

การลดต้นทุนระบบจ่ายน้ำ DI ด้วยการควบคุมหลายตัวแปรด้วย PLC



นายกฤษดา สมทรัพย์

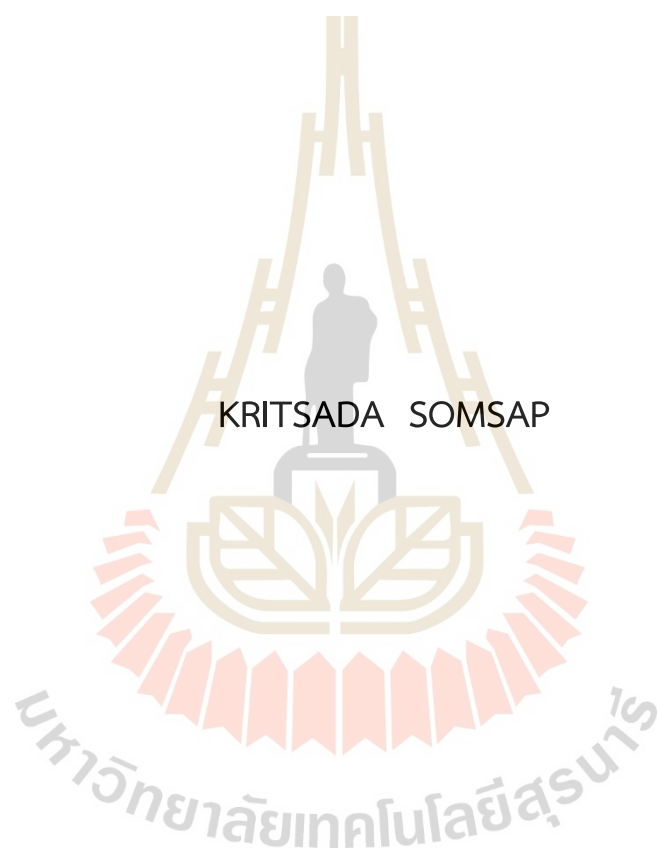
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2567

COST REDUCTION OF DI WATER SUPPLY SYSTEM BY
MULTIVARIABLE CONTROL WITH PLC



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 2024

การลดต้นทุนระบบจ่ายน้ำ DI ด้วยการควบคุมหลายตัวแปรด้วย PLC

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.กานต์ เกตุศรี)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.อุเทน ลีตัน)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ. ดร.จิระพล ศรีศรีวุฒ)

กรรมการ



(รศ. ดร.ยุพาพร รักสกุลพิพัฒน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

กฤษฎา สมทรัพย์ : การลดต้นทุนระบบจ่ายน้ำ DI ด้วยการควบคุมหลายตัวแปรด้วย PLC
(COST REDUCTION OF DI WATER SUPPLY SYSTEM BY MULTIVARIABLE
CONTROL WITH PLC)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน ลีตน, 145 หน้า

คำสำคัญ : การลดต้นทุนระบบจ่ายน้ำดีไอโอเอชด้วยการควบคุมหลายตัวแปรด้วย PLC

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอโอเอช ในโรงงานอุตสาหกรรม กรณีศึกษา ผู้วิจัยได้ทำการสร้าง แบบจำลองสถานการณ์กระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอเอชของโรงงาน เพื่อทดลองหาวิธีควบคุมอุปกรณ์และเครื่องจักรในระบบจ่ายน้ำดีไอโอเอช ที่เหมาะสม ลดความเสี่ยงที่อาจเป็นสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตของไลน์การผลิต และลดค่าใช้จ่ายในระบบจ่ายน้ำดีไอโอเอช โดยใช้โปรแกรม GX WORK3 และ GT DESIGNER3 ในแบบจำลอง สถานการณ์ จากนั้นจำลองสถานการณ์การทำงานในกระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอเอช ซึ่งประกอบด้วย การควบคุมปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำอาโอ (RO Water), การควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ Distributor, การควบคุมการทำงานของถังกรองเรซิน, การควบคุมการทำงานของหลอดไฟฆ่าเชื้อ (UV Lamp), การควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Booster, และควบคุมการทำงานของวาล์วถังกรองน้ำ Final Filter โดยดำเนินการจำลองผ่านโปรแกรม GX WORK3 และ GT DESIGNER3 การวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า โปรแกรมควบคุมการจ่ายน้ำดีไอโอเอชสามารถทำงานได้ตามกระบวนการที่กำหนด มีระบบสตาร์ทเครื่องจักรสำรองกรณีที่เครื่องจักรหลักที่ทำงานเกิดการขัดข้องลดการหยุดชะงักของไลน์การผลิต และระบบปั้มน้ำยังออกแบบให้มีการควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำแบบ PID ทำให้สามารถจ่ายน้ำได้ตามแรงดันน้ำที่กำหนด ลดการใช้พลังงานของปั้มน้ำ ลดการใช้น้ำเกินความจำเป็น ยังรวมถึงลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการซ่อมบำรุง คำนวณผลประโยชน์ต่อปีอยู่ที่ 5,038,992 บาทต่อปี

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
ปีการศึกษา 2567

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

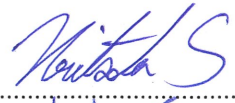
KRITSADA SOMSAP : COST REDUCTION OF DI WATER SUPPLY SYSTEM BY
MULTIVARIABLE CONTROL WITH PLC.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. UTHEN LEETON, Ph.D., 145 PP.

Keywords: Cost Reduction of DI Water Supply System by Multivariable Control with
PLC

This research aims to apply the simulation program of the ionized water supply system in the industrial plant. Case study The researcher created a simulation model of the ionized water supply process of the plant to experiment on the method of controlling the equipment and machinery in the ionized water supply system appropriately, reducing the risk that may be the cause of the interruption of the production line and reducing the cost of the ionized water supply system by using the GX WORK3 and GT DESIGNER3 programs in the simulation model. Then, the operating status of the ionized water supply process was simulated, which consisted of controlling the amount of water in the RO water tank, controlling the operation of the Distributor water pump, controlling the operation of the resin filter tank, controlling the operation of the UV lamp, controlling the operation of the DIW Booster water pump, and controlling the operation of the Final Filter water filter valve. The simulation was performed through the GX WORK3 and GT DESIGNER3 programs. The analysis of the experimental results showed that the ionized water supply control program can work according to the specified process. There is a backup machine start system in case the main machine malfunctions, reducing the interruption of the production line. And the water pump system is designed to control the PID water pump motor, allowing water to be supplied according to the specified water pressure, reducing the energy consumption of the water pump, reducing unnecessary water usage, and also reducing maintenance costs. The total savings calculated per year are 5,038,992 baht per year.

School of Mechatronics Engineering
Academic Year 2024

Student's Signature.....
Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย ระบบการควบคุมอัตโนมัติของระบบจ่ายน้ำดีไอโอออนไลน์ สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี ทั้งนี้ ต้องขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุน การทำวิจัยนี้ ตลอดทั้งอาจารย์ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน ลีตน ที่เสียสละเวลา กรุณาตรวจทานเนื้อหาและรายละเอียดต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ยิ่ง ผู้จัดทำ ขอขอบคุณ ทุกท่านมา ณ ที่นี้ สุดท้ายผู้จัดทำขอขอบคุณบริษัท เคียวเซร่า เอวีเอ็กซ์ คอมโพเนนส์ (กรุงเทพมหานคร) จำกัด ที่ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือ และเก็บข้อมูลในการดำเนินงานวิจัย

กฤษฎา สมทรัพย์



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	2
1.5 สถานที่ทำงานการวิจัย.....	4
1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย.....	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ทัศนวิสัยการมองเห็นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 ระบบควบคุมปั้มน้ำด้วย PLC และโมดูลไร้สายสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม.....	6
2.3 ระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วย PLC และการสื่อสาร PROFIBUS สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม.....	17
2.4 PLC – HMI ระบบอัตโนมัติแบบ CASCADED FUZZY PID สำหรับการจัดการและ จัดเก็บพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพแบบเรียลไทม์ของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ สูบน้ำกลับ.....	40
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	49
3.1 บทนำ.....	49
3.2 สภาพปัจจุบันของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์.....	51

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3	การวิเคราะห์และออกแบบการปรับปรุงระบบโหมตควบคุมอัตโนมัติ	58
3.3.1	แนวคิดในการปรับปรุงระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์แบบอัตโนมัติ	58
3.3.2	อุปกรณ์ควบคุมระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์	59
3.3.3	การออกแบบกระบวนการทำงานระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์อัตโนมัติ	62
3.4	สรุป	70
4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล	71
4.1	บทนำ	71
4.2	การทดสอบฟังก์ชันการทำงาน และการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม ควบคุมสำหรับการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ บน PLC และ HMI ทั้งระบบแมนนวลและ ระบบอัตโนมัติ	71
4.2.1	การควบคุมปริมาณน้ำ ของถังน้ำดีไอโอไนซ์	72
4.2.2	การกำหนดค่าควบคุมการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์	74
4.2.3	การควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW DISTRIBUTION	77
4.2.4	การควบคุมการทำงานของถังกรอง MIXED BED RESIN	82
4.2.5	การควบคุมการทำงานของหลอดไฟฟ้าเชื้อ	86
4.2.6	การควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW BOOSTER	89
4.2.7	การควบคุมการทำงานของวาล์วถังกรอง FINAL FILTER	93
4.3	ผลประหยัดจากการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ของปั้มน้ำ	96
4.3.1	วิธีการควบคุมแรงดันน้ำสำหรับการประหยัดพลังงานแบบ PID CONTROL ..	96
4.3.2	วิธีการคำนวณผลประหยัดจากการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ มอเตอร์ของปั้มน้ำ	98
4.3.2.1	การคำนวณผลประหยัดจากการลดการใช้พลังงาน	99
4.3.2.2	การคำนวณผลประหยัดจากการลดการใช้ปริมาณน้ำ RO	107
4.3.2.3	สรุปผลประหยัดจากการปรับปรุงระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์	108
4.4	สรุป	110
5	สรุปและข้อเสนอแนะ	111

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1	สรุปผลการทดลอง.....	111
5.2	ข้อจำกัดของแบบจำลอง.....	112
5.3	ข้อเสนอแนะ.....	112
	รายการอ้างอิง	113
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก โปรแกรม LADDER ของระบบควบคุมการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์.....	114
	ภาคผนวก ข โปรแกรม GT DESIGNER3 ของระบบควบคุมการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์.....	125
	ภาคผนวก ค รายชื่อบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา	136
	ประวัติผู้เขียน.....	145



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1	แผนการดำเนินงาน..... 3
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและแรงดัน..... 16
2.2	การสื่อสารแบบโปรฟิบบ์ส..... 24
2.3	เนื้อหาที่อยู่ควบคุม STW..... 35
2.4	พารามิเตอร์ FLC สำหรับตัวควบคุมการไหล..... 46
2.5	พารามิเตอร์ PID..... 46
2.6	เกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติงาน..... 47
2.7	การเปรียบเทียบข้อมูลจำเพาะโดเมนเวลา..... 47
3.1	แสดงขั้นตอนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์..... 55
3.2	แสดงปริมาณการใช้น้ำ และค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำดีไอโอไนซ์..... 57
4.1	ผลการทดสอบการควบคุมปริมาณน้ำของถังเก็บน้ำดีไอโอไนซ์..... 73
4.2	แสดงค่าควบคุมแต่ละกระบวนการ..... 75
4.3	แสดงค่าควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution..... 80
4.4	แสดงค่าควบคุมการทำงานของถังกรอง Mixed Bed Resin..... 85
4.5	แสดงค่าควบคุมการทำงานของหลอดไฟฟ้าเชื้อ..... 88
4.6	แสดงค่าควบคุมการทำงานของปั้ม DIW Booster..... 91
4.7	แสดงค่าควบคุมการทำงานของวาล์วควบคุมถังกรอง Final Filter..... 95
4.8	ไบเซนราคาในการปรับปรุงระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์อัตโนมัติ..... 108
4.9	แสดงผลประหยัดจากการปรับปรุงระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์แบบอัตโนมัติ..... 109

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	กระบวนการผลิตน้ำดีไอออนไนซ์ 2
2.1	บล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุม 7
2.2	บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมปั้มน้ำ 7
2.3	แผนผังองค์ประกอบของระบบ 8
2.4	โครงสร้างพื้นฐานของ PLC 9
2.5	การกำหนดค่าฮาร์ดแวร์ใน SIMATIC Manager 11
2.6	ภาพถ่ายของระบบที่ได้รับการออกแบบ 12
2.7	เวลาดำเนินการขั้นต่ำสำหรับข้อมูล 32 บิต 13
2.8	ลำดับทั่วไปของการเรียก FC11 และ FC12 ในรอบ CPU 14
2.9	แผนผังขั้นตอนการควบคุมปั้ม 15
2.10	โครงสร้างโปรแกรมของระบบ: (a) บล็อกกรอง; (b) ตัวแปรบล็อกข้อมูล; (c) บล็อกการปรับ ขนาดความดัน; (d) มุมมอง LAD ของบล็อกฟังก์ชันการควบคุมปั้ม 15
2.11	แผนผังแบบบล็อกทั่วไปของการศึกษา 21
2.12	เทคโนโลยีเครือข่าย Profibus 23
2.13	สถาปัตยกรรมโปรโตคอล Profibus 25
2.14	การเปรียบเทียบโปรโตคอล 26
2.15	พารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 27
2.16	แผนผังการกำหนดค่าของระบบ 28
2.17	โครงสร้างพื้นฐานของ PLC 29
2.18	เนมเพลตมอเตอร์เหนี่ยวนำ 29
2.19	การกำหนดค่าฮาร์ดแวร์ในแพลตฟอร์มพอร์ทัล TIA 30
2.20	โครงสร้างโปรแกรมของระบบ 31
2.21	ตัวแปรที่ถูกสร้างที่เซิร์ฟเวอร์ OPC 32
2.22	อุปกรณ์คุณลักษณะ Profibus-DP 33
2.23	การตั้งค่าการทดลองเพื่อการประยุกต์ใช้ระบบ 34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.24	เครื่องบันทึกกระบวนการในตัวแปลงความถี่..... 34
2.25	ข้อมูลการทำงานของตัวแปลงความถี่..... 35
2.26	แผนภาพลำดับการไหลใน CPU 36
2.27	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟขาออกของอินเวอร์เตอร์และกำลังไฟฟ้า..... 36
2.28	อินเทอร์เฟซผู้ใช้..... 37
2.29	อินเทอร์เฟซผู้ใช้เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำหมุนด้วยความเร็ว 1,370 รอบ/เมตร..... 38
2.30	การทำงานของโมเดลต้นแบบ 42
2.31	แผนผังบล็อกของการตั้งค่าฮาร์ดแวร์ 42
2.32	การตั้งค่าการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ..... 43
2.33	ระบบ PLC 43
2.34	การตั้งค่าฮาร์ดแวร์ PLC B&R..... 43
2.35	แผนผังบล็อกสำหรับการควบคุมการไหลในโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบน้ำ 44
2.36	แผนผัง PID ฟังก์ชันแบบเรียงซ้อนที่ใช้ PLC 44
2.37	โหลด 10 MW – 20 MW เกตที่ 1 เปิดเหนือระดับเฉลี่ย เซ็ตพอยต์ 20 - 40 ม ³ /วินาที.... 47
2.38	โหลด 20 MW – 40 MW – เกต 2 เปิดที่ระดับกลาง ตั้งค่าจุด 40-60 m ³ /วินาที..... 47
3.1	แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 50
3.2	ไฟแสดงระดับน้ำในถังเก็บน้ำดีไอโอไนซ์..... 51
3.3	ปั๊มน้ำ DIW Distribution 52
3.4	สวิตช์สตาร์ทปั๊มน้ำ DIW Distribution 52
3.5	ถังกรอง และตู้ควบคุมการทำงานวาล์ว MIXED BED RESIN 53
3.6	วาล์วจ่ายน้ำกลับถึงน้ำดีไอโอไนซ์..... 53
3.7	ปั๊มน้ำ DIW Booster 53
3.8	สวิตช์สตาร์ทปั๊มน้ำ DIW Booster..... 54
3.9	สวิตช์การทำงานของหลอดไฟฆ่าเชื้อ..... 54
3.10	วาล์วด้านขาเข้าและออกของหลอดไฟฆ่าเชื้อ 54
3.11	วาล์วของระบบถังกรอง Final Filter..... 55
3.12	แสดงแผนผังกระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ 56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13	แสดงปริมาณการใช้น้ำน้ำดีไอออนไนซ์..... 56
3.14	การ PLC กับอุปกรณ์ควบการทำงานจากระบบจ่ายน้ำดีไอออนไนซ์ 60
3.15	ขั้นตอนการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอออนไนซ์ 63
3.16	แผนภาพการทำงานของถังเก็บน้ำดีไอออนไนซ์ 64
3.17	แผนภาพการทำงานของปั้มน้ำดีไอออนไนซ์..... 65
3.18	แผนภาพการทำงานของถังกรอง Mixed Bed Resin..... 66
3.19	แผนภาพการทำงานของถังกรอง Mixed Bed Resin..... 67
3.20	แผนภาพการทำงานของปั้มน้ำ DIW Booster 68
3.21	แผนภาพการทำงานของถังกรอง Final Filter..... 69
3.22	แผนภาพการทำงานของถังกรอง Final Filter..... 70
4.1	หน้าต่าง HOME บน HMI..... 72
4.2	คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมระดับน้ำ ของถังน้ำดีไอออนไนซ์..... 72
4.3	การกำหนดค่าควบคุมการทำงานของระบบน้ำดีไอออนไนซ์ บนหน้าจอควบคุม HMI 74
4.4	คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution..... 79
4.5	คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมการทำงานของถังกรอง Mixed Bed Resin 84
4.6	คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมการทำงานหลอดไฟฟ้าเชื้อ..... 87
4.7	คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Booster..... 90
4.8	คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมการทำงานของวาล์วถังกรอง Final Filter 94
4.9	ผลการทดสอบการควบคุมแบบ PID เพิ่มแรงดันน้ำเทียบกับแรงดันน้ำที่กำหนด 97
4.10	ผลการทดสอบการควบคุมแบบ PID ลดแรงดันน้ำเทียบกับแรงดันน้ำที่กำหนด..... 97
4.11	วาล์วควบคุมแรงดันน้ำโดยการปรับวาล์วขาเข้าของปั้มน้ำ DIW Booster..... 100
4.12	เนมเพลตปั้มน้ำ DIW Distribution 100
4.13	เนมเพลตปั้มน้ำ DIW Booster 101
4.14	วาล์วควบคุมแรงดันน้ำโดยการปรับวาล์วขาออกของปั้มน้ำ DIW Booster 102
4.15	แสดงอัตราการไหลของน้ำดีไอออนไนซ์..... 102

บทที่ 1

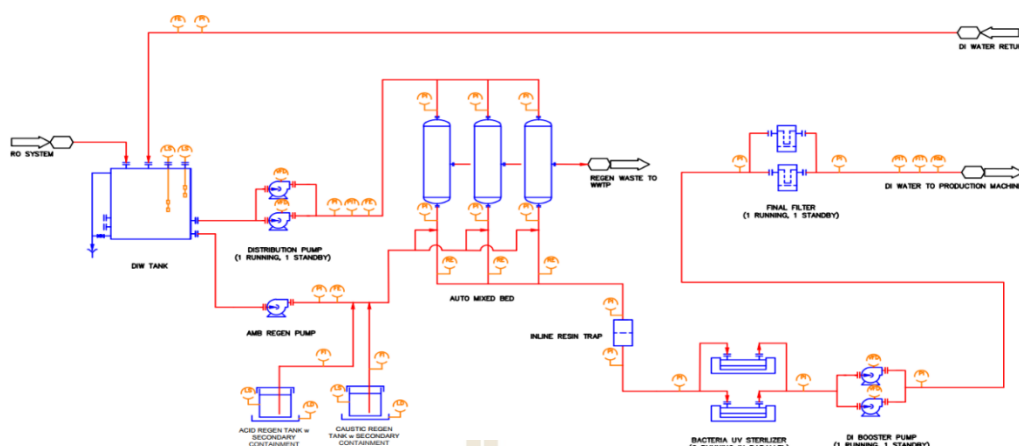
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำดีไอออนไนซ์ ย่อมาจาก Deionized Water คือ น้ำที่ผ่านการกำจัดไอออนต่าง ๆ ออกจากน้ำผ่านการกรอง โดยจะใช้เรซินเป็นตัวกรอง ทำให้น้ำไม่หลงเหลือไอออนอยู่ ช่วยให้สภาพของน้ำนั้นดีขึ้นและมีค่าความบริสุทธิ์ของน้ำสูง ในวงการอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ระบบน้ำดีไอออนไนซ์ (DEIONIZED WATER) ยังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เพราะมีค่าความบริสุทธิ์ของน้ำสูง จึงมีการนำน้ำดีไอออนไนซ์ (DEIONIZED WATER) มาใช้ในกระบวนการ

ปัจจุบันในโรงงานได้มีการนำน้ำดีไอออนไนซ์ (DEIONIZED WATER) มาใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นงาน และการควบคุมการจ่ายน้ำดีไอออนไนซ์ ของโรงงานควบคุมด้วยการปรับวาล์วแบบแมนนวล เพื่อควบคุมแรงดันน้ำ และอัตราการไหลของน้ำตามที่เครื่องจักรฝ่ายผลิตต้องการ ทำให้โรงงานมีการจ่ายน้ำดีไอออนไนซ์เกินความจำเป็น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหานี้เกิดขึ้น ผู้จัดทำจึงต้องการที่จะปรับปรุงกระบวนการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอออนไนซ์ มาเป็นกระบวนการอัตโนมัติ ซึ่งกระบวนการนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอออนไนซ์ได้ทันที

ดังนั้น วิทยานิพนธ์นี้จึงได้ศึกษา และออกแบบ ระบบควบคุมการจ่ายน้ำดีไอออนไนซ์ โดยอาศัยหลักการควบคุมแบบ PID ในการควบคุมมอเตอร์ปั๊ม, และวาล์วควบคุมน้ำกลับ และการควบคุมการทำงานของกระบวนการต่างๆในการจ่ายน้ำดีไอออนไนซ์ โดยประยุกต์ใช้ PLC (Programmable logic Control : PLC) และ HMI (Human Machine Interface :HMI) ในการควบคุมการจ่ายน้ำดีไอออนไนซ์ ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และลดค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำดีไอออนไนซ์



รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตน้ำดีไอโอไนซ์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความต้องการน้ำดีไอโอไนซ์ของเครื่องจักรฝ่ายผลิต
- 2) เพื่อมอนิเตอร์และควบคุมการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์อัตโนมัติ
- 3) เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำ และพลังงานของปั้มน้ำในระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์
- 4) เพื่อลดต้นทุนของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ออกแบบระบบควบคุมแรงดันของน้ำให้มีค่าคงที่ ตามความต้องการของเครื่องจักรฝ่ายผลิต
- 2) กรณีอุปกรณ์ในระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ มีการแจ้งเตือนการทำงานผิดปกติ ระบบสามารถแจ้งเตือนและ สตาร์ทการทำงานของเครื่องจักรสำรองได้ (Standby Unit)
- 3) ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำแบบ PID
- 4) ใช้ PLC ในการควบคุมการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์
- 5) การสั่งการ ป้อนข้อมูล และการแสดงผล แจ้งเตือนต่าง ๆ จะทำผ่านหน้าจอ HMI

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

- 1) ศึกษากระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ และเครื่องล้างชิ้นงาน
- 2) ศึกษาหลักการและงานวิจัยที่สนับสนุนการควบคุมระบบอัตโนมัติโดยใช้ PLC และ HMI
- 3) ออกแบบการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั้มน้ำเพื่อควบคุมแรงดันน้ำให้คงที่
- 4) ศึกษาและเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำวิจัยเพื่อใช้ในวิทยานิพนธ์

- 5) ศึกษาการเขียนโปรแกรม PLC และ HMI
- 6) ออกแบบวงจรระบบควบคุมการจ่ายน้ำดีไอเอสอัตโนมัติ
- 7) ทดสอบการทำงานของระบบควบคุมการจ่ายน้ำดีไอเอสอัตโนมัติ
- 8) วิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลลัพธ์
- 9) จัดทำเอกสาร และรายงานการวิจัย

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม/ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือนที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. กำหนดหัวข้อวิทยานิพนธ์											
2. ศึกษาวิทยานิพนธ์ที่มีคนทำไว้แล้ว											
3. กรอบแนวคิดวิทยานิพนธ์											
4. กำหนดขอบเขตของการศึกษาวิทยานิพนธ์											
5. เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัยเพื่อใช้ในวิทยานิพนธ์											
6. การสรุปและอภิปรายผลวิทยานิพนธ์											
7.เขียนรายงานวิทยานิพนธ์											
ปริมาณงานที่วางแผนไว้ (%)	5	5	5	10	10	10	10	10	15	15	5
ปริมาณงานที่งานที่ทำได้จริง (%)	5	5	5	10	10	10	10	10	15	15	5
งานสะสมที่วางแผนไว้ (%)	5	10	15	25	35	45	55	65	80	95	100
งานสะสมที่ทำได้จริง (%)	5	10	15	25	35	45	55	65	80	95	100

1.5 สถานที่ทำงานการวิจัย

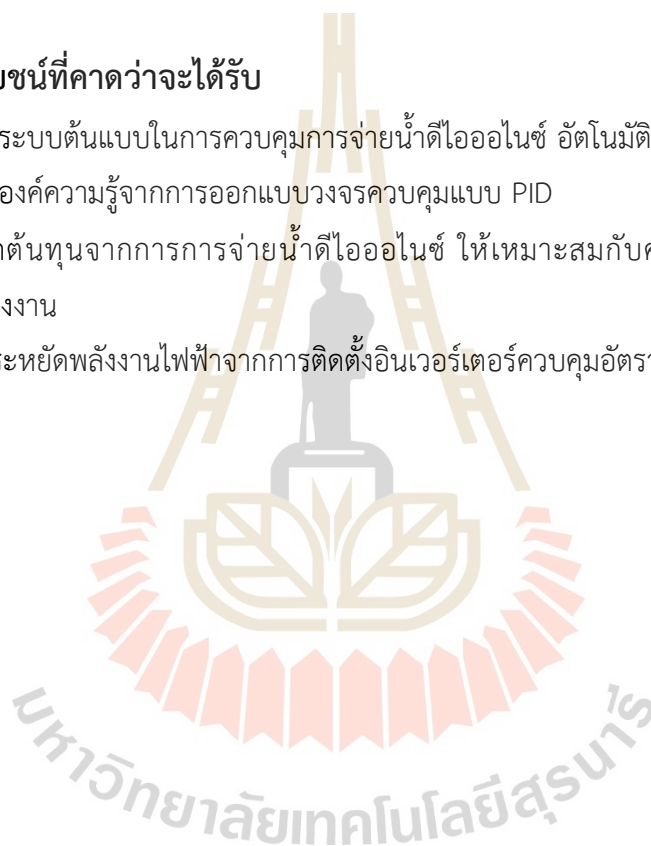
บริษัท เคียวเซร่า เอวีเอ็กซ์ คอมโพเนนส์ (กรุงเทพมหานคร) จำกัด

1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

- 1) คอมพิวเตอร์
- 2) โปรแกรม GX works3
- 3) โปรแกรม GT designer3

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ระบบต้นแบบในการควบคุมการจ่ายน้ำดีไอออนซ์ อัตโนมัติ
- 2) ได้องค์ความรู้จากการออกแบบวงจรควบคุมแบบ PID
- 3) ลดต้นทุนจากการการจ่ายน้ำดีไอออนซ์ ให้เหมาะสมกับความต้องการของเครื่อง
ล้างงาน
- 4) ประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมอัตราการไหลน้ำดีไอออนซ์



บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

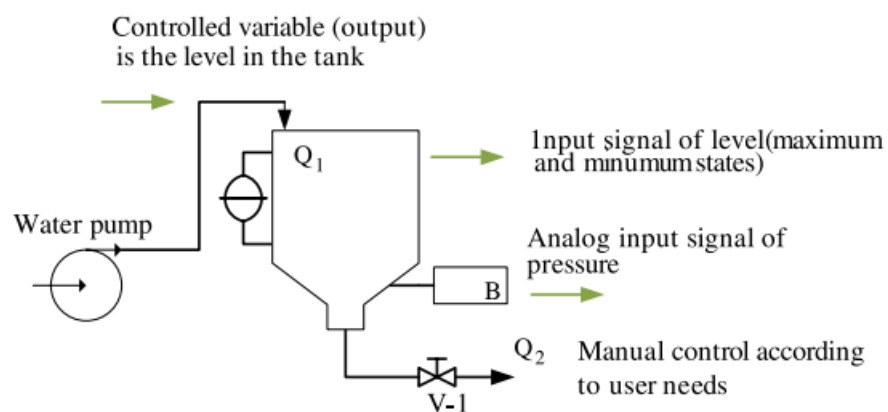
2.1 บทนำ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบควบคุมอัตโนมัติของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ ที่ใช้ PLC และ หน้าจอแสดงผล HMI ในการควบคุมการทำงาน โดยการสืบค้นข้อมูลที่ได้จากอดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบ กรองน้ำดีไอโอไนซ์ พบอยู่ในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรม ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เพราะจำเป็นต้องเน้นในด้าน คุณภาพน้ำและการกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำ ก่อนนำไปล้างชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ โดยค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ(Electrical Conductivity; EC) น้อยกว่า 1 ไมโครซีเมนส์ จำเป็นต้องมี กระบวนการควบคุมการจ่ายน้ำที่เหมาะสมเพราะหากนำน้ำที่มีค่าความนำไฟฟ้าสูงกว่าที่กำหนด หรือ จ่ายน้ำมากเกินไปเข้ามาใช้ในเครื่องจักรของฝ่ายผลิต อาจส่งผล ทำให้ลดประสิทธิภาพของการล้างชิ้นงานและ ส่งผลเสียต่อการใช้งานใน เครื่องจักรได้ อีกทั้งงานวิจัยยังแสดงให้เห็นว่าระบบ PLC ยังเป็นที่นิยมและทันสมัยในการนำไปใช้ ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือกระบวนการทำงานต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม เช่น ควบคุมงานที่ ทำตามลำดับก่อนหลังงานในด้านการคำนวณ หรือรับคำสั่งสัญญาณแบบอนาล็อกเพื่อเป็นเงื่อนไขใน การทำงานได้อย่างอัตโนมัติ โดยจะมีส่วนที่เป็นอินพุตและเอาต์พุต ที่สามารถต่อออกไปใช้งานได้ทันที แต่ PLC มีความยากที่จะตรวจสอบสถานะการทำงานและค่าพารามิเตอร์จากเครื่องวัดในระบบ จึง จำเป็นต้องมีการใช้งานร่วมกับ HMI เพื่อมาเป็นตัวติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกับอุปกรณ์ควบคุม ภายในระบบ เช่น การสั่งการ หรือ การตั้งค่าพารามิเตอร์จากผู้ใช้งาน การตรวจสอบสถานะการทำงานของ PLC และ กระบวนการทำงานได้แบบ real time ในส่วนนี้จึงนำเสนอการสำรวจวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปทฤษฎี หลักการ และวิธีการดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ รวมถึง อธิบายสาระสำคัญที่ได้จากการวิจัยในแต่ละบทความตามที่คุณวิจัยได้รวบรวมไว้ โดยใช้ฐานข้อมูลที่ เป็นแหล่งสะสมงานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี เช่น ฐานข้อมูล IEEE Science Direct หนังสือ และ เว็บไซต์ Google เป็นต้น โดยผู้วิจัยได้มีการสรุป บทความที่ได้ศึกษามาเกี่ยวกับงานโดยแยกออกเป็น ส่วน คือ ส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำ และส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมอัตโนมัติด้วย PLC ที่ใช้งานร่วมกับ Human Machine Interface (HMI) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

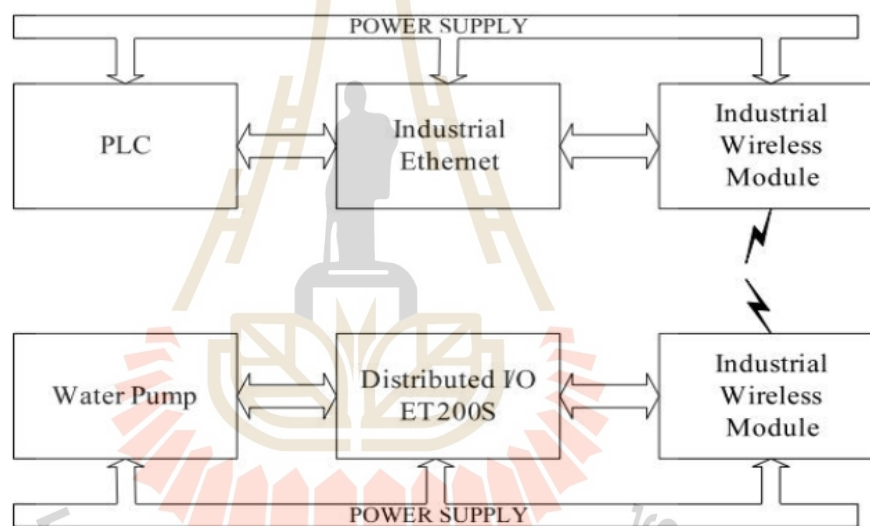
2.2 ระบบควบคุมปั้มน้ำด้วย PLC และโมดูลไร้สายสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

บทความนี้บรรยายถึงระบบควบคุมการปั้มน้ำที่ออกแบบมาสำหรับโรงงานผลิตและนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการ โรงงานเหล่านี้มีสภาพแวดล้อมที่รุนแรงซึ่งมีสารเคมี การสั่นสะเทือน หรือชิ้นส่วนเคลื่อนไหวยู่ ซึ่งอาจสร้างความเสียหายให้กับสายเคเบิลหรือสายไฟที่เป็นส่วนหนึ่งของระบบควบคุมได้ นอกจากนี้ ข้อมูลยังต้องถูกถ่ายโอนผ่านเส้นทางที่สาธารณชนสามารถเข้าถึงได้ ระบบควบคุมที่ใช้ได้แก่ ตัวควบคุมลอจิกที่ตั้งโปรแกรมได้ (PLC) และเทคโนโลยีเครือข่ายพื้นที่ไร้สายอุตสาหกรรม (IWLAN) โดยระบบควบคุมนี้ใช้ PLC โปรเซสเซอร์การสื่อสาร (CP) โมดูล IWLAN สองโมดูล และโมดูลอินพุต/เอาต์พุตแบบกระจาย (I/O) รวมถึงปั้มน้ำและเซ็นเซอร์ ระบบการสื่อสารของเราใช้อินเทอร์เน็ตอุตสาหกรรมและใช้โปรโตคอลควบคุมการขนส่ง/อินเทอร์เน็ตมาตรฐานสำหรับการกำหนดพารามิเตอร์ การกำหนดค่า และการวินิจฉัย หน้าที่หลักของ PLC คือการส่งสัญญาณดิจิทัลไปยังปั้มน้ำเพื่อเปิดหรือปิดเครื่องตามระดับของถัง โดยใช้เครื่องส่งสัญญาณแรงดันและอินพุตจากสวิตช์จำกัดที่ระดับน้ำในถัง เอกสารนี้มุ่งหวังที่จะนำเสนอโซลูชันที่สะดวกสำหรับโรงงานกระบวนการที่ไม่สามารถใช้สายเคเบิลได้ นอกจากนี้ยังมีต้นทุนการติดตั้งและบำรุงรักษาที่ต่ำกว่า การทำงานที่เชื่อถือได้ และมีโครงสร้างที่แข็งแรงและยืดหยุ่น เหมาะสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรม

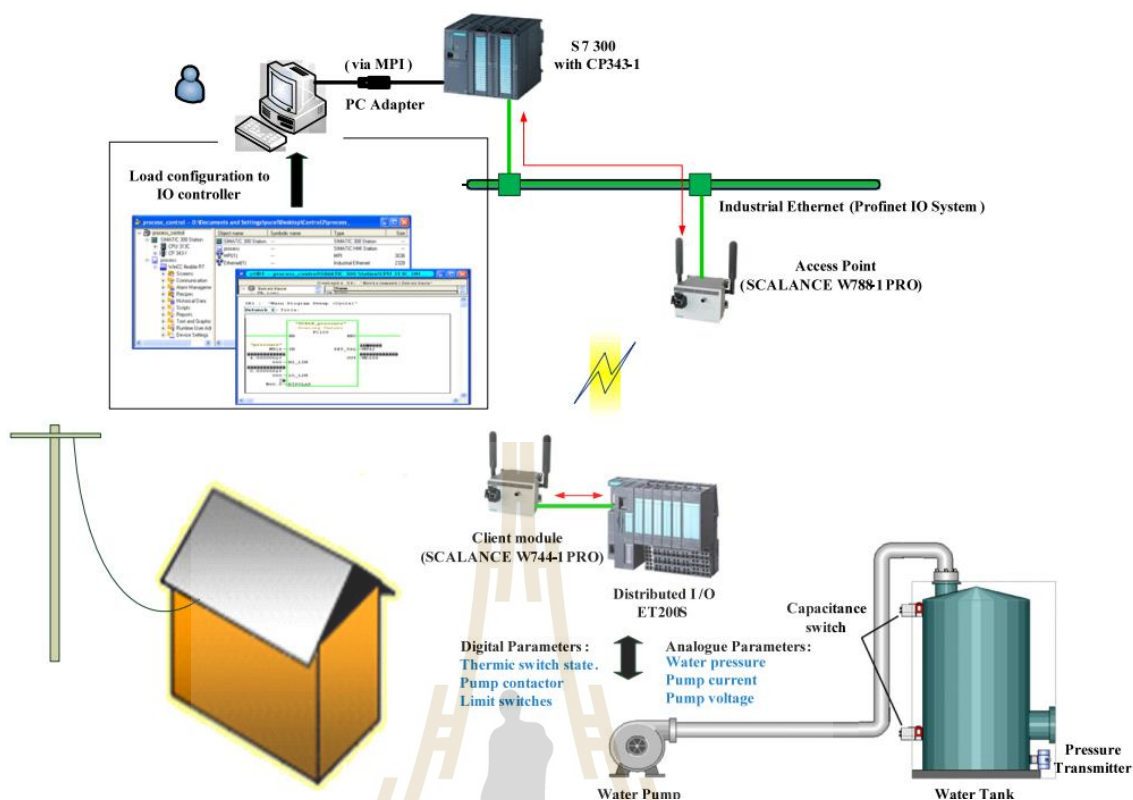
การออกแบบระบบดำเนินการโดยคำนึงถึงสภาพแวดล้อมและรายละเอียดของกระบวนการ รูปที่ 2.1 เป็นภาพประกอบของกระบวนการที่ควบคุม ในกระบวนการนี้ ตัวแปรกระบวนการ (PV) คือระดับน้ำในถัง วัดโดยเครื่องส่งสัญญาณความดันและสวิตช์จำกัดสองตัว (ระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด) บนถัง และค่าเหล่านี้เป็นค่าที่ป้อนเข้าสู่ตัวควบคุมอัตโนมัติที่กระตุ้นปั้มน้ำตามระดับน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ถังเปิดได้รับน้ำไหลเข้า Q1 จากปั้มน้ำที่สามารถควบคุมได้ น้ำไหลออกจากถัง Q2 จะถูกควบคุมโดยวาล์วควบคุมด้วยมือตามความต้องการของผู้ใช้ ระดับน้ำในถังจะถูกควบคุมตามความดันและอินพุตไปยังตัวควบคุมจากสวิตช์จำกัดสองตัว ดังนั้น โหมดควบคุมกระบวนการจึงเป็นแบบเปิด-ปิด ซึ่งเป็นรูปแบบการควบคุมแบบไม่ต่อเนื่อง และเรียกอีกอย่างว่าการควบคุมสองตำแหน่ง ในกระบวนการนี้ ตัวควบคุมการเปิด-ปิดจะเปิดขึ้นเมื่อระดับน้ำถูกวัดที่ค่าต่ำสุด ตัวควบคุมจะปิดลงเมื่อระดับน้ำถึงค่าสูงสุด แผนผังบล็อกระบบซึ่งออกแบบตามสภาวะแวดล้อมและการควบคุมกระบวนการที่ต้องการ จะแสดงอยู่ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุม



รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมปั้มน้ำ

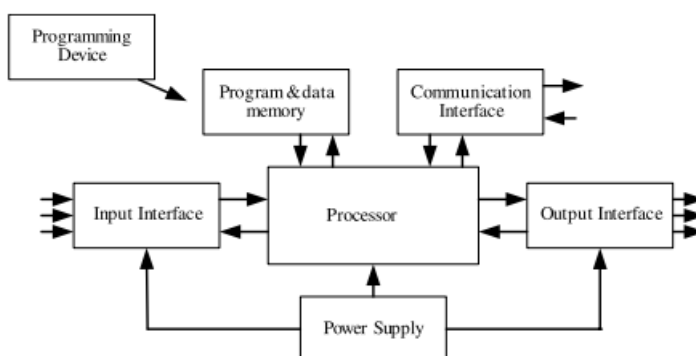


รูปที่ 2.3 แผนผังองค์ประกอบของระบบ

จากรูปที่ 2.3 ระบบทั้งหมดประกอบด้วย 3 ส่วน หน่วยแรกคือพีซี พีซีจะเรียกใช้โปรแกรมที่เรียกว่า SIMATIC MANAGER ซึ่งใช้ในการกำหนดค่าฮาร์ดแวร์ แพ็คเกจซอฟต์แวร์ (ขั้นตอนที่ 7) ตามที่แสดงในรูปที่ 2.2 และเขียนโปรแกรมควบคุมสำหรับ PLC โปรแกรมควบคุมนี้จะดาวน์โหลดไปยัง PLC ผ่านสายเคเบิลสื่อสารอะแดปเตอร์พีซี MPI (Multi Point Interface)

หน่วยที่สองคือโหนดหลักและประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ PLC ที่มีโมดูลดิจิทัลและอนาล็อก ตัวประมวลผลการสื่อสาร และจุดเชื่อมต่อไร้สาย หน่วยสุดท้ายอยู่ที่ด้านโหนดไคลเอนต์ หน่วยนี้อยู่ที่ส่วนนอกของศูนย์ควบคุมและเชื่อมต่อโดยตรงกับอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุม โมดูลไคลเอนต์ไร้สาย โมดูลอินเทอร์เฟซ I/O แบบกระจาย และแพ็คเกจป้องกันมอเตอร์ (MPP) ประกอบเป็นโหนดไคลเอนต์

Programmable Logic Controller (PLC) โดยทั่วไป ส่วนประกอบการทำงานพื้นฐานของระบบ PLC ได้แก่ หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ หน่วยจ่ายไฟ ส่วนอินเทอร์เฟซอินพุต/เอาต์พุต อินเทอร์เฟซการสื่อสาร และอุปกรณ์การเขียนโปรแกรม รูปที่ 2.4 แสดงการจัดเรียงพื้นฐาน



รูปที่ 2.4 โครงสร้างพื้นฐานของ PLC

1) หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) คือหน่วยที่ประกอบด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่แปลสัญญาณอินพุตและดำเนินการควบคุมตามโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ โดยจะสื่อสารการตัดสินใจเป็นสัญญาณการทำงานไปยังเอาต์พุต

2) จำเป็นต้องมีหน่วยจ่ายไฟเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหลักเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่ำที่จำเป็นสำหรับโปรเซสเซอร์และวงจรในไมโครอินเทอร์เฟซอินพุตและเอาต์พุต

3) อุปกรณ์การเขียนโปรแกรมใช้เพื่อป้อนโปรแกรมที่ต้องการลงในหน่วยความจำของโปรเซสเซอร์ โปรแกรมจะได้รับการพัฒนาในอุปกรณ์แล้วจึงโอนไปยังหน่วยความจำของ PLC

4) หน่วยความจำเป็นที่เก็บโปรแกรมสำหรับไมโครโปรเซสเซอร์ นอกจากนี้ยังเก็บข้อมูลอินพุตสำหรับการประมวลผลและบัฟเฟอร์ข้อมูลสำหรับเอาต์พุตอีกด้วย

5) ส่วนอินพุตและเอาต์พุตเป็นส่วนที่โปรเซสเซอร์รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกและสื่อสารข้อมูลไปยังอุปกรณ์ภายนอก อินพุตอาจมาจากสวิตช์หรือเซ็นเซอร์ เช่น เซลล์โฟโตอิเล็กทริก เซ็นเซอร์อุณหภูมิ หรือเซ็นเซอร์การไหล เอาต์พุตอาจเชื่อมต่อกับคอยล์สตาร์ทมอเตอร์ วาล์วโซลินอยด์ หรือแอคชูเอเตอร์อื่นๆ อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตสามารถจำแนกตามประเภทสัญญาณ เช่น ดิจิทัลหรือแอนะล็อก

6) อินเทอร์เฟซการสื่อสารใช้เพื่อรับและส่งข้อมูลบนเครือข่ายการสื่อสาร จัดการการตรวจสอบอุปกรณ์ การรวบรวมข้อมูล การซิงโครไนซ์ระหว่างแอปพลิเคชันของผู้ใช้ และการจัดการการเชื่อมต่อ

ในการศึกษาครั้งนี้ เราใช้ PLC แบบกะทัดรัด Siemens S7 313C ที่มี DI (อินพุตดิจิทัล) 24 ตัว DO (เอาต์พุตดิจิทัล) 16 ตัว ALS (อินพุตแอนะล็อก) 5 ตัว AO (เอาต์พุตแอนะล็อก) 2 ตัว และแหล่งจ่ายไฟ (120/230 V AC, 24 V DC, 5 A)

