

บทที่ 4

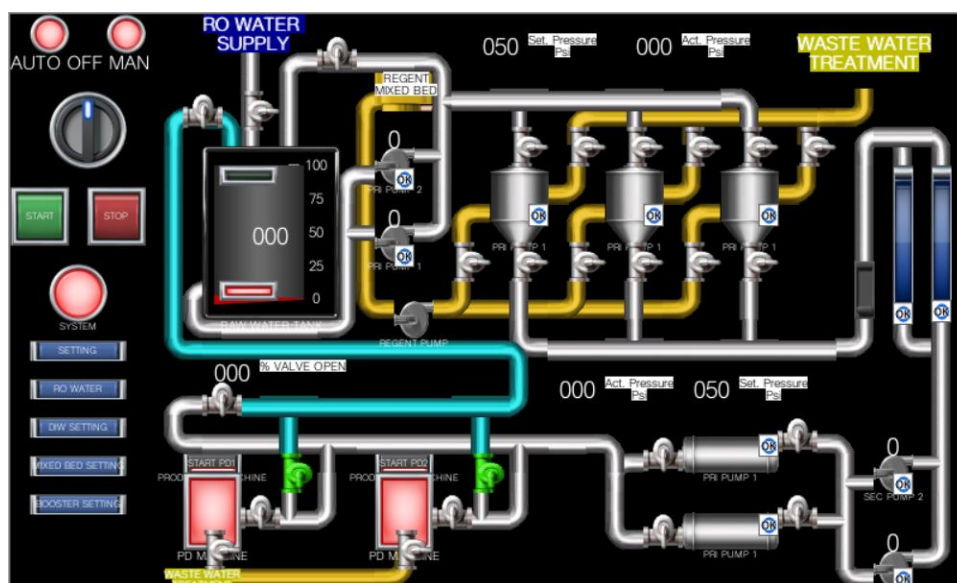
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 บทนำ

จากวิธีการดำเนินการวิจัยบทนี้จะนำเสนอผลลัพธ์ของการทดลองจำลองระบบควบคุมสำหรับระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ บน PLC และ HMI โดยแยกการพิจารณาการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ทดสอบฟังก์ชันการทำงาน ระบบแมนนวลและระบบอัตโนมัติของเครื่องที่ออกแบบไว้ และการทดสอบวิเคราะห์ ผลด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า และการลดต้นทุนในการผลิตน้ำดีไอโอไนซ์ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2 การทดสอบฟังก์ชันการทำงาน และการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมควบคุมสำหรับการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ บน PLC และ HMI ทั้งระบบแมนนวลและระบบอัตโนมัติ

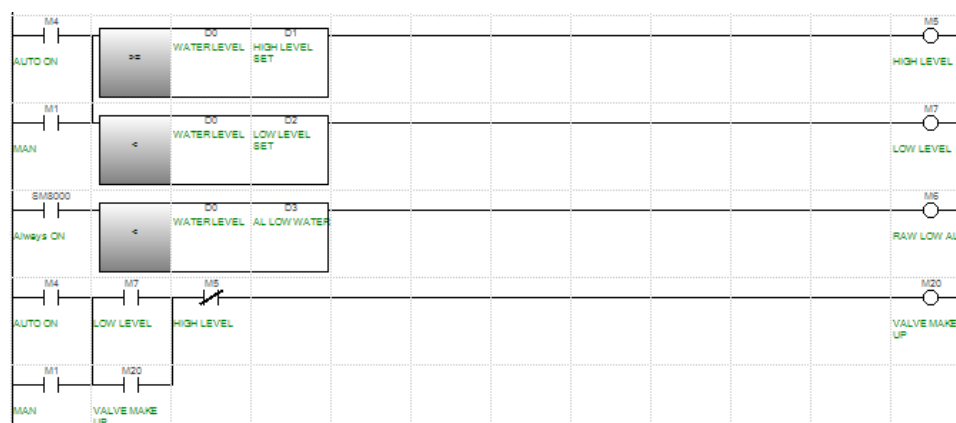
จากการออกแบบโปรแกรมของ PLC และ HMI เพื่อให้ทำงานสอดคล้องกับฮาร์ดแวร์ในการควบคุมระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์จะเริ่มจาก เข้าหน้าจอมาแล้วจะแสดงหน้าต่าง HOME ของระบบ ซึ่งจะแสดงการทำงานของกระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ ประกอบไปด้วย การควบคุมปริมาณน้ำของถังน้ำดีไอโอไนซ์, การควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution, การควบคุมการทำงานของระบบกรองน้ำ Mixed Bed Resin, การควบคุมการทำงานของระบบหลอด UV, การควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Booster การควบคุมการทำงานของถังกรองน้ำ และการควบคุมการทำงานของวาล์วควบคุมน้ำกลับ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยจะมีปุ่มเลือกโหมดการทำงาน ประกอบด้วย ระบบ MANUAL และ AUTO



รูปที่ 4.1 หน้าต่าง HOME บน HMI

4.2.1 การควบคุมปริมาณน้ำ ของถังน้ำดีไอออนซ์

จากรูปที่ 3.6 จะสามารถนำมาเขียนโปรแกรม Ladder GX Works3 เพื่อควบคุมปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำดีไอออนซ์ ประกอบด้วย การควบคุมระดับน้ำสูง การควบคุมระดับน้ำต่ำ และการแจ้งเตือนเมื่อระดับน้ำต่ำว่าการควบคุมระดับน้ำต่ำ ตามรูปที่ 4.2

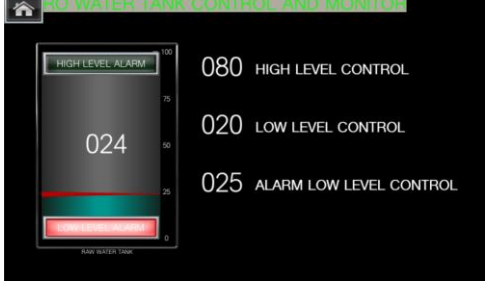


รูปที่ 4.2 คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมระดับน้ำ ของถังน้ำดีไอออนซ์

จากการทดสอบจำลองการทำงานของ การควบคุมปริมาณน้ำ จะทำการตรวจสอบระดับน้ำในถังเก็บน้ำดีไอออนซ์ เมื่อระดับน้ำดีไอออนซ์ ถึงระดับควบคุมน้ำต่ำ ระบบจะสั่งให้เปิด

วาล์วเติมน้ำ และเมื่อระดับน้ำมากกว่าหรือเท่ากับค่าควบคุมระดับน้ำสูง ระบบจะสั่งปิดวาล์วน้ำ และกรณีที่ระดับน้ำต่ำกว่าการแจ้งเตือนระดับน้ำต่ำ ระบบจะแจ้งเตือน Low Level และจะไม่สามารถสตาร์ทระบบการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ ได้ โดยผลการทดสอบจะแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการควบคุมปริมาณน้ำของถังเก็บน้ำดีไอโอไนซ์

รายละเอียดเงื่อนไข	ผลการทดสอบ
ตั้งค่าระดับน้ำ	 080 HIGH LEVEL CONTROL 020 LOW LEVEL CONTROL 010 ALARM LOW LEVEL CONTROL
ถึงระดับควบคุมน้ำต่ำ ระบบจะสั่งให้เปิดวาล์วเติมน้ำ	 080 HIGH LEVEL CONTROL 020 LOW LEVEL CONTROL 010 ALARM LOW LEVEL CONTROL
ระดับน้ำมากกว่าหรือเท่ากับค่าควบคุมระดับน้ำสูง ระบบจะสั่งปิดวาล์วน้ำ	 080 HIGH LEVEL CONTROL 020 LOW LEVEL CONTROL 010 ALARM LOW LEVEL CONTROL
ระดับน้ำต่ำกว่าการแจ้งเตือนระดับน้ำต่ำ ระบบจะแจ้งเตือน Low Level	 080 HIGH LEVEL CONTROL 020 LOW LEVEL CONTROL 025 ALARM LOW LEVEL CONTROL

4.2.2 การกำหนดค่าควบคุมการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์

ระบบสามารถกำหนดค่าควบคุมการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ ตามรูปที่ 4.3 ซึ่งจะประกอบไปด้วย การควบคุมระดับน้ำดีไอโอไนซ์, การควบคุมชั่วโมงการทำงานของอุปกรณ์, การกำหนดค่าแจ้งเตือนค่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำดีไอโอไนซ์ ต่ำ, การกำหนดค่าควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำ DIW Distribution และ DIW Booster รายละเอียดของค่าควบคุมแต่ละกระบวนการตามตารางที่ 4.1

DI WATER PARAMETER SETTING		
RO WATER TANK	PID - DI DISTRIBUTION PUMP	PID - DI BOOSTER PUMP
080 <u>% HIGH LEVEL CONTROL</u>	50 <u>PRESSURE SETTING (PSI)</u>	50 <u>PRESSURE SETTING (PSI)</u>
020 <u>% LOW LEVEL CONTROL</u>	6500 <u>Proportional gain (Kp)</u>	6500 <u>Proportional gain (Kp)</u>
010 <u>% ALARM LOW LEVEL</u>	150 <u>Integral constant (Ti)</u>	150 <u>Integral constant (Ti)</u>
MIXED BED RASIN	50 <u>Differential constant (Td)</u>	50 <u>Differential constant (Td)</u>
1000 <u>Operation Time (Hour)</u>	1000 <u>Operation Time (Hour)</u>	1000 <u>Operation Time (Hour)</u>
<u>RESISTIVITY</u>		
5 <u>ALARM (M-OHM)</u>	50 <u>MAX RUNING (Hz)</u>	50 <u>MAX RUNING (Hz)</u>
UV LAMP	0 <u>MIN RUNING (Hz)</u>	0 <u>MIN RUNING (Hz)</u>
1000 <u>Operation Time (Hour)</u>	PID SET	PID SET
FINAL FILTER		
1000 <u>Operation Time (Hour)</u>		

รูปที่ 4.3 การกำหนดค่าควบคุมการทำงานของระบบน้ำดีไอโอไนซ์ บนหน้าจอควบคุม HMI

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าควบคุมแต่ละกระบวนการ

การควบคุม กระบวนการจ่ายน้ำ DI	ค่าควบคุม	รายละเอียด
การควบคุมระดับน้ำดีไอ ออไนซ์	ระดับน้ำควบคุมสูง	ควบคุมการทำงานของวาล์วเติมน้ำของ ถังน้ำดีไอออไนซ์ เมื่อถึงค่าที่กำหนด ระบบจะสั่งปิดวาล์วเติมน้ำ
	ระดับน้ำควบคุมต่ำ	ควบคุมการทำงานของวาล์วเติมน้ำดีไอ ออไนซ์ เมื่อถึงค่าที่กำหนดระบบจะสั่ง เปิดวาล์วเติมน้ำ
	ระดับแรงดันน้ำต่ำ	กำหนดการแจ้งเตือนน้ำดีไอออไนซ์ เมื่อ ถึงค่าที่กำหนดระบบจะสั่งแจ้งเตือน และตัดการทำงานระบบจ่ายน้ำ
การควบคุมการทำงาน ถัง Mixed Bed Resin	เวลาการสลับการทำงาน	ควบคุมชั่วโมงการทำงานของถัง Mixed Bed Resin
	แจ้งเตือนค่าต้านทานน้ำต่ำ	ควบคุมค่าความต้านทานน้ำของถัง Mixed Bed Resin เมื่อค่าต่ำกว่าค่าที่ กำหนดระบบจะสลับถังอัตโนมัติ และ เปิดระบบ Regent Resin กรณีที่ค่า ความต้านทานน้ำต่ำกว่าค่าที่กำหนดทุก ถังระบบจะตัดการทำงาน
การควบคุมการทำงาน หลอดไฟฆ่าเชื้อ UV	เวลาการสลับการทำงาน	ควบคุมชั่วโมงการทำงานของถัง หลอดไฟฆ่าเชื้อ UV
การควบคุมการทำงาน ของปั๊มน้ำ DIW Distribution	แรงดันน้ำใช้งาน	ควบคุมแรงดันน้ำในท่อส่งของปั๊มน้ำ DIW Distribution
	อัตราขยายสัดส่วน (Kp)	ควบคุมอัตราขยายสัดส่วนของ PID ของ ปั๊มน้ำ DIW Distribution

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าควบคุมแต่ละกระบวนการ (ต่อ)

