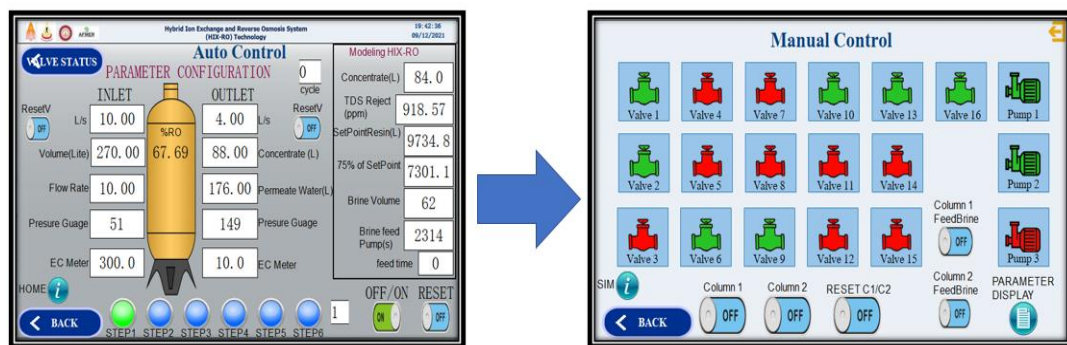
หน้าจอบ่งชี้ค่าพารามิเตอร์การทำงานของระบบ



- หมายเลข 1 คือ ปริมาณน้ำเข้าระบบ (L/s)
- หมายเลข 2 คือ ปริมาณน้ำทิ้ง (L/s)
- หมายเลข 3 คือ ปริมาตรระบบน้ำเข้าระบบ (L)
- หมายเลข 4 คือ ปริมาตรระบบน้ำทิ้ง (L)
- หมายเลข 5 คือ ปริมาณน้ำสะอาด (L)
- หมายเลข 6 คือ ความดันก่อนเข้าระบบ (PSI)
- หมายเลข 7 คือ ความดันก่อนเข้าระบบ RO (PSI)
- หมายเลข 8 คือ ค่า TDS ในน้ำดิบ (mg/L)
- หมายเลข 9 คือ ค่า TDS ในน้ำสะอาด (mg/L)
- หมายเลข 10 คือ ปริมาตรระบบน้ำทิ้ง (L)
- หมายเลข 11 คือ ค่า TDS ในน้ำทิ้ง (mg/L)
- หมายเลข 12 คือ ปริมาณน้ำที่ต้องสลับคอลัมน์ (L)
- หมายเลข 13 คือ ปริมาณน้ำที่ได้นำน้ำเกลือฟื้นฟูเรซินคอลัมน์ 2 (L)
- หมายเลข 14 คือ ปริมาณน้ำเกลือที่ใส่ฟื้นฟูเรซิน (L)
- หมายเลข 15 คือ เวลาที่ใช้น้ำเกลือฟื้นฟูเรซิน (sec)
- หมายเลข 16 คือ คำนวณเวลา (sec)
- หมายเลข 17-22 คือ STEP การทำงาน
- หมายเลข 23 คือ เลขแสดงลำดับ STEP การทำงาน
- หมายเลข 24 คือ ตัวเลขแสดงรอบการทำงาน (cycle)
- หมายเลข 25 คือ ปุ่มเริ่มการทำงานโหมดอัตโนมัติ

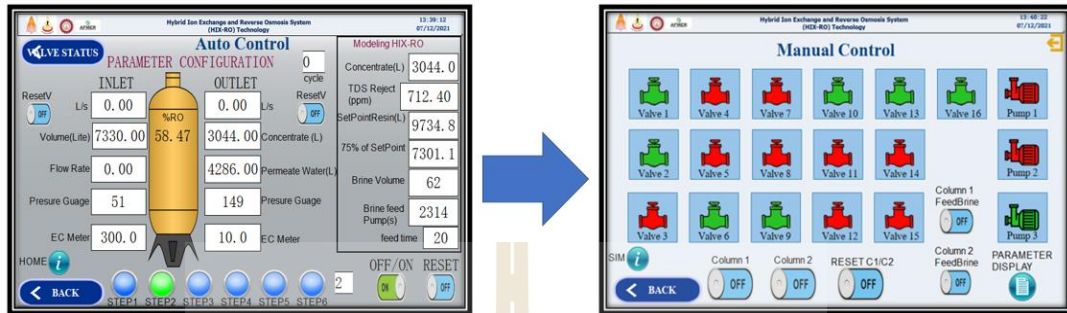
รูปที่ 4.10 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบ

โดยการเงื่อนไขการทำงานในรอบการกรอง 1 Cycle จะแบ่งการทำงานออกเป็น 6 STEP เริ่มจากเมื่อผู้ใช้งานกรอกค่าพารามิเตอร์ของค่า Hardness Lesin และ TDS input ในหน้าต่าง โหมด Auto แล้วระบบจะคำนวณเงื่อนไขการทำงานในการกรองน้ำโดยอัตโนมัติ เช่น ปริมาณน้ำที่ต้องตัดสลับคอลัมน์การทำงานมีค่าเท่ากับ 9,736.8 L จากนั้น หากกดสวิตซ์เริ่มการทำงานระบบจะเริ่มทำการกรองโดยเข้าสู่ STEP ที่ 1 ดังรูปที่ 4.11 การทำงานของ STEP ที่ 1 จะทำการกรองน้ำเพื่อกำจัดความกระด้างในเรซินคอลัมน์ที่ 1 และนำน้ำทิ้งที่ได้จากการกรองด้วยระบบ RO กลับมาฟื้นฟูเรซินในคอลัมน์ที่ 2 ไปจนถึงปริมาณน้ำเท่ากับ 75% ของปริมาณน้ำที่ต้องตัดสลับคอลัมน์ $75\% (9,736.8) = 7,302.6 L$



รูปที่ 4.11 STEP การทำงานที่ 1 โดยใช้เรซินในคอลัมน์ที่ 1 กำจัดความกระด้าง

การทำงานของ STEP ที่ 2 จะทำการฟื้นฟูเรซินในคอลัมน์ที่ 2 ด้วยปั๊มมอเตอร์ 3 (ปั๊มน้ำเกลือ) โดยจะทำการ Feed NaCl เป็นระยะเวลา 2,314 Sec หรือ 38 นาที ดังรูปที่ 4.12



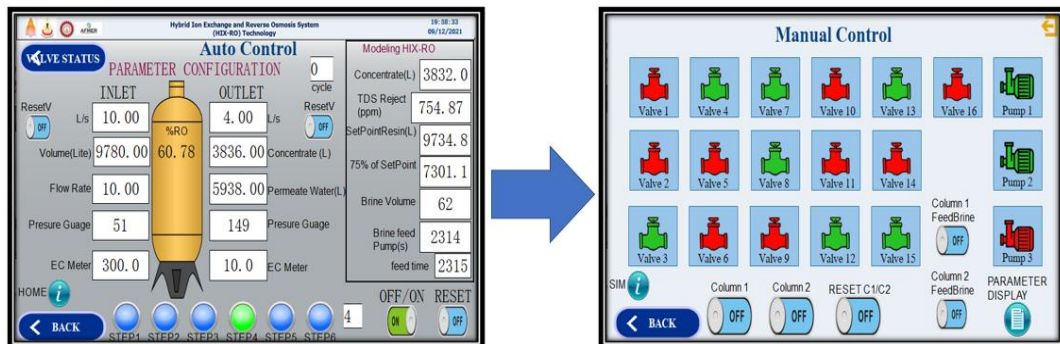
รูปที่ 4.12 STEP การทำงานฟื้นฟูเรซินในคอลัมน์ที่ 2

เมื่อปั๊มน้ำเกลือทำงานจนครบระยะเวลา 2,314 Sec ปั๊มน้ำเกลือจะหยุดการทำงาน และเข้าสู่การทำงานของ STEP ที่ 3 และทำการกรองปริมาณน้ำต่อจาก STEP ที่ 1 ที่ปริมาณน้ำเท่ากับ 7,302.6 L จนถึงปริมาณน้ำ เท่ากับ 9,736.8 L ดังรูปที่ 4.13 จากนั้นจะทำการตัดสลับคอลัมน์การทำงาน โดยใช้ การกรองในเรซินคอลัมน์ที่ 2 เพื่อกำจัดความกระด้าง



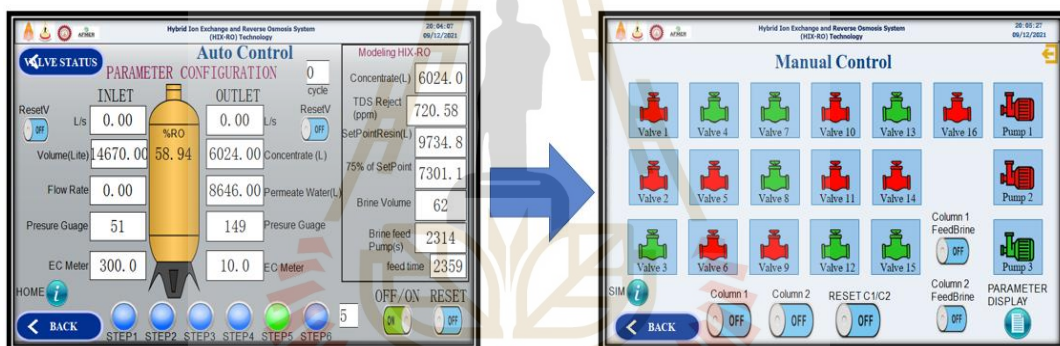
รูปที่ 4.13 STEP การทำงานที่ 3 โดยใช้เรซินคอลัมน์ที่ 1 เป็นตัวกำจัดความกระด้าง

การทำงานของ STEP ที่ 4 จะทำการกรองน้ำต่อจากปริมาณน้ำเท่ากับ 9,736.8 L จนถึงปริมาณน้ำ เท่ากับ 14,605.2 L โดยจะทำการกรองด้วยเรซินคอลัมน์ที่ 2 ในการกำจัดความกระด้างและนำน้ำ ที่ทิ้งที่ได้จากการกรองด้วยระบบ RO กลับมาฟื้นฟูเรซินในคอลัมน์ที่ 1 ดังรูปที่ 4.14



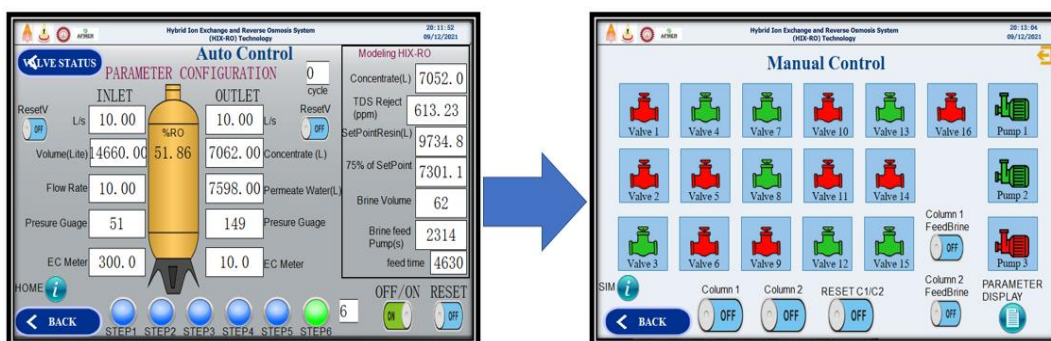
รูปที่ 4.14 STEP การทำงานที่ 4 โดยเรซินคอลัมน์ที่ 2 เป็นตัวกำจัดความกระด้าง