1) โปรเซสเซอร์การสื่อสาร โมดูลอีเทอร์เน็ตของระบบ PLC คือ โปรเซสเซอร์การสื่อสารสำหรับตระกูล S7 ที่เชื่อมต่อ PLC เข้ากับเครือข่าย โปรเซสเซอร์การสื่อสารเพิ่มเติมใช้เพื่อให้สามารถสื่อสารระหว่าง PLC และ IWLAN ผ่าน TCP/IP ได้ โปรเซสเซอร์การสื่อสาร CP343-1 ในงานของเราได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้งานในคอนโทรลเลอร์ลอจิกแบบตั้งโปรแกรมได้ S7-300 ช่วยให้ S7-300 สามารถเชื่อมต่อกับอีเทอร์เน็ตอุตสาหกรรมได้ และรองรับ PROFINET IO

2) โมดูล IWLAN เครือข่ายไร้สายช่วยแก้ปัญหาอุปสรรคทางกายภาพที่เกิดขึ้นจากการเดินสาย ลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง เพิ่มความยืดหยุ่นในการกำหนดค่าระบบใหม่ และเร่งความเร็วในการใช้งานเครือข่าย [7] LAN ไร้สายสำหรับอุตสาหกรรมเป็นคำทั่วไปที่ครอบคลุมฟังก์ชันและกลไกที่ถือเป็นการปรับปรุงมาตรฐาน IEEE 802.11 แม้แต่กลไกมาตรฐานของ 802.11 ก็ยังมีความทนทานในระดับที่ดีสำหรับการใช้งานในแอปพลิเคชันอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม IWLAN ยังรองรับแอปพลิเคชันที่ต้องการความแม่นยำสูงและให้กำหนดตารางเวลาแบบเรียลไทม์และแบบกำหนดได้อย่างชัดเจนเป็นพิเศษตามที่จำเป็นใน PROFINET

3) ในการศึกษาครั้งนี้ เครือข่าย IWLAN ถูกสร้างขึ้นโดยใช้ส่วนประกอบรุ่นใหม่ SCALANCE W จาก Siemens เครือข่ายวิทยุถูกตั้งค่าโดยใช้จุดเชื่อมต่อ SCALANCE W788-1 PRO และใช้โมดูลโคลเอนต์อีเทอร์เน็ต W744-1 PRO เพื่อเชื่อมต่อโหนดกับ IWLAN

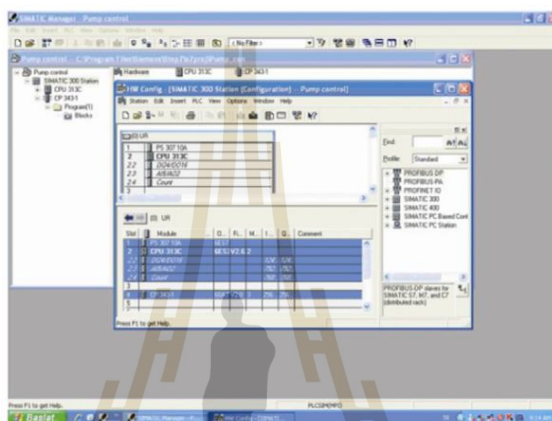
4) โมดูล I/O แบบกระจาย เมื่อกำหนดค่าระบบแล้ว I/O ที่ส่งไปและจากกระบวนการมักจะถูกรวมเข้าไว้ในระบบอัตโนมัติที่ศูนย์กลาง ระบบ I/O แบบกระจาย ET 200S เป็นโมดูลาร์แบบแยกส่วน DP Slavesที่มีความยืดหยุ่นสูงสำหรับการเชื่อมต่อกับสัญญาณกระบวนการบนตัวควบคุมส่วนกลางหรือบัสฟิลด์ ET 200S รองรับบัสฟิลด์ประเภท PROFIBUS DP และ PROFINET IO การศึกษาครั้งนี้ใช้มาตรฐาน ET200S-IM151-3PN พร้อม DI 4 ตัว DO 2 ตัว ALS 4 ตัว และโมดูลพลังงาน 24 V 2 ตัวสำหรับบัส PROFINET IO

5) ชุดป้องกันมอเตอร์ ชุดป้องกันมอเตอร์ประกอบด้วยคอนแทคเตอร์แบบคลาสสิก สวิตช์เทอร์มิก ตัวแปลงวัดกระแส (CMT) และตัวแปลงวัดแรงดันไฟ (VMT) CMT ใช้สำหรับวัดกระแสสลับแบบไซน์และไม่ใช่ไซน์ กระแสอินพุต 0 ถึง 100 A และเอาต์พุตแบบลูปพาวเวอร์ 4 ถึง 20 mA VMT ใช้สำหรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตั้งแต่ 0.20 ถึง 0.440 V และสัญญาณเอาต์พุต 0.10 V/(4).20 mA

ซอฟต์แวร์สำหรับระบบควบคุมได้รับการพัฒนาใน SIMATIC Manager ซึ่งเป็นหน้าต่างส่วนกลางที่จะเปิดใช้งานเมื่อเริ่มต้นแพ็คเกจซอฟต์แวร์ (STEP 7) การตั้งค่าเริ่มต้นของตัวช่วยสร้าง STEP 7 จะช่วยให้โปรแกรมเมอร์สามารถสร้างโครงการ STEP 7 ได้ โปรแกรมเมอร์สามารถเลือกโหมดการเขียนโปรแกรมได้ ดังนี้ ไดอะแกรมแบบแลตเตอร์ (LAD) ไดอะแกรมบล็อกฟังก์ชัน (FBD)

และรายการคำสั่ง (STL) โครงสร้างโครงการใช้เพื่อจัดเก็บและจัดเรียงข้อมูลและโปรแกรมทั้งหมดตามลำดับ

ซอฟต์แวร์ระบบเสร็จสมบูรณ์ในสี่ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบโซลูชันสำหรับงานอัตโนมัติ ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าฮาร์ดแวร์และเครือข่าย ดังที่แสดงในรูปที่ 2.5 ขั้นตอนที่ 3 สร้างโปรแกรมในรูปแบบไดอะแกรมแบบแลตเตอร์ ขั้นตอนที่ 4 โอนโปรแกรมไปยังซีพียู ในที่สุด ซอฟต์แวร์จะได้รับ การทดสอบสถานะอินพุต การทำงานของโปรแกรม และสถานะเอาต์พุต



รูปที่ 2.5 การกำหนดค่าฮาร์ดแวร์ใน SIMATIC Manager

ระบบควบคุมการสูบน้ำนี้ได้รับการออกแบบให้เป็นตัวควบคุมเปิด-ปิด โดยควบคุมด้วยโปรแกรมที่เก็บไว้ใน PLC การส่งข้อมูลเพื่อควบคุมปั้มน้ำนั้นดำเนินการโดย PLC และ I/O แบบกระจายผ่านโมดูล IWLAN ดังแสดงในรูปที่ 2.6 I/O แบบกระจายเชื่อมต่อกับ CPU SIMATIC ผ่านเครือข่ายไร้สาย IWLAN จุดเชื่อมต่อ Scalance W788-1 PRO ที่เชื่อมต่อกับ CPU SIMATIC ผ่านโมดูลอีเทอร์เน็ตผ่าน PROFINET ให้บริการเซลล์ ในด้านไคลเอนต์ จะใช้โมดูลไคลเอนต์ Scalance W744-1 PRO และ I/O แบบกระจาย ET 200 S ดาวนสตรีมจาก IWLAN แต่ละอันคือ I/O แบบกระจาย ET 200 S ที่มี DI 4 ตัว DO 2 ตัว และ ALS 4 ตัว ซึ่งมาพร้อมกับ PROFINET เวลาของรอบการทำงาน (โหนดที่เกิดจากโปรแกรม) ถูกกำหนดไว้ที่ 50 มิลลิวินาที ซึ่งส่งผลให้เวลาตอบสนองโดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 140 มิลลิวินาทีที่เวลาอัปเดต 32 มิลลิวินาที

การสื่อสารของระบบประกอบด้วยส่วนหลักสามส่วน ได้แก่ ฟังก์ชัน โหนดการเข้าถึง และฟังก์ชันไคลเอนต์ ฟังก์ชันเชื่อมต่อกับโหนดหลักผ่านอินเทอร์เฟซ MPI การสื่อสารระหว่างโหนดการเข้าถึงและโหนดไคลเอนต์จะสร้างขึ้นผ่าน RF ในมาตรฐาน IEEE 802.11 สำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรม การสื่อสาร RF ดำเนินการโดยใช้โมดูล IWLAN ที่ทำงานบนมาตรฐาน 802.11b/g และ 802.11a ด้วยความเร็วสูงสุด 54 Mbps และความถี่ 2.5 GHz

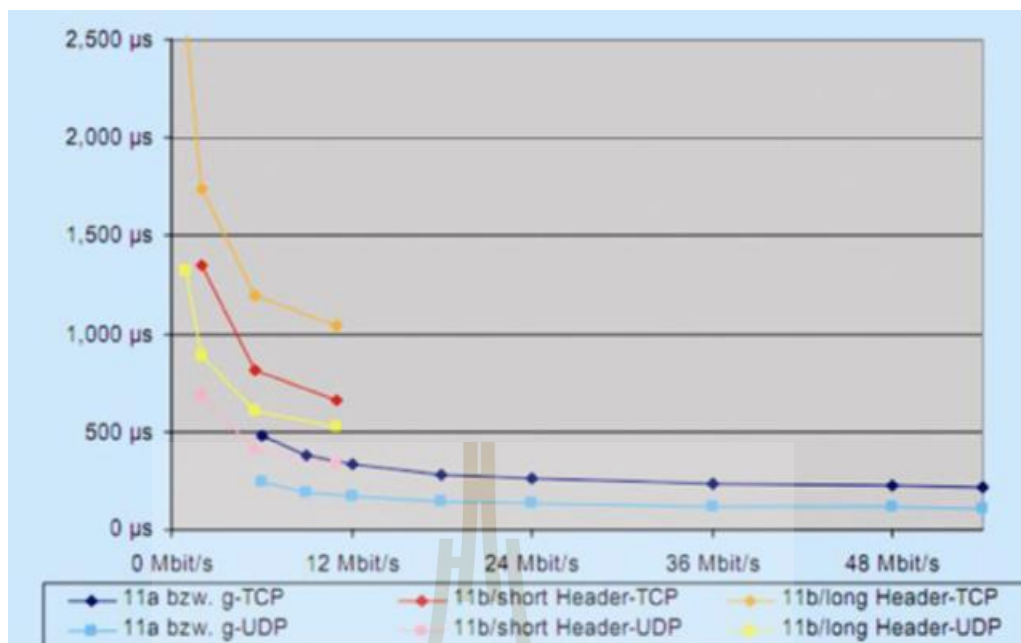
รูปที่ 2.7 แสดงเวลาดำเนินการขั้นต่ำสำหรับข้อมูล 32 ไบต์บนมาตรฐาน 802.11a/b/g เวลาดำเนินการขั้นต่ำสำหรับแพ็คเกจขนาดเล็กในเครือข่าย LAN ไร้สายอยู่ระหว่าง 120 μ s โดยใช้ 802.11a หรือ 802.11g โดยแต่ละแพ็คเกจมีความเร็ว 54 Mbit/s และมากกว่า 1,000 μ s โดยใช้ 802.11b ความต้องการของระบบอุตสาหกรรมจำนวนมากสามารถจัดทำได้โดยส่วนประกอบเครือข่าย LAN ไร้สายเหล่านี้

โหนดไคลเอนต์ดังที่แสดงในรูปที่ 2.6 เชื่อมต่อโดยตรงกับอุปกรณ์ที่จะควบคุมโดยใช้ส่วนประกอบคำสั่งทั่วไป

การสื่อสารจะถูกสร้างขึ้นผ่านบัสฟิลด์ PROFINET ในระหว่างส่วนการกำหนดค่าเครือข่ายของแพ็คเกจซอฟต์แวร์ (ขั้นตอนที่ 7) PROFINET ช่วยให้สามารถรวมอุปกรณ์ฟิลด์แบบกระจาย (อุปกรณ์ I/O เช่น โมดูลสัญญาณ) เข้ากับอินเทอร์เน็ตอุตสาหกรรมได้โดยตรง ในระหว่างการกำหนดค่าด้วยขั้นตอนที่ 7 อุปกรณ์ฟิลด์เหล่านี้จะได้รับมอบหมายให้กับตัวควบคุมส่วนกลาง (ตัวควบคุม I/O) โมดูลหรืออุปกรณ์ที่มีอยู่สามารถใช้กับอินเทอร์เน็ตหรือลิงก์ที่เข้ากันได้กับ PROFINET ต่อไปได้ PROFINET นำเสนอฟังก์ชันและแอปพลิเคชันใหม่สำหรับการสื่อสารไร้สายกับ LAN ไร้สายอุตสาหกรรม ฟังก์ชันที่นำมาใช้ที่นี่นั้นอิงตามเครือข่าย PROFINET ผ่าน LAN ไร้สาย [6] ฟังก์ชันต่อไปนี้มีไว้สำหรับการรับส่งข้อมูลระหว่างโปรแกรมผู้ใช้ของ CPU S7-300 และอุปกรณ์ PROFINET IO ผ่าน CP เป็นตัวควบคุม PROFINET IO ดังที่แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.6 ภาพถ่ายของระบบที่ได้รับการออกแบบ



รูปที่ 2.7 เวลาดำเนินการขั้นต่ำสำหรับข้อมูล 32 ไบต์

1) PNIO_SEND (เฟรซี 11)

2) PNIO_RECV (เฟรซี 12)

นอกจากนี้ ยังมีบล็อกฟังก์ชันต่อไปสำหรับการวินิจฉัย:

1) PNIO_RW_REC (FB 52) (ไม่ได้ใช้ในแอปพลิเคชันนี้)

2) PNIO_ALARM (FB 54) (ไม่ได้ใช้ในแอปพลิเคชันนี้)

บล็อกดังกล่าวรวมอยู่ในไลบรารี SIMATIC_NET_CP

FC บล็อก 11 (PNIO_SEND) ใช้สำหรับถ่ายโอนข้อมูลกระบวนการและถูกเรียกใช้แบบวนซ้ำในโปรแกรมผู้ใช้ ข้อมูลกระบวนการจะพร้อมใช้งานในหน่วยความจำซึ่งเข้าถึงได้ในรูปแบบบล็อกข้อมูล FC11 ถ่ายโอนข้อมูลกระบวนการเหล่านี้ (เอาต์พุต) ไปยัง CP เพื่อส่งต่อไปยังอุปกรณ์ PROFINET IO FC บล็อก 12 (PNIO_RECV) ใช้สำหรับรับข้อมูลกระบวนการจากอุปกรณ์ PROFINET IO (อินพุตของตัวควบคุม) และถ่ายโอนสถานะผู้ให้บริการ IO (IOPS) จากอุปกรณ์ PROFINET IO ไปยังพื้นที่อินพุตที่ระบุ

อุปกรณ์สูบน้ำอาจเป็นส่วนสำคัญของระบบการผลิตและการผลิตทางอุตสาหกรรมสมัยใหม่สำหรับสารเคมี อาหาร และอุตสาหกรรมอื่นๆ ระบบการสูบน้ำโดยปกติจะอยู่ในส่วนภายนอกของโรงงานผลิตและพบในสภาพแวดล้อมที่รุนแรงซึ่งอาจทำให้สายเคเบิลทุกชนิดได้รับความเสียหาย ดังนั้น ระบบนี้จึงได้รับการออกแบบให้เป็นแบบไร้สายโดยใช้โมดูล IWLAN สำหรับการสื่อสารและ PLC สำหรับการควบคุม

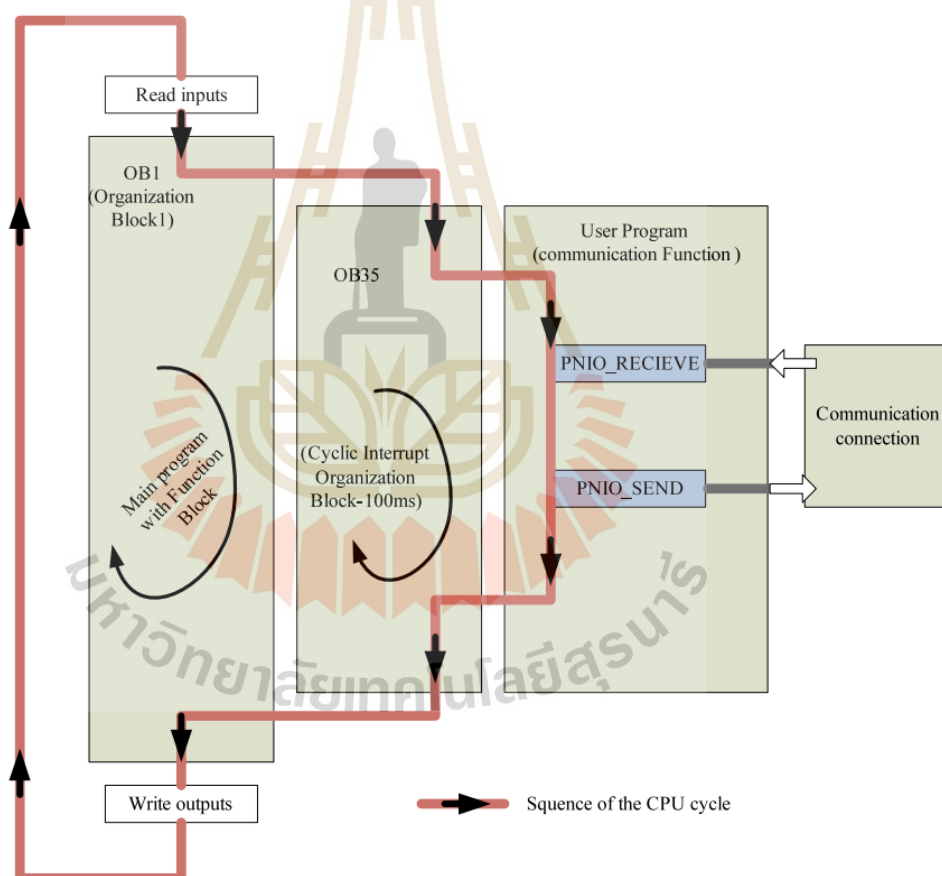
ในกรณีที่มีการจ่ายน้ำให้กับพืชจำนวนหนึ่งจากปั๊มชุดเดียว แผนที่มีประสิทธิภาพมากคือการใช้ท่อส่งน้ำแบบวงแหวน ซึ่งจะจ่ายน้ำไปยังท่อส่งน้ำทั้งหมด ระบบควบคุมสำหรับระบบเหล่านี้ทำงานโดยการตรวจสอบระดับน้ำ ในการศึกษาี้ ระดับน้ำจะถูกวัดโดยเครื่องส่งสัญญาณแรงดัน และเพื่อป้องกันอันตรายด้วยสวิทช์จำกัดค่าสูงสุดและต่ำสุด

การวัดระดับโดยใช้วิธีความดัน: ความสูงของของเหลวจะแปรผันตรงกับความดันบนฐาน หากใช้ความดันฐานของสูตรของเหลว

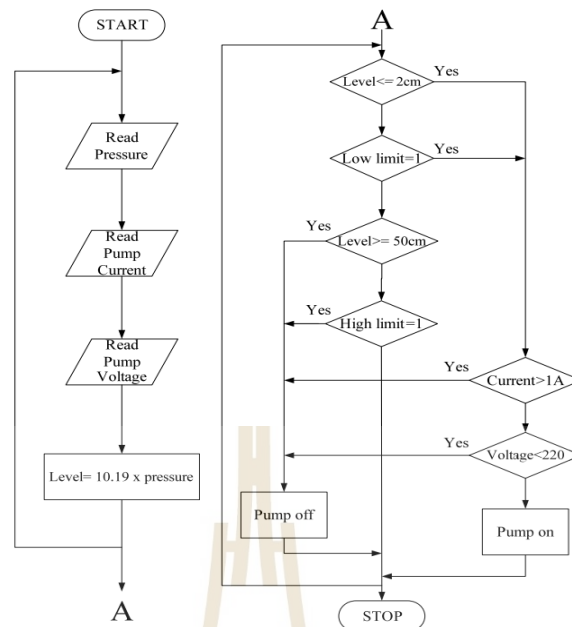
$$P = d * g * h$$

$$d_{\text{water}} = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ (constant value).}$$

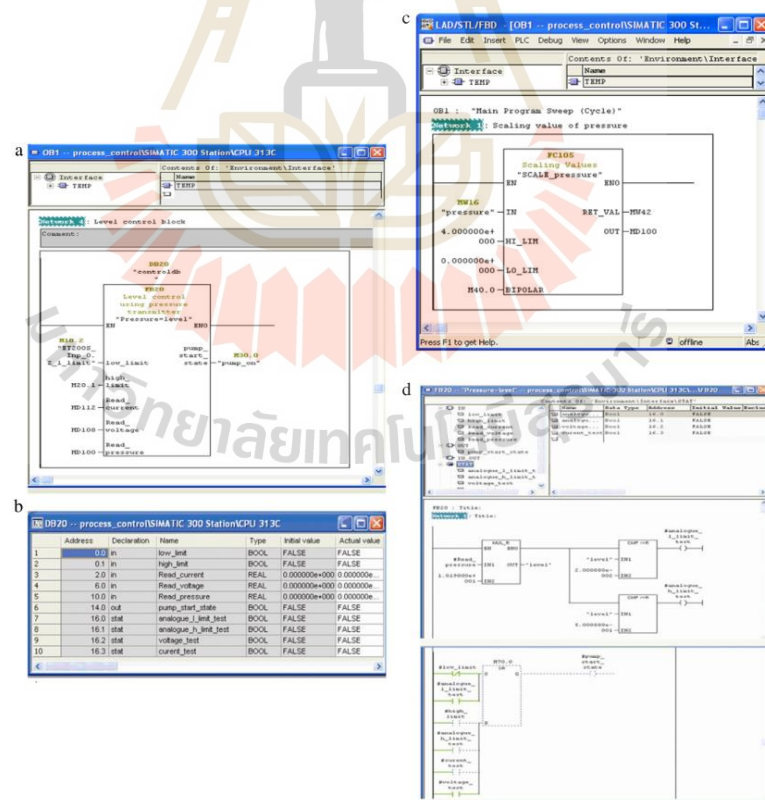
$$g = 9.81 \text{ N/kg (constant value).}$$



รูปที่ 2.8 ลำดับทั่วไปของการเรียก FC11 และ FC12 ในรอบ CPU



รูปที่ 2.9 แผนผังขั้นตอนการควบคุมปั๊ม



รูปที่ 2.10 โครงสร้างโปรแกรมของระบบ: (a) บล็อกทรง; (b) ตัวแปรบล็อกข้อมูล; (c) บล็อกการปรับขนาดความดัน; (d) มุมมอง LAD ของบล็อกฟังก์ชันการควบคุมปั๊ม

โดยที่ d คือ ความหนาแน่นของของเหลว ซึ่งเป็นค่าคงที่ตามของเหลวที่ใช้ g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

$$P = 1000 \times 9.81 \times h \text{ N/m}^2 \text{ (1 ปาสกาล = 105 บาร์)} \rightarrow (2)$$

การใช้สูตรข้างต้นสามารถหาค่าตามที่รายงานในตารางที่ 2 ได้

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและแรงดัน

Level (m)	Pressure (bar)
0.10	0.00981
0.20	0.01962
0.50	0.04905
1.00	0.09810
1.20	0.11772
1.50	0.14715
2.00	0.19620
2.50	0.24525

ซอฟต์แวร์ SIMATIC Step 7 V5.4 ถูกนำมาใช้ในการเขียนโปรแกรมระบบ หลังจากสร้างผังงานการดำเนินการตามที่แสดงในรูปที่ 2.9 แล้ว โครงสร้างโปรแกรมของระบบจะถูกสร้างขึ้นโดยมีบล็อกฟังก์ชัน บล็อกฟังก์ชัน และบล็อกข้อมูล จากนั้นจึงเรียกบล็อกฟังก์ชันตามที่แสดงในรูปที่ 2.10a พร้อมบล็อกข้อมูลตามที่แสดงในรูปที่ 2.10b ซึ่งได้รับการเขียนโปรแกรมในลำดับขั้น บล็อกฟังก์ชันแอปพลิเคชันประกอบด้วยการประมวลผลสัญญาณที่เกี่ยวข้องกับแอปพลิเคชัน เช่น การปรับขนาด การตรวจจับสัญญาณเตือน หรือการควบคุม และการคำนวณ [41] ชื่อสัญลักษณ์จะระบุไว้ในตารางสัญลักษณ์ (ตัวอย่างเช่น Pressure = level และ control db) เพื่อปรับขนาดค่าของบล็อกแปลงแรงดัน กระแส และแรงดันไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 10c ซึ่งใช้จากไลบรารีมาตรฐานในขั้นตอนที่ 7 รูปที่ 2.10d แสดงมุมมอง LAD ของโปรแกรมระบบ โปรแกรมระบบได้รับการกำหนดค่าให้เปิดปั๊มเมื่อระดับน้ำลดลงและปิดเมื่อถึงเต็ม เมื่อถึงเต็ม ระบบควบคุมจะส่งสัญญาณให้ปั๊มปิดผ่านโมดูล IWLAN แบบไร้สาย ซึ่งจะปิดเหนือระดับการเติมสูงสุด เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำล้น ระบบปั๊มทำงานดังต่อไปนี้ น้ำไหลออกจากถังจะผ่านวาล์วควบคุมด้วยมือซึ่งควบคุมโดยผู้ใช้ เมื่อระดับน้ำกระตุ้นสวิทช์จำกัดระดับต่ำ หน้าสัมผัสจะปิดลง และเครื่องส่งสัญญาณจะส่งสัญญาณดิจิทัล และเครื่องส่งสัญญาณแรงดัน VMT และ CMT จะส่งสัญญาณ 4-20 mA ไปยังตัวควบคุมผ่านโมดูลโคลเอนต์ไร้สายและจุดเชื่อมต่อ หากค่ากระแสของปั๊มไม่มากกว่า 1 A และค่าแรงดันของปั๊มไม่น้อยกว่า 220 V หน้าหลักของ PLC คือการส่งสัญญาณดิจิทัลไปยังปั๊มซึ่งจะเปิดและเติมน้ำในถัง เมื่อถึงน้ำเต็ม เครื่องส่งสัญญาณแรงดัน

จะส่งค่าที่เกี่ยวข้องซึ่งได้ปรับมาตราส่วนไว้แล้ว โดยเป็นระดับที่สูง หรือเพื่อป้องกัน สวิตช์ความจุจะเปิดหน้าสัมผัสที่เครื่องส่งสัญญาณ และเครื่องส่งสัญญาณจะส่งสัญญาณ "ปิด" ไปยังตัวควบคุม จากนั้น PLC จะส่งเอาต์พุตดิจิทัลไปยังปั๊มน้ำเพื่อปิดเครื่อง

โมดูล IWLAN และตัวควบคุม PLC เป็นตัวเลือกทางเทคโนโลยีตามธรรมชาติสำหรับการควบคุมและการทำงานอัตโนมัติของกระบวนการ เครือข่ายไร้สายให้ความยืดหยุ่นที่จำเป็น ต้นทุนการบำรุงรักษาต่ำ และความสามารถในการปรับขนาดในการออกแบบและควบคุมโรงงาน ในงานนี้ เราได้หารือเกี่ยวกับการออกแบบและการนำกระบวนการสูบน้ำไปใช้ สถาปัตยกรรมที่เสนอและผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้โปรโตคอล IWLAN เพื่อสื่อสารกับ PLC ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบได้รับการทดสอบโดยใช้แอปพลิเคชันอุตสาหกรรมและพบว่ามีประสิทธิภาพที่น่าพอใจมาก ระบบควบคุมแบบมีสายแบบเดิมต้องขุดร่องเพื่อวางสายใหม่ การซ่อมสายเก่าหรือเปลี่ยนสายทองแดงที่ขโมยมาอาจมีค่าใช้จ่ายสูงมาก ในการศึกษา การสื่อสารแบบไร้สายสำหรับการควบคุมปั๊มน้ำช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ได้และให้ข้อได้เปรียบที่ชัดเจนเหนือระบบควบคุมแบบมีสาย

2.3 ระบบควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วย PLC และการสื่อสาร Profibus สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

การตรวจสอบและควบคุมระบบมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีอยู่จะต้องสามารถทำงานร่วมกับผลิตภัณฑ์รุ่นต่อไปได้เพื่อให้แน่ใจว่ามีการบูรณาการอย่างชาญฉลาดเพื่ออัปเดตระบบที่มีอยู่โดยลดต้นทุนและเพิ่มความน่าเชื่อถือ จะต้องเลือกวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในบางกรณี เช่น การควบคุมความเร็ว การเปิดหรือปิด หรือในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของกลุ่มโหลดในภาคอุตสาหกรรม ในการศึกษา การควบคุมและการตรวจสอบพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะดำเนินการผ่านคอมพิวเตอร์โดยใช้การสื่อสาร Profibus (Process Field Bus) ผ่านโปรแกรมพอร์ทัล TIA (Totally Integrated Automation) ที่ใช้ในการตั้งโปรแกรม PLC (Programmable Logic Controllers) ของ Siemens ทั้งหมด พารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะได้รับผ่านตัวแปลงความถี่โดยไม่ต้องใช้การ์ดเพิ่มเติม เช่น การวัดกระแส แรงดันไฟฟ้า ความถี่ และความเร็ว ด้วยวิธีนี้ จึงหลีกเลี่ยงความสับสนระหว่างสายเคเบิลและการ์ดอิเล็กทรอนิกส์ และสามารถนำการใช้งานที่ปลอดภัย รวดเร็ว และใช้งานได้ง่ายจริงมากกว่าวิธีแบบดั้งเดิมมาใช้ได้ โปรแกรม KEPServerEx OPC (Ole-for Processing Control) Server ของ OPC Foundation ได้รับความนิยมในการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับ PLC โปรแกรมแก้ไข Profit-Lab ถูกใช้เพื่อติดตามและควบคุมระบบผ่านคอมพิวเตอร์

ในอนาคต ภาคพลังงานจะหมดเชื้อเพลิงฟอสซิล และการใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้นเน้นย้ำถึงความจำเป็นของโซลูชันที่เหมาะสมที่สุดตามการเปลี่ยนแปลงของโลกและความ

ต้องการที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตโซลูชันเทคโนโลยีในระบบที่มีอยู่กำลังกลายเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อการพัฒนาเทคโนโลยีเหล่านี้สะท้อนให้เห็นในการปฏิบัติทางอุตสาหกรรม คุณภาพขององค์กรก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน นอกเหนือจากเทคโนโลยีมอเตอร์ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในทางปฏิบัติทางอุตสาหกรรม การพัฒนาไดรเวอร์มอเตอร์ยังให้ความสะดวกสบายทั้งในแง่ของต้นทุนและประโยชน์ใช้สอย

มอเตอร์ใช้เพื่อให้แน่ใจว่าแนวคิดของการเคลื่อนไหวของระบบในอุตสาหกรรม นอกจากนี้มอเตอร์ยังมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับโครงสร้าง เทคโนโลยี และแหล่งพลังงาน มอเตอร์กระแสสลับ (AC) และกระแสตรง (DC) ถูกใช้ตามประเภทพลังงาน ความแตกต่างพื้นฐานระหว่างมอเตอร์กระแสสลับและกระแสตรงคือการผลิตสนามแม่เหล็กภายในมอเตอร์ แม้ว่าจะมีค่าสูงประสิทธิภาพ (โดยเฉพาะที่ความเร็วต่ำ) ความหนาแน่นของพลังงานสูง และการควบคุมที่ง่าย ถือเป็นข้อได้เปรียบของมอเตอร์ DC โดยมีต้นทุนการติดตั้งสูง นอกจากนี้ นอกจากจะสร้างแรงบิดโหลดเต็มที่ที่ความเร็วต่ำแล้ว มอเตอร์ DC ยังใช้งานง่ายกว่าและถูกกว่าไดรเวอร์ AC ที่เทียบเท่ากันมาก

ในขณะที่ไดรฟ์มอเตอร์ AC แปลงแรงดันไฟฟ้า AC ที่เข้ามาเป็นบัส DC แล้วแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้า AC เพื่อสตาร์ทมอเตอร์ ไดรเวอร์ DC จะสตาร์ทมอเตอร์ DC โดยตรงโดยแปลงแรงดันไฟฟ้า AC เป็น DC อย่างไรก็ตาม มอเตอร์ DC ถูกแทนที่ด้วยมอเตอร์ AC โดยเฉพาะในการใช้งานขนาดใหญ่และทรงพลัง เนื่องจากต้องมีการบำรุงรักษาและการประมวลผลเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบและเปลี่ยนแปลงภายใน ดังนั้น แม้ว่าโครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะเรียบง่าย แต่ก็ควบคุมได้ยากด้วยเหตุนี้ มอเตอร์ AC จึงถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม

มอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งมีบทบาทสำคัญในการใช้พลังงาน จะใช้กระแสไฟฟ้ามากกว่ากระแสไฟฟ้าทำงานปกติ 5-7 เท่าเมื่อเริ่มต้นใช้งาน เพื่อขจัดภาวะเชิงลบนี้ จึงใช้หลายวิธีการสตาร์ท ก่อนหน้านี้มีการใช้วิธีสตาร์ทแบบคลาสสิก เช่น การสตาร์ทแบบ Wye-Delta และการสตาร์ทแบบความต้านทานค่อยเป็นค่อยไป [10] อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบัน ด้วยการพัฒนาของเทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์ ตัวแปลงความถี่ หรือซอฟต์แวร์สตาร์ทเตอร์

วิธีการต่าง ๆ ซึ่งรวมถึงองค์ประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังไฟฟ้า เช่น IGBT ไทริสเตอร์ และ MOSFET ถูกใช้ในระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ วิธีการสตาร์ทเหล่านี้ ซึ่งได้รับการพัฒนาควบคู่ไปกับเทคโนโลยี ช่วยให้ใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยให้สตาร์ทได้นุ่มนวลขึ้น ปรับความเร็วได้อย่างยืดหยุ่น และลดความเครียดเชิงกลของมอเตอร์ได้ ด้วยเหตุนี้ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องเลือกวิธีการควบคุมที่เหมาะสมที่สุด พื้นที่ใช้งานของมอเตอร์ สถานะโหลดเพลามอเตอร์ ความสามารถในการบิดของมอเตอร์ เป็นต้น เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดวิธีการที่จะใช้

วิธีการสตาร์ทที่ใช้เพื่อลดกระแสไฟฟ้าสูงที่มอเตอร์กระแสสลับดึงออกเมื่อสตาร์ทครั้งแรก ช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ทั้งหมดที่เชื่อมต่อกับมอเตอร์โดยให้การสตาร์ทแบบไม่กระทบซึ่ง

ช่วยลดภาระบนเครือข่ายไฟฟ้า วิธีการสตาร์ทแบบ Wye-Delta ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำมีจุดประสงค์เพื่อจัดการใช้กระแสไฟฟ้าที่มากเกินไปในระหว่างการสตาร์ทครั้งแรก เนื่องจากขดลวดสเตเตอร์จะสัมผัสกับแรงดันไฟฟ้าสูงในการเชื่อมต่อแบบเดลต้า มอเตอร์เหนี่ยวนำทำงานในการเชื่อมต่อแบบ Wye เมื่อสตาร์ท และขดลวดเฟสจะรับแรงดันไฟฟ้า 220 V เมื่อมอเตอร์ถึงความเร็วที่กำหนด แรงดันไฟฟ้าเฟสจะถูกจ่ายเป็น 380 V AC โดยสลับไปที่โหมดการเชื่อมต่อแบบเดลต้าโดยอัตโนมัติ เนื่องจากการเปลี่ยนผ่านนี้เกิดขึ้นผ่านคอนแทคเตอร์และตัวจับเวลา ระบบจึงอาจเกิดความล่าช้าของฮาร์ดแวร์

วิธีการสตาร์ทแบบอื่นสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำคือวิธีการสตาร์ทแบบนุ่มนวล ซึ่งทำงานตามหลักการของการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์อย่างค่อยเป็นค่อยไปเพื่อให้เกิดการเร่งความเร็วที่นุ่มนวลและราบรื่น ด้วยวิธีนี้ จึงหลีกเลี่ยงความผันผวนอย่างกะทันหันของแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่รุนแรงของการสตาร์ทครั้งแรกได้ วิธีการสตาร์ทแบบนุ่มนวลเกิดขึ้นในลักษณะที่ควบคุมด้วยเวกเตอร์โดยใช้ไทรสเตอร์ การควบคุมเวกเตอร์ช่วยให้แน่ใจว่ามอเตอร์ได้รับการปรับให้เหมาะสมสำหรับการสตาร์ทแบบนุ่มนวลและการหยุดแบบนุ่มนวล และลดกระแสไฟฟ้าและโมเมนตัมเริ่มต้นองค์ประกอบการสตาร์ทที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าหลักระหว่าง 30% ถึง 100% ขึ้นอยู่กับเวลาของความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและกระแสไฟฟ้าในมอเตอร์ และจ่ายแรงดันไฟฟ้าดังกล่าวให้กับมอเตอร์ เมื่อความเร็วของมอเตอร์ถึงค่าที่กำหนด มอเตอร์จะเชื่อมต่อกับกริดโดยตรง และทริกเกอร์ไทรสเตอร์จะถูกตัด หากมอเตอร์หยุดทำงาน มอเตอร์จะควบคุมแรงดันไฟฟ้าจาก 100% ถึง 30% การเปลี่ยนมุมทริกเกอร์ของสะพานไทรสเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยไทรสเตอร์สองตัวในแต่ละเฟส ทำให้สามารถควบคุมกระแสไฟเริ่มต้นได้โดยไม่เปลี่ยนความถี่ของไฟหลัก ดังนั้น จึงสามารถควบคุมกระแสไฟเริ่มต้นได้ ซึ่งจะป้องกันไม่ให้ไทรสเตอร์ร้อนเกินไป

วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสคือตัวแปลงความถี่ อุปกรณ์เหล่านี้จะตรวจสอบความเร็วโดยรักษาอัตราส่วน V/f ให้คงที่ และเปลี่ยนความถี่ที่ใช้กับมอเตอร์โดยไม่ให้สถานะคงที่ตามแรงดันไฟฟ้าสั่น ความจริงที่ว่าตัวแปลงความถี่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายพื้นที่ ตั้งแต่แนวปฏิบัติมาตรฐานไปจนถึงการใช้งานขั้นสูงในอุตสาหกรรมที่มีโครงสร้างพารามิเตอร์การเชื่อมต่อฟรีและบล็อกฟังก์ชันในโครงสร้างพารามิเตอร์ขั้นสูงเป็นเหตุผลที่เลือกใช้ตัวแปลงความถี่ในการศึกษา

เนื่องจากมีโครงสร้างที่ไม่เป็นเชิงเส้น มอเตอร์เหนี่ยวนำจึงไม่สามารถควบคุมได้ง่าย เช่น มอเตอร์ความเร็วและแรงบิด การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำมีหลายวิธี วิธีที่ใช้กันทั่วไปคือการควบคุมแบบสเกลาร์และแบบเวกเตอร์ วิธีการควบคุมที่ทำโดยการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเรียกว่าการควบคุมแบบสเกลาร์ โดยทั่วไปจะใช้ในพัดลมของระบบระบายอากาศและระบบทำความร้อนที่ไม่จำเป็นต้องควบคุมความเร็วอย่างแม่นยำ นอกจากนี้ วิธีการควบคุม

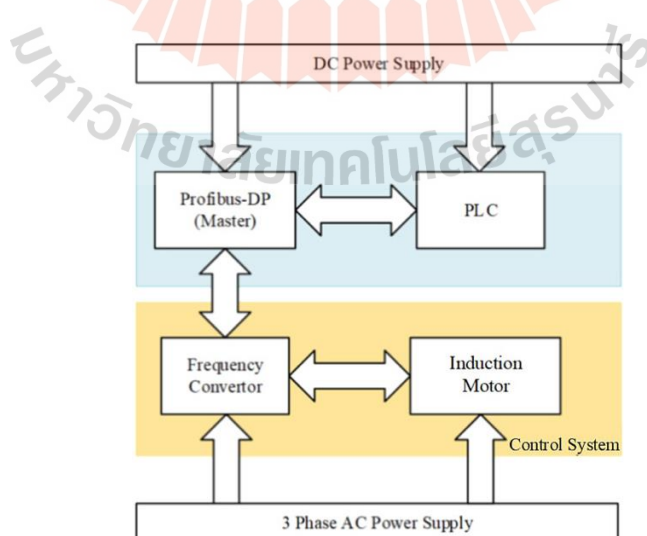
แบบสเกลาร์สามารถทำได้โดยไม่ต้องมีการแปลงแกนและอัลกอริทึมที่ซับซ้อนในการใช้งานที่การควบคุมความเร็วเพียงพอ ด้วยวิธีนี้ สามารถควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ในช่วงกว้างที่แรงบิดปกติ แต่การควบคุมแบบสเกลาร์ไม่เพียงพอในการใช้งานที่ต้องการการควบคุมความเร็วและแรงบิดอย่างต่อเนื่อง แทนที่จะเป็นเช่นนั้น จะใช้มอเตอร์กระแสตรงในงานที่ต้องควบคุมความเร็วและแรงบิดอย่างต่อเนื่อง ส่วนประกอบของกระแสไฟฟ้าที่ประกอบเป็นฟลักซ์และเวกเตอร์แรงบิดในมอเตอร์กระแสตรงจะถูกควบคุมโดยอิสระจากกัน แต่ไม่มีส่วนประกอบกระแสไฟฟ้าแยกกันดังกล่าวในมอเตอร์เหนี่ยวนำ มีเพียงกระแสเตรอร์ที่มีข้อมูลมุมแอมพลิจูดและเฟส กระแสเตรอร์นี้แบ่งออกเป็นสองส่วนประกอบกระแสไฟฟ้า ส่วนประกอบหนึ่งสร้างฟลักซ์และอีกส่วนประกอบหนึ่งสร้างโมเมนต์ โดยใช้การแปลงต่างๆ การใช้ส่วนประกอบกระแสไฟฟ้าทั้งสองนี้ทำให้สามารถควบคุมแรงบิดและความเร็วอย่างต่อเนื่องได้ วิธีนี้เรียกว่าวิธีการควบคุมเวกเตอร์ ด้วยการพัฒนาของอิเล็กทรอนิกส์กำลังและโปรเซสเซอร์สัญญาณเร็ว วิธีการควบคุมเวกเตอร์จึงได้รับความนิยมอย่างมากและมาถึงจุดที่ให้ประสิทธิภาพเช่นเดียวกับมอเตอร์กระแสตรง พื้นฐานของวิธีการควบคุมเวกเตอร์คือการแสดงการแสดงออกของโมเมนต์เช่นเดียวกับในมอเตอร์กระแสตรง วิธีการนี้มีวิธีควบคุมเวกเตอร์ที่เน้นฟลักซ์ของสเตเตอร์ ช่องว่างอากาศ และโรเตอร์ในแกนอ้างอิงที่แตกต่างกัน

วิธีการสื่อสาร Profibus, Canbus และ Modbus ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อควบคุมเครือข่ายการสื่อสารของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เครือข่ายควบคุม Canbus (Controller Area Network) เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อสร้างหน่วยการจัดการทั่วไปโดยลดจำนวนหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์จำนวนองค์ประกอบของระบบ และความยาวสายเคเบิล เครือข่ายนี้ให้การสื่อสารข้อมูลด้วยความเร็ว 1 Mbit/s ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ยานยนต์ การควบคุมมอเตอร์อัจฉริยะ เซ็นเซอร์อัจฉริยะ ลิฟต์ หน่วยควบคุมเครื่องจักร และอาคารอัจฉริยะ ซึ่งความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญมาก ในระบบ Canbus หน่วยทั้งหมดมีสิทธิ์เท่าเทียมกันในการส่งข้อมูลที่มีลำดับความสำคัญไปยังสายส่ง ซึ่งเรียกว่าการทำงานแบบมัลติมาสเตอร์ วิธีการสื่อสารอีกวิธีหนึ่ง คือ Mod-Bus อาจใช้เพื่อตรวจสอบระบบมาสเตอร์/Slavesหลายระบบและโปรแกรมอุปกรณ์ เพื่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อัจฉริยะ (PLC, อินเวอร์เตอร์ ฯลฯ) เซ็นเซอร์ และอุปกรณ์อื่น ๆ หรือเพื่อควบคุมอุปกรณ์ในสนามจากระยะไกลด้วยคอมพิวเตอร์หรืออินเทอร์เน็ตเฟสระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักร Modbus เป็นระบบเครือข่ายอุตสาหกรรมซึ่งรับข้อมูลจากอุปกรณ์และรวบรวมไว้ในศูนย์กลางเดียว อาจมีอุปกรณ์Slaves 247 ตัวพร้อมอุปกรณ์มาสเตอร์ 1 ตัวในเครือข่าย Modbus มาตรฐาน

OPC หมายถึง มาตรฐานซอฟต์แวร์ที่ใช้อินเทอร์เน็ตเพชเดียวกันและอนุญาตให้เครื่องจักร ระบบ และอุปกรณ์ของผู้ผลิตที่แตกต่างกันเชื่อมต่อและถ่ายโอนข้อมูล เซิร์ฟเวอร์ที่ใช้มาตรฐาน OPC อนุญาตให้อุปกรณ์ในสองระบบที่แตกต่างกันเชื่อมต่อกันได้โดยไม่ต้องมีแอปพลิเคชันเพิ่มเติม เมื่อ OPC เปิดตัวสู่ตลาดในปี 1996 มีเป้าหมายเพื่อบรรลุโปรโตคอล PLC ซึ่งมีความเฉพาะตามฮาร์ดแวร์