การควบคุม กระบวนการจ่ายน้ำ DI	ค่าควบคุม	รายละเอียด
การควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution	อัตราขยายปริพันธ์ (Ti)	ควบคุมอัตราขยายปริพันธ์ของ PID ของปั้มน้ำ DIW Distribution
	อัตราขยายอนุพันธ์ (Td)	ควบคุมอัตราขยายอนุพันธ์ของ PID ของปั้มน้ำ DIW Distribution
	เวลาการสลับการทำงาน	ควบคุมชั่วโมงการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution
	ค่ามากที่สุดของ VFD	กำหนดค่าความถี่สูงสุดของการควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution
	ค่าต่ำที่สุดของ VFD	กำหนดค่าความถี่ต่ำสุดของการควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution
การควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Booster	แรงดันน้ำใช้งาน	ควบคุมแรงดันน้ำในท่อส่งของปั้มน้ำ DIW Booster
	อัตราขยายสัดส่วน (Kp)	ควบคุมอัตราขยายสัดส่วนของ PID ของปั้มน้ำ DIW Booster
	อัตราขยายปริพันธ์ (Ti)	ควบคุมอัตราขยายปริพันธ์ของ PID ของปั้มน้ำ DIW Booster
	อัตราขยายอนุพันธ์ (Td)	ควบคุมอัตราขยายอนุพันธ์ของ PID ของปั้มน้ำ DIW Booster
	เวลาการสลับการทำงาน	ควบคุมชั่วโมงการทำงานของปั้มน้ำ DIW Booster
	ค่ามากที่สุดของ VFD	กำหนดค่าความถี่สูงสุดของการควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Booster
	ค่าต่ำที่สุดของ VFD	กำหนดค่าความถี่ต่ำสุดของการควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Booster
การควบคุมการทำงานของถังกรองสุดท้าย	เวลาการสลับการทำงาน	ควบคุมชั่วโมงการทำงานของถังกรองสุดท้าย
การควบคุมการทำงานของวาล์วน้ำกลับ	ผลต่างแรงดันน้ำ	ควบคุมแรงดันน้ำในท่อส่งและกลับของระบบ

4.2.3 การควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution

จากรูปที่ 3.7 จะสามารถนำมาเขียนโปรแกรม Ladder GX Works3 เพื่อควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution ตามรูปที่ 4.4 ประกอบด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

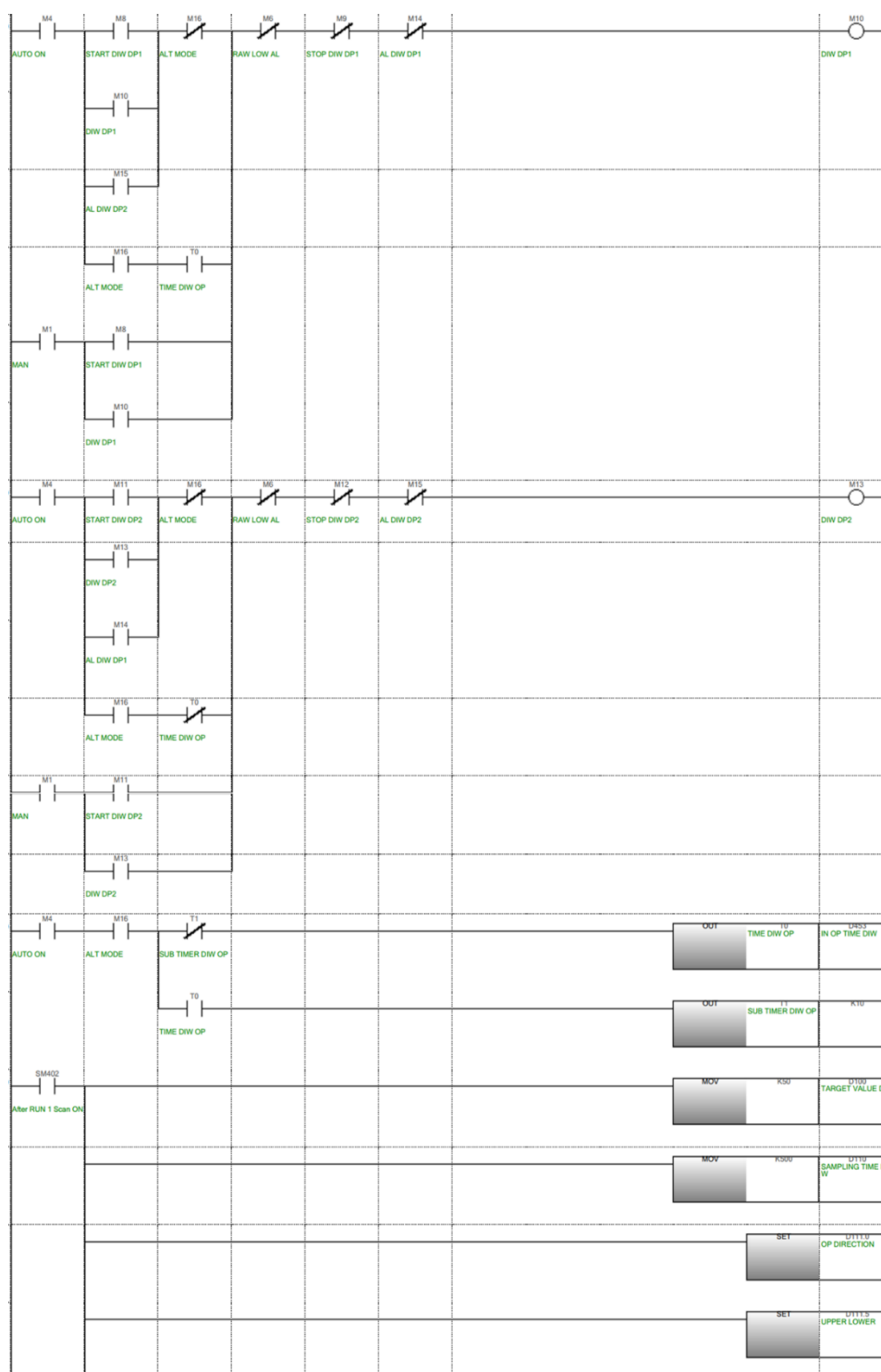
1) ปั้มไม่สามารถทำงานได้กรณีที่ระบบมีการแจ้งเตือนการทำงานขัดข้องของกระบวนการจ่ายน้ำดีไอเออนซ์

2) สามารถควบคุมแรงดันน้ำตามค่าที่กำหนด

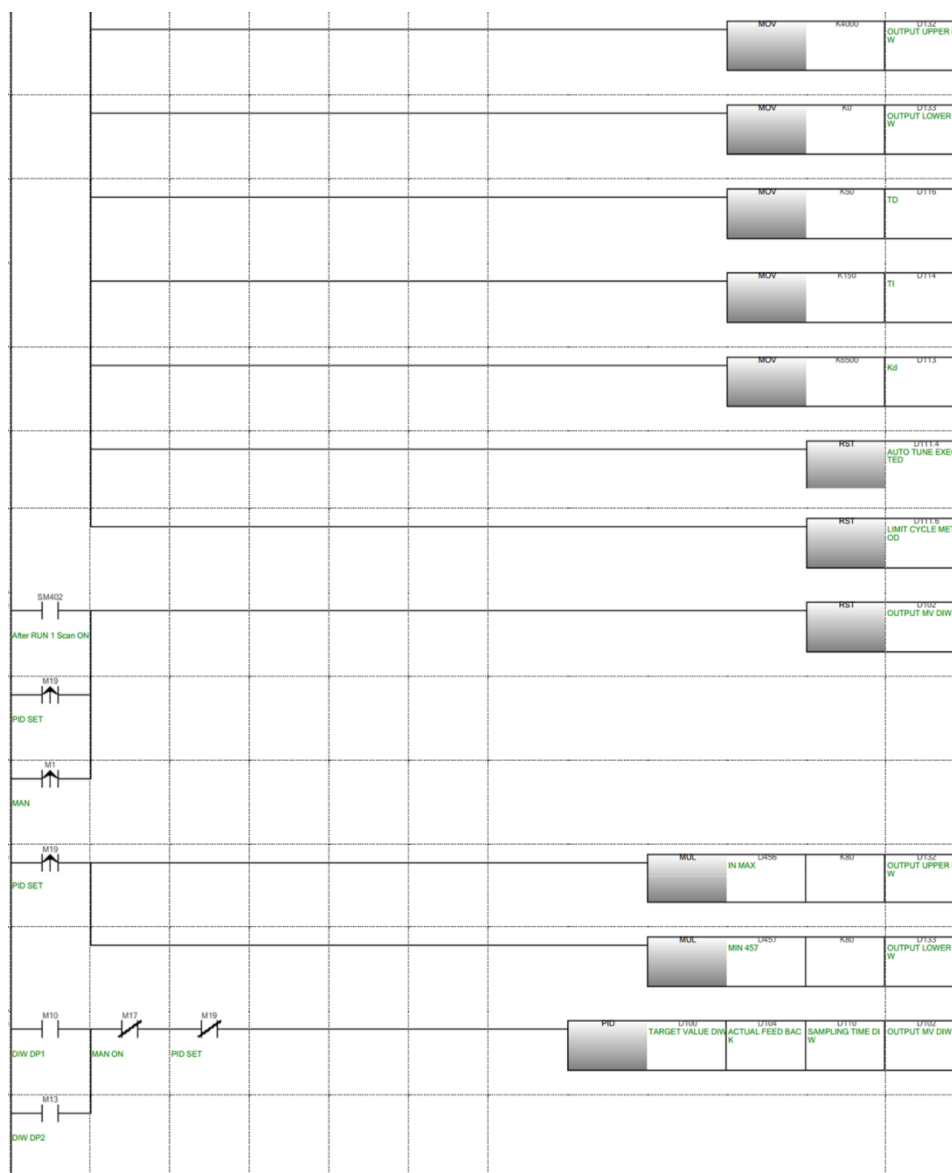
3) สามารถควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution ในโหมด Auto และ Manual

4) โหมด Auto โปรแกรมสามารถสลับการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution ตามค่าที่กำหนด และกรณีที่ปั้ม DIW Distribution ที่ทำงานมีอาการขัดข้องสามารถสามารถสตาร์ทอีกตัวขึ้นโดยอัตโนมัติ

5) ปั้มสามารถจ่ายน้ำได้ตามความต้องการของเครื่องจักรฝ่ายผลิต โดยอาศัยหลักการควบคุมปั้มน้ำแบบ PID



รูปที่ 4.4 คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมการทำงานปั้มน้ำ DIW Distribution

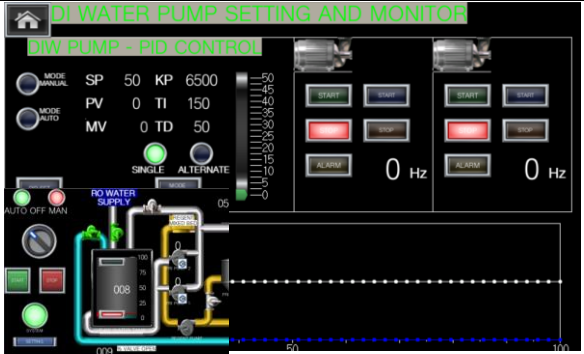
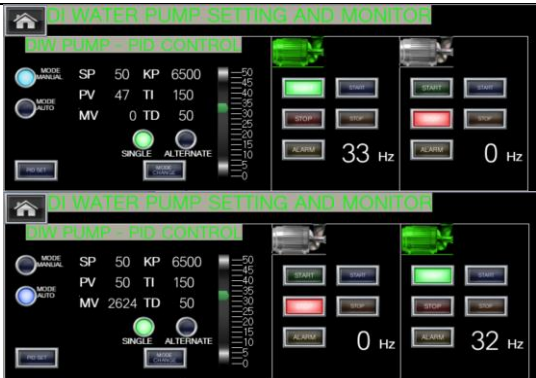
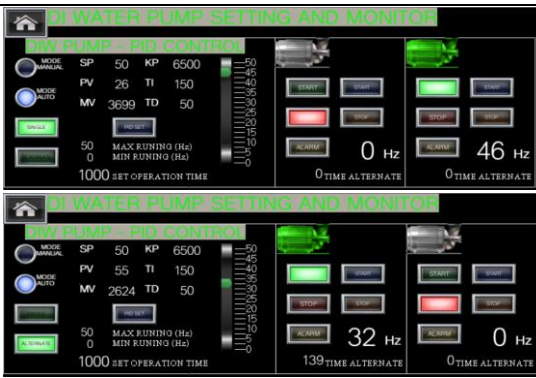


รูปที่ 4.5 คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมการทำงานปั้มน้ำ DIW Distribution (ต่อ)