การทำงานของ STEP ที่ 5 จะทำการฟื้นฟูเรซินในคอลัมน์ที่ 1 ด้วยปั๊มมอเตอร์ 3 (ปั๊มน้ำเกลือ) โดยจะทำการ Feed NaCl จากระยะเวลา 2,314 Sec ไปจนถึง 4,628 Sec ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 STEP การทำงานฟื้นฟูเรซินคอลัมน์ที่ 1

การทำงานของ STEP ที่ 6 จะทำการกรองน้ำในเรซินคอลัมน์ที่ 2 ต่อจากปริมาณน้ำเท่ากับ 14,605.2 L จนถึง ปริมาณน้ำ เท่ากับ 19,473.6 L ดังรูปที่ 4.16 และจะวนกลับมายัง STEP การทำงานที่ 1



รูปที่ 4.16 STEP การทำงานที่ 6 โดยเรซินคอลัมน์ที่ 2 เป็นตัวกำจัดความกระด้าง

กล่าวโดยสรุปคือ โปรแกรมที่ออกแบบสามารถใช้ได้ทั้งระบบแมนนวลและระบบอัตโนมัติซึ่งเป็นตามฟังก์ชันออกแบบและตามข้อกำหนดทางน้ำและทางไฟฟ้า ซึ่งได้พิจารณาจากการกดปุ่มต่าง ๆ และการทดสอบของการสลับคอลัมน์ รวมทั้งพิจารณาในเรื่องของความปลอดภัยโดยมีปุ่มฉุกเฉินให้กดเมื่อเกิดความผิดปกติ

4.3 การทดลองประสิทธิภาพของการกรองน้ำด้วยกระบวนการ Reverse Osmosis (RO)

การทดลองระบบควบคุมสำหรับการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำบน PLC และ HMI ในด้านประสิทธิภาพจะพิจารณาปริมาณ RO recover เทียบกับค่าความดันของน้ำที่ไหลเข้าระบบ RO เมื่อเปลี่ยนค่า TDS หรือค่าความเค็มของในปริมาณ 86 mg/L, 833 mg/L และ 2500 mg/L ซึ่งถือว่าเป็นน้ำดิบที่ไหลเข้าระบบที่แตกต่างกัน ซึ่งเครื่องกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำอ่อนจะสามารถกรองได้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 4.17 เป็นเครื่องกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำบน PLC และ HMI โดยมีขั้นตอนการเก็บผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.17 เครื่องกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำบน PLC และ HMI

- 4.3.1 ขั้นตอนการทดลองในการเตรียมน้ำดิบเพื่อใช้ในการกรอง
1. ทำการเตรียมสาร Nacl เพื่อทำการทดลองดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 สารละลาย Nacl ที่ใช้ในการทดลอง

คือ

2. คำนวณหาค่าความเข้มข้นของ TDS ที่ใช้ในการทดลองโดยจำลองน้ำแบ่ง เป็น 3 ประเภท

- ค่า TDS = 86 mg/L ต่อน้ำ 100 ลิตร ดังนั้นคำนวณหาค่า mass Nacl (จำลองน้ำปะปา)

$$mass\ Nacl = 86 \frac{mg}{L} \times 100\ L \quad (4.1)$$

$$mass\ Nacl = 86\ g$$

- ค่า TDS = 833 mg/L ต่อน้ำ 100 ลิตร ดังนั้นคำนวณหาค่า mass Nacl (จำลองน้ำบาดาล)

$$mass\ Nacl = 1,666 \frac{mg}{L} \times 100\ L \quad (4.2)$$

$$mass\ Nacl = 166\ g$$

- ค่า TDS = 2,500 mg/L ต่อน้ำ 100 ลิตร ดังนั้นคำนวณหาค่า mass Nacl (จำลองน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรม)

$$mass\ Nacl = 2,500 \frac{mg}{L} \times 100\ L \quad (4.3)$$

$$mass\ Nacl = 250\ g$$

3. การตวงสาร NaCl เพื่อนำไปละลายน้ำโดยมรการเตรียมดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 (ก) ชั่งสารละลาย NaCl

รูปที่ 4.19 (ข) บีกเกอร์ที่ใช้ในการตวงสารละลาย NaCl

รูปที่ 4.19 การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

4. ผสม NaCl ลงในน้ำดิบ 100 L โดยมรการทดสอบสารละลาย NaCl ลงในน้ำแล้วทำการกวนให้เข้ากัน



รูปที่ 4.20 (ก) การการเตรียมน้ำดิบ

รูปที่ 4.20 (ข) การผสม
สารละลาย NaCl
ลงในน้ำดิบ

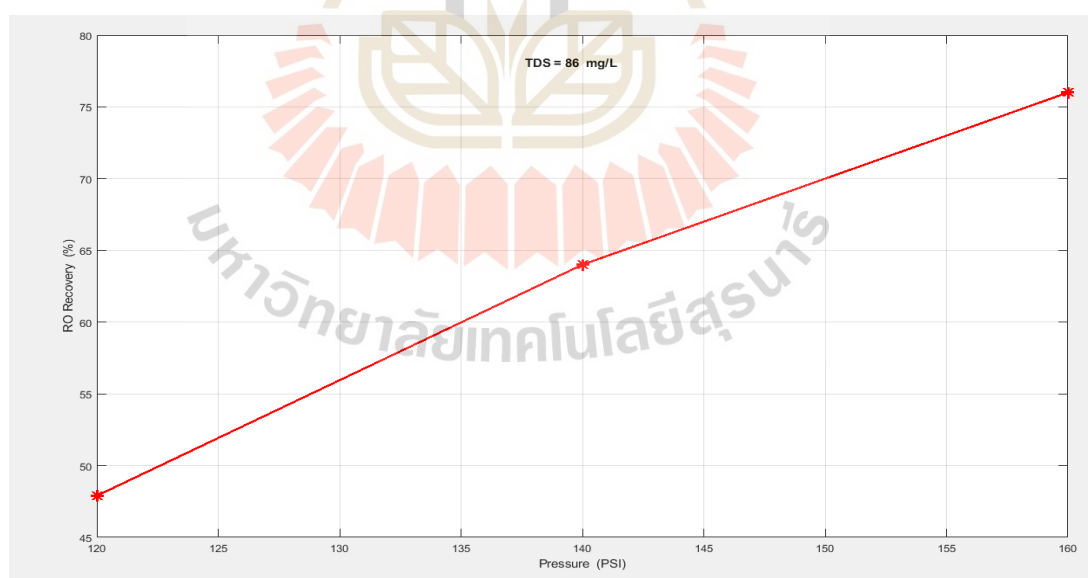
รูปที่ 4.20 (ค) พื้นที่การ
ทดลอง

รูปที่ 4.20 การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ลงในน้ำ 100 ลิตร

เมื่อทำการเตรียมน้ำดิบที่มีค่าความเค็มที่แตกต่างกันแล้ว จะเปิดระบบเครื่องกรองน้ำให้กรองน้ำคั้งละ 100 ลิตร จะได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การปรับความดันน้ำเพื่อดูประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์น้ำสะอาด โดยค่า TDS = 86 mg/L

Pressure (PSI)	TDS in (mg/L)	Volume water in (L)	Volume Water permeat (L)	%RO Recovery $\left(\frac{\text{Volume water permeat}}{\text{Volume water in}}\right) \times 100\%$	RO Recovery (%)
120	86	100	48.9	$\left(\frac{48.9 \text{ L}}{100 \text{ L}}\right) \times 100\%$	48.9
140	86	100	64.4	$\left(\frac{64.4 \text{ L}}{100 \text{ L}}\right) \times 100\%$	64.4
160	86	100	76.5	$\left(\frac{76.5 \text{ L}}{100 \text{ L}}\right) \times 100\%$	76.5



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure (PSI) กับ ประสิทธิภาพน้ำสะอาด (%RO Recovery)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองของน้ำดิบที่เข้าระบบโดยมีค่า TDS = 86 mg/L

120 PSI	TDS inlet = EC/2 = 86 mg/L	Clean water = 4.4 L/min Wast water = 4.6 L/min Water inlet = 9 L/min
		
140 PSI	TDS inlet = EC/2 = 86 mg/L	Clean water = 5.8 L/min Wast water = 3.2 L/min Water inlet = 9 L/min
		
160 PSI	TDS inlet = EC/2 = 86 mg/L	Clean water = 6.4 L/min Wast water = 2 L/min Water inlet = 8.4 L/min
		

จากตารางที่ 4.1 พบว่า พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของการกรองน้ำด้วยระบบควบคุมสำหรับการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยมีค่า Total dissolved solids (TDS) ในน้ำดิบ เท่ากับ 86 mg/L ในปริมาตรน้ำ 100 L ด้วยการเพิ่มระดับ Pressure (PSI) ดังนี้คือ 120 PSI , 140 PSI และ 160 PSI ตามลำดับ เพื่อเป็น

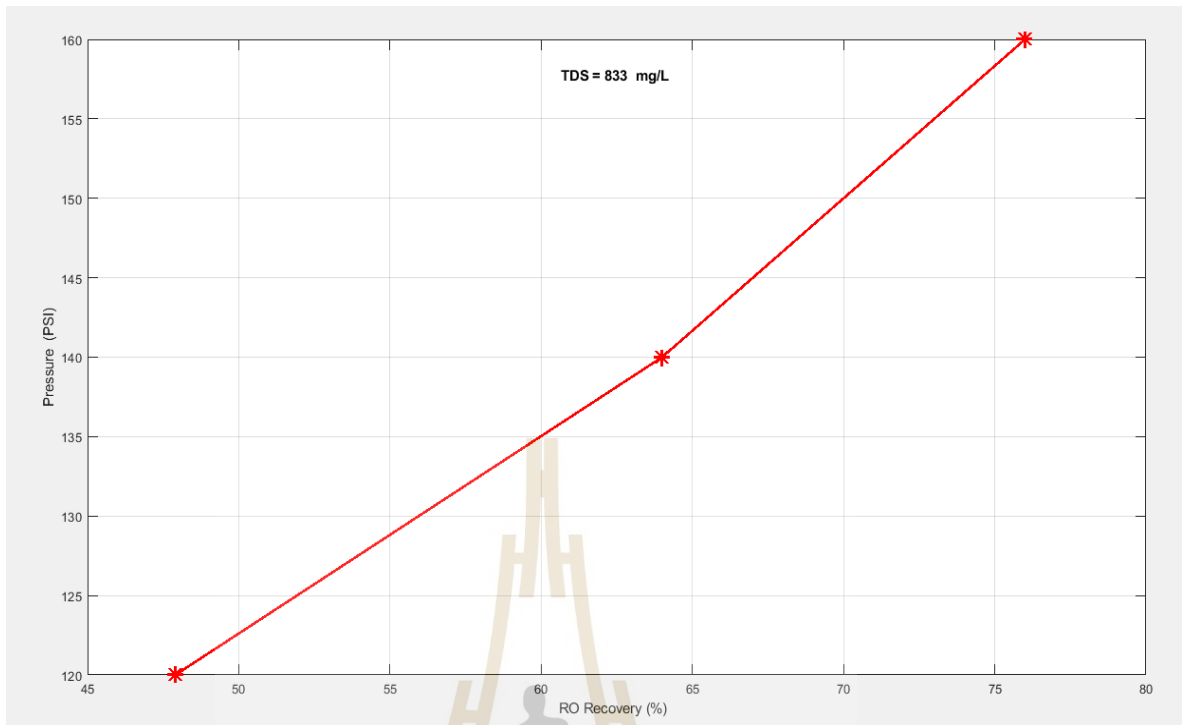
การเพิ่มแรงดันให้น้ำสามารถผ่านเข้าไปยังเยื่อกรองเมมเบรน (Membrane) มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำสะอาด เพิ่มขึ้นเป็น 4.4 L/min, 5.8 L/min และ 6.5 L/min ตามลำดับ และยังคงผลทำให้น้ำที่มีปริมาตรลดลงเป็น 4.6 L/min, 3.2 L/min, และ 2 L/min ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งหากมองถึงประสิทธิภาพของการกรองน้ำโดยคิดเป็นสัดส่วนระหว่างปริมาตรของผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดที่ได้ต่อปริมาตรของน้ำที่เข้าระบบจะพบว่า มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 48.9%, 64.4 %, 76.2% ตามลำดับ ดังกราฟรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure (PSI) กับประสิทธิภาพน้ำสะอาด (%RO Recovery) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสมการ

$$\% RO Recovery = \left(\frac{\text{Volume water permeat}}{\text{Volume water in}} \right) \times 100\% \quad (4.4)$$