และระบบภายในกรอบมาตรฐานบางอย่าง และการสื่อสารของระบบ Human Machine Interface (HMI)/Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) กับอุปกรณ์ที่ไม่มีไดรเวอร์และซอฟต์แวร์ไดรเวอร์เฉพาะอุปกรณ์ ในสมัยนั้น มาตรฐาน OPC จำกัดเฉพาะ Windows เท่านั้น ปัจจุบัน ระบบนี้ซึ่งเรียกว่า OPC แบบคลาสสิกเป็นที่นิยมในการศึกษาวิจัยเนื่องจากมีพื้นที่การใช้งานทั่วไปมาก OPC Unified Architecture (OPC UA) เป็นเทคโนโลยี OPC รุ่นต่อไป OPC UA เป็นโปรโตคอลการสื่อสารระหว่างเครื่องจักรกับเครื่องจักรสำหรับระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรมที่พัฒนาโดย OPC Foundation คำจำกัดความของ OPC UA เป็นคำจำกัดความที่ครอบคลุมที่สุดที่พัฒนาขึ้นเพื่อการทำงานร่วมกันระหว่างซอฟต์แวร์อัตโนมัติ OPC UA มอบกลไกที่ยืดหยุ่นและปรับเปลี่ยนได้สูงในการย้ายข้อมูลระหว่างระบบประเภทองค์กรและการควบคุม อุปกรณ์ตรวจสอบ และเซ็นเซอร์ที่โต้ตอบกับข้อมูลในโลกแห่งความเป็นจริง

ในการศึกษาครั้งนี้ การตรวจสอบและควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทำงานด้วยตัวแปลงความถี่จะดำเนินการผ่านคอมพิวเตอร์โดยใช้เครือข่าย Profibus เมื่ออัตราการหมุนเปลี่ยนแปลงจากอินเทอร์เฟซผู้ใช้ พฤติกรรมและพารามิเตอร์ของมอเตอร์ก็จะถูกตรวจสอบ โปรแกรม TIA Portal ซึ่งสร้างขึ้นพร้อมกับการผลิตตัวควบคุมหลักของระบบ S7 1200 PLC ช่วยให้สามารถทำงานกับผลิตภัณฑ์รุ่นเก่าที่ใช้ในตลาดได้ในขณะที่ทำงานกับผลิตภัณฑ์รุ่นถัดไป เพื่อจุดประสงค์นี้ จึงได้สร้างไลบรารีขึ้นเพื่อช่วยให้สามารถทำงานร่วมกับผลิตภัณฑ์ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์รุ่นต่อไปได้ ในการศึกษาครั้งนี้ ดังที่เห็นในแผนผังบล็อกในรูปที่ 2.11 การควบคุมและพารามิเตอร์ของตัวแปลงความถี่ Micromaster 440 ที่ใช้การสื่อสาร Profibus กับ PLC S7 1200 ได้รับการตรวจสอบผ่านคอมพิวเตอร์

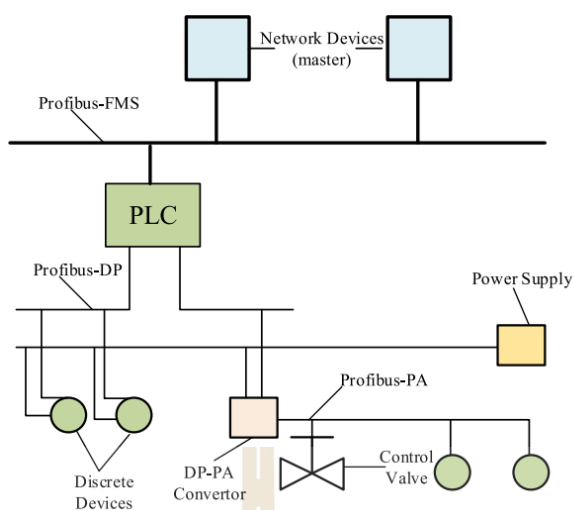


รูปที่ 2.11 แผนผังแบบบล็อกทั่วไปของการศึกษา

มีการสร้างไลบรารีเพื่อควบคุมไตรเวอร์มอเตอร์ในโปรแกรม TIA Portal ด้วยไลบรารีนี้ การสื่อสารระหว่างโปรแกรมแก้ไขกับไตรเวอร์มอเตอร์จึงเกิดขึ้น ด้วยวิธีนี้ พารามิเตอร์ของแรงดันไฟฟ้า ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง อุณหภูมิ มุมโรเตอร์กำลังปฏิกิริยาแอกทีฟ ความเร็วของมอเตอร์ การสตาร์ทและหยุด ฯลฯ ของมอเตอร์เหล่านี้จะถูกรวบรวมโดยไม่ต้องใช้ฮาร์ดแวร์เพิ่มเติม และการเปลี่ยนแปลงในพารามิเตอร์ของระบบจะถูกตรวจสอบผ่านคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีการสื่อสาร Profibus วิธีการสื่อสาร Profibus ได้รับความนิยมเนื่องจากใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตและกระบวนการอัตโนมัติ พารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่ได้รับจากตัวแปลงความถี่จะถูกถ่ายโอนไปยัง PLC ผ่านเครือข่าย Profibus วิธีการสื่อสาร Profibus ซึ่งเป็นวิธีเก่าเมื่อเทียบกับวิธีการสื่อสารใหม่ ได้รับการปรับปรุงให้ทำงานสอดคล้องกับระบบใหม่ที่มีซอฟต์แวร์อะแดปเตอร์และวิธีการสื่อสารที่สร้างขึ้น การถ่ายโอนข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์และ PLC จะได้รับจาก OPC Server และข้อมูลเหล่านี้ที่ถ่ายโอนไปยังสื่อคอมพิวเตอร์จะพร้อมใช้งานบนแพลตฟอร์ม Profi-Lab หลังจากการแสดงผล

วิธีการสื่อสารแบบโปรฟิบบัสเข้ากันได้กับมาตรฐานสากล 61158 มาตรฐานนี้เป็นความพยายามที่จะกำหนดมาตรฐานสากลระดับโลกสำหรับการสื่อสารแบบฟิลด์บัสที่เริ่มต้นร่วมกันโดย IEC และ ISA ระบบ 61158 อาจประกอบด้วยลิงก์ท้องถิ่นของซับเน็ตหลายรายการโดยอิงตามโทโพโลยีบัสที่ใช้ร่วมกันและเชื่อมต่อกันโดยใช้บริดจ์ บริดจ์ยังสามารถใช้เชื่อมต่อสถานีต่าง ๆ ที่สำคัญในการตอบสนองข้อกำหนดด้านเวลาที่กำหนดโดยกฎการสื่อสาร ในกรณีนี้ บริดจ์จะทำงานเป็นอินเทอร์เฟซที่เหมาะสมกับเครือข่าย

Profibus (Process Field Bus) เป็นมาตรฐานบัสแบบฟิลด์เปิดที่ออกแบบมาสำหรับการผลิตและกระบวนการอัตโนมัติที่ครอบคลุม ระบบสื่อสาร Profibus เป็นระบบเครือข่ายได้รับการพัฒนาโดยผู้ผลิต PLC หลายรายรวมถึง Siemens และถือเป็นมาตรฐาน ระบบ Profibus บางระบบได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ โทโพโลยีเครือข่าย Profibus แสดงไว้ในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เทคโนโลยีเครือข่าย Profibus

Profibus-DP (Decentral Peripheries = Decentralized Peripheral Units) เป็นระบบสื่อสารที่ช่วยให้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์กระจายศูนย์ที่มีอุปกรณ์อัตโนมัติได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีที่ PLC อยู่ตรงกลาง และหน่วยต่อพ่วง (Slaves) อยู่ในพื้นที่ทำงาน การสร้างสายส่งจะง่ายมาก ซีพียูที่อยู่ตรงกลางจะอ่านข้อมูลอินพุตจาก Slaves จากนั้นประมวลผลข้อมูล และสุดท้ายจะเขียนข้อมูลเอาต์พุตลงใน Slaves ถือเป็นประเภทการสื่อสารที่ใช้กันทั่วไปที่สุดและนิยมใช้เนื่องจากมีต้นทุนการเชื่อมต่อต่ำ

การสื่อสารสามารถทำได้ด้วยอุปกรณ์กระจายแบบรวมศูนย์ (Siemens ET200) เช่นเดียวกับอุปกรณ์สนามอัจฉริยะ (ไดรเวอร์มอเตอร์ เครื่องวัดอัตราการไหล ฯลฯ) การสื่อสาร Profibus-DP ใช้ RS485 และ/หรือโครงสร้างพื้นฐานใยแก้วนำแสงเป็นโครงสร้างทางกายภาพ สามารถใช้กับแอปพลิเคชันที่สำคัญความเร็วสูงหรือการสื่อสารที่ซับซ้อน รูปแบบที่ใช้กันทั่วไปที่สุดคือ Profibus-DP วิธีนี้มักใช้ในการสร้างระบบอัตโนมัติ การควบคุมไดรเวอร์มอเตอร์ เซ็นเซอร์ อุปกรณ์ควบคุมแบบตั้งโปรแกรมได้ และเครื่องจักรสิ่งทอ

Profibus-FMS (Fieldbus Message Specification) หมายถึงการระบุข้อความบัสข้อมูลภาคสนาม และเป็นประเภทการสื่อสารทั่วไปที่มีฟังก์ชันการใช้งานขั้นสูงสำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ควบคุมอัจฉริยะ เช่นเดียวกับ DP, FMS ยังใช้โครงสร้างพื้นฐาน RS485 และ/หรือไฟเบอร์ออปติกเป็นโครงสร้างการสื่อสารทางกายภาพ โดยจะส่งข้อมูลความเร็วสูง Profibus-PA (PA-Process Automation) เป็นประเภทของการสื่อสารที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการ และปัจจุบันมีการจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ผ่านสายเคเบิลสื่อสาร สามารถทำงานบนมาสเตอร์เดียวกันกับ Profibus-DP ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้ในการตรวจสอบอุปกรณ์วัดในพื้นที่อันตรายในพื้นที่โรงงาน

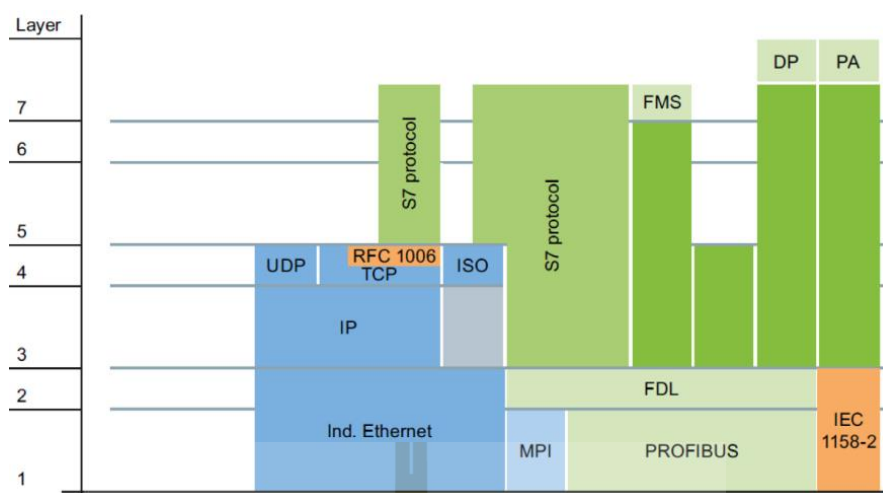
ลักษณะทางเทคนิคของการสื่อสาร Profibus-DP :

- 6) ในแต่ละพื้นที่ที่รถบัส สามารถสร้างผู้เข้าร่วมได้สูงสุด 32 คน และสร้างผู้เข้าร่วมได้รวมทั้งหมด 126 คนในเครือข่าย และสร้างส่วนต่างๆ บนเครือข่ายได้มากถึง 9 ส่วน
- 7) สามารถเสียบ/ถอดหน่วยต่อพ่วง (Slavesและองค์ประกอบสนาม เช่น เซอร์ มอเตอร์) ระหว่างการทำงานได้
- 8) การถ่ายโอนข้อมูลทำได้ด้วยสายเคเบิลหุ้มฉนวนสองแกนหรือตัวนำแสง สายเคเบิลหุ้มฉนวนจะต้องต่อลงดินที่ปลายทั้งสองด้าน เมื่อต่อลงดินปลายด้านหนึ่งแล้ว ปลายด้านว่างจะทำหน้าที่เป็นเสาอากาศสำหรับความถี่สูงและจะรวบรวมสัญญาณรบกวนรอบๆ ไว้
- 9) ระยะการส่งข้อมูลสามารถสูงสุด 9.6 กม. โดยใช้สายไฟฟ้า และสูงสุด 90 กม. โดยใช้สายออปติคัล
- 10) ออกแบบมาเพื่อการผลิตพิเศษและกระบวนการอัตโนมัติ
- 11) ในกรณีที่ดำเนินการสื่อสารด้วย Profibus ระหว่างอุปกรณ์ของแบรนด์ต่าง ๆ ไม่จำเป็นต้องใช้อินเทอร์เฟซพิเศษหรือส่วนเสริมใด ๆ
- 12) ใช้บัสข้อมูลที่ไม่ต้องใช้อินเทอร์เฟซพิเศษ
- 13) เนื่องจากวิธีการสื่อสาร Profibus ทำงานด้วยลอจิก Master/Slave จึงควรมีอุปกรณ์ Master บนเครือข่ายเพียงตัวเดียว

Profibus เป็นสถาปัตยกรรมโปรโตคอลสำหรับ OSI Reference Model และตำแหน่งของวิธีการสื่อสาร Profibus ในแบบจำลอง OSI แสดงไว้ในรูปที่ 2.13 Profibus-FMS (Fieldbus Message Specification) มีสามประเภท ได้แก่ Profibus-FMS มักใช้สำหรับระบบรวบรวมข้อมูล Profibus-DP (distributed I/O) ใช้ในการควบคุมเซ็นเซอร์และแอคชูเอเตอร์เนื่องจากสามารถสื่อสารได้อย่างรวดเร็วโดยใช้ศูนย์กลางเพียงแห่งเดียว Profibus-PA ใช้ในอุปกรณ์ที่มีระบบรักษาความปลอดภัยในตัว ความเร็วและมาตรฐานการสื่อสารของ Profibus แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การสื่อสารแบบโปรฟิบบัส

FMS(RS-485)	187.5 kbps
DP(RS-485)	500 kbps/1.5 Mbps/12 Mbps
PA(IEC 1158-2)	31.25 kbps



รูปที่ 2.13 สถาปัตยกรรมโปรโตคอล Profibus

สถาปัตยกรรมโปรโตคอล Profibus ในแบบจำลอง OSI (องค์การมาตรฐานสากล) แสดงไว้ในรูปที่ 2.13 ในแง่นี้ ตามแบบจำลอง OSI DP ซึ่งเป็นโปรโตคอลการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ ใช้เลเยอร์ที่ 1 และ 2 เป็นอินเทอร์เฟซผู้ใช้ และไม่ใช้เลเยอร์ที่ 3 และ 7 สถาปัตยกรรมนี้ช่วยให้ส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ใน FMS ซึ่งเป็นโปรโตคอลการสื่อสารทั่วไป ระดับความสำคัญที่แตกต่างกันจะถูกกำหนดให้กับเลเยอร์ 1, 2 และ 7 ในเลเยอร์ที่ 7 ซึ่งเป็นเลเยอร์แอปพลิเคชัน มี FMS และ LLI (Low Layer Interface) FMS กำหนดบริการการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพที่จำเป็นสำหรับการสื่อสารระหว่างยูนิตหลัก-ยูนิตหลัก และระหว่างยูนิตหลัก-ดาวเทียม LLI กำหนดบริการ FMS ในโปรโตคอลการส่งข้อมูลของเลเยอร์ที่ 2

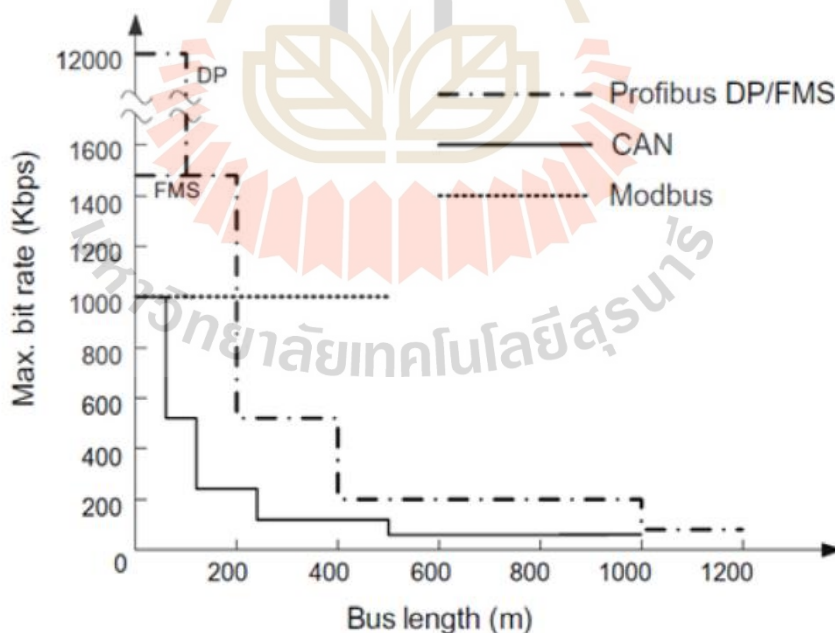
เลเยอร์ที่ 1 และ 2 นั้นเหมือนกันสำหรับเวอร์ชัน DP และ FMS ในโมเดล ISO/OSI กล่าวอีกนัยหนึ่ง อุปกรณ์ส่งสัญญาณทางกายภาพทั้งสองแบบ (เช่น เส้นที่พอดิบกับคำจำกัดความของ RS-485 ตัวนำใยแก้วนำแสง ตัวทำซ้ำสำหรับการเชื่อมต่อปลั๊กและการเชื่อมต่อชิ้นส่วน) และรูปแบบการส่งข้อมูลแบบแพ็คเก็ต (โทรเลข) นั้นคล้ายคลึงกัน เลเยอร์ 3 และ 6 ไม่ได้ใช้ใน Profibus เวอร์ชัน FMS ถูกกำหนดไว้ในเลเยอร์แอปพลิเคชัน เวอร์ชัน Profibus-DP รุ่นที่ 7 นั้นไม่มีความเกี่ยวข้องในแง่ของประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน ด้วยเหตุนี้ เวอร์ชัน DP จึงถือเป็นแอปพลิเคชันมาตรฐานสำหรับเลเยอร์ 2 ได้

ในโครงสร้าง Profibus สามารถติดตั้งอุปกรณ์ Slave ได้สูงสุด 32 ตัวสำหรับ Master ซึ่งสามารถขยายได้สูงสุด 126 ตัวโดยการใส่รีพีทเตอร์สูงสุด 4 ตัว ความเร็วในการสื่อสารอยู่ระหว่าง 9.6 kBd และ 12 MBd ด้วย Profibus-DP ความเร็วในการสื่อสารคือ 31.25 kBd ใน Profibus-PA

โปรโตคอลคือชุดกฎสำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับเครือข่าย โปรโตคอลทั่วไปที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม ได้แก่ Modbus, Profibus และ CANbus ขนาดข้อมูลที่ส่งตาม

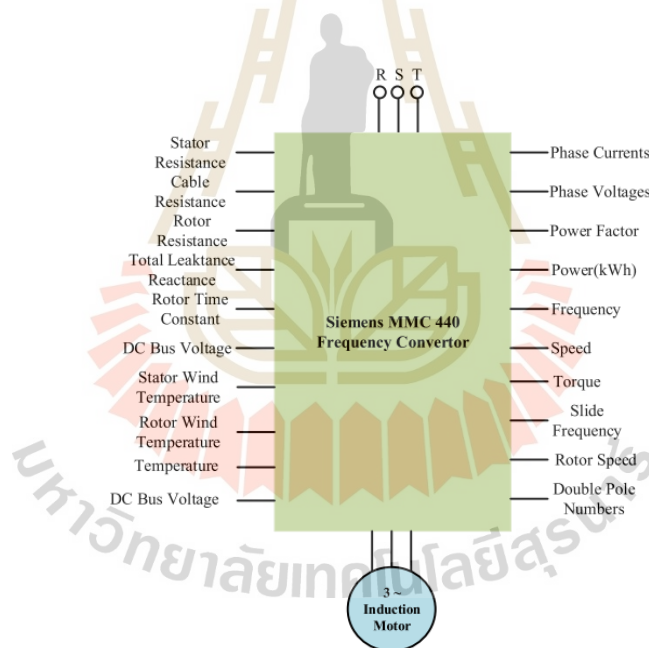
ระยะทางของวิธีการสื่อสารเหล่านี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.14 ในโปรโตคอลทั้งหมด เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น ขนาดข้อมูลที่จะส่งก็จะลดลง ขนาดข้อมูลของวิธีการสื่อสาร Profibus ในระยะทางไกลและระยะสั้น จะสูงกว่าวิธีอื่นๆ ด้วยเหตุนี้ PLC ในภาคอุตสาหกรรมจึงสื่อสารถึงกันเองด้วยอุปกรณ์ IO (อินพุต/เอาต์พุต) ระยะไกล เซ็นเซอร์ และตัวกระตุ้นได้อย่างรวดเร็วและเชื่อถือได้

แม้ว่าโปรโตคอล Modbus จะได้รับผลลัพธ์ที่ประสบความสำเร็จอย่างมากในโครงการระบบอัตโนมัติของเครื่องจักรและโครงการระบบอัตโนมัติขนาดเล็ก แต่ความสำเร็จที่ต้องการนั้นไม่ได้เกิดขึ้นในระบบอัตโนมัติของโรงงานที่มีแบรนด์และอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย เนื่องจากระยะทางที่ไกลระหว่างอุปกรณ์และสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าที่สูงในสภาพแวดล้อม เนื่องจากปัญหาที่พบในสภาพโรงงาน จึงนิยมใช้โปรโตคอล Profibus ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่เสถียรและปลอดภัยกว่าแทนวิธีการสื่อสาร Modbus ซึ่งเป็นโปรโตคอลราคาถูกและใช้งานง่าย นอกจากนี้ ด้วยโครงสร้างที่รวดเร็วและเชื่อถือได้ ทำให้สามารถสื่อสารได้ในระยะทางที่ไกลกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโปรโตคอล Modbus วิธีการสื่อสาร Profibus ถือเป็นวิธีเก่าเมื่อเทียบกับวิธีการสื่อสาร Profinet ดังนั้น จึงสามารถใช้รุ่นเก่าได้เฉพาะกับผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่ผ่านวิธีการสื่อสารเท่านั้น วิธีการสื่อสาร Profibus มีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับวิธีการสื่อสารอื่นๆ เนื่องจากนำมาใช้กับระบบที่มีอยู่โดยไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมใด ๆ ทำให้มีส่วนช่วยอย่างมากในการปรับปรุงการใช้ทรัพยากร



รูปที่ 2.14 การเปรียบเทียบโปรโตคอล

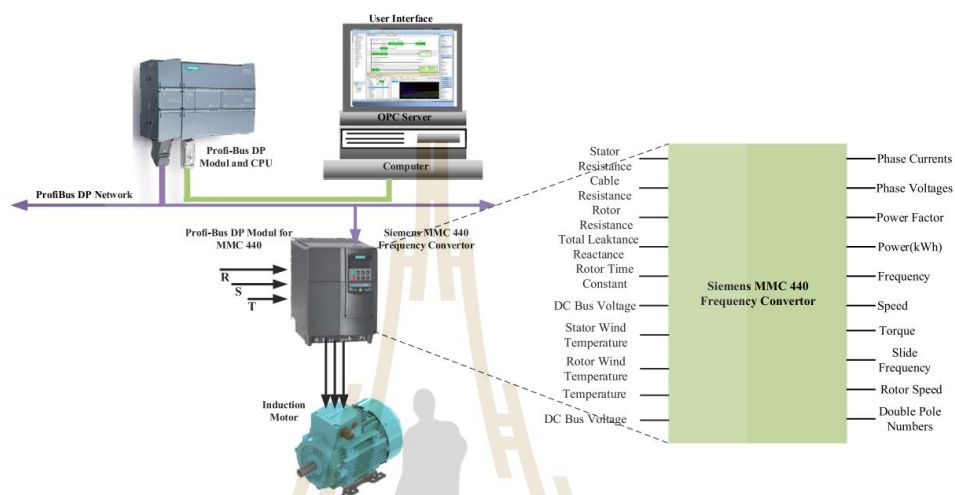
อุปกรณ์ต่อพ่วงและรายละเอียดกระบวนการจะแสดงอยู่ในรูปที่ 2.11 ในการออกแบบระบบ ในแง่นี้ พารามิเตอร์ความเร็วเป็นตัวแปรควบคุมของระบบเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงใน พารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ตัวแปรนี้จะถูกควบคุมและตรวจสอบด้วยข้อมูลดิจิทัล การจ่าย พลังงานของมอเตอร์จะถูกควบคุมด้วยตัวแปลงความถี่ การควบคุมพลังงานจะดำเนินการด้วย คอมพิวเตอร์โดยใช้ PLC และวิธีการสื่อสาร Profibus-DP การสื่อสารข้อมูลจะถูกจัดเตรียมระหว่าง คอมพิวเตอร์และ PLC ผ่านทาง OPC Server ในโครงสร้างฮาร์ดแวร์ เครือข่าย Profibus จะถูก จัดเตรียมระหว่างโมดูล Profibus ในตัวแปลงความถี่และโมดูล Profibus (Master) ที่เชื่อมต่อกับ PLC ด้วยความช่วยเหลือของอินเทอร์เฟซคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้น การควบคุมและการตรวจสอบจะ ดำเนินการผ่านคอมพิวเตอร์ ผู้ใช้จะเลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำตามค่าความเร็วอ้างอิงที่ป้อนด้วย อินเทอร์เฟซ การเปลี่ยนแปลงในพารามิเตอร์ของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงความเร็วที่เห็นใน รูปที่ 2.15 จะถูกตรวจสอบในอินเทอร์เฟซคอมพิวเตอร์ การทำงานทั้งหมดจะดำเนินการในโครงสร้าง ควบคุมแบบเปิด



รูปที่ 2.15 พารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

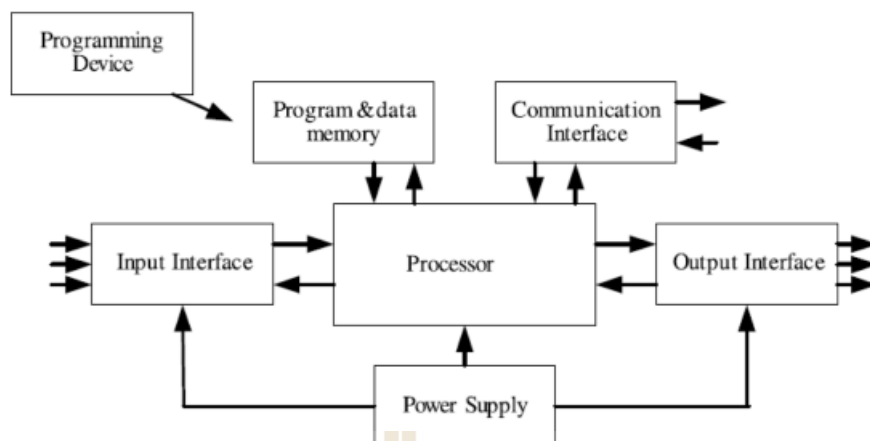
รูปที่ 2.16 ระบบทั้งหมดประกอบด้วยหน่วยที่แตกต่างกันสามหน่วย ส่วนแรกคือด้าน คอมพิวเตอร์ โปรแกรม TIA Portal ถูกใช้เพื่อสร้างซอฟต์แวร์ควบคุมสำหรับ PLC และกำหนดค่าการ ตั้งค่าฮาร์ดแวร์ที่จำเป็น โปรแกรมควบคุมติดตั้งบน PLC ที่มีพอร์ตสื่อสารพร้อมข้อต่อ RJ45 OPC Server ถูกใช้เพื่อเปิดใช้งานการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์และ PLC พารามิเตอร์มอเตอร์

ที่อ่านใน PLC จะถูกถ่ายโอนไปยัง OPC Server ในรูปแบบตัวแปร ตัวแปรที่ถ่ายโอนจะถูกแสดงภาพ โดยทำให้เข้าใจได้ในโปรแกรมอินเทอร์เฟซ Profi-Lab ส่วนที่สองประกอบด้วย PLC โมดูลหลัก Profibus-DP และโมดูลรอง Profibus-DP ส่วนสุดท้ายประกอบด้วยตัวแปลงความถี่และอินดักชันมอเตอร์ ตัวแปลงความถี่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.16 แผนผังการกำหนดค่าของระบบ

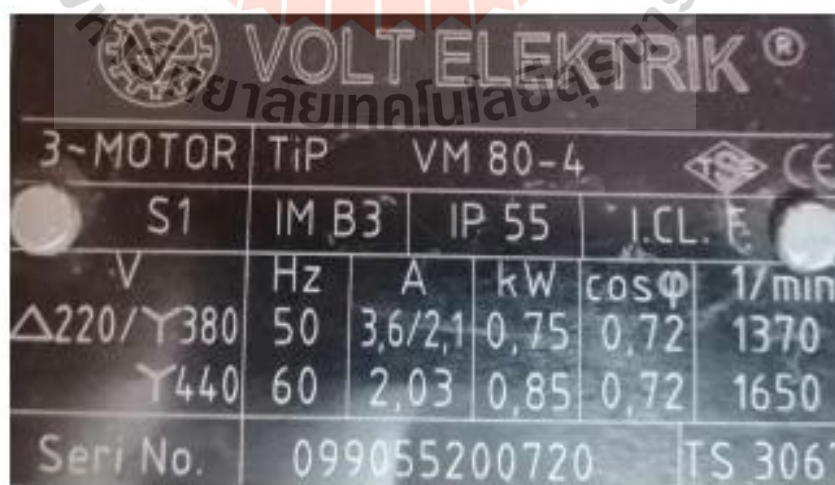
PLC เป็นส่วนประกอบควบคุมพื้นฐานของระบบ ส่วนประกอบนี้ประกอบด้วยโปรเซสเซอร์กลาง หน่วยความจำ แหล่งจ่ายไฟ ส่วนต่อประสานอินพุต/เอาต์พุต ส่วนต่อประสานการสื่อสาร และอุปกรณ์การเขียนโปรแกรม ในรูปที่ 2.17 จะแสดงแผนผังบล็อกซึ่งแสดงส่วนประกอบหลักของ PLC ในการศึกษา ใช้ PLC ของ Siemens รุ่น S7 1200 Series PLC นี้มีอินพุต/เอาต์พุตดิจิทัล 13 รายการ อินพุตอะนาล็อก 2 รายการ และโครงสร้างที่ขยายได้



รูปที่ 2.17 โครงสร้างพื้นฐานของ PLC

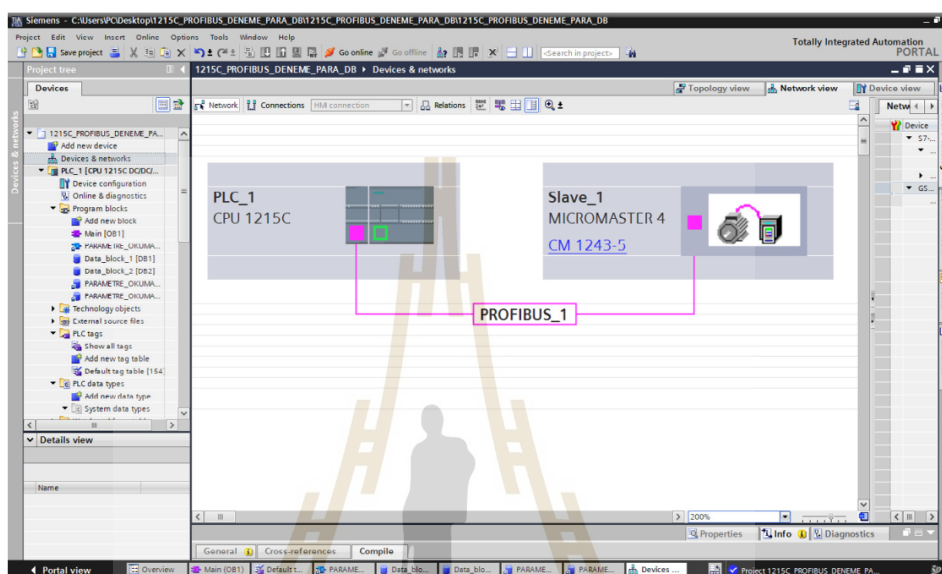
โมดูล Siemens CM 1243-5 เชื่อมต่อกับ PLC เพื่อรับคุณสมบัติ Profibus-DP (Master) โมดูล Profibus-DP (Slave) ที่เข้ากันได้กับตัวแปลงความถี่ใช้เพื่อสร้างโครงสร้างการสื่อสาร Master/Slave ของระบบ โมดูลนี้ให้การสื่อสารกับโมดูล Master ที่เชื่อมต่อกับ PLC และพารามิเตอร์มอเตอร์จะดำเนินการแบบสองทิศทางผ่านเครือข่ายนี้

แผ่นแสดงพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ในแอปพลิเคชันจะแสดงอยู่ในรูปที่ 2.18 มอเตอร์เหนี่ยวนำทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ โดยต่อกับ Wye และทำงานแบบไม่มีโหลด ระหว่าง 0-1,370 รอบต่อนาที มอเตอร์ควบคุมด้วยตัวแปลงความถี่ในช่วงความถี่ 0-50 เฮิร์ตซ์ ข้อมูลฉลากของมอเตอร์จะแสดงบนอินเทอร์เฟซผู้ใช้กับตัวแปลงความถี่โดยอัตโนมัติ



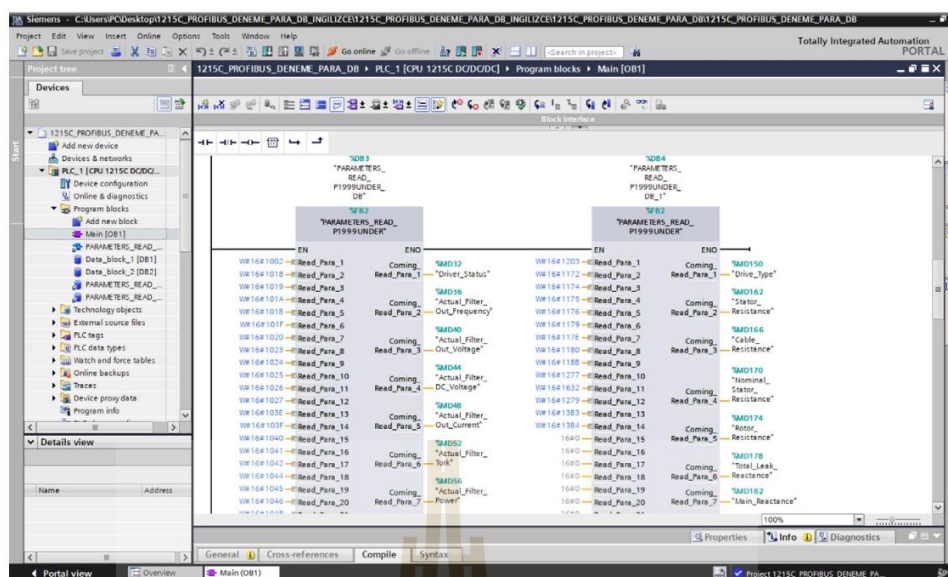
รูปที่ 2.18 เนมเพลตมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ซอฟต์แวร์ควบคุม PLC ได้ถูกเตรียมไว้ใน TIA Portal จำเป็นต้องกำหนดค่าโครงสร้างของฮาร์ดแวร์ระบบในคอมพิวเตอร์ และจัดเตรียมการสื่อสารด้วยซอฟต์แวร์ที่กำหนดค่าไว้ แผนผังบล็อกซึ่งแสดงการสื่อสารกับ Profibus-DP (Slave) ซึ่งตั้งอยู่ในตัวแปลงความถี่บนเครือข่าย Profibus และด้วยเหตุนี้ด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้โมดูล PLC Profibus-DP (Master) ดังแสดงในรูปที่ 2.19



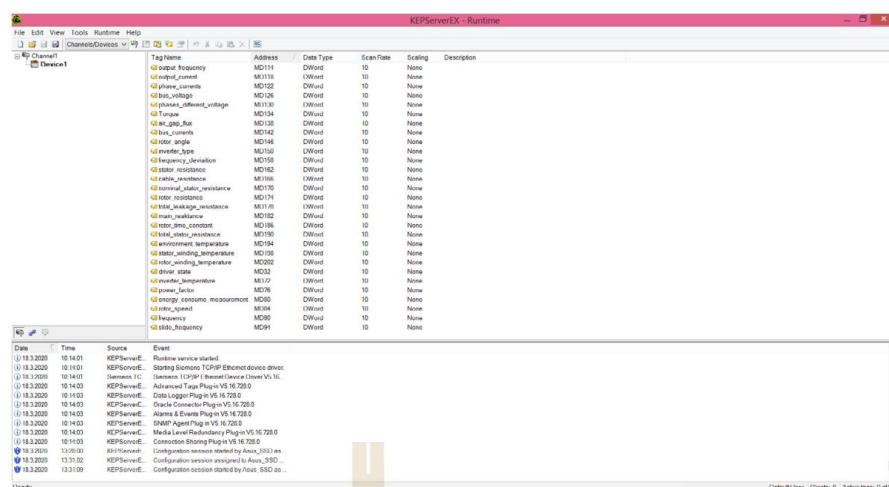
รูปที่ 2.19 การกำหนดค่าฮาร์ดแวร์ในแพลตฟอร์มพอร์ท TIA

พารามิเตอร์ของตัวแปลงความถี่จะถูกเก็บไว้ที่ที่อยู่รีจิสเตอร์ในอุปกรณ์ ข้อมูลในที่อยู่เหล่านี้จะได้รับโดยใช้คำจำกัดความในรูปแบบที่ระบุโดย Siemens และพารามิเตอร์ของมอเตอร์จะมีความหมายด้วยบล็อกโค้ดที่เตรียมไว้โดยใช้ไดอะแกรมแบบเลดเดอร์ บล็อกโค้ดที่สร้างขึ้นเหล่านี้จะเห็นได้ในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 โครงสร้างโปรแกรมของระบบ

โปรแกรม KEPServerEx OPC Server มอบการไหลของข้อมูลแบบสองทิศทางในสื่อคอมพิวเตอร์ที่มี PLC KEPServerEx OPC Server ได้รับความนิยมในการใช้งานเนื่องจากมอบแหล่งข้อมูลอุตสาหกรรมเดียวให้กับอุปกรณ์อัตโนมัติ เครื่องจักร และแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ทั้งหมด รวมถึงจำนวนแท็กที่ไม่จำกัด ข้อดีอีกประการหนึ่งของ Kepware OPC Server คือเมื่อจำนวนแท็กเพิ่มขึ้นใน OPC Server อื่น เช่น Siemens OPC Server ความเร็วในการอ่านและเขียนข้อมูลจะลดลง ในขณะที่ค่าความเร็วใน KEPServerEx OPC Server จะไม่เปลี่ยนแปลง โปรแกรมนี้ช่วยให้สามารถเชื่อมต่อ เชื่อมโยง และทำงานของอ็อบเจกต์ในการจัดการกระบวนการภายใต้หลังคาเดียวกันได้ เนื่องจากระบบการสื่อสารและโปรโตคอลที่ใช้ในระบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรมแตกต่างกันไปตามแต่ละแบรนด์ สามารถอ่าน จัดการ และส่งข้อมูลที่รวบรวมจากภาคสนามด้วย OPC Server ไปยังแหล่งที่ต้องการโดยใช้โครงสร้างพื้นฐานอินเทอร์เน็ต หลังจากกำหนดที่อยู่ที่จะควบคุมจากภายนอกในซอฟต์แวร์ PLC เป็นตัวแปรใน OPC Server แล้ว ที่อยู่เหล่านั้นจะถูกควบคุมด้วยอินเทอร์เฟซอัตราการถ่ายโอนข้อมูลในตัวแปรใน PLC ไปยัง OPC Server สามารถปรับระหว่าง 1 มิลลิวินาทีถึง 100 มิลลิวินาที ด้วยวิธีนี้ จึงสามารถควบคุมความเร็วในการอ่านและเขียนข้อมูลได้ รายการของตัวแปรที่สร้างใน OPC Server จะแสดงอยู่ในรูปที่ 2.21 ประเภทตัวแปรใน PLC และตัวแปรที่กำหนดไว้ใน OPC Server จะต้องเหมือนกัน เลือกความเร็วการอ่านและเขียน 10 มิลลิวินาทีสำหรับการถ่ายโอนข้อมูลไปยังสื่อคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.21 ตัวแปรที่ถูกสร้างขึ้นที่เซิร์ฟเวอร์ OPC

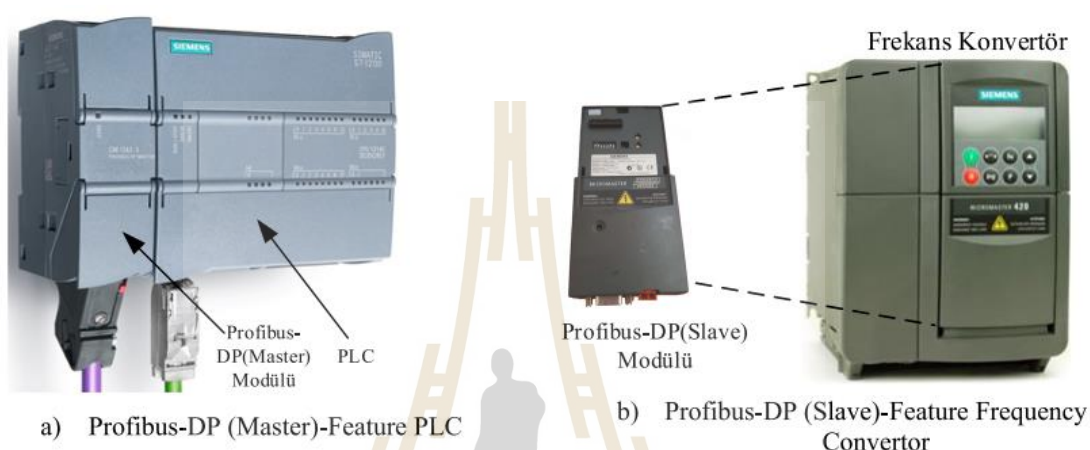
ในการศึกษาครั้งนี้ มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสถูกควบคุมผ่านเครือข่าย Profibus ด้วยตัวแปลงความถี่ เครือข่าย Profibus-DP ถูกสร้างขึ้นโดยใช้โมดูล Profibus-DP ซึ่งทำงานร่วมกับ Siemens CM-1243-5 Profibus-DP(Master) และตัวแปลงความถี่ได้ พารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะถูกถ่ายโอนไปยังสภาพแวดล้อม PLC โดยใช้เครือข่ายนี้ หรือในทางกลับกัน พารามิเตอร์ควบคุมจะถูกส่งไปยังมอเตอร์ ตัวแปลงความถี่ Siemens Micromaster 440 ใช้สำหรับกระบวนการควบคุมด้วยตัวแปลงความถี่ ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการเริ่มต้นสำหรับการควบคุมการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ พารามิเตอร์ของมอเตอร์จะรายงานไปยังตัวแปลงด้วยแผงผู้ใช้งานตัวแปลง และพารามิเตอร์ที่ป้อนจะถูกอ้างอิง

การตรวจสอบจะทำได้วิธีนี้ พารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำทั้ง 3 เฟส แรงดันไฟฟ้าเฟสไลน์ ค่ากระแสไฟฟ้า พารามิเตอร์กำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน พารามิเตอร์ประสิทธิภาพ และพารามิเตอร์ที่มองเห็นได้ แรงบิด ความเร็ว อุณหภูมิของขดลวดสเตเตอร์-โรเตอร์ มุมโรเตอร์ ฯลฯ จะได้รับจากตัวแปลงความถี่ การตรวจสอบและควบคุมพารามิเตอร์เหล่านี้สามารถทำได้ในอินเทอร์เฟซผู้ใช้ ผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วต่อพารามิเตอร์อื่นๆ จะเห็นได้ในรูปแบบกราฟิก

ระบบการสื่อสารประกอบด้วยสามส่วนหลัก ได้แก่ ด้านคอมพิวเตอร์ ด้าน PLC และเครือข่าย Profibus-DP มีการสื่อสารระหว่างอินเทอร์เฟซผู้ใช้ เซิร์ฟเวอร์ KEPServerEx OPC และเซิร์ฟเวอร์ OPC กับ PLC ในกระบวนการสื่อสารด้านคอมพิวเตอร์ อินเทอร์เฟซผู้ใช้ที่สร้างขึ้นในแพลตฟอร์ม Profi-Lab จะสื่อสารกับที่อยู่อินเทอร์เนตของ PLC บนเครือข่ายเดียวกันกับเซิร์ฟเวอร์ KEPServerEx OPC หลังจากสร้างการสื่อสารแล้ว ตัวแปรที่สร้างขึ้นในเซิร์ฟเวอร์ OPC จะเข้าถึงด้วยโครงสร้างลำดับชั้น Channel-Group-Device-Variable ในทางกลับกัน การสื่อสารระหว่าง

เซิร์ฟเวอร์ OPC และ PLC จะสร้างขึ้นบนเครือข่ายเดียวกันโดยใช้หมายเลข IP ที่แตกต่างกัน หลังจากพบ PLC S7-1200 ที่อยู่ IP ที่ระบุแล้ว การสื่อสารกับเซิร์ฟเวอร์ OPC จะถูกสร้างขึ้น

ส่วนที่สองคือด้าน PLC เนื่องจากผลิตภัณฑ์ PLC ของ Siemens ไม่มีคุณสมบัติ Profibus-DP ภายใน จึงได้คุณสมบัติ Profibus-DP โดยการใส่โมดูลเพิ่มเติมภายนอกเข้ากับ PLC ดังที่แสดงในรูปที่ 2.22 ในการดำเนินการนี้ ให้ใช้ Siemens CM-1243-5(Master)



รูปที่ 2.22 อุปกรณ์คุณลักษณะ Profibus-DP

โมดูลถูกแทรกเข้าไปใน PLC Siemens S7 1200 โมดูลที่เปิดใช้งานมาสเตอร์ช่วยให้สามารถควบคุมและตรวจสอบได้สองทาง โมดูลนี้จะสื่อสารกับโมดูล Profibus-DP (สเลฟ) ของตัวแปลงความถี่ ถึงแม้ว่าการสื่อสารจะเกิดขึ้นโดยมีอุปกรณ์สูงสุด 127 ชิ้นในโมดูลมาสเตอร์ แต่ระบบจะแจ้งข้อมูลว่ามีอุปกรณ์เพียงชิ้นเดียวในเครือข่ายโดยการใส่ตัวต้านทานเทอร์มินัลในช่องเกิดการสื่อสาร เนื่องจากมีโมดูลเพียงชิ้นเดียวในระบบ

การตั้งค่าการทดลองเพื่อใช้งานระบบแสดงไว้ในรูปที่ 2.23 แหล่งจ่ายไฟ DA 24 V ถูกใช้เพื่อจ่ายพลังงานให้กับโครงสร้างฮาร์ดแวร์ โมดูล Profibus ได้รับการเพิ่มไว้ภายนอก PLC พลังงานถูกถ่ายโอนไปยังมอเตอร์ในลักษณะที่ควบคุมได้ผ่านตัวแปลงความถี่เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำมีคุณสมบัติการจ่ายพลังงานแบบสามเฟส โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของการสื่อสาร Profibus แบบมาสเตอร์/สเลฟระหว่าง PLC และตัวแปลงความถี่แสดงไว้ในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การตั้งค่าการทดลองเพื่อการประยุกต์ใช้ระบบ

PKW (Parameter Identifier Value) ใช้เพื่อเปลี่ยนแปลงหรือตรวจสอบพารามิเตอร์ในตัวแปลงความถี่ PZD (Process Data Area) ในทางกลับกันใช้เพื่อรับบิตควบคุม การปรับเปลี่ยน บิตสถานะ และค่าจริง PKW และ PZD แสดงพารามิเตอร์การกำหนดค่าของตัวแปลงความถี่ตามที่แสดงในรูปที่ 2.24

PKW				PZD									
PKE	IND	PWE		PZD1 STW1 ZSW1	PZD2 HSW HIW	PZD3	PZD4	PZD5	PZD6	PZD7	PZD8	PZD9	PZD10
1 st word	2 nd word	3 rd word	4 th word	1 st word	2 nd word	3 rd word	4 th word	5 th word	6 th word	7 th word	8 th word	9 th word	10 th word
440/													
430:													
Max.													
Max.													