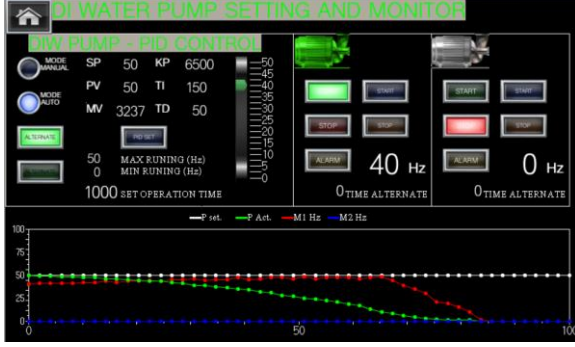
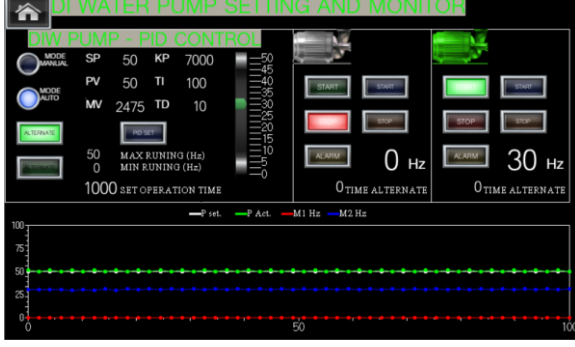
จากการทดสอบจำลองการทำงานของระบบควบคุมการทำงานปั้มน้ำ DIW Distribution จะทำการตรวจสอบระดับน้ำในถังเก็บน้ำดีโอเอไนซ์ เมื่อระดับน้ำดีโอเอไนซ์ มากกว่าระดับควบคุมน้ำต่ำ ระบบจะยอมให้เริ่มการทำงานโดยเริ่มจากการตั้งค่าแรงดันน้ำ และค่าควบคุมปั้มน้ำต่าง ๆ เลือกฟังก์ชันการทำงานเป็น Auto หรือ Manual กรณีเลือกฟังก์ชัน Auto ระบบจะสลับการทำงานตามระยะเวลาที่เรากำหนด กรณีที่ปั้มน้ำตัวที่ทำงานอยู่มีการแจ้งเตือนระบบจะสลับการทำงานไปใช้งานอีกตัวโดยอัตโนมัติ และกรณีที่ปั้มแจ้งเตือนปั้มน้ำทั้ง 2 ตัวระบบจะสั่งหยุด

กระบวนการจ่ายน้ำทันที เพื่อป้องกันผลกระทบต่ออุปกรณ์ และฝ่ายผลิต โดยผลการทดสอบจะแสดงในตารางที่ 4.3

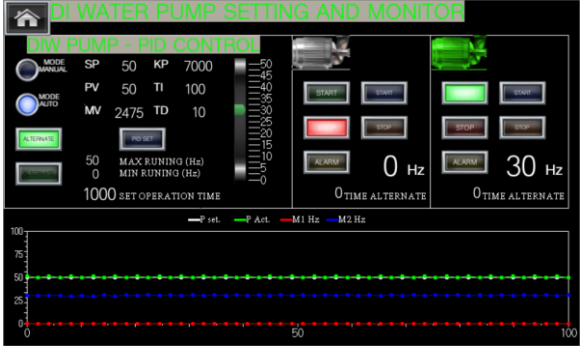
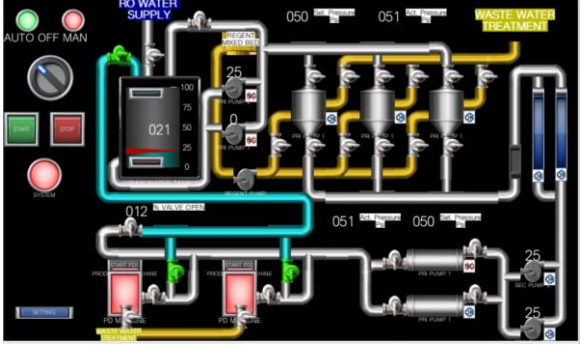
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution

รายละเอียด เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
กรณีระดับน้ำน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าควบคุมระดับน้ำต่ำ ระบบจะไม่สามารถเริ่มการทำงานของปั้มน้ำได้	
ปั้มน้ำสามารถเลือกฟังก์ชันการทำงาน Auto และ Manual ได้	
ฟังก์ชันการทำงาน Auto สามารถเลือกการทำงานของปั้มน้ำแบบ เดี่ยว และ แบบคู่ได้	

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution (ต่อ)

รายละเอียด เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
กรณีปั้มน้ำที่ทำงานอยู่มีการแจ้งเตือนร่วม ระบบสามารถสลับการทำงานได้โดย อัตโนมัติ	
ระบบสามารถทำงานเพื่อรักษาแรงดันน้ำ ได้ตามค่าที่กำหนด	
ระบบควบคุมปั้มน้ำสามารถตั้งค่าการ ควบคุมแบบ PID เพื่อให้เหมาะสมกับการ ทำงานปั้มน้ำได้	

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution (ต่อ)

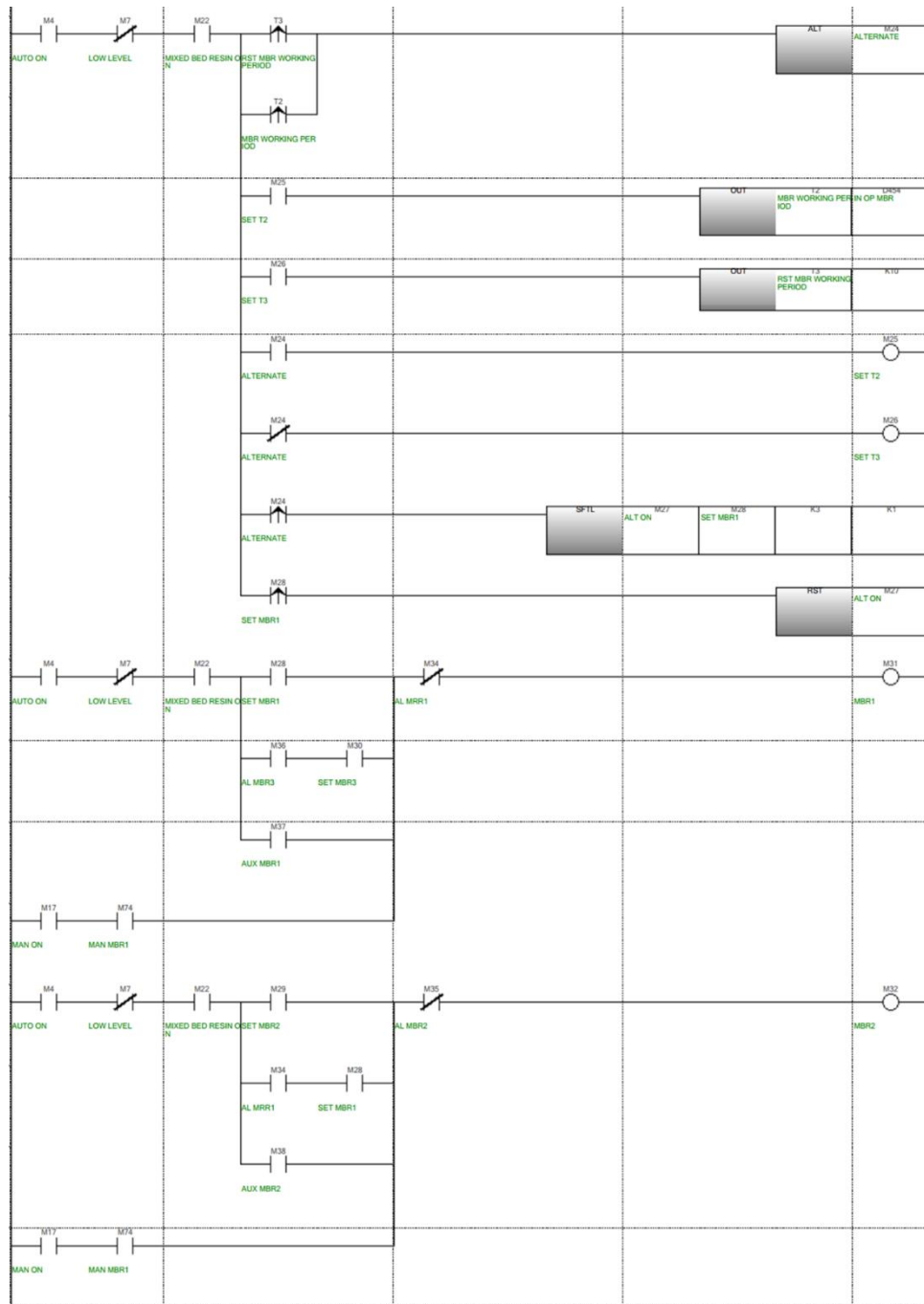
รายละเอียด เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
ระบบสามารถแสดงค่าการทำงานของปั้มน้ำได้	
กรณีปั้มน้ำมีการแจ้งเตือนร่าม 2 ตัวระบบตัดการทำงานระบบจ่ายน้ำได้โดยอัตโนมัติ	

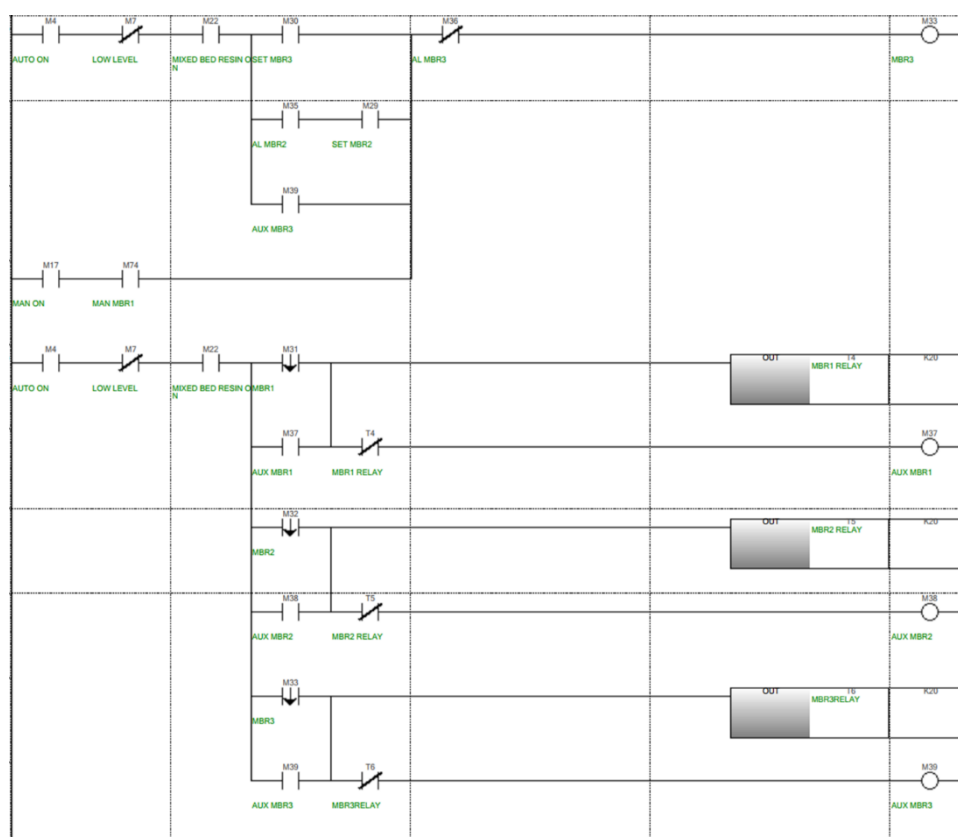
4.2.4 การควบคุมการทำงานของถังกรอง Mixed Bed Resin

จากรูปที่ 3.8 จะสามารถนำมาเขียนโปรแกรม Ladder GX Works3 เพื่อควบคุมการทำงานของถังกรอง Mixed Bed Resin ได้ตามรูปที่ 4.5 ประกอบด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- 1) ถังกรอง Mixed Bed Resin ไม่สามารถทำงานได้กรณีที่ระบบมีการแจ้งเตือนการทำงานขัดข้องของกระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์
- 2) สามารถควบคุมการทำงานของถังกรอง Mixed Bed Resin ในโหมด Auto และ Manual
- 3) โหมด Auto โปรแกรมสามารถสลับการทำงานของถังกรอง Mixed Bed Resin ตามค่าที่กำหนด และกรณีที่ถังกรอง Mixed Bed Resin ที่ทำงานมีการแจ้งเตือนร่ามขัดข้องสามารถสตาร์ทท็อกตัวขึ้นโดยอัตโนมัติ
- 4) เมื่อค่าความต้านทานน้ำต่ำกว่าค่าที่กำหนด ระบบสามารถสลับถังกรอง Mixed Bed Resin ใช้ถึงถัดไป

5) เมื่อค่าความต้านทานน้ำต่ำกว่าค่าที่กำหนดทั้ง 3 ถัง ระบบจะสั่งหยุดการทำงานทั้งหมด

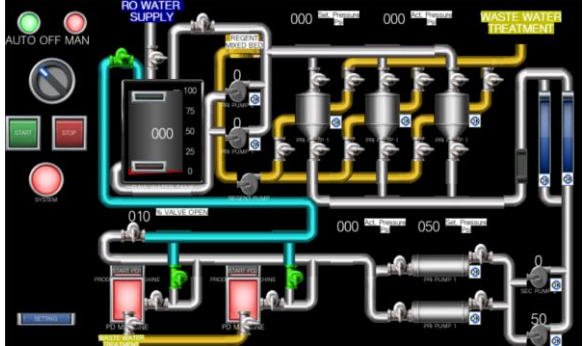
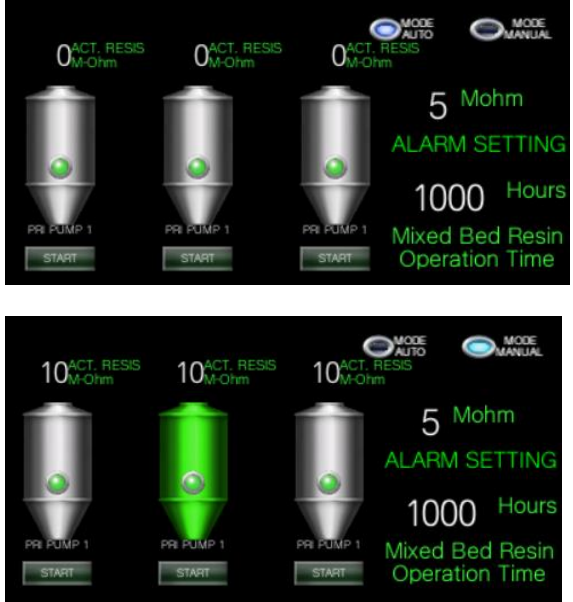




