การศึกษาเชิงทดลองการพัฒนาฟังก์ชันบนพีแอลซีเพื่อการประหยัดพลังงาน ในกระบวนการอุณหภูมิ

EXPERIMENTAL STUDY BASED ON PLC FUNCTION APPROACH
ENERGY SAVING IN TEMPERATURE PROCESS

วัชรพล โสภา
WATCHARAPON SOPHA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2566
KMITL-2023-EN-M-027-025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENTAL STUDY BASED ON PLC FUNCTION APPROACH ENERGY SAVING IN TEMPERATURE PROCESS

WATCHARAPON SOPHA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING PROGRAM IN ELECTRICAL AND COMPUTER
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT’S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2023

KMITL-2023-EN-M-027-025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเชิงทดลองการพัฒนาฟังก์ชันบนพีแอลซีเพื่อการประหยัดพลังงานในกระบวนการอุณหภูมิ
ชื่อนักศึกษา	นายวัชรพล โสภา
รหัสประจำตัว	63601076
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. ไสว พงศ์สวัสดิ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองในการพัฒนาฟังก์ชันบนพีแอลซีสำหรับการประหยัดพลังงานในกระบวนการอุณหภูมิ โดยมีการสร้างฟังก์ชันที่เรียกว่า “Intelligent” ในรูปแบบของแลดเดอร์ไดอะแกรมด้วยซอฟต์แวร์ Studio 5000 สำหรับการประมวลผลในพีแอลซีรุ่น CompactLogix L30ER เพื่อลดการใช้พลังงานของฮีตเตอร์ซึ่งถูกใช้ในการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด (On-Off) ที่ศึกษา การหาค่าสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมในช่วง 4-20 mA เพื่อจ่ายพลังงานให้แก่ฮีตเตอร์ด้วยการทำงานของฟังก์ชัน “Intelligent” ที่สร้างขึ้น แบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ ‘Undersupply’, ‘Oversupply’, และ ‘Sufficient Supply’ โดยค่าสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะมีค่าเป็น ‘On’ (20 mA) เพื่อจ่ายพลังงานให้แก่ฮีตเตอร์ สำหรับกรณี ‘Undersupply’ ในทางตรงกันข้าม สำหรับกรณี ‘Oversupply’ และ ‘Sufficient Supply’ ค่าสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมจะมีค่าเป็น ‘Off’ (0 mA) เพื่อหยุดจ่ายพลังงานให้แก่ฮีตเตอร์ นอกจากนี้ เพื่อแสดงให้เห็นว่า ฟังก์ชัน “Intelligent” สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้อย่างไร จึงได้ทำการทดสอบการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ฟังก์ชัน “Intelligent” ด้วยการทำซ้ำที่เงื่อนไขเดียวกัน 5 รอบ สำหรับค่า SP = 80% และ SP = 90% จากการเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบเปิด-ปิดแบบทั่วไป พบว่า ฟังก์ชัน “Intelligent” สามารถลดการใช้พลังงานของฮีตเตอร์ได้ 4.57% และ 6.65% เมื่อกำหนดค่า SP = 80% และ SP = 90% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Experimental Study Based on PLC Function Approach Energy Saving in Temperature Process
Student	Mr.Watcharapon Sopha
Student ID.	63601076
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical and Computer Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Assco.Prof.Dr. Sawai Pongswatd

ABSTRACT

This thesis presents an experimental study on the development of a programmable logic controller (PLC) function for energy saving in a temperature process. The proposed function, called "Intelligent", in the form of ladder diagrams is created by using Studio 5000 software for running in the CompactLogix L30ER PLC to minimize the energy consumption of a heater used in the studied on-off temperature control. Based on the created "Intelligent" function operations, there are 3 specified cases to determine the controller output in the range of 4-20 mA to supply power to the heater; 'Undersupply', 'Oversupply', and 'Sufficient Supply'. If the event of 'Undersupply' is detected, the proposed "Intelligent" function will set the controller output to be 'On' (20 mA) to fully supply the power of the heater. Otherwise, the proposed "Intelligent" function will set the controller output to be 'Off' (4 mA) to shut off the power of the heater to reduce energy losses in the event of 'Oversupply' as well as the event of 'Sufficient Supply'. In addition, to demonstrate how the "Intelligent" function can save electrical energy, the tests of the intelligent function-based temperature control were, therefore, repeated 5 times in the same conditions for SP = 80% and SP = 90%. Compared with the traditional on-off control action, the proposed "Intelligent" function can minimize the energy consumption of the heater by 4.57% and 6.65% when setting SP = 80% and SP = 90%, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ไสว พงศ์สวัสดิ์ ซึ่งเป็นผู้เสียสละเวลา ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ชี้ให้เห็นถึงปัญหาและคอยตรวจสอบความเรียบร้อยของงานมาตลอด อีกทั้งเป็นผู้ให้คำแนะนำและชี้จุดบกพร่องที่ควรแก้ไข ข้าพเจ้าจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งในความกรุณาของท่านไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ ครอบครัว เพื่อนพี่น้องผู้ใกล้ชิด ที่คอยเตือนและให้กำลังใจข้าพเจ้าอยู่เสมอ พร้อมทั้งให้คำแนะนำและความอบอุ่นแก่ข้าพเจ้าเรื่อยมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติซึ่งได้ให้ความรู้ทางวิชาการจนกระทั้งข้าพเจ้า มีความสามารถที่จะดำเนินปัญหาพิเศษสำเร็จลุล่วงได้เช่นนี้ขอบพระคุณทุกท่านจากใจจริง

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

วัชรพล โสภา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย....................II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ....................III
กิตติกรรมประกาศ....................IV
สารบัญ....................V
สารบัญตาราง....................IX
สารบัญรูป....................X

บทที่ 1 บทนำ....................**1**
1.1 ที่มา ปัญหา และความสำคัญ....................1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา....................4
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์....................5
1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์....................5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ....................5
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์....................5

บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานที่เกี่ยวข้อง....................**7**
2.1 บทนำ....................7
2.2 พีแอลซี....................7
2.2.1 ส่วนประกอบของพีแอลซี....................7
2.2.1.1 หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า....................8
2.2.1.2 หน่วยรับสัญญาณ....................9
2.2.1.3 หน่วยส่งสัญญาณ....................10
2.2.1.4 หน่วยประมวลผลกลาง....................11
2.2.2 การทำงานของพีแอลซี....................14
2.2.2.1 การทำงานของพีแอลซี....................14
2.2.2.2 การทำงานของวงจรแลดเดอร์....................14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2.3 เลขฐานต่างๆ 14
2.2.2.4 วงจรตรรก (ลอจิก) 15
2.2.3 ภาษาพื้นฐานของพีแอลซี 17
2.2.3.1 ภาษาแลดเดอร์ 17
2.3 ระบบควบคุม 20
2.3.1 ระบบควบคุมแบบวงเปิด 20
2.3.2 ระบบควบคุมแบบวงปิดหรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ 21
2.3.2.1 ประเภทของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ 21
2.3.2.2 ระบบอันดับหนึ่ง 22
2.4 การควบคุมอุณหภูมิ 23
2.4.1 การควบคุมแบบเปิด-ปิด 23
2.4.2 การควบคุมแบบพี 24
2.4.3 การควบคุมแบบพีไอ 25
2.4.4 การควบคุมแบบพีไอดี 25
2.5 การวัดและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ 26
2.5.1 อุปกรณ์ให้ความร้อน 26
2.5.1.1 ลวดความร้อนชนิดกลม 26
2.5.1.2 ลวดความร้อนชนิดครีบ 27
2.5.1.3 ลวดความร้อนชนิดจุ่ม 27
2.5.1.4 ลวดความร้อนชนิดแถบ 27
2.5.1.5 ลวดความร้อนชนิดแผ่น 28
2.5.1.6 ลวดความร้อนชนิดอินฟราเรด 28
2.5.2 หลักการวัดอุณหภูมิ 29
2.5.2.1 หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้า 29
2.5.2.2 หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแสง และการแผ่รังสี 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.2.3 หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล 29

2.5.2.4 หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี............ 29

2.5.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ.. 29

2.5.3.1 เทอร์โมคัปเปิล.. 30

2.5.3.2 อาร์ทีดี.. 30

2.5.3.3 เทอร์มิสเตอร์ 30

2.5.3.4 ไพโรมิเตอร์ 30

2.5.3.5 เทอร์โมมิเตอร์ชนิดของเหลวบรรจุภายในหลอดแก้ว 30

2.5.3.6 เทอร์โมมิเตอร์ชนิดตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความดัน.............. 30

2.5.3.7 เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบแถบโลหะคู่ 30

2.6 สรุป 31

บทที่ 3 การออกแบบระบบ.. **32**

3.1 บทนำ 32

3.2 ระบบการควบคุมอุณหภูมิ.. 32

3.2.1 การติดตั้งฮาร์ดแวร์ 32

3.2.2 แผนภาพกระแสข้อมูลการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในกระบวนการเพื่อ
ควบคุมอุณภูมิ.. 34

3.3 การทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ 36

3.3.1 หลักการควบคุมการอุณหภูมิด้วยการเปิด-ปิด.. 36

3.3.2 หลักการควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน Intelligent.................................. 37

3.4 เงื่อนไขการทดลอง 39

3.5 การออกแบบซอฟต์แวร์ 40

3.5.1 การตั้งค่าโปรแกรม Studio 5000 ให้เชื่อมต่อกับ CompactLogix PLC........ 40

3.5.2 การเขียนแลดเดอร์ไดอะแกรมสำหรับควบคุมอุณหภูมิ................................ 41

3.6 สรุป 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง **52**

4.1 บทนำ 52

4.2 ผลการทดลองระบบควบคุมอุณหภูมิแบบใช้ฟังก์ชัน Intelligent 52

4.3 ผลการใช้พลังงานในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ 60

4.4 สรุป 61

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ **62**

5.1 สรุป 62

5.2 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต 62

รายการอ้างอิง 63

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. การเผยแพร่ผลงานในขณะศึกษา 66

ประวัติผู้เขียน 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 เปรียบเทียบค่าเลขนับและเลขฐานต่างๆ 15
4.1 แสดงผลการใช้พลังงานในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิที่ 80 ℃... 60
4.2 แสดงผลการใช้พลังงานในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิที่ 90 ℃... 60
5.1 แสดงผลการใช้พลังงานในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิฟังก์ชัน Intelligent 62

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบของพีแอลซี	7
2.2	หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าชนิดเชิงเส้น	8
2.3	หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าชนิดสวิตชิ่ง	9
2.4	หน่วยประมวลผล	12
2.5	หน่วยความจำของพีแอลซี	13
2.6	วงจรตรรก AND Gate	15
2.7	วงจรตรรก AND Gate	16
2.8	วงจรตรรก NOT Gate	16
2.9	วงจรตรรก NAND Gate	16
2.10	วงจรตรรก NOR Gate	17
2.11	คำสั่งบูลีน	17
2.12	คำสั่งขวดลวดติด/ดับ	18
2.13	คำสั่งจับขอบสัญญาณ	18
2.14	คำสั่งควบคุมการกราดโปรแกรม	19
2.15	รูปแบบอย่างง่ายของการควบคุม	20
2.16	ระบบควบคุมแบบวงเปิด	20
2.17	ระบบควบคุมแบบวงปิด	21
2.18	แผนผังบล็อกของระบบอันดับหนึ่ง	22
2.19	เส้นโค้งผลตอบสนองในรูปฟังก์ชันเอกซ์โปเนนเชียล	23
2.20	การควบคุมแบบสองระดับ	24
2.21	การควบคุมแบบพี	24
2.22	การควบคุมแบบพีไอ	25
2.23	การควบคุมแบบพีไอดี	26
2.24	ลวดความร้อนชนิดกลม	26
2.25	ลวดความร้อนชนิดครีบ	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.26	ลวดความร้อนชนิดจุ่ม	27
2.27	ลวดความร้อนชนิดแถบ	28
2.28	ลวดความร้อนชนิดแผ่น	28
2.29	ลวดความร้อนชนิดอินฟราเรด	29
3.1	แผนผังการเชื่อมต่อของอุปกรณ์	33
3.2	แผนภาพ P&ID	34
3.3	แผนภาพกระแสข้อมูล	35
3.4	แผนผังการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด	36
3.5	แผนผังอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลาของระบบควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด	37
3.6	แผนผังการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิแบบแบบฟังก์ชัน Intelligent	38
3.7	แผนผังอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลาของระบบควบคุมอุณหภูมิ แบบฟังก์ชัน Intelligent	39
3.8	ขั้นตอนวิธีการเพิ่มโมดูลในพีแอลซี	41
3.9	โมดูลที่ถูกเพิ่มในพีแอลซี	41
3.10	แผนผังการแสดงเงื่อนไขการทำงานของกระบวนการ	42
3.11	แผนผังการแสดงเงื่อนไขการทำงานของกระบวนการ (ต่อ)	43
3.12	การใช้บล็อก JSR ใน MainRoutine	43
3.13	บล็อกของโมดูล Modbus ที่ได้จาก AOI File	44
3.14	การสร้างคำสั่งการตั้งค่าใน Routine ในส่วนของ Main_Setting	44
3.15	แผนผังการแสดงเงื่อนไขการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิเปิด-ปิด	45
3.16	ก) การสร้างคำสั่งการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด	46
3.16	ข) การสร้างคำสั่งการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด (ต่อ)	46
3.16	ค) การสร้างคำสั่งการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด (ต่อ)	47
3.16	ง) การสร้างคำสั่งการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด (ต่อ)	47
3.16	จ) การสร้างคำสั่งการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด (ต่อ)	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

3.17 แผนผังการแสดงเงื่อนไขการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน Intelligent 48

3.18 แผนผังการแสดงเงื่อนไขการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน Intelligent (ต่อ).. 49

3.19 ก) การสร้างคำสั่งการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน Intelligent 50

3.19 ข) การสร้างคำสั่งการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน Intelligent (ต่อ)............... 50

3.19 ค) การสร้างคำสั่งการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน Intelligent (ต่อ)............... 51

4.1 หน้าจอแสดงค่า PV และสถานะควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด ที่ 80 °C................................. 52

4.2 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 80 °C รอบที่ 1............ 53

4.3 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 80 °C รอบที่ 2............ 53

4.4 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 80 °C รอบที่ 3............ 53

4.5 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 80 °C รอบที่ 4............ 54

4.6 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 80 °C รอบที่ 5............ 54

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลา... 55

4.8 เปรียบเทียบสถานะการทำงานการการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิดและการใช้ฟังก์ชัน
Intelligent ที่อุณหภูมิ 80 °C.. 55

4.9 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานแบบเปิด-ปิด ที่ 90 °C 56

4.10 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 90 °C รอบที่ 1.......... 56

4.11 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 90 °C รอบที่ 2.......... 57

4.12 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 90 °C รอบที่ 3.......... 57

4.13 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 90 °C รอบที่ 4.......... 57

4.14 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 90 °C รอบที่ 5.......... 58

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลา... 58

4.16 เปรียบเทียบสถานการณ์ทำงานการการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด และการใช้ฟังก์ชัน
Intelligent ที่อุณหภูมิ 90 °C.. 59

5.1 การทดลองการความคุมอุณหภูมิโดยใช้เตาอบลมร้อน 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มา ปัญหา และความสำคัญ

พลังงานเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีการใช้พลังงานในกระบวนการต่าง ๆ ทั้งในภาคการผลิต ธุรกิจ อุตสาหกรรม และอาคารบ้านเรือน โดยพลังงานที่มีการใช้งานมากที่สุดคือ พลังงานไฟฟ้า เนื่องจากเป็นพลังงานที่มีการเปลี่ยนรูปมาจากพลังงานอื่นและสามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปพลังงานอื่นได้ง่ายด้วยเช่นกัน จึงทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น นอกจากพลังงานไฟฟ้ามีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวันและเกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่าง ๆ แล้ว ยังมีความสำคัญต่อการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ และสืบเนื่องจากสภาวะในปัจจุบัน การดำเนินการของวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมได้ขยายตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ผู้ประกอบการต้องดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้สามารถดำรงค์สถานภาพในการแข่งขันของตลาดอุตสาหกรรม อีกทั้งแนวโน้มความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอนาคตมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามการขยายตัวของเศรษฐกิจ ล้วนส่งผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนการผลิตและความเจริญก้าวหน้าเศรษฐกิจของภาคอุตสาหกรรม

แนวทางในการที่จะแก้ไขปัญหาเพื่อลดผลกระทบ อันเนื่องมาจากปัญหาด้านพลังงาน การส่งเสริมประสิทธิภาพและการจัดการพลังงานจึงเป็นแนวคิดที่มุ่งเน้นไปที่การใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด โรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยมีการใช้งาน พีแอลซีซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมเครื่องจักร โดยในปัจจุบันพีแอลซีมีการพัฒนาเทคโนโลยีให้สามารถทำงานได้อย่างหลากหลายเมื่อเทียบกับอดีต การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนด้วยฮีตเตอร์มีการใช้พลังงานที่สูงและใช้เวลานาน เนื่องจากมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงช้า กระบวนการอุณหภูมิในปัจจุบันมีการควบคุมการจ่ายพลังงานแบบควบคุมการเปิด-ปิด ทำให้จ่ายพลังงานไปแล้วมีการแปรรูปของพลังงานที่ถูกใช้ไปในการทำให้เกิดพลังงานความร้อนให้กับน้ำ แต่น้ำไม่สามารถแปรรูปพลังงานไปใช้งานได้หมดจึงทำให้มีพลังงานบางส่วนไม่ถูกใช้งาน ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในส่วนนี้

จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นข้อมูลที่สำคัญในการอ้างอิง และเป็นแนวทางหนึ่งในการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้รวบรวมเนื้อหาเกี่ยวกับงานวิจัย เห็นได้ว่ามีนักวิจัยจำนวนมากให้ความสำคัญเกี่ยวกับการค้นคว้าวิจัยการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด และการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งขอบเขตของการศึกษาของนักวิจัยแต่ละท่านมีความหลากหลาย มีข้อดี และข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป ซึ่งสามารถจัดเรียงลำดับได้ดังต่อไปนี้

เริ่มจาก Karthik Chinnakani, Anunay Krishnamurthy, James Moyne, (2011) [1] ได้เปรียบเทียบการใช้พลังงานในงาน HVAC โดยมี 3 แบบคือ การเปิด-ปิดแบบพื้นฐาน Intelligent การเปิด-ปิด และ Optimal Controllers เพื่อเป็นตัวเลือกในการใช้ในการประหยัดพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของ Abdulhafiz Chesof, Sungwan Boksuwan Sumit Panaudomsup and Thepjit Cheypoca (2017) [2] การประมาณค่าของการควบคุมอุณหภูมิแบบคาดการณ์ล่วงหน้า สำหรับเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศเพื่อประเมินประสิทธิภาพด้วยการทดลองในห้องควบคุม โดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบเปิด-ปิด และแบบอินเวอร์เตอร์

งานวิจัยของ Hamid Alshareefi, Hayder Mamoori, Ciprian Lupu (2017) [3] ได้สลับอัลกอริทึมหลายแบบโดยวิธีการ Fuzzy Logic ผ่านพีแอลซี Allen-Bradley เอาต์พุตในกระบวนการทำงานจริงส่วนมากไม่เป็นเชิงเส้น จึงได้ศึกษาวิธีการต่าง ๆ ในการสลับอัลกอริทึมไปมาเพื่อลดการหยุดชะงักชั่วคราวของเอาต์พุตและความคุมเคลือของลอจิกโดยใช้ซอฟแวร์ RSLogix 5000

งานวิจัยของ Miroslaw Wcislik and Michal S. Laskawski (2017) [4] การแก้ไขระบบควบคุมแบบเปิด-ปิดโดยใช้พีแอลซี ได้วิเคราะห์ลักษณะของตัวควบคุมการเปิด-ปิด สันนิษฐานว่าคุณภาพการควบคุมสามารถอธิบายได้ด้วยดัชนีที่โดดเด่นสามตัว ได้แก่ คาบ แอมพลิจูด และค่าเฉลี่ยของสัญญาณควบคุมในสถานะคงตัว เป็นการควบคุมการเปิด-ปิดที่มีฮิสเทอรีซิสในเชิงบวก เพื่อขจัดข้อเสียด้วยแก้ไขความเฉื่อย ได้มีการเสนอแก้ไขตามสัดส่วนเพิ่มเติม โดยใช้พีแอลซี S7-1200 ควบคุมสวิตช์เพื่อลดแอมพลิจูดของการแกว่งของสัญญาณควบคุมและทำให้ระยะเวลาสั้นลง

งานวิจัยของ Kai Eggers, Elias Knochelmann, Svenja Tappe, Tobias Ortmaier (2018) [5] ได้สร้างแบบจำลองและการตรวจสอบผลกระทบของอุณภูมิโรบอทต่อการใช้พลังงานเป็นการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของโรบอท KUKA KR16 ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน มีการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน

งานวิจัยของ Renke DU, Qinzhi Chen, Cheng Chen (2018) [6] ได้ทดลองตัวอย่างการควบคุมระบบทำความร้อน มีการเปรียบเทียบ 3 แบบคือ BBC (Bang-Bang Control), DDC (Discrete Derivative Control) และ Incremental PID Control เพื่อหาว่าวิธีการให้ได้ผลลัพธ์ในการควบคุมอุณหภูมิที่ดีที่สุด

งานวิจัยของ Willard I Mazimbo, Walter Ruziwa, Russel Mhundwa (2019) [7] ได้สร้างแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงและการเพิ่มประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำอุ่น มีการพัฒนาโปรแกรมโดยชุด Arduino ปรับค่าพลังงานให้เหมาะสมโดยการจ่ายพลังงานให้ลดลงตามอุณหภูมิที่ต้องการ

งานวิจัยของ Zhichao Yang, Bo Sun, Fan Li, Liang Zhang (2019) [8] ได้ทดสอบวิธีการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดของระบบควบคุมอุณหภูมิโดยพิจารณาจากความเฉื่อยความร้อนเพื่อแก้ปัญหาความเฉื่อย ความล้าช้า และความไม่เป็นเชิงเส้นของความร้อน โดยมีการรวมกันของ optimal control กับ closed-loop PID control และใช้เทคโนโลยีการสลับไม่ให้รบกวนระบบการทำงาน

งานวิจัยของ Ahmed A. Mawgoud, Mohamed Hamed N. Taha and Nour Eldeen M. Khalifa (2020) [9] ได้ควบคุมพลังงานที่ใช้ใน ad-hoc wireless sensor network (WSN) เพื่อลดพลังงานของโหนดผ่านการค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุดและเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของ WSN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของ Amphawan Julsereewong and Sart Kummool (2020) [10] นำเสนอเทคนิคทางวิศวกรรมเพื่อเพิ่มความปลอดภัยของ Feedforward Control บน Foundation Fieldbus (FF) โดยใช้หลายวิธีเพื่อวิเคราะห์หาข้อบกพร่องของอุปกรณ์ FF

งานวิจัยของ Maged Mikhail,Ph.D, and Shuyu Wang (2020) [11] ได้ประยุกต์ระบบอัตโนมัติให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน เนื่องจากพีแอลซีมีการทำงานร่วมกับ เซ็นเซอร์ สายพานลำเลียง กล้อง ร่วมถึงการเดินสายไฟฟ้าให้เรียบร้อย โดยระบบนี้ควบคุมด้วยพีแอลซี CompactLogix L43 และใช้โปรแกรม RSLogix 5000 ในการเขียนคำสั่งควบคุมการทำงาน

งานวิจัยของ Noppadol Pringsakul and Deacha Puangdownreong (2020) [12] ได้ปรับปรุงการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวควบคุมแบบ proportional-integral-derivative-accelerated (PIDA) เทียบกับแบบ PID โดยใช้การเปลี่ยนแปลงของ modified flower pollination algorithm (MoFPA) สำหรับควบคุมอุณหภูมิของเตาไฟฟ้า

งานวิจัยของ Sawai Pongswatd, Krit Smerpitak, Farzin Asadi and Teerawat Thepmanee (2021) [13] ได้นำเสนอระบบที่ใช้พีแอลซี สำหรับควบคุมโมดูลเอสซีอาร์ เพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าขาออกให้เป็นเส้นตรง โดยเทคนิคการแปลงสัญญาณทริกเกอร์ด้วยฟังก์ชันอาร์คโคไซน์ผ่านซอฟต์แวร์ Studio 5000

งานวิจัยของ Sean Kapp a, Jun-Ki Choi a and Kelly Kissock (2021) [14] มีการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยปรับปรุงกระบวนการและโปรโตคอล ซึ่งได้พัฒนาเพื่อคำนวนการประหยัดพลังงานและการปล่อยมลพิษรวมถึงคำแนะนำด้านประสิทธิภาพพลังงานเกี่ยวกับระบบระบายความร้อนครอบคุมพื้นที่ต่าง ๆ เช่น เครื่องกำเนิดความร้อน ระบบไอน้ำ ระบบทำความเย็น

งานวิจัยของ Teerawat Thepmanee, Sawai Pongswatd, Farzin Asadi, Prapart Ukakimaparna (2021) [15] ได้ทำการศึกษาระบบควบคุม SCADA โดยใช้พีแอลซี Allen Bradley เชื่อมต่อสื่อสารกับชุดอุปกรณ์ WirelessHART ในการควบคุมอุณหภูมิและวิเคราะห์ปัญหาของการทดลองควบคุมอุณหภูมิแบบ PID เขียนโปรแกรมด้วยซอฟต์แวร์ Studio 5000 และซอฟแวร์ Wonderware InTouch

งานวิจัยของ T.H. Indiketiya (2021) [16] ได้เปรียบเทียบวิธีการที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิของแผ่นเพลเทียร์ 3 รูปแบบ คือ การควบคุมแบบเปิด-ปิด, การควบคุมแบบ PID และ Fuzzy logic control ว่าวิธีการใดเหมาะสมที่สุดในการใช้งาน

งานวิจัยของ Hemanth Sai Madupu, Vijaya Anand Nidumolu and Venu Madhav Panchagnula (2022) [17] ได้ออกแบบการติดตามพลังงานในเวลาปัจจุบันด้วยระบบ IOT โดยส่งข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์ไปยัง HOST Framework หรือ Cloud ผ่าน WI - FI ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า และสามารถปรับมาตรการที่เหมาะสมในการใช้พลังงานในช่วงพีคและไม่พีคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของ Sart Kummool, Ittimon Suwanmanee, Songchai Weerathaweemas Amphawan Julsereewong and Jirasak Sittigorn (2022) [18] ได้ศึกษาวิเคราะห์ความพร้อมใช้งานของอุปกรณ์ภาคสนามในการควบคุมแบบ Feedforward กรณีศึกษาการควบคุมอุณหภูมิโดย Foundation Fieldbus-Based ที่มีบล็อกฟังก์ชั้น 4 ตัวเลือกในการกำหนดค่า จากการวัดทางวิศวกรรมและประมวลผลจะแสดงค่า ‘Uncertain’ เมื่อไม่พร้อมทำงานและแสดงค่า ‘Good’ เมื่อพร้อมทำงานเพื่อช่วยในการตัดสินใจควบคุมระบบ

ดังนั้น วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอการศึกษาเชิงทดลองการพัฒนาฟังก์ชันบนพีแอลซี เพื่อการประหยัดพลังงานในกระบวนการอุณหภูมิ การทดลองนี้ได้มีการใช้พีแอลซี เป็นอุปกรณ์ควบคุมกระบวนการทำงาน เริ่มจากการศึกษาการควบคุมอุณหภูมิโดยการจ่ายพลังงานแบบเปิด-ปิด มีการจ่ายพลังงานสูงสุดให้กับโหลดเรื่อย ๆ จนกว่าจะถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้จึงจะทำการหยุดจ่ายพลังงานแล้วจ่ายพลังงานอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ในช่วงการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนมีการจ่ายพลังงานความร้อนให้กับระบบมากเกินไป ในส่วนพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปให้กับอากาศรอบ ๆ เพื่อให้ผลการใช้พลังงานของกระบวนการมีประสิทธิภาพมากขึ้น ด้วยการทำฟังก์ชัน Intelligent เสริมการเปิด-ปิด ในช่วงเริ่มทำงานของกระบวนการ จึงมีการใช้พีแอลซี มาควบคุมการทำงาน โดยใช้วิธีการหาอัตราการเปลี่ยนของอุณหภูมิต่อค่าคงที่ของเวลา เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการเปรียบเทียบหาว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อเวลามีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าอ้างอิงในทุก ๆ 1 วินาทีจะมีการเปรียบเทียบ 1 ครั้ง หากเปรียบเทียบแล้วค่าที่ได้น้อยกว่าค่าอ้างอิงจะทำการจ่ายพลังงานต่อไปแต่หากเปรียบเทียบแล้วค่าที่ได้มากกว่าหรือเท่ากับค่าอ้างอิงก็จะทำการหยุดจ่ายพลังงาน การทดลองดำเนินการโดยนำแนวคิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานให้เหมาะสมมาเขียนเป็นแลดเดอร์ไดอะแกรมในซอฟต์แวร์ Studio 5000 บนอุปกรณ์พีแอลซียี่ห้อ Allen Bradley มีการบันทึกค่าอุณหภูมิในทุก ๆ 1 วินาที เพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ที่จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลา

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษา ทดลองการแปรรูปพลังงานในกระบวนการอุณหภูมิ แบบเปิด-ปิดเพื่อลดการใช้พลังงาน

1.2.2 เพื่อพัฒนาฟังก์ชัน Intelligent บนพีแอลซีมาควบคุมการจ่ายพลังงานให้เหมาะสมกับความสามารถในการแปรรูปพลังงานของกระบวนการอุณหภูมิ

1.2.3 เพื่อประยุกต์ใช้พีแอลซียี่ห้อ Allen-Bradley ร่วมกับซอฟต์แวร์ Studio 5000 ในการพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

ประยุกต์ใช้พีแอลซี เป็นตัวควบคุมการเปิด-ปิดการจ่ายพลังงานให้กับระบบอุณหภูมิ โดยอาศัยหลักการเปรียบเทียบของอัตราการเปลี่ยนของอุณหภูมิต่อค่าคงที่ของเวลากับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อเวลาทุก ๆ 1 วินาที หากเปรียบเทียบแล้วค่าที่ได้น้อยกว่าค่าอ้างอิงจะทำการจ่ายพลังงานต่อไป แต่หากเปรียบเทียบแล้วค่าที่ได้มากกว่าหรือเท่ากับค่าอ้างอิงก็จะทำการหยุดจ่ายพลังงาน วิธีการนี้จะลดการจ่ายพลังงานในส่วนที่เกินความจำเป็นได้

1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1.4.1 ศึกษา ทดลองกระบวนการอุณหภูมิ ที่เป็นเตาอบลมร้อนแบบมีอากาศเป็นตัวกลางนำความร้อน ที่อุณหภูมิที่ 80 ℃ และ 90 ℃ กับปริมาตรน้ำ 300 มิลลิลิตร แหล่งจ่ายความร้อน 1,300 วัตต์

1.4.2 จัดทำฟังก์ชัน Intelligent บนพีแอลซีมาควบคุมการจ่ายพลังงาน ให้เหมาะสมกับความสามารถในการแปรรูปพลังงานของกระบวนการอุณหภูมิ

1.4.3 ประยุกต์ใช้อุปกรณ์พีแอลซียี่ห้อ Allen-Bradley ร่วมกับซอฟต์แวร์ Studio 5000 ในการพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถลดการใช้พลังงานในกระบวนการอุณหภูมิ ได้

1.5.2 สามารถใช้ฟังก์ชัน Intelligent ที่พัฒนาขึ้น ร่วมกับการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิดแบบเดิม เพื่อลดการใช้พลังงานได้

1.5.3 สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบอัตโนมัติเพื่อการควบคุมอุณหภูมิได้ต่อไปในอนาคต

1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย 5 บท และ 1 ภาคผนวก โดยในบทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงความสำคัญของปัญหา งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงแนวทาง และระเบียบวิธีการดำเนินการวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยผลจากการสำรวจสืบค้นจะใช้เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์ และพัฒนาเข้ากับงานวิจัยวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์และเป้าหมายของงานวิจัยวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอบเขตของงานวิจัย ส่วนบทอื่น ๆ ประกอบด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้