PKW:	Parameter identifier value	IND:	Index	ZSW:	Status word 1
PZD:	Process data	PWE:	Parameter value	HSW:	Main setpoint
PKE:	Parameter identifier	STW:	Control word 1	HIW:	Main actual value

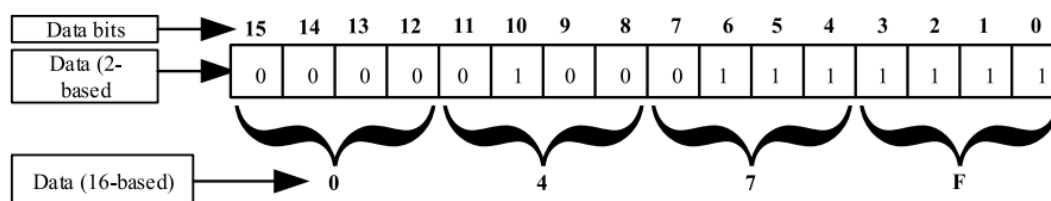
รูปที่ 2.24 เครื่องบันทึกกระบวนการในตัวแปลงความถี่

ที่อยู่ควบคุม STW ใช้เพื่อกำหนดค่าการตั้งค่าของตัวแปลงความถี่ และประกอบด้วยพื้นที่ 16 บิต ความหมายเมื่อแต่ละบิตเป็น 1 หรือ 0 แสดงอยู่ในตาราง 4 ข้อมูลที่ได้รับในฐานะ 2 จะถูกแปลงเป็นระบบตัวเลข 16 จุด จากนั้นจึงส่งจาก PLC ไปยังตัวแปลงความถี่ผ่าน Profibus เครือข่าย เป็นผลให้เครื่องแปลงความถี่พร้อมที่จะทำงาน

ตารางที่ 2.3 เนื้อหาที่อยู่ควบคุม STW

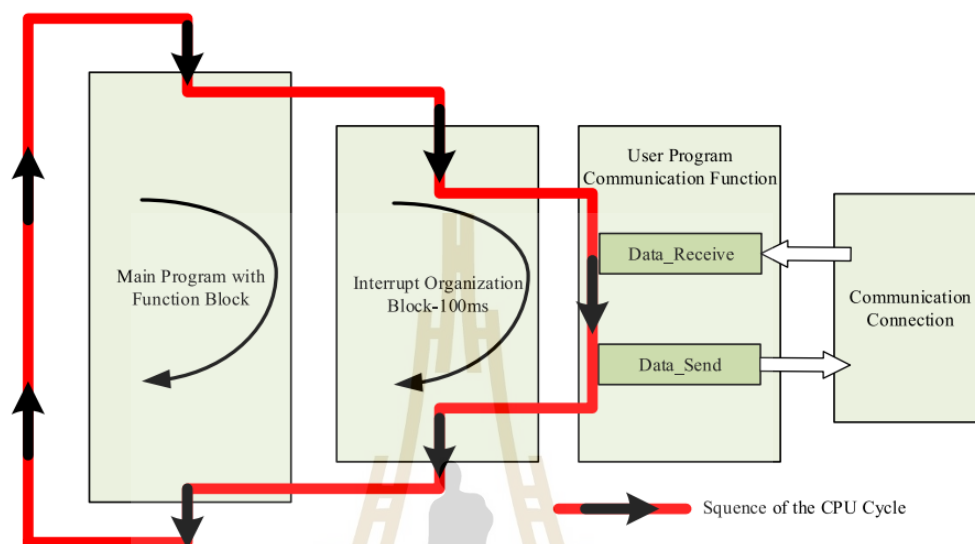
Bit	Value	Meaning	Explanation
0	1	ON	Frequency convertor start/stop
	0	OFF1	
1	1	Conditional operation	Ramp-stop
	0	OFF2	
2	1	Conditional operation	Emergency stop
	0	OFF3	
3	1	Operation active	Frequency convertor active/passive
	0	Operation passive	
4	1	Conditional operation	Ramp function activation/passivation in brake work
	0	Ramp function passive	
5	1	Ramp function active	Activation/passivation of ramp function
	0	Ramp function passive	
6	1	Adjustments active	Activate/passive sending ramp function value
	0	Adjustments passive	
7	1	Accept the error	In case of error, activate/passive frequency convertor.
	0	Do not accept the error	
8	1	Clockwise	Define the motor rotation direction as clockwise
	0	-	
9	1	Counter-clockwise	Define the motor rotation direction as counter-clockwise
	0	-	
10	1	Adjustments valid	Activate/Passive sending speed value
	0	Adjustments invalid	
11	1	Adjustments approved	Motor rotation direction approval
	0	Adjustments not approved	
12	1	Protected	-
	0	-	
13	1	Protected	-
	0	-	
14	1	Protected	-
	0	-	
15	1	Protected	-
	0	-	

ในข้อมูลที่ให้ไว้ในตารางที่ 4 เรามั่นใจว่าการตั้งค่าคอนฟิกเรชั่นของตัวแปลงความถี่จะถูกส่งไปยังตัวแปลงความถี่จากหน่วยควบคุมหลังจากได้รับข้อมูลในระบบ 2 หลัก (รูปที่ 2.25) และแปลงเป็นระบบ 16 หลัก ด้วยวิธีนี้ การทำงานของตัวแปลงความถี่จะได้รับการอนุมัติ และจะเริ่มทำงานที่ค่าความเร็วอ้างอิงเริ่มต้น ผู้ใช้สามารถดูการเปลี่ยนแปลงของความเร็วของมอเตอร์ได้โดยการป้อนความเร็วอ้างอิง



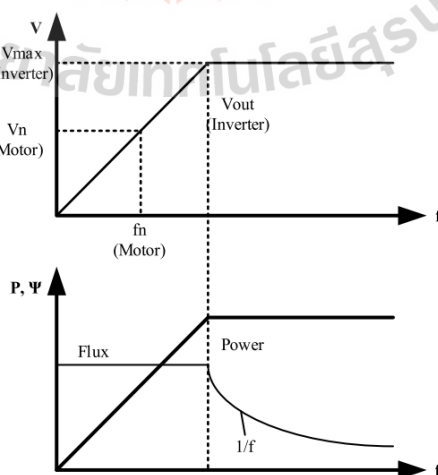
รูปที่ 2.25 ข้อมูลการทำงานของตัวแปลงความถี่

ในรูปที่ 2.26 แสดงแผนผังกระแสงานของซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้นสำหรับ PLC ตามแผนผังกระแสงาน โปรแกรมหลักจะควบคุมซอฟต์แวร์ทั้งหมด โปรแกรมหลักประกอบด้วยบล็อกฟังก์ชันและดำเนินการส่ง/รับข้อมูลทุก ๆ 100 มิลลิวินาทีโดยมีเวลาตรอบ

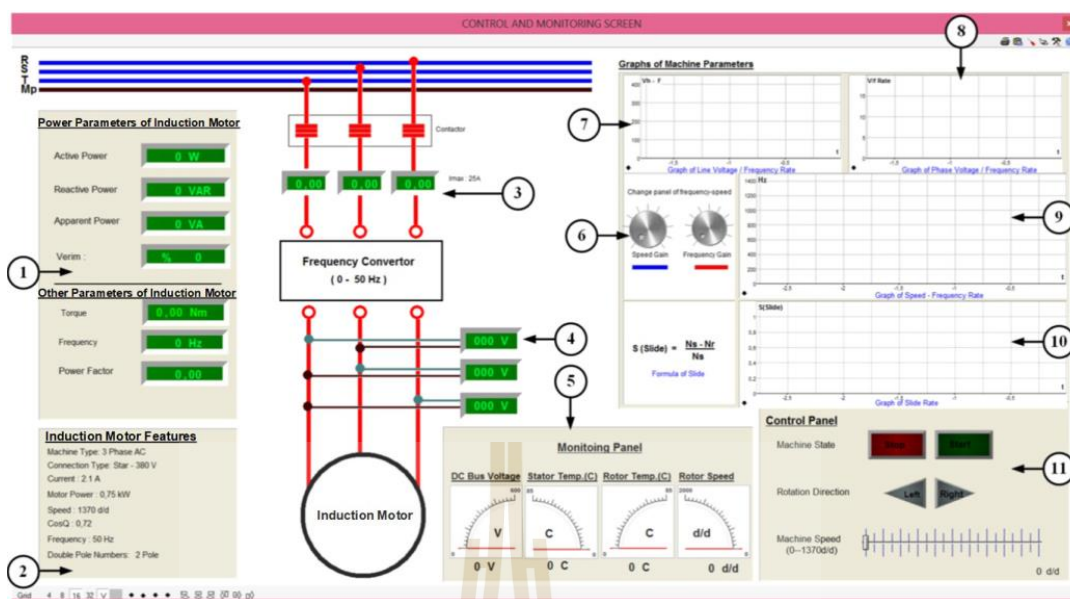


รูปที่ 2.26 แผนภาพลำดับการไหลใน CPU

ตามที่ได้เห็นในรูปที่ 2.27 แรงดันไฟฟ้าขาออกสูงสุดของอินเวอร์เตอร์ขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า มอเตอร์จะเร่งความเร็วขึ้นจนถึงแรงดันไฟฟ้าขาออกสูงสุดโดยรักษาอัตรา V/f ให้คงที่ และเมื่อแรงดันไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์สูงสุด กำลังไฟฟ้าก็จะคงที่



รูปที่ 2.27 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาออกของอินเวอร์เตอร์และกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 2.28 อินเทอร์เฟซผู้ใช้

ในรูปที่ 2.28 จะเห็นอินเทอร์เฟซผู้ใช้ที่เตรียมไว้บนแพลตฟอร์ม Profi-Lab แท็กจะถูกวางไว้บนอินเทอร์เฟซเพื่ออธิบายงานของแต่ละส่วน งานของแต่ละส่วนโดยใช้แท็กเหล่านี้จะอธิบายไว้ด้านล่าง อินเทอร์เฟซนี้ใช้งานง่ายในแง่ของภาพและการใช้งาน ทั้งการควบคุมและการตรวจสอบจะดำเนินการผ่านอินเทอร์เฟซ บล็อกโค้ดใช้เพื่อควบคุมและตรวจสอบการทำงาน ค่าเพลตสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำจะถูกนำไปยังอินเทอร์เฟซโดยอัตโนมัติจากตัวแปลงความถี่ที่แสดงเป็นแท็ก 2 บนอินเทอร์เฟซ

รูปที่ 2.28 พารามิเตอร์เหล่านี้จะถูกป้อนลงในตัวแปลงความถี่ก่อนเพื่อกำหนดค่า ค่าพลังงานที่ใช้งาน พลังงานตอบสนอง และพลังงานที่มองเห็นได้ รวมถึงพารามิเตอร์ผลผลิตของระบบมอเตอร์จะถูกวัดในส่วนที่แสดงด้วยแท็ก 1 ผลผลิตของระบบถูกวัดที่ได้จากการใช้สูตรในสมการ (1)

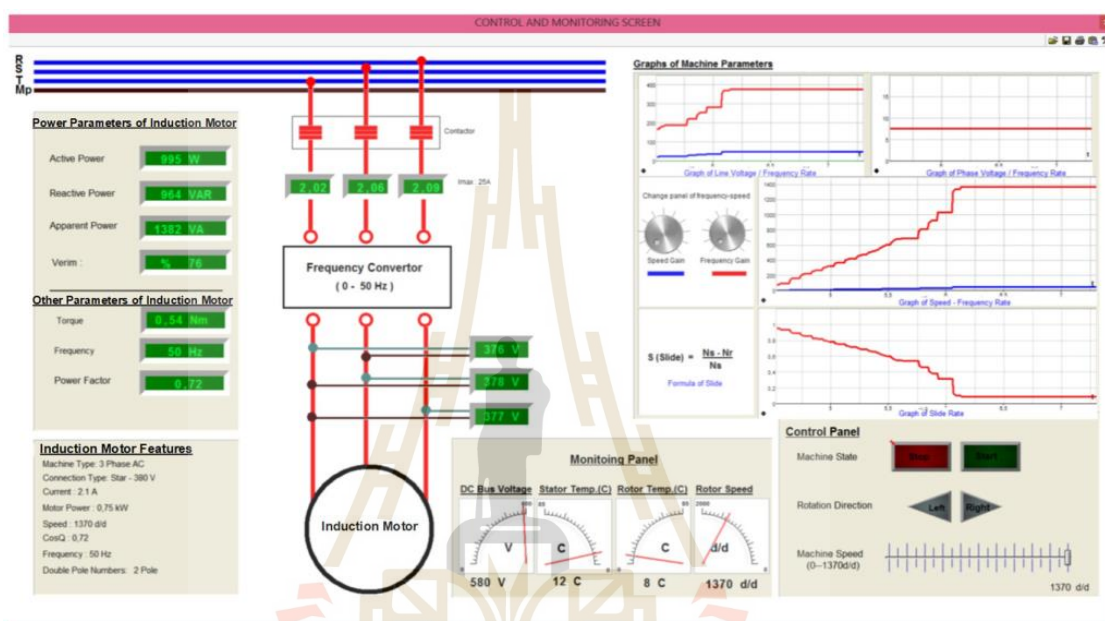
$$\text{ผลผลิต} = (\text{Poutput}/\text{Pinput}) * 100 \rightarrow (1)$$

ค่ากระแสไฟฟ้าสามเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ดึงมาจากเครือข่ายจะถูกวัดในส่วนที่แสดงด้วยแท็ก 3 ช่วงการวัดจะถูกตั้งไว้ที่ 0-30 A แรงดันไฟฟ้าคาระหว่างเฟสจะถูกวัดใน Label 4 ใน Tag 5 จะแสดงค่าแรงดันบัส อุณหภูมิของสเตเตอร์ อุณหภูมิของโรเตอร์ และพารามิเตอร์ความเร็วของโรเตอร์ของตัวแปลงความถี่ แท็ก 6 จะแสดงความเป็นไปได้ในการขยายหรือย่อการแสดงกราฟิกของพารามิเตอร์ความเร็วและความถี่ แท็ก 7 จะแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟเส้นกับความถี่ในการเปลี่ยนแปลงการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในเชิงกราฟิก ในทางกลับกัน แท็ก 8 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของแรงดันเฟสและความถี่ ในแท็ก 9 จะแสดงเส้นโค้งความเร่งระหว่าง 0-50 เฮิร์ตซ์ แท็ก 10 จะแสดงความแตกต่างระหว่างความเร็วของสนามหมุนของสเตเตอร์

และความเร็วของสนามโรเตอร์ หรืออีกนัยหนึ่งคือ สลิป สลิปจะถูกคำนวณโดยใช้สมการ (2) และตรวจสอบโดยการอ่านค่าที่อยู่ของตัวแปลงความถี่

$$S(\text{สลิป}) = (N_s - N_r)/N_s \rightarrow (2)$$

ในที่สุดกระบวนการควบคุมมอเตอร์ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ การทำงานของมอเตอร์ ซึ่งจะหมุนไปในทิศทางใด และความเร็วของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงโดยแท็ก 11 ที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.29 อินเวอร์เตอร์เฟสผู้ใช้เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำหมุนด้วยความเร็ว 1,370 รอบ/เมตร

พฤติกรรมของพารามิเตอร์มอเตอร์เมื่อทำงานที่ความเร็วมอเตอร์ 1370 รอบ/นาทีในอินเวอร์เตอร์เฟสผู้ใช้จะแสดงในรูปที่ 2.29 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะเห็นได้ทั้งในรูปแบบกราฟิกและดิจิทัล พารามิเตอร์ป้ายกำกับของมอเตอร์จะอ่านได้โดยตรงจากข้อมูลที่ป้อนในที่อยู่รีจิสเตอร์ของตัวแปลงความถี่ ค่าความเร็วจะเห็นได้ในรูปแบบกราฟิกในแท็ก 10 เมื่อมอเตอร์หมุนเฉยๆ ในช่วงความเร็วระหว่าง 0 ถึง 1370 รอบ/นาที จะเห็นได้ในแท็ก 9 ว่าอัตราส่วน V/f คงที่ ในขณะที่การควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำดำเนินการด้วยตัวแปลงความถี่ นอกจากนี้ยังเห็นได้จากแท็ก 7 ว่าเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น แรงดันระหว่างสายของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างค่อยเป็นค่อยไปเนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำดึงกระแสไฟฟ้ามากขึ้นที่รอบการหมุนต่ำ สังเกตได้ในแท็ก 5 ว่าอุณหภูมิของโรเตอร์และอุณหภูมิของขดลวดสเตเตอร์เพิ่มขึ้นสูง และอุณหภูมิจะลดลงเมื่อมอเตอร์ถึงความเร็วที่กำหนด ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน ปฏิกริยา ค่าที่มองเห็นได้ ค่าสัมประสิทธิ์กำลังไฟฟ้าความถี่ และค่าแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมองเห็นได้ในรูปแบบดิจิทัลในแท็ก 1 และ 2

จากค่าเพลทของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะเห็นได้ว่าส่วนต่อประสานคอมพิวเตอร์ขณะหมุนด้วยความเร็วปกติจะแสดงไว้ในรูปที่ 2.29 ดังนั้น คุณสมบัติของมอเตอร์ในส่วนต่อประสานกับผู้ใช้จึงถูกถ่ายโอนไปยังส่วนต่อประสานผ่านตัวแปลงความถี่ ค่าการวัดทันทีของพารามิเตอร์เครื่องยนต์จะแสดงไว้ในส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ทั้งในรูปแบบกราฟิกและตัวเลข ผลของการเปลี่ยนความเร็วของมอเตอร์จะเห็นได้จากส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ในส่วนของการกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ความถี่ อุณหภูมิของสเตเตอร์และโรเตอร์ แรงบิด แฟกเตอร์กำลังไฟฟ้า สลิป พารามิเตอร์ประสิทธิภาพพลังงานแบบแอกทีฟ-รีแอกทีฟ-ที่ปรากฏของมอเตอร์ และพฤติกรรมของมอเตอร์

จากการศึกษา จะเห็นว่าอัตราส่วน V/f เป็นค่าคงที่ ความเร็วและความถี่ของมอเตอร์เป็นสัดส่วนโดยตรง และความเร็วของมอเตอร์และสลิปเป็นสัดส่วนผกผันกัน

การตรวจสอบและควบคุมพารามิเตอร์ไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำจากสื่อคอมพิวเตอร์ด้วยการสื่อสาร Profibus-DP และไม่ใช่ฮาร์ดแวร์เพิ่มเติมได้รับการดำเนินการสำเร็จแล้ว

ในการศึกษานี้ซึ่งได้ดำเนินการแล้ว วิธีการสื่อสาร Profibus ซึ่งเป็นวิธีเก่าเมื่อเทียบกับวิธีการสื่อสารแบบใหม่ได้ถูกนำมาพัฒนาให้สามารถทำงานร่วมกับระบบใหม่ได้อย่างสอดคล้องประสานผ่านซอฟต์แวร์อะแดปเตอร์ นอกจากนี้ ไดรเวอร์มอเตอร์แบบเก่ายังได้รับการดัดแปลงอีกด้วยต่อระบบที่มีอยู่โดยเพิ่มความสามารถในการสื่อสาร Profibus ความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยของระบบได้รับการเพิ่มขึ้นนอกเหนือจากการมีส่วนสนับสนุนทางเศรษฐกิจโดยให้การสื่อสารและการปรับซอฟต์แวร์ให้เข้ากับระบบไดรเวอร์มอเตอร์แบบเก่า ดังนั้น การวัดและสายเคเบิลที่ยู่งเหยิงจึงถูกกำจัดโดยการอ่านพารามิเตอร์ทั้งหมดของมอเตอร์เหนี่ยวนำผ่านเครือข่ายการสื่อสาร

สอดคล้องกับประโยชน์ของการวิเคราะห์ระบบ ระบบปฏิบัติการในโรงงานหรือในสาขาการผลิตอื่น ๆ ได้รับการปรับปรุงให้ทันสมัยด้วย PLC วิธีการสื่อสาร และโซลูชันอัตโนมัติที่ใช้ SCADA และมั่นใจได้ว่าระบบควบคุมของผู้ปฏิบัติงานได้ถูกแทนที่ด้วยการตรวจสอบที่เป็นกลาง

ตัวแปลงความถี่ที่ต้องการเป็นของรุ่นก่อนหน้าและซอฟต์แวร์อะแดปเตอร์ที่พัฒนาขึ้นถูกผสานเข้ากับแพลตฟอร์มรุ่นถัดไป ด้วยวิธีนี้ จึงทำให้สะดวกยิ่งขึ้นในการแก้ไขระบบด้วยซอฟต์แวร์อะแดปเตอร์ นอกจากนี้ ซอฟต์แวร์อะแดปเตอร์ยังมีความสำคัญอย่างยิ่งในแง่ของการควบคุมและการตรวจสอบย้อนกลับในขอบเขตของอุตสาหกรรม 4.0

เนื่องจากการขยายระบบที่สื่อสารโดยใช้เครือข่าย Profibus ในภายหลังจะไม่มีผลกระทบต่อระบบที่ทำงานอยู่แล้ว จึงไม่ทำให้เกิดต้นทุนเพิ่มเติมในแง่ของความสามารถของระบบและการอัปเดตฮาร์ดแวร์

ด้วยการทำงานที่ทำได้ ข้อมูลจะถูกแลกเปลี่ยนระหว่างระบบที่มีคุณลักษณะการสื่อสาร Profibus และระบบที่มีคุณลักษณะการสื่อสาร ProfiNET ในสภาพแวดล้อมคอมพิวเตอร์

ในการศึกษาในอนาคต วิธีการสื่อสาร (Canbus, Modbus เป็นต้น) สามารถนำมาใช้เพื่อควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำจากระยะไกลด้วยตัวแปลงความถี่ได้ วิธีการสื่อสารเหล่านี้สามารถเปรียบเทียบกันและเปิดเผยข้อดีข้อเสียได้

2.4 PLC – HMI ระบบอัตโนมัติแบบ Cascaded Fuzzy PID สำหรับการจัดการและจัดเก็บพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพแบบเรียลไทม์ของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบน้ำกลับ

โดยปกติแล้วโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบน้ำจะถูกนำมาใช้เพื่อสร้างสมดุลให้กับความต้องการโหลดในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน ในโครงการนี้ ได้มีการเสนอแผนงานควบคุมแบบ Cascaded Fuzzy PID (Proportional - Integral - Derivative) โดยใช้ PLC ระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม B&R (Bernecker & Rainer) - HMI (Programmable Logic Control - Human Machine Interface) สำหรับการจัดการและจัดเก็บพลังงานที่มีประสิทธิภาพในแบบเรียลไทม์ของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบน้ำ ในแผนงานนี้ ระดับฟัซซี่จะถูกต่อแบบ Cascaded ด้วย PID Flow เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน แบบจำลองต้นแบบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบน้ำที่มีอินพุตดิจิทัล 22 ตัวและเอาต์พุตคีย์ไฟฟ้า 14 ตัวถูกสร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมตัวแปรกระบวนการ การไหล และระดับ โดยใช้ PLC ทั่วไปและการควบคุม CFPID ที่เสนอ มีถึงสองถึงในต้นแบบ ถังล่างที่มีระดับ 2 ระดับและถังบนที่มีระดับ 5 ระดับ HMI ถูกใช้เพื่อตรวจสอบและดำเนินการกระบวนการแบบออนไลน์แบบเรียลไทม์เพื่อให้ควบคุมการทำงานได้ง่าย ในเอกสารฉบับนี้ แผนการควบคุม CFPID ที่ใช้ระบบอัตโนมัติของ PLC ที่เสนอนั้นได้รับการดำเนินการและสุดท้ายก็เปรียบเทียบกับ PLC ทั่วไปโดยใช้ผลการทดลองและตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้สถิติแบบเรียลไทม์ที่ได้จากโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบน้ำ

พลังงานไฟฟ้าพลังน้ำเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในการผลิตไฟฟ้า การผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขึ้นอยู่กับไหลที่มีอยู่และระดับความสูงที่ตกลงมา Rajeshwari et al เน้นที่การควบคุมพารามิเตอร์ที่แปรผันของกระบวนการ เช่น ระดับและการไหลด้วยการนำการควบคุมประตูของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบเรียลไทม์มาใช้โดยใช้ PLC King et al กล่าวถึงการพัฒนาแบบควบคุมของตัวควบคุมที่ใช้ระบบอนุมานฟัซซี่ (FIS) สำหรับโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบน้ำเก็บกัก Kerning Xie et al เสนอระบบควบคุมแบบคาสเคด PID ที่มีภูมิคุ้มกันฟัซซี่ใหม่ในระบบควบคุมอุณหภูมิไอน้ำร้อนจัด Tunyasirut et al อธิบายเกี่ยวกับตัวควบคุมแบบคาสเคด Fuzzy-PID เพื่อควบคุมระดับของถังแวนอน Gagan Singh et al อธิบายว่าจำเป็นต้องมีสัญญาณที่เหมาะสมในโรงไฟฟ้าพลังน้ำเพื่อควบคุมประตู ซึ่งอาจตอบสนองความต้องการของการเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างกะทันหันในปริมาณมาก รวมถึงรักษาความเร็วคงที่

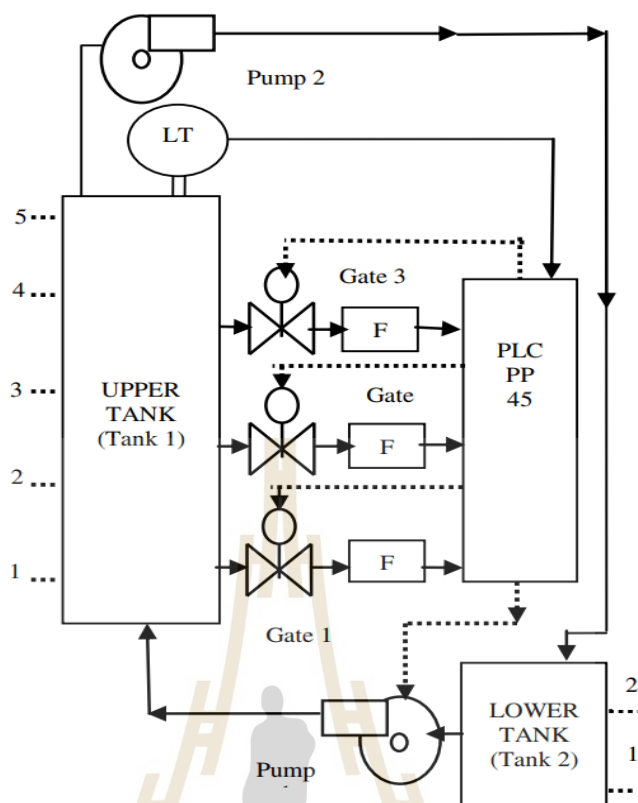
เพื่อเอาชนะความยากลำบากต่างๆ เช่น ความล่าช้าโดยธรรมชาติ ความไม่เชิงเส้นเนื่องจากความไม่แน่นอนของกระบวนการ และการเปลี่ยนแปลงโหลดบ่อยครั้งในรูปแบบการควบคุมที่มีอยู่ และด้วยเหตุนี้จึงปรับปรุงประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ จึงได้พัฒนารูปแบบการควบคุม CFPID ที่ใช้ PLC-HMI เอกสารนี้จัดโครงสร้างดังนี้ ส่วนที่ 2 กล่าวถึงโรงไฟฟ้าพลังน้ำและแบบจำลองต้นแบบ ส่วนที่ 3 กล่าวถึงรูปแบบทั่วไปสำหรับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ ส่วนที่ 4 อธิบายถึง CFPID ที่เสนอ ซึ่งเป็นรูปแบบการควบคุมการไหลแบบ PID ที่ต่อกันเป็นชั้นๆ ส่วนที่ 5 อธิบายถึงการแสดงภาพ PLC-HMI ส่วนที่ 6 กล่าวถึงผลการทดลองของรูปแบบทั่วไปและรูปแบบที่เสนอ ส่วนที่ 7 เป็นการสรุปและข้อสรุป

ในโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบน้ำ พลังงานจะถูกเก็บไว้โดยการสูบน้ำจากอ่างเก็บน้ำด้านล่างไปยังอ่างเก็บน้ำด้านบนในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานต่ำ และในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานสูงสุด น้ำที่เก็บไว้จะถูกใช้เพื่อสร้างและจัดการความต้องการพลังงาน ลำดับขั้นตอนที่ปฏิบัติตามในโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบน้ำด้วยไฟฟ้าพลังน้ำซึ่งนำไปปฏิบัติในแบบจำลองต้นแบบแสดงไว้ดังต่อไปนี้ เมื่อระดับน้ำในถังด้านล่างถึงระดับต่ำ บัม 1 จะถูกกระตุ้นและน้ำจะถูกส่งจากถังด้านล่างไปยังถังด้านบน ในถังด้านบน เมื่อระดับน้ำถึงระดับต่ำ บัม 1 จะถูกเปิดอีกครั้งและระดับน้ำจะเพิ่มขึ้นถึงระดับเฉลี่ย เมื่อระดับน้ำเกินระดับเฉลี่ย Gate จะได้รับอนุญาตให้เปิด

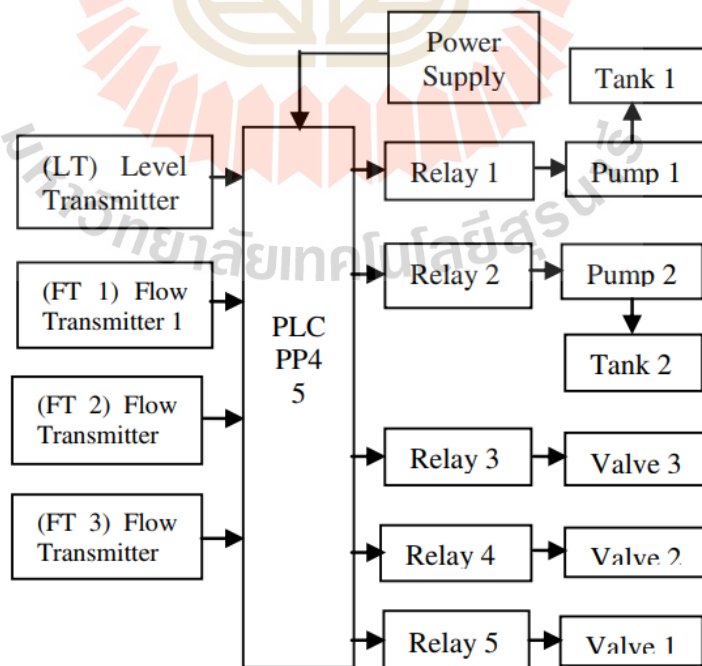
ในการทำงานเดียวกัน เมื่อระดับน้ำถึงระดับกลาง บัม 1 จะทำงานและน้ำจะขึ้นสูง เมื่อน้ำเพิ่มขึ้นเกินระดับกลาง เกต 1 และเกต 2 จะเปิดขึ้น และเมื่อระดับน้ำถึงระดับสูง เกต 1 เกต 2 และเกต 3 จะเปิดขึ้น เมื่อระดับน้ำเพิ่มขึ้นเกินระดับสูง บัม 2 จะทำงานและน้ำจะไหลกลับไปยังถังล่าง หากระดับน้ำถึงระดับสูงในถังล่างและเกินระดับอันตรายในถังบน เกต 1 เกต 2 และเกต 3 จะปิดและบัม 1 และ 2 จะถูกปิดเช่นกัน

รูปที่ 2.30 แสดงการทำงานของชุดทดลองในสเกลเล็ก โดยชุดทดลองต้นแบบประกอบด้วยถังล่าง 2 ระดับและถังบน 5 ระดับ ถังบน 5 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับปานกลาง ระดับกลาง ระดับสูง และระดับอันตราย ในขณะที่ถังล่าง 2 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำและระดับสูง แผนผังบล็อกของชุดทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 2.31 ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบฮาร์ดแวร์ ได้แก่ Programmable Logic Controller, FT-Flow transmitter, LT Capacitive level transmitter, Pumps and Valves โดยตรรกะแลตเตอร์จะถูกตั้งโปรแกรมตามเอาต์พุตของชุดทดลอง (LT) และตามตรรกะแลตเตอร์ที่ตั้งโปรแกรมไว้ บัมและการเปิดประตูเชื่อมจะถูกกระตุ้นที่ระดับที่เกี่ยวข้อง ชุดทดลองในสเกลเล็กจะทำงานตามลำดับที่แสดงไว้ ชุดทดลองในสเกลเล็กแสดงไว้ในรูปที่ 2.32

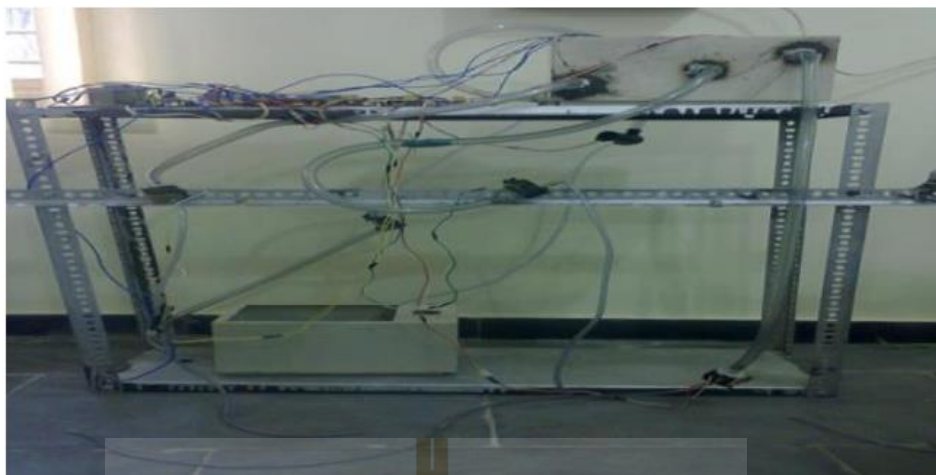
รูปที่ 2.33 แสดงส่วนประกอบฮาร์ดแวร์ของระบบ PLC ของ B&R ประกอบด้วยหน่วยประมวลผล (CPU) ส่วนหน่วยความจำ ส่วนอินพุต/เอาต์พุต หน่วยจ่ายไฟ อุปกรณ์การเขียนโปรแกรมและบัสระบบ รูปที่ 2.34 แสดงฮาร์ดแวร์ B&R โดยรวมพร้อมแหล่งจ่ายไฟ PLC โมดูลอินพุต/เอาต์พุต



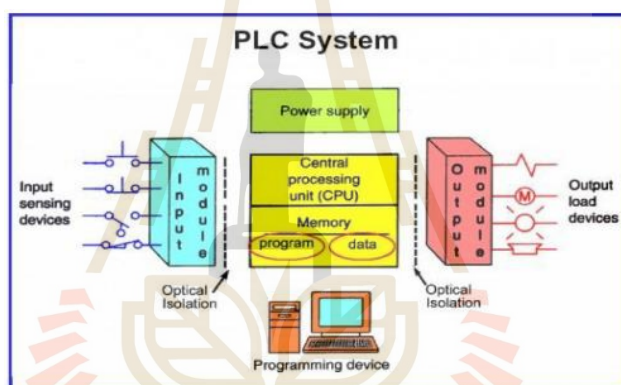
รูปที่ 2.30 การทำงานของโมเดลต้นแบบ



รูปที่ 2.31 แผนผังบล็อกของการตั้งค่าฮาร์ดแวร์



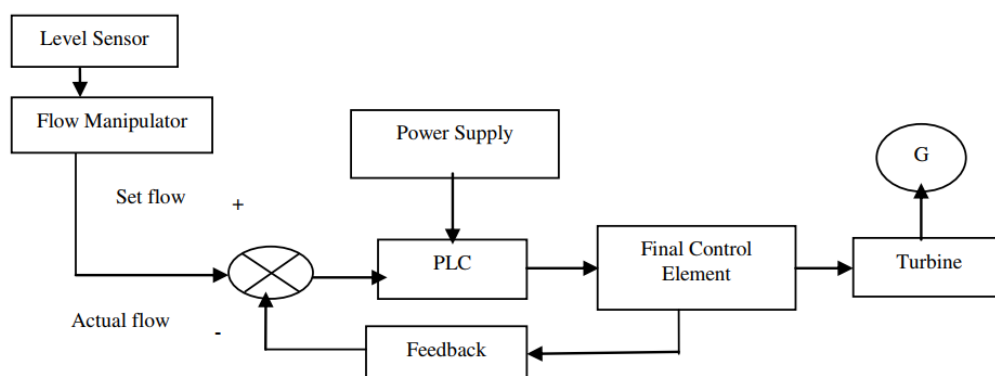
รูปที่ 2.32 การตั้งค่าการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 2.33 ระบบ PLC



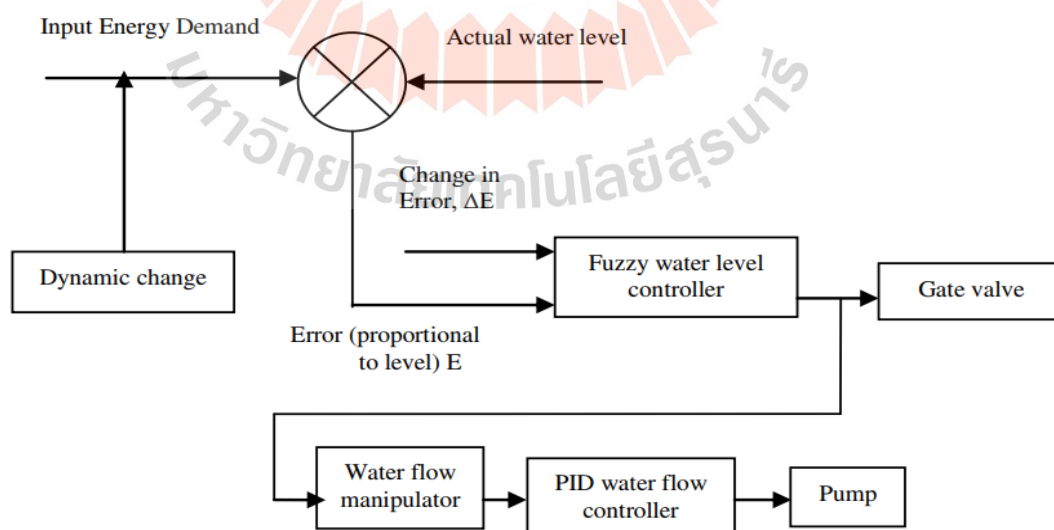
รูปที่ 2.34 การตั้งค่าฮาร์ดแวร์ PLC B&R



รูปที่ 2.35 แผนผังบล็อกสำหรับการควบคุมการไหลในโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบน้ำ

รูปที่ 2.35 แสดงแผนผังบล็อกสำหรับการควบคุมการไหลในโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบน้ำ ประตู (องค์ประกอบควบคุมขั้นสุดท้าย) จะเปิด/ปิดในโรงงานขึ้นอยู่กับระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำวัดโดยเซ็นเซอร์ระดับแบบคาปาซิทีฟ ค่าระดับจริงจะถูกควบคุมให้ถึงจุดตั้งค่าการไหลโดยใช้ตัวควบคุมการไหล การเปรียบเทียบระหว่างจุดตั้งค่าการไหลของน้ำกับการไหลจริงจะทำให้ขึ้น และข้อผิดพลาดจะถูกควบคุมโดย PLC ซึ่งจะให้ตัวแปรที่ควบคุมไปยังวาล์วประตู น้ำไหลออกจากวาล์วประตูจะถูกนำไปยังกังหัน

รูปที่ 2.36 แสดงรูปแบบการควบคุม Cascaded Fuzzy PID ที่ใช้ PLC ที่เสนอสำหรับการควบคุมการไหลและระดับ



รูปที่ 2.36 แผนผัง PID ฟัซซีแบบเรียงซ้อนที่ใช้ PLC

ในระหว่างการสตาร์ท พลังงานที่ได้รับจะตรงข้ามกับทิศทางการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งประตู เมื่อประตูเปิดกะทันหันเนื่องจากแรงเฉื่อยของน้ำ การไหลจะไม่เปลี่ยนแปลงทันที แต่แรงดันที่ไหลผ่านกั้นั้นจะลดลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้พลังงานลดลง เมื่อไหลเพิ่มขึ้นหรือลดลงกะทันหัน น้ำเร่งความเร็วขึ้นจนกระทั่งการไหลของน้ำถึงค่าสถานะคงที่ใหม่ เนื่องจากไหลที่เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างกะทันหัน การเปิด/ปิดประตูอาจจำกัดการเบี่ยงเบนของความเร็ว แต่จะสร้างความเสียหายให้กับเพลากั้น/เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หากต้องการให้ประตูทำงานช้าและราบรื่น เพื่อป้องกันความเสียหายประเภทนี้ ซึ่งจะนำไปสู่ความล่าช้าของไหลเนื่องจากการรับน้ำหนักต่ำของกั้น/เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความถี่จะลดลงด้วย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องได้รับ [3] สัญญาณที่เหมาะสม เพื่อใช้งานประตูที่ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงไหลอย่างกะทันหันและรักษาความเร็วคงที่ จึงได้ดำเนินการตามโครงสร้าง CFPID ของระบบอัตโนมัติ PLC HMI ที่เสนอ ด้วยวิธีนี้ การเปลี่ยนแปลงไหลเข้าและออกอย่างกะทันหันสูงสุดจะถูกประมาณ และระบุการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกันในตำแหน่งประตูโดยใช้โครงสร้างที่เสนอ การเปิดและปิดตำแหน่งประตูทำได้สามประเภท คือ การปิด/เปิดแบบขั้นบันไดสำหรับการเปลี่ยนแปลงกะทันหัน การปิด/เปิดแบบแรมป์สำหรับความเร็ว และการเปิด/ปิดแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลสำหรับความเร่ง

ตัวควบคุมระดับน้ำแบบฟัซซี่ควบคุมการไหลของน้ำไปยังกั้นผ่านวาล์วประตู อินพุตไปยังตัวควบคุมระดับน้ำแบบฟัซซี่คือค่าความผิดพลาด (ตามสัดส่วนของระดับ) ซึ่งได้มาจากความต้องการไหล ในขณะที่อินพุตไปยังตัวควบคุมการไหลของน้ำแบบ PID นั้นจะต่อกันกับเอาต์พุตของตัวควบคุมระดับน้ำแบบฟัซซี่ ตัวควบคุมระดับน้ำแบบฟัซซี่ที่ดำเนินการสำหรับโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบน้ำมีอินพุตสองค่าและเอาต์พุตหนึ่งค่า ความผิดพลาดและการเปลี่ยนแปลงในความผิดพลาดคืออินพุต และตำแหน่งของวาล์วคือเอาต์พุตควบคุม ตัวแปรตัวควบคุมในจักรวาลของการสนทนาแสดงเป็น E , ΔE และ U ตามลำดับ คำศัพท์ทางภาษา (VS =เล็กมาก; S =เล็ก; M =กลาง; L =ใหญ่; VL =ใหญ่มาก) จะถูกใช้ และฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสามเหลี่ยมจะถูกใช้เพื่อแสดงสัญลักษณ์ โดยใช้เมธอด Mamdani (ต่ำสุด-สูงสุด) ฐานกฎจะถูกตั้งโปรแกรมและกลไกการอนุมานจะถูกสั่งการให้ส่งสัญญาณเอาต์พุตไปยังตำแหน่งวาล์วเป็นองค์ประกอบควบคุมขั้นสุดท้าย ระบบ FLC ที่เสนอสำหรับตัวควบคุมระดับน้ำแบบฟัซซี่แสดงอยู่ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 พารามิเตอร์ FLC สำหรับตัวควบคุมการไหล