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า เนื่องจากระบบควบคุมสำหรับการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับที่ใช้ทดสอบ มีกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบด้วยเรซินที่มีการกำจัดหินปูนและแร่ธาตุที่มากับน้ำ จนเป็นน้ำที่ไม่มีควมกระด้าง ก่อนเข้าระบบ Reverse Osmosis (RO) ทำให้ผิวหน้าของเยื่อกรองเมมเบรนไม่มีการอุดตัน ดังนั้น น้ำที่ผ่านเข้ามาจึงสามารถที่จะเพิ่มระดับความดันของน้ำในการที่จะทำให้ดันน้ำเข้าเยื่อกรองเมมเบรนได้มากถึง 160 PSI ส่งผลทำให้ได้ปริมาตรของผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดที่มากถึง 76.2% ของปริมาตรน้ำที่เข้าระบบ


ตารางที่ 4.3 การปรับ Pressure เพื่อดูประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์น้ำสะอาด โดยค่า TDS = 833 mg/L

Pressure (PSI)	TDS in (mg/L)	Volume water in (L)	Volume Water permeat (L)	%RO Recovery $\left(\frac{\text{Volume water permeat}}{\text{Volume water in}} \right) \times 100\%$	RO Recovery (%)
120	833	100	47.9	$\left(\frac{47.9}{100} \frac{L}{L} \right) \times 100\%$	47.9
140	833	100	64.4	$\left(\frac{64.4}{100} \frac{L}{L} \right) \times 100\%$	64.4
160	833	100	77.5	$\left(\frac{77.5}{100} \frac{L}{L} \right) \times 100\%$	77.5



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure (PSI) กับ ประสิทธิภาพน้ำสะอาด (%RO Recovery)

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการทดลองของน้ำดิบที่เข้าระบบโดยมีค่า TDS = 833 mg/L

120 PSI	TDS inlet = EC/2 = 833 mg/L	Clean water = 4.6 L/min Wast water = 5 L/min Water inlet = 9.6 L/min
		
140 PSI	TDS inlet = EC/2 = 833 mg/L	Clean water = 5.8 L/min Wast water = 3.2 L/min Water inlet = 9 L/min
		
160 PSI	TDS inlet = EC/2 = 833 mg/L	Clean water = 6.2 L/min Wast water = 1.8 L/min Water inlet = 8 L/min
		

จากตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของการกรองน้ำด้วยระบบควบคุมสำหรับการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยมีค่า

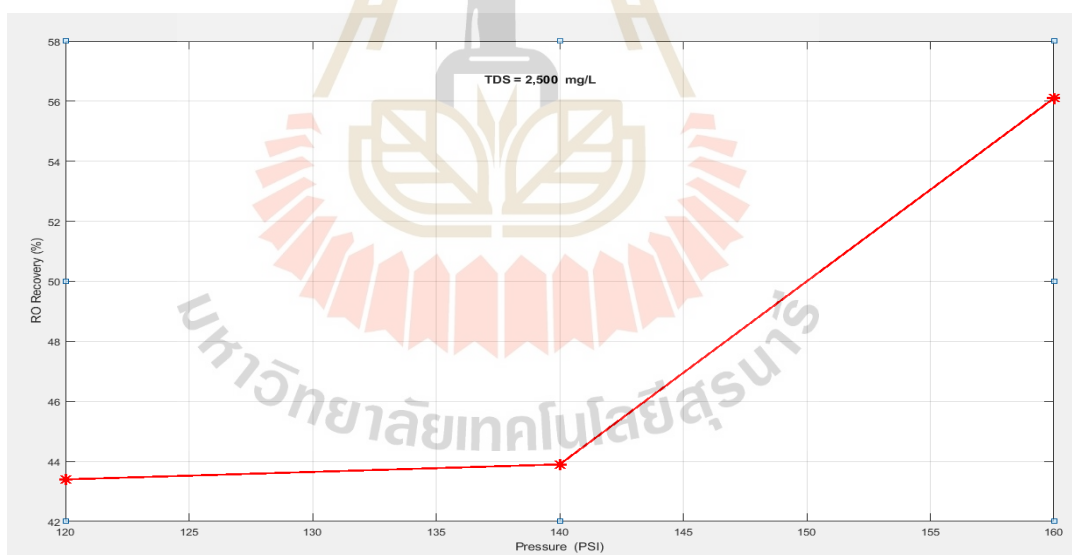
Total dissolved solids (TDS) ในน้ำดิบ เท่ากับ 833 mg/L ในปริมาตรน้ำ 100 L ด้วยการเพิ่มระดับ Pressure (PSI) ดังนี้คือ 120 PSI, 140 PSI และ 160 PSI ตามลำดับ เพื่อเป็นการเพิ่มแรงดันให้น้ำสามารถผ่านเข้าไปยังเยื่อกรองเมมเบรน (Membrane) มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำสะอาด เพิ่มขึ้นเป็น 4.6 L/min, 5.8 L/min และ 6.2 L/min ตามลำดับ และยังส่งผลทำให้น้ำทิ้งมีปริมาตรลดลงเป็น 5 L/min, 3.2 L/min, และ 1.8 L/min ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.4 ซึ่งหากมองถึงประสิทธิภาพของการกรองน้ำโดยคิดเป็นสัดส่วนระหว่างปริมาตรของผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดที่ได้ต่อปริมาตรของน้ำที่เข้าระบบจะ พบว่า มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 47.9%, 64.4 %, 77.5% ตามลำดับ ดังกราฟรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure (PSI) กับ ประสิทธิภาพน้ำสะอาด (%RO Recovery) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสมการ

$$\% RO Recovery = \left(\frac{\text{Volume water permeat}}{\text{Volume water in}} \right) \times 100\%$$

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า เนื่องจากระบบควบคุมสำหรับการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับที่ใช้ทดสอบ มีกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบด้วยเรซินที่มีการกำจัดหินปูนและแร่ธาตุที่มากับน้ำ จนเป็นน้ำที่ไม่มีความกระด้าง ก่อนเข้าระบบ Reverse Osmosis (RO) ทำให้ผิวหน้าของเยื่อกรองเมมเบรนไม่มีการอุดตัน ดังนั้น น้ำที่ผ่านเข้ามาจึงสามารถที่จะเพิ่มระดับความดันของน้ำในการที่จะทำให้ดันน้ำเข้าเยื่อกรองเมมเบรนได้มากถึง 160 PSI ส่งผลทำให้ได้ปริมาตรของผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดที่มากถึง 76.2% ของปริมาตรน้ำที่เข้าระบบ ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการกรองที่แตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อเทียบกับค่า ความเข้มข้นของ Total dissolved solids (TDS) ในน้ำดิบที่มีค่าเท่ากับ 86 mg/L

ตารางที่ 4.5 การปรับ Pressure เพื่อดูประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์น้ำสะอาด โดยค่า TDS = 2,500 mg/L

Pressure (PSI)	TDS in (mg/L)	Volume water in (L)	Volume Water permeat (L)	%RO Recovery $\left(\frac{\text{Volume water permeat}}{\text{Volume water in}}\right) \times 100\%$	RO Recovery (%)
120	2,500	100	44	$\left(\frac{44 \text{ L}}{100 \text{ L}}\right) \times 100\%$	44
140	2,500	100	44.4	$\left(\frac{44.4 \text{ L}}{100 \text{ L}}\right) \times 100\%$	44.4
160	2,500	100	56.2	$\left(\frac{56.2 \text{ L}}{100 \text{ L}}\right) \times 100\%$	56.2



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure (PSI) กับ ประสิทธิภาพน้ำสะอาด (%RO Recovery)

ตารางที่ 4.6 สรุปผลการทดลองของน้ำดิบที่เข้าระบบโดยมีค่า TDS = 2,500 mg/L

120 PSI	TDS inlet = EC/2 = 2,500 mg/L	Clean water = 4 L/min Wast water = 5.1 L/min Water inlet = 9.1 L/min
		
140 PSI	TDS inlet = EC/2 = 2,500 mg/L	Clean water = 4 L/min Wast water = 5 L/min Water inlet = 9 L/min
		
160 PSI	TDS inlet = EC/2 = 2,500 mg/L	Clean water = 5 L/min Wast water = 3.9 L/min Water inlet = 8.9 L/min
		

จากตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของการกรองน้ำด้วยระบบควบคุมสำหรับการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยมีค่า Total dissolved solids (TDS) ในน้ำดิบ เท่ากับ 2,500 mg/L ในปริมาณน้ำ

100 L ด้วยการเพิ่มระดับ Pressure (PSI) ดังนี้ คือ 120 PSI, 140 PSI และ 160 PSI ตามลำดับ เพื่อเป็นการเพิ่มแรงดันให้น้ำสามารถผ่านเข้าไปยังเยื่อกรองเมมเบรน (Membrane) มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำสะอาด เพิ่มขึ้นเป็น 4 L/min, 4 L/min และ 5 L/min ตามลำดับ และยังคงผลทำให้น้ำทิ้งมีปริมาตรลดลงเป็น 5.1 L/min, 5 L/min, และ 3.9 L/min ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.6 ซึ่งหากมองถึงประสิทธิภาพของการกรองน้ำโดยคิดเป็นสัดส่วนระหว่างปริมาตรของผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดที่ได้ต่อปริมาตรของน้ำที่เข้าระบบจะพบว่ามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 44%, 44.4 %, 56.2% ตามลำดับ ดังกราฟรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure (PSI) กับ ประสิทธิภาพน้ำสะอาด (%RO Recovery) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสมการ

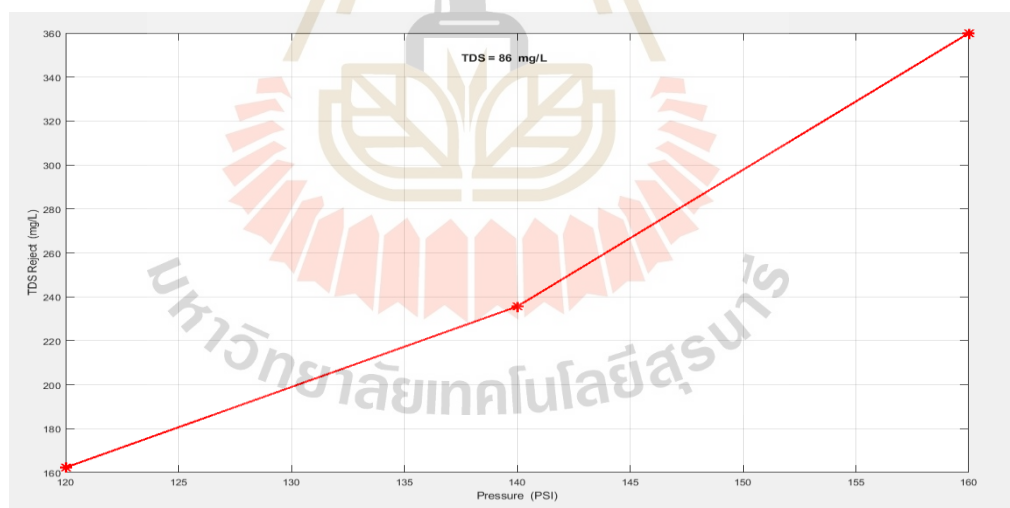
$$\% RO \text{ Recovery} = \left(\frac{\text{Volume water permeat}}{\text{Volume water in}} \right) \times 100\%$$

ที่ความเข้มข้นของ Total dissolved solids (TDS) ในน้ำดิบมีค่าเท่ากับ 2,500 mg/L และทำการเพิ่มระดับความดันของน้ำในการที่จะทำให้ดันน้ำเข้าเยื่อกรองเมมเบรนได้มากถึง 160 PSI ส่งผลทำให้ได้ปริมาตรของผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดที่ได้มีค่าเท่ากับ 56.2% ของปริมาตรน้ำที่เข้าระบบ

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า เมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบความเข้มข้นของ Total dissolved solids (TDS) ในน้ำดิบทั้ง 3 ค่า ได้แก่ 86 mg/L , 833 mg/L และ 2,500 mg/L ตามลำดับ ด้วยการ ใช้ แรงดัน Pressure (PSI) ที่เท่ากันจะทำให้ประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์น้ำสะอาดมีปริมาตรที่ลดลง เนื่องจากมีค่าความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้น แต่ประสิทธิภาพในการกรองน้ำจากอัตราน้ำสะอาดต่ออัตราน้ำทิ้งยังคงมีค่า (50:50) หรือ ได้น้ำสะอาดไม่น้อยกว่า 56%

ตารางที่ 4.7 การปรับ Pressure เพื่อดูประสิทธิภาพการกำจัดค่า TDS

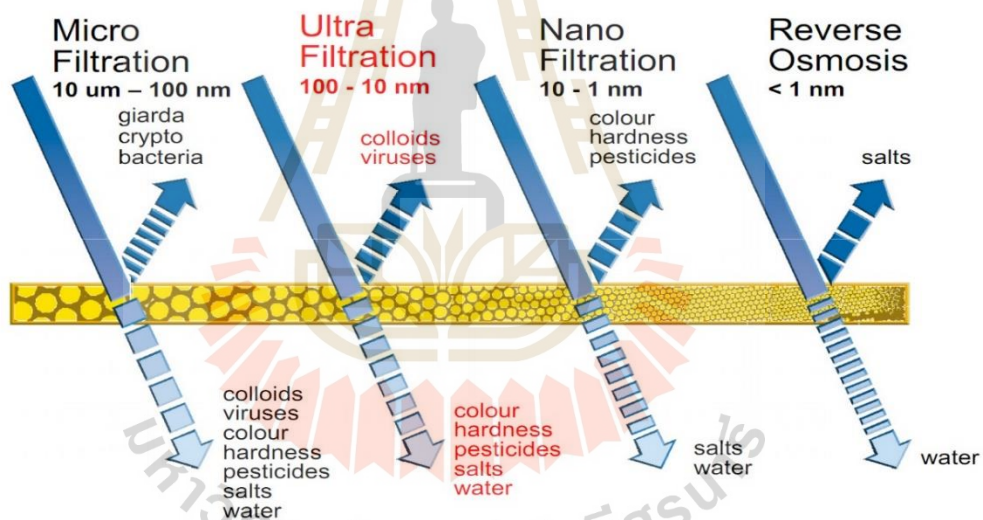
Pressure (PSI)	TDS in (mg/L)	TDS out (mg/L)	TDS Reject (mg/L)
120	86	6	162.30
140	86	6	235.57
160	86	6	359.96



รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure (PSI) กับ ประสิทธิภาพการกำจัด TDS (mg/L)

จากตารางการทดลองที่ 4.7 เป็นการทดลองปรับค่า Pressure (PSI) เพิ่มสูงขึ้น เพื่อดูประสิทธิภาพการกำจัดค่า Total dissolved solids (TDS) ในน้ำ ระหว่างน้ำสะอาดที่ผ่านการกรองด้วยระบบ Reverse Osmosis (RO) กับน้ำทิ้ง โดยน้ำดิบที่มีค่าความเข้มข้น Total dissolved

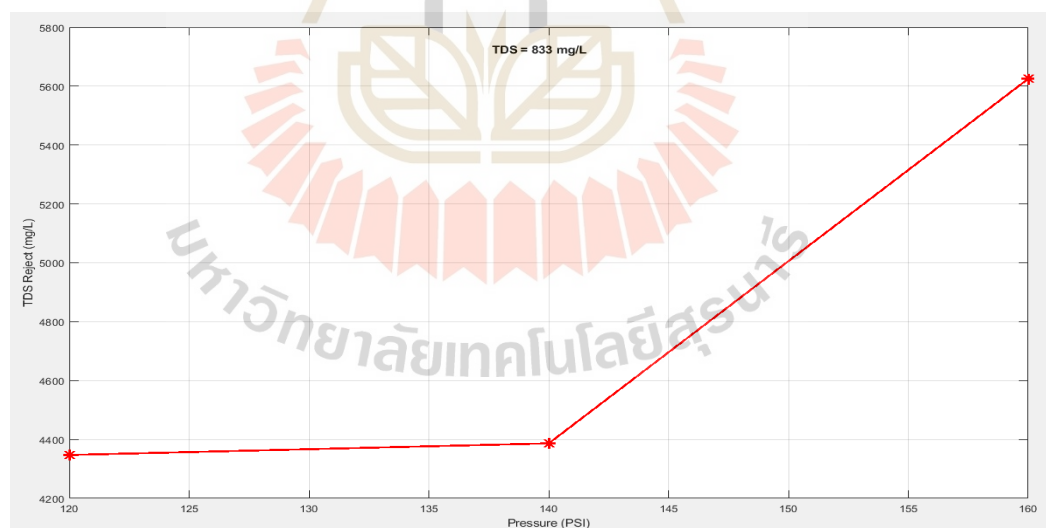
solids (TDS) เท่ากับ 86 mg/L (จำลองน้ำปะปา) มาใช้ในกระบวนการกรองน้ำด้วยระบบ Reverse Osmosis (RO) ด้วยความดัน 120 PSI, 140 PSI และ 160 PSI ตามลำดับ โดยสำหรับน้ำทิ้ง จะมีค่า TDS เท่ากับ 162.30 mg/L, 235.57 mg/L และ 359.96 mg/L ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตได้ว่า เมื่อเราทำการเพิ่มระดับความดันที่สูงขึ้นจะส่งผลทำให้การกำจัดค่า TDS ในน้ำทิ้งได้สูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจาก เราใช้สารละลาย NaCl ที่มีความเข้มข้น เท่ากับ 86 mg/L ละลายในน้ำ 100 L เท่าเดิม แต่เมื่อทำการเพิ่มระดับความดันที่สูงขึ้นจะทำให้ น้ำถูกผลักดันเข้าไปยังเยื่อกรองเมมเบรนสูงขึ้นตามไปด้วย ส่งผลทำให้ได้น้ำสะอาดที่มีปริมาตรเพิ่มขึ้น แต่ด้วยคุณสมบัติพิเศษของเยื่อกรองเมมเบรนที่มีความละเอียดสูงสามารถกำจัดได้ทั้งมวลโมเลกุลจนถึงระดับไอออน จึงทำให้ไอออนของ NaCl ไม่สามารถออกไปหลุดออกจากเมมเบรนได้ จึงทำให้ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือออกมากับน้ำทิ้งที่มีปริมาตรลดลงตามความดันที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น จึงทำให้น้ำทิ้งมีความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วยดังแสดงในรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.25 ระดับการกรองของเยื่อเมมเบรนในและลักษณะการกรอง [30]

ตารางที่ 4.8 การปรับ Pressure เพื่อดูประสิทธิภาพการกำจัดค่า TDS

Pressure (PSI)	TDS in (mg/L)	TDS out (mg/L)	TDS Reject (mg/L)
120	833	16.23	1,582.6
140	833	16.23	2,297.65
160	833	16.23	3,454.60



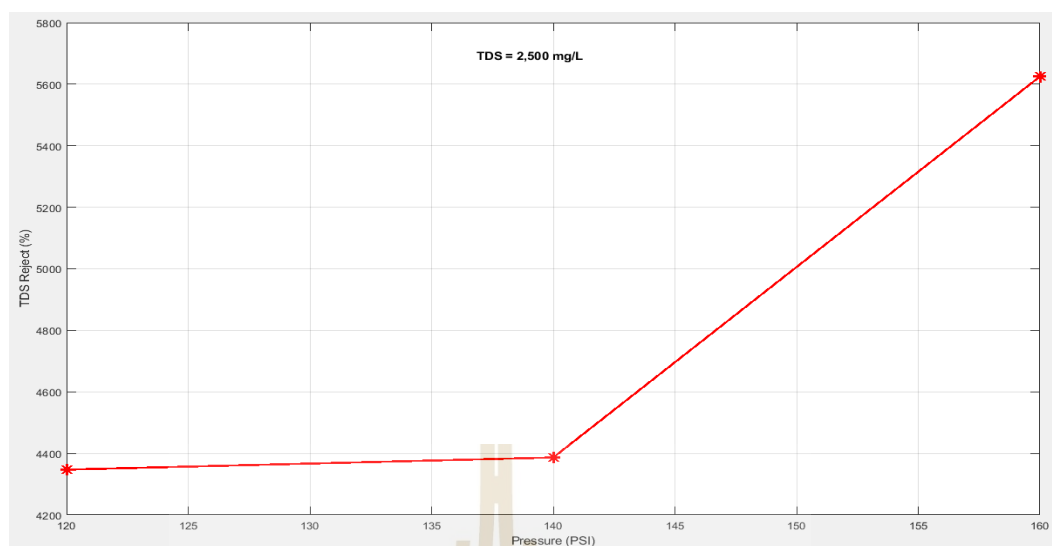
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure (PSI) กับ ประสิทธิภาพการกำจัด TDS (mg/L)

จากตารางการทดลองที่ 4.8 เป็นการทดลองปรับค่า Pressure (PSI) เพิ่มสูงขึ้น เพื่อดูประสิทธิภาพการกำจัดค่า Total dissolved solids (TDS) ในน้ำ ระหว่างน้ำสะอาดที่ผ่านการกรอง