บทที่ 2 นำเสนอทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยวิทยานิพนธ์ โดยเนื้อหาประกอบ ไปด้วยหัวข้อหลัก ๆ ได้แก่ พีแอลซี, ระบบควบคุม, การควบคุมอุณหภูมิ, การวัด และเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

บทที่ 3 อธิบายถึงการออกแบบวิธีการทดลอง เพื่อลดการใช้พลังงานในกระบวนการอุณหภูมิโดยใช้หลักการที่จ่ายพลังงานเท่ากับที่ระบบสามารถนำไปแปรรูปพลังงานได้ การติดตั้งฮาร์ดแวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองและอธิบายเกี่ยวกับซอฟต์แวร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานและการประมวลผล

บทที่ 4 อธิบายถึงผลการศึกษาทดลอง พร้อมแสดงผลของการควบคุมอุณหภูมิแบบ เปิด-ปิด และแบบฟังก์ชัน Intelligent ว่ามีผลลัพธ์ความแตกต่างกันอย่างไร

บทที่ 5 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะ พร้อมงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อ

ภาคผนวก ก. กล่าวถึงการรวบรวมผลงานที่ได้รับการเผยแพร่ของงานวิจัยวิทยานิพนธ์ในขณะดำเนินการศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

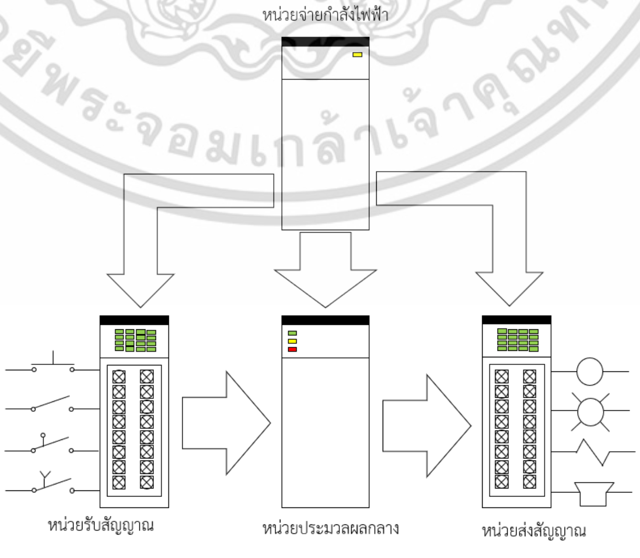
การศึกษาและเข้าใจถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยวิทยานิพนธ์ นับว่ามีความสำคัญและเป็นประโยชน์อย่างมากในการดำเนินงาน ทั้งนี้เพื่อเป็นพื้นฐานความรู้ และความเข้าใจในงานสำหรับ นำไปเป็นแหล่งอ้างอิงในการดำเนินงานวิจัย ดังนั้นในบทนี้จึงได้นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กับงานวิจัยนี้ซึ่งประกอบไปด้วย 4 หัวข้อหลัก ได้แก่ (1) พีแอลซี (2) ระบบควบคุม (3) การควบคุมอุณหภูมิ และ (4) การวัดและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ โดยจะกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่เป็นประโยชน์หรือถูกกล่าวอ้างถึงต่อการดำเนินงานวิจัยวิทยานิพนธ์ ทั้งนี้เพื่อให้เนื้อหามีความกระชับและชัดเจนยิ่งขึ้น

2.2 พีแอลซี

พีแอลซี [19] หรือ PLC ย่อมาจาก Programmable Logic Controller เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรในระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม (Industrial Automation) แทนอุปกรณ์ควบคุมแบบเดิม

2.2.1 ส่วนประกอบของพีแอลซี

พีแอลซีประกอบไปด้วย 4 ส่วนคือ หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power Supply Unit) หน่วยรับสัญญาณ (Input Unit) หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit) และหน่วยส่งสัญญาณ (Output Unit) ดังรูปที่ 2.1

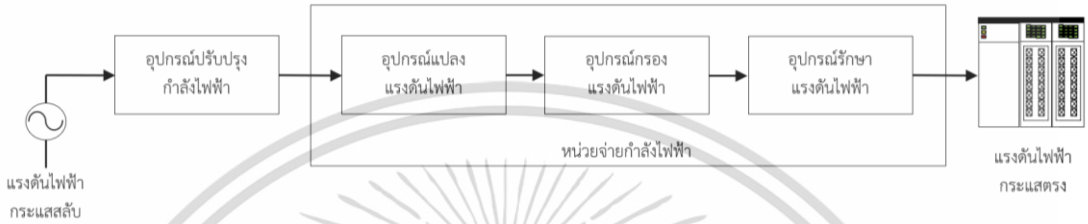


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของพีแอลซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.1 หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้า เป็นส่วนที่จ่ายพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้กับส่วนประกอบทั้งหมดของพีแอลซี แบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้

1) หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าชนิดเชิงเส้น (Linear Power Supply) โดยการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดเชิงเส้น ซึ่งเป็นอุปกรณ์จ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าชนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกำลังไฟฟ้าชนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของพีแอลซี ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วน ดังนี้

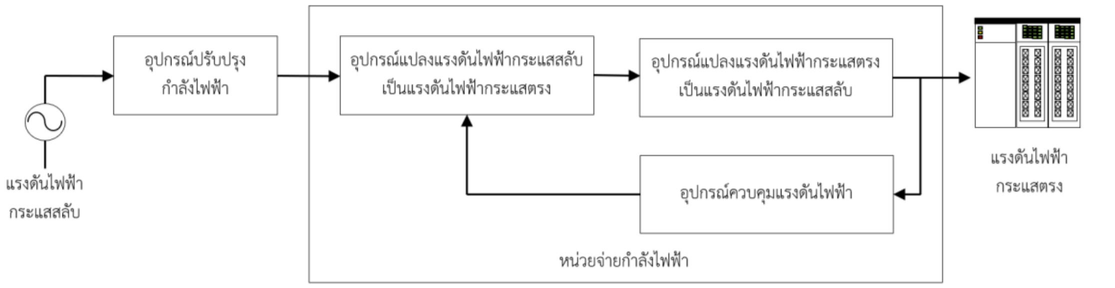


รูปที่ 2.2 หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าชนิดเชิงเส้น

- อุปกรณ์ปรับปรุงกำลังไฟฟ้า (Power Conditioner) เป็นอุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้า โดยแก้ไขรูปคลื่น (Wave Form) ของแรงดันไฟฟ้าสลับไม่ให้มีความผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นซายน์ (Sine Wave)
- อุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้า (Converter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สำหรับหน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าของพีแอลซี มี 3 แบบคือ แบบครึ่งคลื่น แบบเต็มคลื่น และแบบวงจรบริดจ์
- อุปกรณ์กรองแรงดันไฟฟ้า (Voltage Filter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกรองรูปคลื่นซายน์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้ออกจากรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง มีอุปกรณ์การกรองแรงดันไฟฟ้าประกอบด้วย ความต้านทานไฟฟ้า ความเหนี่ยวนำไฟฟ้า และความจุไฟฟ้า โดยที่วงจรกรองแรงดันไฟฟ้ามี 5 แบบคือ แบบความจุไฟฟ้า แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า ความเหนี่ยวนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้า ความต้านทานไฟฟ้าและความจุไฟฟ้า และแบบพาย
- อุปกรณ์รักษาแรงดันไฟฟ้า (Voltage Regulator) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้แรงดันไฟฟ้าคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า วงจรรักษาแรงดันไฟฟ้ามี 5 แบบคือ แบบซีเนอร์ แบบอนุกรม แบบขนาน แบบดาร์ลิงตัน และแบบเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า

2) หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าชนิดสวิตชิ่ง (Switching Power Supply) เป็นอุปกรณ์ที่จ่ายกำลังไฟฟ้าของพีแอลซีมีจุดเด่นที่ ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และราคาถูก ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 หน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าชนิดสวิตชิ่ง

- อุปกรณ์ปรับปรุงกำลังไฟฟ้า (Power Conditioner)

- อุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (AC to DC Converter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง แบบวงจรบริดจ์ และวงจรกรองแรงดันไฟฟ้า

- อุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC to DC Converter) เป็นอุปกรณ์แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่างแรงดันไฟฟ้ากัน ประกอบด้วยวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

- อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้า (Voltage Controller) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้แรงดันไฟฟ้าคงที่

2.2.1.2 หน่วยรับสัญญาณ เป็นส่วนที่รับสัญญาณพื้นฐานจากอุปกรณ์ภายนอกต่าง ๆ แบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้

1) หน่วยรับสัญญาณชนิดดิจิทัล (Digital Input Module) โดยที่สัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียง 2 ระดับคือ ค่าตรรก 0 แทนความหมายว่าสัญญาณระดับต่ำ (Off Signal) และค่าตรรก 1 แทนความหมายว่าสัญญาณระดับสูง (On Signal) แบ่งได้ 5 แบบดังนี้

- หน่วยรับสัญญาณชนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Input Module) ประกอบด้วย วงจรปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดความต้านทานไฟฟ้า และออปโต้คัปเปลอร์แยกวงจรไฟฟ้าระหว่างวงจรปรับแรงดันไฟฟ้าและวงจรภายในของหน่วยรับสัญญาณของพีแอลซี มีการใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมาตรฐาน ดังนี้ สัญญาณชนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12, 24, 48 และ 5 ถึง 50 โวลต์

- หน่วยรับสัญญาณชนิดกลับทิศทางแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (Non Polarity DC Input Module) ประกอบด้วย วงจรปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดความต้านทาน วงจรแอลอีดีสลับทิศทางของแรงดันไฟฟ้าทิศทางลบของออปโต้คัปเปลอร์และแรงดันไฟฟ้าทิศทางบวก มีการใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมาตรฐาน ดังนี้ สัญญาณชนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12, 24, 48 และ 5 ถึง 50 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน่วยรับสัญญาณชนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Input Module) ประกอบด้วย วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบวงจรบริดจ์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง แบบวงจรบริดจ์ และวงจรกรองแรงดันไฟฟ้า

- หน่วยรับสัญญาณชนิดทีทีแอล (TTL Input Module) ประกอบด้วย วงจรปรับแรงดันไฟฟ้าชนิดความต้านทาน ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าระดับสัญญาณทีทีแอล ชนิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์

- หน่วยรับสัญญาณชนิดไม่มีแรงดันไฟฟ้า (Non voltage Input Module) ประกอบด้วย วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าชนิดความต้านทาน แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้า

2) หน่วยรับสัญญาณชนิดแอนะล็อก (Analog Input Module) โดยที่รับสัญญาณแอนะล็อก จากนั้นแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลภายในหน่วยความจำข้อมูลเข้าของพีแอลซี แบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้

- หน่วยรับสัญญาณชนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วย วงจรปรับแรงดันไฟฟ้า และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล มีการใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมาตรฐาน ดังนี้ สัญญาณชนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0 ถึง 1 , 0 ถึง 5, 0 ถึง 10, 1 ถึง 5, -5 ถึง 5 และ -10 ถึง 10 โวลต์

- หน่วยรับสัญญาณชนิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วย วงจรเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้าและปรับแรงดันไฟฟ้า และวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล มีการใช้กระแสไฟฟ้ากระแสตรงมาตรฐาน ดังนี้ สัญญาณชนิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง 0 ถึง 20 และ 4 ถึง 20 มิลลิแอมแปร์

2.2.1.3 หน่วยส่งสัญญาณ เป็นส่วนที่ส่งสัญญาณพื้นฐานออกไปยังอุปกรณ์ภายนอกในส่วนต่าง ๆ แบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้

1) หน่วยส่งสัญญาณชนิดดิจิทัล (Digital Output Module) โดยทำหน้าที่แปลงข้อมูลดิจิทัลชนิดเลขฐานสองภายในหน่วยความจำข้อมูลที่หน่วยประมวลผลกลางเป็นสัญญาณออกของพีแอลซี แบ่งได้ 6 แบบ ดังนี้

- หน่วยส่งสัญญาณชนิดหน้าสัมผัสรีเลย์ (Relay Output Module) ควบคุมวงจรส่งแรงดันไฟฟ้า โดยรีเลย์เป็นหน้าสัมผัสชนิดกลไก มีความน่าเชื่อถือสูง ป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดี กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้มาก ไม่มีกระแสไฟฟ้ารั่วซึม และหน้าสัมผัสรีเลย์ไม่มีความต้านทานไฟฟ้าระหว่างปิดวงจรไฟฟ้า มีการใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมาฐาน ดังนี้ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 ถึง 48 โวลต์ และแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 100 ถึง 240 โวลต์

- หน่วยส่งสัญญาณชนิดทรานซิสเตอร์ (Transistor Output Module) โดยมีการใช้หน้าสัมผัสชนิดอิเล็กทรอนิกส์แทนหน้าสัมผัสรีเลย์ แบ่งเป็นวงจรส่งแรงดันไฟฟ้าชนิดทรานซิสเตอร์พีเอ็นพีสำหรับควบคุมวงจรไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันไฟฟ้าบวก และวงจรส่งแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดทรานซิสเตอร์เอ็นพีเอ็นสำหรับควบคุมวงจรไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันไฟฟ้าลบ มีการใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันไฟฟ้าบวก 5 ถึง 50 โวลต์สำหรับหน่วยส่งสัญญาณชนิดพีเอ็นพี และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันไฟฟ้าลบ 5 ถึง 50 โวลต์สำหรับหน่วยส่งสัญญาณชนิดเอ็นพีเอ็น

- หน่วยส่งสัญญาณชนิดเฟต (FET Output Module) มีการปรับปรุงวงจรส่งแรงดันไฟฟ้าชนิดทรานซิสเตอร์ สำหรับควบคุมวงจรไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้เฟต (FET ย่อมาจาก Field Effect Transistor) แทนทรานซิสเตอร์ เพื่อลดการรั่วซึมของกระแส มีอายุการทำงานที่มากกว่าแบบหน้าสัมผัสรีเลย์ และมีความเร็วของการส่งสัญญาณมากกว่าแบบหน้าสัมผัสรีเลย์ มีการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 ถึง 50 โวลต์

- หน่วยส่งสัญญาณชนิดมอสเฟต (MOSFET Output Module) มีการปรับปรุงวงจรส่งแรงดันไฟฟ้าชนิดเฟต สำหรับควบคุมวงจรไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้มอสเฟต (MOSFET ย่อมาจาก Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) แทนเฟต เพื่อให้จ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าแบบเฟต

- หน่วยส่งสัญญาณชนิดเอสซีอาร์ (SCR Output Module) ประกอบด้วยวงจรส่งแรงดันไฟฟ้าชนิดเอสซีอาร์ (SCR ย่อมาจาก Silicon Control Rectifier) โดยมีหน้าสัมผัสชนิดอิเล็กทรอนิกส์ และจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ดีมาก ทำงานได้เร็วมากกว่าชนิดหน้าสัมผัสรีเลย์ มีการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 ถึง 50 โวลต์

- หน่วยส่งสัญญาณชนิดไตรแอก (TRIAC Output Module) ประกอบด้วยวงจรส่งแรงดันไฟฟ้าชนิดไตรแอก (TRIAC ย่อมาจาก Triode for Alternating Current) โดยมีหน้าสัมผัสชนิดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ทำงานได้เร็วมากกว่าชนิดหน้าสัมผัสรีเลย์ มีการใช้ควบคุมวงจรแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 100 ถึง 240 โวลต์

2) หน่วยส่งสัญญาณชนิดแอนะล็อก (Analog Output Module) โดยที่ส่งสัญญาณแอนะล็อกที่ได้จากการแปลงสัญญาณดิจิทัลภายในหน่วยความจำข้อมูลเข้าของพีแอลซีเป็นสัญญาณแอนะล็อก แบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้

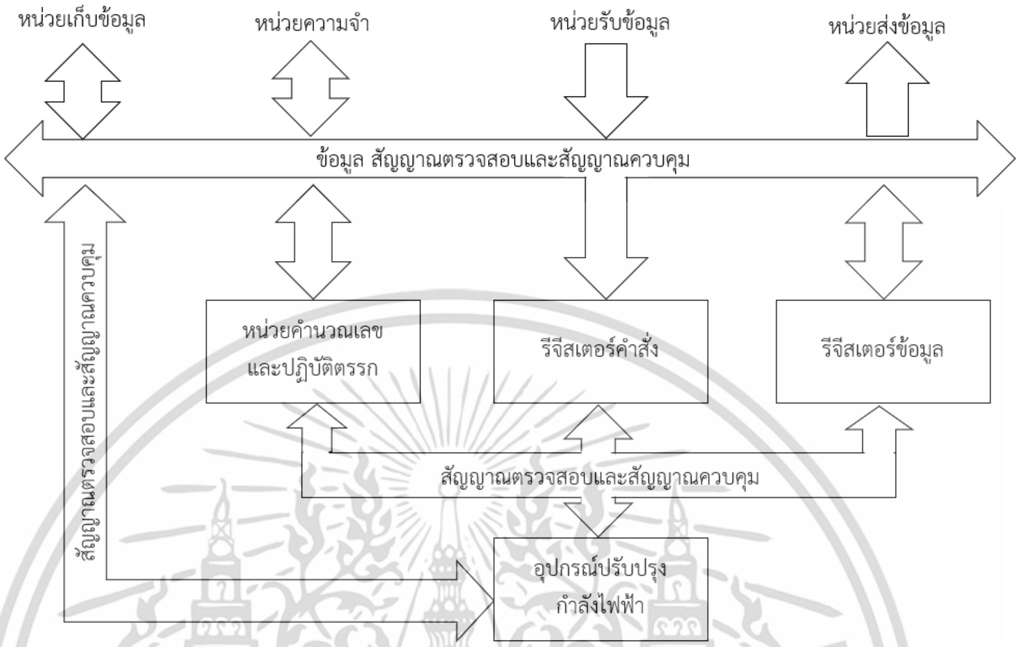
- หน่วยส่งสัญญาณชนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วย วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และวงจรปรับแรงดันไฟฟ้า มีการใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมาตรฐาน ดังนี้ สัญญาณชนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 0 ถึง 1, 0 ถึง 5, 0 ถึง 10, 1 ถึง 5, -5 ถึง 5 และ -10 ถึง 10 โวลต์

- หน่วยส่งสัญญาณชนิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วย วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล และวงจรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า มีการใช้กระแสไฟฟ้ากระแสตรงมาตรฐาน ดังนี้ ส่งสัญญาณชนิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง 0 ถึง 20 และ 4 ถึง 20 มิลลิแอมแปร์

2.2.1.4 หน่วยประมวลผลกลาง เป็นส่วนสำคัญในการประมวลผลเพื่อควบคุมการทำงานของพีแอลซี มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) หน่วยประมวลผล (Processor Unit) ทำหน้าที่คำนวณและปฏิบัติตรรก แปลงข้อมูลต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งมีส่วนประกอบ ดังนี้

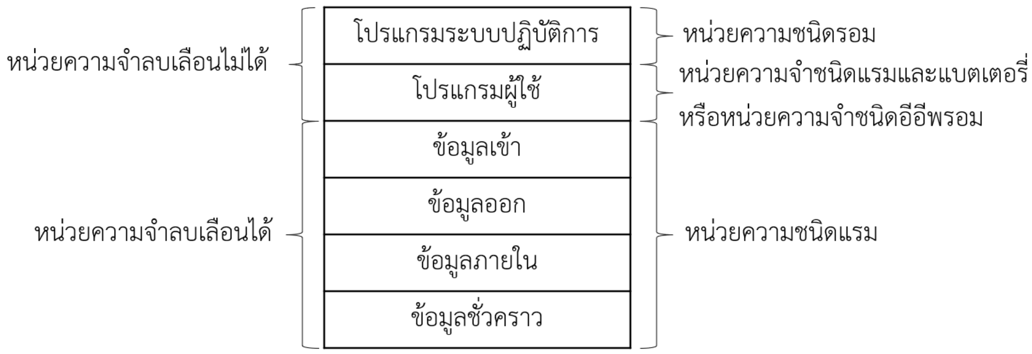


รูปที่ 2.4 หน่วยประมวลผล

- หน่วยคำนวณเลขและปฏิบัติตรรก (ALU ย่อจาก Arithmetic and Logic Unit) ทำหน้าที่คำนวณเลขและปฏิบัติตรรก (Logic) พื้นฐาน เช่น ตรรกออร์ (OR) ตรรกน็อต (NOT) และตรรกแอนด์ (AND) โดยรับข้อมูลจากหน่วยความจำและหน่วยรับสัญญาณของพีแอลซี และส่งผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณให้กับหน่วยความจำและหน่วยส่งสัญญาณของพีแอลซี
- หน่วยควบคุม (Control Unit) ทำหน้าที่ควบคุมให้พีแอลซีทำงานตามลำดับครั้งละ 1 คำสั่ง โดยหน่วยควบคุมรับข้อมูลรหัสคำสั่งส่งให้รีจีสเตอร์แปลความหมายของคำสั่งที่ได้รับจากหน่วยความจำ จากนั้นนำข้อมูลคำสั่งที่ประมวลผลเสร็จแล้วรีจีสเตอร์ไปยังหน่วยความจำ
- รีจีสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register) ทำหน้าที่แปลความหมายของข้อมูลรหัสคำสั่งจากหน่วยควบคุมให้เป็นลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงานของส่วนประกอบต่าง ๆ ครั้งละ 1 คำสั่งและส่งกลับไปยังหน่วยควบคุม
- รีจีสเตอร์ข้อมูล (Data Register) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลชั่วคราวระหว่างการคำนวณเลขและปฏิบัติตรรก

2) หน่วยความจำ (Memory Unit) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลภายในส่วนของหน่วยประมวลผลกลางของพีแอลซี เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำ ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งแบ่งได้ 6 ประเภท ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 หน่วยความจำของพีแอลซี

- หน่วยความจำชนิดแรม (RAM ย่อมาจาก Random Access Memory) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลชั่วคราวของพีแอลซี ต้องการแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อรักษาข้อมูลตลอดเวลา เป็นหน่วยความจำส่วนใหญ่ในพีแอลซี ใช้ในงานที่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขเสมอ แบ่งเป็นสแตติกและชนิดไดนามิก

- หน่วยความจำชนิดรอม (ROM ย่อมาจาก Read Only Memory) ทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำเพียงอย่างเดียว ลบหรือแก้ไขข้อมูลไม่ได้ เป็นหน่วยความจำที่เก็บข้อมูลถาวรของพีแอลซี ไม่ต้องการแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในการเก็บรักษาข้อมูล

- หน่วยความจำชนิดพรอม (PROM ย่อมาจาก Programmable Read Only Memory) ทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำเพียงอย่างเดียว ลบหรือแก้ไขข้อมูลไม่ได้ แต่มีการบันทึกข้อมูลภายในได้โดยต้องใช้เครื่องมือชนิดพิเศษ เป็นหน่วยความจำที่เก็บข้อมูลถาวรของพีแอลซี ไม่ต้องการแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในการเก็บรักษาข้อมูล

- หน่วยความจำชนิดอีพรอม (EPROM ย่อมาจาก Erasable Programmable Read Only Memory) ทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำเพียงอย่างเดียว ลบหรือแก้ไขข้อมูลได้โดยต้องใช้เครื่องมือชนิดพิเศษ เป็นหน่วยความจำที่เก็บข้อมูลถาวรของพีแอลซี ภายหลังที่บันทึกข้อมูลชุดใหม่แทนที่ข้อมูลเดิม ข้อมูลเดิมจะถูกลบออกจากหน่วยความจำทั้งหมด หน่วยความจำชนิดอีพรอมมีการพัฒนาโปรแกรมและบันทึกโปรแกรมได้เองเหมาะกับการเป็นหน่วยความจำที่ใช้โปรแกรมควบคุมเครื่องจักรของพีแอลซี

- หน่วยความจำชนิดอีอีพรอม (EEPROM ย่อมาจาก Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) ทำหน้าที่อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำเพียงอย่างเดียว ลบหรือแก้ไขข้อมูลได้ โดยผู้ใช้งานสามารถแก้ไขและบันทึกข้อมูลได้เอง โดยบันทึกข้อมูลชุดใหม่แทนที่ข้อมูลชุดเดิมบางส่วนหรือทั้งหมดได้โดยที่ไม่จำเป็นต้องลบข้อมูลเดิม หน่วยความจำชนิดอีอีพรอมมีการใช้งานพัฒนาโปรแกรมและบันทึกโปรแกรมในปัจจุบันแทนที่หน่วยความจำชนิดแรมและแบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้าสำรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน่วยความจำชนิดแฟลช (Flash Memory) เป็นหน่วยความจำประเภทลบเลือนไม่ได้มีการทำหน้าที่เหมือนชนิดอีอีพรอมมีข้อแตกต่างคือการบันทึกข้อมูลครั้งละมาก ๆ โดยมีการนำมาใช้สำหรับเก็บข้อมูลสำรองของพีแอลซี

2.2.2 การทำงานของพีแอลซี

การทำงานของพีแอลซี [20] มีความหลากหลายในด้านการประยุกต์ใช้งาน สามารถเขียนโปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรที่มีความยืดหุ่นสูงทำให้แบ่งการทำงานของพีแอลซีได้ดังนี้

2.2.2.1 การทำงานของพีแอลซี เครื่องจักรที่ใช้พีแอลซีควบคุมการทำงาน จะสามารถแก้ไขปรับปรุงโปรแกรมการทำงาน รวมถึงไทเมอร์ (Timer) เคาน์เตอร์ (Counter) และคำสั่งต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีการติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์หรือหน้าจอชนิดสัมผัส (Touch Screen) เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน

2.2.2.2 การทำงานของวงจรแลดเดอร์ เมื่อพีแอลซีอยู่ในสภาวะพร้อมทำงาน (RUN Mode) แล้ว เมื่อโปรแกรมในหน่วยความจำของพีแอลซีทำงาน จะมีการประมวลผลที่หน่วยประมวลผลกลางและส่งผลลัพธ์ที่ได้ไปยังหน่วยส่งข้อมูลของพีแอลซี

2.2.2.3 เลขฐานต่าง ๆ การจะใช้งานพีแอลซีต้องมีความเข้าในในเลขฐานต่าง ๆ ก่อนเพราะเป็นหลักการที่พีแอลซีใช้ประมวลผลและติดต่อกับผู้ใช้งาน ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

1) เลขฐานสิบ (Decimal System) หน่วยประมวลผลของพีแอลซีใช้เลขฐานสองในการประมวลผลและใช้เลขฐานสิบในติดต่อกับผู้ใช้พีแอลซีเพราะเลขฐานสิบคือเลขฐานที่ใช้งานทั่วไปมีเลขฐานที่เข้าใจงาน ตัวเลขที่ใช้งานตั้งแต่ 0 ถึง 9

2) เลขฐานสอง (Binary System) เป็นการแสดงค่าเป็น 0 และ 1 แต่ละดิจิตของเลขฐานสองเรียกว่า บิต (Bit) เป็นเลขฐานที่ใช้งานในหน่วยประมวลผลกลางของพีแอลซี ถูกใช้ในการเก็บข้อมูลต่างๆ สามารถรวมบิตให้เป็นกลุ่มเรียกว่า ไบต์ (Byte) คือการรวมบิต 8 บิต และเวิร์ด (Word) คือการรวมบิต 16 บิต

3) ระบบออกทัล (Octal System) คือเลขฐานแปด จองค่าดิจิต 3 ไบนารี่ ค่าเลขฐานแปดจึงอ่านและเขียนง่ายกว่าเลขฐานสอง ทำให้พีแอลนิยมใช้เลขฐานแปดสำหรับอ้างอิงหน่วยรับข้อมูล หน่วยส่งข้อมูล และที่อยู่ของหน่วยความจำ

4) ระบบเฮกซาเดซิมัล (Hexadecimal System) คือเลขฐานสิบหก ใช้อักษร A ถึง F แทนตัวเลข 10 ถึง 15 ใช้สำหรับอ้างอิงหน่วยรับข้อมูล หน่วยส่งข้อมูล และ ที่อยู่ของหน่วยความจำที่ต้องการพื้นที่ในการเก็บข้อมูลที่มากขึ้น

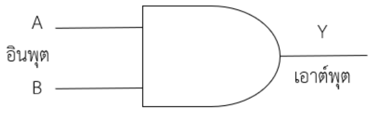
5) ระบบ BCD (Binary Code Decimal) คือเลขฐานจำนวน 4 บิต แทนเลขฐานสิบที่มีค่า 0 ถึง 9 ในกรณีที่จำนวนอินพุตและเอาต์พุตจากพีแอลซีจำนวนมาก ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบค่าเลขนับและเลขฐานต่าง ๆ

เลขนับ	เลขฐานสิบ	เลขฐานสอง	เลขฐานแปด	เลขฐานสิบหก
ศูนย์	0	0000	0	0
หนึ่ง	1	0001	1	1
สอง	2	0010	2	2
สาม	3	0011	3	3
สี่	4	0100	4	4
ห้า	5	0101	5	5
หก	6	0110	6	6
เจ็ด	7	0111	7	7
แปด	8	1000	-	8
เก้า	9	1001	-	9
สิบ	10	1010	-	A
สิบเอ็ด	11	1011	-	B
สิบสอง	12	1100	-	C
สิบสาม	13	1101	-	D
สิบสี่	14	1110	-	E
สิบห้า	15	1111	-	F

2.2.2.4 วงจรตรรก (ลอจิก) หมายถึงวงจรไฟฟ้าที่ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือสภาวะของสัญญาณมี 2 ชนิดคือ แบบบวก (Positive Logic) แทนสภาวะลอจิก “1” และแบบลบ (Negative Logic) แทนสภาวะลอจิก “0” ระบบควบคุมของพีแอลซีจะนำเอาสภาวะมาปฏิบัติลอจิกด้วยกัน เพื่อให้เข้ากับเงื่อนการควบคุม โดยกำหนดตัวอย่างค่า A และ B เป็นสัญญาณอินพุต ค่า Y เป็นสัญญาณเอาต์พุต มีปฏิบัติการลอจิก ดังนี้



(ก) สัญลักษณ์ AND Gate

อินพุต		เอาต์พุต
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

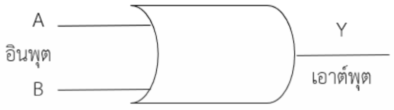
(ข) ตารางตามความเป็นจริงของ AND Gate

รูปที่ 2.6 วงจรตรรก AND Gate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) หลักการของ AND Gate ทำให้สัญญาณเอาต์พุตเป็น “1” ก็ต่อเมื่ออินพุต A และ B มีค่า “1” เท่านั้น ดังรูปที่ 2.6

2) หลักการของ OR Gate ทำให้สัญญาณเอาต์พุตเป็น “1” ก็ต่อเมื่อมีอินพุต A และ B ตัวใดตัวหนึ่งมีค่า “1” ดังรูปที่ 2.7

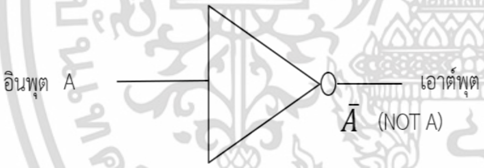


อินพุต		เอาต์พุต
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(ก) สัญลักษณ์ OR Gate (ข) ตารางตามความเป็นจริงของ OR Gate

รูปที่ 2.7 วงจรตรรก OR Gate

3) หลักการของ NOT Gate ทำให้สัญญาณเอาต์พุตเป็น “1” ก็ต่อเมื่อค่าอินพุตเท่ากับ 0 และสัญญาณเอาต์พุตเป็น “1” ก็ต่อเมื่อค่าอินพุตเท่ากับ 0 ดังรูปที่ 2.8

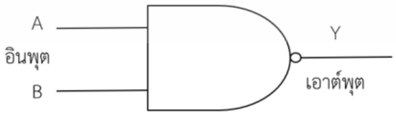


A	NOT A
0	1
1	0

(ก) สัญลักษณ์ NOT Gate (ข) ตารางตามความเป็นจริงของ NOT Gate

รูปที่ 2.8 วงจรตรรก NOT Gate

4) หลักการของ NAND Gate ทำงานตรงข้ามกับ AND Gate ดังรูปที่ 2.9



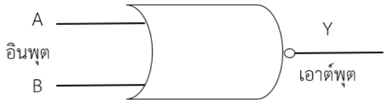
อินพุต		เอาต์พุต
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