Parameters	Flow Control
Input variables	2
Fuzzy sets	5
Rules	17
Membership function	Triangular
Defuzzyfication method	Centroid

ในตัวควบคุมการไหลของน้ำแบบ PID สัญญาณควบคุม PID

$$U(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s\right) E(s)$$

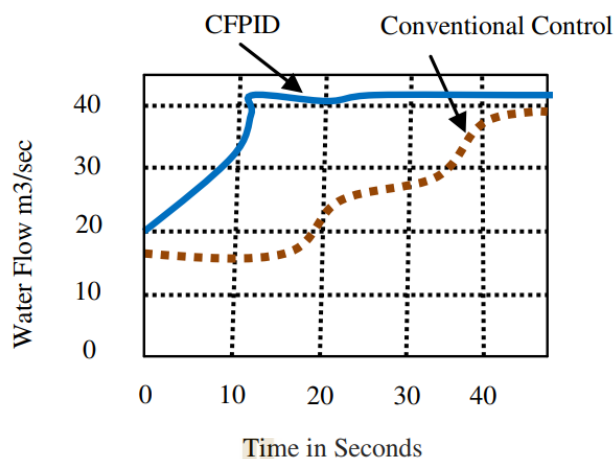
โดยที่ K_p แทนค่ากำไรตามสัดส่วน T_I แทนค่าเวลารวม และ T_D แทนค่าเวลาอนุพันธ์

$E(s)$ แทนสัญญาณข้อผิดพลาด และ $U(s)$ แทนสัญญาณควบคุม พารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ได้มาจากวิธีของ Ziegler Nichol จากการทดสอบออฟไลน์ที่ดำเนินการในแบบจำลองต้นแบบ สำหรับเงื่อนไขการเพิ่มและลดโหลดที่แตกต่างกันซึ่งเกี่ยวข้องกับข้อมูลเรียลไทม์ที่รวบรวมจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบน้ำ ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 2.5

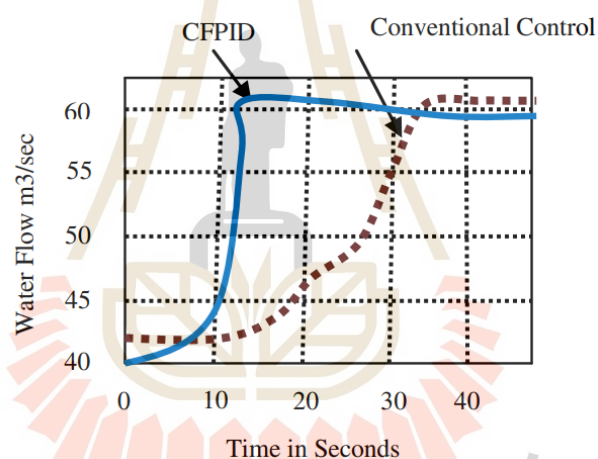
ตารางที่ 2.5 พารามิเตอร์ PID

Control loop	PID parameters		
	K_p	K_I	K_D
Flow Controller	1.89	1.0	0.01

ใน PLC - HMI จะมีการสร้างภาพขึ้นมาเพื่อออกแบบกระบวนการที่เป็นมิตรกับผู้ใช้และยังมีประโยชน์ในการติดตามกระบวนการที่กำลังดำเนินอยู่โดยการตรวจสอบบนหน้าจอ ด้วยความก้าวหน้าของหน้าจอสัมผัส อินพุตต่างๆ สามารถป้อนเข้าสู่ PLC ได้ และหากมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในข้อมูล ก็สามารถอัปเดตออนไลน์ได้เช่นกัน ในโมเดลต้นแบบนั้นมีวาล์ว 3 ตัวและปั๊ม 2 ตัว โดยจะระบุและแสดงผลใน HMI ตามการทำงาน



รูปที่ 2.37 โหลด 10 MW – 20 MW เกตที่ 1 เปิดเหนือระดับเฉลี่ย เซ็ตพอยต์ 20 - 40 ม3/วินาที



รูปที่ 2.38 โหลด 20 MW – 40 MW – เกต 2 เปิดที่ระดับกลาง ตั้งค่าจุด 40-60 m3/วินาที

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์การประเมินผลการปฏิบัติงาน

Control scheme	Control loop	Load 10MW-20MW		Load 20MW-40MW	
		ISE	IAE	ISE	IAE
Traditional Method	Water flow	9698	8990	9742	8928
CFPID	Water flow	7292	7354	7450	7143

ตารางที่ 2.7 การเปรียบเทียบข้อมูลจำเพาะโดเมนเวลา

Control scheme	Control loop	Load 10MW-20MW			Load 20MW-40MW		
		Rise time	Peak time	Setl time	Rise time	Peak time	Setl time
Traditional Method	Water flow	30	40	43	29	35	40
CFPID	Water flow	10	12	23	12	14	24

รูปที่ 3.37 และรูปที่ 3.38 แสดงผลการทดลองสำหรับการควบคุม CPID แบบเดิมและแบบที่เสนอในการเปิดประตู การประเมินโดยอิงตามเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพ เช่น ISE (Integral Square Error) และ IAE (Integral Absolute Error) สำหรับการเปลี่ยนแปลงโหลดต่าง ๆ ได้รับการวิเคราะห์ นอกจากนี้ การประเมินโดยอิงจากเวลาขึ้น เวลาสูงสุด และเวลาตกตะกอนสำหรับวิธีดั้งเดิมและรูปแบบ CPID ที่เสนอ ได้รับการวิเคราะห์สำหรับการเปลี่ยนแปลงโหลดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5 และตารางที่ 6 จากการวิเคราะห์ ชัดเจนว่าเวลาขึ้นตะกอนในวิธีดั้งเดิมนั้นมากกว่า เนื่องจากเวลาตาย และหลังจากเวลาตาย วาล์วประตูจะเปิดขึ้นทันที ทำให้เกิดแรงเฉื่อยของน้ำ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงการไหลในทันที ในขณะที่การใช้รูปแบบ CPID ที่เสนอนี้ สามารถกำหนดตำแหน่งประตูได้อย่างรวดเร็ว และควบคุมสัญญาณที่เหมาะสมจากตัวควบคุมเพื่อเปิดใช้งานประตู ซึ่งจะช่วยรักษาสสมดุลการเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างกะทันหัน และรักษาความเร็วคงที่ด้วยเวลาตกตะกอนที่น้อยลง

งานนี้เน้นที่การปรับปรุงประสิทธิภาพของโครงสร้างตัวควบคุม CPID โดยใช้ PLC-HMI แบบอัตโนมัติสำหรับการเปลี่ยนแปลงโหลดต่าง ๆ ระบบควบคุมแบบเดิมมีการตอบสนองเกิน 28% สำหรับการไหลของน้ำและจะคงที่หลังจากเพิ่มขึ้นประมาณ 72 ขั้นตอน โครงสร้างตัวควบคุมการไหลของน้ำ CPID แบบอัตโนมัติที่ใช้ PLC-HMI แสดงการตอบสนองแบบชั่วคราวและแบบไดนามิกที่น่าพอใจสำหรับการจัดเก็บและจัดการพลังงานโดยไม่มีการเกินมากนักและจะคงที่หลังจากเพิ่มขึ้นประมาณ 46 ขั้นตอนสำหรับการไหลของน้ำ จากการประเมินเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพ พบว่า CPID เพิ่มขึ้น 46% เมื่อเทียบกับวิธีการดั้งเดิมในการกำหนดเวลาคงที่สำหรับการไหลของน้ำ ดังนั้น CPID แบบอัตโนมัติที่ใช้ PLC-HMI ที่เสนอจึงส่งผลให้มีค่า ISE และ IAE น้อยที่สุดสำหรับการเปลี่ยนแปลงความต้องการโหลดที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงถึงการเพิ่มขึ้น 22% สำหรับการไหลของน้ำเมื่อประเมินโดยใช้วิธีการดั้งเดิม ในที่สุด จากการประเมินทางสถิติ พบว่าระบบควบคุม CPID ที่ใช้ระบบอัตโนมัติแบบ PLC - HMI แสดงให้เห็นถึงความเหนือกว่าวิธีการดั้งเดิมในการจัดการและจัดเก็บพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในแบบเรียลไทม์ของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบเก็บพลังงาน

บทที่ 3

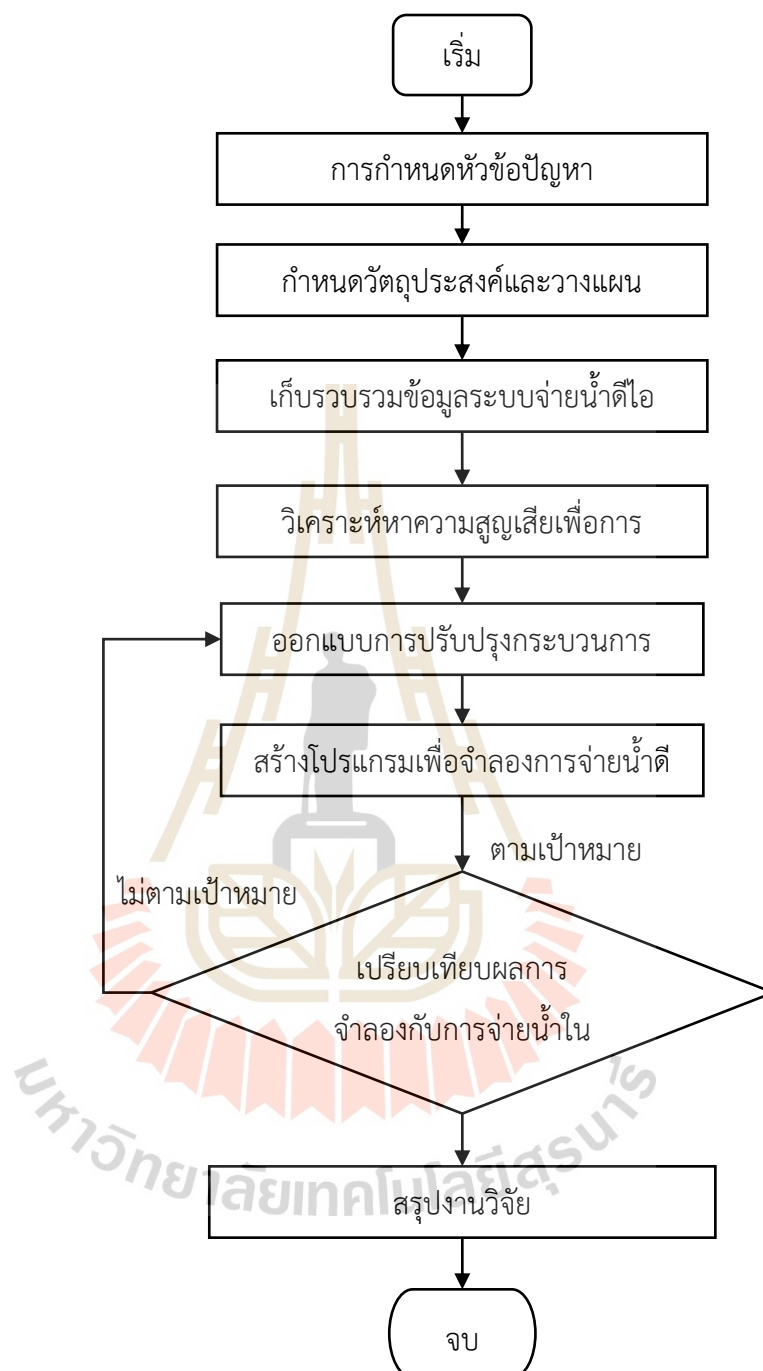
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

การจำลองสถานการณ์และการปรับปรุงกระบวนการจ่ายน้ำดีไอเอสด้วยด้วยโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ และ Human Machine Interface (HMI) มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงกระบวนการดังนี้

- 1) เพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความต้องการน้ำดีไอเอสของเครื่องจักรฝ่ายผลิต
- 2) เพื่อมอนิเตอร์และควบคุมการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอเอสอัตโนมัติ
- 3) เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำ และพลังงานของปั้มน้ำในระบบจ่ายน้ำดีไอเอส
- 4) เพื่อลดต้นทุนของระบบจ่ายน้ำดีไอเอส

โดยศึกษาระบบการทำงานการจ่ายน้ำดีไอเอสปัจจุบัน พิจารณาดูกระบวนการทำงาน สัดส่วนระยะเวลาทำงานของพนักงาน จะเห็นว่ากระบวนการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอเอสมี การทำงานที่วนลูการทำงานเดิม ใช้เวลาการทำงานมาก เพื่อเปลี่ยนกระบวนการทำงานที่ซ้ำและทำ ให้กระบวนการนั้น ๆ เป็นระบบอัตโนมัติ ผู้จัดทำจึงทำการวิเคราะห์และออกแบบการปรับปรุงระบบ ตามขั้นตอนที่ออกแบบไว้ หลังจากได้แนวทางการปรับปรุงแล้วทำการจำลองสถานการณ์ของ ระบบงานจำลอง เพื่อยืนยันว่าแนวทางการปรับปรุงนี้จะสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ในการปรับปรุง กระบวนการได้จริง จากนั้น จึงทำการเปรียบเทียบกระบวนการปัจจุบัน กับผลการปรับปรุงที่ได้จาก การจำลอง สถานการณ์เพื่อหาค่าความแตกต่างและสรุปผล โดยขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดัง รูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 สภาพปัจจุบันของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์

ในโรงงานระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ ประกอบด้วยสถานีงานหลัก 6 สถานีงาน ซึ่งแต่ละ สถานีงานจะใช้คนงานและเครื่องจักรทำงานร่วมกันและจะทำงานต่อเนื่องกันไป โดยรายละเอียด การทำงานแต่ละกระบวนการจะประกอบไปด้วยการควบคุมปริมาณน้ำดีไอโอไนซ์ การควบคุมการทำงาน ของปั้มน้ำ DIW Distribution การควบคุมการทำงานของถังกรอง Mixed Bed Resin การควบคุม การทำงานของหลอดไฟฟ้าเชื้อ ควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Booster และควบคุมการทำงาน ของถังกรองน้ำ Final Filter แสดงดังรูปที่ 3.2

กระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ มีกระบวนการผลิต 7 ขั้นตอน มีกระบวนการเริ่มทำงาน ดังต่อไปนี้

3.2.1 ระบบจะเริ่มจากการตรวจสอบอ่ามระดับน้ำดีไอโอไนซ์ต่ำ ตามรูปที่ 3.2 แสดง ระดับน้ำในถังเก็บน้ำ ต่ำ กลาง สูง ตามระดับลูกลอย



รูปที่ 3.2 ไฟแสดงระดับน้ำในถังเก็บน้ำดีไอโอไนซ์

3.2.2 ตรวจสอบระดับน้ำปกติ DIW Distribution จะเริ่มการทำงานจ่ายน้ำโดยการสั่งเริ่ม ทำงานโดยช่างที่ดูแลระบบทำการเปิดวาล์วน้ำขาเข้าและขาออกของปั้มน้ำ DIW Distribution รูปที่ 3.3 และกดปุ่มสตาร์ทการทำงานของปั้มน้ำ ตามรูปที่ 3.4 ตรวจสอบการทำงานของปั้มน้ำ เข้าถึง Mixed Bed Resin และตรวจสอบแรงดันน้ำตามทำที่ต้องการ



รูปที่ 3.3 ปั๊มน้ำ DIW Distribution

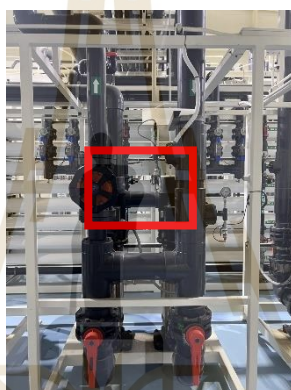


รูปที่ 3.4 สวิตช์สตาร์ทปั๊มน้ำ DIW Distribution

3.2.3 เมื่อสถานะของปั๊มน้ำ DIW Distribution ทำงานพนักงานจะกดปุ่มเริ่มทำงานของ วาล์วถังกรองน้ำ Mixed Bed Resin ตามรูปที่ 3.5 และเปิดวาล์วจ่ายน้ำกลับถึงน้ำดีไอเออนซ์ และตรวจสอบค่าความต้านทานทางไฟฟ้า เมื่อค่าความต้านทานของน้ำได้ตามค่าที่กำหนด พนักงานจะทำการรีวาล์วจ่ายน้ำกลับ ตามรูปที่ 3.6 และปรับแรงดันน้ำไว้ที่ 2 บาร์



รูปที่ 3.5 ถังกรอง และตู้ควบคุมการทำงานวาล์ว MIXED BED RESIN



รูปที่ 3.6 วาล์วจ่ายน้ำกลับถึงน้ำดีไอออนซ์

3.2.4 พนักงานเปิดวาล์วน้ำด้านขาเข้า และขาออกของปั๊ม DIW Booster ตามรูปที่ 3.7
กดปุ่มเริ่มการทำงานปั้มน้ำ DIW Booster ตามรูปที่ 3.8

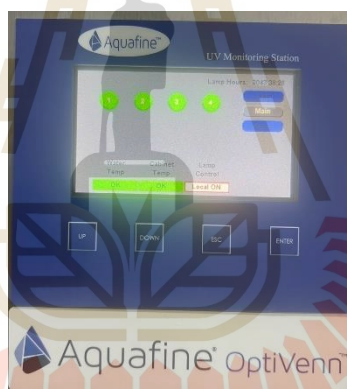


รูปที่ 3.7 ปั้มน้ำ DIW Booster



รูปที่ 3.8 สวิตช์สตาร์ทปั้มน้ำ DIW Booster

3.2.5 เปิดสวิตซ์การทำงานของหลอดไฟฆ่าเชื้อ ตามรูปที่ 3.9 ตรวจสอบการทำงานของหลอดไฟฆ่าเชื้อ และเปิดวาล์วด้านขาเข้าและออกของหลอดไฟฆ่าเชื้อ ตามรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 สวิตซ์การทำงานของหลอดไฟฆ่าเชื้อ



รูปที่ 3.10 วาล์วด้านขาเข้าและออกของหลอดไฟฆ่าเชื้อ

3.2.6 พนักงานเปิดวาล์วของระบบถังกรอง Final Filter ด้านขาเข้าและออก ตามรูปที่ 3.11 และปรับแรงดันน้ำจ่ายให้กับเครื่องจักรฝ่ายผลิตตามที่ 4 บาร์ตามที่กำหนด

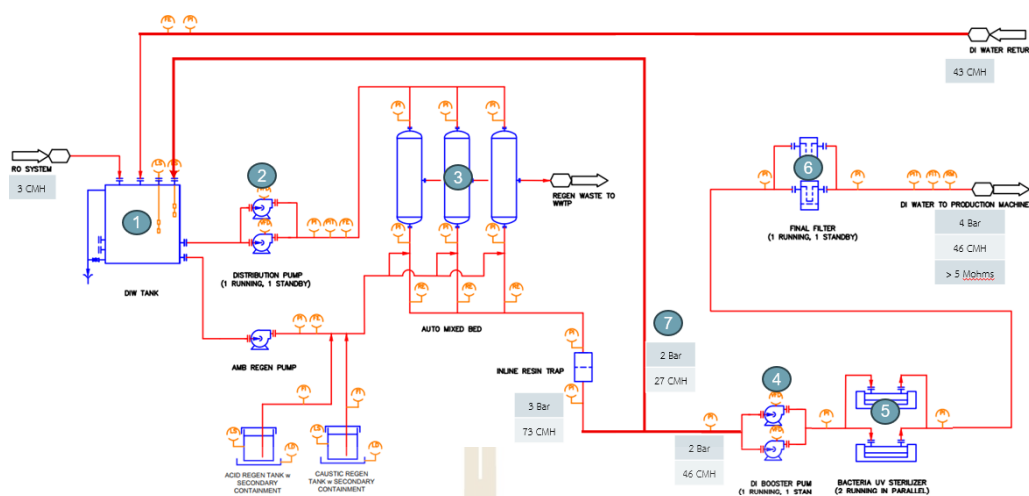


รูปที่ 3.11 วาล์วของระบบถังกรอง Final Filter

3.2.7 ตรวจสอบค่าควบคุมต่าง ๆ ของระบบตามแผนที่หัวหน้างานวางไว้ แผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.12 กระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ปัจจุบันใช้ พนักงานในการควบคุมการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ และในระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์มีการเปลี่ยนแปลงภาระการใช้งานอยู่ตลอดเวลา อัตราการไหลของน้ำจากปั้มน้ำจะมีค่าปรับเปลี่ยนไปตาม ความต้องการของระบบ โดยปัจจุบันจะควบคุมจากการปรับหรือวาล์ว ซึ่งเป็นได้ทั้งการปรับหรือแบบอัตโนมัติและปรับหรือโดยใช้คน การปรับ หรือวาล์วนี้จะสร้างให้เกิดแรงดันต่ำในระบบและเกิดการสูญเสีย พลังงานที่วาล์ว

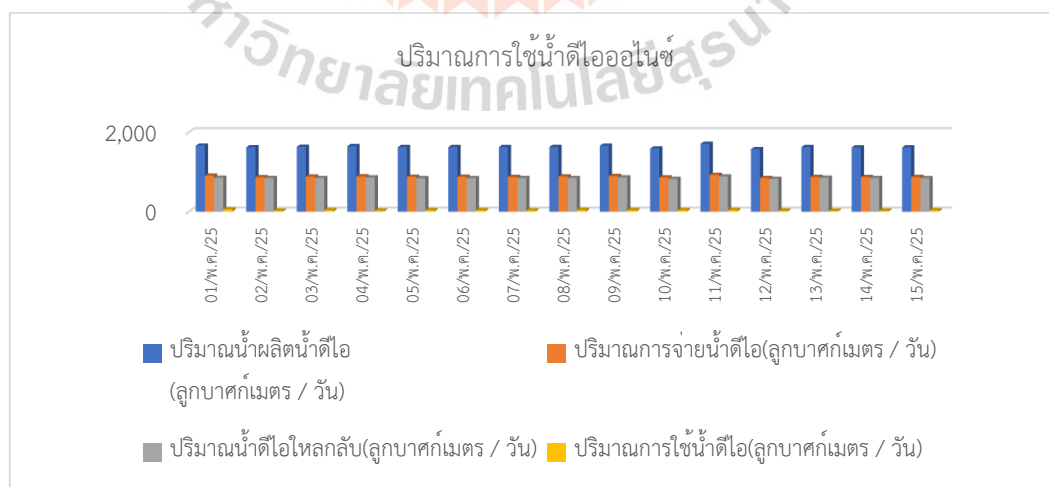
ตารางที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์

ลำดับ	ชื่อกระบวนการ	รายละเอียดงาน	จำนวนพนักงาน	จำนวนเครื่องจักร
1	RAW Water tank	ควบคุมปริมาณน้ำ RO ที่ใช้ผลิตน้ำดีไอโอไนซ์	3 คน	1 ถัง
2	DIW Distribution Pump	ปั้มน้ำเข้าถังกรอง Mixed Bed Resin		2 เครื่อง
3	Mixed Bed Resin Tank	ถังกรองดักจับไอออนที่มีประจุเป็นลบ (-) และประจุที่เป็นบวก (+)		3 ถัง
4	UV Lamp	หลอด UV กำจัดเชื้อโรคและจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่อาจติดมากับน้ำ		2 หลอด
5	DIW Booster Pump	ปั้มน้ำเข้าระบบฝ่ายผลิต		2 เครื่อง
6	Final Filter Tank	ถังกรองเชื้อแบคทีเรียเข้าสู่ระบบฝ่ายผลิต		2 ถัง
7	Return Valve	ควบคุมแรงดันน้ำ		1 วาล์ว



รูปที่ 3.12 แสดงแผนผังกระบวนการจ่ายน้ำดีไอออนซ์

จากการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของฝ่ายผลิตของการจ่ายน้ำดีไอออนซ์ได้ผลดังรูปที่ 3.13 ซึ่งกระบวนการกรองด้วย Mixed Bed Resin มีการใช้น้ำ RO ในการผลิตน้ำดีไอออนซ์เฉลี่ย 1,629 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จ่ายน้ำดีไอออนซ์ให้กับเครื่องจักรฝ่ายผลิต 880 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และมีปริมาณน้ำไหลกลับเท่ากับ 847 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เราสามารถคำนวณปริมาณที่ฝ่ายผลิตใช้น้ำต่อวันเท่ากับ 33 ลูกบาศก์เมตร สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 3.4 จะเห็นว่ามีการจ่ายน้ำดีไอออนซ์มากกว่าการใช้น้ำของฝ่ายผลิตซึ่งเกินความต้องการของเครื่องจักรฝ่ายผลิต และปัจจุบันควบคุมจากการปรับหัววาล์วโดยใช้คน การปรับหัววาล์วนี้จะสร้างให้เกิดแรงดันต้านในระบบและเกิดการสูญเสียพลังงานที่วาล์วจ่ายน้ำ



รูปที่ 3.13 แสดงปริมาณการใช้น้ำน้ำดีไอออนซ์

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณการใช้น้ำ และค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำดีไอออนซ์

การผลิตน้ำดีไอ	ก่อนการปรับปรุง	หน่วย
ปริมาณน้ำผลิตน้ำดีไอ	1,629	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ปริมาณการจ่ายน้ำดีไอ	880	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ปริมาณน้ำดีไอไหลกลับ	847	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ปริมาณการใช้น้ำดีไอ	33	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด	13,674	ลูกบาศก์เมตรต่อปี
ต้นทุนการผลิตน้ำดีไอ		
ค่าน้ำ RO (30 บาทต่อลูกบาศก์เมตร)	410,220	บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน	1,181,828	บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (อ้างอิงใบเสนอราคา 2024)	2,365,714	บาทต่อปี
ค่าใช้จ่ายในการ Regen Mixed Bed Resin	1,687,500	บาทต่อปี
ต้นทุนในการผลิตน้ำดีไอ	5,645,263	บาทต่อปี

จากข้อมูลดังกล่าวเราสามารถกำหนดเป้าหมายในการปรับปรุงระบบจ่ายน้ำดีไอออนซ์ได้ดังต่อไปนี้

- 1) เพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความต้องการน้ำดีไอออนซ์ของเครื่องจักรฝ่ายผลิต
- 2) เพื่อมอนิเตอร์และควบคุมการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอออนซ์อัตโนมัติ
- 3) เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำ และพลังงานของปั้มน้ำในระบบจ่ายน้ำดีไอออนซ์เพื่อลด

ต้นทุนของระบบจ่ายน้ำดีไอออนซ์

3.2.8 กระบวนการปรับปรุงระบบการจ่ายน้ำดีไอ

การปรับปรุงวิธีการควบคุมอุปกรณ์และเครื่องจักรในกระบวนการจ่ายน้ำดีไอออนซ์ ซึ่งประกอบด้วย การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

- 1) รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบน้ำดีไอออนซ์
 - 1.1) การทำงานของระบบน้ำดีไอออนซ์
 - 1.2) ค่าความต้านทานหรือค่าการนำไฟฟ้าของน้ำดีไอออนซ์ ที่จ่ายไปยังเครื่องจักรผลิต
 - 1.3) ต้นทุนการผลิตน้ำดีไอออนซ์
- 2) ออกแบบการทำงานของระบบน้ำดีไอออนซ์

3) เขียนโปรแกรมด้วย GX Works3 และ GT Designer3 เพื่อควบคุมกระบวนการทั้งหมดตามฟังก์ชันต่อไปนี้:

- 3.1) สามารถตรวจสอบและควบคุมกระบวนการทั้งหมดของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ บนหน้าจอ HMI ได้
 - 3.2) ระบบสามารถทำงานได้ตามลำดับการออกแบบ
 - 3.3) เมื่อหน่วยทำงานมีสัญญาณเตือน หน่วยสแตนด์บายจะเริ่มทำงานโดยอัตโนมัติ
 - 3.4) เมื่อทั้งสองหน่วยของกระบวนการมีสัญญาณเตือน ระบบจะปิดโดยอัตโนมัติ
 - 3.5) สามารถควบคุมการทำงานปั๊มมอเตอร์ในระบบเพื่อรักษาแรงดันจ่ายน้ำให้สอดคล้องกับแรงดันที่ตั้งไว้
 - 3.6) เมื่อค่าความต้านทานของเรซินในถังน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ ระบบจะต้องสลับไปยังถังถัดไป และเปิดระบบการฟื้นฟูเรซินโดยอัตโนมัติ
- 4) ทดสอบโปรแกรมเพื่อให้แน่ใจว่าระบบทำงานตามที่ออกแบบไว้โดยป้อนสัญญาณเตือนด้วยตนเอง
- 5) คำนวณการประหยัดและผลตอบแทนจากการลงทุน

3.3 การวิเคราะห์และออกแบบการปรับปรุงระบบโหมตควบคุมอัตโนมัติ

ศึกษาระบบการทำงานการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ปัจจุบัน พิจารณากระบวนการทำงาน จะเห็นว่ากระบวนการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์มีการทำงานที่วนลูการทำงานเดิม และยังใช้พนักงานในการดำเนินกระบวนการต่างๆของระบบ เพื่อเปลี่ยนกระบวนการทำงานที่ซ้ำและทำให้กระบวนการนั้น ๆ เป็นระบบอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ จึงทำการวิเคราะห์และออกแบบการปรับปรุงระบบ 2 ส่วน

3.3.1 การวิเคราะห์และออกแบบการปรับปรุงระบบโหมตควบคุมอัตโนมัติ

การใช้เทคโนโลยี มาทำงานแทนมนุษย์ในกระบวนการต่าง ๆ ของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และลดข้อผิดพลาด การออกแบบระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์อัตโนมัติเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์กระบวนการ การเลือกเทคโนโลยีที่ประหยัดและเหมาะสม การเขียนโปรแกรม PLC ควบคุม และการทดสอบระบบเพื่อให้ทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

แนวคิดหลักของการออกแบบระบบอัตโนมัติ

การวิเคราะห์กระบวนการ: ทำความเข้าใจกระบวนการทำงานเดิมที่ต้องการทำให้เป็นระบบอัตโนมัติ เพื่อระบุขั้นตอนที่สามารถปรับปรุงหรือทำให้เป็นอัตโนมัติได้.

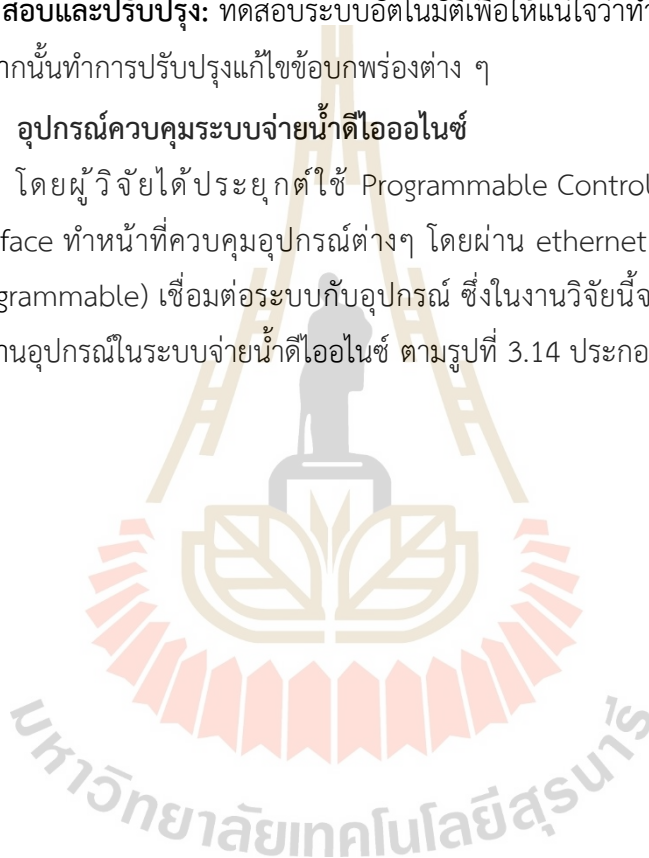
การเลือกเทคโนโลยี: เลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมและประหยัดค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงกระบวนการจ่ายน้ำดีไอเอส เช่น เซ็นเซอร์, ตัวควบคุม, มิเตอร์, ซอฟต์แวร์.

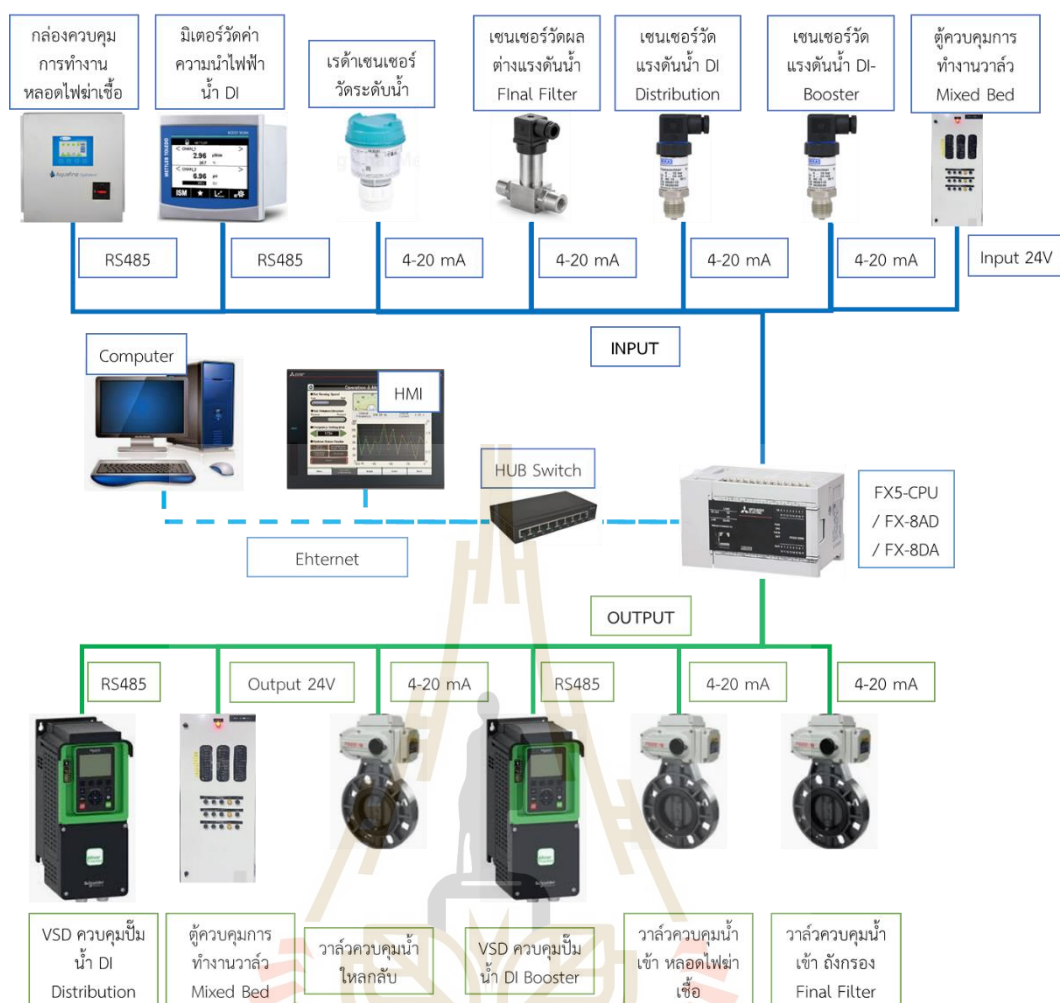
การออกแบบระบบ: ออกแบบโครงสร้างของระบบอัตโนมัติ รวมถึงการเชื่อมต่อระหว่างส่วนประกอบต่างๆ การเขียนโปรแกรม และการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

การทดสอบและปรับปรุง: ทดสอบระบบอัตโนมัติเพื่อให้แน่ใจว่าทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ จากนั้นทำการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ

3.3.2 อุปกรณ์ควบคุมระบบจ่ายน้ำดีไอเอส

โดยผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ Programmable Controller (PLC) และ Human Machine Interface ทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ โดยผ่าน ethernet ที่สามารถสั่งงานได้ด้วยโปรแกรม (Programmable) เชื่อมต่อระบบกับอุปกรณ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการตรวจวัดค่า และควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ในระบบจ่ายน้ำดีไอเอส ตามรูปที่ 3.14 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่อไปนี้





รูปที่ 3.14 การ PLC กับอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอโอเอไนซ์

- 1) คอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่มอนิเตอร์ แก้ไขโปรแกรม และอัปเดตโปรแกรม ผ่านเครือข่าย Ethernet
- 2) หน้าจอ HMI ทำหน้าที่เป็นส่วนต่อประสานระหว่างผู้ใช้งานและระบบจ่ายน้ำดีไอโอเอไนซ์อัตโนมัติ โดยหน้าจอสัมผัสที่แสดงข้อมูลสถานะการทำงานของอุปกรณ์และรับคำสั่งจากผู้ใช้เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบจ่ายน้ำดีไอโอเอไนซ์
- 3) HUB Switch ทำหน้าที่ใช้เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ HMI และ PLC เข้าด้วยกันในระบบเครือข่ายเดียวกันผ่านเครือข่าย Ethernet
- 4) กล่องควบคุมการทำงานหลอดไฟฟ้าเชื้อ ทำหน้าที่ ส่งสัญญาณ อินพุต ของชั่วโมงการทำงาน สถานะการทำงาน และรับสัญญาณ เอาท์พุต จาก PLC ในการ เปิด ปิดการทำงานของ

หลอดไฟฆ่าเชื้อ ผ่านการสื่อสารแบบ RS485 สามารถสื่อสารกับระบบควบคุม PLC ผ่านโปรโตคอลการสื่อสาร Modbus

5) **Conductivity Meter** ทำหน้าที่ ส่งสัญญาณ อินพุต ของค่าความนำไฟฟ้า น้ำดีไอโอในซีไปยัง PLC ผ่านการสื่อสารแบบ RS485 สามารถสื่อสารกับระบบควบคุมกลางผ่านโปรโตคอลการสื่อสาร Modbus เพื่อใช้ในการในการควบคุมการทำงาน เปิด ปิด วาล์วการทำงานของระบบ Mixed Bed Resin

6) **เรดาร์เซ็นเซอร์ (Radar sensor)** ทำหน้าที่ส่งสัญญาณ อินพุต ของค่าระดับน้ำถังดีไอโอในซีไปยังตัวรับสัญญาณอินพุตแบบ 4-20 mA เข้า PLC FX5U สามารถทำได้โดยใช้โมดูลอนาล็อกอินพุต (Analog Input Module) ผ่าน โมดูลรับสัญญาณอนาล็อก FX-8AD

7) **เซ็นเซอร์วัดแรงดันน้ำ** ทำหน้าที่ส่งสัญญาณ อินพุต ของแรงดันขาออกของปั้มน้ำ DIW Distribution ปั้มน้ำ DIW Booster ไปยังตัวรับสัญญาณอินพุตแบบ 4-20 mA เข้า PLC FX5U สามารถทำได้โดยใช้โมดูลอนาล็อกอินพุต (Analog Input Module) ผ่าน โมดูลรับสัญญาณอนาล็อก FX-8AD เพื่อควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution ปั้มน้ำ DIW Booster ผ่าน VFD

8) **เซ็นเซอร์วัดผลต่างแรงดันน้ำ** ทำหน้าที่ส่งสัญญาณ อินพุต ของแรงดันขาเข้าและออกของถังกรองน้ำ Final Filter ไปยังตัวรับสัญญาณอินพุตแบบ 4-20 mA เข้า PLC FX5U สามารถทำได้โดยใช้โมดูลอนาล็อกอินพุต (Analog Input Module) ผ่าน โมดูลรับสัญญาณอนาล็อก FX-8AD เพื่อควบคุมการทำงานของวาล์วน้ำ ถังกรอง Final filter

9) **ตู้ควบคุมการทำงานวาล์วน้ำ Mixed Bed Resin** ทำหน้าที่ส่งสัญญาณ เอาท์พุต แสดงสถานะการทำงานของถัง Mixed Bed Resin และรับสัญญาณ อินพุต เพื่อสั่งควบคุมการทำงานวาล์วน้ำของถัง Mixed Bed Resin จาก PLC FX5U สามารถทำได้โดยผ่าน อินพุต เอาท์พุต PLC

10) **อินเวอร์เตอร์ หรือ Variable Frequency Drive (VFD)** ทำหน้าที่รับสัญญาณ เอาท์พุต จาก PLC ผ่านการสื่อสารแบบ RS485 สามารถสื่อสารกับระบบควบคุมกลางผ่านโปรโตคอลการสื่อสาร Modbus เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ปั้มน้ำ DIW Distribution ปั้มน้ำ DIW Booster โดยปรับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายให้กับมอเตอร์ให้สัมพันธ์กับโหลด ทำให้ใช้พลังงานเฉพาะที่จำเป็น ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

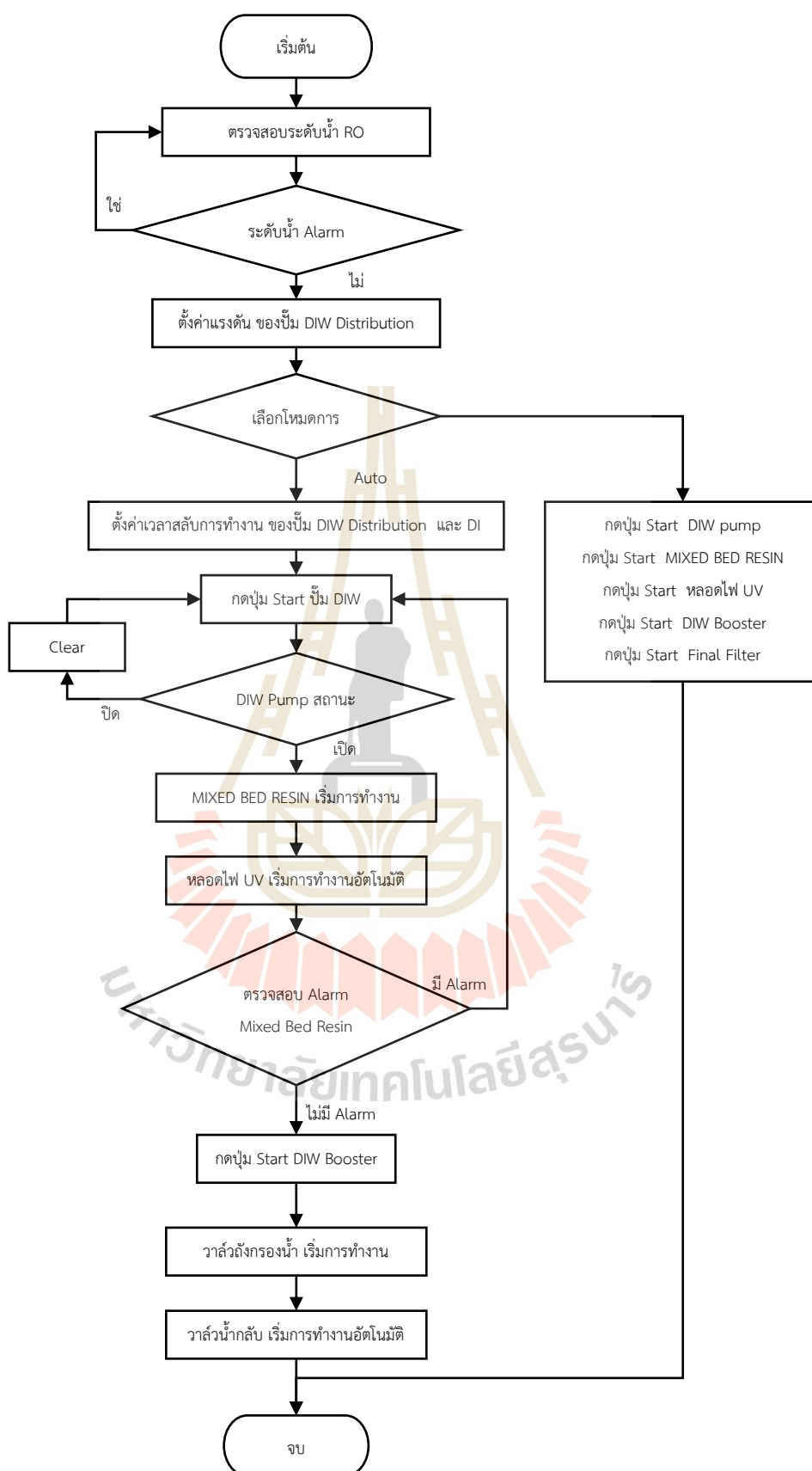
11) **มอเตอร์ไทรฟาล์ว (Motorized valve) หรือ หัวขับไฟฟ้า** ทำหน้าที่รับสัญญาณ เอาท์พุต จากตัวส่งสัญญาณ เอาท์พุต แบบ 4-20 mA จาก PLC FX5U สามารถทำได้โดยใช้โมดูลอนาล็อกเอาท์พุต (Analog Output Module) ผ่าน โมดูลส่งสัญญาณอนาล็อก FX-8DA เพื่อควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนวาล์วให้เปิดหรือปิด เพื่อควบคุมการไหลของน้ำในระบบท่อน้ำดีไอโอในซี

3.3.3 การออกแบบกระบวนการทำงานระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์อัตโนมัติ