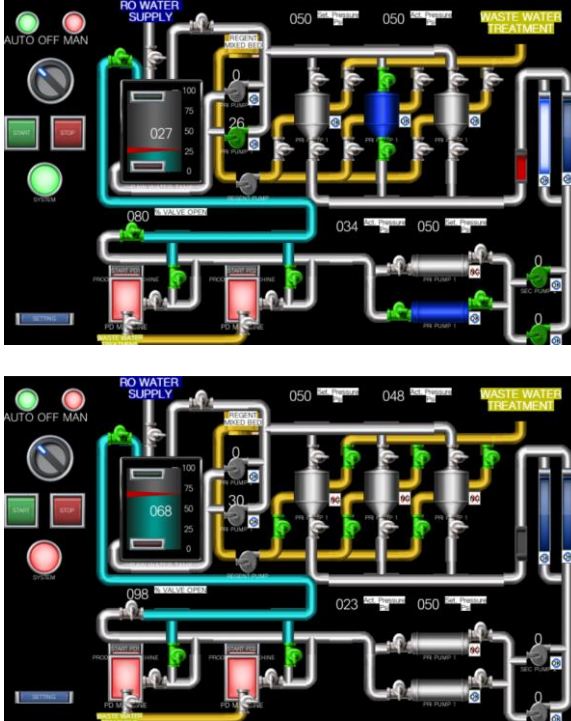
รูปที่ 4.6 คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมการทำงานถังกรอง Mixed Bed Resin

จากการทดสอบจำลองการทำงานของระบบควบคุมการทำงานถังกรอง Mixed Bed Resin จะทำการตรวจสอบระดับน้ำในถังเก็บน้ำดีไอออนซ์ เมื่อระดับน้ำดีไอออนซ์ มากกว่าระดับควบคุมน้ำต่ำ ระบบจะยอมให้เริ่มการทำงานโดยเริ่มจากการตั้งค่าความต้านทานของน้ำ และระยะเวลาการทำงานของถังกรอง Mixed Bed Resin เลือกฟังก์ชันการทำงานเป็น Auto หรือ Manual กรณีเลือกฟังก์ชัน Auto ระบบจะสลับการทำงานตามระยะเวลาที่เรากำหนด กรณีที่ถังกรอง Mixed Bed Resin ที่ทำงานอยู่มีการแจ้งเตือนระบบจะสลับการทำงานไปใช้งานอีกถังโดยอัตโนมัติ และกรณีที่ระบบแจ้งเตือนถังกรอง Mixed Bed Resin ทั้ง 3 ถังระบบจะสั่งหยุดกระบวนการจ่ายน้ำทันที เพื่อป้องกันผลกระทบต่ออุปกรณ์ และฝ่ายผลิต โดยผลการทดสอบจะแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าควบคุมการทำงานของถังกรอง Mixed Bed Resin

รายละเอียด เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
กรณีระดับน้ำน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าควบคุมระดับน้ำต่ำ ระบบจะไม่สามารถเริ่มการทำงานของถังกรอง Mixed Bed Resin ได้	
ถังกรอง Mixed Bed Resin สามารถเลือกฟังก์ชันการทำงาน Auto และ Manual ได้	
กรณีถังกรอง Mixed Bed Resin ที่ทำงานอยู่มีการแจ้งเตือนร่ำม ระบบสามารถสลับการทำงานได้โดยอัตโนมัติ	
ระบบสามารถแสดงค่าความนำไฟฟ้าของถังกรอง Mixed Bed Resin แต่ละถังได้	

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าควบคุมการทำงานของถังกรอง Mixed Bed Resin (ต่อ)

รายละเอียด เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
กรณีถังกรอง Mixed Bed Resin มีการ แจ้งเตือนพร้อม 3 ถึงระบบตัดการทำงาน ระบบจ่ายน้ำได้โดยอัตโนมัติ	

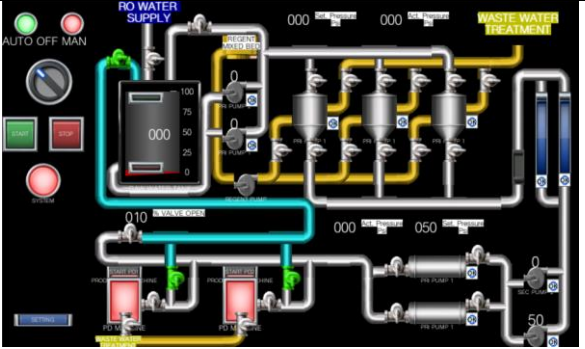
4.2.5 การควบคุมการทำงานของหลอดไฟฆ่าเชื้อ

จากรูปที่ 3.9 จะสามารถนำมาเขียนโปรแกรม Ladder GX Works3 เพื่อควบคุมการทำงานของหลอดไฟฆ่าเชื้อได้ ตามรูปที่ 4.6 ประกอบด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

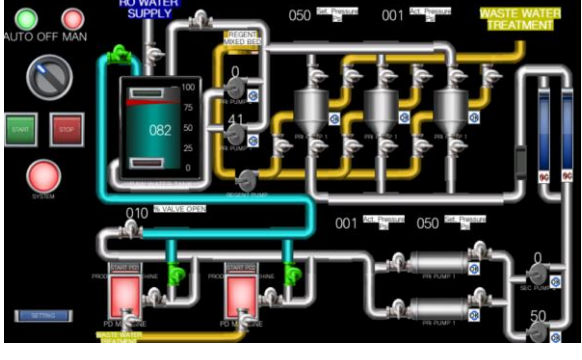
- 1) หลอดไฟฆ่าเชื้อไม่สามารถทำงานได้กรณีที่ระบบมีการแจ้งเตือนการทำงานผิดปกติของกระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์
- 2) สามารถควบคุมการทำงานของหลอดไฟฆ่าเชื้อในโหมด Auto และ Manual
- 3) โหมด Auto โปรแกรมสามารถสลับการทำงานของหลอดไฟฆ่าเชื้อตามค่าที่กำหนด และกรณีที่หลอดไฟฆ่าเชื้อที่ทำงานมีการแจ้งเตือนร่วมขัดข้องสามารถสตาร์ทอีกหลอดขึ้นโดยอัตโนมัติ
- 4) เมื่อหลอดไฟฆ่าเชื้อทั้ง 2 หลอดพร้อม ระบบจะสั่งหยุดการทำงานทั้งหมด

โดยอัตโนมัติ และกรณีที่หลอดไฟฟ้าเชื้อเพลิงเตียนทั้ง 2 หลอดระบบจะสั่งหยุดกระบวนการจ่ายน้ำทันที เพื่อป้องกันผลกระทบต่ออุปกรณ์ และฝ่ายผลิต โดยผลการทดสอบจะแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าควบคุมการทำงานของหลอดไฟฟ้าเชื้อ

รายละเอียด เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
กรณีระดับน้ำน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าควบคุมระดับน้ำต่ำ ระบบจะไม่สามารถเริ่มการทำงานของหลอดไฟฟ้าเชื้อได้	
หลอดไฟฟ้าเชื้อสามารถเลือกฟังก์ชันการทำงาน Auto และ Manual ได้	
กรณีถึงกรอง หลอดไฟฟ้าเชื้อที่ทำงานอยู่มีการแจ้งเตือนร่ำม ระบบสามารถสลับการทำงานได้โดยอัตโนมัติ	

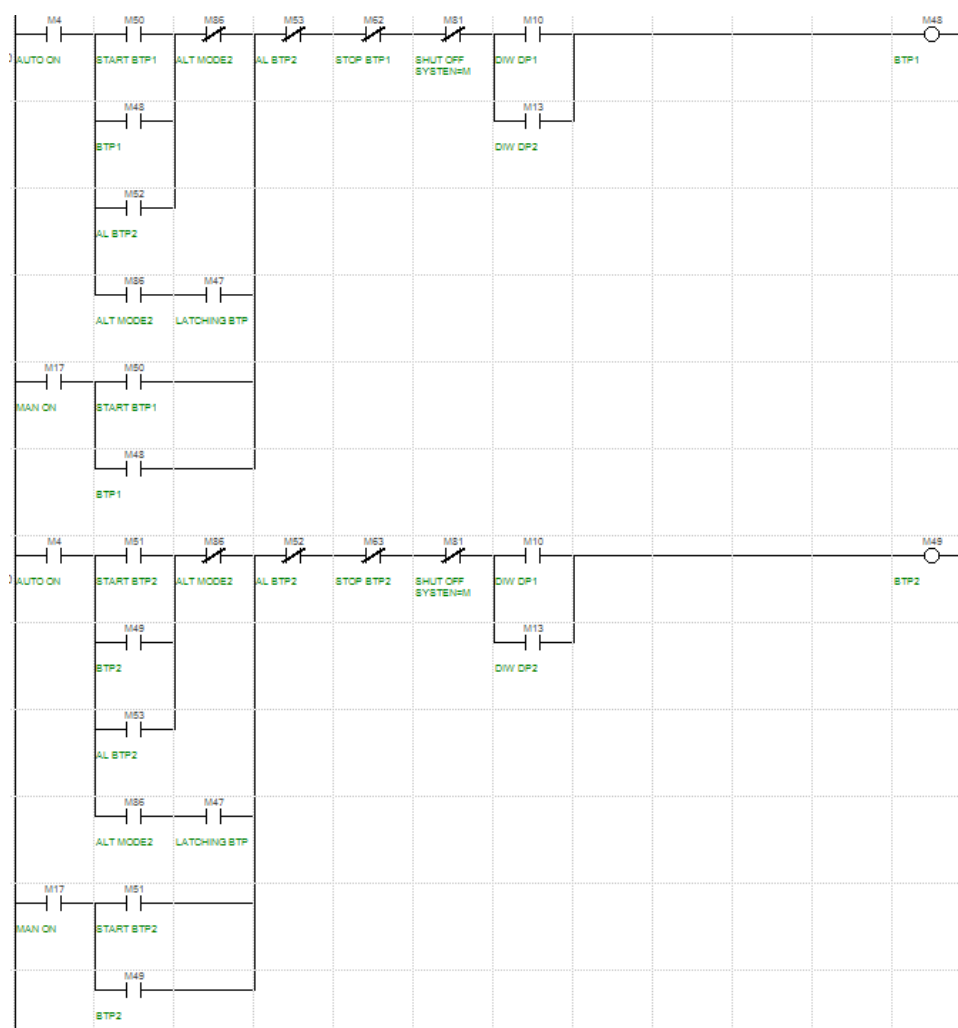
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าควบคุมการทำงานของหลอดไฟฟ้าเชื้อ (ต่อ)

รายละเอียด เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
กรณีหลอดไฟฟ้าเชื้อมีการแจ้งเตือนร่าม 2 หลอดระบบตัดการทำงานระบบจ่ายน้ำได้โดยอัตโนมัติ	

4.2.6 การควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Booster

จากรูปที่ 3.10 จะสามารถนำมาเขียนโปรแกรม Ladder GX Works3 เพื่อควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Booster ตามรูปที่ 4.7 ประกอบด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