(ก) สัญลักษณ์ NAND Gate (ข) ตารางตามความเป็นจริงของ NAND Gate

รูปที่ 2.9 วงจรตรรก NAND Gate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) หลักการของ NOR Gate ทำงานตรงข้ามกับ OR Gate ดังรูปที่ 2.10



อินพุต		เอาต์พุต
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

(ก) สัญลักษณ์ NOR Gate (ข) ตารางตามความเป็นจริงของ NOR Gate

รูปที่ 2.10 วงจรตรรก NOR Gate

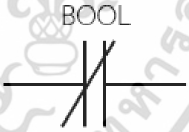
2.2.3 ภาษาพื้นฐานของพีแอลซี

ภาษาสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมของพีแอลซีเป็นการเขียนแบบภาษาสัญลักษณ์คล้ายวงจรไฟฟ้า โดยแบ่งเป็น ภาษาสัญลักษณ์ (Graphical Language) และภาษาข้อความ (Textual Language) ดังนี้

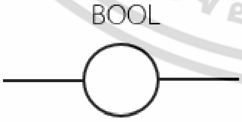
2.2.3.1 ภาษาแลดเดอร์ (LD ย่อมาจาก Ladder Diagram) ถูกใช้งานบนมาตรฐานไออีซี 61131 ประกอบด้วยคำสั่งแลดเดอร์พื้นฐาน และคำสั่งแลดเดอร์พิเศษมีดังนี้

1) คำสั่งบูลีน (Boolean Instruction) เป็นคำสั่งแลดเดอร์พื้นฐาน สำหรับปฏิบัติตรรกของวงจรแลดเดอร์ ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

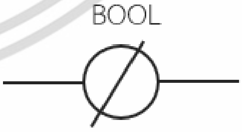
(ก) หน้าสัมผัสชนิดปกติเปิด



(ข) หน้าสัมผัสชนิดปกติปิด



(ค) ขดลวดชนิดปกติเปิด



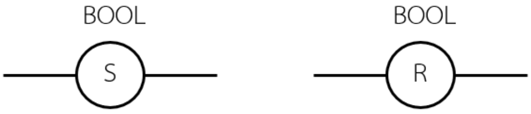
(ง) ขดลวดชนิดปกติปิด

รูปที่ 2.11 คำสั่งบูลีน

- หน้าสัมผัสชนิดปกติเปิด ค่าตรรกตรงกับตัวแปรชนิดบูลีน BOOL
- หน้าสัมผัสชนิดปกติปิด ค่าตรรกตรงข้ามกับตัวแปรชนิดบูลีน BOOL
- ขดลวดชนิดปกติเปิด ค่าตรรกตรงกับผลตรรกของวงจรแลดเดอร์
- ขดลวดชนิดปกติปิด ค่าตรรกตรงข้ามกับผลตรรกของวงจรแลดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) คำสั่งขวดลวดติด/ดับ (Set/Reset Coil) เป็นคำสั่งแลดเดอร์พิเศษ สำหรับรักษาค่าตรรกของวงจรแลดเดอร์ ดังรูปที่ 2.12 แบ่งได้ดังนี้



(ก) ขวดลวดติด (ข) ขวดลวดดับ

รูปที่ 2.12 คำสั่งขวดลวดติด/ดับ

- ขวดลวดติด (Set Coil) ทำให้ขดลวดติดโดยผลตรรกของวงจรแลดเดอร์เมื่อมีค่าตรรกทำให้ขดลวดติดแล้วจะอยู่ในสภาวะติดไม่เปลี่ยนแปลง

- ขวดลวดดับ (Reset Coil) ทำให้ขดลวดดับโดยผลตรรกของวงจรแลดเดอร์เมื่อมีค่าตรรกทำให้ขดลวดดับแล้วจะอยู่ในสภาวะดับไม่เปลี่ยนแปลง

3) คำสั่งจับขอบสัญญาณ เป็นคำสั่งแลดเดอร์พิเศษ สำหรับเปลี่ยนค่าตรรกโดยจับขอบสัญญาณตรรกของของวงจรแลดเดอร์ ดังรูปที่ 2.13 แบ่งได้ดังนี้

(ก) หน้าสัมผัสจับขอบขาขึ้น (ข) หน้าสัมผัสจับขอบขาลง

(ค) ขดลวดจับขอบสัญญาณขาขึ้น (ง) คำสั่งควบคุมการกราดโปรแกรม

รูปที่ 2.13 คำสั่งจับขอบสัญญาณ

- หน้าสัมผัสจับขอบขาขึ้น (Positive Edge Detection Contact) ผลตรรกจะมีค่าตรรก 1 ก็ต่อเมื่อผลตรรกของแลดเดอร์ก่อนหน้าเปลี่ยนค่าจากค่าตรรก 0 เป็นค่าตรรก 1 จากนั้นผลตรรกจะมีค่าตรรก 0 ในทันทีเนื่องจากหน้าสัมผัสของคำสั่งมีการเปลี่ยนค่าตรรก 1 เป็นตรรก 0 ในทันที

- หน้าสัมผัสจับขอบขาลง (Negative Edge Detection Contact) ผลตรรกจะมีค่าตรรก 1 ก็ต่อเมื่อผลตรรกของแลดเดอร์ก่อนหน้าเปลี่ยนค่าจากค่าตรรก 1 เป็นค่าตรรก 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นผลตรรกจะมีค่าตรรก 0 ในทันทีเนื่องจากหน้าสัมผัสของคำสั่งมีการเปลี่ยนค่าตรรก 1 เป็นตรรก 0 ในทันที

- ขดลวดจับขอบสัญญาณขาขึ้น (Positive Edge Detection Coil) ผลตรรกจะมีค่าตรรก 1 ก็ต่อเมื่อผลตรรกของแลดเดอร์ก่อนหน้าค่าตรรกเป็น 1 และผลตรรกของแลดเดอร์ที่อยู่หลังขดลวดจับขอบสัญญาณค่าขึ้นนี้เปลี่ยนค่าตรรก 1 เป็นค่าตรรก 0

- ขดลวดจับขอบสัญญาณขาลง (Negative Edge Detection Coil) ผลตรรกจะมีค่าตรรก 0 ก็ต่อเมื่อผลตรรกของแลดเดอร์ก่อนหน้าค่าตรรกเป็น 0 และผลตรรกของแลดเดอร์ที่อยู่หลังขดลวดจับขอบสัญญาณค่าขึ้นนี้เปลี่ยนค่าตรรก 0 เป็นค่าตรรก 1

4) คำสั่งควบคุมการกราดโปรแกรม เป็นคำสั่งแลดเดอร์พิเศษ สำหรับเปลี่ยนแปลงลำดับการกราดโปรแกรมของพีแอลซี ดังรูปที่ 2.14 แบ่งได้ดังนี้

(ก) ขดลวดรีเลย์ควบคุมหลัก (ข) ขดลวดสิ้นสุดรีเลย์ควบคุมหลัก

(ค) ขดลวดกระโดด (ง) หน้าสัมผัสสลาก

รูปที่ 2.14 คำสั่งควบคุมการกราดโปรแกรม

- ขดลวดรีเลย์ควบคุมหลัก (Master Control Relay) เมื่อคำสั่งนี้ทำงานมีผลทำให้ผลของแลดเดอร์ภายในการควบคุมมีผลตรรก 0 จนถึงคำสั่งขดลวดสิ้นสุดวงจรรีเลย์ควบคุมหลัก

- ขดลวดสิ้นสุดรีเลย์ควบคุมหลัก (Master Control Reset) เมื่อคำสั่งนี้ทำงานมีผลทำให้คำสั่งขดลวดวงจรรีเลย์ควบคุมหลักหยุดทันที

- ขดลวดกระโดด (Jump to Label Coil) เมื่อคำสั่งนี้ทำงานจะมีการกระโดดข้ามขั้นตอนปกติ โดยข้ามไปยังหน้าสัมผัสสลาก

- หน้าสัมผัสสลาก (Label Contact) เป็นตำแหน่งสุดท้ายของการกราดวงจรแลดเดอร์ที่กระโดดข้ามขั้นตอนปกติมา โดยไม่มีการกราดวงจรที่อยู่ระหว่างคำสั่งขดลวดกระโดดถึงหน้าสัมผัสสลาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

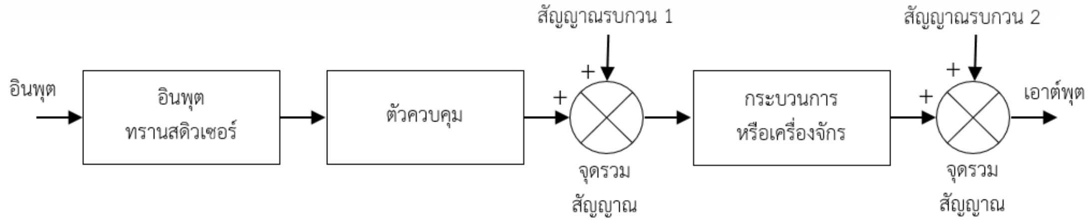
2.3 ระบบควบคุม

ระบบควบคุม [21] ประกอบไปด้วยระบบรอง (Subsystem) และกระบวนการ (Process) นำมาประกอบเข้าด้วยกันจะทำให้เกิดผลลัพธ์เมื่อมีการป้อนอินพุตเข้าไปค่าใดค่าหนึ่ง การวัดผลตอบสนองของระบบควบคุมแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังรูปที่ 2.15 คือผลตอบสนองชั่วครู่ และค่าผิดพลาดที่สภาวะคงตัว สามารถแบ่งได้เป็น 2 องค์ประกอบหลัก ดังนี้

รูปที่ 2.15 รูปแบบอย่างง่ายของการควบคุม

2.3.1 ระบบควบคุมแบบวงเปิด (Open-Loop System)

ระบบควบคุมแบบวงเปิด ดังรูปที่ 2.16 โดยที่จะเริ่มต้นด้วยการค่าอินพุต เข้ามายังอินพุตทรานสดิวเซอร์เพื่อเปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณอินพุตให้ตัวควบคุมสามารถนำไปใช้งานได้ และตัวควบคุมจะใช้สัญญาณนี้เป็นตัวขับเคลื่อนกระบวนการทำงานหรือเครื่องจักร จากนั้นจะมีสัญญาณในส่วนอื่น ๆ เข้ามา เช่น สัญญาณรบกวน จะถูกป้อนเข้ามาผ่านทางจุดรวมสัญญาณ (Summing Junction) ซึ่งสัญญาณทั้งหมดที่เข้ามาทางจุดรวมสัญญาณมีการรวมกันแบบพีชคณิต คุณลักษณะของระบบควบคุมแบบวงเปิดมีความแตกต่างจากระบบควบคุมแบบอื่นคือเมื่อมีสัญญาณอื่น ๆ เข้ามารบกวนในระบบ ระบบควบคุมแบบนี้จะไม่สามารถชดเชยค่าของสัญญาณเอาต์พุตที่เปลี่ยนแปลงไปได้ จากที่กล่าวมาสามารถสรุปการทำงานของระบบควบคุมแบบวงเปิดได้ดังนี้ เมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามาในระบบควบคุมแบบวงเปิดจะได้สัญญาณเอาต์พุตออกมา โดยส่วนที่มีความสำคัญมากคือระบบฐานเวลา และสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่ง คือค่าเอาต์พุตของระบบควบคุมแบบวงเปิดไม่มีการนำกลับมาเปรียบเทียบกับค่าอินพุต ดังนั้น ความแม่นยำของเอาต์พุตที่ได้จะขึ้นอยู่กับการปรับเทียบของระบบตั้งแต่เริ่มต้นเท่านั้น ในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบ ระบบควบคุมแบบวงเปิดจะไม่สามารถให้ค่าเอาต์พุตที่ต้องการได้

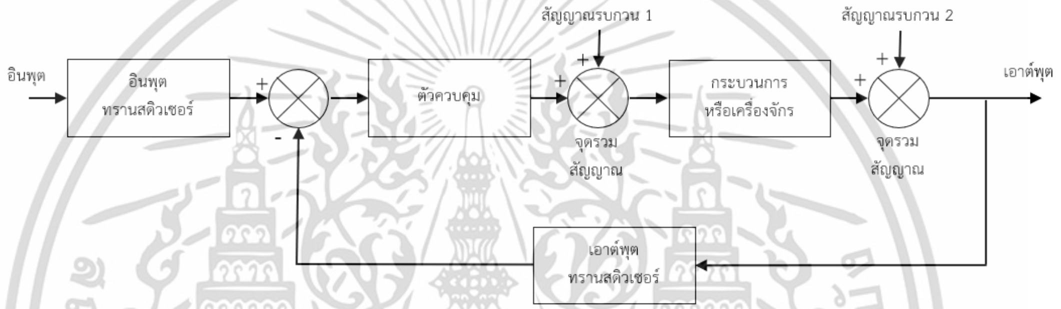


รูปที่ 2.16 ระบบควบคุมแบบวงเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ระบบควบคุมแบบวงปิดหรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Closed-Loop System or Feedback Control Systems)

จากที่กล่าวมาข้อเสียของระบบควบคุมแบบวงเปิด คือเมื่อมีสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบที่ไม่มีผลต่อค่าเอาต์พุตที่ออกมาทำให้ค่าเอาต์พุตที่ออกมาไม่ตรงกับความต้องการ ซึ่งระบบควบคุมแบบวงปิดสามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ จากรูปที่ 2.17 ระบบรองในการแปลงสัญญาณอยู่ 2 ระบบ คืออินพุตทรานสดิวเซอร์และเอาต์พุตทรานสดิวเซอร์หรือเรียกว่าตัวรับรู้ อินพุตทรานสดิวเซอร์ใช้ในการเปลี่ยนรูปของสัญญาณอินพุตให้เป็นรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานกับตัวควบคุมได้ ส่วนเอาต์พุตทรานสดิวเซอร์จะวัดค่าปริมาณเอาต์พุตและเปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณเอาต์พุตให้สามารถนำไปใช้กับตัวควบคุมได้



รูปที่ 2.17 ระบบควบคุมแบบวงปิด

จุดรวมสัญญาณตัวที่ 1 จะทำการรวมสัญญาณแบบพีชคณิตโดยจะรวมสัญญาณจากค่าอินพุตและสัญญาณจากเอาต์พุตโดยจะมีสัญญาณเอาต์พุตมาจากเส้นทางป้อนกลับมายังจุดรวมสัญญาณ สัญญาณเอาต์พุตถูกนำมาลบออกจากสัญญาณอินพุต และผลลัพธ์ของสัญญาณที่ได้รับโดยทั่วไปจะถูกเรียกสัญญาณกระตุ้น (actuating signal)

ระบบควบคุมแบบป้อนกลับนี้มีความสามารถในการชดเชยค่าเอาต์พุตในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนเข้ามาในระบบโดยจะทำการวัดค่าปริมาณเอาต์พุตและนำค่าเอาต์พุตที่กลับมาเปรียบเทียบกันถ้าทั้งสองค่าที่นำมาเปรียบเทียบกันมีค่าต่างกัน

2.3.2.1 ประเภทของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับสามารถแบ่งได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1) ระบบควบคุมแบบเชิงเส้นและแบบไม่เป็นเชิงเส้น มีการพิจารณาจากวิธีการวิเคราะห์และการออกแบบกล่าวคือ ระบบเชิงเส้นเป็นระบบที่ไม่มีอยู่จริงในทางปฏิบัติการ ระบบควบคุมป้อนกลับแบบเชิงเส้นนั้นเป็นการจำลองในทางอุดมคติเพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์และการออกแบบอย่างง่าย ๆ

2) ระบบควบคุมแบบไม่แปรผันตามเวลาและแบบแปรผันตามเวลา ระบบควบคุมแบบไม่แปรผันตามเวลาคือเมื่อค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมมีค่าคงที่เทียบกับเวลา แต่ในทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

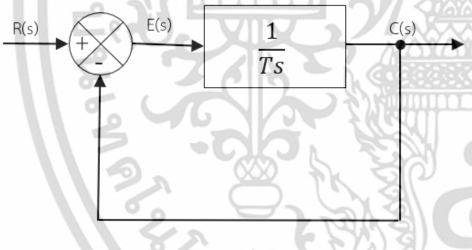
ปฏิบัติจะเป็นระบบควบคุมแบบแปรผันตามเวลาเนื่องจากระบบทางกายภาพส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรของการทำงาน

3) ระบบควบคุมแบบข้อมูลต่อเนื่องและแบบข้อมูลวิยุต ระบบควบคุมแบบข้อมูลต่อเนื่องนี้เป็นระบบควบคุมประเภทหนึ่งที่ซึ่งสัญญาณที่ปรากฏอยู่ในทุก ๆ ส่วนของระบบเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันของตัวแปรเวลาต่อเนื่อง t โดยทั่วไปจะแบ่งเป็นสัญญาณกระแสตรงและสัญญาณกระแสสลับ

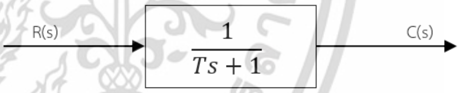
2.3.2.2 ระบบอันดับหนึ่ง (First-Order Systems) ระบบอันดับหนึ่ง ดังรูปที่ 2.18 (ก) ในทางกายภาพนั้นสามารถเขียนแทนด้วยวงจรไฟฟ้า RC หรือระบบทางความร้อนหรืออุณหภูมิ และแผนผังบล็อกที่ถูกลดรูปแล้ว ดังรูปที่ 2.18 (ข) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต ดังสมการที่ 2.1

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{Ts+1} \tag{2.1}$$

การวิเคราะห์ผลตอบสนองของระบบต่ออินพุตคือฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย เมื่อเงื่อนไขเริ่มต้นมีค่าเท่ากับศูนย์



(ก) แผนผังบล็อกของระบบอันดับหนึ่ง



(ข) แผนผังบล็อกของระบบอันดับหนึ่งแบบลดรูป

รูปที่ 2.18 แผนผังบล็อกของระบบอันดับหนึ่ง

ผลการตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วยของระบบอันดับหนึ่ง การแปลงลาปลาซของฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วยคือ 1/s จะได้คำตอบของสมการในทางโดเมนเวลา

$$c(t) = 1 - e^{-t/T} \quad \text{เมื่อ } t \geq 0 \tag{2.2}$$

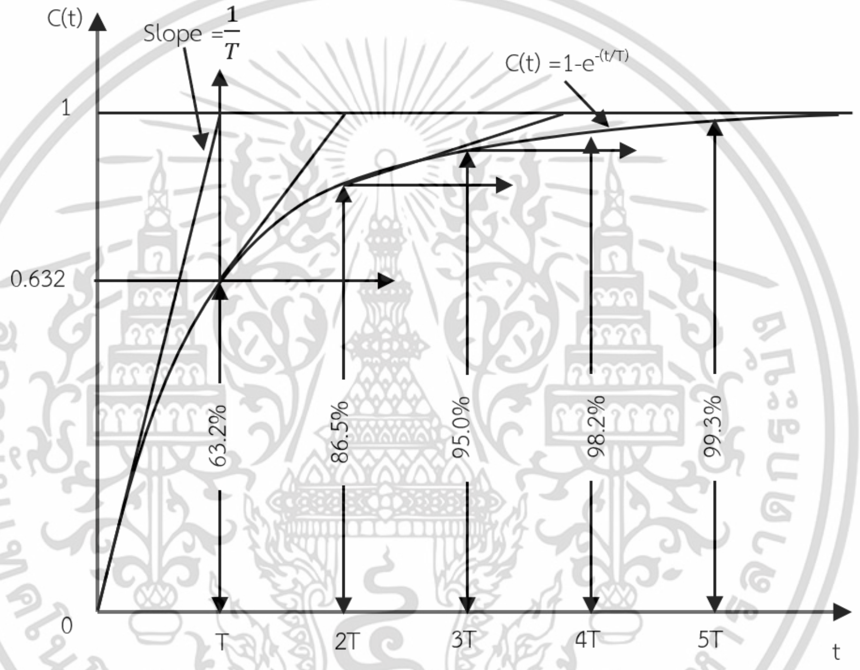
จากสมการที่ (2.2) แสดงให้เห็นว่า ที่เวลาเริ่มต้นค่า c(t) จะมีค่าเท่ากับศูนย์ และเมื่อเวลาผ่านไปจนถึงระยะอนันต์จะมีค่าเป็นหนึ่ง โดยที่คุณลักษณะเฉพาะของเส้นโค้งที่สำคัญมีผลตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันเลขชี้กำลังคือที่เวลา t = T ค่าของ c(t) จะเท่ากับ 0.632 หรือ 63.2 เปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ซึ่งมีการแทนค่า t = T ลงในสมการ c(t) ดังสมาการที่ 2.3

$$c(t) = 1 - e^{-1} = 0.632 \tag{2.3}$$

ค่าคงที่ของเวลา (Time Constant) เมื่อมีค่าน้อยลงผลตอบสนองของระบบก็ยิ่งมีความเร็วมากขึ้น พิจารณาเทอม $e^{-t/T}$ พารามิเตอร์ T จะกล่าวได้ว่าค่าคงที่ของเวลาคือเวลาที่ทำให้ผลตอบสนองต่อฟังก์ชันขั้นบันไดของระบบมีค่า 63.2 เปอร์เซ็นของค่าสุดท้าย ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 เส้นโค้งผลตอบสนองในรูปฟังก์ชันเอกซ์โปเนนเชียล

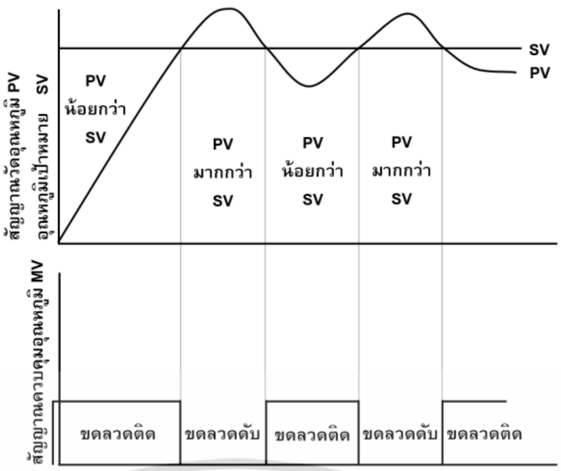
2.4 การควบคุมอุณหภูมิ

การควบคุมอุณหภูมิ [22] มีวิธีการที่หลากหลายแบบแต่แบบที่นิยมและใช้เป็นมาตรฐานแบ่งออกได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

2.4.1 การควบคุมแบบเปิด-ปิด (on/off control)

เป็นการควบคุมอุณหภูมิพื้นฐานของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ โดยสัญญาณวัดอุณหภูมิ PV น้อยกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย SV จะทำให้เครื่องควบคุมอุณหภูมิส่งสัญญาณควบคุมอุณหภูมิ MV จ่ายกำลังไฟฟ้าขดลวดความร้อนทำให้ขดลวดความร้อนติด และสัญญาณวัดอุณหภูมิ PV มากกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย SV จะทำให้เครื่องควบคุมอุณหภูมิไม่ส่งสัญญาณควบคุมอุณหภูมิ MV หยุดจ่ายกำลังไฟฟ้าขดลวดความร้อนทำให้ขดลวดความร้อนดับ ดังรูปที่ 2.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



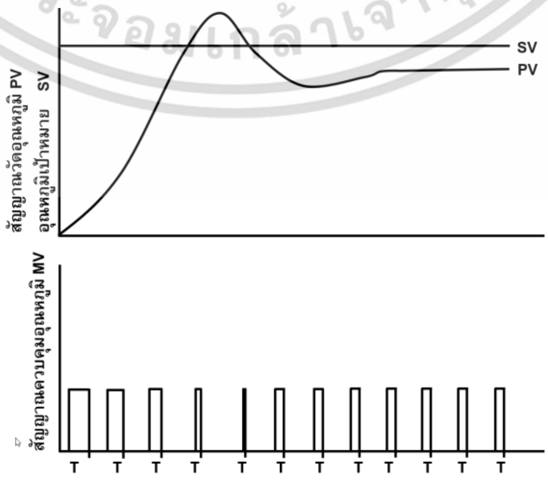
รูปที่ 2.20 การควบคุมแบบสองระดับ

2.4.2 การควบคุมแบบพี (P control ย่อมาจาก Proportional control)

การควบคุมแบบพี เป็นการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ โดยสัญญาณควบคุมอุณหภูมิ MV สัดส่วนกับผลต่างระหว่างอุณหภูมิเป้าหมาย SV กับสัญญาณวัดอุณหภูมิ PV หรือสัญญาณควบคุมอุณหภูมิ MV เท่ากับผลคูณระหว่างอัตราการควบคุมแบบพี KP กับผลต่างอุณหภูมิเป้าหมาย SV กับสัญญาณวัดอุณหภูมิ PV ดังสมการที่ 2.4

$$MV = KP(SV - PV) \tag{2.4}$$

การควบคุมแบบพี ทำให้สัญญาณวัดอุณหภูมิ PV แตกต่างจากอุณหภูมิเป้าหมาย SV คล้ายกับการควบคุมแบบสองระดับ โดยสัญญาณวัดอุณหภูมิ PV ไม่แกว่งรอบอุณหภูมิเป้าหมาย SV เช่นเดียวกับการควบคุมแบบสองระดับ ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การควบคุมแบบพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

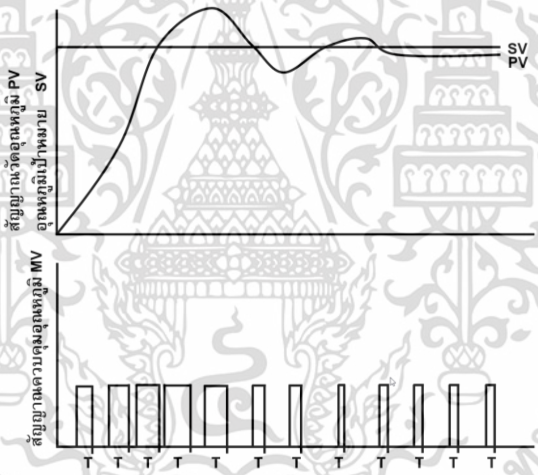
2.4.3 การควบคุมแบบพีไอ (PI control ย่อมาจาก Proportional Integral control)

การควบคุมแบบพีไอ เป็นการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ โดยปรับปรุงการควบคุมแบบพี ทำให้สัญญาณวัดอุณหภูมิ PV เท่ากับอุณหภูมิเป้าหมาย SV

การควบคุมแบบไอ สัญญาณควบคุมอุณหภูมิ MV เท่ากับผลคูณระหว่างอัตราการควบคุมแบบไอ KI กับการอินติเกรต (Integrate) ผลต่างอุณหภูมิเป้าหมาย SV กับสัญญาณวัดอุณหภูมิ PV ดังสมการที่ 2.5

$$MV = KP\left[(\text{SV-PV}) + \text{KI} \int (SV - PV)dt\right] \tag{2.5}$$

การควบคุมแบบพีไอ ทำให้สัญญาณวัดอุณหภูมิ PV เท่ากับอุณหภูมิเป้าหมาย SV และการควบคุมแบบพีไอ เครื่องควบคุมอุณหภูมิแปลงสัญญาณควบคุมอุณหภูมิ MV เป็นสัญญาณควบคุมสองระดับแบบสัดส่วนเวลาเช่นเดียวกับการควบคุมแบบพี ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การควบคุมแบบพีไอ

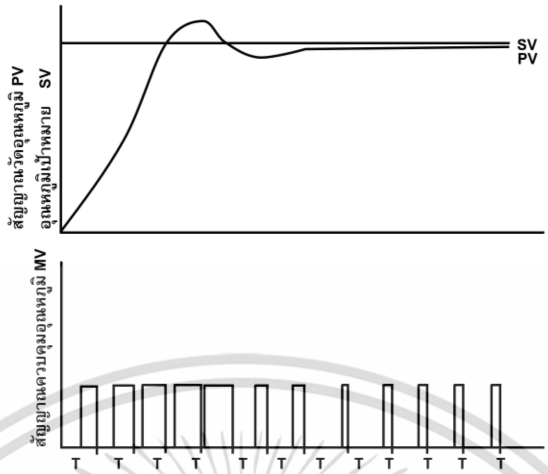
2.4.4 การควบคุมแบบพีไอดี (PID control ย่อมาจาก Proportional Integral Derivative control)

การควบคุมแบบพีไอดี เป็นการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องควบคุมอุณหภูมิ โดยปรับปรุงควบคุมแบบพีไอ ทำให้สัญญาณวัดอุณหภูมิ PV เท่ากับอุณหภูมิเป้าหมาย SV รวดเร็วขึ้น

การควบคุมแบบดี สัญญาณควบคุมอุณหภูมิ MV เท่ากับผลคูณระหว่างอัตราการควบคุมแบบดี KD กับการอนุพันธ์ (Derivative) ผลต่างอุณหภูมิเป้าหมาย SV กับสัญญาณวัดอุณหภูมิ PV ดังสมการที่ 2.6 และรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$MV = KP[(SV\text{-}PV) + KI\int(SV - PV)dt + KD\frac{d(SV-PV)}{dt}] \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.23 การควบคุมแบบพีไอดี

2.5 การวัดและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

การวัดและเครื่องมือวัดอุณหภูมิ [23] มีความสำคัญมากเนื่องจากการให้ความร้อนกับสสารหรือวัตถุใดๆ จะทำให้สสารนั้นเปลี่ยนแปลงสมบัติหลายอย่าง จึงต้องมีการเครื่องมือวัดและวิธีการวัดที่เหมาะสมกับลักษณะงาน มีการเลือกใช้งานเครื่องมือวัดที่ถูกต้อง

2.5.1 อุปกรณ์ให้ความร้อน

ลวดความร้อน หรือ Heater คืออุปกรณ์ให้ความร้อนกับงานที่ต้องการความร้อนสูง ซึ่งเหมาะสำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ในการกำเนิดความร้อนในงานอุตสาหกรรม ที่มีความร้อนสูง เช่น งานชุบแข็งโลหะหรืองานหลอมโลหะ เป็นต้น ลวดความร้อนเป็นลวดโลหะความต้านทานไฟฟ้าสูง หุ้มฉนวนไฟฟ้าป้องกันกระแสไฟฟ้าลัดวงจร สามารถแบ่งชนิดได้ดังนี้

2.5.1.1 ลวดความร้อนชนิดกลม (Tubular Heater) คือ ขดลวดที่สร้างความร้อนภายในท่อ ที่ใช้ความร้อนโดยตรงโดยไม่ติดครีบ โครงสร้างของ Tubular Heater คือ มีขดลวดความร้อนบรรจุ อยู่ในท่อโลหะช่องว่างระหว่างขดลวดความร้อนและท่อโลหะ จะถูกอัดแน่นด้วยผงแมกนีเซียมออกไซด์ และถูกรีดลงให้มีความหนาแน่นตามมาตรฐาน วัสดุที่ใช้ทำ Tubular Heater มีหลายชนิดต่างกันตามลักษณะการใช้งาน ดังรูปที่ 2.24

รูปที่ 2.24 ลวดความร้อนชนิดกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.2 ลวดความร้อนชนิดครีบ (Finned Heater) คือ ขดลวดที่ให้ความร้อนกับชิ้นงานโดยหลักการนำพาความร้อน ใช้งานในตู้อบหรืองานที่ต้องให้ความร้อนกับอากาศภายในห้อง เช่น งานอบชิ้นงานอุตสาหกรรมรถยนต์, อบพลาสติก, อบไม้, อบแม่พิมพ์, อบสี, อบใยผ้า, ลดความชื้นในระบบทำความเย็น เป็นต้น ซึ่งทำจาก Tubular Heater ที่ดัดเป็นรูปต่างๆ และเพิ่มแผ่นครีบม้วนติดกับท่อฮีตเตอร์ อย่างต่อเนื่องจากปลายด้านหนึ่ง ส่วนของแผ่นครีบที่เพิ่มขึ้นมาจะทำให้ฮีตเตอร์ สามารถถ่ายเถความร้อนได้เร็วขึ้น ดังรูปที่ 2.25

รูปที่ 2.25 ลวดความร้อนชนิดครีบ

2.5.1.3 ลวดความร้อนชนิดจุ่ม (Immersion Heater) คือ ขดลวดที่ใช้เพื่อต้มหรืออุ่นของเหลว เช่น ต้มน้ำหรืออุ่นน้ำมัน การติดตั้งสามารถทำได้โดยเชื่อมเกลียวตัวเมียติดกับถังแล้วใส่ฮีตเตอร์แบบเกลียวเข้าไป โดยตัวฮีตเตอร์ขนานกับพื้นถัง ควรระวังไม่ให้ส่วนของฮีตเตอร์โผล่พ้นของเหลว เนื่องจากจะทำให้ส่วนที่อยู่เหนือของเหลวร้อนจัดเกินไป ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง และเพื่อให้ความร้อนกระจายทั่วถึง ควรติดตั้งใบพัดกวนของเหลวด้วย ดังรูปที่ 2.26