ด้วยระบบ Reverse Osmosis (RO) กับน้ำทิ้ง โดยน้ำดิบที่มีค่าความเข้มข้น Total dissolved solids (TDS) เท่ากับ 833 mg/L (จำลองน้ำปะปา) มาใช้ในกระบวนการกรองน้ำด้วยระบบ Reverse Osmosis (RO) ด้วยความดัน 120 PSI , 140 PSI และ 160 PSI ตามลำดับ โดยสำหรับน้ำทิ้ง จะมีค่า TDS เท่ากับ 1,582.6 mg/L , 2,297.65 mg/L และ 3,454.60 mg/L ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตได้ว่า เมื่อเราทำการเพิ่มระดับความดันที่สูงขึ้นจะส่งผลทำให้การกำจัดค่า TDS ในน้ำทิ้งได้สูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจาก เราใช้สารละลาย NaCl ที่มีความเข้มข้น เท่ากับ 833 mg/L ละลายในน้ำ 100 L เท่าเดิมแต่ เมื่อทำการเพิ่มระดับความดันที่สูงขึ้นจะทำให้ น้ำถูกผลักดันเข้าไปยังเยื่อกรองเมมเบรนสูงขึ้นตามไปด้วย ส่งผลทำให้ได้น้ำสะอาดที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่ด้วยคุณสมบัติพิเศษของเยื่อกรองเมมเบรนที่มีความละเอียดสูงสามารถกำจัดได้ทั้งมวลโมเลกุลจนถึงระดับไอออน จึงทำให้ไอออนของ NaCl ไม่สามารถออกไปหลุดออกจากเมมเบรนได้ จึงทำให้ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือออกมากับน้ำทิ้งที่มีปริมาณลดลงตามความดันที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น จึงทำให้น้ำทิ้งมีความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.9 การปรับ Pressure เพื่อดูประสิทธิภาพการกำจัดค่า TDS

Pressure (PSI)	TDS in (mg/L)	TDS out (mg/L)	TDS Reject (mg/L)
120	2,500	69.7	4,347.25
140	2,500	69.7	4,386.63
160	2,500	69.7	5,625.06



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Pressure (PSI) กับ ประสิทธิภาพการกำจัด TDS (mg/L)

จากตารางการทดลองที่ 4.9 เป็นการทดลองปรับค่า Pressure (PSI) เพิ่มสูงขึ้น เพื่อดูประสิทธิภาพการกำจัดค่า Total dissolved solids (TDS) ในน้ำ ระหว่างน้ำสะอาดที่ผ่านการกรองด้วยระบบ Reverse Osmosis (RO) กับน้ำทิ้ง โดยน้ำดิบที่มีความเข้มข้น Total dissolved solids (TDS) เท่ากับ 2,500 mg/L (จำลองน้ำปะปา) มาใช้ในกระบวนการกรองน้ำด้วยระบบ Reverse Osmosis (RO) ด้วยความดัน 120 PSI, 140 PSI และ 160 PSI ตามลำดับ โดยสำหรับน้ำทิ้ง จะมีค่า TDS เท่ากับ 4,347.25 mg/L, 4,386.63 mg/L และ 5,625.06 mg/L ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตได้ว่า เมื่อเราทำการเพิ่มระดับความดันที่สูงขึ้นจะส่งผลทำให้การกำจัดค่า TDS ในน้ำทิ้งได้สูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจาก เราใช้สารละลาย NaCl ที่มีความเข้มข้น เท่ากับ 2,500 mg/L ละลายในน้ำ 100 L เท่าเดิมแต่เมื่อทำการเพิ่มระดับความดันที่สูงขึ้นจะทำให้ น้ำถูกผลักดันเข้าไปยังเยื่อกรองเมมเบรนสูงขึ้นไปด้วย ส่งผลทำให้ได้น้ำสะอาดที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น แต่ด้วยคุณสมบัติพิเศษของเยื่อกรองเมมเบรนที่มีความละเอียดสูงสามารถกำจัดได้ทั้งมวลโมเลกุลจนถึงระดับไอออน จึงทำให้ ไอออนของ NaCl ไม่สามารถออกไปหลุดออกจากเมมเบรนได้ จึงทำให้ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือออกมา กับน้ำทิ้งที่มีปริมาตรลดลงตามความดันที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น จึงทำให้น้ำทิ้งมีความเข้มข้นของสารละลายที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.10 การปรับค่า TDS ฝึ่งน้ำดิบ เพื่อดูปริมาตรของน้ำในการตัดสลับคอลัมน์การทำงาน

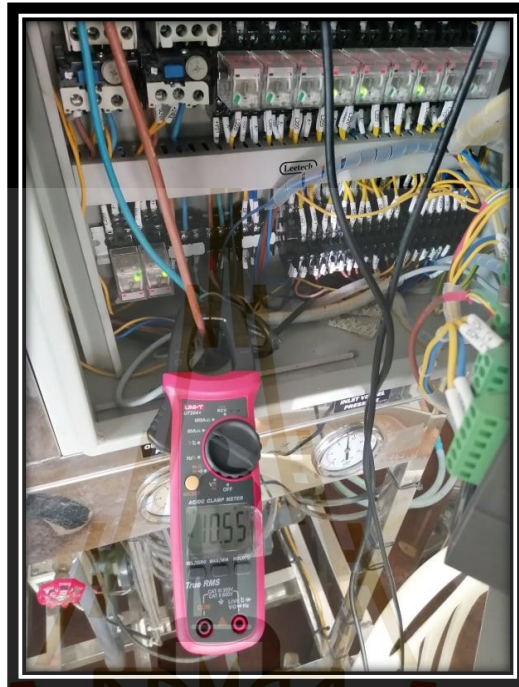
TDS in (mg/L)	Hardness (mg/L)	Resin (mg/L)	Volume of switch column (L)
86	200	25	9,681
833	200	25	9,200
2,500	200	25	8,129



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรการตัดสลับคอลัมน์การทำงานของน้ำ กับ ค่า TDS (mg/L)

4.4 ผลการทดสอบด้านพลังงานไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.29 แสดงการวัดค่ากระแสจากดิจิทัลมัลติมิเตอร์เพื่อนำมาคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 4.29 ระบบเครื่องกรองน้ำ RO

จากการวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากดิจิตอลมิเตอร์และนำมาคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบเครื่องกรองน้ำ RO มีการใช้พลังงานตามชั่วโมงการใช้งานได้ตามตารางที่ 4.11 ถึง 4.14 โดยพิจารณาการเดินเครื่องที่ชั่วโมงการทำงานนานที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.11 การจำลองการเดินเครื่องต่ออัตราการใช้หน่วยการไฟฟ้า

Time (Hour)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W) Voltage x Current	Unit (Power/1,000 x Hour)	คิดต่อเดือน (Unit x 30 day)
8	230	10	2,300	18.4	552
12	230	10	2,300	27.6	828
18	230	10	2,300	41.4	1,242
24	230	10	2,300	55.2	1,656

ตารางที่ 4.12 การจำลองการเดินเครื่องจำนวน 8 ชั่วโมง/วัน ต่ออัตราค่าไฟฟ้า

8 ชั่วโมง/วัน			คิดเป็น 552 หน่วย/ เดือน	
หน่วยที่	ราคารายูนิตละ (บาท)	จำนวนยูนิต	คำนวณเงิน	คิดเป็นเงิน (บาท)
1-15	2.3488	15	2.3488 x 15	35.23
16-25	2.9882	10	2.9882 x 10	29.88
26-35	3.2405	10	3.2405 x 10	32.41
36-100	3.6237	65	3.6237 x 65	235.54
101-150	3.7171	50	3.7171 x 50	185.86
151-400	4.2218	250	4.2218 x 250	1,055.45
401 - 552	4.4217	152	4.4217 x 152	672.09
รวมเป็นเงิน			2,246.46 บาท	

ตารางที่ 4.13 การจำลองการเดินเครื่องจำนวน 12 ชั่วโมง/วัน ต่ออัตราค่าไฟฟ้า

12 ชั่วโมง/วัน			คิดเป็น 828 หน่วย/ เดือน	
หน่วยที่	ราคาหน่วยละ (บาท)	จำนวนหน่วย	คำนวณเงิน	คิดเป็นเงิน (บาท)
1-15	2.3488	15	2.3488×15	35.23
16-25	2.9882	10	2.9882×10	29.88
26-35	3.2405	10	3.2405×10	32.41
36-100	3.6237	65	3.6237×65	235.54
101-150	3.7171	50	3.7171×50	185.86
151-400	4.2218	250	4.2218×250	1,055.45
401 - 828	4.4217	428	4.4217×428	1,892.49
รวมเป็นเงิน			3,466.86 บาท	

ตารางที่ 4.14 การจำลองการเดินเครื่องจำนวน 18 ชั่วโมง/วัน ต่ออัตราค่าไฟฟ้า

18 ชั่วโมง/วัน			คิดเป็น 828 หน่วย/ เดือน	
หน่วยที่	ราคาหน่วยละ (บาท)	จำนวนหน่วย	คำนวณเงิน	คิดเป็นเงิน (บาท)
1-15	2.3488	15	2.3488×15	35.23
16-25	2.9882	10	2.9882×10	29.88
26-35	3.2405	10	3.2405×10	32.41
36-100	3.6237	65	3.6237×65	235.54
101-150	3.7171	50	3.7171×50	185.86
151-400	4.2218	250	4.2218×250	1,055.45
401 - 1,242	4.4217	842	4.4217×842	3,740.30
รวมเป็นเงิน			5,314.67 บาท	

ตารางที่ 4.15 การจำลองการเดินเครื่องจำนวน 24 ชั่วโมง/วัน ต่ออัตราค่าไฟฟ้า

24 ชั่วโมง/วัน			คิดเป็น 828 หน่วย/ เดือน	
หน่วยที่	ราคาหน่วยละ (บาท)	จำนวนหน่วย	คำนวณเงิน	คิดเป็นเงิน (บาท)
1-15	2.3488	15	2.3488×15	35.23
16-25	2.9882	10	2.9882×10	29.88
26-35	3.2405	10	3.2405×10	32.41
36-100	3.6237	65	3.6237×65	235.54
101-150	3.7171	50	3.7171×50	185.86
151-400	4.2218	250	4.2218×250	1,055.45
401 – 1,656	4.4217	1,256	$4.4217 \times 1,256$	5,553.66
รวมเป็นเงิน			7,128.03 บาท	

ผลการวิเคราะห์เรื่องการใช้พลังงานไฟฟ้าหากใช้เครื่องตลอด 24 ชั่วโมงจะคิดค่าไฟฟ้าได้ 1,656 หน่วยต่อเดือน เป็นเงิน 7,128.03 บาท ต่อเดือน ทางกรมตลาดงานวิจัยเล่มนี้พิจารณาชั่วโมงที่ 8 ชั่วโมง ดังนั้น หน่วยค่าไฟฟ้าเป็น ได้ 552 หน่วยต่อเดือน เป็นเงิน 2,246.46 บาทต่อเดือน ซึ่งจะสอดคล้องการโปรแกรมการคำนวณค่าน้ำการประปาส่วนภูมิภาค กำลังการผลิตของเครื่องกรองน้ำนี้มีพิกัด 6,000 ลิตรต่อวัน ซึ่งจะพิจารณารายรับหลังจากหักค่าใช้จ่ายแล้วเป็นเงิน 80,032 บาท/เดือน

โปรแกรมคิดค่าน้ำ กปภ.