การออกแบบคำสั่งควบคุมโดยใช้โปรแกรม GX Work3 ในการเขียนโปรแกรมแลดเดอร์ PLC สั่งงานควบคุมอุปกรณ์ในกระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ ประกอบด้วยคำสั่งควบคุมการทำงานระดับน้ำถังน้ำดีไอโอไนซ์, ปั๊มน้ำ DIW Distribution, วาล์วควบคุมการทำงานถังกรอง Mixed Bed Resin, ปั๊มน้ำ DIW Booster, หลอดไฟฟ้าเชื้อแบคทีเรีย, วาล์วควบคุมถังกรอง Final Filter, และวาล์วควบคุมการทำงานน้ำดีไอโอไนซ์กลับ

การควบคุมอุปกรณ์ในกระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ มีลำดับการทำงานตามรูปที่ 3.15

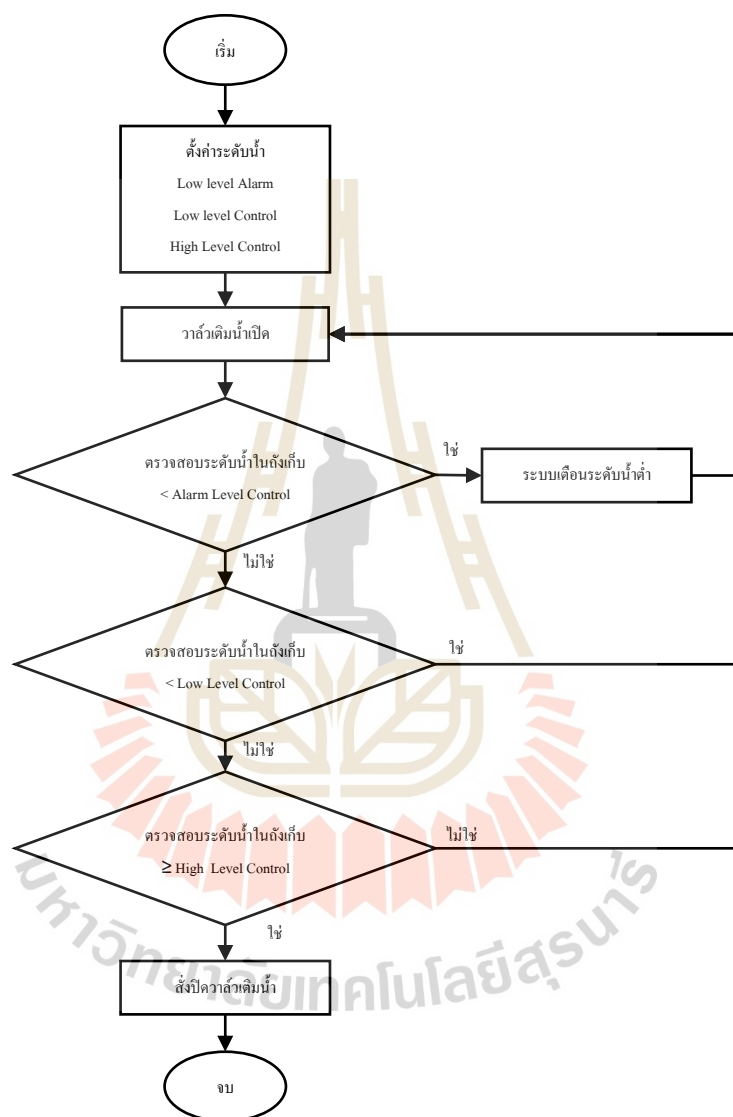




รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์

การทำงานของระบบโหมดอัตโนมัติ มีกระบวนการทำงานดังนี้

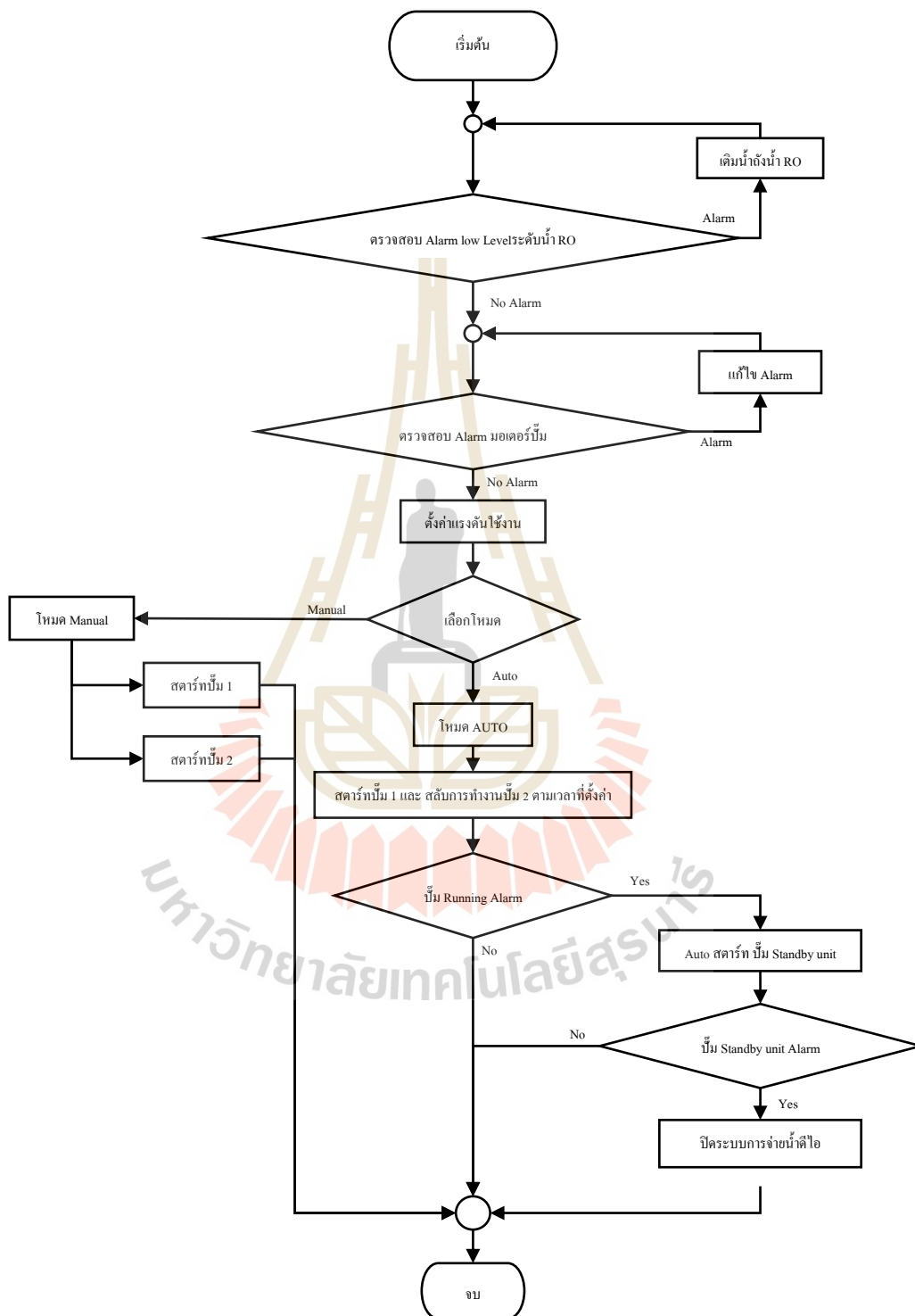
- 1) ตรวจสอบปริมาณน้ำดีไอออไนซ์ เมื่อระดับน้ำต่ำ ระบบจะทำการเปิดวาล์วเติมน้ำดีไอออไนซ์ จนกระทั่งถึงระดับที่กำหนดจึงปิดวาล์วเติม และแสดงปริมาณน้ำผ่านหน้าจอ HMI ตามรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.16 แผนภาพการทำงานของถังเก็บน้ำดีไอออไนซ์

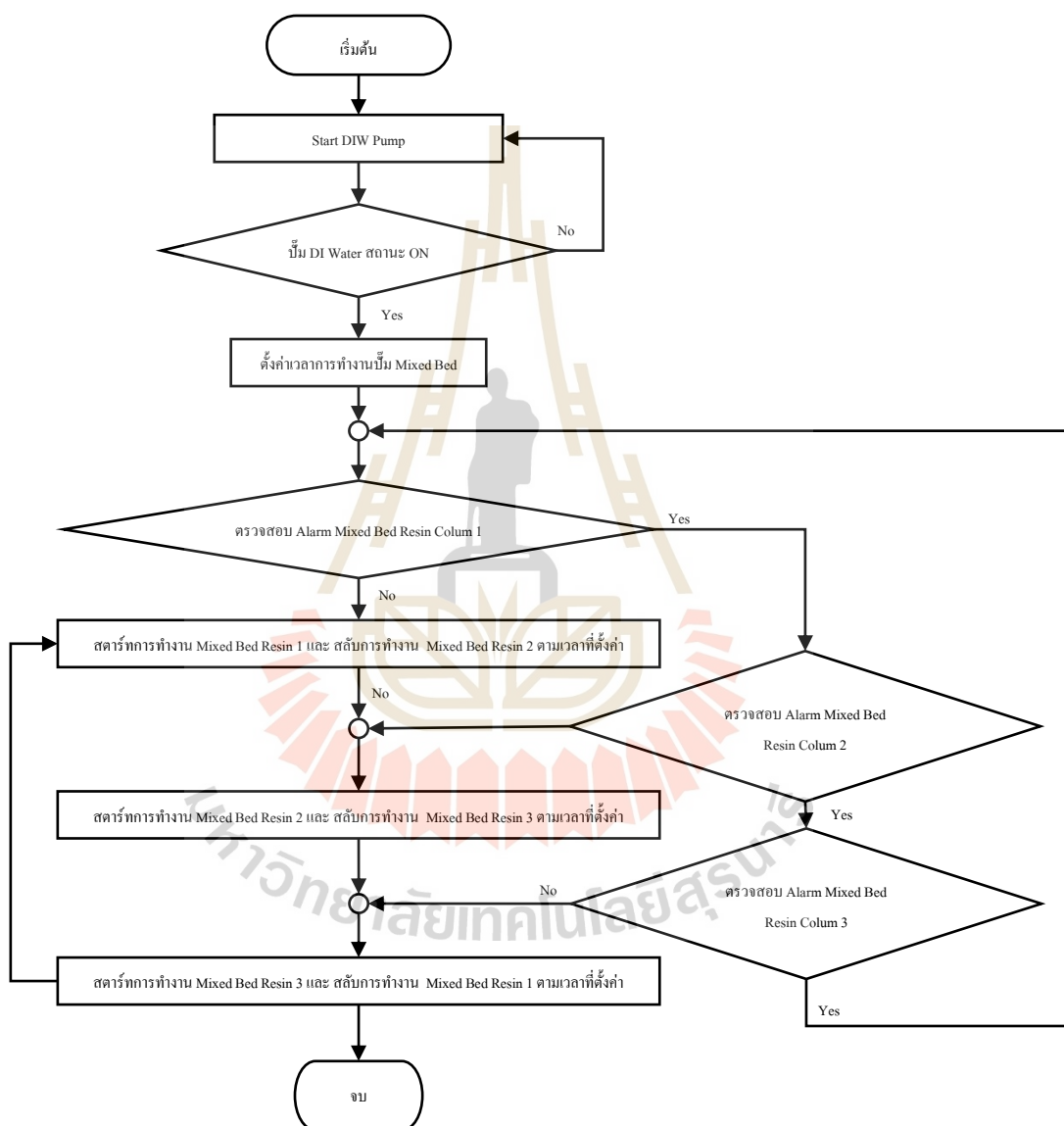
- 2) ตั้งค่าแรงดันน้ำ และ ค่าควบคุมทางไฟฟ้าของน้ำดีไอออไนซ์
- 3) เริ่มการทำงานกดปุ่ม Start ของปั้มน้ำดีไอออไนซ์ โดยการควบคุมการทำงานตามแรงดันน้ำที่กำหนดโดยการประยุกต์ใช้การควบคุมทำงานของปั้มน้ำแบบ PID และเมื่อมี alarm ของ

ปั๊มใดปั๊มหนึ่ง ปั๊มอีกตัวจะสลับการทำงานอัตโนมัติ และจะหยุดการทำงานก็ต่อเมื่อเกิดปั๊ม
การหยุดทำงาน และปั๊ม Alarm ตามรูปที่ 3.7



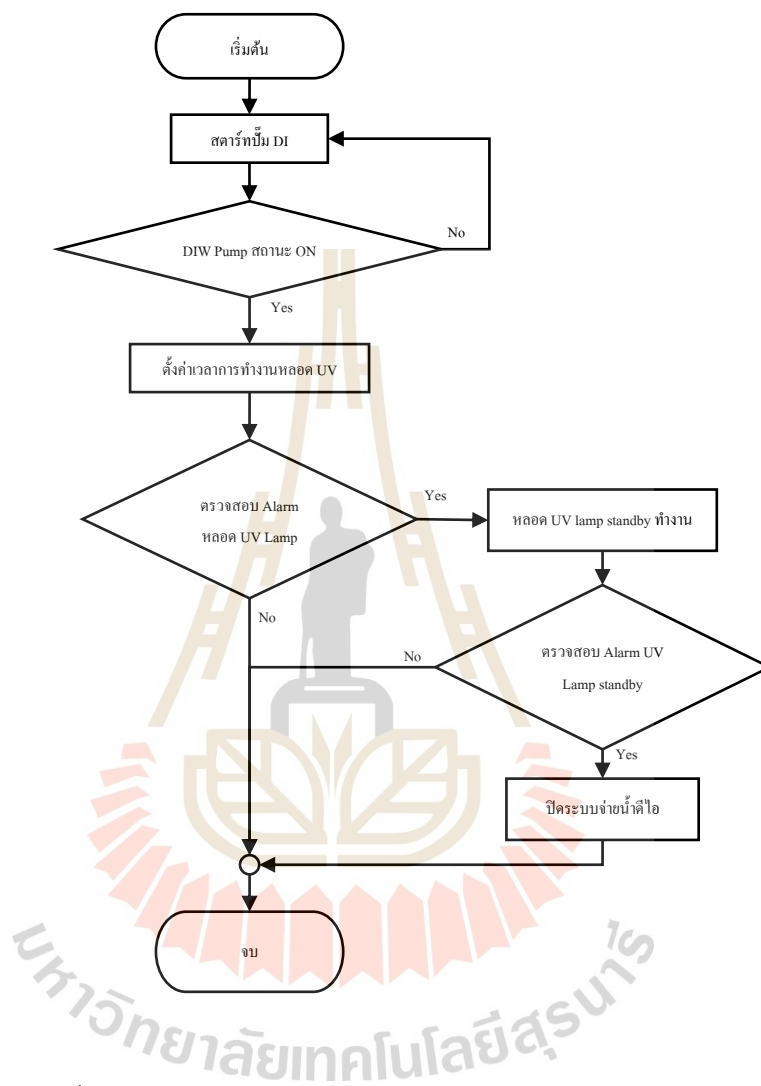
รูปที่ 3.17 แผนภาพการทำงานของปั๊มน้ำดีไออัตโนมัติ

- 4) เมื่อปั๊ม ดีไอวอเตอร์ ทำงาน วาล์วของถัง Mixed Bed Resin เริ่มการทำงานอัตโนมัติ โดยทำงานของ Mixed bed resin tank จะสลับการทำงานตามเวลาที่ ตั้งไว้ เมื่อค่า conductivity ของน้ำสูงกว่าค่าที่กำหนด ระบบจะสวิตช์ไปใช้ Mixed bed resin ถังถัดไป โดยอัตโนมัติ และจะทำการ reagent mixed bed resin ถังที่เสื่อมสภาพโดยอัตโนมัติ ตามรูปที่ 3.8



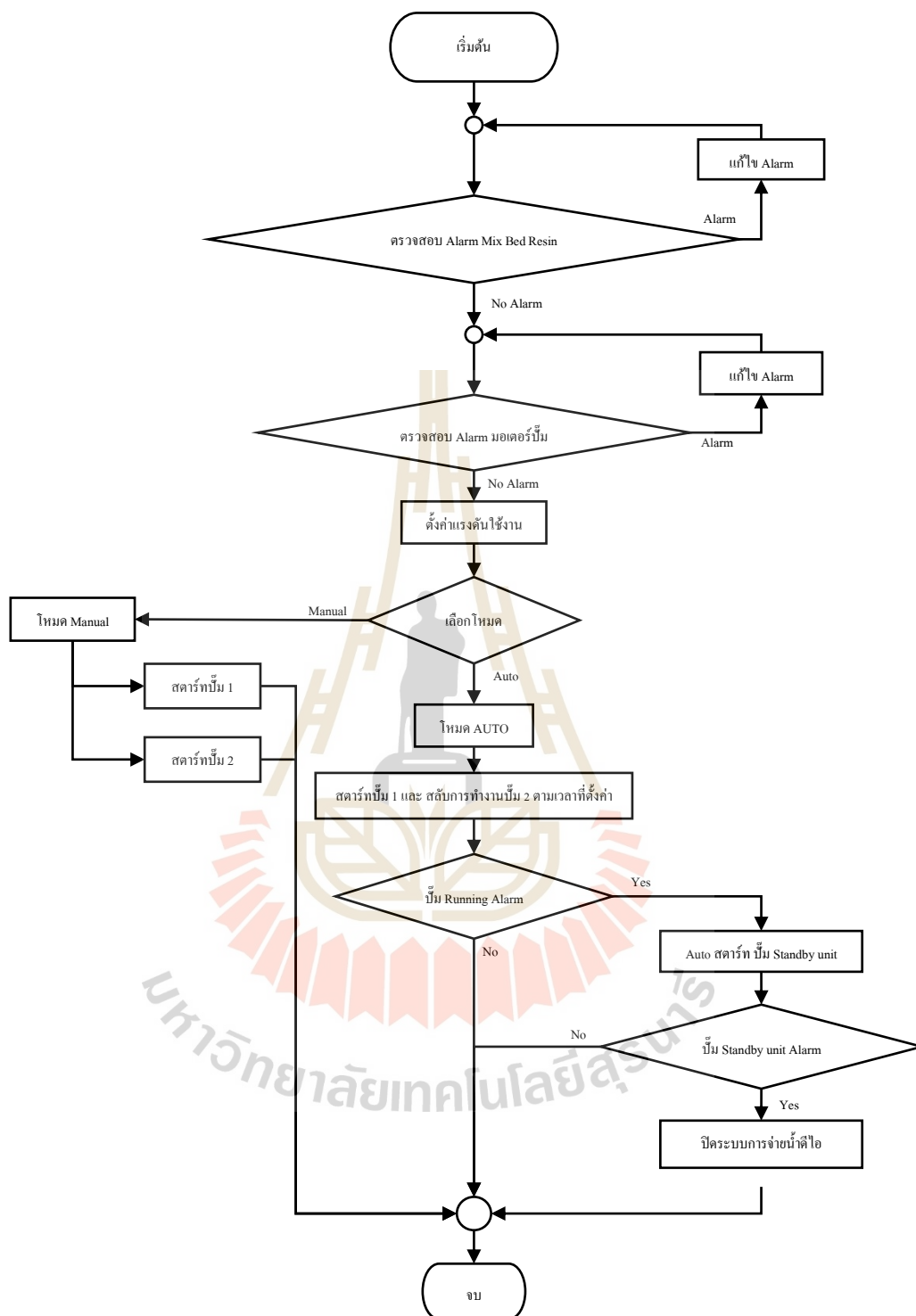
รูปที่ 3.18 แผนภาพการทำงานของถังกรอง Mixed Bed Resin

- 5) เมื่อ Mixed Bed Resin ทำงาน หลอดไฟฆ่าเชื้อ (UV Lamp) เริ่มการทำงานอัตโนมัติทำ โดยการทำงานของหลอดไฟฆ่าเชื้อ จะสลับการทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้ เมื่อมีหลอดใด หลอดหนึ่งมีปัญหา ระบบจะสลับการทำงานอัตโนมัติ ตามรูปที่ 3.9



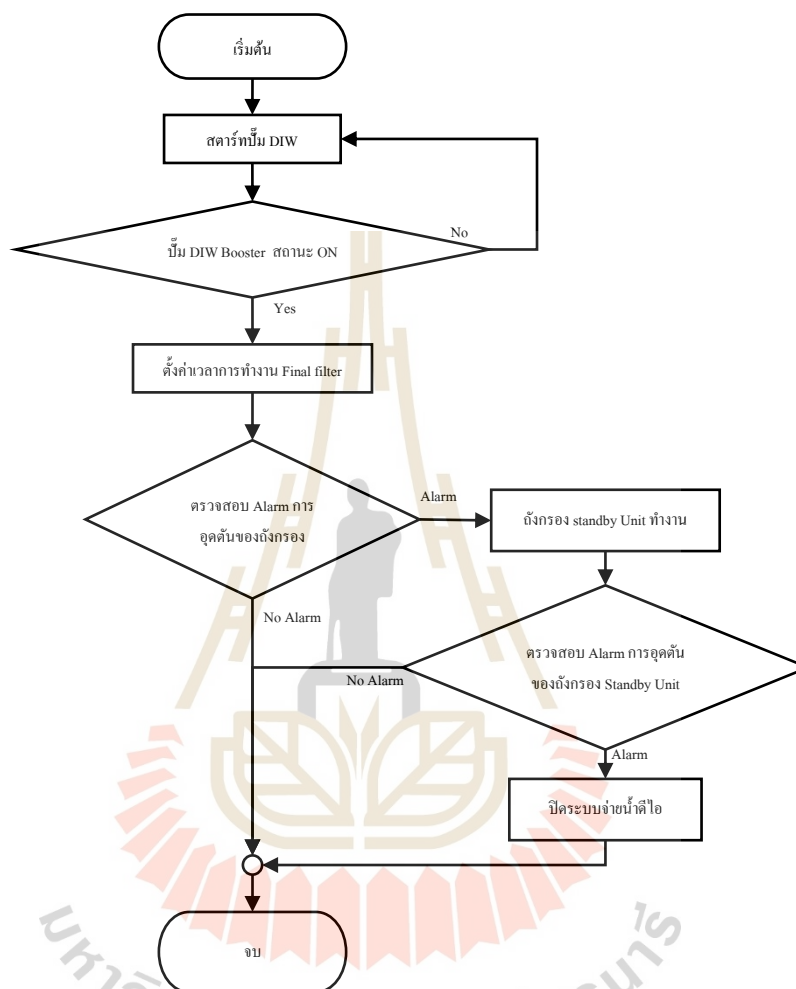
รูปที่ 3.19 แผนภาพการทำงานของถังกรอง Mixed Bed Resin

- 6) เมื่อ Mixed Bed Resin ทำงาน และไม่มี alarm resistivity กดปุ่ม Start ทำงานของปั๊ม DIW Booster โดยการควบคุมการทำงานตามแรงดันน้ำที่กำหนดโดยการประยุกต์ใช้การควบคุมทำงานของปั๊มแบบ PID และเมื่อมี alarm ของปั๊มใดปั๊มหนึ่ง ปั๊มอีกตัวจะสลับการทำงานอัตโนมัติ และจะหยุดการทำงานก็ต่อเมื่อกดปุ่มการหยุดทำงาน และปั๊ม Alarm ตามรูปที่ 3.10



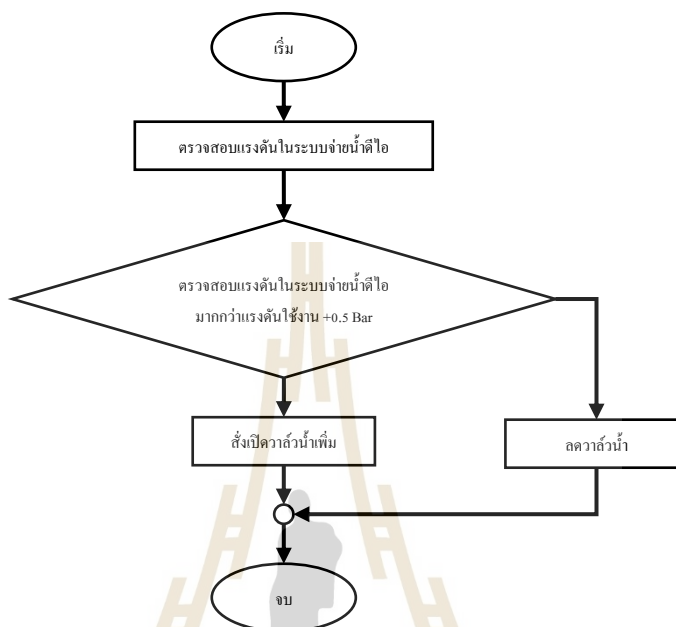
รูปที่ 3.20 แผนภาพการทำงานปั๊ม DIW Booster

- 7) เมื่อปั๊ม DIW Booster ทำงาน วาล์วของถัง Final Filter เริ่มการทำงานอัตโนมัติ ทำงานของระบบกรองน้ำจะสลับการทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้ เมื่อ alarm filter ระบบจะสลับการทำงานอัตโนมัติ ตามรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.21 แผนภาพการทำงานถังกรอง Final Filter

- 8) เมื่อปั๊ม DIW Booster ทำงาน วาล์วน้ำกลับจะเปิดตามค่าที่กำหนด และจะเปิดเพิ่มโดยอัตโนมัติเมื่อแรงดันของระบบมากกว่าค่าที่กำหนด และมอเตอร์ปั๊มของระบบทำงานที่ค่าต่ำสุดที่กำหนด



รูปที่ 3.22 แผนภาพการทำงานถึงกรอง Final Filter

3.4 สรุป

การออกแบบโครงสร้างและการทำงานของระบบควบคุมสำหรับระบบจ่ายน้ำดีไออัตโนมัติโดย การศึกษากระบวนการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไออัตโนมัติ เพื่อปรับปรุงให้ระบบสามารถทำงานได้ อัตโนมัติ โดยใช้เทคนิคการควบคุมบน PLC และ HMI โดยส่วนประกอบ ในการเขียน Ladder diagram ของ PLC และทัชสกรีน ซึ่งใช้ โปรแกรม GX Works3 และ GT Designer3 ในการเขียน เงื่อนไขการทำงานผ่านหน้าจอทัชสกรีน ในการออกแบบการควบคุมกระบวนการจ่ายน้ำดีไออัตโนมัติ และควบคุมการทำงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำทำงานตามความต้องการของเครื่องจักรฝ่ายผลิตโดยอาศัย หลักการควบคุมแรงดันน้ำด้วยการควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำแบบ PID

บทที่ 4

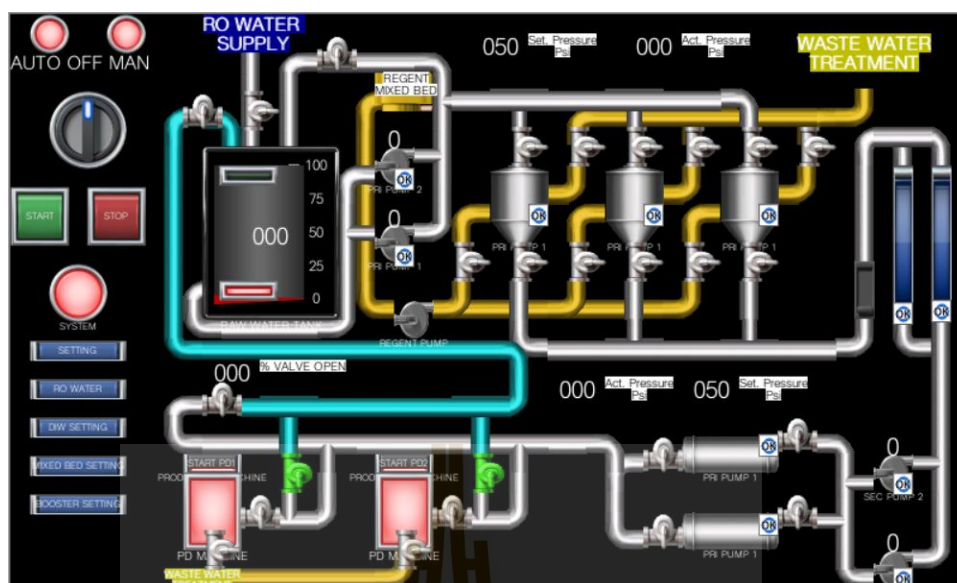
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

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

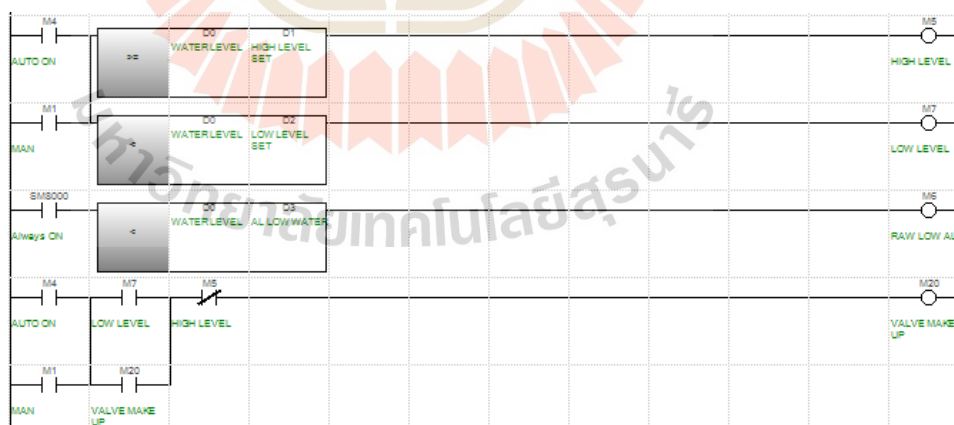
จากการออกแบบโปรแกรมของ PLC และ HMI เพื่อให้ทำงานสอดคล้องกับฮาร์ดแวร์ในการควบคุมระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์จะเริ่มจาก เข้าหน้าจอมาแล้วจะแสดงหน้าต่าง HOME ของระบบ ซึ่งจะแสดงการทำงานของกระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ ประกอบไปด้วย การควบคุมปริมาณน้ำของถังน้ำดีไอโอไนซ์, การกควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution, 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 และการแจ้งเตือนเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าการควบคุมระดับน้ำต่ำ ตามรูปที่ 4.2

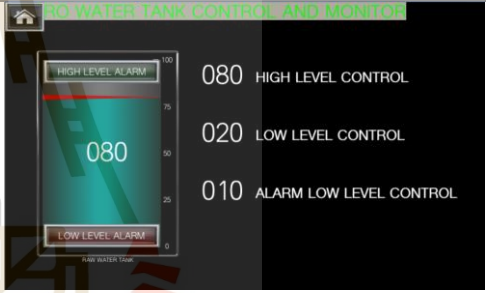
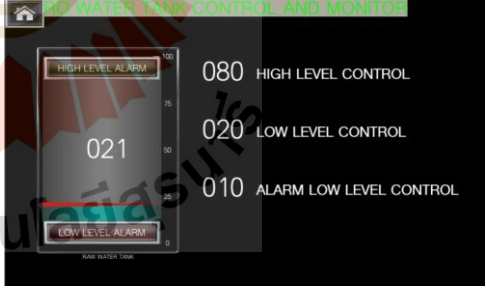
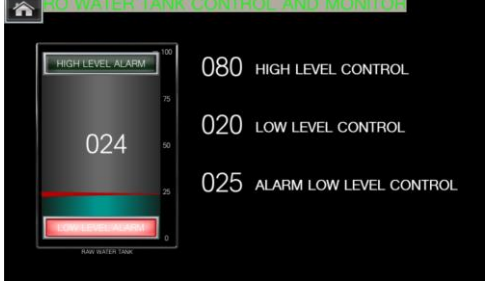


รูปที่ 4.2 คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมระดับน้ำ ของถังน้ำดีไอออนซ์

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	
ถึงระดับควบคุมน้ำต่ำ ระบบจะสั่งให้เปิดวาล์วเติมน้ำ	
ระดับน้ำมากกว่าหรือเท่ากับค่าควบคุมระดับน้ำสูง ระบบจะสั่งปิดวาล์วน้ำ	
ระดับน้ำต่ำกว่าการแจ้งเตือนระดับน้ำต่ำ ระบบจะแจ้งเตือน Low Level	

4.2.2 การกำหนดค่าควบคุมการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์

ระบบสามารถกำหนดค่าควบคุมการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ ตามรูปที่ 4.3 ซึ่งจะประกอบไปด้วย การควบคุมระดับน้ำดีไอโอไนซ์, การควบคุมชั่วโมงการทำงานของอุปกรณ์, การกำหนดค่าแรงดันค่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำดีไอโอไนซ์ 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 % HIGH LEVEL CONTROL	50 PRESSURE SETTING (PSI)	50 PRESSURE SETTING (PSI)
020 % LOW LEVEL CONTROL	6500 Proportional gain (Kp)	6500 Proportional gain (Kp)
010 % ALARM LOW LEVEL	150 Integral constant (Ti)	150 Integral constant (Ti)
MIXED BED RASIN	50 Differential constant (Td)	50 Differential constant (Td)
1000 Operation Time (Hour)	1000 Operation Time (Hour)	1000 Operation Time (Hour)
RESISTIVITY	50 MAX RUNING (Hz)	50 MAX RUNING (Hz)
5 ALARM (M-OHM)	0 MIN RUNING (Hz)	0 MIN RUNING (Hz)
UV LAMP		
1000 Operation Time (Hour)		
FINAL FILTER		
1000 Operation Time (Hour)		

รูปที่ 4.3 การกำหนดค่าควบคุมการทำงานของระบบน้ำดีไอโอไนซ์ บนหน้าจอควบคุม HMI

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าควบคุมแต่ละกระบวนการ

การควบคุม กระบวนการจ่ายน้ำ DI	ค่าควบคุม	รายละเอียด
การควบคุมระดับน้ำดีไอ ออนไลน์	ระดับน้ำควบคุมสูง	ควบคุมการทำงานของวาล์วเติมน้ำของ ถังน้ำดีไอออนไลน์ เมื่อถึงค่าที่กำหนด ระบบจะสั่งปิดวาล์วเติมน้ำ
	ระดับน้ำควบคุมต่ำ	ควบคุมการทำงานของวาล์วเติมน้ำดีไอ ออนไลน์ เมื่อถึงค่าที่กำหนดระบบจะสั่ง เปิดวาล์วเติมน้ำ
	ระดับแจ้งเตือนน้ำต่ำ	กำหนดการแจ้งเตือนน้ำดีไอออนไลน์ 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)

การควบคุมกระบวนการจ่ายน้ำ 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

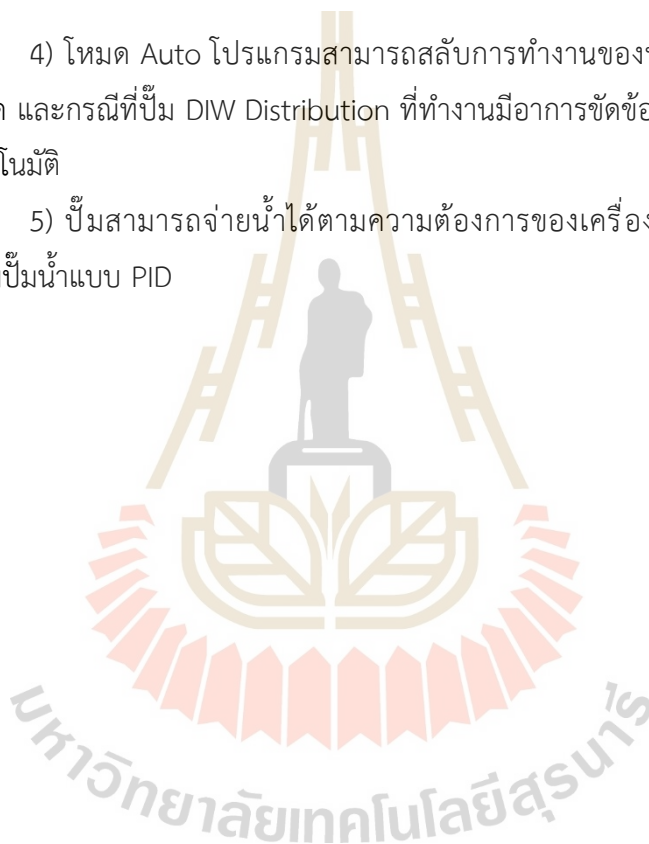
1) ปั้มไม่สามารถทำงานได้กรณีที่ระบบมีการแจ้งเตือนการทำงานขัดข้องของกระบวนการจ่ายน้ำดีไอเออนซ์

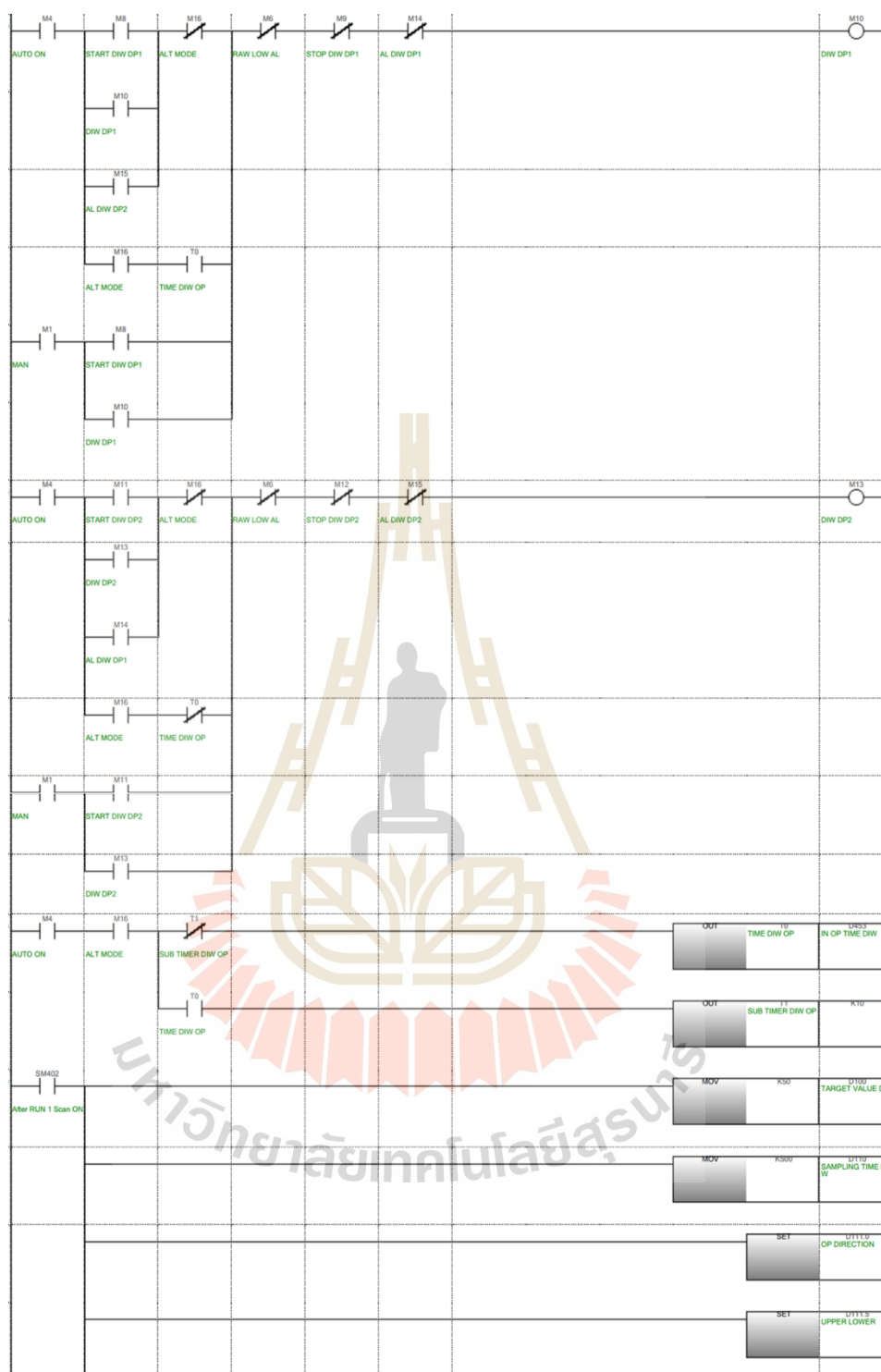
2) สามารถควบคุมแรงดันน้ำตามค่าที่กำหนด

3) สามารถควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution ในโหมด Auto และ Manual

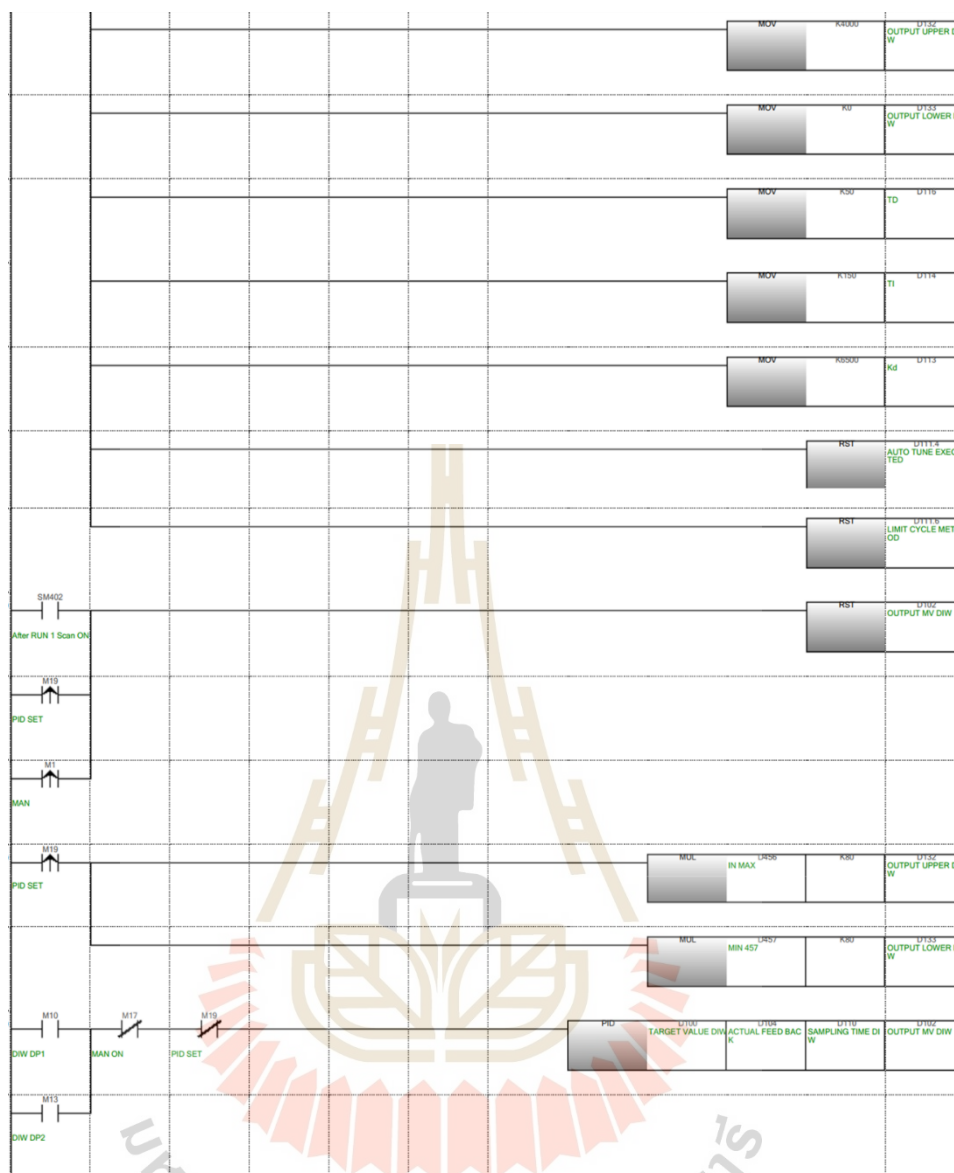
4) โหมด Auto โปรแกรมสามารถสลับการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution ตามค่าที่กำหนด และกรณีที่ปั้ม DIW Distribution ที่ทำงานมีอาการขัดข้องสามารถสามารถสตาร์ทอีกตัวขึ้นโดยอัตโนมัติ

5) ปั้มสามารถจ่ายน้ำได้ตามความต้องการของเครื่องจักรฝ่ายผลิต โดยอาศัยหลักการควบคุมปั้มน้ำแบบ PID





รูปที่ 4.4 คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมการทำงานปั้มน้ำ DIW Distribution

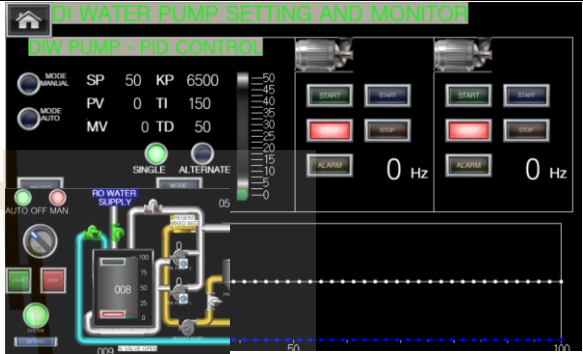


รูปที่ 4.5 คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมการทำงานปั้มน้ำ DIW Distribution (ต่อ)

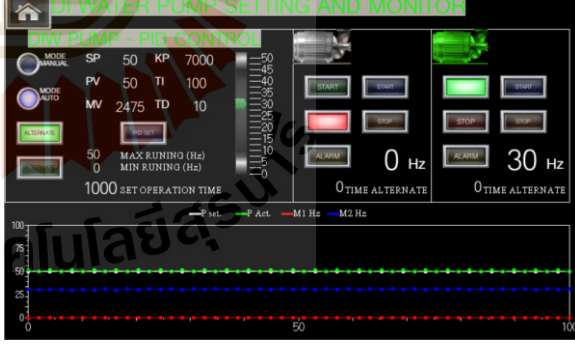
จากการทดสอบจำลองการทำงานของระบบควบคุมการทำงานปั้มน้ำ DIW Distribution จะทำการตรวจสอบระดับน้ำในถังเก็บน้ำดีโอเอไนซ์ เมื่อระดับน้ำดีโอเอไนซ์ มากกว่าระดับควบคุมต่ำ ระบบจะยอมให้เริ่มการทำงานโดยเริ่มจากการตั้งค่าแรงดันน้ำ และค่าควบคุมปั้มน้ำต่าง ๆ เลือกฟังก์ชันการทำงานเป็น Auto หรือ Manual กรณีเลือกฟังก์ชัน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