รูปที่ 2.26 ลวดความร้อนชนิดจุ่ม

2.5.1.4 ลวดความร้อนชนิดแถบ (Band Heater) คือ ฮีตเตอร์ที่ให้ความร้อนโดยการรัดท่อหรือวัตถุทรงกระบอก โดยมีโครงสร้างเหมือนกับฮีตเตอร์แผ่นคือ ภายในจะประกอบไปด้วยแผ่นฉนวนอยู่ตรงกลางและพันด้วยลวดฮีตเตอร์ไปรอบแผ่นฉนวนหรืออาจจะเปลี่ยนวัสดุจากแผ่นฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแท่งเซรามิกแล้วร้อยด้วยลวดฮีตเตอร์ ส่วนภายนอกจะเป็นแผ่นสแตนเลสหรือ แผ่นสังกะสีปิดด้านนอก และขั้วต่อไฟสามารถเลือกได้จะออกเป็นสายทนความร้อน, ขั้วเต๋าเซรามิก, ปลั๊กเซรามิกทนความร้อน เป็นต้น ดังรูปที่ 2.27

รูปที่ 2.27 ลวดความร้อนชนิดแถบ

2.5.1.5 ลวดความร้อนชนิดแผ่น (Strip Heater) คือ อุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่น เหมาะสำหรับงานให้ความร้อนทั่วไป เช่น เครื่องบรรจุหีบห่อ, ให้ความร้อนกับมีดตัดพลาสติก, อุ่นภาชนะ, เครื่องขายเครื่องดื่มร้อนแบบอัตโนมัติ, เตาอบแบบต่าง ๆ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.28

รูปที่ 2.28 ลวดความร้อนชนิดแผ่น

2.5.1.6 ลวดความร้อนชนิดอินฟราเรด (Infrared Heater) คือ ให้ความร้อนโดยหลักการแผ่คลื่นความร้อน (Radiation) คือ การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนมีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วงอินฟราเรด (IR) ซึ่งจะยาวกว่าคลื่นแสง อาจเรียกว่าคลื่นความร้อน และส่งแผ่ไปยังวัตถุที่ต้องการให้ความร้อน คลื่นอินฟราเรดจะทำให้โมเลกุลของวัตถุเกิดการสั่นตัวเพิ่มขึ้น มีผลทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นที่ตัววัตถุซึ่งความยาวคลื่นของ Elstein IR อยู่ในช่วง 2-10 um. ความยาวของคลื่นในช่วงนี้จะทำให้ชิ้นงานดูดซับความร้อนจากอินฟราเรดฮีตเตอร์ได้ดีที่สุดจำพวกพลาสติก,กาว,สี,กระดาษ,แลกเกอร์ เป็นต้น ร้อนกับมีดตัดพลาสติก, เครื่องฟักไข่, อุ่นภาชนะ, เครื่องขายเครื่องดื่มร้อนแบบอัตโนมัติ, เครื่องล้างอุลตร้าโซนิค, เตาอบแบบต่าง ๆ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.29 ลวดความร้อนชนิดอินฟราเรด

2.5.2 หลักการวัดอุณหภูมิ

หลักการวัดอุณหภูมิต้องวัดตามความเหมาะสมของลักษณะการใช้งานของเครื่องมือวัด โดยแปลงกลุ่มตามหลักการเปลี่ยนแปลงสมบัติ สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

2.5.2.1 หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้า ค่าสมบัติทางไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ เช่นอาร์ทีดีและเทอร์มิสเตอร์ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้า ส่วนเทอร์โมคัปเปิลใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น

2.5.2.2 หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแสงและการแผ่รังสี การวัดค่าชนิดนี้เหมาะกับวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงมากๆ ไม่สามารถใช้เครื่องมือวัดขั้นต้นได้ จึงต้องใช้เครื่องมือวัดแบบพิเศษ โดยอาศัยการวัดการแผ่รังสีความร้อนของวัตถุออกมาเพื่อบ่งบอกอุณหภูมิ ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 800°C ถึง 1,800°C จะแผ่รังสีแสงในย่านที่สายตามองเห็น ส่วนวัตถุในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 800°C จะแผ่รังสีออกมาในย่านรังสีอินฟราเรด เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ใช้วัดเรียกว่า “ไพโรมิเตอร์”

2.5.2.3 หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกล มีการใช้งานหลายแบบตามความเหมาะสม เช่น เทอร์โมมิเตอร์แบบหลอดแก้วโดยบรรจุของเหลวไว้ภายใน มีการทำงานโดยอาศัยหลักการขยายตัวของของเหลวที่บรรจุในหลอดแก้ว เป็นต้น

2.5.2.4 หลักการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมี มีการใช้ทำงานโดยอาศัยอุณหภูมิเฉพาะที่สารเคมีละลายหรือเปลี่ยนสีเป็นจุดสังเกต เช่น แล็กเกอร์ เม็ดยา และดินสอ เป็นต้น

2.5.3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

เครื่องมือวัดอุณหภูมิต้องใช้ตามความเหมาะสมของลักษณะการใช้งานของเครื่องมือวัด โดยมีการใช้งานหลากหลายประเภทแต่มีเครื่องมือวัดที่นิยมใช้แบ่งได้ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.1 เทอร์โมคัปเปิล เป็นทรานสดิวเซอร์วัดอุณหภูมิที่ใช้การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า สามารถกำเนิดแรงดันไฟฟ้าได้เมื่ออุณหภูมิระหว่างจุดสองจุดต่างกัน เป็นอุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก

2.5.3.2 อาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector, RTD) เป็นทรานสดิวเซอร์วัดอุณหภูมิที่ใช้การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของความต้านทานไฟฟ้า จัดเป็นทรานสดิวเซอร์แบบพาสซีส การทำงานต้องมีแหล่งจ่ายไฟจากภายนอกจ่ายให้กับวงจร โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิแสดงความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกัน ก็คือ ค่าต้านทานภายในของวัสดุเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

วัสดุที่นิยมใช้ทำอาร์ทีดี ได้แก่ แพลทินัม นิกเกิล และทองแดง เป็นต้น แต่ใช้ทองแดงและนิกเกิลเป็นวัสดุที่มีราคาถูก ประกอบง่าย จึงนิยมใช้งานในช่วงอุณหภูมิต่ำ โดยในงานอุตสหกรรมและห้องปฏิบัติการนิยมใช้แพลทินัมเพราะมีความเที่ยงตรง แต่มีราคาค่อนข้างสูง

2.5.3.3 เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) เป็นทรานสดิวเซอร์วัดอุณหภูมิที่ใช้การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าให้อยู่ในรูปของความต้านทานไฟฟ้า จัดเป็นทรานสดิวเซอร์แบบพาสซีส การทำงานต้องมีแหล่งจ่ายไฟจากภายนอกจ่ายให้กับวงจร โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิแสดงความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน ก็คือ ค่าต้านทานภายในของวัสดุเพิ่มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2.5.3.4 ไพโรมิเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส นิยมใช้งานที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังนิยมวัดอุณหภูมิของวัตถุที่เคลื่อนที่ โดยทั่วไปนิยมใช้วัดเพื่อจดบันทึกมากกว่าใช้ควบคุมกระบวนการ มีหลักการทำงานโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงแสงและการแผ่รังสีของวัตถุ กลไกการแผ่รังสีความร้อนที่เกิดจากการสั่นและการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนซึ่งประกอบกันเป็นสสาร เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอิเล็กตรอนจะสั่นและเคลื่อนที่มากขึ้น

2.5.3.5 เทอร์โมมิเตอร์ชนิดของเหลวบรรจุภายในหลอดแก้ว เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอาศัยสมบัติเชิงของของเหลว โดยเมื่อของเหลวได้รับความร้อนทำให้อุณหภุมิสูงขึ้นของเหลวจะมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น ข้อจำกัดคือจุดเดือดของของเหลวทำให้วัดอุณหภูมิได้ค่อนข้างต่ำและไม่สามารถใช้นำมาควบคุมระบบได้

2.5.3.6 เทอร์โมมิเตอร์ชนิดตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความดัน เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลด้วยการขยายตัวหรือหดตัวของของเหลว ไอน้ำหรือของก๊าซแบบต่าง ๆ ที่ถูกบรรจุในกระเปาะแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความดัน

2.5.3.7 เครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบแถบโลหะคู่ (Bimetal thermometer) เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกล ประกอบด้วยแถบโลหะสองชนิด A และ B ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวจากความร้อนไม่เท่ากันนำมาติดกันแบบสนิท เมื่อได้รับความร้อนโลหะทั้งสองจะเกิดการขยายตัวที่ไม่เท่ากัน มีผลทำให้แถบโลหะโก่ง มีย่านใช้งานที่อุณหภูมิ 75°C ถึง 550°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สรุป

บทนี้ได้นำเสนอทฤษฎีและหลักการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย อันได้แก่ พีแอลซี, ระบบควบคุม, การควบคุมอุณหภูมิ, การวัด และเครื่องมือวัดอุณหภูมิ มาเป็นหลักการและวิธีการควบคุมอุณหภูมิ จะทำให้การควบคุมอุณหภูมิแบบเดิมที่มีการใช้งานอยู่แล้วมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะทำให้การใช้พลังงานเกิดประโยชน์สูงสุด ทำให้สามารถประหยัดพลังงานพร้อมทั้งรักษาสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย โดยได้กล่าวเฉพาะส่วนที่จะนามาใช้หรือส่วนที่จะถูกกล่าวอ้างถึงในบทต่อ ๆ ไปทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้แก่ผู้ดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบระบบ

3.1 บทนำ

การออกแบบระบบ เพื่อศึกษาเชิงทดลองการพัฒนาฟังก์ชันบนพีแอลซีเพื่อการประหยัดพลังงานในกระบวนการอุณหภูมิ ในบทนี้จะกล่าวถึงระบบการควบคุมอุณหภูมิ, การทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ, เงื่อนไขการทดลอง, การเขียนแลดเดอร์ไดอะแกรมสำหรับควบคุมอุณหภูมิ แสดงรายละเอียดดังนี้

3.2 ระบบการควบคุมอุณหภูมิ

3.2.1 การติดตั้งฮาร์ดแวร์

การติดตั้งฮาร์ดแวร์และการกำหนดค่าของระบบเริ่มจาก การเชื่อมต่อเริ่มต้นจากการนำพีแอลซีเข้ามาช่วยในการควบคุมการทำงานของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้มีความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพการทำงานที่มากขึ้น เริ่มต้นด้วยการใช้คอมพิวเตอร์เพื่อทำการเขียนโปรแกรมการใช้งานไปยังพีแอลซีผ่านการเชื่อมต่อแบบ Ethernet จากนั้นมีการแสดงผลที่บันทึกได้ผ่านคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้งาน ต่อมาส่วนของระดับควบคุมมีพีแอลซี เป็นศูนย์กลางในการประมวลผลของกระบวนการทำงานทั้งหมด โดยมีการวัดพลังงานที่ใช้ด้วยมิเตอร์วัดค่าพลังงาน ในการทดลองใช้เวลา 30 นาที โดยแบ่งระดับการดำเนินการออกเป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้

1. ระดับภาคสนาม ดำเนินการในส่วนการตั้งค่าทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิด้วย Transmitter ROSEMOUNT 644HAK5J6M5Q4 จ่ายค่าสัญญาณ HART แอนะล็อก 4-20 มิลลิแอมแปร์ ไปยังอุปกรณ์พีแอลซี จากนั้นพีแอลซี จะส่งค่า 4 มิลลิแอมแปร์ เพื่อปิดและ 20 มิลลิแอมแปร์ เพื่อเปิดการจ่ายพลังงานไปยัง Power regulator SANGI SCR-1A030 จะมีการจ่ายพลังงาน 0 Vac เมื่อรับสัญญาณ 4 มิลลิแอมแปร์ และจ่ายพลังงาน 220 Vac เมื่อรับสัญญาณ 20 มิลลิแอมแปร์ ไปยังส่วนของฮีตเตอร์ของเตาอบ รวมถึงการออกแบบกรอบโครงแบบเปิด การเดินสายไฟ และการติดตั้งอุปกรณ์ โดยมีการวัดพลังงานที่ใช้ด้วยมิเตอร์วัดค่าพลังงาน Schneider Electric PowerLogic PM5300 ในการวัดพลังงานที่ใช้งานในแต่ละรอบ Current transformer Schneider Electric METSECT5CC04

2. ระดับควบคุมดำเนินการ ในส่วนของการติดตั้งและตั้งค่าโมดูลต่าง ๆ ของพีแอลซีด้วยโปรแกรม Studio 5000 พีแอลซีรุ่น Allen-Bradley CompactLogix 1769 L30ER แสดงโมดูลดังนี้

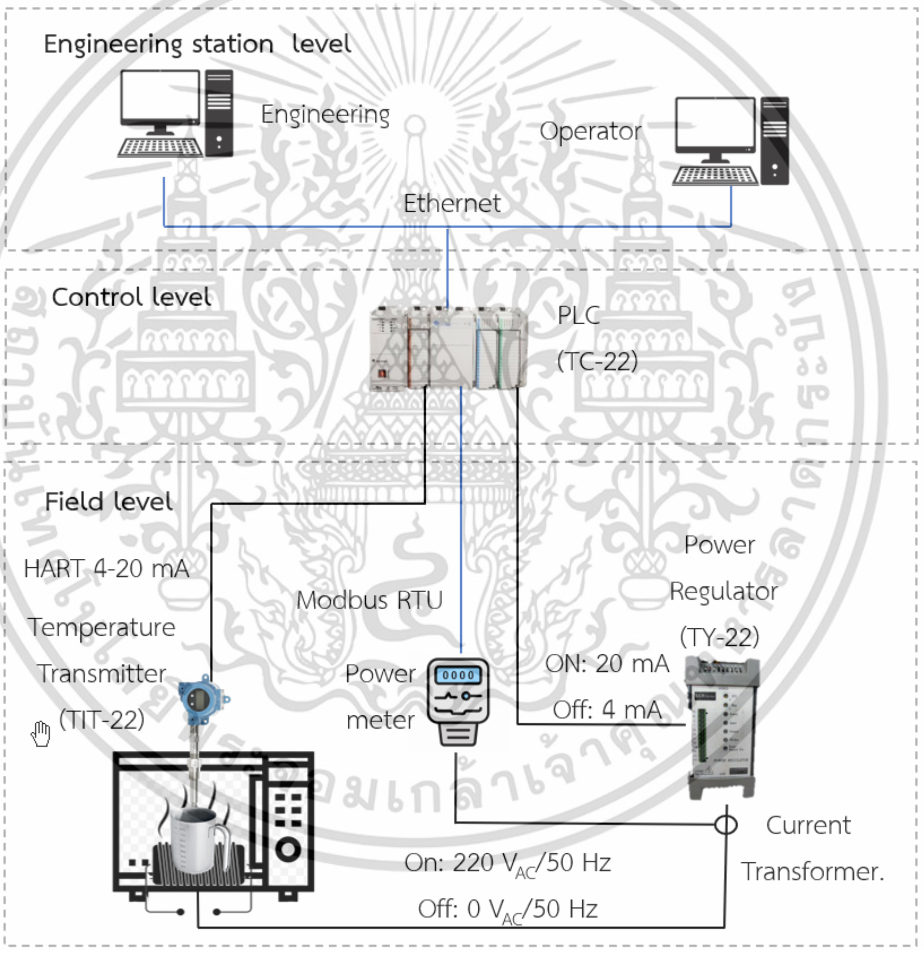
- Slot 1 โมดูล Modbus TCP/PI: MVI69L-MBTCP
- Slot 2 โมดูล Modbus RTU: MVI69L-MBS
- Slot 3 โมดูล ดิจิทัล อินพุต: 1769-IQ16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Slot 4 โมดูล ดิจิทัล เอาต์พุต: 1769-OW8
- Slot 5 โมดูล แอนะล็อก อินพุต: 1769-IF4
- Slot 6 โมดูล แอนะล็อก เอาต์พุต: 1769-OF4

โดยมีการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภาคสนามกับตัวควบคุมเพื่อดึงข้อมูลจากทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิมายังส่วนรับสัญญานของพีแอลซี และการส่งสัญญาณควบคุมไปที่เครื่องปรับกำลังไฟเอสซีอาร์ในการทำให้ฮีตเตอร์เกิดความร้อน

3. ระดับวิศวกรดำเนินการ ได้ดำเนินการในส่วนการออกแบบโปรแกรมในการแลดเดอร์การทำงานของกระบวนการ รวมถึงการติดตามผลการทดลองผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์

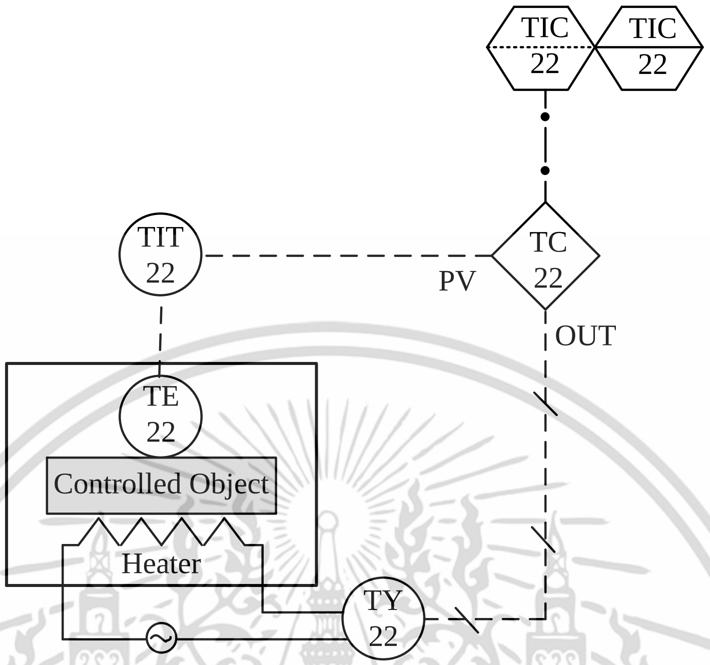


รูปที่ 3.1 แผนผังการเชื่อมต่อของอุปกรณ์

จากรูปที่ 3.1 แสดงแผนผังการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ การควบคุมการทำงานทั้งหมดใช้พีแอลซีเป็นตัวกลางในการควบคุมอุณหภูมิของการทดลอง โดยในคอมพิวเตอร์มีการเขียนโปรแกรมคำสั่งและแสดงผลการควบคุมการทำงานของกระบวนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

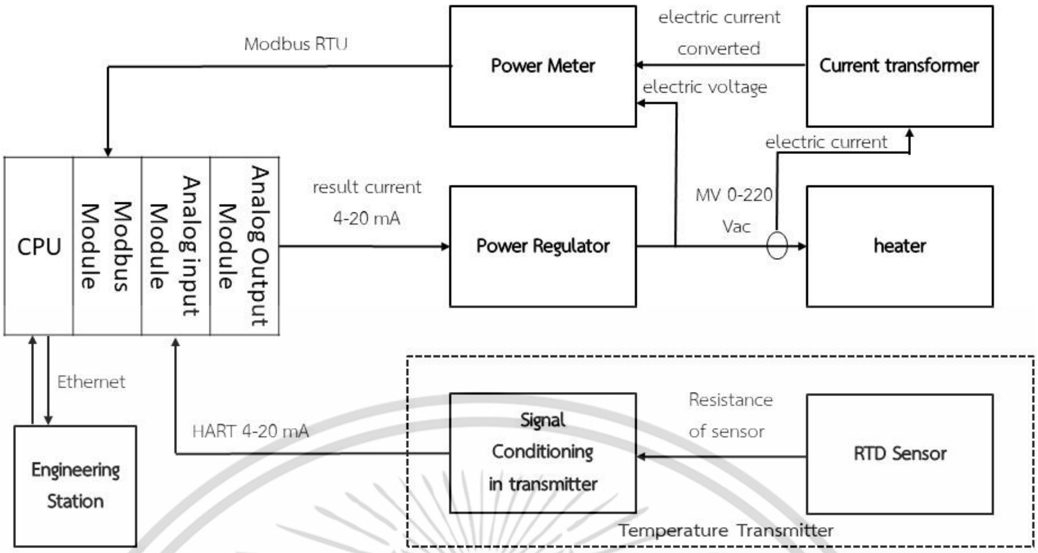
3.2.2 แผนภาพกระแสข้อมูลการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายในกระบวนการเพื่อควบคุมอุณภูมิ



รูปที่ 3.2 แผนภาพ P&ID

จากรูปที่ 3.2 แสดงแผนภาพ Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) ของการควบคุมอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย การเขียนโปรแกรมคำสั่งควบคุมพีแอลซีในระดับวิศวกรรมและการแสดงผลในการทำงานทำหมดของกระบวนการ (TIC-22) มีการเชื่อมต่อกับชุดอุปกรณ์พีแอลซีที่ทำหน้าเป็นศูนย์กลางการประมวลผลของการควบคุมอุณหภูมิ (TC-22) ใช้สำหรับกำหนดเงื่อนไขของลูปควบคุมและตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการ และมีการใช้สำหรับตรวจสอบการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิด้วย มีการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิที่จะส่งสัญญาณอุณหภูมิไปยังพีแอลซีแบบสัญญาณ HART 4-20 มิลลิแอมแปร์ (TIT-22) ควบคู่กับเครื่องมือวัดอุณหภูมิ (TE-22) ซึ่งเป็นค่า process variable (PV) ที่ถูกวัดค่าได้และควบคุม จากนั้นให้พีแอลซี (TC-22) ทำการคำนวณผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่กำหนดที่และอุณหภูมิที่วัดค่าได้ เพื่อสร้างเอาต์พุต (OUT) จากการแสดงการควบคุมแบบเปิด-ปิด ตัวควบคุมเอาต์พุต (OUT) จะแปลงค่าสัญญาณให้อยู่ในรูปของการเปิด-ปิดสำหรับควบคุมสถานะการทำงานของ Power regulator (TY-22) ซึ่งเป็นตัวควบคุมพลังงานเพื่อเปิด-ปิดพลังงานที่ส่งไปยังฮีตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนภาพกระแสข้อมูล

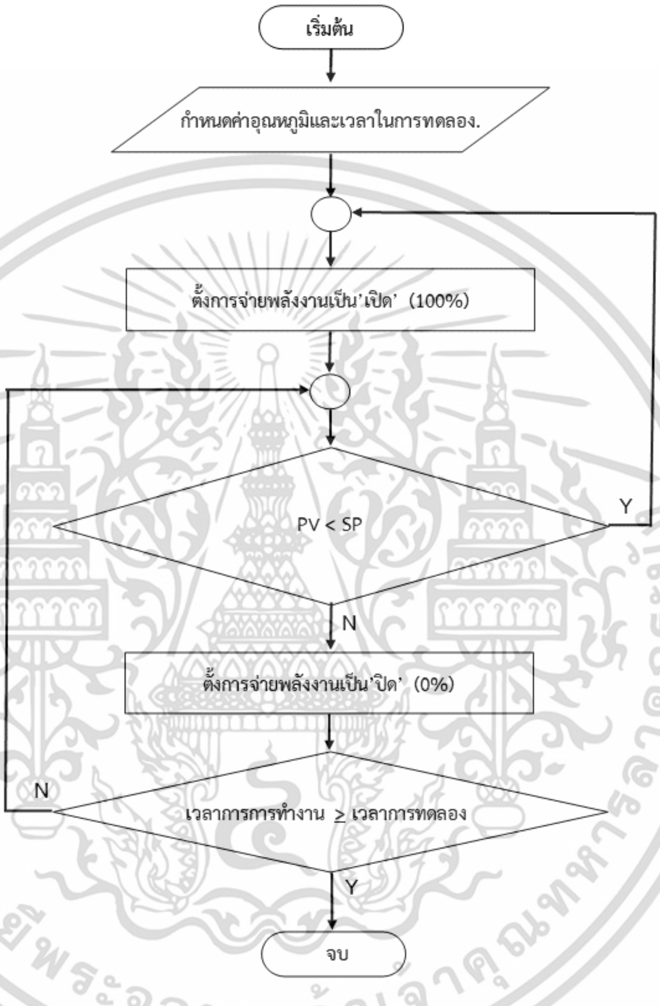
จากรูปที่ 3.3 แสดงแผนภาพกระแสข้อมูล โดยแสดงให้เห็นถึงลักษณะของการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ เริ่มจากอาร์ทีดีเซนเซอร์ต่อเข้ากับ Signal Conditioner Circuit ที่แปลงความค่าอุณหภูมิที่วัดได้เป็นแรงดันไฟฟ้าภายในทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิและทำการส่งสัญญาณกระแสไฟฟ้าแบบ HART 4-20 มิลลิแอมแปร์ ไปยังโมดูลแอนะล็อกอินพุตของพีแอลซี โดยในส่วนของซีพียูของพีแอลซีทำการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ของวิศวกรเพื่อเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานพร้อมกับแสดงผลการทำงานของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิผ่านโปรโตคอล Ethernet IP เมื่อมีการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานเสร็จแล้ว จึงมีการเริ่มต้นการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิ โดยจะมีการส่งสัญญาณแอนะล็อก 4-20 มิลลิแอมแปร์ จากโมดูลแอนะล็อกเอาต์พุตที่ติดอยู่กับพีแอลซี ไปยังอุปกรณ์ Power Regulator เพื่อแปลงสัญญาณจากกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมแปร์ เป็นแรงดันไฟฟ้า 0-220 Vac ไปยังฮีตเตอร์ จากการที่ฮีตเตอร์เริ่มได้รับพลังงานจะมีการวัดการใช้พลังงานของระบบนี้ เริ่มจากวัดกระแสผ่าน Current Transformer แล้วส่งกระแสที่ถูกแปลงค่าแล้วไปยังมิเตอร์วัดค่าพลังงาน และวัดแรงดันที่ส่งไปยังฮีตเตอร์แบบขนานไปยังมิเตอร์วัดค่าพลังงาน จากนั้นมิเตอร์วัดค่าพลังงาน จะแสดงพลังงานที่ใช้ในระบบนี้พร้อมทั้งส่งข้อมูลผ่าน Modbus RTU ไปยังโมดูล Modbus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ

การทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิที่ทดลองมีหลักการควมคุมอุณหภูมิ 2 รูปแบบ ดังนี้

3.3.1 หลักการควบคุมการอุณหภูมิด้วยการเปิด-ปิด จะมีการจ่ายพลังงานก็ต่อเมื่อค่าอุณหภูมิปัจจุบันต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ และหยุดจ่ายพลังงานเมื่อค่าอุณหภูมิปัจจุบันมากกว่าหรือเท่ากับค่าที่ตั้งไว้ ซึ่งวิธีการนี้นิยมใช้กันมาก

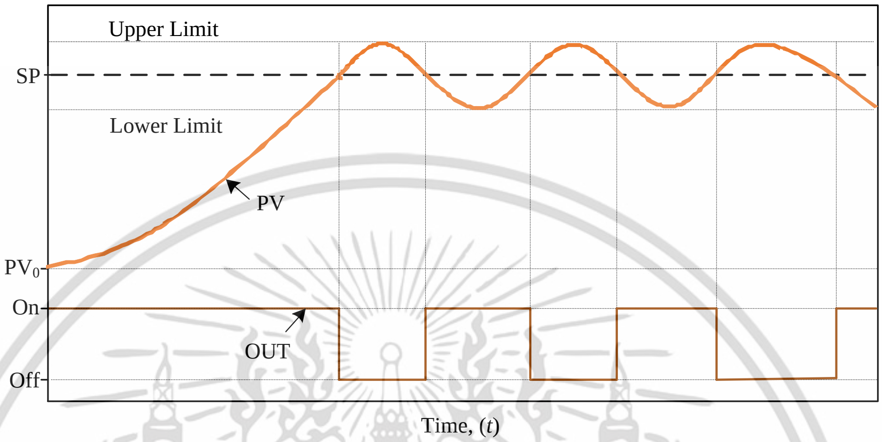


รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด

จากรูปที่ 3.4 แสดงการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด เริ่มต้นจากการกำหนดค่าอุณหภูมิที่ต้องการและเวลาในการทดลอง จากนั้นเมื่อเริ่มการทดลองจะมีการจ่ายสัญญาณว่า ‘เปิด’ การจ่ายพลังงาน (100%) ไปให้กับระบบ โดยระบบจะทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าอุณหภูมิขณะนั้นกับค่าที่กำหนดไว้ หากค่าอุณหภูมิในขณะนั้นน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้จะมีการจ่ายพลังงาน (100%) เรื่อย ๆ จนกว่าค่าอุณหภูมิจะมากกว่าอุณหภูมิที่กำหนดไว้ เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้จะมีการจ่ายสัญญาณว่า ‘ปิด’ การจ่ายพลังงาน (0%) จะมีการกระทำวนซ้ำจนกว่าเวลาในการทำงานจะมากกว่าหรือเท่ากับเวลาการทดลองจึงจะจบการทำงานของกระบวนการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลาของระบบควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด ดังรูปที่ 3.5 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเริ่มต้นจะมีการใช้พลังงานมากที่สุดเนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิแบบนี้ต้องจ่ายพลังงานให้อุณหภูมิถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้จึงจะหยุดจ่ายพลังงาน ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานให้กับภายนอกของระบบบางส่วนในช่วงแรก

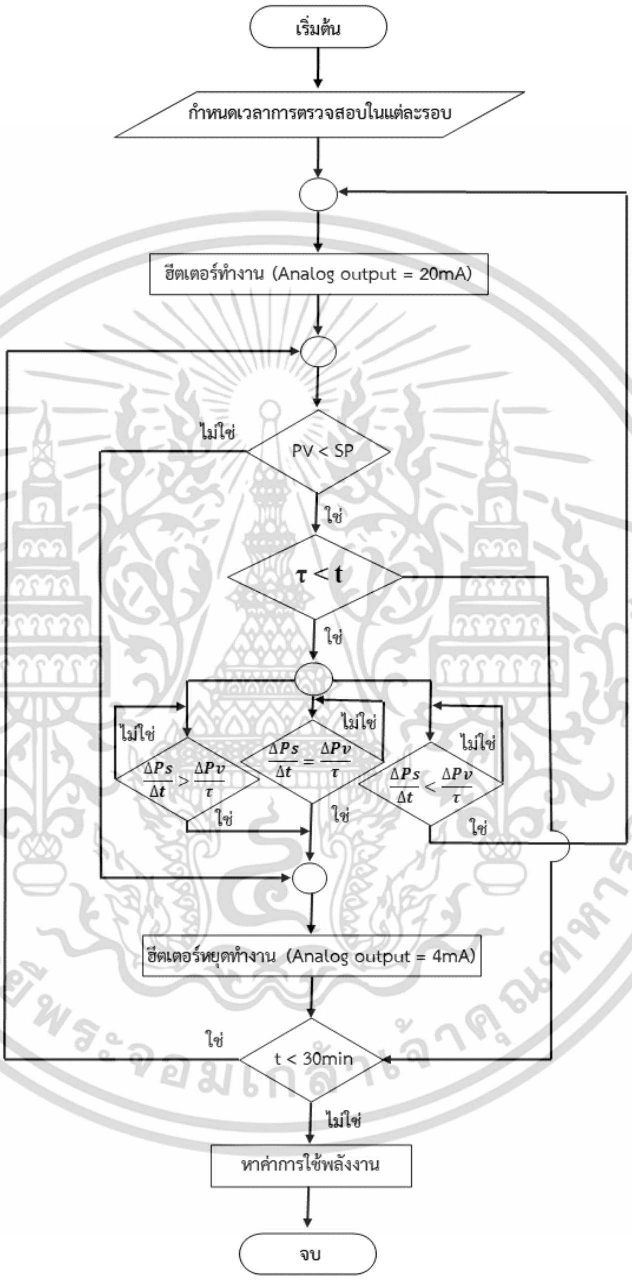


รูปที่ 3.5 แผนผังอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลาของระบบควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด

3.3.2 หลักการควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน Intelligent มีการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด เช่นเดิม แต่จะมีการเพิ่มฟังก์ชันการคิดคำนวณก่อนจะมีการจ่ายพลังงานเพื่อให้พลังงานที่จ่ายไปเท่ากับอัตราที่เปลี่ยนแปลงพลังงานได้ของระบบ การทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน Intelligent ดังรูปที่ 3.6 เริ่มต้นจากการกำหนดค่าอุณหภูมิที่ต้องการและเวลาในการทดลอง มีการเริ่มต้นการทำงาน จากนั้นจะมีการจ่ายค่าของสัญญาณแอนะล็อกเอาต์พุตที่มีค่าเท่ากับ 20 มิลลิแอมแปร์ ไปยังเอสซีอาร์เพื่อจ่ายไฟฟ้าไปยังฮีตเตอร์เพื่อให้เกิดความร้อน ระบบจะทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าอุณหภูมิขณะนั้นกับค่าที่กำหนดไว้ หากค่าอุณหภูมิในขณะนั้นน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้จะมีการจ่ายพลังงาน จะมีการตรวจสอบเวลาในการที่ทำการทดลองว่าถึงเวลาของค่าคงที่ของเวลาแล้วหรือไม่ หากถึงเวลาของค่าคงที่ของเวลาแล้วจะไม่มีการใช้ฟังก์ชัน Intelligent แต่หากยังไม่ถึงเวลาของค่าคงที่ของเวลาจะมีการใช้ฟังก์ชัน Intelligent โดยมีการตรวจสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณภูมิต่อเวลาเทียบกับค่าคงที่ของเวลาในกระบวนการนี้มีโอกาสเป็นไปได้ 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 ค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณภูมิต่อเวลาเทียบกับค่าคงที่ของเวลาแล้วน้อยกว่าจะมีการสัญญาณ แอนะล็อกเอาต์พุต ที่ 20 มิลลิแอมแปร์ ไปยังเอสซีอาร์ต่อไป กรณีที่ 2 และ 3 ค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณภูมิต่อเวลาเทียบกับค่าคงที่ของเวลามากกว่าหรือเท่ากับจะมีการจ่ายสัญญาณแอนะล็อกเอาต์พุต ที่ 4 มิลลิแอมแปร์ ไปยังเอสซีอาร์เพื่อหยุดจ่ายพลังงานไปยังฮีตเตอร์ และกรณีที่ค่าอุณหภูมิในขณะนั้นมากกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดไว้จะมีการจ่ายพลังงานจ่ายสัญญาณแอนะล็อกเอาต์พุต ที่ 4 มิลลิแอมแปร์ ไปยังเอสซีอาร์เพื่อหยุดจ่ายพลังงานไปยังฮีตเตอร์ เมื่อฮีตเตอร์หยุด

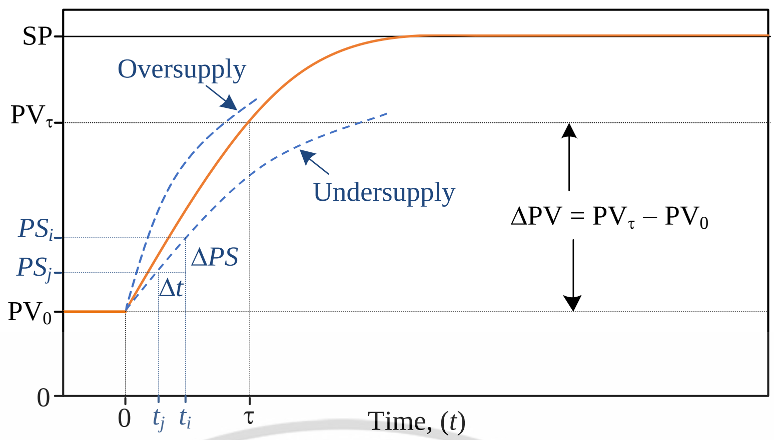
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานแล้วจะมีการตรวจสอบว่าถึงเวลาในการทดลองแล้วหรือไม่ หากยังไม่ถึงจะทำการวนลูปซ้ำกลับไป เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในขณะนั้นกับอุณหภูมิที่กำหนด แต่ถ้าถึงเวลาสิ้นสุดการทดลองแล้วก็จะทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้แล้วจบการทดลอง



รูปที่ 3.6 แผนผังการทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน Intelligent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แผนผังอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลาของระบบควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน Intelligent

จากรูปที่ 3.7 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลาของระบบควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน Intelligent ขึ้นมาซึ่งคิดเรื่องการจ่ายพลังงานให้กับระบบที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป โดยวิธีการนี้จะทำให้พลังงานที่จ่ายให้กับระบบและพลังงานที่ระบบนำไปแปรรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนให้เหมาะสมกับความสามารถในการแปรรูปพลังงานของกระบวนการอุณหภูมิ

3.4 เงื่อนไขการทดลอง

เงื่อนไขการทดลองที่นำเสนอจัดทำขึ้นเพื่อทดสอบแนวคิดการใช้พลังงานในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิให้มีการใช้พลังงานเหมาะสมกับค่าความสามารถของน้ำที่สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ มีการกำหนดค่าการทดลอง ดังนี้

1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- ใช้เตาอบขนาด 1,300 W ในการให้ความร้อน
- ใช้พีแอลซี Allen-Bradley CompactLogix L30ER
- ใช้ Software Studio 5000 ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน
- ใช้มิเตอร์วัดค่าพลังงาน Schneider PM5300 ในการวัดค่าพลังงาน
- ใช้ WirelessHART รุ่น Emerson 775 Wireless THUM Adapter
- ใช้ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Rosemount 644
- ใช้เกตเวย์รุ่น Emerson 1410
- ใช้เครื่องปรับกำลังไฟเอสซีอาร์รุ่น A030
- ส่วนควบคุมด้วยพีแอลซีและโมดูล I/O ประกอบด้วย Power Supply, ซีพียู, โมดูล Modbus RTU, โมดูล Modbus TCP/IP, โมดูล ดิจิทัล อินพุต, โมดูล ดิจิทัลเอาต์พุต, โมดูล แอนะล็อก อินพุต, และโมดูลแอนะล็อกเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การทดลอง

- ทดลองอุณหภูมิกำหนดคือ 90 และ 80 ℃

- ทดลองค่าอุณหภูมิละ 5 รอบ

- ในการทดลองแต่ละรอบใช้เวลา 30 นาที

- ใช้น้ำปริมาตร 300 มิลลิลิตรในการทดลองทุกรอบ

- ใช้น้ำในอุณภูมิห้องในการทดลอง

3.5 การออกแบบซอฟต์แวร์

การออกแบบฟังก์ชัน Intelligent ในการทดลองแปรรูปพลังงานในกระบวนการอุณหภูมิ แบบเปิด-ปิดเพื่อลดการใช้พลังงาน มีขั้นตอน ดังนี้

3.5.1 การตั้งค่าโปรแกรม Studio 5000 ให้เชื่อมต่อกับ CompactLogix PLC

โดยรูปที่ 3.8 แสดงขั้นตอนวิธีการเพิ่มโมดูลในพีแอลซี โดยต้องเรียงโมดูลตามลำดับการติดตั้งโดยมีโมดูลที่ใช้ ดังนี้

- Slot 1 โมดูล Modbus TCP/PI: MVI69L-MBTCP

- Slot 2 โมดูล Modbus RTU: MVI69L-MBS

- Slot 3 โมดูล ดิจิทัลอินพุต: 1769-IQ16

- Slot 4 โมดูล ดิจิทัลเอาต์พุต: 1769-OW8

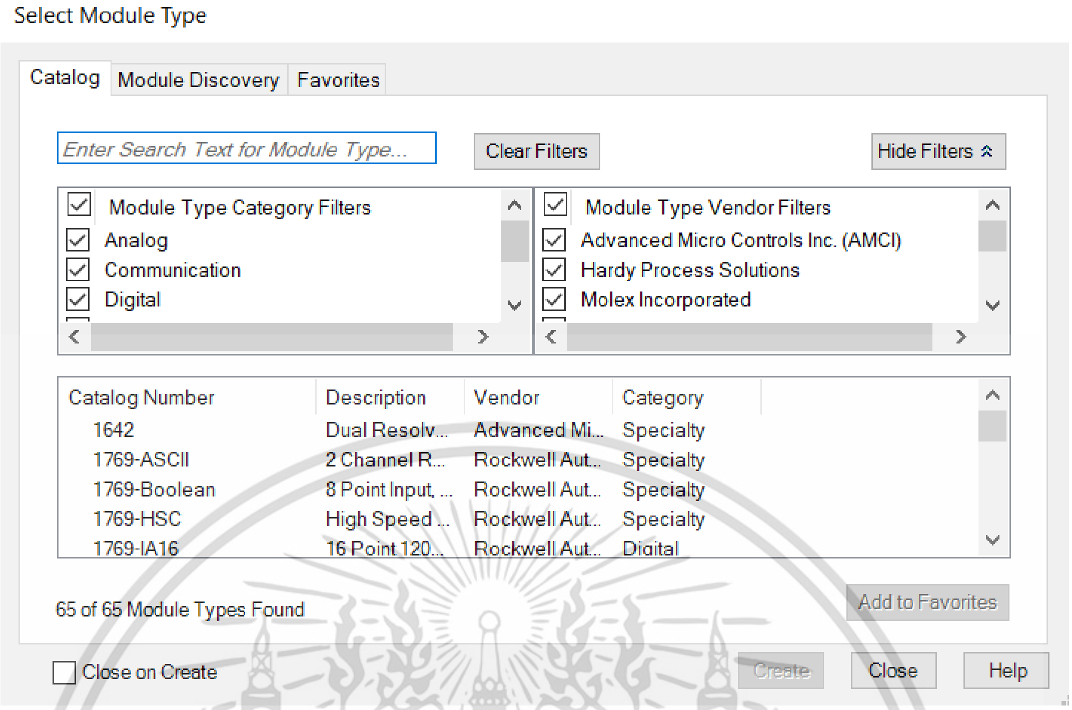
- Slot 5 โมดูล แอนะล็อกอินพุต: 1769-IF4

- Slot 6 โมดูล แอนะล็อกเอาต์พุต: 1769-OF4

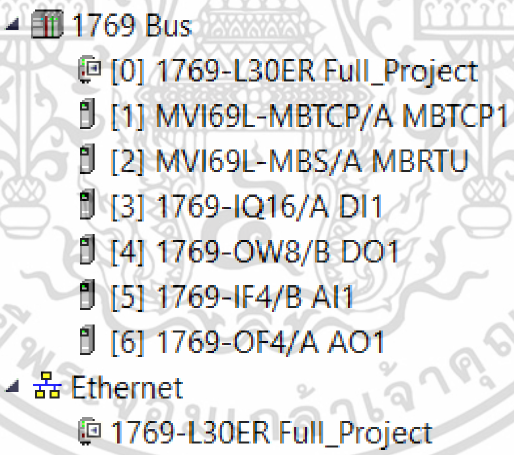
ซึ่งในการตั้งค่าโมดูลมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

1. คลิกขวาที่พีแอลซีด้านล่างซ้ายของโปรแกรม Studio 5000 โดยมีชื่อว่า 1769 Bus
2. เลือกคำสั่ง เพิ่มโมดูล
3. มีหน้าต่าง เลือกประเภทโมดูล ขึ้นมาในแถบรายการ ให้ใส่รุ่นของโมดูลที่ต้องการและใส่ลงในช่อง
4. เมื่อเลือกแล้วให้กดสร้าง มีโมดูลเพิ่มขึ้นมาทางด้านล่างซ้ายของ 1769 Bus
5. ทำการเพิ่มโมดูลที่ต้องการจนครบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนวิธีการเพิ่มโมดูลในพีแอลซี



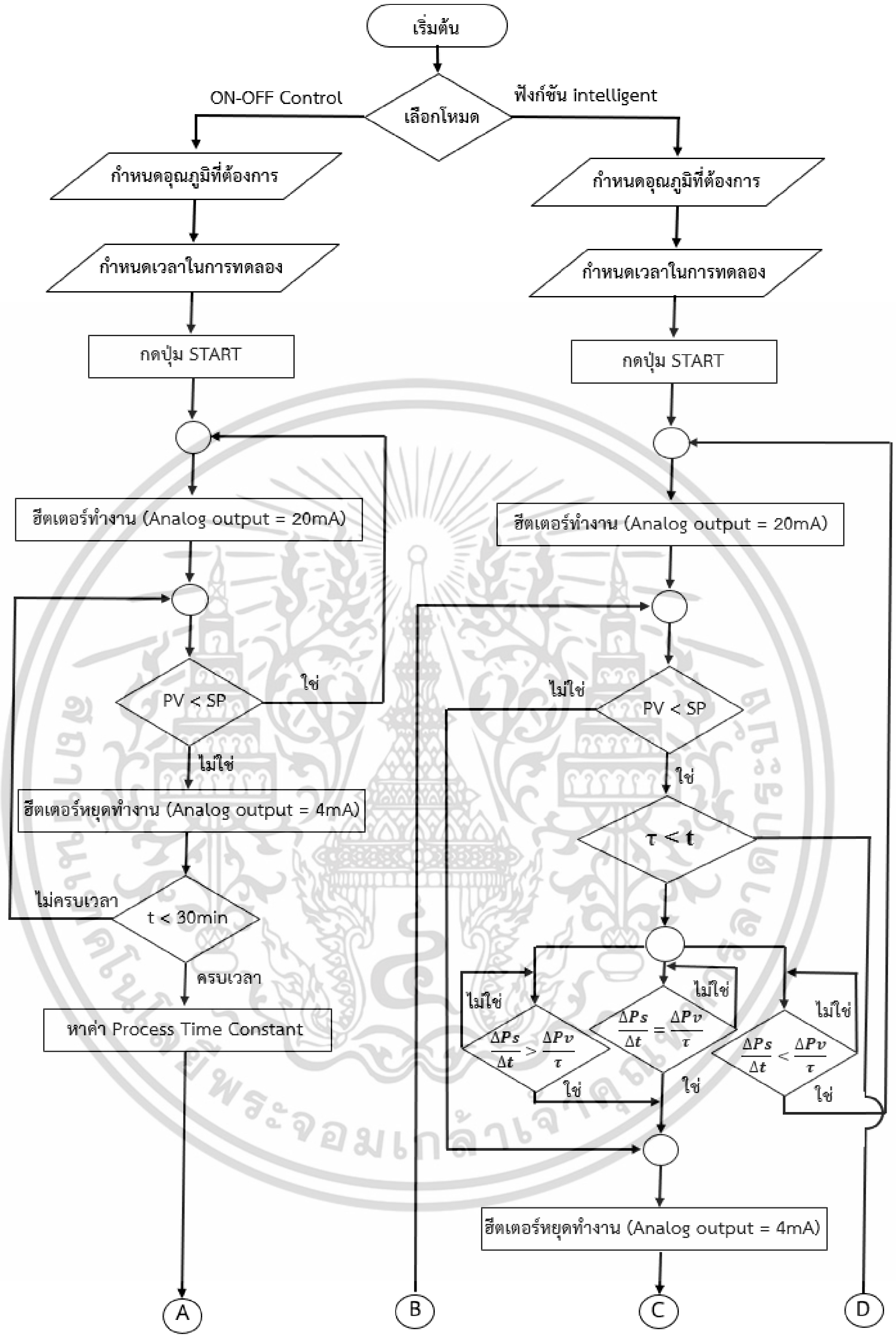
รูปที่ 3.9 โมดูลที่ถูกเพิ่มในพีแอลซี

จากรูปที่ 3.9 แสดงการเพิ่มโมดูลทั้งหมดที่ใช้งานทั้งหมดของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิของการทดลองนี้

3.5.2 การเขียนแลดเดอร์ไดอะแกรมสำหรับควบคุมอุณหภูมิ

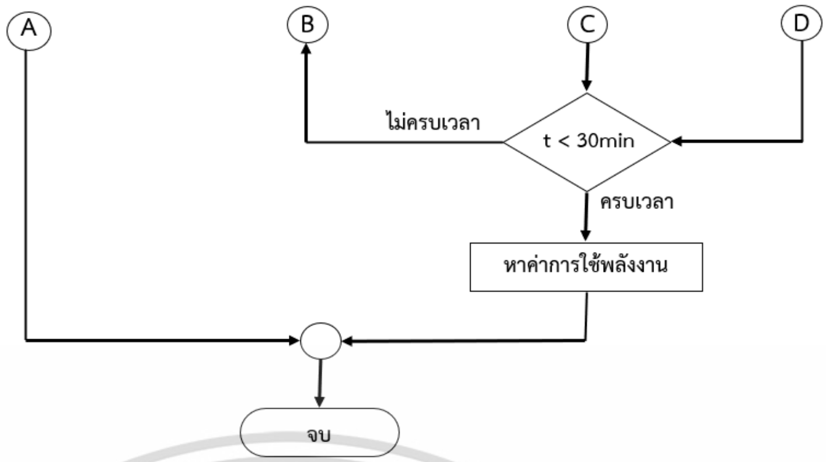
การเขียนแลดเดอร์ไดอะแกรม (Ladder Diagram) โดยออกแบบโครงสร้างที่เป็นเงื่อนไขการควบคุมอุณหภูมิ มีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แผนผังการแสดงเงื่อนไขการทำงานของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ

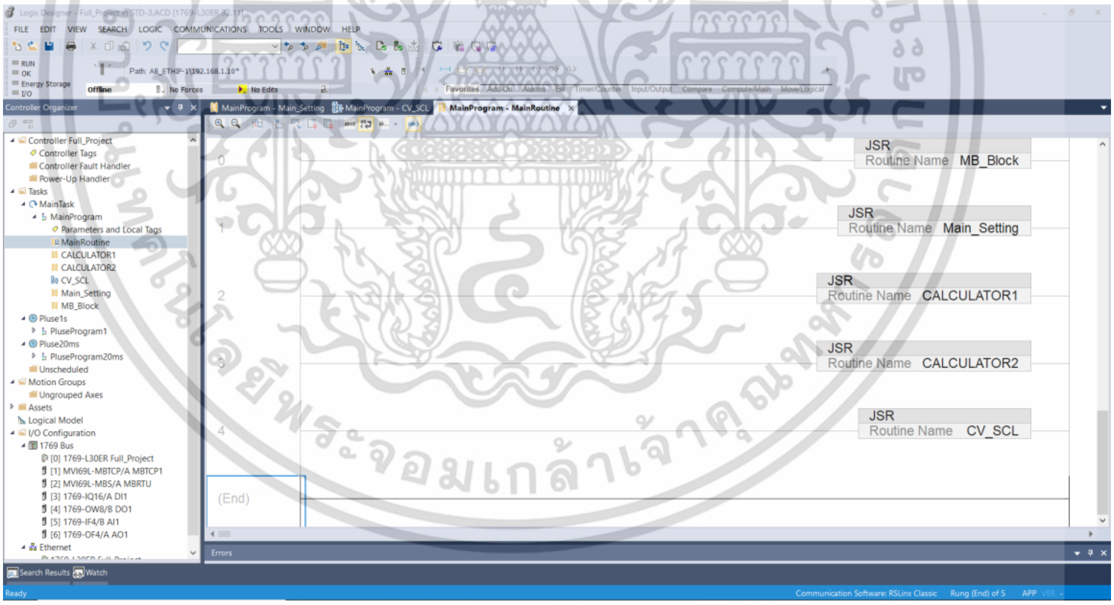
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แผนผังการแสดงเงื่อนไขการทำงานของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ (ต่อ)

การเขียนเงื่อนไขการทำงานการแสดงผลและควบคุมอุณหภูมิ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ทำการสร้าง logic สำหรับบล็อก JSR เพื่อให้ Routine อื่น ๆ สามารถทำงานได้ ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การใช้บล็อก JSR ใน MainRoutine

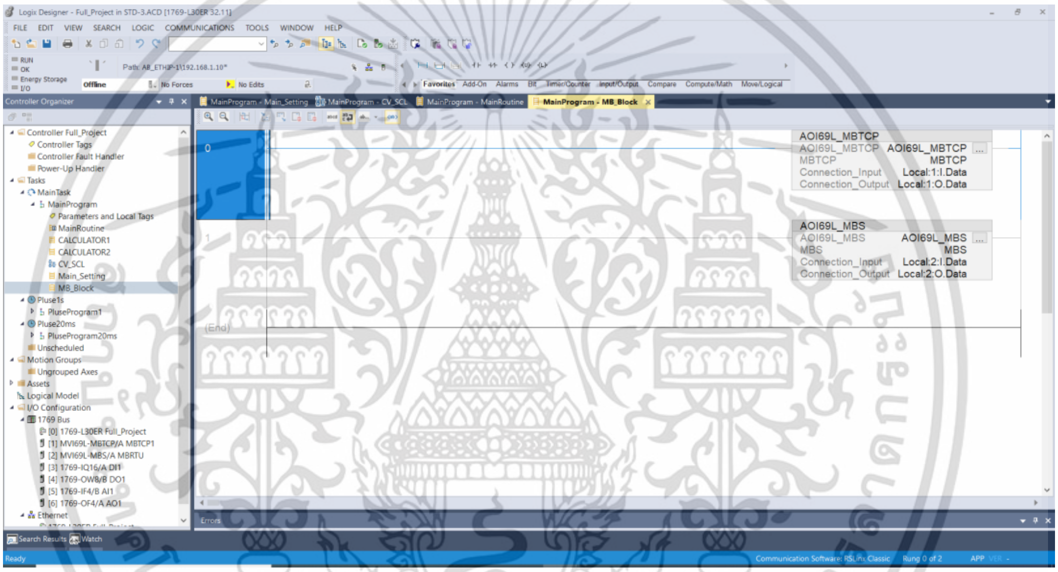
จากรูปที่ 3.12 สามารถเขียนเงื่อนไขการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิ โดยแบ่งฟังก์ชันการทำงาน ดังนี้

- MainRoutine: เป็นฟังก์ชันหลักของการทำงานโดยเขียนเงื่อนไขการเปิด – ปิดกระบวนการควบคุมและใช้บล็อก JSR ในการทำงานฟังก์ชันอื่น ๆ

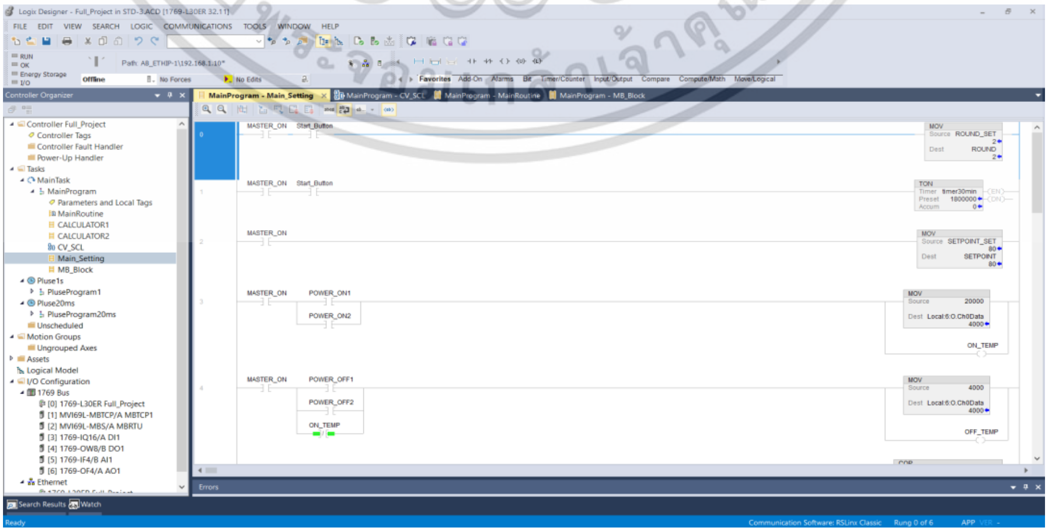
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Main_Setting: ฟังก์ชันการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดลอง
- MB_Block: ฟังก์ชันสำหรับการเก็บชุดข้อมูลที่ได้จากโมดูล Modbus ที่ได้จาก AOI File
- CALCULATOR1: ฟังก์ชันสำหรับคำนวณและบันทึกค่าคงที่ของเวลาและค่าอื่น ๆ พร้อมทั้งควบทั้งควบคุมการทำงานของการใช้ฟังก์ชัน การควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด
- CALCULATOR2: ฟังก์ชันสำหรับคำนวณและบันทึกค่าการทำงานในปัจจุบันและค่าอื่น ๆ พร้อมทั้งควบทั้งควบคุมการทำงานของการใช้ฟังก์ชัน intelligent

2. ทำการสร้าง Routine ใหม่เพื่อใช้ในการ Import AOI file ที่ได้จากการกำหนดค่าผ่านโปรแกรม Prosoft Configuration Builder จากนั้นทำการ Import Rung เลือก AOI file ที่ได้บันทึกไว้จากนั้นกด OK จึงได้บล็อกของ Modbus ที่มีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 บล็อกของโมดูล Modbus ที่ได้จาก AOI File

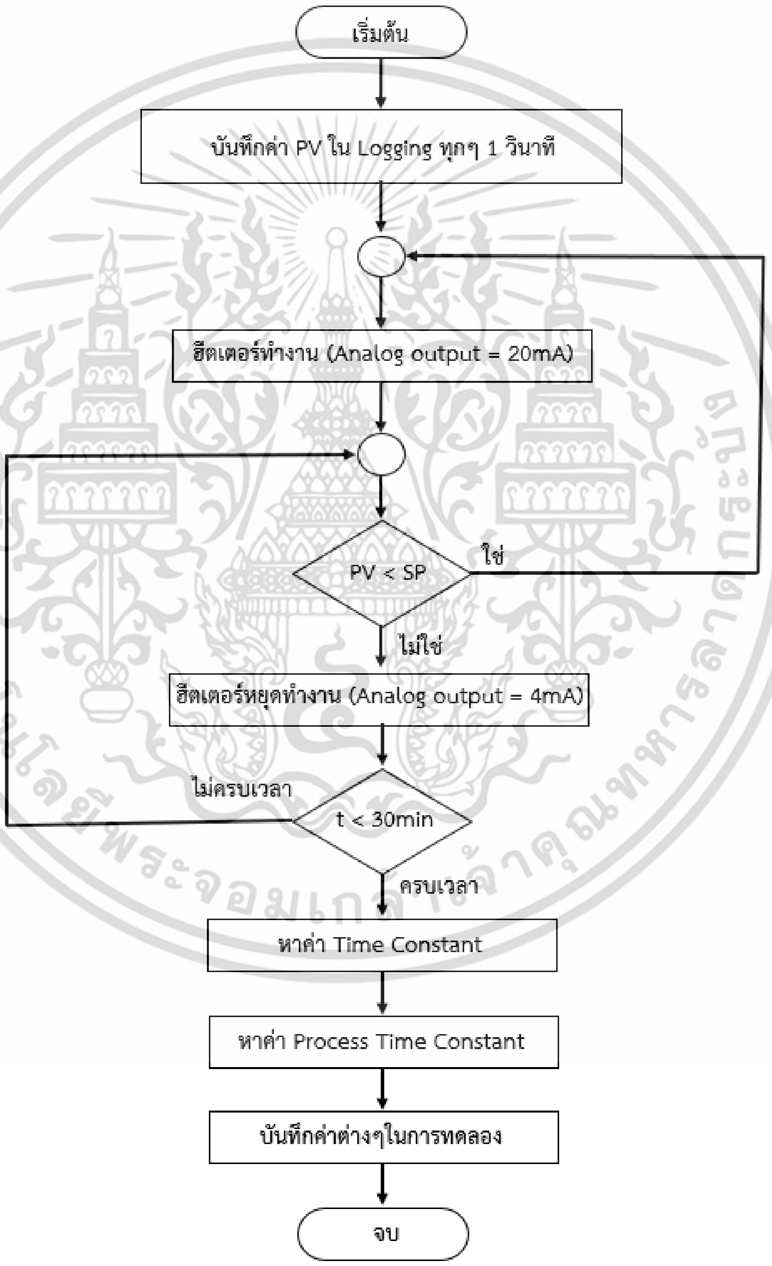


รูปที่ 3.14 การสร้างคำสั่งการตั้งค่าใน Routine ในส่วนของ Main_Setting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการสร้าง Routine สำหรับสร้างการตั้งค่าการเลือกโหมดการทำงานการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด และ Intelligent ฟังก์ชัน พร้อมทั้งตั้งเวลาในการทดลอง กำหนดอุณหภูมิที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.14 แสดงการตั้งค่าเริ่มต้นที่ค่าโหมดการทำงานที่สามารถเลือกได้ 2 แบบการควบคุมอุณหภมิแบบเปิด-ปิด และ Intelligent เวลาในการทดลองในที่นี้ตั้งไว้ที่ 1,800,000 มิลลิวินาที หรือ 30 นาที ตั้งค่าอุณหภูมิที่ต้องการทดลองในที่นี้ตั้งไว้ที่ 80 และ 90 °C

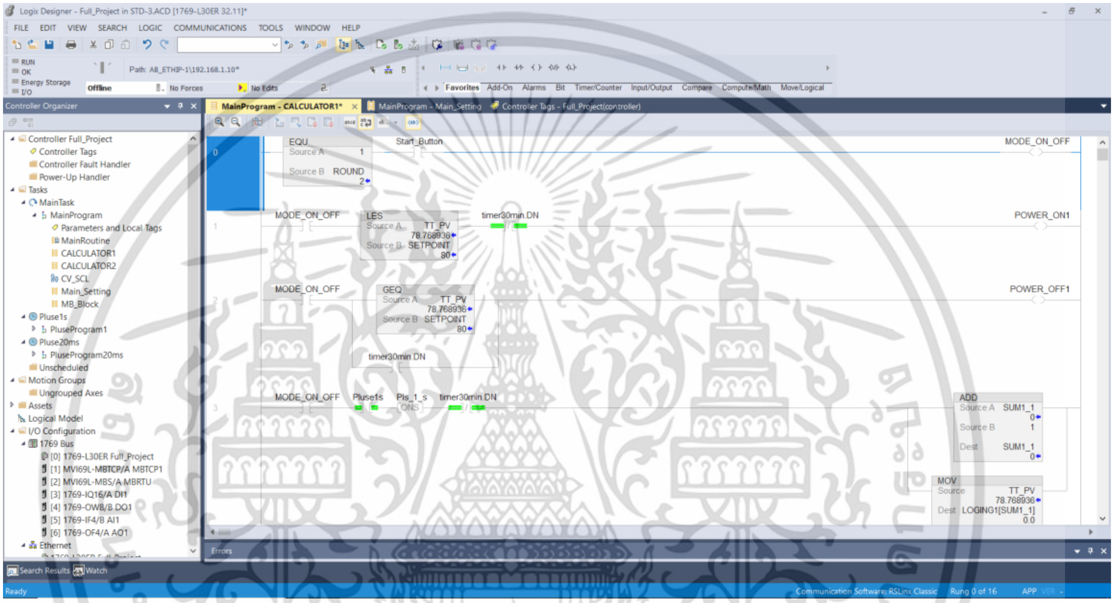
4. ทำการสร้าง Routine สำหรับการทดลองโดยใช้รูปแบบการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด



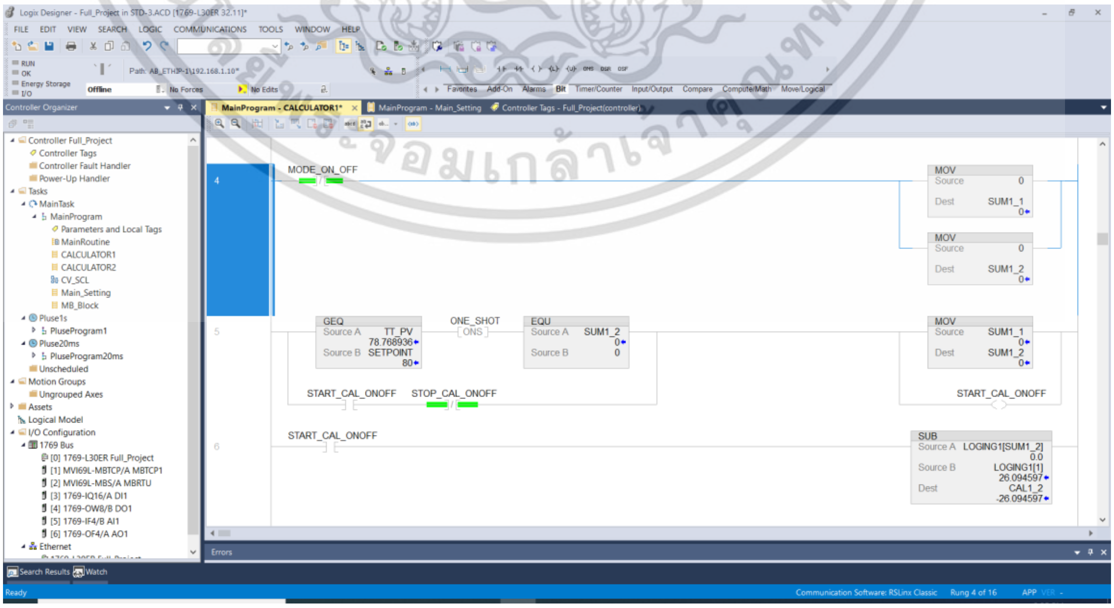
รูปที่ 3.15 แผนผังการแสดงเงื่อนไขการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิเปิด-ปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.15 แสดงแผนผังเงื่อนไขการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด เริ่มจากการเลือกโหมดการควบคุมอุณหภมิแบบเปิด-ปิด จากหน้าตั้งค่าแล้วกดปุ่ม START จะมีการบันทึกค่าอุณหภูมิทุก 1 วินาที ในขณะเดียวกันก็เริ่มจากพลังงานให้ฮีตเตอร์ทำงาน เมื่อฮีตเตอร์ทำงานแล้วจะมีการเปรียบเทียบค่าระหว่าง อุณหภูมิปัจจุบันกับอุณหภูมิที่ต้องการแล้วกับการหยุดจ่ายพลังงานเมื่อค่าอุณหภูมิปัจจุบันสูงอุณหภูมิที่ต้องการทำการเปรียบเทียบไปจนกว่าจะครบเวลาที่กำหนด เมื่อครบเวลาแล้วจะมีการคำนวนหาค่า Process Time Constant ค่า Time Constant และค่าต่าง ๆ จะถูกบันทึกไว้ใน Logging ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อบันทึกข้อมูลไว้

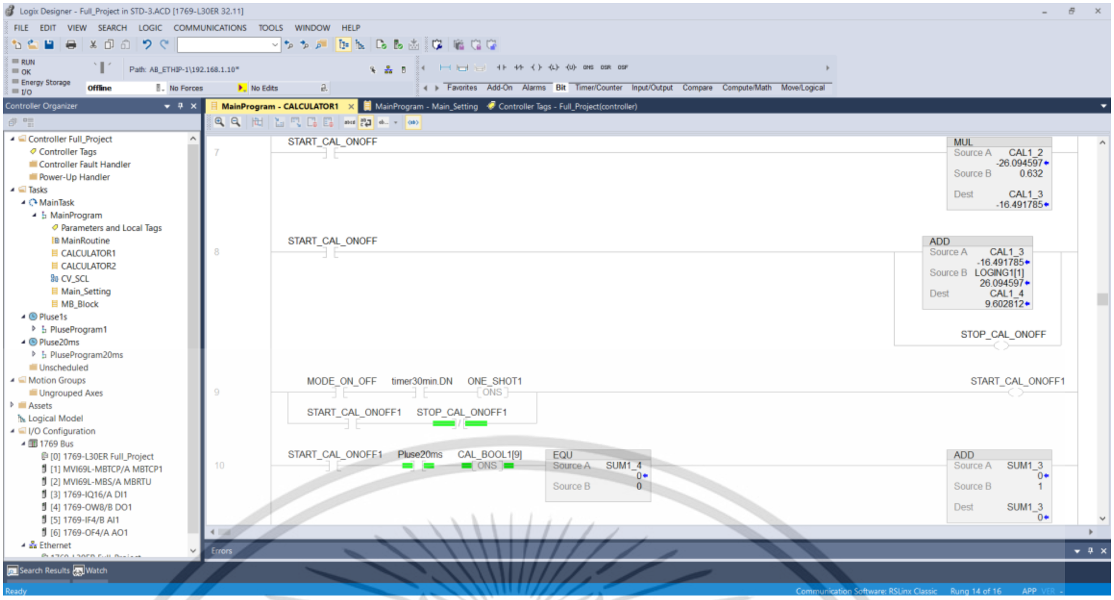


รูปที่ 3.16 ก) การสร้างคำสั่งการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด

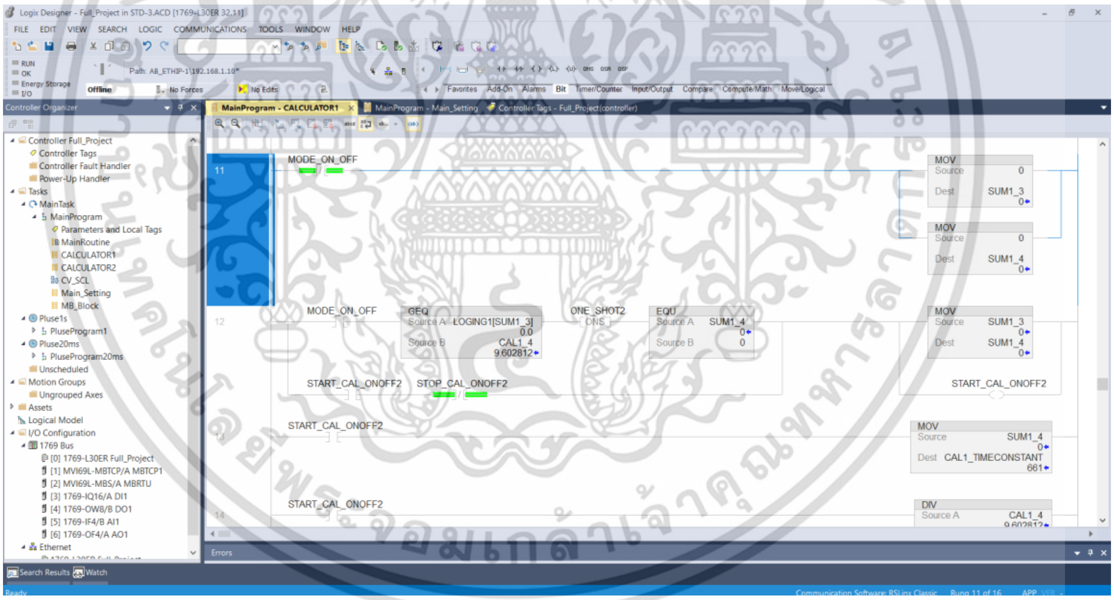


รูปที่ 3.16 ข) การสร้างคำสั่งการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

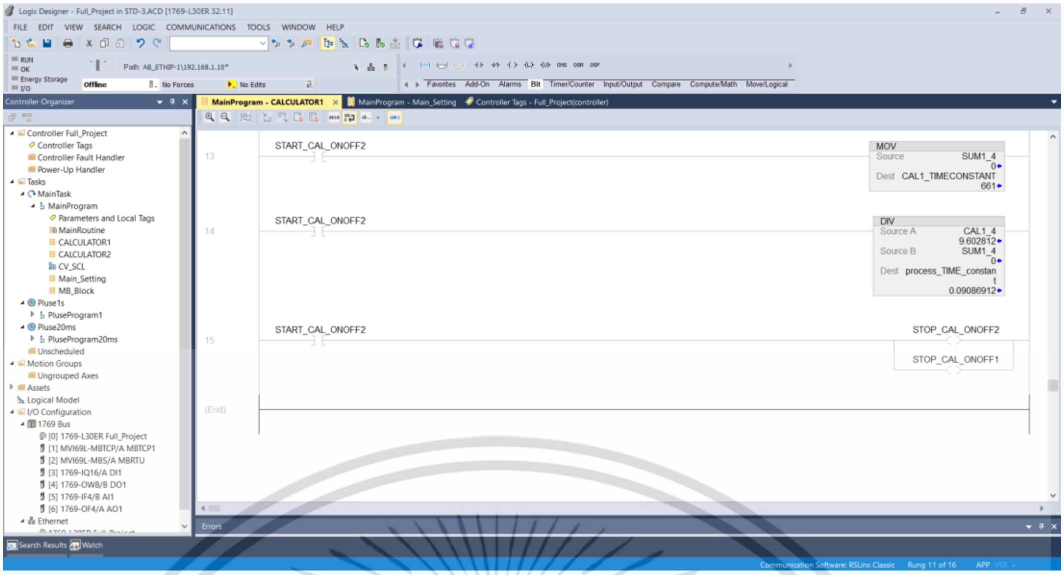


รูปที่ 3.16 ค) การสร้างคำสั่งการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด (ต่อ)



รูปที่ 3.16 ง) การสร้างคำสั่งการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด (ต่อ)

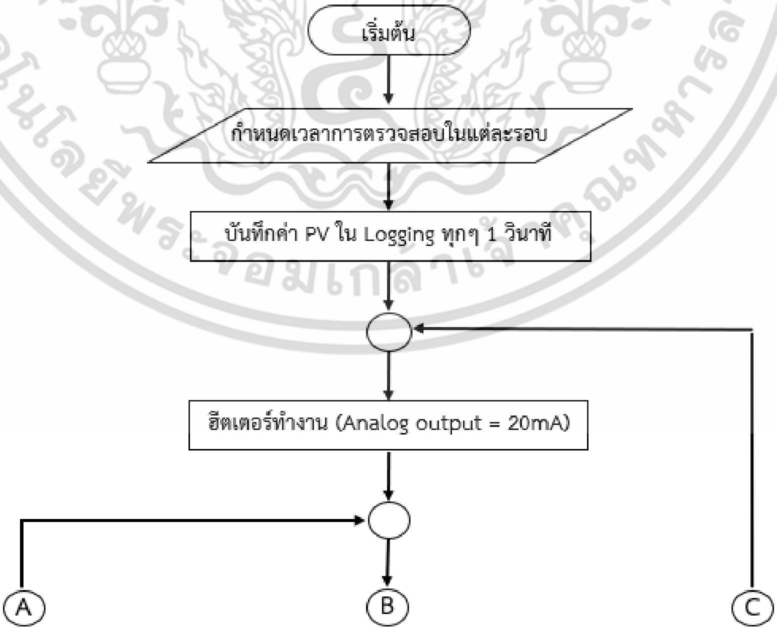
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 จ) การสร้างคำสั่งการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด (ต่อ)

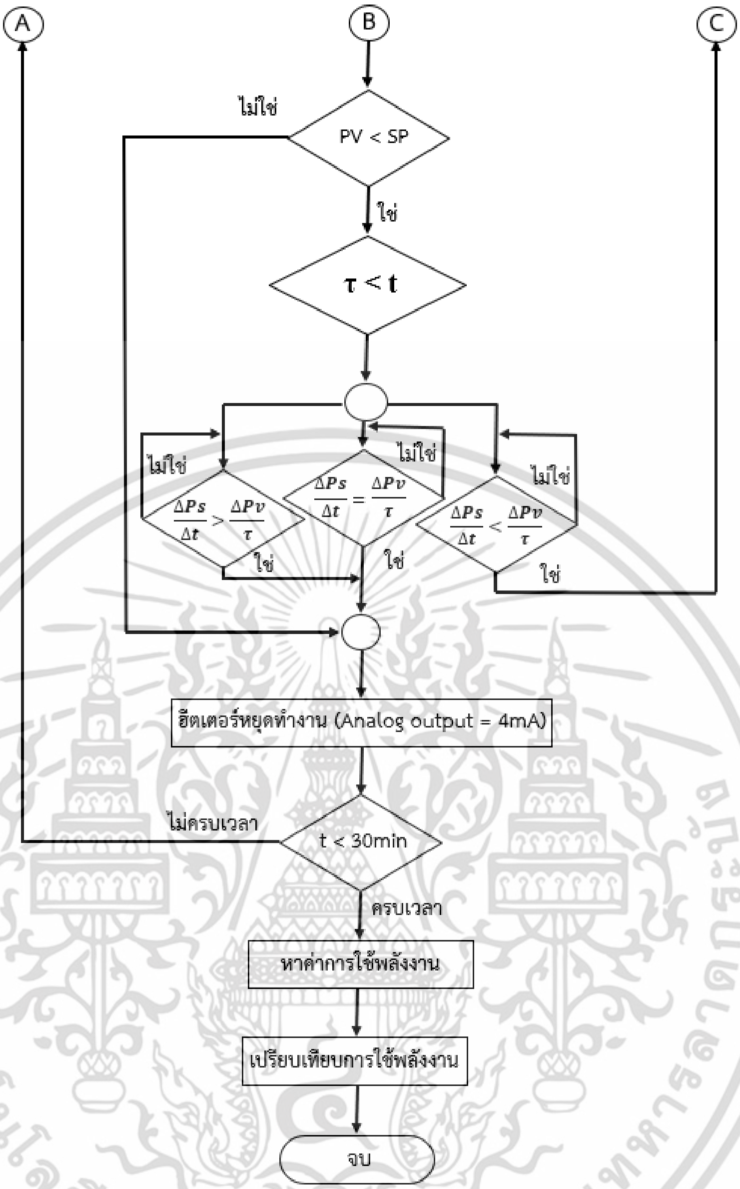
จากรูปที่ 3.16 ก), 3.16 ข), 3.16 ค), 3.16 ง) และ 3.16 จ) แสดงตัวอย่างการทำงานของแลดเดอร์ไดอะแกรมที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด โดยมีการการคำนวณค่าต่าง ๆ พร้อมทั้งบันทึกค่าการทดลอง

5. ทำการสร้าง Routine สำหรับการทดลองโดยใช้รูปแบบการควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน Intelligent



รูปที่ 3.17 แผนผังเงื่อนไขการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน Intelligent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

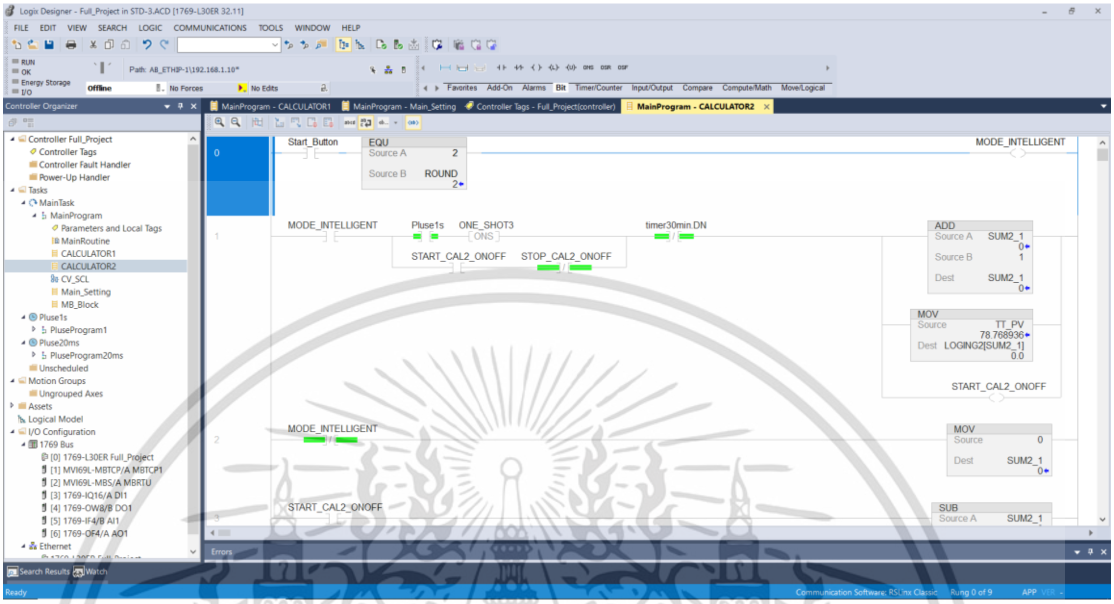


รูปที่ 3.18 แผนผังเงื่อนไขการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน intelligent (ต่อ)

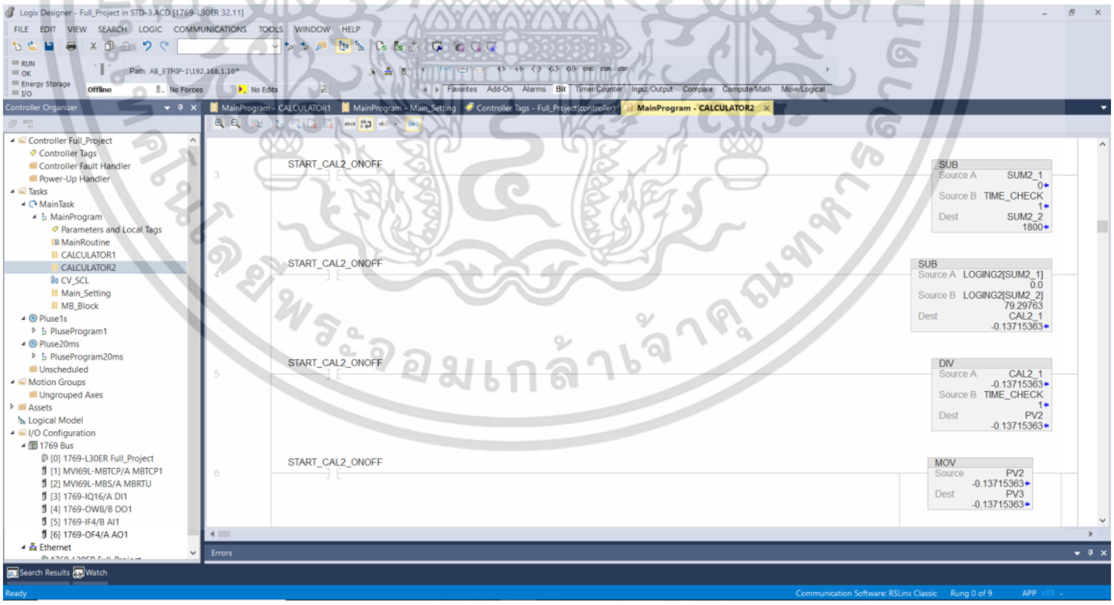
จากรูปที่ 3.17 และ 3.18 แสดงแผนผังเงื่อนไขการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิฟังก์ชัน Intelligent เริ่มจากการเลือกโหมด Intelligent จากหน้าตั้งค่าแล้วกดปุ่ม START จะมีการบันทึกค่าอุณหภูมิทุก 1 วินาที ในขณะเดียวกันก็เริ่มจากพลังงานให้ฮีตเตอร์ทำงาน เมื่อฮีตเตอร์ทำงานแล้วจะมีการเปรียบเทียบค่าระหว่าง อุณหภูมิปัจจุบันกับอุณหภูมิที่ต้องการแล้วจะมีการเพิ่มในส่วนของฟังก์ชันการทำงานเพิ่มเติมคือพิจารณาเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนถึง Time Constant โดยมีการเปรียบเทียบค่า Process Time Constant กับค่าผลต่างของอุณหภูมิต่อช่วงเวลาที่ต้องการหา เมื่อเปรียบเทียบแล้วจะได้ผล 3 กรณีคือ ค่า Process Time Constant มากกว่าหรือเท่ากับค่าผลต่างของอุณหภูมิต่อช่วงเวลาจะมีการหยุดจ่ายพลังงานให้กับฮีตเตอร์ทำให้ฮีตเตอร์หยุดทำงานและมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วนลูปไปเปรียบเทียบค่าใหม่เป็นรอบๆทุก 1 วินาที จนกว่าจะถึงเงื่อนไขที่กำหนด เมื่อครบเวลาการทดลองที่ตั้งไว้จะมีการหาค่าพลังงานที่ใช้งานเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานในแต่ละรอบ

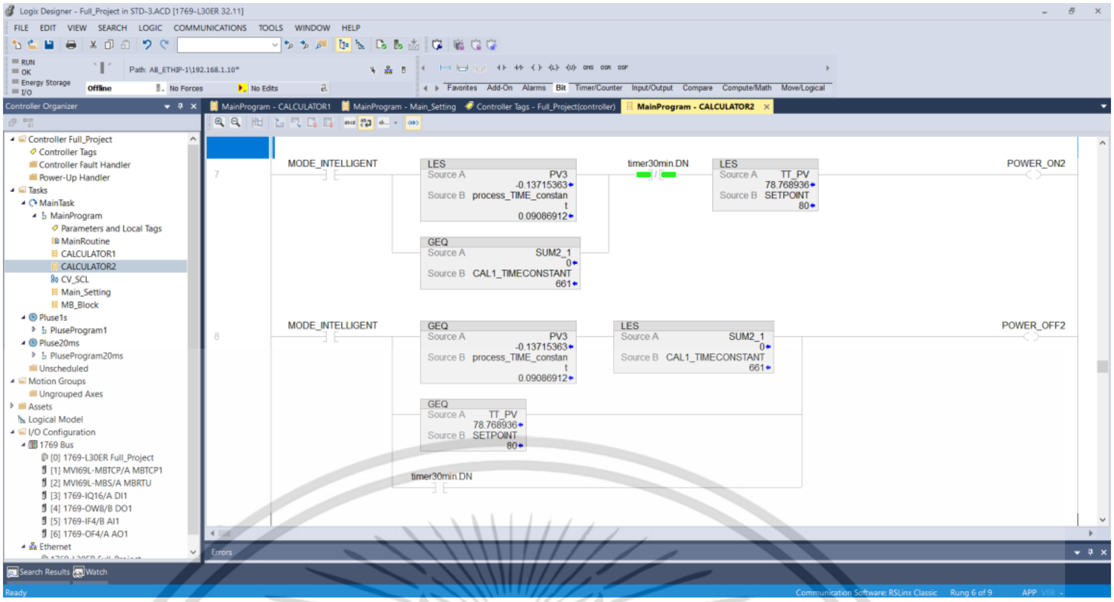


รูปที่ 3.19 ก) การสร้างคำสั่งการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน Intelligent



รูปที่ 3.19 ข) การสร้างคำสั่งการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน Intelligent (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ค) การสร้างคำสั่งการทำงานในการควบคุมอุณหภูมิแบบฟังก์ชัน Intelligent (ต่อ)

จากรูปที่ 3.19 ก), 3.19 ข) และ 3.19 ค) แสดงตัวอย่างแลดเดอร์ไดอะแกรมที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิแบบ ฟังก์ชัน intelligent โดยมีการการคำนวณค่าต่างๆพร้อมทั้งบันทึกค่าการทดลอง

3.6 สรุป

ในบทนี้เป็นการอธิบายการออกแบบเพื่อประยุกต์ใช้การควบคุมแบบเปิด-ปิด ซึ่งเป็นการควบคุมพื้นฐาน ง่ายในการกำหนดค่าและในกระบวนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีในธรรมชาติที่ช้า เพื่อให้ผลการใช้พลังงานของกระบวนการมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยการทำฟังก์ชัน Intelligent เสริมการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด ในช่วงเริ่มทำงานของกระบวนการ มีการอธิบายถึงส่วนประกอบของระบบการควบคุมอุณหภูมิ การทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมิ เงื่อนไขการทดลองและการออกแบบซอฟต์แวร์ ส่วนผลการทดลองของการพัฒนาระบบนี้จะกล่าวถึงในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 บทนำ

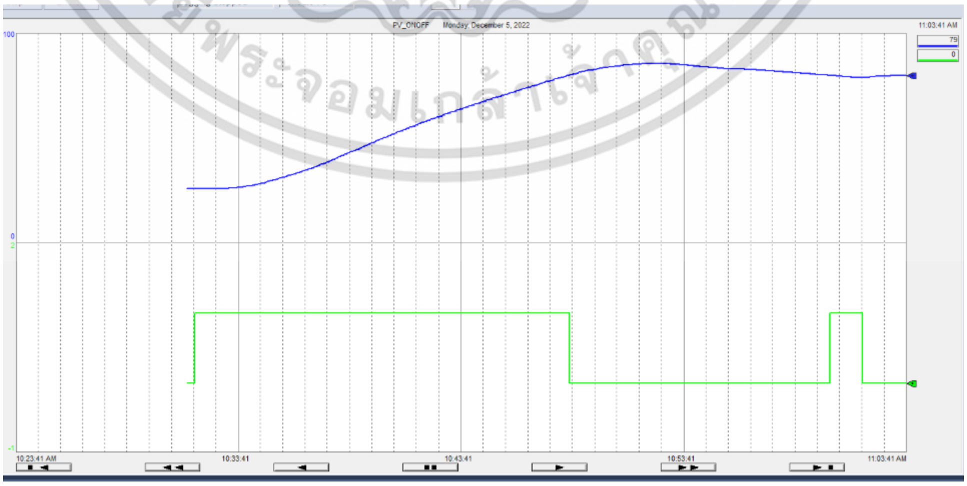
ในบทที่ 4 เป็นการอธิบายถึงผลการศึกษาทดลองของการพัฒนาฟังก์ชันบนพีแอลซีเพื่อการประหยัดพลังงานในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ พร้อมแสดงผลที่ทำการทดลองการใช้ฟังก์ชัน Intelligent มาเพิ่มจากการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด ที่นิยมใช้งานกัน โดยการทดลองนี้ได้ศึกษาทดลองที่ค่าอุณหภูมิที่กำหนด 80 และ 90 ℃ จำนวน 5 รอบต่ออุณหภูมิ และการเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ พร้อมทั้งคำนวณหาพลังงานงานที่ใช้ในแต่ละรอบของการทดลอง ดังนี้

4.2 ผลการทดลองระบบควบคุมอุณหภูมิแบบใช้ฟังก์ชัน Intelligent

ข้อมูลการทดลองการพัฒนาฟังก์ชันบนพีแอลซีเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยมีการใช้ฟังก์ชัน Intelligent มาเพิ่มจากการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด ซึ่งได้ใช้ฟังก์ชัน Trends ที่มีในอยู่ในโปรแกรม Studio 5000 มาใช้ในการบันทึกค่าและแสดงผลการทดลอง โดยค่าที่ทำการบันทึกและแสดงผลได้แก่ค่า PV ต่อเวลาและค่าสถานการณ์ทำงานต่อเวลาในที่นี้มีค่าสถานะคือ เปิด-ปิด มีการแบ่งการทดลองเป็น 2 ค่าอุณหภูมิได้แก่อุณหภูมิที่กำหนด 80 และ 90 ℃ จำนวน 5 รอบต่ออุณหภูมิ โดยมีการทดลองรอบแรกเพื่อหาค่าอ้างอิงในการทดลอง ดังนี้

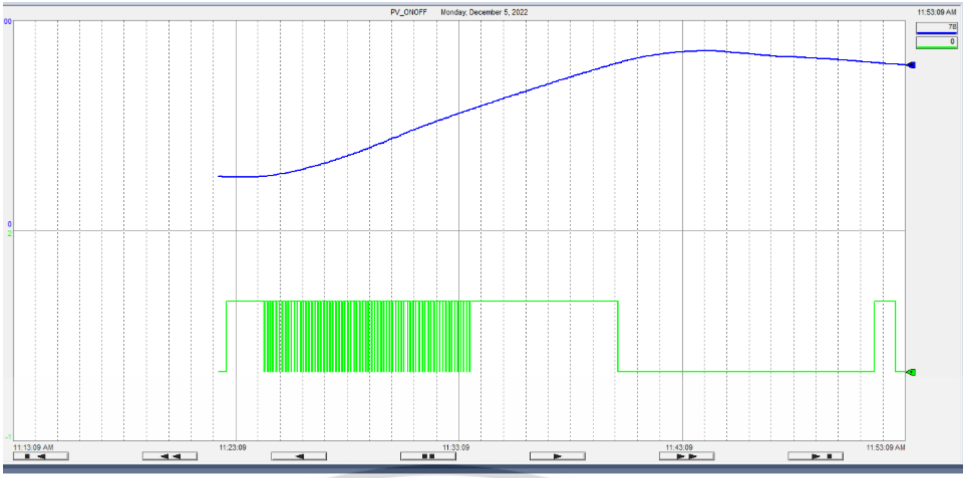
1) การทดลองที่ 80 ℃ ใช้เวลาในการทดลองที่ 30 นาที

- ทดลองหาค่าอ้างอิงแบบควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด
- ทดลองรอบที่ 1-5 เป็นการใช้ฟังก์ชัน Intelligent เพิ่มการทำงานของแบบเปิด-ปิด

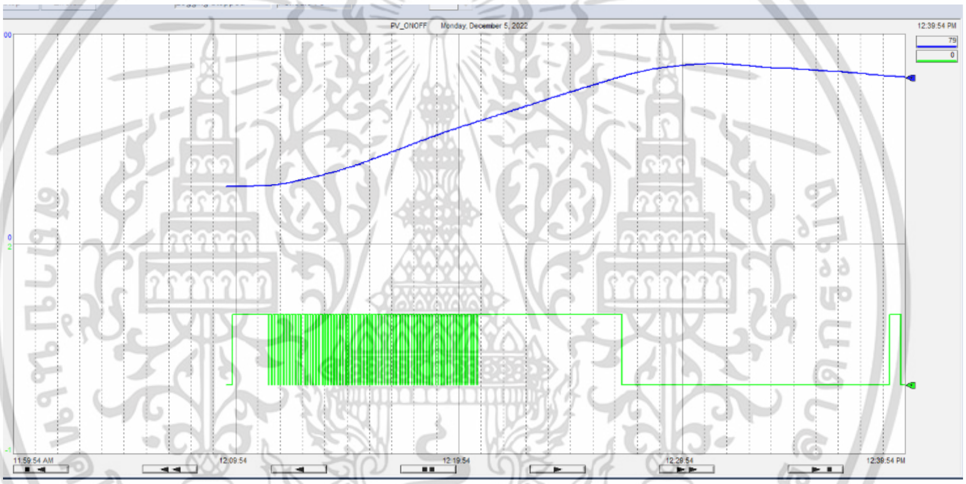


รูปที่ 4.1 หน้าจอแสดงค่า PV และสถานะควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด ที่ 80 ℃

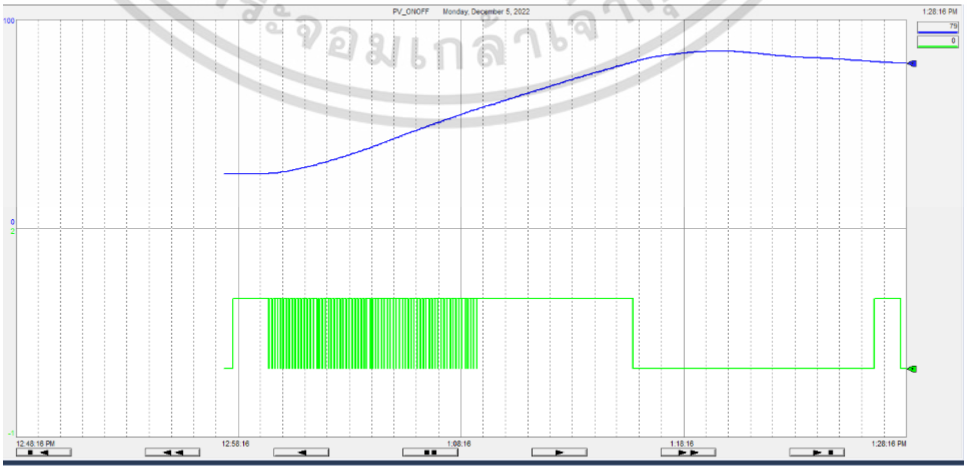
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 80 ℃ รอบที่ 1