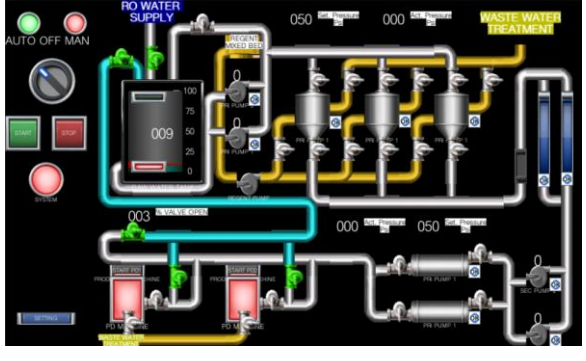
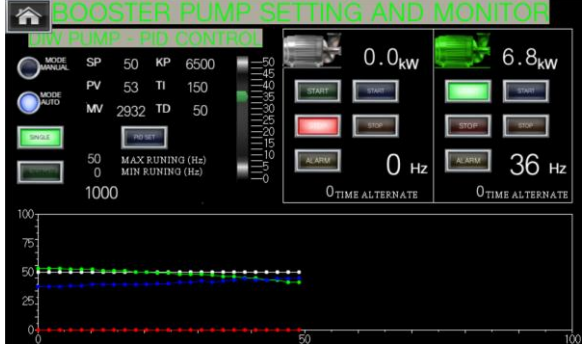
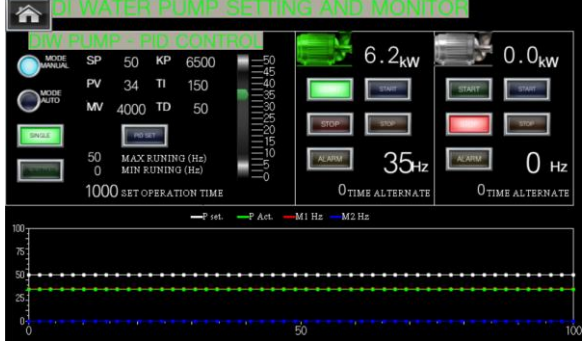
- 1) ปั้มไม่สามารถทำงานได้กรณีที่ระบบมีการแจ้งเตือนการทำงานขัดข้องของกระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์
- 2) สามารถควบคุมแรงดันน้ำตามค่าที่กำหนด
- 3) สามารถควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Booster ในโหมด Auto และ Manual
- 4) โหมด Auto โปรแกรมสามารถสลับการทำงานของปั้มน้ำ DIW Booster ตามค่าที่กำหนด และกรณีที่ปั้ม DIW Booster ที่ทำงานมีอาการขัดข้องสามารถสามารถสแตร์ทอีกตัวขึ้นโดยอัตโนมัติ
- 5) ปั้มสามารถจ่ายน้ำได้ตามความต้องการของเครื่องจักรฝ่ายผลิต โดยอาศัยหลักการควบคุมปั้มน้ำแบบ PID



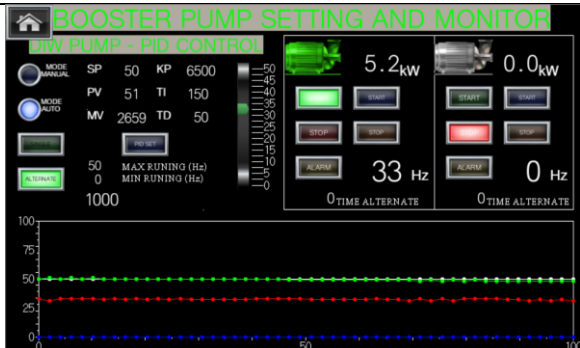
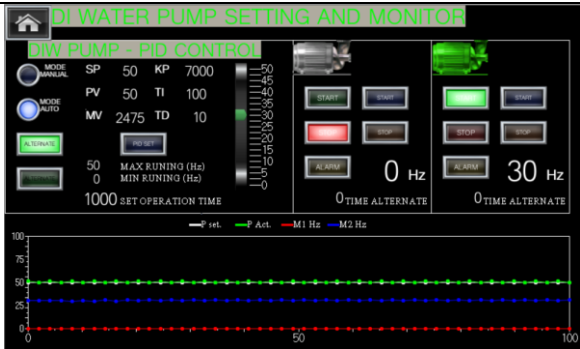
รูปที่ 4.8 คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมการทำงานปั้มน้ำ DIW Booster

จากการทดสอบจำลองการทำงานของระบบการทำงานปั้มน้ำ DIW Booster จะทำการตรวจสอบระดับน้ำในถังเก็บน้ำดีไอเออนซ์ เมื่อระดับน้ำดีไอเออนซ์ มากกว่าระดับควบคุม น้ำต่ำ ระบบจะยอมให้เริ่มการทำงานโดยเริ่มจากการตั้งค่าแรงดันน้ำ และค่าควบคุมปั้มน้ำต่าง ๆ เลือกฟังก์ชันการทำงานเป็น Auto หรือ Manual กรณีเลือกฟังก์ชัน Auto ระบบจะสลับการทำงานตามระยะเวลาที่เรากำหนด กรณีที่ปั้มน้ำตัวที่ทำงานอยู่มีการแจ้งเตือนระบบจะสลับการทำงานไปใช้งานอีกตัวโดยอัตโนมัติ และกรณีที่ระบบแจ้งเตือนปั้มน้ำทั้ง 2 ตัวระบบจะสั่งหยุดกระบวนการจ่ายน้ำทันที เพื่อป้องกันผลกระทบต่ออุปกรณ์ และฝ่ายผลิต โดยผลการทดสอบจะแสดงในตารางที่ 4.6

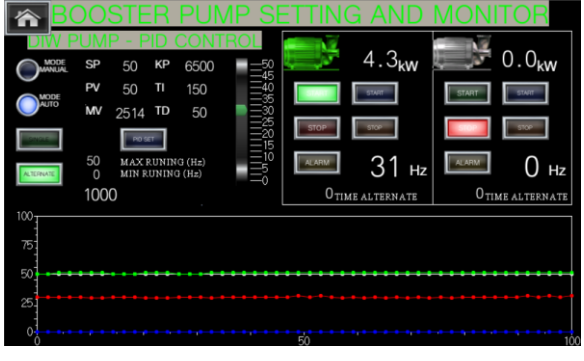
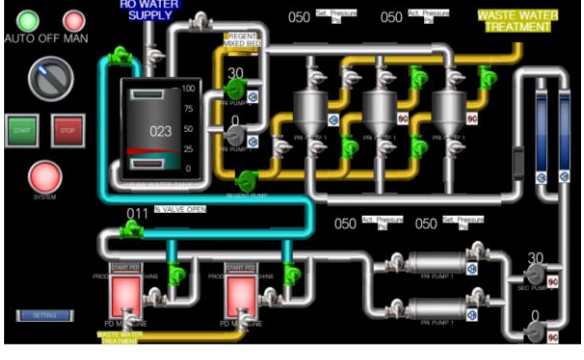
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าควบคุมการทำงานของปั๊ม DIW Booster

รายละเอียด เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
กรณีระดับน้ำน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าควบคุมระดับน้ำต่ำ ระบบจะไม่สามารถเริ่มการทำงานของปั๊มได้	
ปั๊มสามารถเลือกฟังก์ชันการทำงาน Auto และ Manual ได้	
ฟังก์ชันการทำงาน Auto สามารถเลือกการทำงานปั๊มแบบ เดี่ยว และ แบบสลับการทำงานได้	

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าควบคุมการทำงานของปั๊ม DIW Booster (ต่อ)

รายละเอียด เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
	
กรณีปั๊มที่ทำงานอยู่มีการแจ้งเตือนร่ว มระบบสามารถสลับการทำงานได้โดย อัตโนมัติ	
ระบบสามารถทำงานเพื่อรักษาแรงดันน้ำ ได้ตามค่าที่กำหนด	
ระบบควบคุมปั๊มน้ำสามารถตั้งค่าการ ควบคุมแบบ PID เพื่อให้เหมาะสมกับการ ทำงานปั๊มน้ำได้	

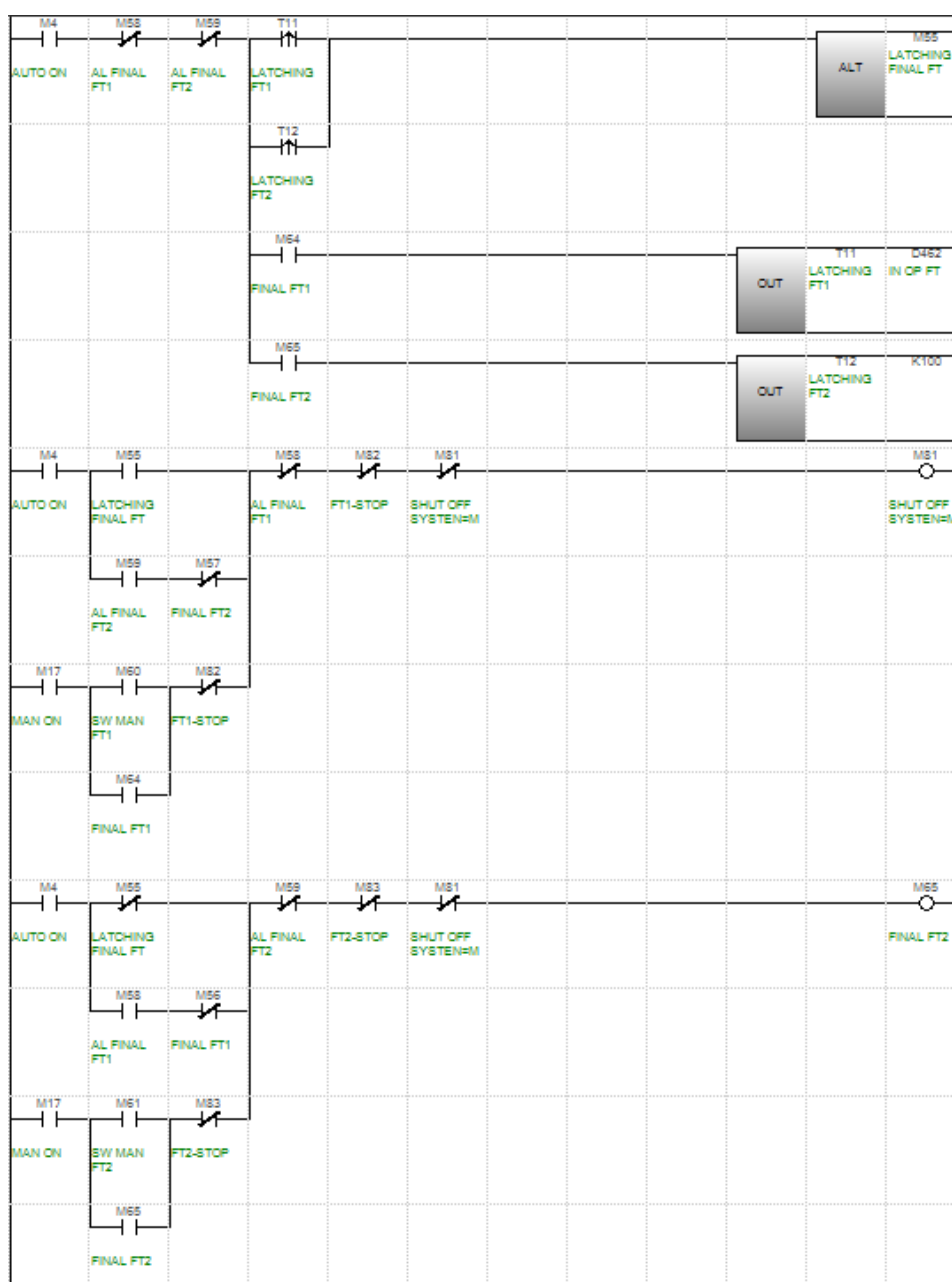
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าควบคุมการทำงานของปั๊ม DIW Booster (ต่อ)

รายละเอียด เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
ระบบสามารถแสดงค่าการทำงานของปั๊มน้ำได้	
กรณีปั๊มมีการแจ้งเตือนร่วม 2 ตัวระบบตัดการทำงานระบบจ่ายน้ำได้โดยอัตโนมัติ	

4.2.7 การควบคุมการทำงานของวาล์วลังกรอง Final Filter

จากรูปที่ 3.11 จะสามารถนำมาเขียนโปรแกรม Ladder GX Works3 เพื่อควบคุมการทำงานของวาล์วลังกรอง Final Filter ได้ ตามรูปที่ 4.6 ประกอบด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- 1) วาล์วลังกรอง Final Filter ไม่สามารถทำงานได้กรณีที่ระบบมีการแจ้งเตือนการทำงานขัดข้องของกระบวนการจ่ายน้ำดีไอออนซ์
- 2) สามารถควบคุมการทำงานของวาล์วลังกรอง Final Filter ในโหมด Auto และ Manual
- 3) โหมด Auto โปรแกรมสามารถสลับการทำงานของวาล์วลังกรอง Final Filter ตามค่าที่กำหนด และกรณีที่ค่าความต่างของแรงดันฝั่งขาเข้าและฝั่งขาออกของถังกรอง Final Filter ที่ทำงานมีการแจ้งเตือนร่วมระบบสามารถสตาร์ทอีกถังขึ้นโดยอัตโนมัติ
- 4) เมื่อถังกรอง Final Filter ทั้ง 2 ถังอรวมแรงดันสูง ระบบจะสั่งหยุดการทำงานทั้งหมด