กระบวนการจ่ายน้ำทันที เพื่อป้องกันผลกระทบต่ออุปกรณ์ และฝ่ายผลิต โดยผลการทดสอบจะแสดงในตารางที่ 4.3

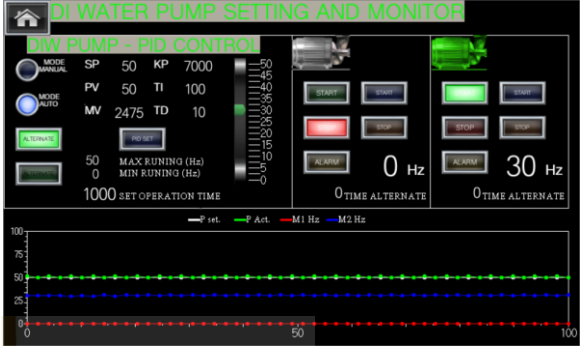
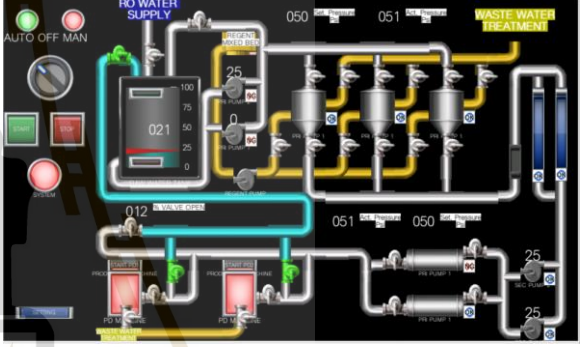
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution

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

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution (ต่อ)

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

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Distribution (ต่อ)

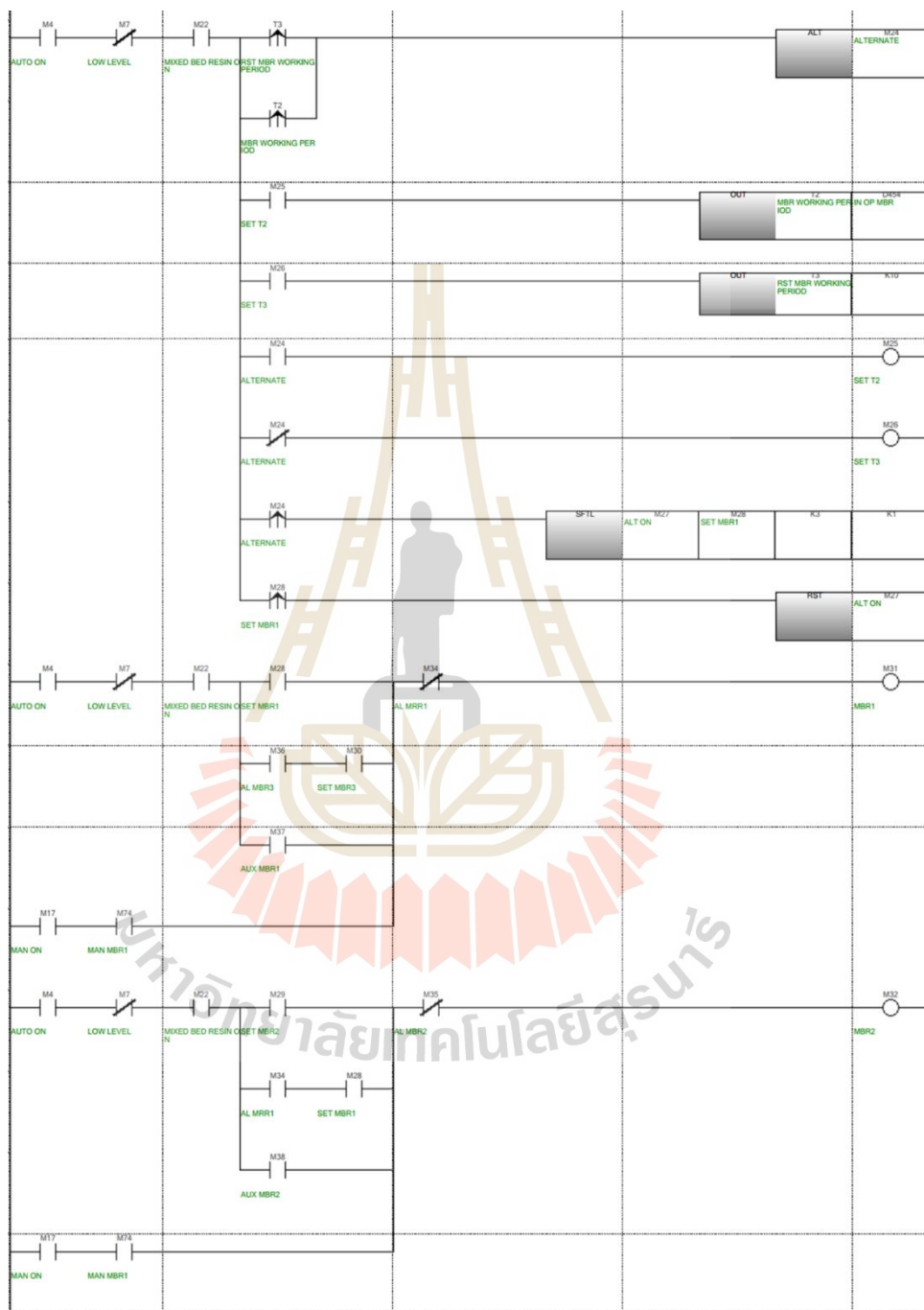
รายละเอียด เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
ระบบสามารถแสดงค่าการทำงานของปั้มน้ำได้	
กรณีปั้มน้ำมีการแจ้งเตือนร่าม 2 ตัวระบบตัดการทำงานระบบจ่ายน้ำได้โดยอัตโนมัติ	

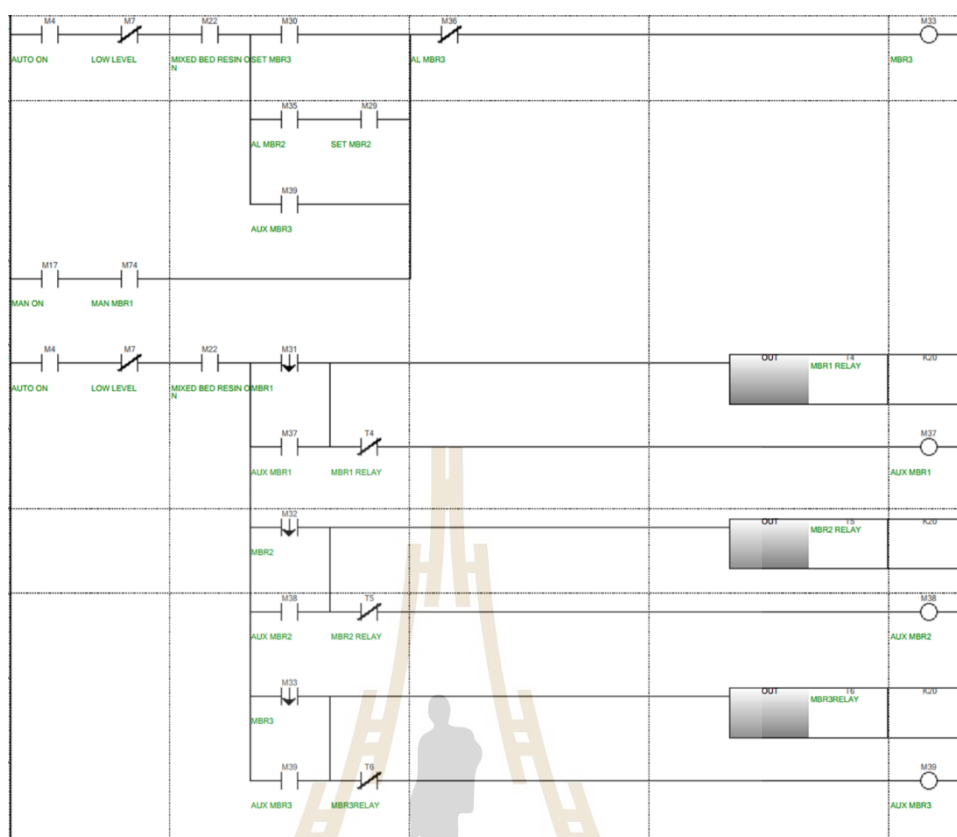
4.2.4 การควบคุมการทำงานของถังกรอง Mixed Bed Resin

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

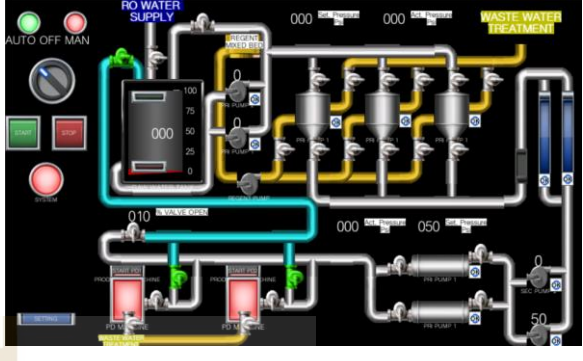




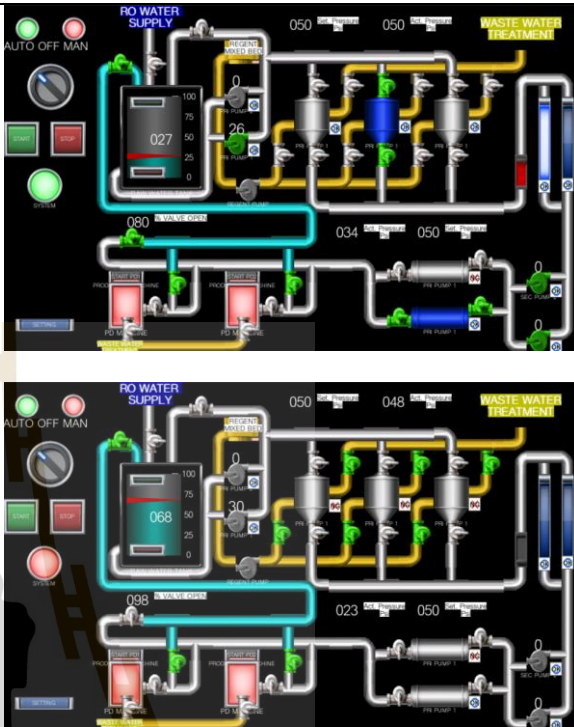
รูปที่ 4.6 คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมการทำงานถังกรอง Mixed Bed Resin

จากการทดสอบจำลองการทำงานของระบบควบคุมการทำงานถังกรอง Mixed Bed Resin จะทำการตรวจสอบระดับน้ำในถังเก็บน้ำดีไอออไนซ์ เมื่อระดับน้ำดีไอออไนซ์ 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 ที่ทำงานอยู่มีการแจ้งเตือนอร่าม 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	

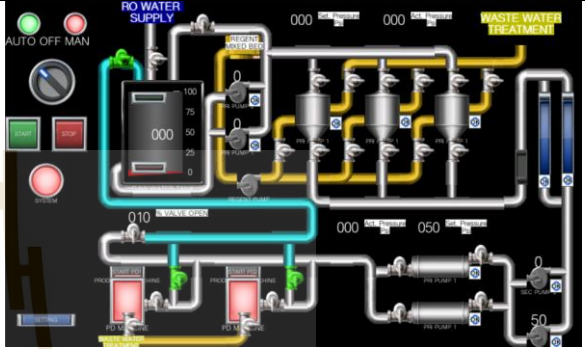
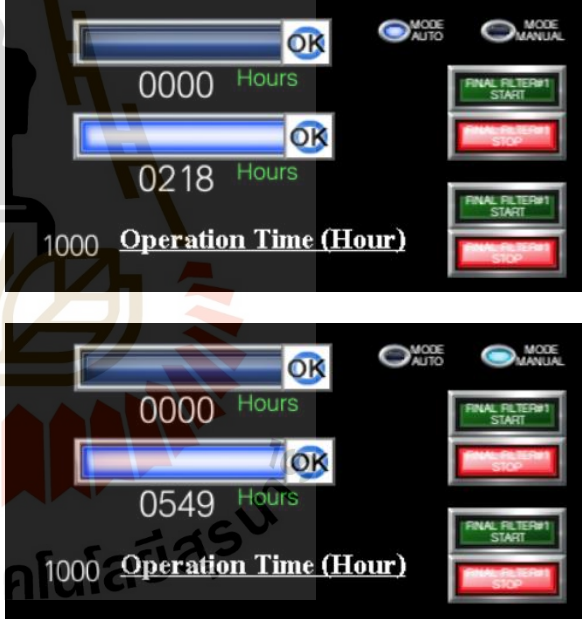
4.2.5 การควบคุมการทำงานของหลอดไฟฆ่าเชื้อ

จากรูปที่ 3.9 จะสามารถนำมาเขียนโปรแกรม Ladder GX Works3 เพื่อควบคุมการทำงานของหลอดไฟฆ่าเชื้อได้ ตามรูปที่ 4.6 ประกอบด้วยเงื่อนไขดังต่อไปนี้

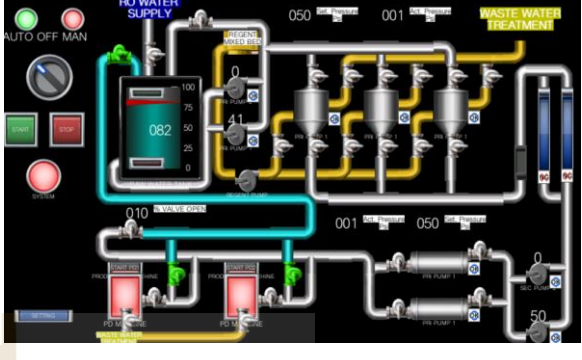
- 1) หลอดไฟฆ่าเชื้อไม่สามารถทำงานได้กรณีที่ระบบมีการแจ้งเตือนการทำงานผิดปกติของกระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์
- 2) สามารถควบคุมการทำงานของหลอดไฟฆ่าเชื้อในโหมด Auto และ Manual
- 3) โหมด Auto โปรแกรมสามารถสลับการทำงานของหลอดไฟฆ่าเชื้อตามค่าที่กำหนด และกรณีที่หลอดไฟฆ่าเชื้อที่ทำงานมีการแจ้งเตือนร่วมขัดข้องสามารถสตาร์ทอีกหลอดขึ้นโดยอัตโนมัติ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

โดยอัตโนมัติ และกรณีที่หลอดไฟฟ้าเชื้อเพลิงเต็มทั้ง 2 หลอดระบบจะสั่งหยุดกระบวนการจ่ายน้ำทันที เพื่อป้องกันผลกระทบต่ออุปกรณ์ และฝ่ายผลิต โดยผลการทดสอบจะแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าควบคุมการทำงานของหลอดไฟฟ้าเชื้อ

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

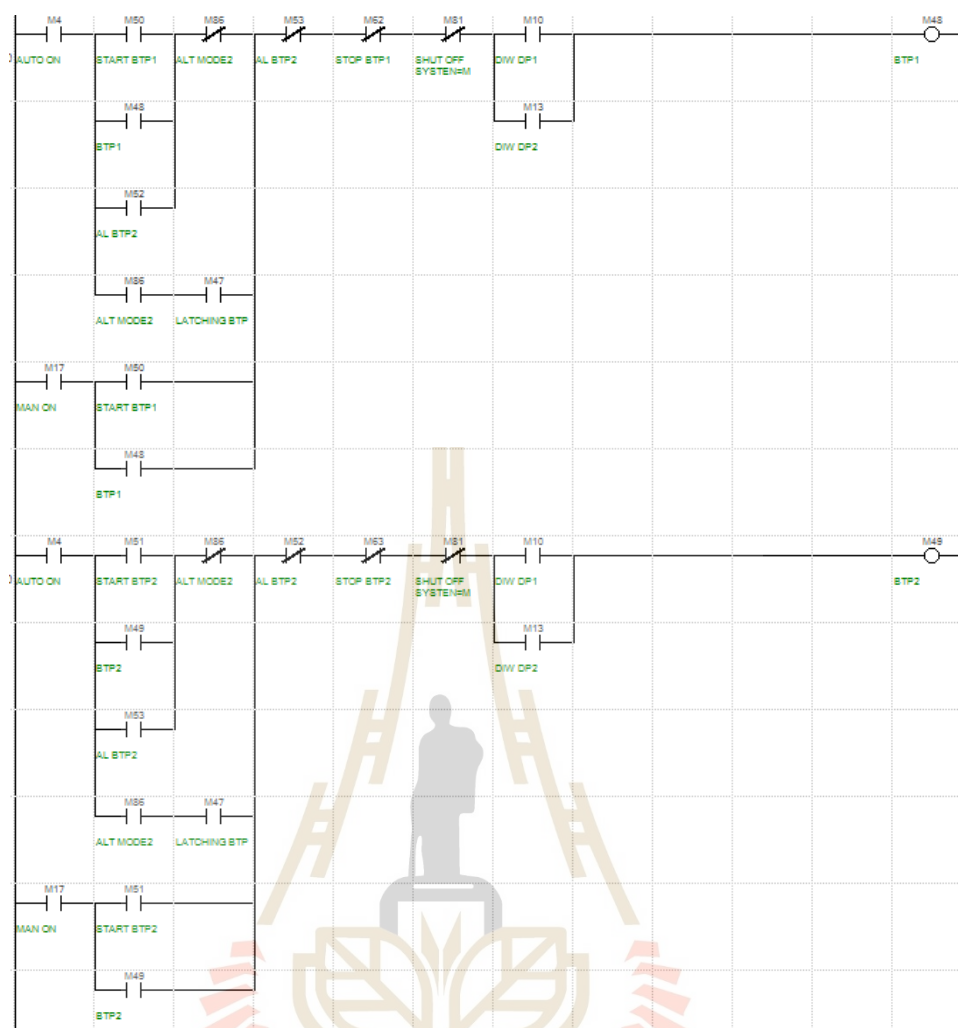
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าควบคุมการทำงานของหลอดไฟฟ้าเชื้อ (ต่อ)

รายละเอียด เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
กรณีหลอดไฟฟ้าเชื้อมีการแจ้งเตือนร่ำม 2 หลอดระบบตัดการทำงานระบบจ่ายน้ำได้โดยอัตโนมัติ	

4.2.6 การควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Booster

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

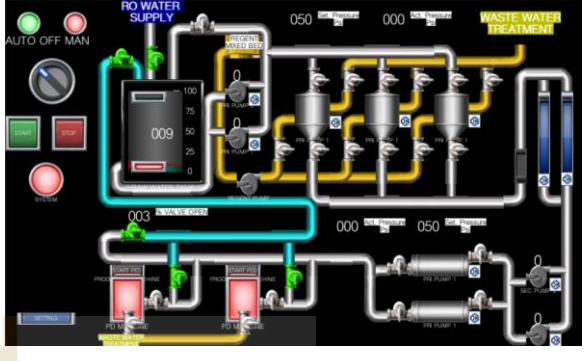
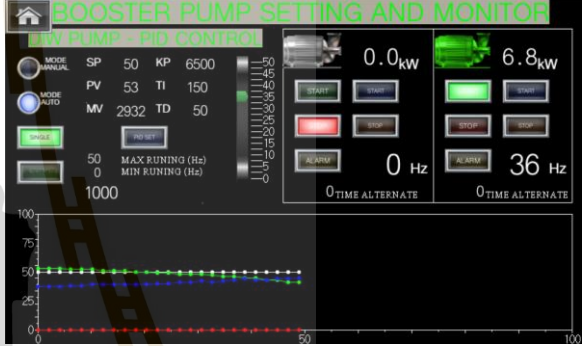
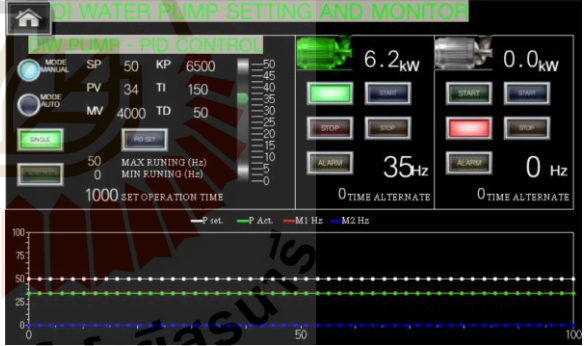
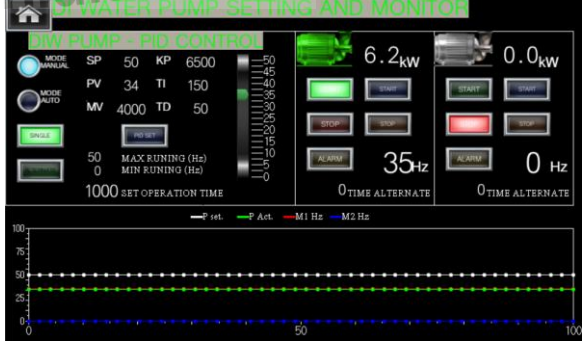
- 1) ปั้มไม่สามารถทำงานได้กรณีที่ระบบมีการแจ้งเตือนการทำงานขัดข้องของกระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์
- 2) สามารถควบคุมแรงดันน้ำตามค่าที่กำหนด
- 3) สามารถควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ DIW Booster ในโหมด Auto และ Manual
- 4) โหมด Auto โปรแกรมสามารถสลับการทำงานของปั้มน้ำ DIW Booster ตามค่าที่กำหนด และกรณีที่ปั้ม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



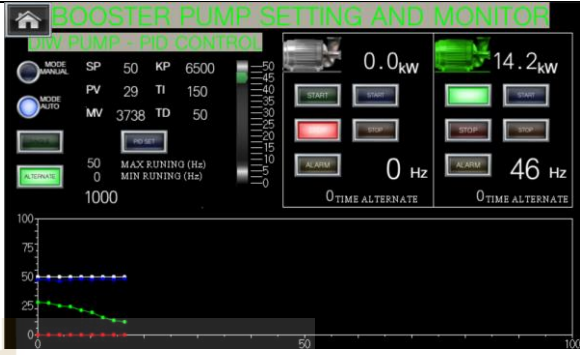
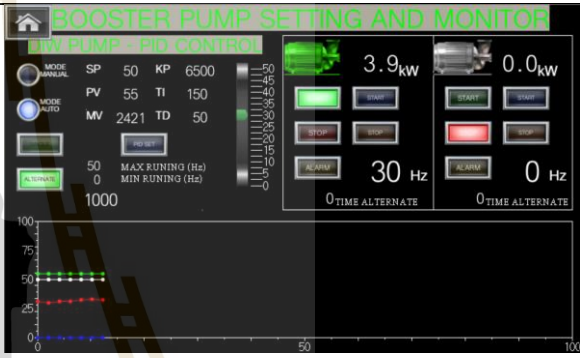
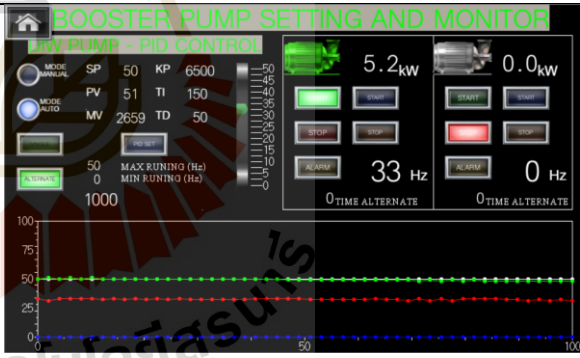
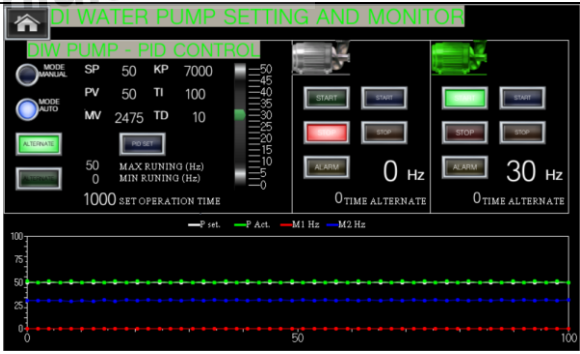
รูปที่ 4.8 คำสั่ง Ladder GX Works3 ควบคุมการทำงานปั้มน้ำ DIW Booster

จากการทดสอบจำลองการทำงานของระบบควบคุมการทำงานปั้มน้ำ 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

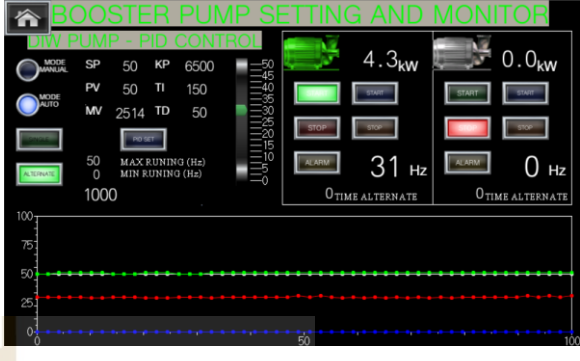
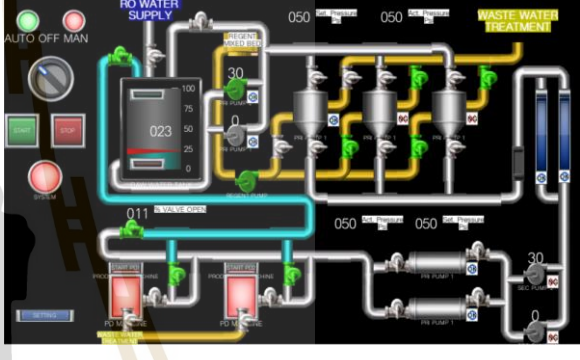
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าควบคุมการทำงานของปั๊ม DIW Booster

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	

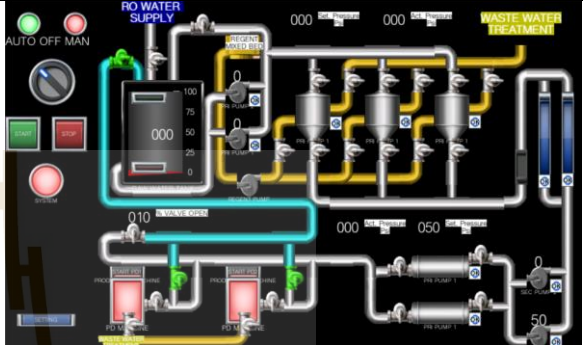
4.2.7 การควบคุมการทำงานของวาล์วลังกรอง Final Filter

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

- 1) วาล์วลังกรอง Final Filter ไม่สามารถทำงานได้กรณีที่ระบบมีการแจ้งเตือนการทำงานขัดข้องของกระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์
- 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 ถังอัตราน้ำแรงดันสูง ระบบจะสั่งหยุดการทำงานทั้งหมด

ระบบจะสั่งหยุดกระบวนการจ่ายน้ำทันที เพื่อป้องกันผลกระทบต่ออุปกรณ์ในระบบจ่ายน้ำดีไอเออน์ซ์ 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)

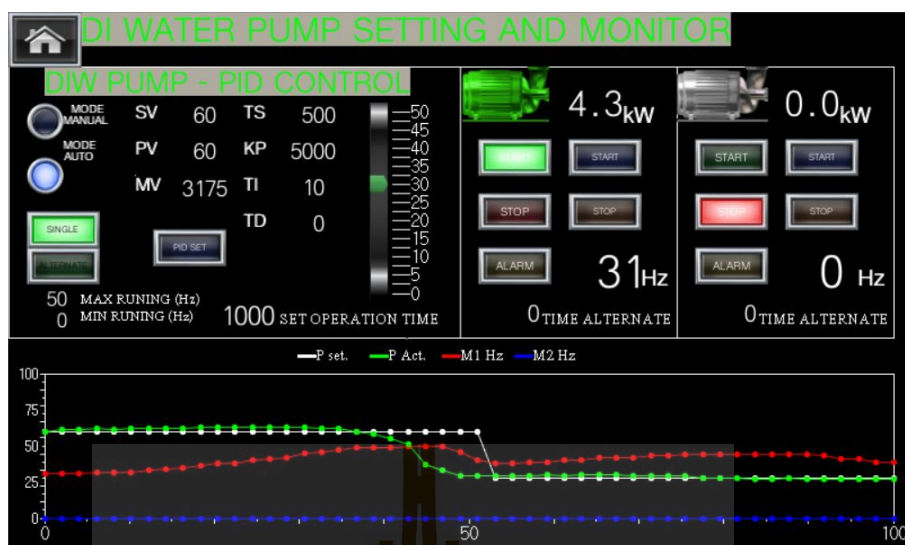
รายละเอียด เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
กรณีถึงกรอง ถึงกรอง Final Filter ที่ทำงานอยู่มีการแจ้งเตือนอร่าม ระบบสามารถสลับการทำงานได้โดยอัตโนมัติ	
กรณีถึงกรอง Final Filter มีการแจ้งเตือนอร่าม 2 ถึงระบบตัดการทำงานระบบจ่ายน้ำได้โดยอัตโนมัติ	

4.3 ผลประหยัดจากการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ของปั้มน้ำ

ในหัวข้อนี้นำเสนอ วิธีการประหยัดพลังงานโดยการคำนวณค่าพลังงานของปั้มน้ำในระบบจ่ายน้ำดีไอเอส จากการใช้ค่าพลังงานการใช้งานจริงในระบบเปรียบเทียบกับค่าพลังงานที่คำนวณจากการควบคุมปั้มน้ำแบบ PID เพื่อแสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้สามารถประหยัดพลังงานได้

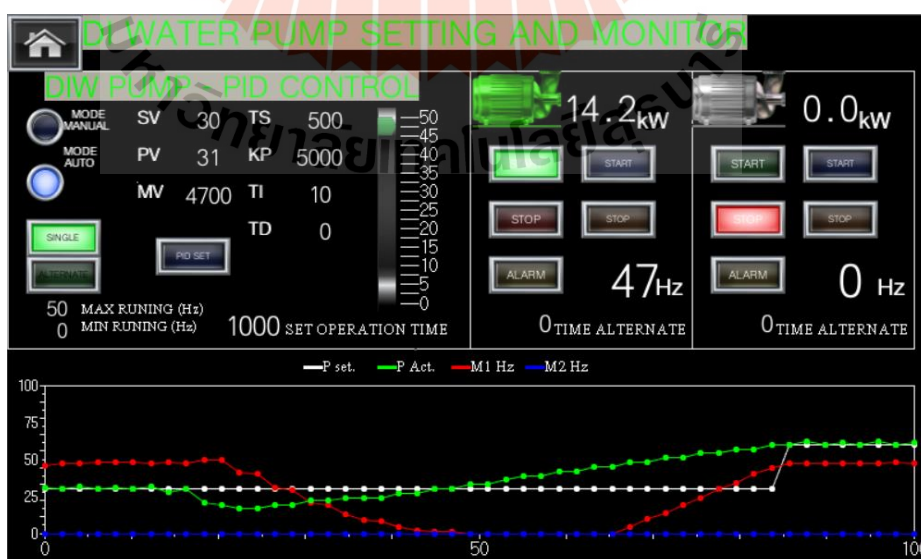
4.3.1 วิธีการควบคุมแรงดันน้ำสำหรับการประหยัดพลังงานแบบ PID Control

ตัวควบคุม PID คืออัลกอริทึมการควบคุมมอเตอร์ปั้มน้ำ เพื่อรักษาแรงดันน้ำดีไอเอสให้ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ 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 โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นจากการปรับหัววาล์ว ซึ่งเป็นได้ทั้งการปรับหัวแบบอัตโนมัติและปรับหัวโดยใช้คน การปรับ หัววาล์วนี้อาจสร้างให้เกิดแรงดันต้านในระบบและเกิดการสูญเสีย พลังงานที่วาล์ว ดังนั้น การนำอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Frequency Drive - VFD) มาใช้กับปั้มน้ำจะเป็นการปรับ อัตราการไหลของน้ำได้โดยไม่ต้องสร้างแรงดันต้านการไหลของน้ำ ขึ้นในระบบ ทำให้สามารถลดการสูญเสียพลังงานลงได้

อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ทำงานโดยอาศัยหลักการ ปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าขาเข้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทำให้ ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปตามความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความเร็ว (ซึ่งโครนัส)} &= 120 * f / P \\ \text{เมื่อ } f &= \text{ความถี่ของแรงดันไฟฟ้า เข้ามอเตอร์} \\ P &= \text{จำนวนขั้วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ} \end{aligned}$$

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

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

เฮด (Head - h)

$$h_2 = h_1(N_2/N_1)^2$$

กำลังไฟฟ้า (Power - P)

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

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

สมการกำลังไฟฟ้า

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

เมื่อ

P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

V คือ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)

PF คือ Power Factor (ค่าสัมประสิทธิ์กำลัง)

Ef คือ Efficiency (ประสิทธิภาพ)

$$P = 1.732 * 408 * 29.5 * 0.95 * 0.9$$

$$= 16,856 \text{ วัตต์ หรือ } 16.9 \text{ กิโลวัตต์}$$

สมการค่าพลังงานไฟฟ้า

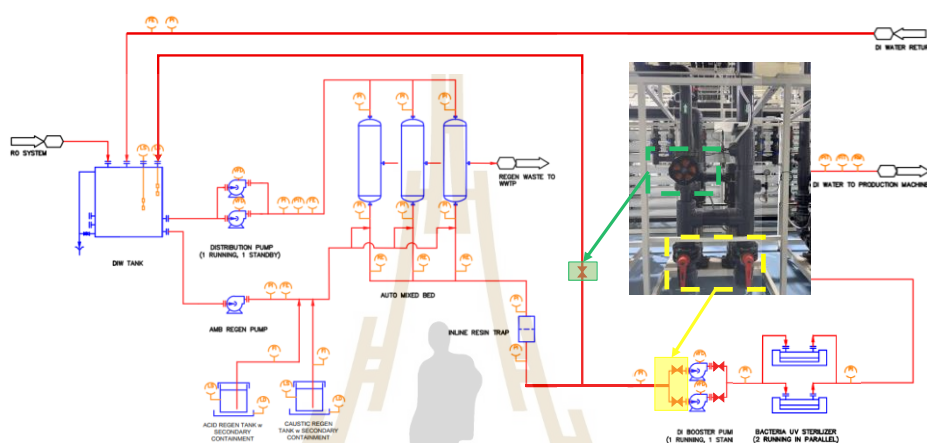
$$E = P * t(\text{ชั่วโมง/ปี}) / 1000$$

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 สามารถคำนวณหาค่าพลังงานที่ใช้งานต่อปีได้จากสูตรทางไฟฟ้า

สมการกำลังไฟฟ้า

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

เมื่อ

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)

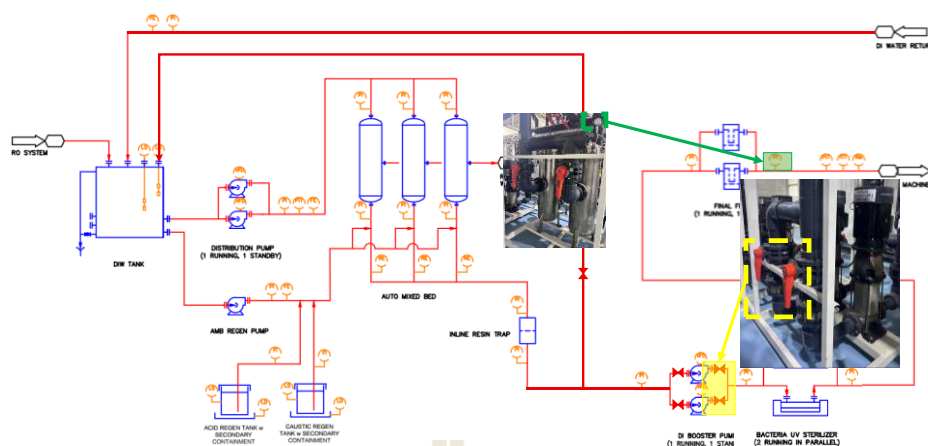
P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

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

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



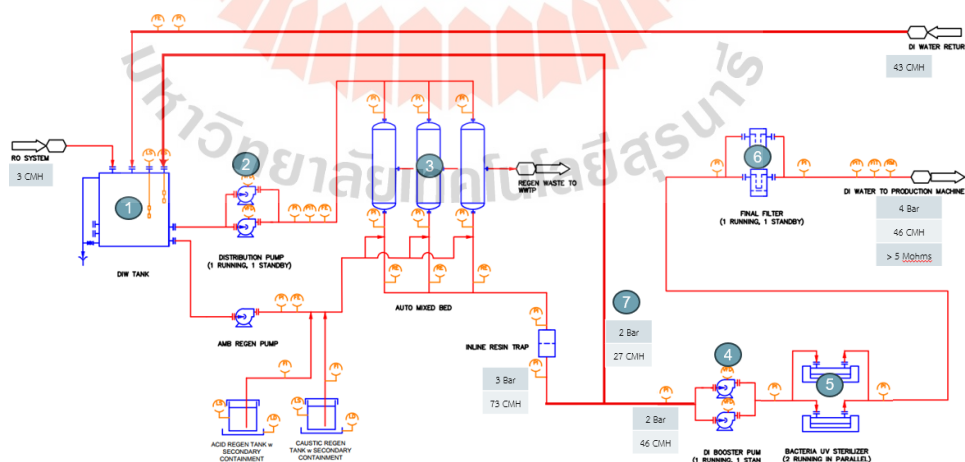
รูปที่ 4.14 เนมเพลตปั้มน้ำ DIW Booster



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

$$\begin{aligned} N_{\text{Distribution}} &= 2,960 * (3 / 125) \\ &= 71 \text{ RPM} \end{aligned}$$

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 หาความถี่ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั๊มน้ำ 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 ร่วมกับการปรับวาล์วพาสน้ำดีไอเออนไชน์ในกรณีที่โหลดมอเตอร์ต่ำกว่า 25 เฮิร์ตซ์ ดังนั้น จึงคำนวณพลังงานที่ต้องจ่ายให้กับมอเตอร์ปั๊มน้ำหลังปรับปรุงที่ ความถี่ 25 เฮิร์ตซ์

ที่ความถี่ 25 เฮิรตซ์ ความเร็วรอบของมอเตอร์ปั้มน้ำ DIW Distribution จะเท่ากับสมการคำนวณ สลิปมอเตอร์

$$\text{Slip} = ((N_s - N_{\text{ROTOR}}) / N_s) * 100\%$$

เมื่อ N_s = ความเร็วซิงโครนัส
 N_{ROTOR} = ความเร็วโรเตอร์

แทนค่าสมการ

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

แทนค่าสมการ

$$N_{s25\text{Hz}} = 120 * f / P \\ N_{s25\text{Hz}} = 120 * 25 / 2 \\ = 1,500 \text{ RPM}$$

หาความเร็วรอบโรเตอร์ที่ความเร็ว 1,500 RPM จาก

$$N_{\text{ROTOR}600\text{RPM}} = (1 - \text{Slip} / 100) * N_s \\ = (1 - 1.33 / 100) * 1,200 \\ = 1480 \text{ RPM}$$

คำนวณการใช้พลังงานของปั้ม DIW Distribution และ DIW Booster จากสมการความ สัมพันธ์ อัตราการไหลกับความเร็วรอบ

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

คำนวณการใช้พลังงานของปั้ม DIW Distribution แทนค่าสมการ

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

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 ของมอเตอร์

ปั้มน้ำ DIW Distribution จะสามารถคำนวณปริมาณการใช้น้ำ RO ต่อปีหลังการปรับปรุงได้จาก
ความสัมพันธ์อัตราการไหล

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

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

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 แสดงผลประโยชน์จากการปรับปรุงระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์แบบอัตโนมัติ

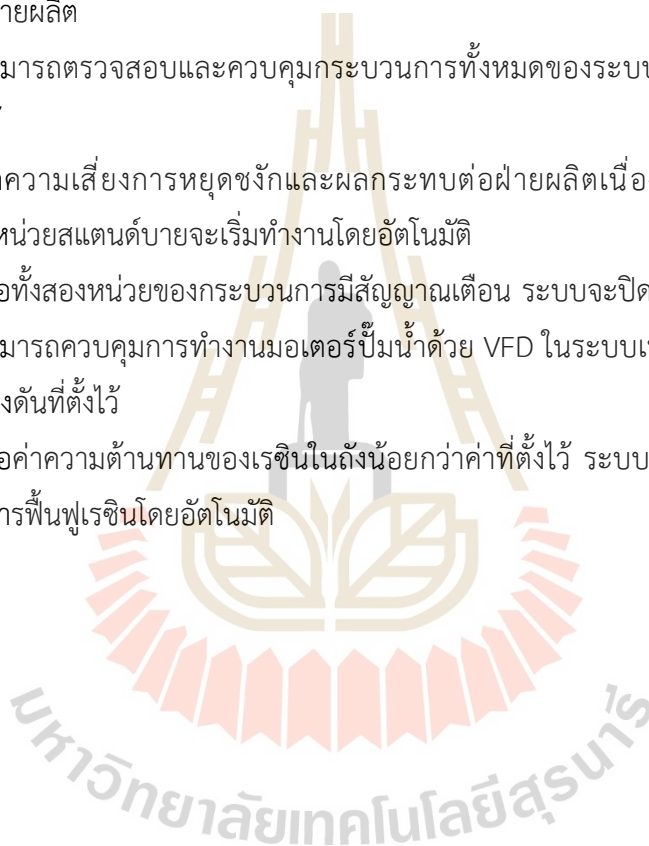
การผลิตน้ำดีไอ	ก่อนการปรับปรุง	การคำนวณ หลังการปรับปรุง	ผลประโยชน์	หน่วย
ปริมาณน้ำผลิตน้ำดีไอ	1,629	1,200	429	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ปริมาณการจ่ายน้ำดีไอ	880	648	232	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ปริมาณน้ำดีไอไหลกลับ	847	615	232	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ปริมาณการใช้น้ำดีไอ	33	33	0	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
ปริมาณการใช้น้ำทั้งหมด	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 ในการผลิตน้ำดีไอไนซ์ 429 ลูกบาศก์เมตรต่อปี คิดเป็นเงิน 12,870 บาทต่อปี และผลประโยชน์จากการลดค่าใช้จ่ายสารเคมีที่ใช้ในการล้างเมตสาร์เรซิน โดยอ้างอิงจากค่าใช้จ่ายจริงในปี 2567 เทียบกับค่าใช้จ่ายในปี 2568 คิดเป็นเงิน 444,406 บาทต่อปี รวมผลประโยชน์ทั้งหมด 718,420 บาทต่อปี และต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงระบบทั้งสิ้นเป็นเงิน 2,063,500 บาท ผลตอบแทนจากการลงทุน โดยคำนวณจากผลประหยักรวมที่ได้จากการลงทุนหารด้วยต้นทุนของการลงทุนนั้น (Return on Investment, ROI) เท่ากับ 2.9 ปี

4.4 สรุป

ผลการจำลองระบบควบคุมการจ่ายน้ำดีไอเอสแบบอัตโนมัติ โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม PLC และการแสดงผลผ่าน HMI สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

- 1) การจำลองฟังก์ชันการทำงานของระบบควบคุมการจ่ายน้ำดีไอเอสแบบอัตโนมัติสามารถนำไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ และเครื่องจักรในกระบวนการจ่ายน้ำดีไอเอส
- 2) ระบบการจ่ายน้ำดีไอเอสแบบอัตโนมัติ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการจ่ายน้ำดีไอเอส ได้เนื่องจากการควบคุมการทำงานของปั้มน้ำจะจ่ายน้ำตามความต้องการของเครื่องจักรของฝ่ายผลิต
- 3) สามารถตรวจสอบและควบคุมกระบวนการทั้งหมดของระบบจ่ายน้ำดีไอเอส ผ่านหน้าจอ HMI ได้
- 4) ลดความเสี่ยงการหยุดชงักและผลกระทบต่อฝ่ายผลิตเนื่องจากเมื่อหน่วยงานมีสัญญาณเตือน หน่วยสแตนด์บายจะเริ่มทำงานโดยอัตโนมัติ
- 5) เมื่อทั้งสองหน่วยของกระบวนการมีสัญญาณเตือน ระบบจะปิดโดยอัตโนมัติ
- 6) สามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ปั้มน้ำด้วย VFD ในระบบเพื่อรักษาแรงดันจ่ายน้ำให้สอดคล้องกับแรงดันที่ตั้งไว้
- 7) เมื่อค่าความต้านทานของเรซินในถังน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ ระบบจะต้องสลับไปยังถังถัดไป และเปิดระบบการฟื้นฟูเรซินโดยอัตโนมัติ



บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาเรื่องระบบการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ ด้วยเทคนิคจำลองโปรแกรม GX WORK3 และโปรแกรม GT Designer3 กรณีศึกษาระบบการจ่ายน้ำในโรงงาน สามารถสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองการทำงานของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ ในโรงงานอุตสาหกรรม กรณีศึกษา ผู้วิจัยได้ทำการสร้าง แบบจำลองสถานการณ์กระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ของโรงงาน เพื่อทดลองหาวิธีควบคุมอุปกรณ์และเครื่องจักรในระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ที่เหมาะสม ลดความเสี่ยงที่อาจเป็นสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อการหยุดชะงักของไลน์การผลิต และลดค่าใช้จ่ายในระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ โดยการใช้โปรแกรม GX WORK3 และ GT DESIGNER3 ในแบบจำลองสถานการณ์ สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