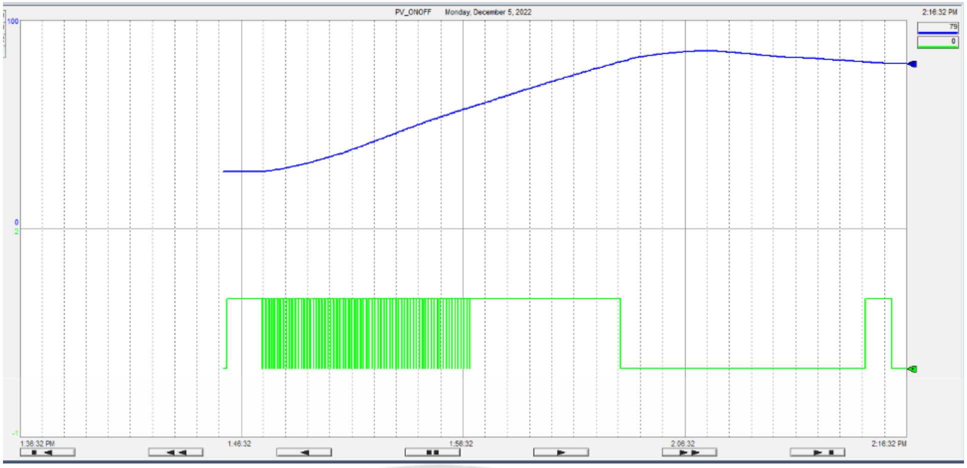


รูปที่ 4.3 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 80 ℃ รอบที่ 2

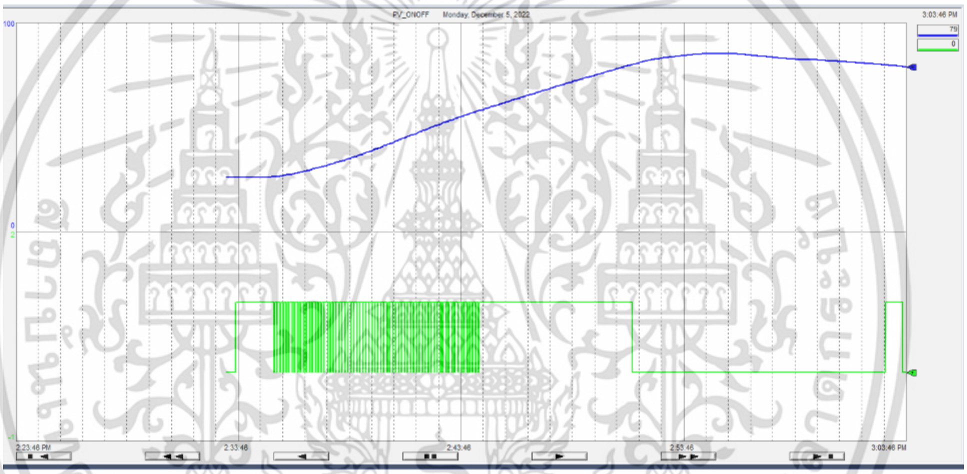


รูปที่ 4.4 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 80 ℃ รอบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 80 ℃ รอบที่ 4

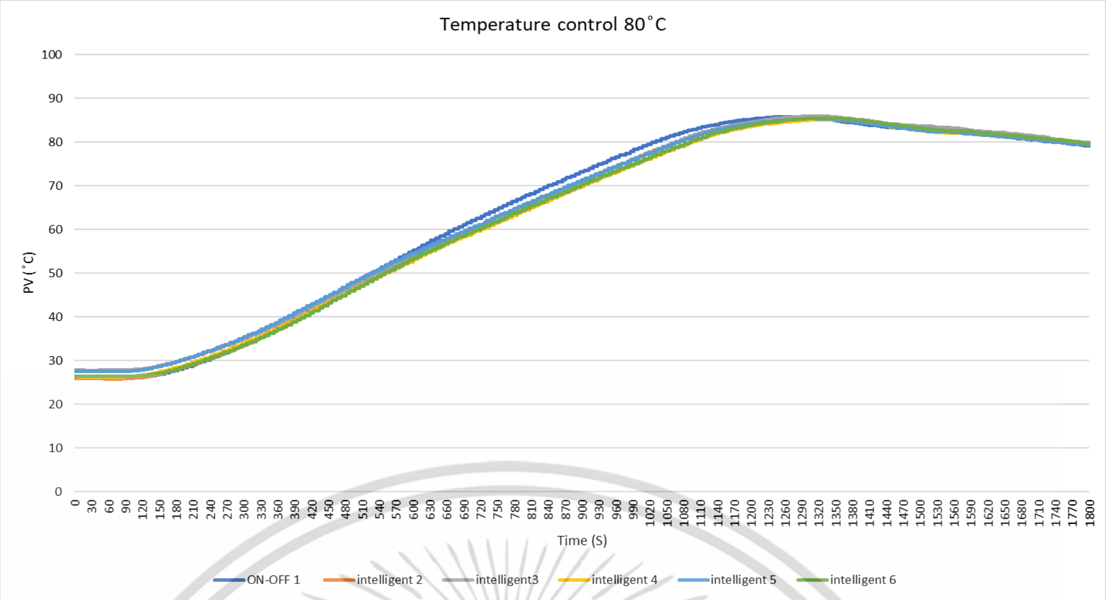


รูปที่ 4.6 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 80 ℃ รอบที่ 5

จากรูปที่ 4.1 แสดงหน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด ที่การกำหนดค่าอุณหภูมิที่ทดลอง 80 ℃ ค่าที่บันทึกเพื่อใช้งานในการบวนการทดลองต่อไปคือ ค่าอุณหภูมิที่ในทุก 1 วินาที ค่าสถานการณ์ทำงานในทุก 1 วินาที ค่าคงที่ของเวลา ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของการทดลองตั้งแต่เริ่มการทดลองถึงเวลาของค่าคงที่ของเวลา

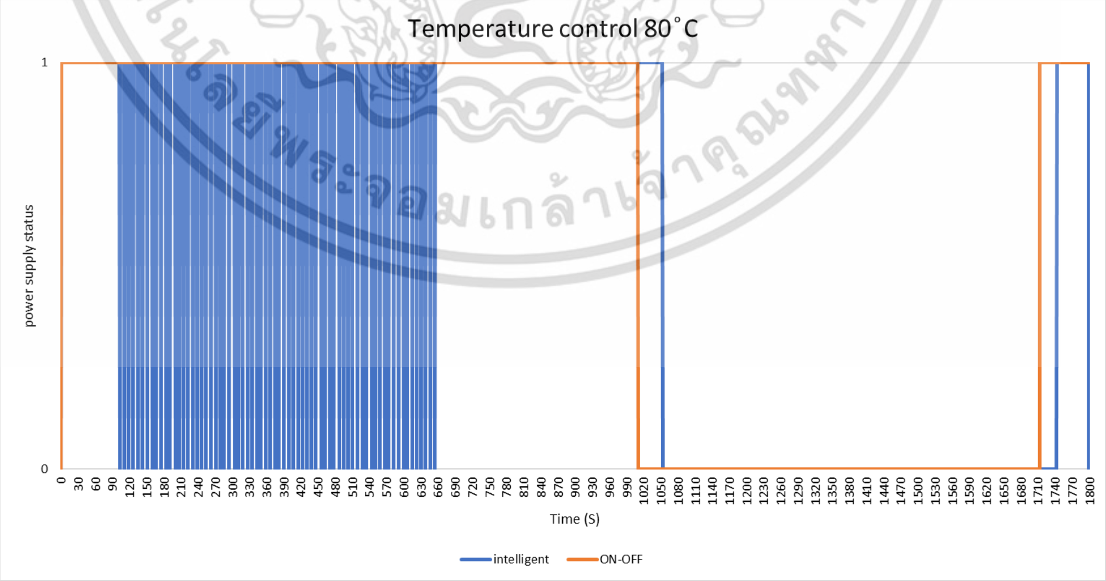
จากรูปที่ 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, และ 4.6 แสดงหน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานแบบที่ใช้ฟังก์ชัน Intelligent ที่ 80 ℃ ในการทดลองรอบที่ 1-5 ตามลำดับ ค่าที่แสดงผล ได้แก่ ค่าอุณหภูมิที่ในทุก 1 วินาที ค่าสถานการณ์ทำงานในทุก 1 วินาที โดยการทดลองนี้จะสังเกตเห็นได้ว่า ค่าสถานะการทำงานช่วงตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนถึงเวลาค่าคงที่ของเวลา มีสถานการณ์เปิด-ปิดที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นจำนวนหลายครั้งเนื่องจากการเปรียบเทียบของค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อเวลาตั้งแต่วินาทีที่ 1 ถึงเวลาของค่าคงที่ของเวลา ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะในช่วงเลาดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลา

จากรูปที่ 4.7 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของการควบคุมอุณหภูมิที่การตั้งค่า 80 ℃ ค่าคงที่ของเวลา 625 วินาที และ มีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อเวลา 0.09591 ℃ ต่อ 1 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อเวลามีค่าใกล้เคียงกันมากแต่ค่าการทดลองการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด สูงกว่าเนื่องจากจ่ายพลังงานแบบต่อเนื่องซึ่งได้เปรียบเทียบกับสถานะการทำงานแบบที่ใช้ฟังก์ชัน Intelligent



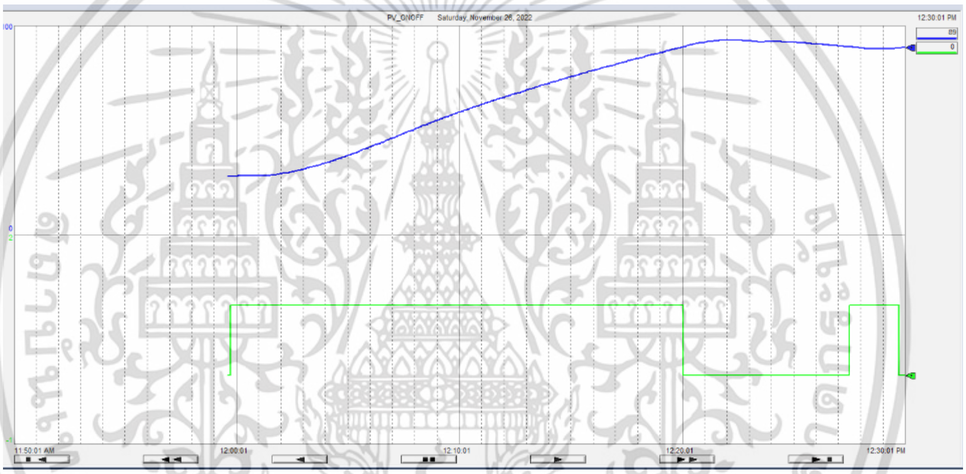
รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบสถานะการทำงานการการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิดและการใช้ฟังก์ชัน Intelligent ที่อุณหภูมิ 80 ℃

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

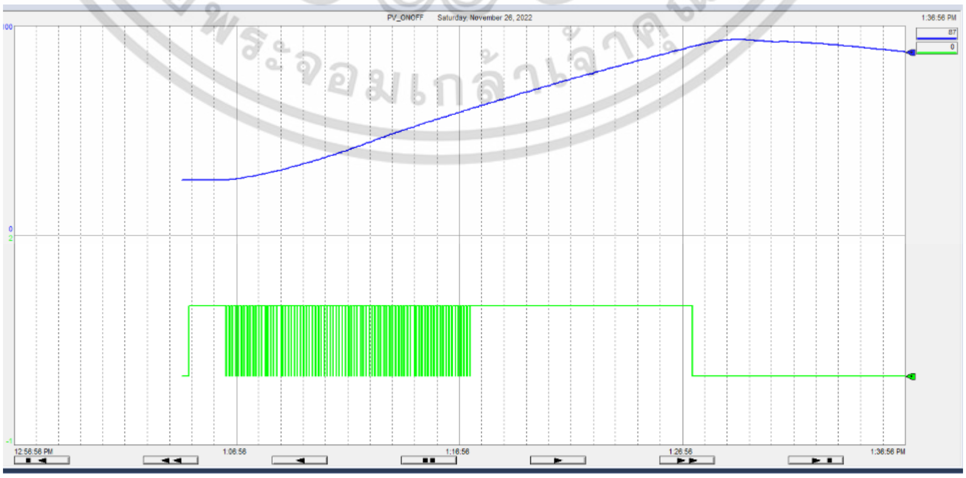
จากรูปที่ 4.8 แสดงกราฟเปรียบเทียบสถานะการทำงานการการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด และการใช้ฟังก์ชัน Intelligent จะเห็นได้ว่าการทำงานแบบเปิด-ปิด มีการจ่ายพลังงานจนกว่าจะถึงอุณหภูมิที่กำหนดในส่วนนี้มีการใช้ฟังก์ชัน Intelligent มีช่วยในช่วงวินาทีที่ 1 ถึงเวลาของค่าคงที่ของเวลา โดยในช่วงนี้จะเห็นได้ว่ามีการเปรียบเทียบค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของค่าอ้างอิงในการทดลองแบบเปิด-ปิด กับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในทุก 1 วินาทีในช่วงเวลาตั้งแต่วินาทีที่ 1 ถึงเวลาของค่าคงที่ของเวลา เพื่อเปรียบเทียบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงเวลานั้นเหมาะสมหรือไม่ ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะการทำงานในช่วงเวลานั้น

2) การทดลองที่ 90 °C ใช้เวลาในการทดลองที่ 30 นาที

- ทดลองหาค่าอ้างอิงแบบควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด
- ทดลองรอบที่ 1-5 เป็นการใช้ฟังก์ชัน Intelligent เพิ่มการทำงานของแบบเปิด-ปิด

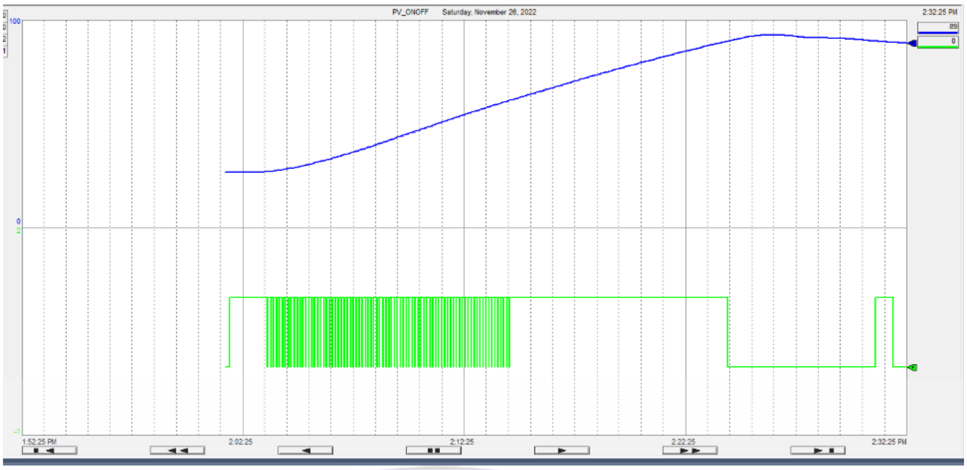


รูปที่ 4.9 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานแบบเปิด-ปิด ที่ 90 °C

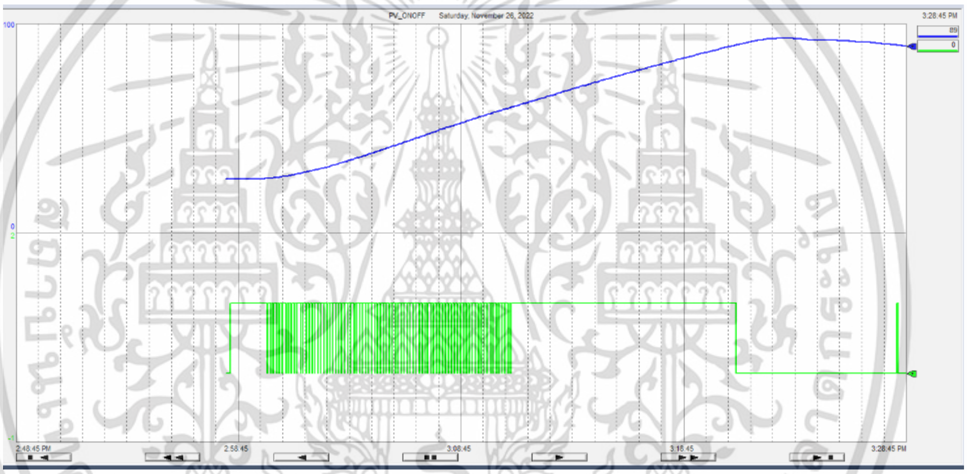


รูปที่ 4.10 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 90 °C รอบที่ 1

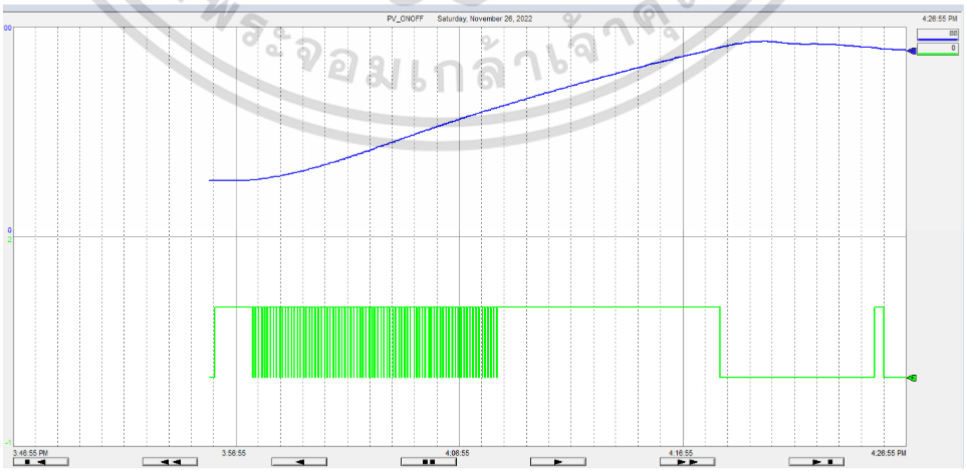
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 90 ℃ รอบที่ 2

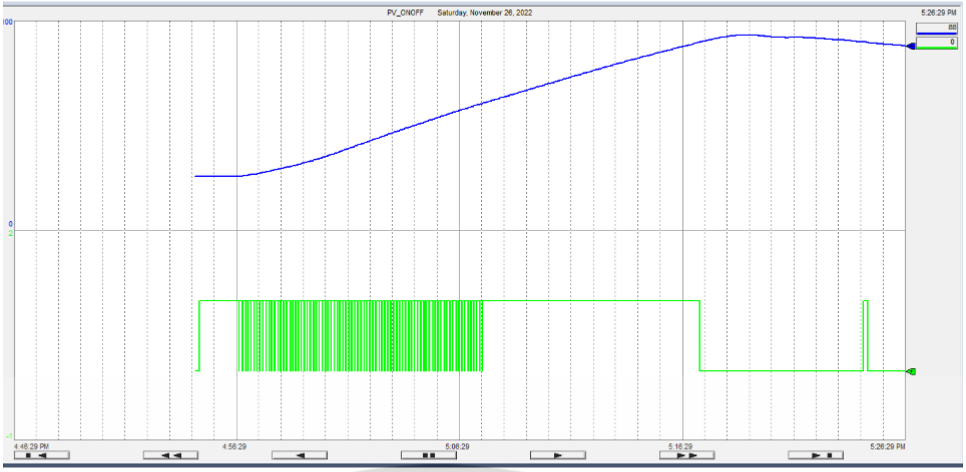


รูปที่ 4.12 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 90 ℃ รอบที่ 3



รูปที่ 4.13 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 90 ℃ รอบที่ 4

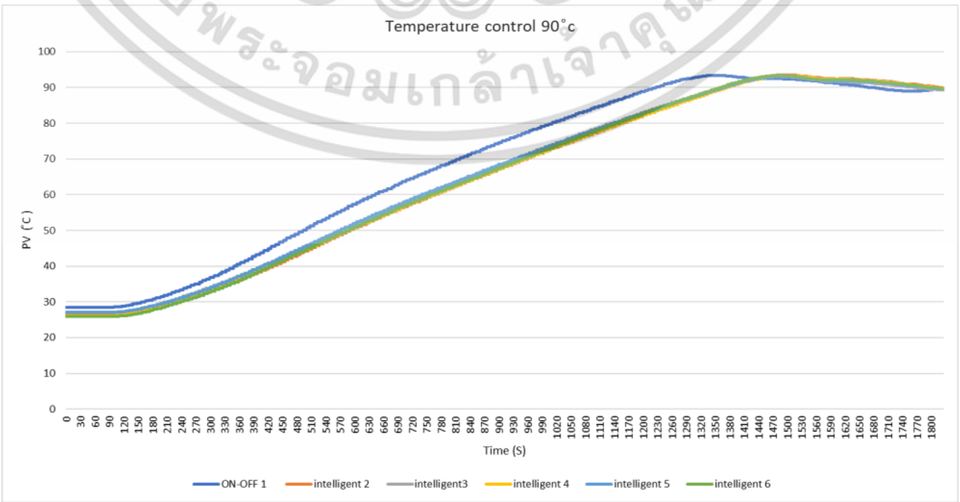
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 หน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานฟังก์ชัน Intelligent ที่ 90 ℃ รอบที่ 5

จากรูปที่ 4.9 แสดงหน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด ที่การกำหนดค่าอุณหภูมิที่ทดลอง 90 ℃ ค่าที่บันทึกเพื่อใช้งานในการบวนการทดลองต่อไปคือ ค่าอุณหภูมิที่ในทุก 1 วินาที ค่าสถานการณ์ทำงานในทุก 1 วินาที ค่าคงที่ของเวลา ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของการทดลองตั้งแต่เริ่มการทดลองถึงเวลาของค่าคงที่ของเวลา

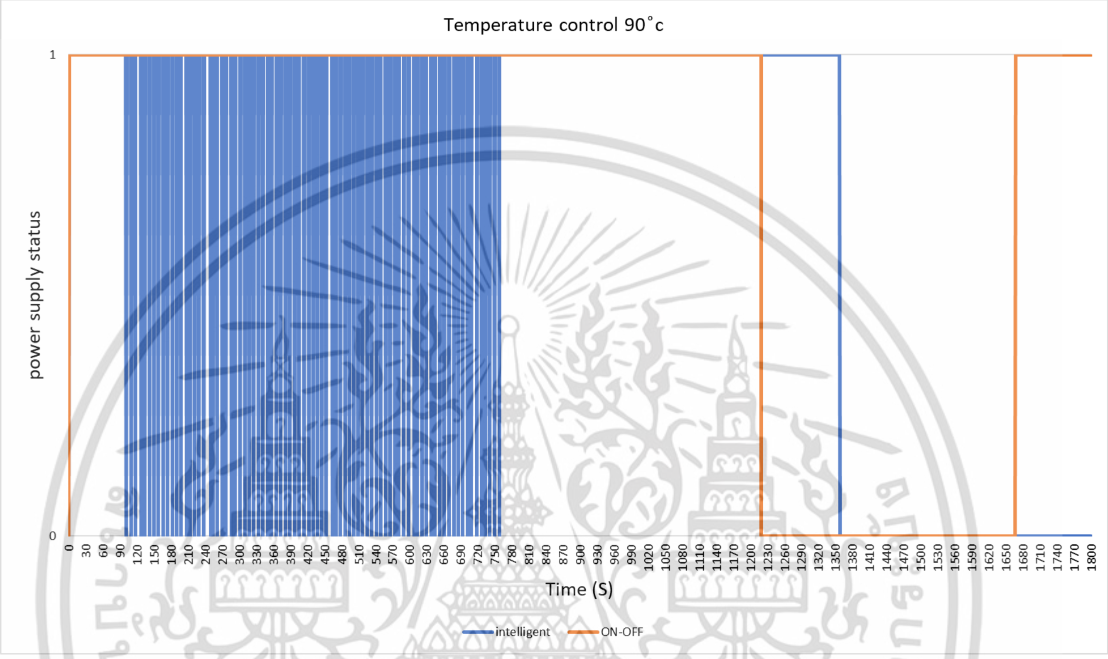
จากรูปที่ 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 และ 4.14 แสดงหน้าจอแสดงค่า PV และค่าสถานะการทำงานแบบที่ใช้ฟังก์ชัน Intelligent ที่ 90 ℃ ในการทดลองรอบที่ 1-5 ตามลำดับ ค่าที่แสดงผลได้แก่ ค่าอุณหภูมิที่ในทุก 1 วินาที ค่าสถานการณ์ทำงานในทุก 1 วินาที โดยการทดลองนี้จะสังเกตเห็นได้ว่า ค่าสถานะการทำงานช่วงตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนถึงเวลาค่าคงที่ของเวลา มีสถานการณ์เปิด-ปิดที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นจำนวนหลายครั้งเนื่องจากการเปรียบเทียบของค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อเวลาตั้งแต่วินาทีที่ 1 ถึงเวลาของค่าคงที่ของเวลา ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะในช่วงเลาดังกล่าว



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิกับเวลาของการควบคุมอุณหภูมิที่การตั้งค่า 90 ℃ ค่าคงที่ของเวลา 749 วินาที และ มีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อเวลา 0.08914 ℃ ต่อ 1 วินาที เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อเวลามีค่าใกล้เคียงกันมากแต่ค่าการทดลองการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด สูงกว่าเนื่องจากจ่ายพลังงานแบบต่อเนื่องซึ่งได้เปรียบเทียบกับสถานะการทำงานแบบที่ใช้ฟังก์ชัน Intelligent



รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบสถานการณ์ทำงานการการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด และการใช้ฟังก์ชัน Intelligent ที่อุณหภูมิ 90 ℃

จากรูปที่ 4.16 แสดงกราฟเปรียบเทียบสถานะการทำงานการการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด และการใช้ฟังก์ชัน Intelligent จะเห็นได้ว่าการทำงานแบบเปิด-ปิด มีการจ่ายพลังงานจนกว่าจะถึงอุณหภูมิที่กำหนดในส่วนนี้มีการใช้ฟังก์ชัน Intelligent มีช่วยในช่วงวินาทีที่ 1 ถึงเวลาของค่าคงที่ของเวลา โดยในช่วงนี้จะเห็นได้ว่ามีการเปรียบเทียบค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของค่าอ้างอิงในการทดลองแบบเปิด-ปิด กับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในทุก 1 วินาทีในช่วงเวลาตั้งแต่วินาทีที่ 1 ถึงเวลาของค่าคงที่ของเวลา เพื่อเปรียบเทียบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงเวลานั้นเหมาะสมหรือไม่ ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะการทำงานในช่วงเวลานั้น

จากการศึกษาทดลอง การควบคุมอุณหภูมิแบบใช้ฟังก์ชัน Intelligent เพิ่มจากการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด แสดงให้เห็นว่าการใช้ฟังก์ชัน Intelligent สามารถตรวจสอบอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อเวลาที่เหมาะสมได้เมื่อเทียบกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของค่าอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้มีการเปิด-ปิด การจ่ายพลังงานตามความสามารถในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทำให้มีการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับอัตราการการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

4.3 ผลการใช้พลังงานในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการใช้พลังงานในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิที่ 80 °C

Control Algorithm	Power		Difference Power		
	Parameter	Value (Wh)	Parameter	Value (Wh)	Value (%)
Traditional Action	P_{B80}	341	$P_{B80} - P_{B80}$	0	0
Proposed Function	P_{I801}	323	$P_{B80} - P_{I801}$	18	5.278
	P_{I802}	318	$P_{B80} - P_{I802}$	23	6.744
	P_{I803}	333	$P_{B80} - P_{I803}$	8	2.346
	P_{I804}	329	$P_{B80} - P_{I804}$	12	3.519
	P_{I805}	324	$P_{B80} - P_{I805}$	17	4.985
	P_{I80avg}	325.4	$P_{B80} - P_{I80avg}$	15.6	4.5744

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการใช้พลังงานในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิที่ 80 °C ในการทดลอง การควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด มีการใช้พลังงาน 341 Wh และการทดลองรอบที่ 1-5 ใช้ฟังก์ชัน Intelligent มีการใช้พลังงาน 323, 318, 333, 329, 324 Wh ตามลำดับ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นได้ที่ 5.278, 6.744, 2.346, 3.519, 4.985 เปอร์เซ็น ตามลำดับ เมื่อหาเฉลี่ยออกมาจะได้พลังงานที่ประหยัดไปได้ที่ 15.6 Wh หรือ 4.5744 เปอร์เซ็น

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการใช้พลังงานในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิที่ 90 °C

Control Algorithm	Power		Difference Power		
	Parameter	Value (Wh)	Parameter	Value (Wh)	Value (%)
Traditional Action	P_{B90}	412	$P_{B90} - P_{B90}$	0	0
Proposed Function	P_{I901}	375	$P_{B90} - P_{I901}$	37	8.981
	P_{I902}	393	$P_{B90} - P_{I902}$	19	4.612
	P_{I903}	381	$P_{B90} - P_{I903}$	31	7.524
	P_{I904}	384	$P_{B90} - P_{I904}$	28	6.769
	P_{I905}	390	$P_{B90} - P_{I905}$	22	5.339
	P_{I90avg}	384.6	$P_{B90} - P_{I90avg}$	27.4	6.6504

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการใช้พลังงานในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิที่ 90 °C ในการทดลองการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด มีการใช้พลังงาน 412 Wh และการทดลองรอบที่ 1-5 ใช้ฟังก์ชัน Intelligent มีการใช้พลังงาน 375, 393, 381, 384, 390 Wh ตามลำดับ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นได้ที่ 8.981, 4.612, 7.524, 6.796, 5.339 เปอร์เซ็น ตามลำดับ เมื่อหาเฉลี่ยออกมาจะได้พลังงานที่ประหยัดไปได้ที่ 27.4 Wh หรือ 6.6504 เปอร์เซ็น

4.4 สรุป

บทที่ 4 เป็นการอธิบายถึงผลการทดลองของการพัฒนาฟังก์ชันบนพีแอลซีเพื่อการประหยัดพลังงานในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ พร้อมแสดงผลทีทำการทดลองการใช้ฟังก์ชัน Intelligent มาเพิ่มจากการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด แบบที่นิยมใช้กัน โดยการทดลองนี้ได้ทดลองที่ค่าอุณหภูมิที่กำหนด 80 และ 90 °C จำนวน 5 รอบต่ออุณหภูมิ ผลที่ได้ที่อุณหภูมิที่กำหนด 80 °C มีค่าเฉลี่ยพลังงานที่ประหยัดไปได้ 15.6 Wh หรือ 4.5744 เปอร์เซ็น และ อุณหภูมิที่กำหนด 90 °C มีค่าเฉลี่ยพลังงานที่ประหยัดไปได้ 27.4 Wh หรือ 6.6504 เปอร์เซ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

การศึกษาเชิงทดลองการพัฒนาฟังก์ชันบนพีแอลซีเพื่อการประหยัดพลังงานในกระบวนการอุณหภูมิที่นำเสนอนี้ ได้แสดงให้เห็นว่า เทคนิคการสร้างฟังก์ชัน Intelligent สามารถประหยัดพลังงาน สำหรับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิการต้มน้ำ ในขณะเดียวกันเทคนิคนี้จะเปลี่ยนการควบคุมแบบอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด ที่มีการใช้พลังงานในบางขณะไม่สอดคล้องกับการเปลี่ยนรูปพลังงาน ส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาฟังก์ชัน Intelligent เพื่อนำมาใช้ในการแทนที่ โดยการเพิ่มเข้ามาในช่วงแรกของการควบคุมอุณหภูมิแบบเปิด-ปิด ดังนั้น จากการดำเนินการวิจัยสามารถทำให้พลังงานในกระบวนการสอดคล้องกับการแปรรูปพลังงานและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

รูปที่ 5.1 การทดลองการความคุมอุณหภูมิโดยใช้เตาอบลมร้อน

1) ค่าพลังงานที่ได้จากการคำนวณ (ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ = 4.182 (J/(kg.K))) แสดงดังนี้

ที่ 80 °C $$Q = mC_p(T_2 - T_1) \tag{5.1}$$

$$Q = (0.3)(4.182)(80 - 25) \tag{5.2}$$

$$Q = 69.003\ KJ \tag{5.3}$$

หรือ $$Q = 19.1675\ Wh \tag{5.4}$$

ที่ 90 °C $$Q = mC_p(T_2 - T_1) \tag{5.5}$$

$$Q = (0.3)(4.182)(90 - 25) \tag{5.6}$$

$$Q = 81.549\ KJ \tag{5.7}$$

หรือ $$Q = 22.6525\ Wh \tag{5.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าพลังงานที่ใช้ในการทดลองแบบเปิด-ปิดที่ 80 ℃ 341 Wh และ 90 ℃ 412 Wh

3) ค่าพลังงานที่ใช้ในการทดลองแบบฟังก์ชัน Intelligent ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการใช้พลังงานในกระบวนการควบคุมอุณหภูมิฟังก์ชัน Intelligent

พลังงาน (Wh)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
90 ℃	375	393	381	384	390
80 ℃	323	318	333	329	324

แต่เนื่องจาก การใช้พลังงานของการบวนการควมคุมอุณหภูมิขึ้นอยู่กับรูปแบบและวิธีการที่ใช้ ซึ่งในการศึกษาเชิงทดลองการพัฒนาฟังก์ชันบนพีแอลซีครั้งนี้ได้มีการใช้เตาอบลมร้อนแบบมีอากาศเป็นตัวทำความร้อน โดยที่เตาอบลมร้อนที่ใช้สำหรับการทำอาหารและโดยปกติจะออกแบบให้มีการถ่ายเทความร้อนแบบค่อยเป็นค่อยไป จึงทำให้ตัวอบแบบนี้ส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพในการส่งความร้อนไปยังผลิตภัณฑ์ต่ำ [24] ทำให้ผลการคำนวณการใช้พลังงาน มีความแตกต่างกันมาก แต่อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองในสภาวะข้อกำหนดเดียวกัน ยังแสดงให้เห็นว่า ฟังก์ชันที่พัฒนาขึ้นมา สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าการควบคุมอุหภูมิแบบ เปิด-ปิดเดิม

5.2 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต

1) พัฒนาระบบการควบคุมอุณหภูมิใช้มีการควบคุมการจ่ายพลังงานให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่สามารถนำไปใช้งานได้วิธีอื่น ๆ

2.) นำการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ฟังก์ชัน Intelligent มาพัฒนาเข้ากับการควบคุมอุณหภูมิแบบ PID เพื่อลดการ Over Shoot

3) สามารถนำแนวคิดและฟังก์ชัน Intelligent และการแปรรูปพลังงานกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ ใช้เป็นแนวทางกับกระบวนการอื่น ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Chinnakani, Karthik, Anunay Krishnamurthy, James Moyne, and Fangming Gu. **“Comparison of energy consumption in HVAC systems using simple ON-OFF, intelligent ON-OFF and optimal controllers”** In 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp. 1-6. IEEE, July 2011.