โปรแกรมคำนวณค่าน้ำประปา การประปาส่วนภูมิภาค

ประเภทใช้บริการ :

ประเภทผู้ใช้ :

ขนาดมาตรวัดน้ำ :

นิ้ว

ปริมาณการใช้น้ำ :

ลูกบาศก์เมตร

รูปที่ 4.30 โปรแกรมคำนวณค่าน้ำของการประปาส่วนภูมิภาค [8]

อัตราค่าน้ำประปา

ราคาต่อหน่วย (บาท)	คูณ	หน่วยน้ำที่ใช้ (ลบ.ม)	เป็นเงินทั้งสิ้น (บาท)
10.20	X	10	102.00 บาท
16.00	X	10	160.00 บาท
19.00	X	10	190.00 บาท
21.20	X	20	424.00 บาท
21.60	X	30	648.00 บาท
21.65	X	20	433.00 บาท
21.70	X	29.6	642.32 บาท
รวมค่าน้ำ *			2,599.32 บาท
ค่าบริการทั่วไป			60.00 บาท
ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (7%)			186.15 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น			2,845.47 บาท

รูปที่ 4.31 โปรแกรมคำนวณค่าน้ำของการประปาส่วนภูมิภาค [31]

ตารางที่ 4.16 การคำนวณรายรับ-รายจ่าย ของการผลิตน้ำเพื่อจำหน่าย

กำลังผลิตน้ำสะอาดพิกัด 6,000 ลิตร/วัน	
น้ำบาดาลในการผลิต	TDS 833 mg/L
ผลิตน้ำสะอาด 6 ลิตร/นาที่	ผลิตน้ำสะอาด 360 ลิตร/ชั่วโมง
น้ำทิ้ง 3 ลิตร/นาที่	น้ำเข้าระบบ 9 ลิตร/นาที่
เดินเครื่องวันละ 8 ชั่วโมง	อัตราการผลิตน้ำสะอาด 2,880 ลิตร/วัน
เดินเครื่องวันละ 8 ชั่วโมง	ปริมาตรทิ้ง 1,440 ลิตร/วัน
เดินเครื่องวันละ 8 ชั่วโมง	ปริมาตรน้ำเข้าระบบ 4,320 ลิตร/วัน
ขายน้ำ ลิตรละ 1 บาท	2,880 บาท/วัน
ขายน้ำ 2,880 บาท x 30 วัน	รายได้ 86,400 บาท/เดือน
ใช้น้ำประปา (4,320 x 30 วัน)	129,600 ลิตร/เดือน
ค่าน้ำประปา	2,845.87 บาท/เดือน
ค่าไฟฟ้า	2,246.46 บาท/เดือน
ค่าเรซิน	308 บาท/เดือน
ค่าเมมเบรน	967 บาท/เดือน
รวมรายได้ต่อเดือน	86,400 บาท/เดือน
รวมรายจ่ายต่อเดือน	6,367.33 บาท/เดือน
รวมรายรับต่อเดือน	80,032 บาท/เดือน

ตารางที่ 4.17 รายการเปรียบเทียบการเปลี่ยนเรซินต่อค่าใช้จ่ายในระบบทั่วไปกับระบบที่ปรับปรุงใหม่

ระบบทั่วไป	ระบบที่ปรับปรุงใหม่
โดยปกติจะเปลี่ยนเรซินทุกๆ 1 ปี = 3,700 บาท/ปี	คำนวณระยะเวลาการเปลี่ยนเรซินจากการใช้น้ำ
	ค่า TDS จากน้ำดิบ = 300 mg/L
	ปริมาณน้ำที่ตัดสลับคอลัมน์ = 9,544 L
	ปริมาณน้ำ 1 Cycle = 9,544*2 = 19,088 L
	ปริมาณน้ำ 300 Cycle = 19,088*300 = 5,726,400 L
	1 วัน สามารถกรองน้ำสะอาดได้ 6,000 L
	1 วัน คิดเป็นอัตราส่วนน้ำสะอาดต่อน้ำทิ้ง (60:40)
	1 วัน ใช้น้ำปริมาณ 10,000 ลิตร
	ระยะเวลาเปลี่ยนเรซิน (5,726,400/ 10,000) = 573 วัน
	ระยะเวลาเปลี่ยนเรซิน (573/365) = 1.6 ปี
ระยะเวลาเปลี่ยนเรซิน = 1 ปี	ระยะเวลาเปลี่ยนเรซิน = 1.6 ปี
เรซิน 1 กระสอบ = 25 L ราคา 1,850 บาท เรซิน 1 คอลัมน์ = 25 L เรซิน 2 คอลัมน์ = 50 L เรซิน 2 กระสอบ ราคา 1,850*2 = 3,700 บาท	เรซิน 1 กระสอบ = 25 L ราคา 1,850 บาท เรซิน 1 คอลัมน์ = 25 L เรซิน 2 คอลัมน์ = 50 L เรซิน 2 กระสอบ ราคา 1,850*2 = 3,700 บาท
เฉลี่ยเดือนละ (3,700/12) = 308 บาท	ประหยัดค่าใช้จ่าย = 308*6 = 1,848 บาท

จากตารางที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนเรซินและค่าใช้จ่ายระหว่างระบบ RO ที่มีวางขายตามท้องตลาดทั่วไปกับระบบที่วิจัยและพัฒนา ซึ่งจะเห็นถึงความแตกต่าง โดยทั่วไปผู้ขาย จะกำหนดการเปลี่ยนเรซินตามระยะเวลาทุก ๆ 1 ปี ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 3,700 บาท หากคิดเป็นเดือน จะเฉลี่ยเดือนละ 308 บาท แต่ระบบควบคุม RO ที่พัฒนาขึ้น จะกำหนดการเปลี่ยนเรซินโดยมี

เงื่อนไขการทำงานที่ 300 cycle โดยการทำงาน 1 cycle จะทำการกรองจนครบ 2 คอลัมน์และกลับมาเริ่มการกรองในเรซินคอลัมน์ที่ 1 อีกครั้ง จากตารางข้างต้น หากนำน้ำดิบที่มีค่า TDS = 300 mg/L (เทียบกับน้ำปะปา) ระบบจะคำนวณเงื่อนไขปริมาณน้ำที่ต้องตัดสลับคอลัมน์การทำงานที่ 9,544 L ดังนั้น 1 cycle จะใช้ปริมาณน้ำดิบในการกรอง 19,088 L โดยมีเงื่อนไขการเปลี่ยนเรซินคือ การทำงานครบ 300 cycle ดังนั้น จะใช้ปริมาณน้ำดิบในการกรอง 5,726,400 L จากพิกัดเครื่องสามารถกรองน้ำสะอาดได้วันละ 6,000 L ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการกรองคิดเป็นน้ำสะอาดต่อน้ำทิ้งในอัตรา (60:40) กล่าวคือ 1 วัน ใช้น้ำดิบในการกรองประมาณ 10,000 L ดังนั้น ระยะเวลาในการเปลี่ยนเรซิน 573 วัน หรือ 1.6 ปี ซึ่งสามารถเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ประหยัดลงในการเปลี่ยนเรซินต่อรอบ 1,848 บาท

ตารางที่ 4.18 รายการเปรียบเทียบการเปลี่ยนเมมเบรนต่อค่าใช้จ่ายในระบบทั่วไปกับระบบที่ปรับปรุงใหม่

ระบบทั่วไป	ระบบที่ปรับปรุงใหม่
โดยปกติจะเปลี่ยนไส้กรองเมมเบรน RO ทุก ๆ 6 เดือน	ปริมาณน้ำที่ต้องเปลี่ยนไส้กรองเมมเบรน RO เท่ากับ 6,500,000 L
	1 วัน สามารถกรองน้ำสะอาดได้ 6,000 L
	1 วัน คิดเป็นอัตราส่วนน้ำสะอาดต่อน้ำทิ้ง (60:40)
	1 วัน ใช้น้ำปริมาณ 10,000 ลิตร
	ระยะเวลาเปลี่ยนไส้กรองเมมเบรน $(6,500,000 / 10,000) = 650$ วัน
	ระยะเวลาเปลี่ยนไส้กรองเมมเบรน = $(650/365) = 1.8$ ปี
ระยะเวลาเปลี่ยนไส้กรองเมมเบรน RO = 6 เดือน	ระยะเวลาเปลี่ยนไส้กรองเมมเบรน RO = 1.8 ปี
ไส้กรองเมมเบรน RO ขนาด 3.9*40 นิ้ว สำหรับกรองน้ำ 6Q ราคา 5,800 บาท	ไส้กรองเมมเบรน RO ขนาด 3.9*40 นิ้ว สำหรับกรองน้ำ 6Q ราคา 5,800 บาท
ระยะเวลาเปลี่ยนเมมเบรน = 6 เดือน	ระยะเวลาเปลี่ยนเมมเบรน = 20 เดือน
เฉลี่ยเดือนละ $(5,800 / 6) = 967$ บาท	ประหยัดค่าใช้จ่าย = $967 * 14 = 13,538$ บาท

จากตารางที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาการเปลี่ยนเมมเบรนและค่าใช้จ่ายระหว่างระบบ RO ที่มีวางขายตามท้องตลาดทั่วไปกับระบบที่วิจัยและพัฒนา ซึ่งจะเห็นถึงความแตกต่าง โดยทั่วไปผู้ขายจะกำหนดการเปลี่ยนเมมเบรนตามระยะเวลาทุกๆ 6 เดือน ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 5,800 บาท หากคิดเป็นเดือน จะเฉลี่ยเดือนละ 967 บาท แต่ระบบควบคุม RO ที่พัฒนาขึ้น จะกำหนดการเปลี่ยนเมมเบรนโดยมีเงื่อนไขการทำงานที่ 6,500,000 L จากพิกัดเครื่องสามารถกรองน้ำสะอาดได้วันละ 6,000 L ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการกรองคิดเป็นน้ำสะอาดต่อน้ำทิ้งในอัตรา (60:40) กล่าวคือ 1 วัน ใช้น้ำดิบในการกรองประมาณ 10,000 L ดังนั้น ระยะเวลาในการเปลี่ยนเมมเบรน 20 เดือน หรือ 1.6 ปี ซึ่งสามารถเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ประหยัดลงในการเปลี่ยนเมมเบรนต่อรอบ 13,538 บาท

4.5 การสอบเทียบเครื่องมือวัด

ในเครื่องผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นมานั้นได้มีการสอบเทียบค่าของเครื่องมือวัด ทั้ง 3 รายการ ได้แก่ เซนเซอร์วัดอัตราการไหล เซนเซอร์วัดความดันของน้ำในท่อ และเซนเซอร์วัดค่าความนำไฟฟ้า โดยแยกเป็นไปตามตารางที่ 4.19-4.21 ดังนี้

ตารางที่ 4.19 การสอบเทียบของเซนเซอร์วัดอัตราการไหลให้ได้ลิตรจากการตวงภาชนะ

เครื่องมือเทียบ	หน้าจอ HMI
	

ตารางที่ 4.20 การสอบเทียบค่าความดันของน้ำในท่อฝั่งขาเข้าระบบ และฝั่งขาเข้า RO

เครื่องมือเทียบ	หน้าจอ HMI
	

ตารางที่ 4.21 การ Calculation EC meter ฝั่งขาเข้าระบบ และฝั่งน้ำสะอาด

เครื่องมือเทียบ	หน้าจอ HMI
	
	

4.6 สรุปผลการวิเคราะห์

บทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมสำหรับการกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำบน PLC และ HMI จากผลการทดสอบทั้ง 3 ด้านสรุปได้ว่า การทำงานของระบบทั้งแมนนวลและระบบอัตโนมัติสามารถใช้ได้ทั้งสองรูปแบบอย่างดีเยี่ยม หากเรา Login เข้ามาในหน้า HOME เราสามารถเลือกโหมดการทำงานได้ 2 โหมด หากเลือกเป็น Manual mode จะสามารถเลือกการทำงานของอุปกรณ์ได้รายตัวหรือ