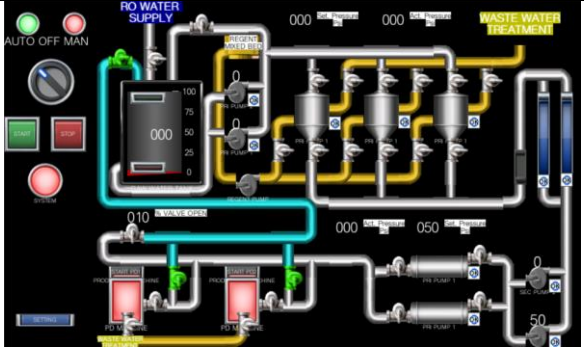
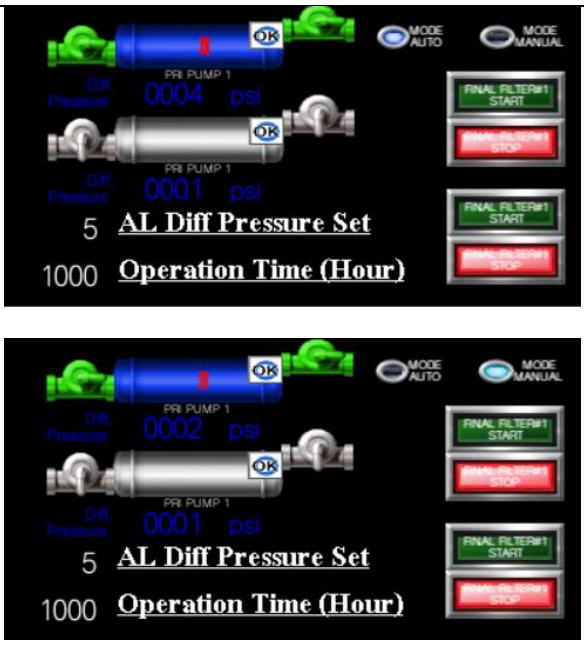


รูปที่ 4.9 คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมการทำงานวาล์วถังกรอง Final Filter

จากการทดสอบจำลองการทำงานวาล์วขาเข้าและขาออกของถังกรอง Final Filter จะทำการตรวจสอบระดับน้ำในถังเก็บน้ำดีไอออไนซ์ เมื่อระดับน้ำดีไอออไนซ์ มากกว่าระดับควบคุม น้ำต่ำ ระบบจะยอมให้เริ่มการทำงานโดยเริ่มจากการตั้งค่าระยะเวลาการทำงานของถังกรอง Final Filter เลือกฟังก์ชันการทำงานเป็น Auto หรือ Manual กรณีเลือกฟังก์ชัน Auto ระบบจะสลับการทำงานตามระยะเวลาที่เรากำหนด กรณีที่ถังกรอง Final Filter ดังที่ทำงานอยู่มีการแจ้งเตือนระบบ จะสลับการทำงานไปใช้งานอีกถังโดยอัตโนมัติ และกรณีที่ถังกรอง Final Filter แจ้งเตือนทั้ง 2 ถัง

ระบบจะสั่งหยุดกระบวนการจ่ายน้ำทันที เพื่อป้องกันผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ และฝ่ายผลิต โดยผลการทดสอบจะแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าควบคุมการทำงานของวาล์วควบคุมถังกรอง Final Filter

รายละเอียด เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
กรณีระดับน้ำน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าควบคุมระดับน้ำต่ำ ระบบจะไม่สามารถเริ่มการทำงานของถังกรอง Final Filter ได้	
วาล์วถังกรอง Final Filter สามารถเลือกฟังก์ชันการทำงาน Auto และ Manual ได้	

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าควบคุมการทำงานของวาล์วควบคุมถึงกรอง Final Filter (ต่อ)

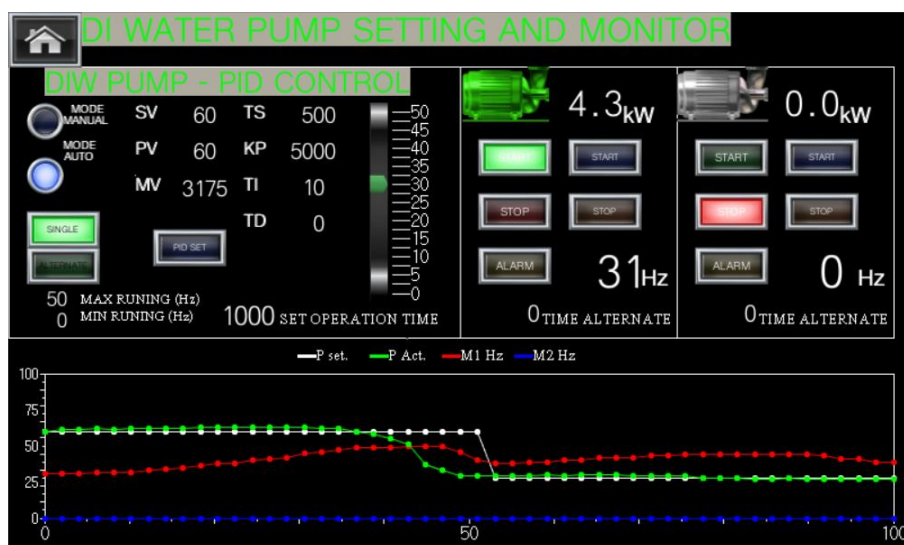
รายละเอียด เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
กรณีถึงกรอง ถึงกรอง Final Filter ที่ทำงานอยู่มีการแจ้งเตือนพร้อม ระบบสามารถสลับการทำงานได้โดยอัตโนมัติ	
กรณีถึงกรอง Final Filter มีการแจ้งเตือนพร้อม 2 ถึงระบบตัดการทำงานระบบจ่ายน้ำได้โดยอัตโนมัติ	

4.3 ผลประหยัดจากการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ของปั้มน้ำ

ในหัวข้อนี้นำเสนอ วิธีการประหยัดพลังงานโดยการคำนวณค่าพลังงานของปั้มน้ำในระบบจ่ายน้ำดีไอเอส จากการใช้ค่าพลังงานการใช้งานจริงในระบบเปรียบเทียบกับค่าพลังงานที่คำนวณจากการควบคุมปั้มน้ำแบบ PID เพื่อแสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้สามารถประหยัดพลังงานได้

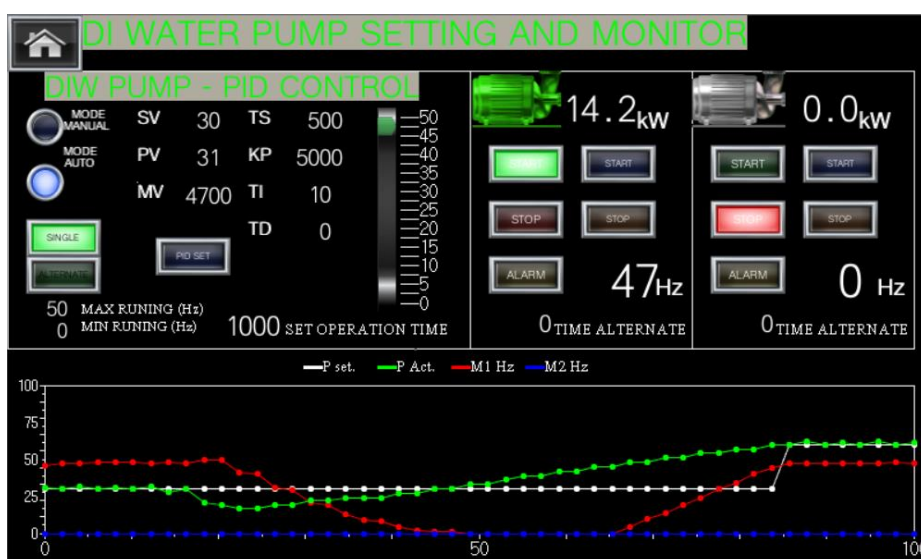
4.3.1 วิธีการควบคุมแรงดันน้ำสำหรับการประหยัดพลังงานแบบ PID Control

ตัวควบคุม PID คืออัลกอริทึมการควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ เพื่อรักษาแรงดันน้ำดีไอเอสในซีให้ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ ตัวควบคุม PID จึงสามารถจัดการแรงดันน้ำดีไอเอสได้อย่างละเอียดและมีประสิทธิภาพ ทำให้ได้การตอบสนองที่รวดเร็ว ข้อผิดพลาดน้อย และความเสถียรที่เหมาะสม ตามรูปที่ 4.9 แสดงการทำงานของปั้มน้ำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันน้ำดีไอเอส (กราฟเส้นสีขาว) จาก 30 psi เป็น 60 psi (กราฟเส้นสีขาว) โปรแกรมจะทำการสั่งเพิ่มความเร็ว (กราฟเส้นสีแดง) เพื่อเพิ่มความเร็วรอบมอเตอร์ปั้มน้ำให้แรงดันน้ำดีไอเอส (กราฟเส้นสีเขียว) เพิ่มไปที่ 60 ± 2 psi ตามแรงดันน้ำที่กำหนดใช้เวลาประมาณ 8 วินาที



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบการควบคุมแบบ PID เพิ่มแรงดันน้ำเทียบกับแรงดันน้ำที่กำหนด

รูปที่ 4.10 แสดงการทำงานของปั้มน้ำเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันน้ำดีไอออไนซ์ (กราฟเส้นสีขาว) จาก 60 psi เป็น 30 psi (กราฟเส้นสีขาว) โปรแกรมจะทำการสั่งลดความถี่ (กราฟเส้นสีแดง) เพื่อลดความเร็วรอบมอเตอร์ปั้มน้ำให้แรงดันน้ำดีไอออไนซ์ (กราฟเส้นสีเขียว) ลดลงไปที่ 30 ± 2 psi ตามแรงดันน้ำที่กำหนด ใช้เวลาประมาณ 34 วินาที ซึ่งเวลาในการลดแรงดันน้ำขึ้นอยู่กับการใช้ปริมาณการใช้น้ำดีไอออไนซ์ โดยระยะเวลาในการลดแรงดันน้ำเข้าหาค่าที่กำหนดจะแปรผกผันกับปริมาณการใช้น้ำดีไอออไนซ์



รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบการควบคุมแบบ PID ลดแรงดันน้ำเทียบกับแรงดันน้ำที่กำหนด

การควบคุมแรงดันของในระบบจ่ายน้ำน้ำดีไอออนซ์ แบบ PID ด้วยความแม่นยำเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและรักษาคุณภาพของน้ำให้คงที่ เมื่อนำการควบคุมแบบ PID มาควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ DIW Distribution ขนาด 18.5 กิโลวัตต์ ตามรูปที่ 4.9 และ DIW Booster ขนาด 22 กิโลวัตต์ ตามรูปที่ 4.10 โดยการลดหรือเพิ่มรอบผ่านอินเวอร์เตอร์ (VFD, Variable Frequency Drive) ที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของตัวมอเตอร์ตามรูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10 จากการควบคุมดังกล่าวทำให้ระบบจ่ายน้ำดีไอออนซ์ สามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำตามความต้องการของโหลด และทำให้ลดการใช้พลังงานเกินความจำเป็นด้วย

4.3.2 วิธีการคำนวณผลประหยัดจากการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ของปั้มน้ำ

ในระบบจ่ายน้ำดีไอออนซ์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงภาระการใช้งานอยู่ตลอดเวลา อัตราการไหลของน้ำจากเครื่องปั้มน้ำจะมีค่าปรับเปลี่ยนไปตาม ความต้องการของระบบ โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นจากการปรับหรือวาล์ว ซึ่งเป็นได้ทั้งการปรับหรือแบบอัตโนมัติและปรับหรือโดยใช้คน การปรับ หรือวาล์วนี้จะสร้างให้เกิดแรงดันต้านในระบบและเกิดการสูญเสีย พลังงานที่วาล์ว ดังนั้น การนำอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Frequency Drive - VFD) มาใช้กับปั้มน้ำจะเป็นการปรับอัตราการไหลของน้ำได้โดยไม่ต้องสร้างแรงดันต้านการไหลของน้ำ ขึ้นในระบบ ทำให้สามารถลดการสูญเสียพลังงานลงได้

อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ทำงานโดยอาศัยหลักการ ปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าขาเข้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทำให้ ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปตามความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{ความเร็ว (ซึ่งโครนัส)} = 120 * f / P$$

$$\text{เมื่อ } f = \text{ความถี่ของแรงดันไฟฟ้า เข้ามอเตอร์}$$

$$P = \text{จำนวนขั้วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ}$$

ความเร็วรอบที่เปลี่ยนแปลงไปของมอเตอร์จากการเปลี่ยน ความถี่นี้ ทำให้อุปกรณ์ที่ต่อใช้งานอยู่กับมอเตอร์ปั้มน้ำ มีความเร็วรอบ (N) ที่ลดลงตามไปด้วย มีผลทำให้กำลัง ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับมอเตอร์โดยรวมลดลงได้ในสัดส่วนตั้งแต่หนึ่งต่อหนึ่งจนถึงอัตรากำลังสามของความเร็วรอบที่ลดลงขึ้นอยู่กับวิธีการ ควบคุมความเร็วรอบ โดยในการเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบจะมีผลต่ออัตราการไหล เฮด และกำลังไฟฟ้า ดังนี้

$$\text{อัตราการไหล (Flow - Q)} \quad Q_2 = Q_1(N_2/N_1)$$

$$\text{เฮด (Head - h)} \quad h_2 = h_1(N_2/N_1)^2$$

$$\text{กำลังไฟฟ้า (Power - P)} \quad P_2 = P_1(N_2/N_1)^3$$

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถคำนวณผลประหยัดจากการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ของปั๊มน้ำโดยการเก็บข้อมูลของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ เปรียบเทียบกับการคำนวณค่าใช้จ่ายจากการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบ PID ร่วมกับการใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ของปั๊มน้ำ ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายจากการลดการใช้ปริมาณน้ำดีไอโอไนซ์ ที่ใช้ในการผลิตน้ำดีไอโอไนซ์ การลดค่าพลังงานของปั๊มน้ำ และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์