- 1) การจำลองฟังก์ชันการทำงานของระบบควบคุมการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ แบบอัตโนมัติ สามารถนำไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ และเครื่องจักรในกระบวนการจ่ายน้ำ ดีไอโอไนซ์ ให้ตอบสนองกับความต้องการของเครื่องจักรได้
- 2) ระบบสามารถควบคุมการทำงาน และมอนิเตอร์ค่าพารามิเตอร์ต่างที่ใช้ในกระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ ผ่านหน้าจอควบคุมการทำงานและกำหนดค่าควบคุมต่างผ่านหน้าจอ HMI (Human Machine Interface)
- 3) ระบบการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์แบบอัตโนมัติ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้า 261,143 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นเงิน 1,010,625 บาทต่อปี และปริมาณการใช้น้ำ 429 ลูกบาศก์เมตรต่อปี คิดเป็นเงิน 12,870 บาทต่อปี จากการควบคุมการทำงานของปั้มน้ำแบบ PID
- 4) ระบบการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์แบบอัตโนมัติ สามารถลดต้นทุนของระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ จากการเพิ่มระยะเวลาการเปลี่ยนเม็ดสารเรซิน และค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมีที่ใช้ในระบบ เนื่องจากการใช้น้ำลดลงจากการประยุกต์ใช้ VFD ควบคุมปั้มน้ำตามความต้องการของเครื่องจักรฝ่ายผลิต

5) ลดความเสี่ยงการหยุดซั๊กและผลกระทบต่อฝ่ายผลิตเนื่องจากระบบการควบคุมจ่ายน้ำ ดีไอโอไนซ์ แบบอัตโนมัติ จะสลับการทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรโดยอัตโนมัติเมื่อพบว่ามี Alarm ของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ ในระบบควบคุมการจ่ายน้ำ ดีไอโอไนซ์

5.2 ข้อจำกัดของแบบจำลอง

ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์ในกระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ มีข้อจำกัดในการจำลองการทำงานของโปรแกรมตามพฤติกรรมการใช้งานเครื่องจักรฝ่ายผลิต เนื่องจากการใช้งานของฝ่ายผลิตไม่คงที่ขึ้นอยู่กับแผนการผลิตแต่ละเดือน ส่งผลให้ข้อมูลผลประหยัดของการจำลองโปรแกรมมาจากการคำนวณค่าปริมาณการใช้น้ำจริงเทียบกับการคำนวณปริมาณน้ำและค่าพลังงานที่ปั้มน้ำ

5.3 ข้อเสนอแนะ

การการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์ในกระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ ถือว่า เป็นไปตามวัตถุประสงค์ ซึ่งแบบจำลองนี้เป็นการศึกษาการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของ กระบวนการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์และประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ในการควบคุมการทำงานของปั้มน้ำและอุปกรณ์ในระบบจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายน้ำดีไอโอไนซ์ที่เหมาะสมสำหรับความต้องการของเครื่องจักรฝ่ายผลิต สำหรับข้อเสนอแนะในการพัฒนา ในแบบจำลองสถานการณ์นี้ คือ การพัฒนาวิธีการบันทึกข้อมูลการใช้พลังงาน และปริมาณการใช้น้ำดีไอโอไนซ์ลงไปแบบจำลองเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน รวมถึงการติดตามผลการลดค่าใช้จ่ายในส่วน of ค่าพลังงานและปริมาณน้ำที่ลดลงในแบบจำลองง่ายขึ้น เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับแบบจำลองมากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

- [1] A. Selwin Mich Priyadharson, R. Ganesan, and Prabhu Kumar Surarapu. (2015). PLC – HMI Automation based Cascaded Fuzzy PID for Efficient Energy Management and Storage in Real Time Performance of a Hydro Electric Pumped Storage Power Plant. Vel Tech U
- [2] Seyfettin Vadi, Ramazan Bayindir , Yigit Toplar and Ilhami Colak (2020). Induction motor control system with Programmable Logic Controller (PLC) and Profibus communication for industrial plants – An experimental setup. Nisantasi University, Istanbul
- [3] Kitti Ek Saengsakul. (2003). Design and construction of an automatic paint sprayer using PLC to control the operation, Thammasat University, Bangkok
- [4] Wisawa Mama and Thana Radpukdee. (2017). Development of A PID Control Law for an ON/Off Actuator. Khon Kean University, Khon Kean.
- [5] ชนิดของหัวขับเคลื่อนวาล์ว (Valve Actuator) www.eurooriental.co.th แหล่งที่มา <https://www.eurooriental.co.th/valve-actuator/>
- [6] เซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ แหล่งที่มา <https://sites.google.com/site/jakchaiinsuwan01/sensexr-laea-thran-sdiw-sexr>
- [7] โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable Logic Controller) แหล่งที่มา <http://www.advance-electronic.com/blog/detail/113/th/PLC>



ภาคผนวก ก

โปรแกรม Ladder ของระบบควบคุมการจ่ายน้ำดีไอเอส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

DlwaterSupply

Module Type Information: FX5CPU FX5U

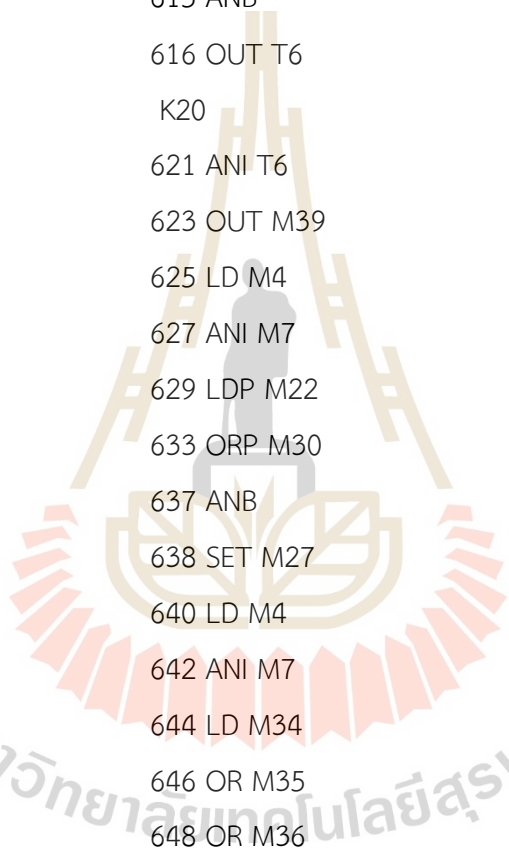
Step No. Instruction I/O (Device)



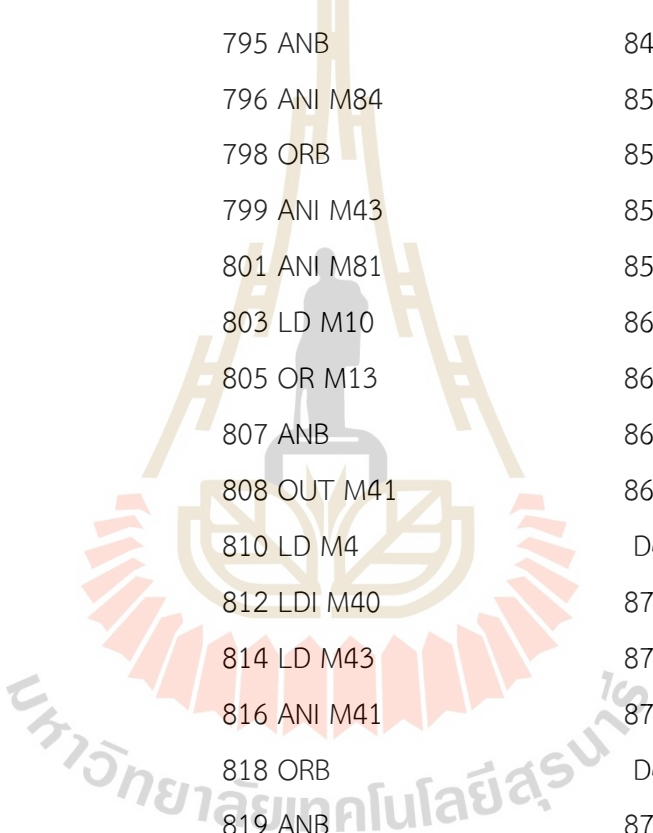
0 LD SM402	62 OR M4	121 LD M7
2 MOV K80	64 ANB	123 OR M20
D1	65 ANI M3	125 ANB
6 MOV K20	67 OUT M4	126 ANI M5
D2	69 LD M1	128 OUT M20
10 MOV K10	71 ANI M81	130 LD M4
D3	73 OUT M17	132 LD M8
14 MOV K1000	75 LD M4	134 OR M10
D454	77 OR M17	136 OR M15
18 MOV K1000	79 ANI M81	138 ANI M16
D455	81 OUT M21	140 LD M16
22 MOV K1000	83 LD M4	142 ANI T0
D462	85 RST M1	144 ORB
26 MOV K1000	87 LD M1	145 ANB
D453	89 RST M4	146 LD M1
30 MOV K1000	91 LD M4	148 LD M8
D458	93 OR M1	150 OR M10
34 MOV K50	95 MPS	152 ANB
D456	96 AND $\geq$ D0	153 ANI M9
38 MOV K50	D1	155 ORB
D459	100 OUT M5	156 ANI M6
42 MOV K5	102 MPP	158 ANI M14
D461	103 AND $<$ D0	160 ANI M9
46 MOV K10	D2	162 OUT M10
D4	107 OUT M7	164 LD M4
50 MOV K10	109 LD SM8000	166 LD M11
D5	111 AND $<$ D0	168 OR M13
54 MOV K10	D3	170 OR M14
D6	115 OUT M6	172 ANI M16
58 LD M0	117 LD M4	174 LD M16
60 LD M2	119 OR M1	176 AND T0

178 ORB	236 MOV K0	305 OR M13
179 ANB	D133	307 ANB
180 LD M1	240 MOV K50	308 MPS
182 LD M11	D116	309 AND SM412
184 OR M13	244 MOV K150	311 MOV D102
186 ANB	D114	D103
187 ANI M12	248 MOV K6500	315 MPP
189 ORB	D113	316 / D103
190 ANI M6	252 RST D111.4	K80
192 ANI M15	254 RST D111.6	D105
194 ANI M12	256 LD SM402	323 LD M4
196 OUT M13	258 ORP M19	325 OR M17
198 LD M4	262 ORP M1	327 AND SM411
200 AND M16	266 RST D102	329 MPS
202 MPS	269 LDP M19	330 AND M10
203 ANI T1	273 MUL D456	332 MPS
205 OUT T0	K80	333 AND> D108
D453	D132	D105
210 MPP	280 MUL D457	337 AND<= D108
211 AND T0	K80	K50
213 OUT T1	D133	341 #NAME? K1
D453	287 LD M10	D108
218 LD SM402	289 OR M13	346 MRD
220 MOV K50	291 ANI M17	347 AND< D108
D100	293 ANI M19	D105
224 MOV K500	295 PID D100	351 AND>= D108
D110	D104	K0
228 SET D111.0	D110	355 #NAME? K1
230 SET D111.5	D102	D108
232 MOV K4000	301 LD M4	360 MPP
D132	303 LD M10	361 AND> D107

K0	420 ANI M23	481 ANDP M28
365 #NAME? D107	422 ANI M7	485 RST M27
K1	424 OUT M22	487 LD M4
D107	426 LD M4	489 ANI M7
370 MPP	428 AND M22	491 AND M22
371 AND M13	430 MPS	493 LD M28
373 MPS	431 LDP T3	495 LD M36
374 AND> D107	435 ORP T2	497 AND M30
D105	439 ANB	499 ORB
378 AND<= D107	440 ALT M24	500 OR M37
K50	443 MRD	502 ANB
382 #NAME? K1	444 AND M25	503 LD M17
D107	446 OUT T2	505 AND M73
387 MRD	D454	507 ORB
388 AND< D107	451 MRD	508 ANI M34
D105	452 AND M26	510 ANI M81
392 AND>= D107	454 OUT T3	512 OUT M31
K0	K10	514 LD M4
396 #NAME? K1	459 MRD	516 ANI M7
D107	460 AND M24	518 AND M22
401 MPP	462 OUT M25	520 LD M29
402 AND> D108	464 MRD	522 LD M34
K0	465 ANI M24	524 AND M28
406 #NAME? D108	467 OUT M26	526 ORB
K1	469 MRD	527 OR M38
D108	470 ANDP M24	529 ANB
411 LD M4	474 SFTL M27	530 LD M17
413 LD M10	M28	532 AND M75
415 OR M13	K3	534 ORB
417 ANB	K1	535 ANI M35
418 OR M17	480 MPP	537 ANI M81



539 OUT M32	599 OUT T5	663 ANI M4
541 LD M4	K20	665 MPS
543 ANI M7	604 ANI T5	666 AND M73
545 AND M22	606 OUT M38	668 OUT M74
547 LD M30	608 MPP	670 MRD
549 LD M35	609 LDF M33	671 AND M75
551 AND M29	613 OR M39	673 OUT M76
553 ORB	615 ANB	675 MPP
554 OR M39	616 OUT T6	676 AND M77
556 ANB	K20	678 OUT M78
557 LD M17	621 ANI T6	680 LD M0
559 AND M77	623 OUT M39	682 OR M1
561 ORB	625 LD M4	684 MPS
562 ANI M36	627 ANI M7	685 AND< D4
564 ANI M81	629 LDP M22	D461
566 OUT M33	633 ORP M30	689 SET M34
568 LD M4	637 ANB	691 MRD
570 ANI M7	638 SET M27	692 AND< D5
572 AND M22	640 LD M4	D461
574 MPS	642 ANI M7	696 SET M35
575 LDF M31	644 LD M34	698 MRD
579 OR M37	646 OR M35	699 AND< D6
581 ANB	648 OR M36	D461
582 OUT T4	650 ANB	703 SET M36
K20	651 LD M17	705 MRD
587 ANI T4	653 LD M72	706 AND M34
589 OUT M37	655 OR M71	708 OUT T16
591 MRD	657 ANB	D454
592 LDF M32	658 ORB	713 MRD
596 OR M38	659 OUT M71	714 AND T16
598 ANB	661 LD M17	716 RST M34



718 MRD	781 LD M40	834 LD M10
719 AND M35	783 LD M44	836 OR M13
721 OUT T17	785 ANI M42	838 ANB
D454	787 ORB	839 OUT M42
726 MRD	788 ANB	841 LD M4
727 AND T17	789 LD M17	843 AND M86
729 RST M35	791 LD M45	845 LD M10
731 MRD	793 OR M41	847 OR M13
732 AND M36	795 ANB	849 ANB
734 OUT T18	796 ANI M84	850 MPS
D454	798 ORB	851 LDP T9
739 MPP	799 ANI M43	855 ORP T10
740 AND T18	801 ANI M81	859 ANB
742 RST M36	803 LD M10	860 ALT M47
744 LD M4	805 OR M13	863 MRD
746 ANI M43	807 ANB	864 AND M48
748 ANI M44	808 OUT M41	866 OUT T9
750 MPS	810 LD M4	D458
751 LDP T7	812 LDI M40	871 MPP
755 ORP T8	814 LD M43	872 AND M49
759 ANB	816 ANI M41	874 OUT T10
760 ALT M40	818 ORB	D458
763 MRD	819 ANB	879 LD M4
764 AND M41	820 LD M17	881 LD M50
766 OUT T7	822 LD M46	883 OR M48
D455	824 OR M42	885 OR M52
771 MPP	826 ANB	887 ANI M86
772 AND M42	827 ANI M85	889 LD M86
774 OUT T8	829 ORB	891 AND M47
D455	830 ANI M44	893 ORB
779 LD M4	832 ANI M81	894 ANB

895 LD M17	950 ANB	D210
897 LD M50	951 OUT M49	D202
899 OR M48	953 LD SM402	1018 LD M17
901 ANB	955 MOV K50	1020 OR M4
902 ORB	D200	1022 LD M48
903 ANI M53	959 MOV K500	1024 OR M49
905 ANI M62	D210	1026 ANB
907 ANI M81	963 SET D211.0	1027 MPS
909 LD M10	965 SET D211.5	1028 AND SM412
911 OR M13	967 MOV K4000	1030 MOV D202
913 ANB	D232	D203
914 OUT M48	971 MOV K0	1034 MPP
916 LD M4	D233	1035 / D203
918 LD M51	975 MOV K50	K80
920 OR M49	D216	D205
922 OR M53	979 MOV K150	1042 LD M4
924 ANI M86	D214	1044 AND SM410
926 LD M86	983 MOV K6500	1046 MPS
928 AND M47	D213	1047 AND M48
930 ORB	987 RST D211.4	1049 MPS
931 ANB	989 RST D211.6	1050 AND> D208
932 LD M17	991 LD SM402	D205
934 LD M51	993 ORP M54	1054 AND<= D208
936 OR M49	997 ORP M17	K50
938 ANB	1001 RST D202	1058 #NAME? K1
939 ORB	1004 LD M48	D208
940 ANI M52	1006 OR M49	1063 MRD
942 ANI M63	1008 ANI M17	1064 AND< D208
944 ANI M81	1010 ANI M54	D205
946 LD M10	1012 PID D200	1068 AND>= D208
948 OR M13	D204	K0

1072 #NAME? K1	1132 MUL D459	1197 ANB
D208	K80	1198 ANI M82
1077 MPP	D232	1200 ORB
1078 AND> D207	1139 MUL D460	1201 ANI M58
K0	K80	1203 ANI M82
1082 #NAME? D207	D233	1205 ANI M81
K1	1146 LD M4	1207 LD M48
D207	1148 ANI M58	1209 OR M49
1087 MPP	1150 ANI M59	1211 ANB
1088 AND M49	1152 MPS	1212 OUT M64
1090 MPS	1153 LDP T11	1214 LD M4
1091 AND> D207	1157 ORP T12	1216 LDI M55
D205	1161 ANB	1218 LD M58
1095 AND<= D207	1162 ALT M55	1220 ANI M56
K50	1165 MRD	1222 ORB
1099 #NAME? K1	1166 AND M64	1223 ANB
D207	1168 OUT T11	1224 LD M17
1104 MRD	D462	1226 LD M61
1105 AND< D207	1173 MPP	1228 OR M65
D205	1174 AND M65	1230 ANB
1109 AND>= D207	1176 OUT T12	1231 ANI M83
K0	K100	1233 ORB
1113 #NAME? K1	1181 LD M4	1234 ANI M59
D207	1183 LD M55	1236 ANI M83
1118 MPP	1185 LD M59	1238 ANI M81
1119 AND> D208	1187 ANI M57	1240 LD M48
K0	1189 ORB	1242 OR M49
1123 #NAME? D208	1190 ANB	1244 ANB
K1	1191 LD M17	1245 OUT M65
D208	1193 LD M60	1247 LD SM400
1128 LDP M54	1195 OR M64	1249 MPS

1250 AND C3	D332	1373 MPS
1252 OUT M58	1313 MOV K400	1374 AND M80
1254 MPP	D333	1376 MPS
1255 AND C4	1317 MOV K50	1377 AND> D308
1257 OUT M59	D316	D305
1259 LD SM8000	1321 MOV K150	1381 AND<= D308
1261 AND SM412	D314	K100
1263 MOV D100	1325 MOV K6500	1385 #NAME? K1
D400	D313	D308
1267 MOV D108	1329 LD SM402	1390 MPP
D401	1331 ORP M17	1391 AND< D308
1271 MOV D104	1335 RST D202	D305
D402	1338 LD M4	1395 AND>= D308
1275 MOV D107	1340 ANI M17	K0
D403	1342 AND M80	1399 #NAME? K1
1279 MOV D200	1344 PID D300	D308
D410	D204	1404 MPP
1283 MOV D208	D310	1405 ADD D200
D411	D302	K5
1287 MOV D204	1350 LD M17	D300
D412	1352 OR M4	1410 LD M17
1291 MOV D207	1354 MPS	1412 OR M4
D413	1355 AND SM412	1414 MPS
1295 LD SM402	1357 MOV D302	1415 AND> D104
1297 MOV K50	D303	D100
D300	1361 MPP	1419 OUT M79
1301 MOV K500	1362 / D303	1421 MPP
D310	K40	1422 OUT M80
1305 RST D311.0	D305	1424 LD SM400
1307 SET D311.5	1369 LD M4	1426 LD M14
1309 MOV K4000	1371 AND SM413	1428 AND M15

1430 LD M34
1432 AND M35
1434 AND M36
1436 ORB
1437 LD M43
1439 AND M44
1441 ORB
1442 LD M53
1444 AND M52
1446 ORB
1447 LD M58
1449 AND M59
1451 ORB
1452 OR M7
1454 ANB
1455 OUT M81
1457 EN



The logo of Sakon Nakhon Rajabhat University is a large, faint watermark in the background. It features a golden-yellow bell-shaped structure with a central figure of a person sitting on a throne. Below the figure is a circular emblem with a lotus flower design. The entire logo is encircled by a red and white scalloped border.

ภาคผนวก ข

โปรแกรม GT Designer3 ของระบบควบคุมการจ่ายน้ำดีไอเอส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[Screen Image / Setting]

Screen Design

Design Name Classic-Black

Base Screen

Background Color No

Window Screen

Background Color No

Screen Contour Rectangle

Window Design Classic

Shadow None

Base Screen1

[Base Screen Details]

Screen Name MAIN

Size 800X480

Detailed Description

Security

0

Individually set the screen design No

Switch Station No. No

Switch buffer memory unit No.

Pop up alarms Yes

Display Position Bottom

[Key Window]

Key Window Setting

Key Window Setting Same as the project setting

Key Window/Cursor Display Setting

Key Window/Cursor Display Setting Same as the project setting

Key Window/Cursor Movement

Key Window/Cursor Movement Same as the project setting

[Dialog Window]

Dialog Window Same as the project setting

[Option Selection Window]

Option Selection Window Same as the project setting

[Object List]

Object ID

Coordinates

Device

Switch	10000	0,160		M2
	10002		64,160	M3
	10118		304,366	M68
	10119		144,366	M66
	10235	16,64		GD1
	10236	48,64		GD1
	10237	80,64		GD1
	10257		16,432	-
	10270		336,190	M14
	10271		336,128	M15
	10272		448,160	M34
	10273		544,158	M35
	10274		640,158	M36
	10275		736,240	M43
	10276		768,238	M44
	10277		752,384	M53
	10278		752,461	M52
	10279		640,366	M58
	10280		640,430	M59
	10286		304,174	-
	10287		304,110	-
	10288		400,128	-
	10289		496,128	-
	10290		592,128	-
	10291		736,144	-
	10292		560,350	-
	10293		560,416	-
	10294		720,368	-
	10295		720,446	-
Bit Lamp	10001		32,224	M21
	10004		174,222	M6
	10005		174,126	M5
	10006		304,174	M10
	10007		304,110	M13
	10016		400,126	M31
	10022		496,126	M32
	10023		592,126	M33
	10034	416,94		M31
	10035	512,94		M32
	10036	608,94		M33
	10037		416,190	M31
	10038		512,190	M32
	10039		608,190	M33
	10041		704,206	M21
	10044		736,126	M41
	10045		768,126	M42

	10056	320,238	M71
	10064	368,190	M34
	10077	464,190	M35
	10078	560,190	M36
	10097	720,366	M48
	10099	720,446	M49
	10103	560,414	M65
	10109	640,398	M65
	10110	528,414	M65
	10111	560,350	M64
	10112	640,334	M64
	10113	528,350	M64
	10147	144,382	M67
	10148	304,382	M69
	10153	352,398	M69
	10155	192,398	M67
	10157	160,304	M80
	10173	464,94	M34
	10174	560,94	M35
	10176	656,94	M36
	10190	160,430	M67
	10191	320,430	M69
	10199	224,366	M67
	10206	384,366	M69
	10232	144,64	M0
	10238	16,16	M0
	10239	80,16	M1
	10252	192,64	M20
	10264	256,16	M79
Word Lamp	10233	32,80	GD1
Numerical Display	10145	720,350	D208
	10146	720,430	D207
	10149	512,16	D104
	10254	192,174	D0
	10258	304,160	D108
	10259	304,94	D107
Numerical Input	10169	560,302	D200
	10170	160,288	D308
	10255	384,16	D100
	10281	448,302	D204
Graphical Meter	10003	160,110	D0

Base Screen2

[Base Screen Details]

Screen Name

DIW SETTING

Size

800X480

Detailed Description	SETTING AND MONITOR PRI-MOTOR		
Security			0
Individually set the screen design	No		
Switch Station No.	No		
Switch buffer memory unit No.	No		
Pop up alarms	Yes		
Display Position	Bottom		
[Key Window]			
Key Window Setting			
Key Window Setting	Same as the project setting		
Key Window/Cursor Display Setting			
Key Window/Cursor Display Setting	Same as the project setting		
Key Window/Cursor Movement			
Key Window/Cursor Movement	Same as the project setting		
[Dialog Window]			
Dialog Window	Same as the project setting		
[Option Selection Window]			
Option Selection Window	Same as the project setting		
[Object List]			
	Object ID	Coordinates	Device
Switch	10001	0,0	-
	10155		272,288 -
	10156		160,176 M19
	10157		16,224 M16
	10172		496,112 M8
	10173		496,160 M9
	10179		688,112 M11
	10180		688,160 M12
	10203		16,176 M16
	10162		16,128 M0
Bit Lamp	10164	16,80	M1
	10165	400,48	M10
	10166	592,48	M13
	10169		416,112 M10
	10170		416,160 M10
	10171		416,208 M14
	10176		608,112 M13
	10177		608,160 M13
	10178		608,208 M15
	10007		144,112 D104
Numerical Display			

	10111	144,145	D102
	10174	464,64	D33
	10181	656,208	D107
	10186	608,256	T1
	10193	416,256	T0
	10207	480,208	D108
	10208	656,64	D53
Numerical Input	10004	144,80	D100
	10021	240,80	D113
	10024	240,112	D114
	10107	240,144	D116
	10184	96,256	D453
	10190	96,212	D456
	10191	96,231	D457
Trend Graph	10102	32,320	D400
Slider	10140	320,80	D105
Base Screen4			
[Base Screen Details]			
Screen Name	DIW BOOSTER PUMP		
Size	800X480		
Detailed Description	TO CONTROL PRESSURE SUPPLY TO PRODUCTION MACHINES		
Security	0		
Individually set the screen design	No		
Switch Station No.	No		
Switch buffer memory unit No.	No		
Pop up alarms	Yes		
Display Position	Bottom		
[Key Window]			
Key Window Setting			
Key Window Setting	Same as the project setting		
Key Window/Cursor Display Setting			
Key Window/Cursor Display Setting	Same as the project setting		
Key Window/Cursor Movement			
Key Window/Cursor Movement	Same as the project setting		
[Dialog Window]			
Dialog Window	Same as the project setting		
[Option Selection Window]			
Option Selection Window	Same as the project setting		
[Object List]			

Switch buffer memory unit No.	No		
Pop up alarms	Yes		
Display Position	Bottom		
[Key Window]			
Key Window Setting			
Key Window Setting	Same as the project setting		
Key Window/Cursor Display Setting			
Key Window/Cursor Display Setting	Same as the project setting		
Key Window/Cursor Movement			
Key Window/Cursor Movement	Same as the project setting		
[Dialog Window]			
Dialog Window	Same as the project setting		
[Option Selection Window]			
Option Selection Window	Same as the project setting		
[Object List]			
	Object ID	Coordinates	Device
Switch	10000	0,0	-
	10021		16,432 M73
	10026		112,432 M75
	10031		208,432 M77
	10045		569,270 M58
	10046		569,335 M59
	10047		704,304 M60
	10048		704,336 M82
	10054	590,64	M43
	10055		592,128 M44
	10068		704,384 M61
	10069		704,416 M83
	10070	704,96	M45
	10071		704,128 M84
	10072		704,176 M46
Bit Lamp	10073		704,208 M85
	10003		64,192 M6
	10004	64,80	M5
	10012		16,320 M31
	10017		32,368 M34
	10022		112,320 M32
	10025		128,368 M35
	10027		208,320 M33
	10030		224,368 M36

	10039	477,333	M65
	10040	592,317	M65
	10041	432,333	M65
	10042	477,270	M64
	10043	592,256	M64
	10044	432,270	M64
	10051	448,64	M41
	10052	448,128	M42
	10088	256,272	M0
	10090	326,272	M1
	10092	256,64	M0
	10094	326,64	M1
	10096	656,64	M0
	10098	726,64	M1
	10100	656,272	M0
	10102	726,272	M1
Numerical Display	10005	64,128	D0
	10006	192,96	D1
	10008	192,144	D2
	10010	192,192	D3
	10015	16,288	D4
	10023	112,288	D5
	10028	208,288	D4
	10056	480,96	D7
	10058	480,160	D8
	10074	488,308	D9
	10075	488,373	D10
Numerical Input	10013	272,320	D461
	10018	272,384	D454
	10064	416,208	D455
	10066	416,432	D462
	10086	416,400	D20
Text Display	10082	473,281	C3
	10083	473,346	C4
Graphical Meter	10002	48,64	D0

Base Screen7

[Base Screen Details]

Screen Name	Setting
Size	800X480
Detailed Description	set all parameter are concern
Security	0
Individually set the screen design	No
Switch Station No.	No
Switch buffer memory unit No.	No
Pop up alarms	Yes

Display Position Bottom

[Key Window]

Key Window Setting

Key Window Setting

Same as the project setting

Key Window/Cursor Display Setting

Key Window/Cursor Display Setting

Same as the project setting

Key Window/Cursor Movement

Key Window/Cursor Movement

Same as the project setting

[Dialog Window]

Dialog Window

Same as the project setting

[Option Selection Window]

Option Selection Window

Same as the project setting

[Object List]

	Object ID	Coordinates	Device
Switch	10000	0,0	-
	10070		352,416 M19
	10071		624,416 M54
Numerical Input	10005	32,96	D1
	10006		32,128 D2
	10007		32,160 D3
	10018	272,96	D100
	10022		272,144 D113
	10024		272,192 D114
	10026		272,240 D116
	10033		272,288 D453
	10036		32,224 D454
	10039		32,352 D455
	10042		272,336 D456
	10043		272,384 D457
	10049	544,96	D200
	10050		544,144 D213
	10051		544,192 D214
	10052		544,240 D216
	10054		544,288 D458
	10057		544,336 D459
	10058		544,384 D460
	10061		32,432 D462
	10072		32,272 D461

ภาคผนวก ค

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา



รายชื่อบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

Kritsasa Somsapa Natthapon Donjaroennonb, Suphatchakan Nuchkuma Uthen Leetonb
(2025). COST REDUCTION OF DI WATER SUPPLY SYSTEM BY MULTIVARIABLE
CONTROL WITH PLC. Proceedings of the 8 th International Symposium on
Engineering and Natural Sciences, 8th ISEAN, February 03 - 05, 2025





Cost Reduction of DI Water Supply System by Multivariable Control with PLC

Kritsasa Somsap^a Natthapon Donjaroennon^b, Suphatchakan Nuchkum^a Uthen Leeton^{b*}

^a School of Mechatronic Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

E-mail dik_dongbang@hotmail.com, Supatchakan.nuchkum@gmail.com

^b School of Electrical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

E-mail address: PreNatthapon@gmail.com, uthen.leeton@gmail.com*

Abstract

This research presents the development of an automated DI (Deionized) water distribution system for industrial applications aimed at reducing DI water production costs and ensuring efficient operation 24 hours, designed with a Programmable Logic Controller (PLC) and a Human-Machine Interface (HMI) as the primary control mechanisms, incorporating a PID-based pump control system to optimize energy usage, with testing results demonstrating that the system effectively supplies DI water according to production machinery requirements, extends the lifespan of equipment and raw materials used in DI water production, achieves a 20% reduction in production costs, and significantly decreases energy consumption of the pump system, thereby enhancing operational efficiency and sustainability in the manufacturing process.

Keywords: DI water supply, PID control, Human-Machine Interface.

1. Introduction

Deionized Water (DI water), which refers to water that has undergone ion removal through filtration processes using resin as the filtering medium, resulting in water free of residual ions with enhanced quality and high purity, is widely utilized in the electronics industry due to its exceptionally high purity, making it a preferred choice for various industrial processes where the quality and purity of water are critical.

In modern industrial settings, DI water is commonly utilized in workpiece cleaning processes using automated cleaning machines; however, the water distribution system in many factories is still controlled manually through valve adjustments to regulate water pressure and flow rate according to the cleaning machine's requirements, which often results in excessive water distribution beyond the machine's actual needs to accommodate scenarios where multiple cleaning machines operate simultaneously.

This thesis investigates and designs a DI water distribution control system utilizing PID control principles to manage pump motors and water return control valves, as well as to regulate various processes involved in DI water distribution, by applying Programmable Logic Controllers (PLC) and Human-Machine Interfaces (HMI) to enhance the efficiency of DI water supply operations while simultaneously reducing production costs. Figure 1 illustrates the schematic diagram of the DI water distribution system.

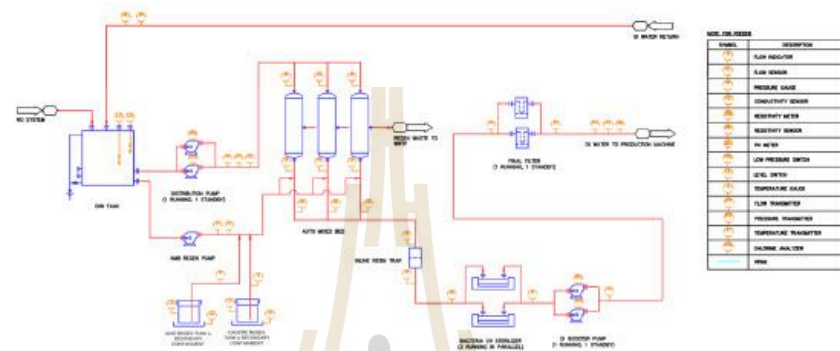


Figure 1. Schematic Diagram of the DI Water Distribution System.

2. Process and Analysis

The control design for the DI water distribution system utilizes a Programmable Logic Controller (PLC) for operational management and incorporates control interface design through an HMI (Human-Machine Interface) screen, as illustrated in Figure 2.

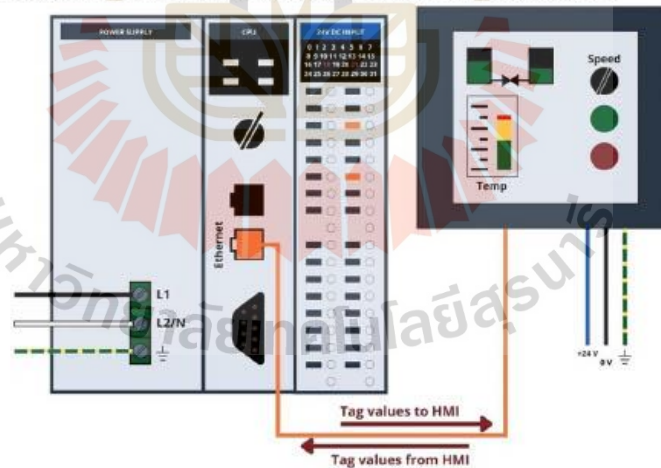


Figure 2. Schematic Diagram of the DI Water Distribution System.

The design for controlling the pump motor and the water return control valve applies PID control principles utilizing the PID function within the PLC, as shown in Figure 3.

PID control operates through a PID instruction, which requires the system to calculate the output value (MV) based on the measured value (PV). This calculation integrates the proportional (P), integral (I), and derivative (D) functions, enabling the system to achieve the target set value (SV).

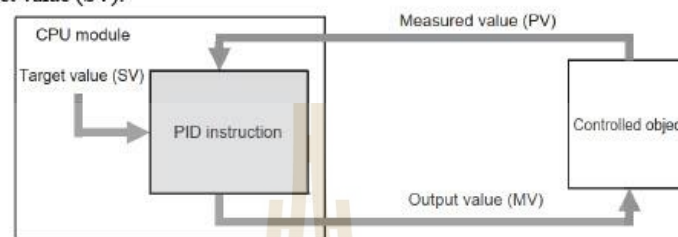


Figure 3. PID Control System.

The PID process operates as follows: when the target value (S1), the measured value s2), and the PID parameters (s3) through (s3) +6 are set and the program is executed, the calculated output value (MV) is transferred to the output (D) at every sampling interval. The sampling time is defined by (s3), and the operation is illustrated in Figure 4.

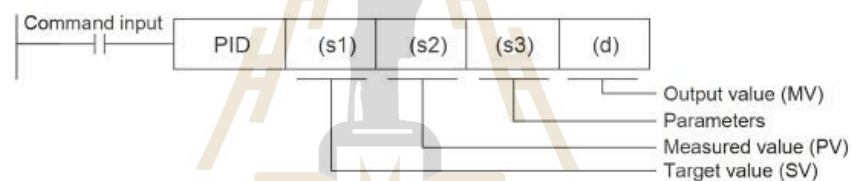


Figure 4. PID Function Instructions.

3. Research Methodology

Currently, PLCs and HMI screens are widely employed for system control in various industrial applications, representing one of the most critical techniques in industrial operations. This study presents the application of PLCs and HMI screens in managing the DI water distribution system.

The methodology focuses on the control of devices and machinery involved in the DI water distribution process, encompassing the operational control of the following equipment:

- I. Develop a program to control the RO water volume and display the water volume on the HMI screen.
- II. Create a program to manage the DI water pump operations based on specified water pressure using PID control, where an alternate pump automatically starts

if an alarm occurs on one pump, and stops only when a manual stop button is pressed or the pump alarm is resolved.

- III. Develop a program to control the operation of the Mixed Bed Resin tanks, alternating their operations based on a set schedule; when the water conductivity exceeds the specified value, the system will automatically switch to the next Mixed Bed Resin tank and initiate the regeneration process for the depleted tank.
- IV. Write a program to control the UV sterilization lamps, alternating their operation on a set schedule; if any lamp encounters a fault, the system will automatically switch to another lamp.
- V. Create a program to manage the DI booster pump operations based on specified pressure levels using PID control, where an alternate pump automatically starts in case of an alarm on one pump and stops only upon a manual stop command or resolution of the pump alarm.
- VI. Develop a program to control the filtration system valves, alternating their operations on a defined schedule, and automatically switching when a filter alarm occurs.
- VII. Write a program to control the water return valve, which opens according to specified values and adjusts automatically when the system pressure exceeds the defined limit, ensuring the pump operates at the minimum specified level.

The control of equipment and machinery in the DI water distribution process follows the operational sequence illustrated in Figure 5.

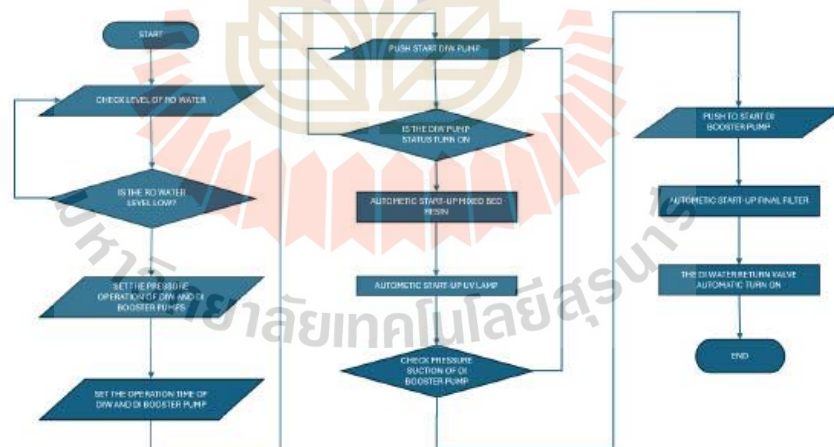


Figure 5. Steps of DI Water Distribution System Operation

4. Results

Based on the study and current data collection on the DI Water distribution system in the factory, this case study aims to propose an approach to improving the overall efficiency of the DI Water distribution control system. The researcher has simulated the DI Water distribution control program using GX Works3 and GT Designer3 to model the control processes of equipment and machinery in the DI Water distribution system, as follows:

- Control of the DIW Distribution Pump operation.
- Control of the Mixed Bed Resin Tank operation.
- Control of the UV Lamp operation for sterilization.
- Control of the DI Booster Pump operation.
- Control of the Final Filter Tank operation.

The results of the implementation are presented in Table 1.

Table1. The machinery in the DI Water distribution process

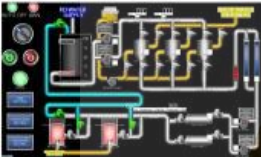
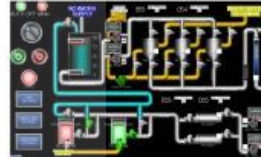
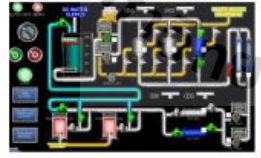
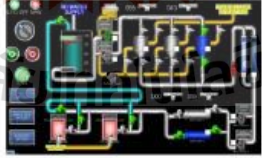
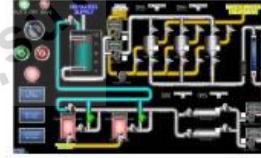
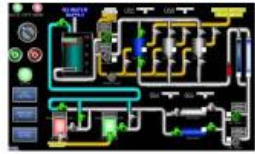
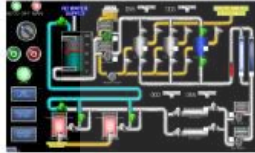
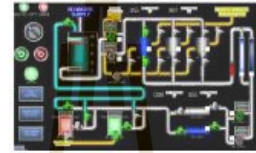
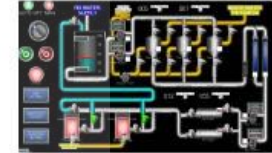
Control of the DIW Distribution Pump operation		
		
Low Water Level Detected: DIW Distribution Pump Not Operating	PID Control for Pumps	Pump Shutdown Activated When Two Alarms Are Triggered
Control of the Mixed Bed Resin Tank operation		
		
Operation of Mixed Bed Resin	Operation of Mixed Bed Resin 1	Mixed Bed Resin 1 Alarm: Next Unit Auto-Activated
Control of the UV Lamp operation for sterilization		
		
Operation of UV Sterilization Lamp	UV Sterilization Lamps 1 and 2 Alternate Operation	UV Sterilization Lamps Shutdown When Both Alarms Are Triggered

Table1. The machinery in the DI Water distribution process (continue)

Control of the DI Booster Pump operation.		
		
Operation of DI Booster Pump	PID Control of DI Booster Pump	DI Booster Pump Shutdown When Both Alarms Are Triggered
Control of the Final Filter Tank operation		
		
Final Filter Tank Operation Starts with DIW Distribution Pump	Final Filter Tank Automatically Alternates Operation Based on Pressure	If Both Final Filter Tanks Trigger Alarms, the DI Water Supply System Shuts Down

5. Conclusion

The simulation results of the automatic DI Water distribution control system, which applies PLC programming and HMI display, can be summarized as follows: The simulation of the automatic DI Water distribution control system functions can effectively control the operation of equipment and machinery in the DI Water distribution process. Additionally, the automated DI Water distribution system can reduce electricity consumption as the pump operation is regulated to supply water based on the actual demand of the production machinery. Furthermore, the system helps extend the lifespan of resin media used in DI Water production, as water consumption is minimized due to the optimized pump control according to production requirements. Moreover, the automated DI Water distribution control system reduces the risk of disruptions and potential impacts on production, as it can automatically switch the operation of equipment or machinery when an alarm is detected within the DI Water distribution control system.

6. References

- [1] Shah, Mohd Hazwan Md, Ili Shairah Abdul Halim, and Siti Lailatul Mohd Hassan. "Programmable Logic Controller (PLC) for polymer mixing tank." 2012 International Symposium on Computer Applications and Industrial Electronics (ISCAIE). IEEE, 2012.
- [2] Das, Rishabh, et al. "Automation of tank level using Plc and establishment of Hmi by Scada." IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) 7.2 (2013): 61-67.
- [3] Ji, Haoqiang. "PLC Programming For A Water Level Control System: Design and System Implementation." (2017).
- [4] Ardyatama, Muhammad Faiz Rifqi. Development of Load Characteristic for The Main Engine and Its PLC Compatible Preparation in Cooperation with The Water Brake as The Generator. Diss. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [5] Pradhan, Gayatri, and Linkan Priyadarsini. "Automation of tank level by using PLC and SCADA/HMI." Int. J. Adv. Res., Ideas Innov. Tech 4 (2018): 1935-1943.
- [6] Babu, C. Ganesh, et al. "An investigation of HMI based PLC-PID for automatic quality water distribution system." 2021 Smart Technologies, Communication and Robotics (STCR). IEEE, 2021.
- [7] Pamungkas, Dimas Irfan Putra Firman, and Rizky Stighfarrinata. "Pengaturan Rasio Zat Penjernih Air menggunakan PLC (Programmable Logic Controller) pada Water Treatment di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi (PPSDM MIGAS) CEPU." Jurnal Teknologi dan Manajemen Sistem Industri 1.1 (2022): 1-6.
- [8] Abed, Waleed Mohammed Abed. PLC system design for management and control of river water treatment system. MS thesis. Kirsehir Ahi Evran University (Turkey), 2023.
- [9] Suryatini, Fitria, Abyanuddin Salam, and Selena Natasha. "Water Level Control in Coupled Tank System with PLC and IoT-Based PID Method." The Indonesian Journal of Computer Science 13.4 (2024).

ประวัติผู้เขียน

นายฤชดา สมทรัพย์ เกิดเมื่อวันที่ 10 มิถุนายน 2533 สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนราษฎร์สโมสร จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิมายวิทยา จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัด นครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2556 และในปี พ.ศ. 2563 ได้ศึกษาต่อในระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ณ สถาบันการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในขณะที่ศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิตนั้น ได้มีประสบการณ์เป็นวิศวกรโรงงานบริษัท เคียวเซร่า เอวีเอ็กซ์ คอมโพเนนส์ (กรุงเทพมหานคร) จำกัด ดูแลงานซ่อมบำรุง และปฏิบัติงานระบบต้นกำลัง