สามารถเลือกคอลัมน์ในการกรองได้ แต่จะไม่สามารถเลือกให้ เรซินทั้ง 2 คอลัมน์ทำงานพร้อมกันได้ โดยการทำงานในรอบการกรอง 1 Cycle จะแบ่งการทำงานออกเป็น 6 STEP เมื่อกรอกค่าพารามิเตอร์ในหน้าต่าง โหมด Auto แล้วระบบจะคำนวณเงื่อนไขการทำงานในการกรองน้ำโดยอัตโนมัติ จากนั้น หากกดสวิตช์เริ่มการทำงานระบบจะเริ่มทำการกรองโดยเข้าสู่ STEP ที่ 1 จนถึง STEP ที่ 6 แบบอัตโนมัติ พร้อมทั้งแสดงสถานะการทำงานแบบ real time อีกทั้งผลทดสอบเครื่องกรองน้ำสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยพิจารณาจาก %RO Recovery และการกำจัดค่า TDS ซึ่งเป็นปริมาณที่บ่งบอกถึงการได้ปริมาณน้ำสะอาดมากกว่า 75 % จึงมีปริมาณค่า TDS ในน้ำที่ต่ำ สำหรับการกรองน้ำดิบที่เป็นชนิดน้ำป่าและน้ำบาดาล และการจากการวิเคราะห์จะเห็นว่าค่าความเค็มจะมีผลต่ออายุของเมมเบรน ค่าความเค็มมากอายุการใช้งานจะสั้นทำให้ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนไส้กรองเร็วขึ้น ระบบ RO ที่มีการคำนวณอายุซึ่งเปลี่ยนไส้กรองและการกรองสลับคอลัมน์ตามปริมาณการใช้งานสามารถช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ได้เป็นอย่างดี



บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลงานวิจัย

ผลการทดลองและการทดสอบของระบบควบคุมอัตโนมัติโดยประยุกต์ใช้ PLC และแสดงผลผ่าน HMI สำหรับเครื่องกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ นั้น สามารถสรุปในประเด็นที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ฟังก์ชันการทำงานของระบบควบคุมโดยประยุกต์ใช้ PLC และ การแสดงผลผ่าน HMI สำหรับเครื่องกรองน้ำโดยใช้เทคนิคการรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับร่วมกับระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ นั้น สามารถควบคุมการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะคำนวณปริมาณน้ำจากคุณภาพน้ำดิบด้วยค่า TDS เพื่อกำหนดเงื่อนไขการทำงานของระบบควบคุมให้ทำงานในแต่ละโหมด ซึ่งมี 4 โหมดการทำงาน ดังนี้

โหมดที่ 1 จะทำปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยน้ำจะผ่านไส้กรองหยาบ และเรซินคอลัมน์ที่ 1 ก่อนเข้าเครื่องรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับ

โหมดที่ 2 จะทำการฟื้นฟูเรซินในคอลัมน์ที่ 2 โดยปั๊มจะดูดสารละลาย NaCl เพื่อล้างเรซินในคอลัมน์ที่ 2 เป็นระยะเวลาที่คำนวณได้

โหมดที่ 3 จะทำปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยน้ำจะผ่านไส้กรองหยาบ และเรซินคอลัมน์ที่ 2 ก่อนเข้าเครื่องรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับ

โหมดที่ 4 จะทำการฟื้นฟูเรซินในคอลัมน์ที่ 1 โดยปั๊มจะดูดสารละลาย NaCl เพื่อล้างเรซินในคอลัมน์ที่ 1 เป็นระยะเวลาที่คำนวณได้

2. เป็นระบบที่มีกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนเข้าเครื่องรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับ ด้วยน้ำผ่านไส้กรองหยาบและเรซิน ซึ่งจะทำให้น้ำที่ได้ไม่มีหินปูนไปอุดตันบนผิวหน้าของเยื่อกรองเมมเบรนของเครื่องรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับ ส่งผลให้อายุการใช้งานของเมมเบรนนานขึ้น อีกทั้งยังสามารถเพิ่มความดันของน้ำก่อนที่จะเข้าเครื่องรีเวิร์สออสโมซิสแบบผันกลับ ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณน้ำที่ผ่านการกรองเพิ่มขึ้น

3. เป็นระบบที่มีการฟื้นฟูเรซินอย่างอัตโนมัติ โดยใช้เงื่อนไขจากค่า TDS ของน้ำดิบ เป็นเงื่อนไขกำหนดปริมาณน้ำในการฟื้นฟูเรซิน เพื่อทำให้เรซินมีคุณภาพดี ส่งผลให้เพิ่มอายุการใช้งานของเรซินและเยื่อกรองเมมเบรน ดังรูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการตัดสลับ

คอลัมน์การทำงานของน้ำ กับ ค่า TDS จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงแปรผกผันกัน โดยหากน้ำดิบมีค่า TDS มากจะทำให้การฟื้นฟูเรซินเร็วขึ้นและรอบการทำงานสั้นตามไปด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบทั้งสมรรถนะของเครื่องและการควบคุมมีข้อเสนอแนะเพื่อให้เครื่องมีประสิทธิภาพและกระชับกระทัดรัดเพื่อต่อยอดในอนาคตดังต่อไปนี้

1) แยกระบบการกรองเรซินและการกรองแบบ RO ที่สามารถถอดประกอบได้ซึ่งข้อดีคือการขนส่งและการขายในอนาคตที่ผู้ประกอบการหรือผู้สนใจแยกซื้อในแต่ละส่วนได้อย่างอิสระ และในงานควบคุมก็สามารถทำชุดควบคุมเพื่อรองรับการแยกส่วน

2) สามารถเพิ่ม Module ของไส้กรองเมมเบรนได้เนื่องจากพิกัดของปั๊มสามารถเพิ่มได้เพื่อให้ได้ปริมาตรผลิตภัณฑ์น้ำดีเพิ่มขึ้น

3) ระบบการเฝ้าตรวจและติดตามสถานะของเครื่องสามารถประยุกต์ระบบ IoT เข้ามาช่วยเพื่อแจ้งเตือนและดูค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ทางวิศวกรรมได้



รายการอ้างอิง

Mohamed Belkacem, Saida Bekhti and KenzaBensadok, “Groundwater treatment by reverse osmosis”, Conference on Desalination Strategies in South Mediterranean Countries, 21-25 May 2006 Montpellier, France, Vol. 206, Issues 1–3, Pages 1-658

บุญชัย วิจิตรเสถียร “Application of Membrane Filtration Processes in Water Recycle (Case study: Suranaree University of Technology)”, 2009 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection, 29 Jan 2009,

Yi Wang, Yong-peng Xu, Jun Nan, Gui-bai Li, “Treatment of Low Temperature and Low Turbidity Water Enhanced by Reusing Ultrafiltration Membrane Washing Water”, 2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection, 20-22 May 2011, Xi'an, China, pp. 1522-1525.

Kucera J. 2015 Reverse Osmosis Industrial Processes and Applications 2nd edition (New York: Wiley-Scrivener Publishing).

E.B. Priyanka, K. Krishnamurthy and C. Maheswari, “REMOTE MONITORING AND CONTROL OF PRESSURE AND FLOW IN OIL PIPELINES TRANSPORT SYSTEM USING PLC BASED CONTROLLER”, 2016 Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET), 19-19 Nov. 2016, Coimbatore, India, pp. no page.

Xiaoming CUI, Bajin LI, Zhiwei KOU and Yanjun QIAO , “Measurement and control system for variable-frequency speed regulating of motor based on PLC and HMI”, Proceedings of 2019 Student Conference International Information Technology and Artificial Intelligence (ITAIC 2019), 24-26 May 2019, Chongqing, China, pp. 1169-1173

ลือชัย ทองนิล (2013, 12 พฤศจิกายน) มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย สืบค้นจาก <https://blog.rmutl.ac.th/montri/assets/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%>

97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%A5%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%
%8A%E0%B8%B1%E0%B8%A2.pdf

M Supply Project (2563, 7 ธันวาคม) สาเหตุการเกิดตะกรัน สืบค้นจาก

<https://scaleremoverpro.com/scale/>

Homeguru (2563, 7 ธันวาคม) การเกิดตะกรันในท่อประปา สืบค้นจาก

<https://homeguru.homepro.co.th/solve-sediment-in-the-water-easily>

Vulcan (2563, 7 ธันวาคม) ปัญหาการเกิดตะกรัน สืบค้นจาก

<https://www.vulcanantiscale.com/chiller.html>

PGS (2563, 7 ธันวาคม) การเกิดตะกรันในหม้อไอน้ำ สืบค้นจาก

<https://xn-72c2byaegd8cc3bykvdzb.com>

Welkin (2563, 7 ธันวาคม) การเกิดตะกรันในเมมเบรน สืบค้นจาก

<https://www.welkinchemi.com/content/>

Drinkdee (2563, 12 ธันวาคม) เครื่องกรองน้ำระบบ RO สืบค้นจาก

<https://www.drinkdee.com/>

Goodswater (2563, 12 ธันวาคม) เครื่องกรองน้ำระบบ RO สืบค้นจาก

<http://www.goodswater.com/water-filter-RO-3Q.php>

Waree (2563, 12 ธันวาคม) เครื่องกรองน้ำระบบ RO สืบค้นจาก

<http://www.9waree.com/3000.html>

Safetydrink (2563, 12 ธันวาคม) เครื่องกรองน้ำระบบ RO สืบค้นจาก

<https://www.safetydrink.com/product/2319>

Filtersupply (2563, 12 ธันวาคม) เครื่องกรองน้ำระบบ RO สืบค้นจาก

<https://www.filtersupply.in.th/>

Safetydrink (2563, 18 ธันวาคม) เครื่องกรองน้ำระบบ RO สืบค้นจาก

<https://www.safetydrink.com/product/2319>

Crystal (2563, 7 ธันวาคม) เครื่องกรองน้ำระบบ RO สืบค้นจาก

<http://www.crystal.co.th/th/standard>

Asiawatermart (2563, 18 ธันวาคม) เครื่องกรองน้ำระบบ RO สืบค้นจาก

<http://asiawatermart.com>



รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

S. Nuchkum, S. Padungthon, U. Leeton, N. Numanoy, J. Srisertpol “CONTROL SYSTEM FOR WATER PURIFIER USING BY REVERSE OSMOSIS TECHNIQUE PLUS PRETREATMENT SYSTEM BASED ON PLC AND HMI” SUT International Virtual Conference on Science and Technology.