4.3.2.1 การคำนวณผลประหยัดจากการลดการใช้พลังงาน

การคำนวณผลประหยัดจากการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ (Variable Frequency Drive - VFD) เพื่อควบคุมแรงดันน้ำ สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าก่อนและหลังการติดตั้ง อินเวอร์เตอร์ โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้า, อัตราการไหล, และแรงดัน อินเวอร์เตอร์จะช่วยปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ให้สัมพันธ์กับความต้องการใช้น้ำ ทำให้ประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายได้ จากรูปที่ 3.13 ข้อมูลการใช้น้ำดีไอโอไนซ์ของโรงงานเราสามารถคำนวณการทำงานของปั๊มน้ำได้

1) การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง

การใช้พลังงานของปั๊มน้ำ DIW Distribution ขนาด 18.5 กิโลวัตต์ 125 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ข้อมูลเนมเพลตปั๊มน้ำตามรูปที่ 4.12 มีการควบคุมแรงดันน้ำโดยการปรับวาล์วเข้าของปั๊มน้ำ DIW Booster และวาล์วไหลกลับถึงน้ำดีไอโอไนซ์ดังรูปที่ 4.11 จากการวัดค่ากระแสของมอเตอร์ปั๊มน้ำ DIW Distribution ได้ 29.5 แอมป์ ที่แรงดันไฟฟ้า 408 โวลต์ สามารถคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้งานต่อปีได้จากสูตรทางไฟฟ้า

$$\begin{aligned} \text{สมการกำลังไฟฟ้า} \quad P &= 1.732 * V * I * PF * Ef \\ \text{เมื่อ} \quad P &\text{ คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)} \\ V &\text{ คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)} \\ PF &\text{ คือ Power Factor (ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง)} \\ Ef &\text{ คือ Efficiency (ประสิทธิภาพ)} \\ P &= 1.732 * 408 * 29.5 * 0.95 * 0.9 \\ &= 16,856 \text{ วัตต์ หรือ } 16.9 \text{ กิโลวัตต์} \end{aligned}$$

สมการค่าพลังงานไฟฟ้า

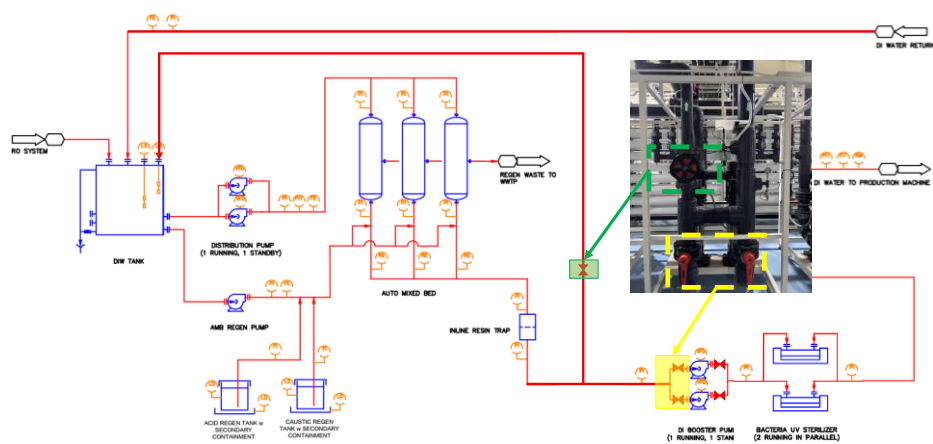
$$E = P * t(\text{ชั่วโมง/ปี}) / 1000$$

E คือ พลังงานไฟฟ้าต่อปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

$$E = 16,856 * (24 * 365) / 1000$$

$$= 147,658.5 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง}$$



รูปที่ 4.12 วาล์วควบคุมแรงดันน้ำโดยการปรับวาล์วขาเข้าของปั้มน้ำ DIW Booster



รูปที่ 4.13 เนมเพลตปั้มน้ำ DIW Distribution

การใช้พลังงานของปั้มน้ำ DIW Booster ขนาด 22 กิโลวัตต์ 95 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ข้อมูลเนมเพลตปั้มน้ำตามรูปที่ 4.13 มีการควบคุมแรงดันน้ำโดยการปรับวาล์วขาออกของปั้มน้ำ

น้ำ DIW Booster และตรวจสอบแรงดันน้ำหลังถังกรอง Final Filter ตามรูปที่ 4.14 จากการวัดค่ากระแสของมอเตอร์ปั้มน้ำ DIW Distribution ได้ 27.9 แอมป์ ที่แรงดันไฟฟ้า 408 โวลต์ สามารถคำนวณค่าพลังงานที่ใช้งานต่อปีได้จากสูตรทางไฟฟ้า

สมการกำลังไฟฟ้า

เมื่อ

$$P = 1.732 * V * I * PF * Ef$$

P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

V คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

PF คือ Power Factor (ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง)

Ef คือ Efficiency (ประสิทธิภาพ)

$$P = 1.732 * 408 * 29.8 * 0.95 * 0.9$$

$$= 18,005 \text{ วัตต์ หรือ } 18 \text{ กิโลวัตต์}$$

สมการค่าพลังงานไฟฟ้า

$$E = P * t_{\text{(ชั่วโมง/ปี)}} / 1000$$

E คือ พลังงานไฟฟ้าต่อปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

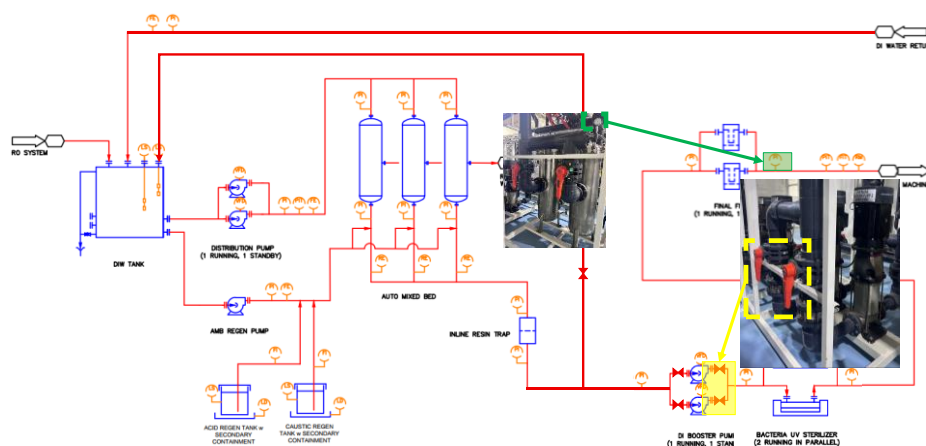
P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

$$E = 18,005 * (24 * 365) / 1000$$

$$= 157,722.8 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง}$$



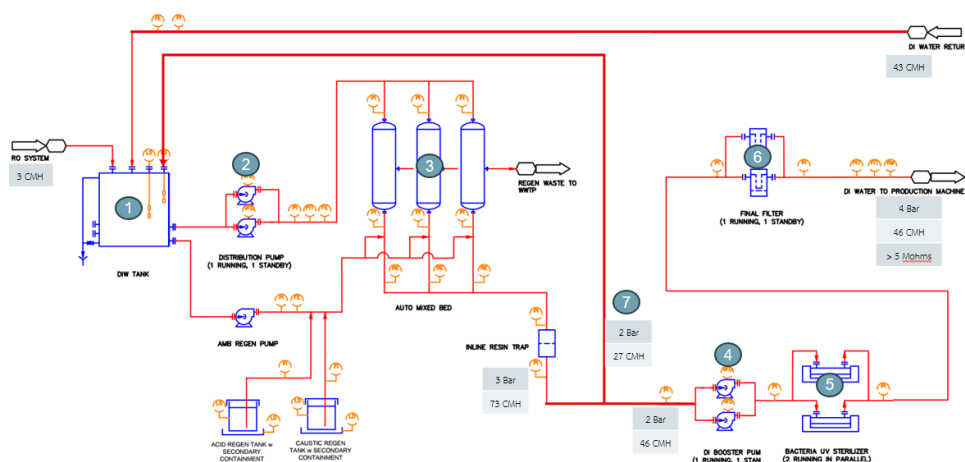
รูปที่ 4.14 เนมเพลตปั้มน้ำ DIW Booster



รูปที่ 4.15 วาล์วควบคุมแรงดันน้ำโดยการปรับวาล์วขาออกของปั้มน้ำ DIW Booster

2) การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง

การใช้พลังงานของปั้มน้ำ DIW Distribution ขนาด 18.5 กิโลวัตต์ 125 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ข้อมูลเนมเพลตปั้มน้ำตามรูปที่ 4.12 มีการควบคุมแรงดันน้ำโดยการปรับวาล์วขาเข้าของปั้มน้ำ DIW Booster และวาล์วไหลกลับถึงน้ำดีไอออไนซ์ดังรูปที่ 4.11 จากการวัดค่าอัตราการไหลน้ำดีไอออไนซ์ตามรูปที่ 4.15 มีการใช้น้ำดีไอออไนซ์ 3 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง สามารถคำนวณหาค่าพลังงานที่มีโอกาสในการลดการใช้พลังงานของปั้มน้ำ DIW Distribution และ DIW Booster



รูปที่ 4.16 แสดงอัตราการไหลของน้ำดีไอออไนซ์

จากความสัมพันธ์ความเร็วรอบที่เปลี่ยนแปลงไปของมอเตอร์จากการเปลี่ยนความถี่นี้ ทำให้อุปกรณ์ที่ต่อใช้งานอยู่กับมอเตอร์ปั้มน้ำ มีความเร็วรอบ (N) ที่ลดลงตามไปด้วย อัตราการที่ลดลง โดยในการเปลี่ยนแปลง ความเร็วรอบจะมีผลต่ออัตราการไหล เฮด และกำลังไฟฟ้า ดังนี้

อัตราการไหล (Flow - Q)	$Q_2 = Q_1(N_2/N_1)$
เฮด (Head - h)	$h_2 = h_1(N_2/N_1)^2$
กำลังไฟฟ้า (Power - P)	$P_2 = P_1(N_2/N_1)^3$

สมการความสัมพันธ์อัตราการไหลกับความเร็วรอบ

$$Q_2 = Q_1(N_2/N_1)$$

จากข้อมูลตามเนมเพลตปั้มน้ำ DIW Distribution รูปที่ 4.12 อัตราการไหลของน้ำ 125 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่ความเร็วรอบ 2,960 RPM ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ เราจะสามารถหาความเร็วรอบหลังปรับปรุงได้จาก

$$N_2 = N_1 * (Q_2 / Q_1)$$

Q_1 คือ อัตราการไหลก่อนปรับปรุง (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)

Q_2 คือ อัตราการไหลหลังปรับปรุง (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)

N_1 คือ ความเร็วรอบมอเตอร์ก่อนปรับปรุง (RPM)

N_2 คือ ความเร็วรอบมอเตอร์ก่อนปรับปรุง (RPM)

แทนค่าสมการ

$$N_{\text{Distribution}} = 2,960 * (3 / 125)$$

$$= 71 \text{ RPM}$$

หาความถี่ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั้มน้ำ DIW Distribution ได้จากความสัมพันธ์ความเร็วรอบกับความถี่แรงดันไฟฟ้าได้จาก

$$N = 120 * f / P$$

เมื่อ

N = ความเร็วรอบ

f = ความถี่ของแรงดันไฟฟ้า เข้ามอเตอร์

P = จำนวนขั้วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

แทนค่าสมการ

$$\begin{aligned} N_{\text{Distribution}} &= 120 * f / P \\ f_{\text{Distribution}} &= N_2 * P / 120 \\ &= 71 * 2 / 120 \\ &= 1.2 \text{ เฮิร์ตซ์} \end{aligned}$$

จากข้อมูลตามเนมเพลตปั๊มน้ำ DIW Booster รูปที่ 4.13 อัตราการไหลของน้ำ 95 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงที่ความเร็วรอบ 2,960 RPM ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ เราจะสามารถหาความเร็วรอบหลังปรับปรุงได้จาก หาคความถี่ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำ DIW Booster ได้จากความสัมพันธ์ ความเร็วรอบกับความถี่แรงดันไฟฟ้าได้จาก ความสัมพันธ์อัตราการไหล

$$\begin{aligned} N_2 &= N_1 * (Q_2 / Q_1) \\ N_{\text{Booster}} &= 2,960 * (3 / 95) \\ &= 94 \text{ RPM} \end{aligned}$$

ความสัมพันธ์เร็วรอบกับความถี่แรงดันไฟฟ้า

$$N = 120 * f / P$$

แทนค่าสมการ

$$\begin{aligned} N_{\text{Booster}} &= 120 * f / P \\ f_{\text{Booster}} &= N_2 * P / 120 \\ &= 94 * 2 / 120 \\ &= 1.6 \text{ เฮิร์ตซ์} \end{aligned}$$