[2] Chesof, Abdulhafiz, Sungwan Boksuwan Sumit Panaudomsup, and Thepjit Cheypoca. **“Evaluation of explicit model predictive temperature control for on-off air conditioner”** In 2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), pp. 621-624. IEEE, October 2017.

[3] Alshareefi, Hamid, Hayder Mamoori, and Ciprian Lupu. **“Switching of algorithms in the multiple models strategy by fuzzy logic through an Allen-Bradley PLC”** In 2017 14th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES), pp. 79-82. IEEE, June 2017.

[4] Wcislik, Miroslaw, and Michal S. Laskawski. **“Correction of the on-off control system using PLC”** In 2017 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), pp. 1-6. IEEE, May 2017.

[5] Eggers, Kai, Elias Knöchelmann, Svenja Tappe, and Tobias Ortmaier. **“Modeling and experimental validation of the influence of robot temperature on its energy consumption”** In 2018 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), pp. 239-243. IEEE, February 2018.

[6] Renke, D. U., Qinzhi Chen, and Cheng Chen. **“A Heuristic Control Method for Heating System”** In 2018 IEEE 23rd International Conference on Digital Signal Processing (DSP), pp. 1-4. IEEE, November 2018.

[7] Mazimbo, Willard I., Walter Ruziwa, and Russel Mhundwa. **“Energy consumption modelling and optimisation of electric water heating systems”** In 2019 International Conference on the Domestic Use of Energy (DUE), pp. 64-68. IEEE, March 2019.

[8] Yang, Zhichao, Bo Sun, Fan Li, and Liang Zhang. **“A Temperature Optimal Control Method of Temperature Control System Considering Thermal Inertia”** In 2019 Chinese Control Conference (CCC), pp. 5226-5231. IEEE, July 2019.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[9] Mawgoud, Ahmed A., Mohamed Hamed Taha, and Nour Eldeen Khalifa. "**QoS provision for controlling energy consumption in ad-hoc wireless sensor networks**" arXiv preprint arXiv:2001.02761, December (2019).

[10] Julsereewong, Amphawan, and Sart Kummool. "**Process safety enhancement of feedforward control using Foundation Fieldbus**" International Journal of Innovative Computing, Information and Control ,Vol.16, No.2, pp. 621-630, April 2020.

[11] Mikhail, Maged, and Shuyu Wang. "**Flexible Automation Cell for Integration and Application**" In 2020 SoutheastCon, vol. 2, pp. 1-8. IEEE, March 2020.

[12] Pringsakul, Noppadol, and Deacha Puangdownreong. "**MoFPA-based PIDA controller design optimization for electric furnace temperature control system**" International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.16, no. 6 , pp. 1863-1876, 2022.

[13] Pongswatd, Sawai, Krit Smerpitak, Farzin Asadi, and Teerawat Thepmanee. "**Design of PLC-based system for linearity output voltage of AC–DC converter**" Energy Reports, Vol.8, pp.972-978, 2022.

[14] Kapp, Sean, Jun-Ki Choi, and Kelly Kissock. "**Toward energy-efficient industrial thermal systems for regional manufacturing facilities.**" Energy Reports, Vol.8, pp. 1377-1387, 2022.

[15] Thepmanee, Teerawat, Sawai Pongswatd, Farzin Asadi, and Prapart Ukakimaparn. "**Implementation of control and SCADA system: Case study of Allen Bradley PLC by using WirelessHART to temperature control and device diagnostic**" Energy Reports, Vol.8, pp. 934-941, 2022.

[16] Indiketiya, T. H. "**An optimum strategy to control Peltier device cold side temperature**" In 2021 IEEE 11th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), pp. 1333-1338. IEEE, 2021.

[17] Hemanth Sai Madupu, Vijaya Anand Nidumolu and Venu Madhav Panchagnula. "**IoT based real time energy monitoring**" ICIC Express Letters Vol.16, no. 8, pp. 827-834, August 2022.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[18] Kummool, Sart, Ittimon Suwanmanee, Songchai Weerathaweemas, Amphawan Julsereewong, and Jirasak Sittigorn. “**AVAILABILITY THROUGH FIELD DEVICE DIAGNOSIS IN FEEDFORWARD CONTROL: A CASE STUDY OF FOUNDATION FIELDBUS-BASED TEMPERATURE CONTROL**” International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.18, no. 1 , pp. 199-210, February 2022.

[19] สุเธียร เกียรติสุนทร. **ระบบอัตโนมัติทางอุตสหกรรม : พีแอลซีกับระบบอัตโนมัติทางอุตสหกรรม**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2558.

[20] ณรงค์ ตันชีวะวงค์. **ระบบ PLC** .พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี, 2550.

[21] มุฑิตา สงฆ์จันทร์. **ระบบควบคุม(Control Systems)** .พิมพ์ครั้งที่ 3. พิษณุโลก : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวรม, 2565.

[22] สุเธียร เกียรติสุนทร. **ระบบอัตโนมัติทางอุตสหกรรม : อุปกรณ์วัดและอุปกรณ์ควบคุมทางอุตสหกรรม**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2556.

[23] นวภัทรา หนูนาคและทวี ซื่อสัตย์. **การวัดและเครื่องมือวัด(Measurement and Instrumentation).** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : หจก.มีน เซอร์วิส ซัพพลาย, 2561.

[24] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 4820. 2559. **กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเตาอบไฟฟ้า คุณลักษณะที่ต้องการด้านประสิทธิภาพพลังงาน.** ราชกิจจานุเบกษา, 133 (ตอนพิเศษ 152 ง).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICIC Express Letters
Part B: Applications
Volume **14**, Number **5**, May **2023**
ICIC International ©2023 ISSN 2185-2766
pp. 533–541

EXPERIMENTAL STUDY ON ENERGY CONSUMPTION OF TEMPERATURE CONTROL BY USING ON-OFF INTELLIGENT FUNCTION

Sawai Pongswatd[1], Watcharapon Sopha[1], Farzin Asadi[2]
Krit Smerpitak[1,*] and Teerawat Thepmanee[1]

[1]School of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
1 Chalong Krung, 1 Alley, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
{ sawai.po; 63601076; teerawat.th }@kmitl.ac.th
*Corresponding author: krit.sm@kmitl.ac.th

[2]Department of Electrical and Electronics Engineering
Maltepe University
Marmara Egitim Koyu, Maltepe, Istanbul 34857, Turkey
farzinasadi@maltepe.edu.tr

Received October 2022; accepted January 2023

Abstract. *In order to save electrical energy for on-off temperature control, a useful concept of on-off intelligent function to execute in a programmable logic controller (PLC) is presented. An implementation of PLC-based control system based on electric heating is also described as a case study to demonstrate the performance of the proposed function. IEC 61131-3-based ladder diagrams were created by using Studio 5000 software to run in the PLC modeled CompactLogix L30ER. Compared with the traditional on-off control action, the proposed on-off intelligent function can minimize energy consumption of a heater used in the implemented temperature control by 4.57%-6.65%.*

Keywords: Energy consumption, Intelligent function, On-off control, Programmable logic controller, Temperature control

1. **Introduction.** As an essential system to industrial manufacturers, temperature control should be well designed and properly installed for maintaining optimal conditions on a manufacturing process. Recently, various techniques to enhance operating efficiency, safety, and availability of hardware components used in temperature control have been introduced [1-5]. An optimal control method to design a temperature controller for improving transient responses of thermal inertia systems has been proposed [1]. In addition, for improving input tracking and load regulating responses of electric furnace temperature control, an optimization technique to design a proportional-integral-derivative-accelerated (PIDA) controller has also been suggested [2]. In order to demonstrate advantages of diagnostic capability of digital field instruments used in temperature feedforward control, practical techniques for Foundation Fieldbus-based device configurations to enhance process safety and production availability have been presented in [3,4], respectively. Moreover, to demonstrate advantages of diagnostic capability of WirelessHART devices for operations and maintenance, an engineering technique for system integration of temperature control based on proportional-integral-derivative (PID) algorithm and supervisory control and data acquisition (SCADA) has been proposed [5]. Additionally, an on-off controller is widely used for temperature control in heating applications because of its structure simplicity. However, its normal condition in steady state is sinusoidal cycling, and a controlled parameter will then constantly switch around a setpoint (SP). To overcome this

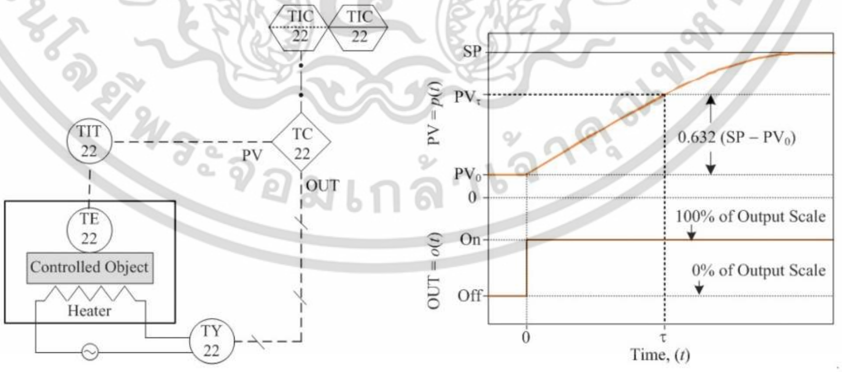
DOI: 10.24507/icicelb.14.05.533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

on-off control limitation, a correction method by using a programmable logic controller (PLC) has been suggested [6]. The on-off controller with additional correctors was implemented in ladder diagram of the PLC modeled S7-1200. However, in this article, the idea of utilizing the PLC for on-off control was developed in different way. This article aims to minimize energy consumption of a heater used in the PLC-based temperature control. The proposed power saving function is called 'on-off intelligent function', which was implemented in ladder diagram of the PLC modeled CompactLogix L30ER. Because industrial energy efficiency can provide environmental and financial benefits such as reducing greenhouse gas emissions and reducing energy costs to produce products and services [7-9].

The remainder of this article is organized as follows. The studied temperature control and concepts of traditional on-off action and on-off intelligent function are described in Section 2. Details of the PLC-based temperature control implementation and results of the experimental tests are presented in Section 3 and Section 4, respectively. Lastly, the conclusions and possible future work are summarized in Section 5.

2. **Concept of Proposed On-Off Intelligent Function for Temperature Control.** Figure 1(a) shows a piping and instrumentation diagram (P&ID) of the interested temperature control, which is based on basic electric heating by regulating the temperature developed in the heater. A host (TIC-22), which may consist of engineering and operator workstations, is connected to the on-off controller (TC-22) not only for configuring control loop conditions and setting the desired temperature SP of a controlled object but also for monitoring control loop operations. A temperature indicator transmitter (TIT-22) coupled with a temperature sensing element (TE-22) is installed to measure the actual temperature, which is the process variable (PV) being monitored and controlled. The TC-22 performs calculations according to deviations between the desired SP and the measured PV to generate its output (OUT). Based on two-position control action, the controller OUT is in the form of an on-off signal for controlling operating statuses of a final control element (TY-22), which is a power regulator to turn on or off the heater. If the PV is less than the SP, the OUT will be 'On' (100% of output scale). Therefore, the heater is turned on by applying the '100%' power supply to increase the PV value. On the other hand, the OUT is 'Off' (0% of output scale), and the heater is turned off by applying the '0%' power supply to decrease the PV value. However, the control loop



(a) P&ID drawing (b) Open-loop step response

FIGURE 1. Studied temperature control based on basic electric heating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cannot respond instantly due to its capacitance or thermal inertia. The higher the inertia, the longer the time that it takes to react to changes in the PV. The inertia of the studied temperature control can be determined by a thermal time constant (τ). This means that the τ can describe how fast the PV (or $p(t)$) moves in response to the change in the OUT (or $o(t)$) as shown in Figure 1(b), which is the open-loop step response of the studied control system in manual mode to the step change in the OUT. The PV and OUT are initially set at steady state with $p(t) = \mathrm{PV}_0$ and $o(t) =$ 'Off', respectively, for time $t < 0$. The desired SP is constant for the duration of the step change experiment. At time $t = 0$, the OUT is stepped to $o(t) =$ 'On'. In case of the first-order lag control system, the process variable rising in the exponential manner can be stated as

$$p(t) = \mathrm{SP} - [\mathrm{SP} - \mathrm{PV}_0]e^{-t/\tau} \tag{1}$$

After the passage of one thermal time constant, the process variable at time $t = \tau$ (PV_τ) can be given by

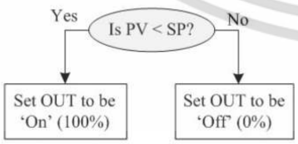
$$p(\tau) = \mathrm{PV}_\tau = \mathrm{SP} - [\mathrm{SP} - \mathrm{PV}_0]e^{-1} = \mathrm{PV}_0 + 0.632(\mathrm{SP} - \mathrm{PV}_0) \tag{2}$$

The difference between the process variables at time $t = \tau$ and $t = 0$ can be written as

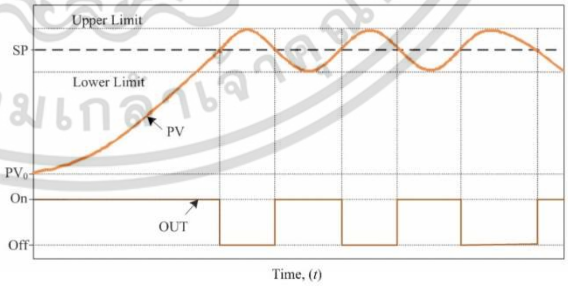
$$p(\tau) - p(0) = \mathrm{PV}_\tau - \mathrm{PV}_0 = 0.632(\mathrm{SP} - \mathrm{PV}_0) \tag{3}$$

From (3), in one time constant, the PV value reaches 63.2% of its total change. It is shown that the smaller the time constant, the faster the process response.

Figures 2(a) and 2(b) display the concept and the plots of PV and OUT values against time t for running the traditional on-off control algorithm in automatic mode, respectively. The controller OUT causes changes in the measured PV to correct any deviation from the desired SP within an upper limit and a lower limit. The PV is increased by applying the 'On' OUT to the TY-22 to turn on the heater whenever it is below the target SP. If the PV rises above the SP, the 'Off' OUT will be applied to the TY-22 to turn off the heater for reducing the PV. In order to minimize the heater energy consumption for rising the PV to reach the SP during $0 < t \leq \tau$, Figures 3(a) and 3(b) illustrate the concept and the time plots of PV values for implementing the proposed on-off intelligent function. There are 3 specified cases to determine the controller OUT value to supply the power the heater; 'Undersupply' ($m_{PS} < m_{PV}$), 'Oversupply' ($m_{PS} > m_{PV}$), and 'Sufficient Supply' ($m_{PS} = m_{PV}$). The m_{PS} and m_{PV} denote the slope of the process variable being measured during $t_j < t \leq t_i$ from the closed-loop response and the slope of the process variable being measured during $0 < t \leq \tau$ from the open-loop response,



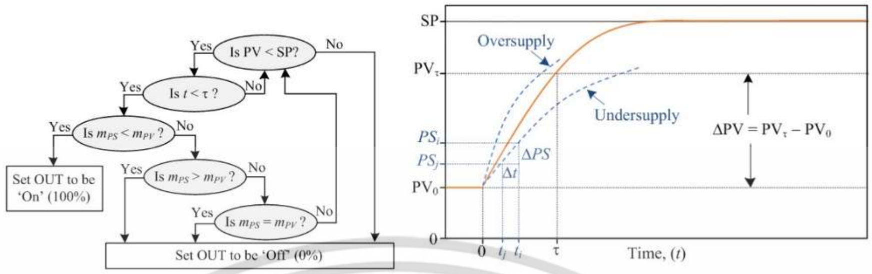
(a) Concept



(b) Response

FIGURE 2. Concept and process response of the on-off control in automatic mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Concept (b) Response

FIGURE 3. Concept and process response of the proposed on-off intelligent function

respectively. Based on the closed-loop control scheme, the slope m_{PS} can be written as

$$m_{PS} = (PS_i - PS_j)/(t_i - t_j) = \Delta PS/\Delta t \tag{4}$$

where PS_i and PS_j are the process variables being measured at time t_i and t_j, respectively. The period of t_i is longer than that of t_j, and the difference between t_i and t_j (Δt) should be less than $\tau/10$. Based on the open-loop control scheme, the slope m_{PV} can be stated as

$$m_{PV} = (\mathrm{PV}_\tau - \mathrm{PV}_0)/(\tau - 0) = (\mathrm{PV}_\tau - \mathrm{PV}_0)/\tau \tag{5}$$

Compared with the open-loop step response, the 'Undersupply' happens when the process response of the closed-loop control is slower than the thermal time constant, whereas the 'Oversupply' happens when the process response of the closed-loop control is faster than the thermal time constant. In case of 'Sufficient Supply', the process response of the closed-loop control is the same as the thermal time constant. If the event of 'Undersupply' is detected, the proposed intelligent function, therefore, will set the controller OUT to be 'On' to fully supply the power of the heater. Otherwise, the proposed intelligent function will set the controller OUT to be 'Off' to shut off the power of the heater to reduce energy losses from the event of 'Oversupply' as well as the event of 'Sufficient Supply'.

3. **Implementation of PLC-Based Temperature Control.** To verify the performance of the proposed on-off intelligent function in terms of energy saving, the studied control system as shown in the P&ID of Figure 1(a) was implemented. Figure 4 shows an overall architecture of the implemented temperature control. At the control level, the PLC modeled CompactLogix L30ER is used as the controller TC-22, which is communicated to the engineering and operator workstations (TIC-22) through Ethernet connections. At the field level, the temperature of a cup filled with water of 300 ml in range of 0-100°C is defined as the PV, which is measured by utilizing the temperature transmitter modeled Rosemount 644. The measured PV in range of HART 4-20 mA is sent to an analog input module modeled 1769-IF4 of the PLC. The controller OUT in range of 4-20 mA is sent from an analog output module modeled 1769-OF4 of the PLC to the power regulator (TY-22) modeled Sangi SCR-1A030. The power supply values of the 1300w heater are 0 and 220 $\mathrm{V_{AC}}$/50 Hz when receiving the 4 mA ('Off') and 20 mA ('On'), respectively. In addition, electrical power consumed by the heater is measured in watt-hour (Wh) by using a power meter modeled PowerLogic PM5300, which employs the current transformer modeled METSECT5CC004 as a current sensing element. The power meter output is sent to the Modbus RTU module modeled MVI69L-MBS of the PLC to monitor the amount of heater power consumption. Figures 5 and 6 illustrate the flowcharts for PLC ladder diagram programming by using Studio 5000 software to operate the automatic temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

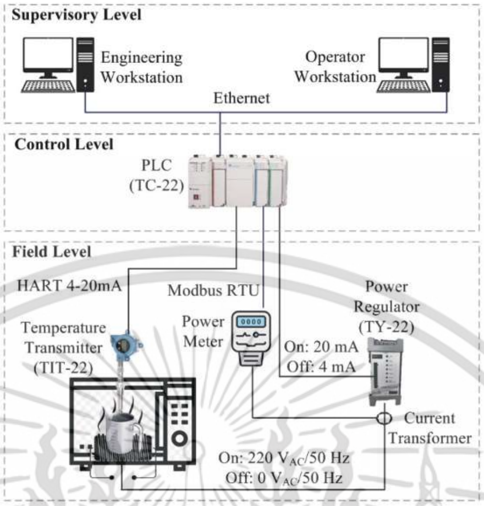


FIGURE 4. Overall architecture of the implemented temperature control

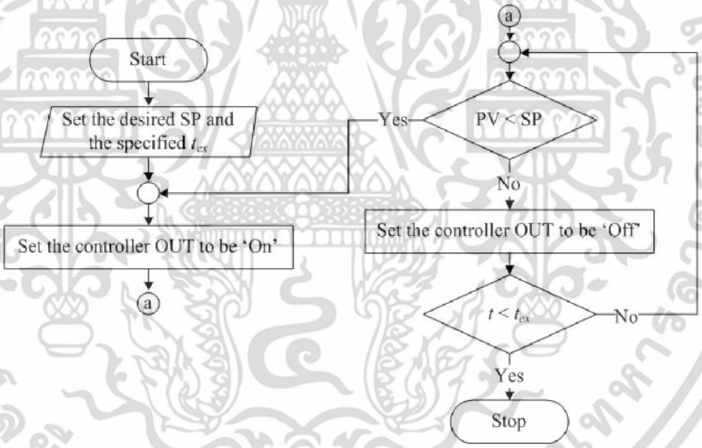


FIGURE 5. Flowchart for PLC programming when using the on-off control action

control based on the concepts in Figures 2(a) and 3(a), respectively. The default value of the controller OUT is set to be 'On', and the time period for experiment (t_{ex}) is set to be 30 min. From Figure 5, the PLC ladder diagram created for temperature control based on the traditional on-off action will set the OUT to be 'Off' in case of 'PV = SP' or 'PV > SP'. From Figure 6, the PLC ladder diagram created for temperature control based on the proposed on-off intelligent function to reduce energy consumption will set the OUT to be 'On' in case of '$m_{PS} < m_{PV}$' only. On the contrary, the OUT will be 'Off' in case of '$m_{PS} = m_{PV}$' or '$m_{PS} > m_{PV}$'. Figures 7(a) and 7(b) show the partial IEC 61131-3-based ladder diagrams in accordance with operating processes in the flowcharts of Figures 5 and 6, respectively, in the 'Run' mode.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

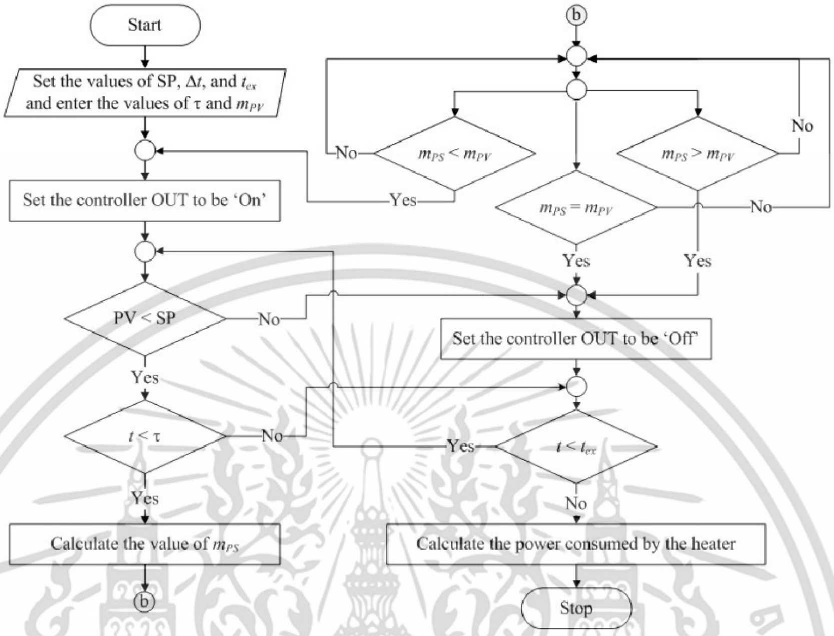
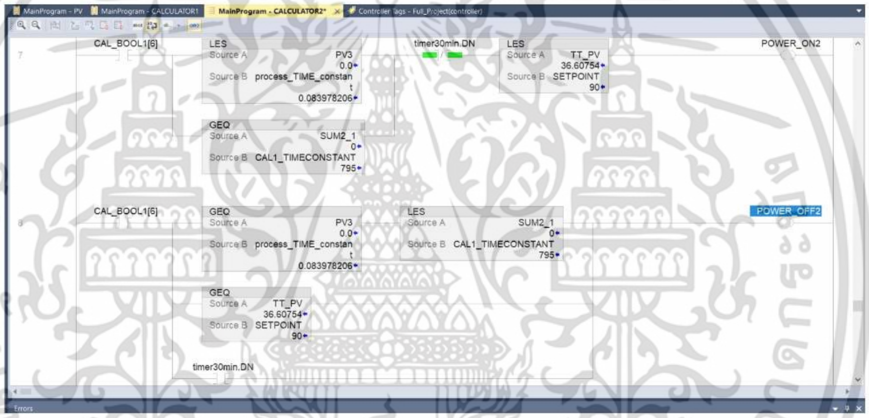


FIGURE 6. Flowchart for PLC programming when using the on-off intelligent function

4. Experimental Test Results. A step test of the implemented control system of Figure 4 in open-loop scheme was performed to determine its thermal time constant (τ), which is approximately equal to 625 s (for SP = 80°C) or 749 s (for SP = 90°C) when setting $PV_0 = 25$°C. Therefore, the slopes $m_{PV} = 0.09591$°C/s and $m_{PV} = 0.08914$°C/s for the desired SP of 80°C and 90°C, respectively, can be obtained. For experimental test setup, $t_{ex} = 30$ min, $\Delta t = 1$ s, and $t_{ex} = 30$ min were chosen. Figures 8(a) and 8(b) show the experimental results of the implemented PLC-based temperature control by utilizing the traditional on-off algorithm and the proposed on-off intelligent function, respectively, in case of SP = 80%. It is seen that the measured PV curves of both Figures 8(a) and 8(b) are similar, but the on-off switching frequency of the controller OUT in Figure 8(b) during $0 < t < \tau$ is higher than that of the controller OUT in Figure 8(a). To demonstrate how the proposed on-off intelligent function can save electrical energy, the tests of the intelligent function-based temperature control were repeated 5 times in the same conditions for SP = 80% and SP = 90%. The calculated values of power consumption from experiments when setting SP = 80% and SP = 90% are summarized in Tables 1 and 2, respectively, where P_{B80} and P_{B90} are the powers consumed by the heater from using the basic on-off control algorithm in the event of SP = 80% and SP = 90%, respectively. The P_{I80k} and P_{I90k} denote the powers consumed by the heater from using the proposed on-off intelligent function in the event of SP = 80% and SP = 90%, respectively, and k $(= 1, 2, 3, 4, 5)$ is the experiment number. The average powers consumed by the heater in case of using the proposed function are less than the powers consumed by the heater in case of using the traditional on-off control action. It is apparent that the proposed on-off intelligent function can minimize the electrical power for the studied temperature control by 4.57%-6.65%.

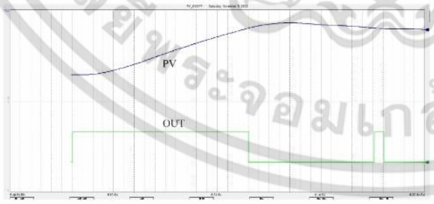
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(a) Diagram based on Figure 5

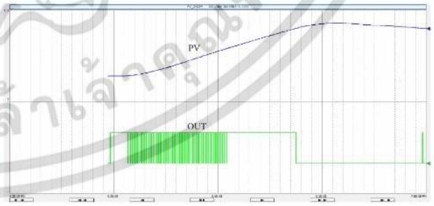


(b) Diagram based on Figure 6

FIGURE 7. Partial ladder diagrams created for operating the studied temperature control



(a) Traditional on-off action



(b) Proposed on-off intelligent function

FIGURE 8. Responses of the implemented temperature control for SP = 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1. Power consumed by the heater for controlling the temperature at SP = 80%

Control algorithm	Power		Difference power		
	Parameter	Value (kWh)	Parameter	Value (kWh)	Value (%)
Traditional action	P_{B80}	341	P_{B80}-P_{B80}	0	0
Proposed function	P_{I801}	323	P_{B80}-P_{I801}	18	5.278
	P_{I802}	318	P_{B80}-P_{I802}	23	6.744
	P_{I803}	333	P_{B80}-P_{I803}	8	2.346
	P_{I804}	329	P_{B80}-P_{I804}	12	3.519
	P_{I805}	324	P_{B80}-P_{I805}	17	4.985
	P_{I80avg}	325.4	P_{B80}-P_{I80avg}	15.6	4.5744

TABLE 2. Power consumed by the heater for controlling the temperature at SP = 90%

Control algorithm	Power		Difference power		
	Parameter	Value (kWh)	Parameter	Value (kWh)	Value (%)
Traditional action	P_{B90}	412	P_{B90}-P_{B90}	0	0
Proposed function	P_{I901}	375	P_{B90}-P_{I901}	37	8.981
	P_{I902}	393	P_{B90}-P_{I902}	19	4.612
	P_{I903}	381	P_{B90}-P_{I903}	31	7.524
	P_{I904}	384	P_{B90}-P_{I904}	28	6.769
	P_{I905}	390	P_{B90}-P_{I905}	22	5.339
	P_{I90avg}	384.6	P_{B90}-P_{I90avg}	27.4	6.6504

5. **Conclusions.** An effective concept of on-off intelligent function to minimize electrical power consumption of temperature control based on electric heating has been presented. In order for demonstration of how the proposed concept works, engineering details for implementing the PLC-based temperature control have been described. Experimental test results of the implemented temperature control to compare the proposed on-off intelligent function with the traditional on-off control action have been demonstrated. Utilization of the proposed intelligent function in PID-based control systems to reduce their energy consumption is future work.

REFERENCES

[1] Z. Yang, B. Sun, F. Li and L. Zhang, A temperature optimal control method of temperature control system considering thermal inertia, *Proc. of the 38th Chinese Control Conference*, Guangzhou, China, pp.5226-5231, 2019.

[2] N. Pringsakul and D. Puangdownreong, MoFPA-based PIDA controller design optimization for electric furnace temperature control system, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, vol.16, no.6, pp.1863-1876, 2020.

[3] A. Julsereewong and S. Kummool, Process safety enhancement of feedforward control using Foundation Fieldbus, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, vol.16, no.2, pp.621-630, 2020.

[4] S. Kummool, I. Suwanmanee, S. Weerathaweemas, A. Julsereewong and J. Sittigorn, Availability through field device diagnosis in feedforward control: A case study of Foundation Fieldbus-based temperature control, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, vol.18, no.1, pp.199-210, 2022.

[5] T. Thepmanee, S. Pongswatd, F. Asadib and P. Ukakimaparn, Implementation of control and SCADA system: Case study of Allen Bradley PLC by using WirelessHART to temperature control and device diagnostic, *Energy Reports*, vol.8, pp.934-941, 2022.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[6] M. Wcislik and M. S. Laskawski, Correction of the on-off control system using PLC, *Proc. of 2017 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering*, Kouty nad Desnou, Czech Republic, pp.1-6, 2017.
[7] A. A. Mawgoud, M. H. N. Taha and N. E. M. Khalifa, QoS provision for controlling energy consumption in ad-hoc wireless sensor networks, *ICIC Express Letters*, vol.14, no.8, pp.761-767, 2020.
[8] S. Kapp, J.-K. Choi and K. Kissock, Toward energy-efficient industrial thermal systems for regional manufacturing facilities, *Energy Reports*, vol.8, pp.1377-1387, 2022.
[9] H. S. Madupu, V. A. Nidumolu and V. M. Panchagnula, IoT based real-time energy monitoring, *ICIC Express Letters*, vol.16, no.8, pp.827-834, 2022.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายวัชรพล โสภา
วัน เดือน ปีเกิด	2 กรกฎาคม 2539 ที่ขอนแก่น
ที่อยู่	7 หมู่ 5 บ้านหนองคู ต.พระยืน อ.พระยืน จ.ขอนแก่น 40320
ประวัติการศึกษา	2562 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผลงานวิจัย	Experimental Study on Energy Consumption of Temperature Control by Using On-Off Intelligent Function (International Conference on Innovative Computing, Information and Control)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้