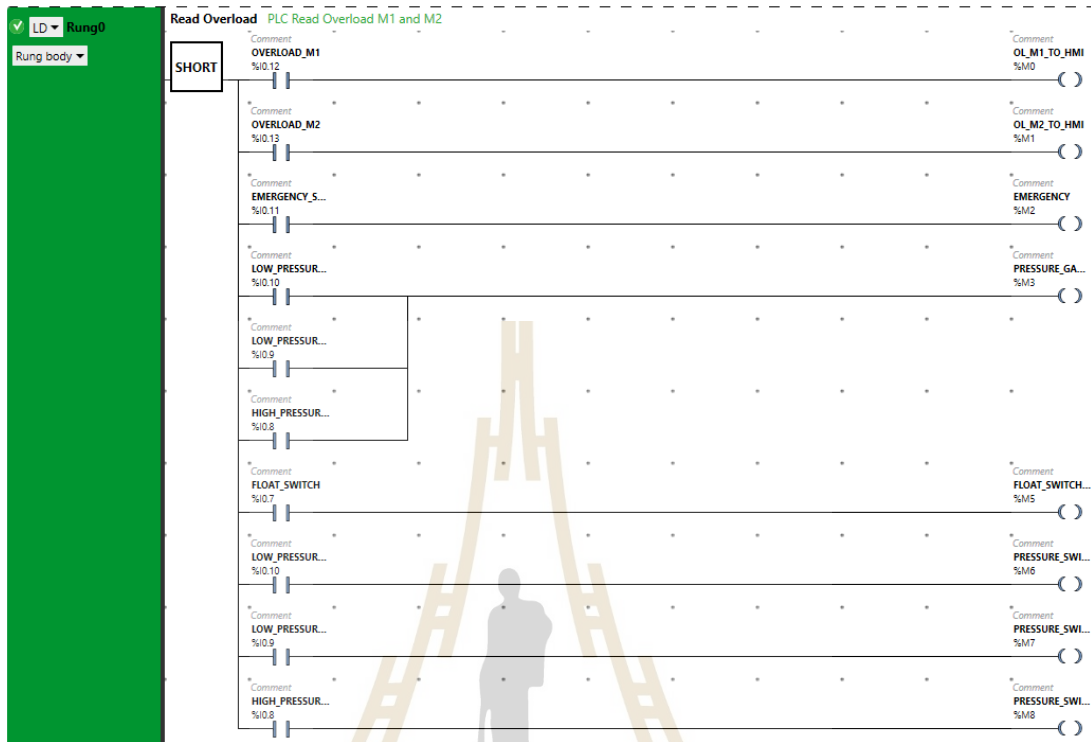


ภาคผนวก ข

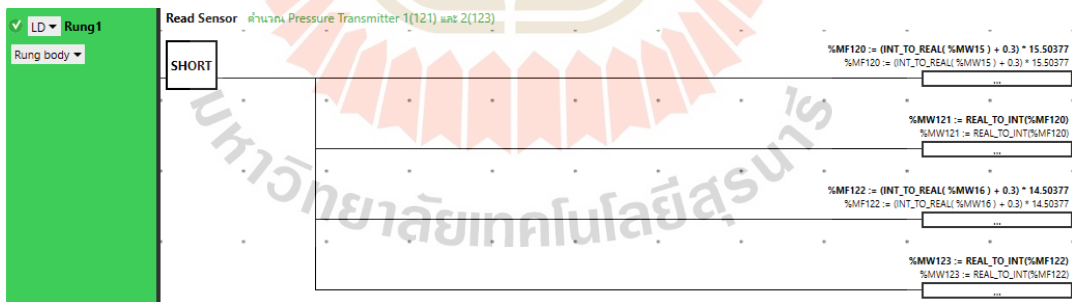
โปรแกรม EcoStruxure Machine Expert - Basic V1.1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การตั้งค่าเชื่อมต่อ digital output PLC



การตั้งค่าเชื่อมต่อ Pressure meter กับ PLC



การตั้งค่าเชื่อมต่อ Flow meter กับ PL

LD Rung2
Rung body

Read Sensor ค่าแรงดันจากไหลของ Flow meter 1(115) และ 2(119)

SHORT

	$\%MF113 := INT_TO_REAL(\%MW13) - 40.0$ $\%MF113 := INT_TO_REAL(\%MW13) - 40.0$
	...
	$\%MF114 := (\%MF113 / 160.0) * 1.67$ $\%MF114 := (\%MF113 / 160.0) * 1.67$
	...
	$\%MW115 := REAL_TO_INT(\%MF114)$ $\%MW115 := REAL_TO_INT(\%MF114)$
	...
	$\%MF116 := INT_TO_REAL(\%MW14) - 40.0$ $\%MF116 := INT_TO_REAL(\%MW14) - 40.0$
	...
	$\%MF117 := ((\%MF116 / 160.0) * 2.1) * 1000.0$ $\%MF117 := ((\%MF116 / 160.0) * 2.1) * 1000.0$
	...
	$\%MW119 := REAL_TO_INT(\%MF117)$ $\%MW119 := REAL_TO_INT(\%MF117)$
	...

การส่งค่าพารามิเตอร์จากเซนเซอร์ไปยัง HMI

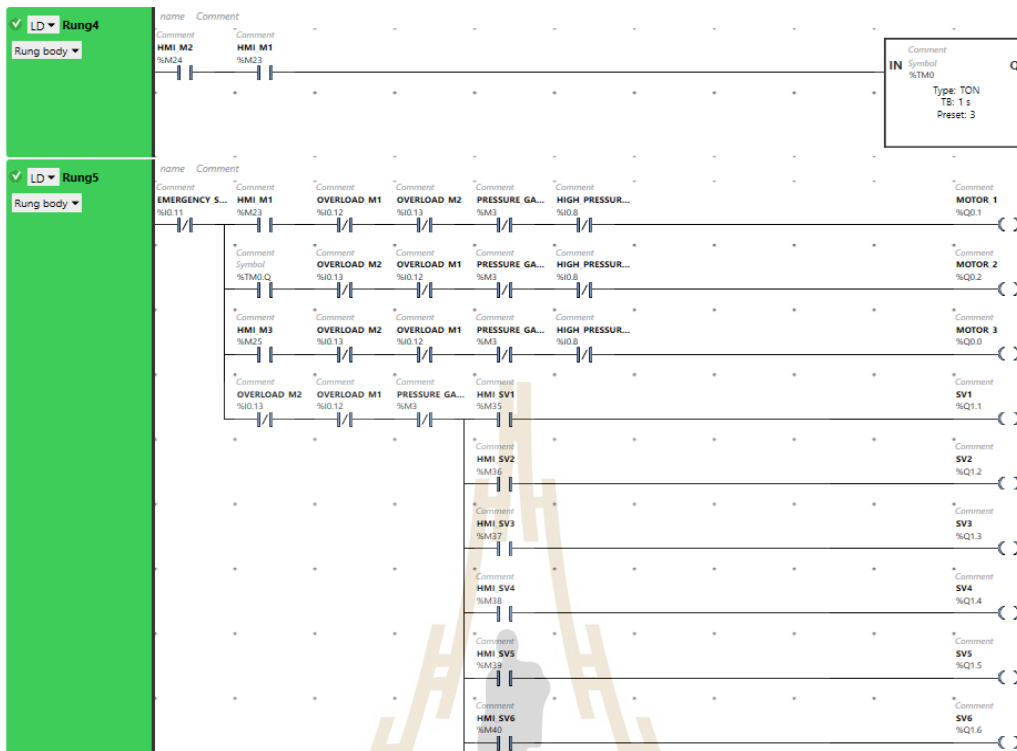
LD Rung3
Rung body

Read To HMI ค่าพารามิเตอร์ที่ส่งให้ HMI เป็นตัวบ่งชี้ 311-317

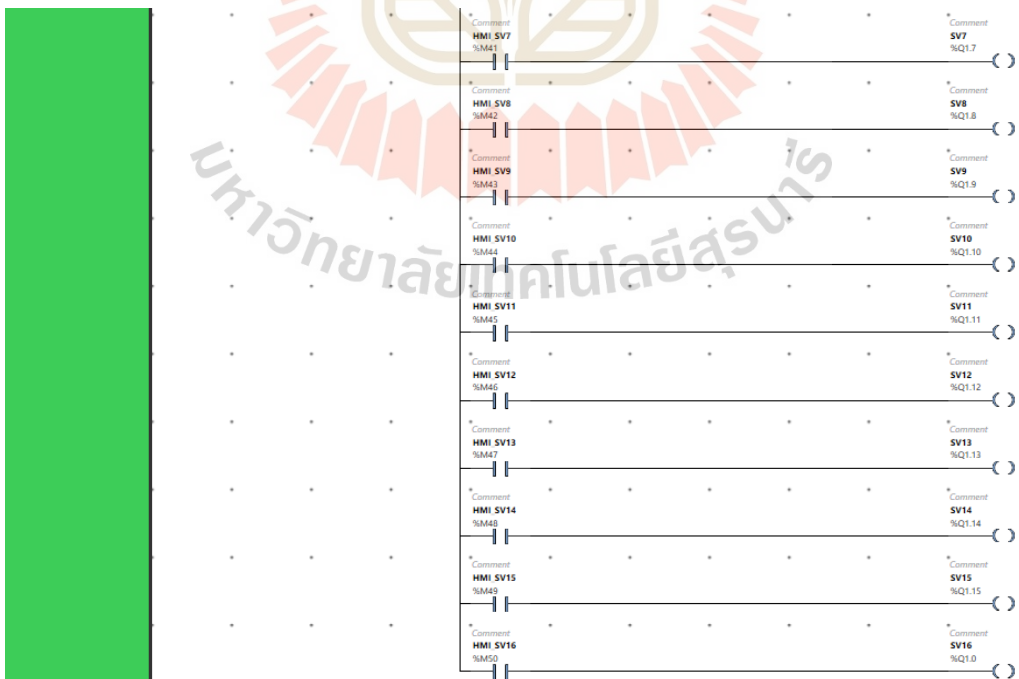
SHORT

	$\%MW11 := (EC 1 * 84) / 10$ $\%MW11 := (\%W2.0 * 84) / 10$
	...
	$\%MW12 := (EC 2 * 79) / 10$ $\%MW12 := (\%W2.1 * 79) / 10$
	...
Comment EMERGENCY %M2	$\%MW355 := (FLOW METER 1 * 9) / 10$ $\%MW355 := (\%W2.2 * 9) / 10$
	...
	$\%MW355 < 15$ $\%MW355 < 15$
	...
	$\%MW355 >= 15$ $\%MW355 >= 15$
	...
Comment EMERGENCY %M2	$\%MW336 := (FLOW METER 2 * 15) / 10$ $\%MW336 := (\%W2.3 * 15) / 10$
	...
	$\%MW336 < 25$ $\%MW336 < 25$
	...
	$\%MW336 >= 25$ $\%MW336 >= 25$
	...
	$\%MW13 := (FLOW METER 1 * 9) / 10$ $\%MW13 := (\%W2.2 * 9) / 10$
	...
	$\%MW14 := (FLOW METER 2 * 15) / 10$ $\%MW14 := (\%W2.3 * 15) / 10$
	...
	$\%MW15 := PRESSURE GAUGE 1$ $\%MW15 := \%W2.4$
	...
	$\%MW16 := PRESSURE GAUGE 2$ $\%MW16 := \%W2.5$
	...
	$\%MF163 := INT_TO_REAL(\%MW13) / 100.0$ $\%MF163 := INT_TO_REAL(\%MW13) / 100.0$
	...
	$\%MF166 := INT_TO_REAL(\%MW14) / 100.0$ $\%MF166 := INT_TO_REAL(\%MW14) / 100.0$
	...

การตั้งค่ากำหนดเงื่อนไขการทำงาน



การตั้งค่ากำหนดเงื่อนไขการทำงาน (ต่อ)



ประวัติผู้เขียน

นางสาวศุภัชกาญจน์ นุชคำ เกิดเมื่อวันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2536 จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบางมูลนากภูมิวิทยาคม อำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร ในปีการศึกษา 2555 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2561 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้ทำการศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2562 ในขณะที่ศึกษาอยู่ได้มีโอกาสเป็นผู้ช่วยสอนและวิจัยในสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์และวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 2 รายวิชา คือ (1) ปฏิบัติการฟิสิกส์-ไฟฟ้า (2) ปฏิบัติการวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งช่วยให้ผู้วิจัยได้มีความรู้และประสบการณ์เกี่ยวกับระบบไฟฟ้าพื้นฐานที่ได้จากการเป็นผู้ช่วยสอนเป็นอย่างดี