การคำนวณการอนุรักษ์พลังงานต้องไม่ลืมว่าประสิทธิภาพมอเตอร์จะลดลงมากที่ภาระต่ำกว่า 50% ทำให้มอเตอร์ปั๊มน้ำดีไอเออนไชน์อาจไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ความถี่ต่ำมากได้ และเมื่อความถี่ต่ำเกินไป อาจทำให้มอเตอร์ไม่สามารถสร้างแรงบิดที่เพียงพอ หรือเกิดการสั่นสะเทือนได้ จึงมีการตั้งค่าการทำงานต่ำสุดของความถี่ VFD ที่ 50% หรือ 25 เฮิร์ตซ์ ร่วมกับการปรับวาล์วบายพาสน้ำดีไอเออนไชน์ในกรณีที่โหลดมอเตอร์ต่ำกว่า 25 เฮิร์ตซ์ ดังนั้น จึงคำนวณพลังงานที่ต้องจ่ายให้กับมอเตอร์ปั๊มน้ำหลังปรับปรุงที่ ความถี่ 25 เฮิร์ตซ์

ที่ความถี่ 25 เฮิรตซ์ ความเร็วรอบของมอเตอร์ปั้มน้ำ DIW Distribution จะเท่ากับสมการคำนวณ สลิปมอเตอร์

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ} \quad \text{Slip} &= ((N_s - N_{\text{ROTOR}}) / N_s) * 100\% \\ N_s &= \text{ความเร็วซิงโครนัส} \\ N_{\text{ROTOR}} &= \text{ความเร็วโรเตอร์} \end{aligned}$$

แทนค่าสมการ

$$\begin{aligned} \text{Slip} &= ((3,000 - 2,960) / 3,000) * 100\% \\ &= 1.33\% \end{aligned}$$

แทนค่าสมการ

$$\begin{aligned} N_{S25\text{Hz}} &= 120 * f / P \\ N_{S25\text{Hz}} &= 120 * 25 / 2 \\ &= 1,500 \text{ RPM} \end{aligned}$$

หาความเร็วรอบโรเตอร์ที่ความเร็ว 1,500 RPM จาก

$$\begin{aligned} N_{\text{ROTOR600RPM}} &= (1 - \text{Slip} / 100) * N_s \\ &= (1 - 1.33 / 100) * 1,200 \\ &= 1480 \text{ RPM} \end{aligned}$$

คำนวณการใช้พลังงานของปั้มน้ำ DIW Distribution และ DIW Booster จากสมการความ สัมพันธ์ อัตราการไหลกับความเร็วรอบ

$$P_2 = P_1 (N_2 / N_1)^3$$

คำนวณการใช้พลังงานของปั้มน้ำ DIW Distribution แทนค่าสมการ

$$\begin{aligned} P_2 &= P_1 * (N_2 / N_1)^3 \\ &= 18.5 * (1480 / 2960)^3 \\ &= 2.3 \text{ กิโลวัตต์} \end{aligned}$$

สมการค่าพลังงานไฟฟ้า

$$E = P * t_{\text{(ชั่วโมง/ปี)}} / 1000$$

E คือ พลังงานไฟฟ้าต่อปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

$$E = 2.3 * (24 * 365)$$

$$= 20,148 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง}$$

คำนวณการใช้พลังงานของปั๊ม DIW Booster แทนค่าสมการ

$$P_2 = P_1 * (N_2/N_1)^3$$

$$= 22 * (1480 / 2960)^3$$

$$= 2.75 \text{ กิโลวัตต์}$$

สมการค่าพลังงานไฟฟ้า

$$E = P * t_{\text{(ชั่วโมง/ปี)}} / 1000$$

E คือ พลังงานไฟฟ้าต่อปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

$$E = 2.75 * (24 * 365)$$

$$= 24,090 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง}$$

3) การคำนวณผลประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้า

สมการค่าพลังงานไฟฟ้า

$$E_{\text{ผลประหยัด}} = E_{\text{ก่อนปรับปรุง}} - E_{\text{หลังปรับปรุง}}$$

$$E_{\text{ผลประหยัด}} = (147,659 + 157,723) - (20,148 + 24,090)$$

$$= 261,143 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี}$$

คิดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานหน่วยละ 3.87 บาทโดยอ้างอิงตามค่าเฉลี่ยค่าไฟโรงงานปี 2567
จะประหยัดค่าใช้จ่ายต่อปี

$$\text{ผลประหยัดต่อปี} = 261,143.30 * 3.87$$

$$= 1,010,625 \text{ บาทต่อปี}$$

4.3.2.2 การคำนวณผลประหยัดจากการลดการใช้น้ำ RO

1) การคำนวณปริมาณการใช้น้ำ RO ก่อนปรับปรุง

จากตารางที่ 9 สามารถคำนวณปริมาณการใช้น้ำ RO ต่อปีได้จากการ

คำนวณ

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณการใช้น้ำต่อปี} &= \text{ปริมาณน้ำ RO เดิมวันแรก} + (\text{ปริมาณน้ำ RO ที่ใช้ต่อวัน} * 365 \text{ วัน}) \\ &= 1,629 + (33 * 365) \\ &= 13,674 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อปี}\end{aligned}$$

คิดค่าใช้จ่ายด้านน้ำ RO หน่วยละ 30 บาท จะสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายน้ำ RO ต่อปี

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณการใช้น้ำต่อปี} &= \text{ปริมาณการใช้น้ำต่อปี} * \text{ค่าน้ำต่อลูกบาศก์เมตร} \\ &= 13,674 * 30 \\ &= 410,220 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

2) การคำนวณปริมาณการใช้น้ำ RO หลังปรับปรุง

จากความเร็วใช้งาน 20 เฮิร์ตซ์ ความเร็วรอบ 1,480 RPM ของมอเตอร์ปั้มน้ำ DIW Distribution จะสามารถคำนวณปริมาณการใช้น้ำ RO ต่อปีหลังการปรับปรุงได้จากความสัมพันธ์อัตราการไหล

$$\begin{aligned}Q_2 &= Q_1 * (N_2 / N_1) * \text{Eff} \\ Q_2 \text{ Distribution} &= 125 * (1,480 / 2,960) * 0.8 \\ &= 50 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณการใช้น้ำต่อปี} &= (\text{อัตราการไหล} * 24 \text{ ชั่วโมง}) + (\text{ปริมาณน้ำ RO ที่ใช้ต่อวัน} * 365 \text{ วัน}) \\ &= (50 * 24) + (33 * 365) \\ &= 13,245 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อปี}\end{aligned}$$

คิดค่าใช้จ่ายด้านน้ำ RO หน่วยละ 30 บาท จะสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายน้ำ RO ต่อปี

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณการใช้น้ำต่อปี} &= \text{ปริมาณการใช้น้ำต่อปี} * \text{ค่าน้ำต่อลูกบาศก์เมตร} \\ &= 13,245 * 30 \\ &= 397,350 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

3) การคำนวณผลประหยัดจากการลดปริมาณการใช้น้ำต่อปี

สมการค่าพลังงานไฟฟ้า

$$\text{ปริมาณการใช้น้ำ}_{\text{ผลประหยัด}} = \text{ปริมาณการใช้น้ำ}_{\text{ก่อนปรับปรุง}} - \text{ปริมาณการใช้น้ำ}_{\text{หลังปรับปรุง}}$$

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณการใช้น้ำ}_{\text{ผลประหยัด}} &= 13,674 - 13,245 \\ &= 429 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อปี}\end{aligned}$$

คิดค่าใช้จ่ายด้านน้ำ RO หน่วยละ 30 บาท จะสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายน้ำ RO ต่อปี
 ปริมาณการใช้น้ำต่อปี = ปริมาณการใช้น้ำต่อปี * ค่าน้ำต่อลูกบาศก์เมตร
 = 429 * 30
 = 12,870 บาทต่อปี

4.3.2.3 สรุปผลประหยัดจากการปรับปรุงระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์

การปรับปรุงระบบน้ำดีไอโอไนซ์ให้เป็นระบบอัตโนมัติ ต้องใช้
 ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงระบบทั้งสิ้นเป็นเงิน 2,063,500.00 บาท ตามรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.8 ใบเสนอราคาในการปรับปรุงระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์อัตโนมัติ

Component	Quantity	Unit /price	Total
Control Panel	1 set	450,000.00	450,000.00
Inverter	4 set	200,000.00	800,000.00
Pressure Sensor	2 ea	25,000.00	50,000.00
Flow Sensor	2 ea	78,000.00	156,000.00
Actuator Valve	5 ea	25,000.00	125,000.00
Installation Cost	1 lot	389,000.00	389,000.00
Accessories	1 lot	233,400.00	233,400.00
Overhead and Profit	1 lot	420,120.00	420,120.00
Total Cost			<u>2,623,520.00</u>

ตารางที่ 4.9 แสดงผลประโยชน์จากการปรับปรุงระบบจ่ายน้ำดีไอเออไนซ์แบบอัตโนมัติ

การผลิตน้ำดีไอ	ก่อนการปรับปรุง	การคำนวณ หลังการปรับปรุง	ผลประโยชน์	หน่วย
ปริมาณน้ำผลิตน้ำดีไอ	1,629	1,200	429	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ปริมาณการจ่ายน้ำดีไอ	880	648	232	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ปริมาณน้ำดีไอไหลกลับ	847	615	232	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ปริมาณการใช้น้ำดีไอ	33	33	0	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด	13,674	13,245	429	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ต้นทุนการผลิตน้ำดีไอ				
ค่าน้ำ RO (30 บาทต่อลูกบาศก์เมตร)	410,220	397,350	12,870	บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน	1,181,828	171,201	1,010,627	บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (อ้างอิงใบเสนอราคา 2024)	2,365,714	2,365,714	0	บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายในการ Regen Mixed Bed Resin	1,687,500	1,243,094	444,406	บาทต่อปี
ต้นทุนในการผลิตน้ำดีไอ	5,645,263	4,177,359	1,467,903	บาทต่อปี
Investment Cost	2,623,520		2,623,520	บาท
ROI			1.8	ปี

จากตารางที่ 4.9 สรุปผลประโยชน์ออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วยผลประโยชน์จากการลดการใช้พลังงานปั๊มน้ำจากการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ 261,144 บาทต่อปี ผลประโยชน์จากการลดการใช้น้ำ RO ในการผลิตน้ำดีไออไนซ์ 429 ลูกบาศก์เมตรต่อปี คิดเป็นเงิน 12,870 บาทต่อปี และผลประโยชน์จากการลดค่าใช้จ่ายสารเคมีที่ใช้ในการล้างเมมเบรนเรซิน โดยอ้างอิงจากค่าใช้จ่ายจริงในปี 2567 เทียบกับค่าใช้จ่ายในปี 2568 คิดเป็นเงิน 444,406 บาทต่อปี รวมผลประโยชน์ทั้งหมด 718,420 บาทต่อปี และต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงระบบทั้งสิ้นเป็นเงิน 2,063,500 บาท ผลตอบแทนจากการลงทุน โดยคำนวณจากผลประโยชน์รวมที่ได้จากการลงทุนหารด้วยต้นทุนของการลงทุนนั้น (Return on Investment, ROI) เท่ากับ 2.9 ปี

4.4 สรุป

ผลการจำลองระบบควบคุมการจ่ายน้ำดีไอออนซ์ แบบอัตโนมัติ โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม PLC และการแสดงผลผ่าน HMI สามารถสรุปในประเด็นสำคัญได้ดังนี้

- 1) การจำลองฟังก์ชันการทำงานของระบบควบคุมการจ่ายน้ำดีไอออนซ์ แบบอัตโนมัติ สามารถนำไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ และเครื่องจักรในกระบวนการจ่ายน้ำดีไอออนซ์
- 2) ระบบการจ่ายน้ำดีไอออนซ์ แบบอัตโนมัติ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการจ่ายน้ำดีไอออนซ์ ได้เนื่องจากการควบคุมการทำงานของปั้มน้ำจะจ่ายน้ำตามความต้องการของเครื่องจักรของฝ่ายผลิต
- 3) สามารถตรวจสอบและควบคุมกระบวนการทั้งหมดของระบบจ่ายน้ำดีไอออนซ์ ผ่านหน้าจอ HMI ได้
- 4) ลดความเสี่ยงการหยุดชงักและผลกระทบต่อฝ่ายผลิตเนื่องจากเมื่อหน่วยงานมีสัญญาณเตือน หน่วยสแตนด์บายจะเริ่มทำงานโดยอัตโนมัติ
- 5) เมื่อทั้งสองหน่วยของกระบวนการมีสัญญาณเตือน ระบบจะปิดโดยอัตโนมัติ
- 6) สามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำด้วย VFD ในระบบเพื่อรักษาแรงดันจ่ายน้ำให้สอดคล้องกับแรงดันที่ตั้งไว้
- 7) เมื่อค่าความต้านทานของเรซินในถังน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ ระบบจะต้องสลับไปยังถังถัดไป และเปิดระบบการฟื้นฟูเรซินโดยอัตโนมัติ