การศึกษาระบบวัดคุมเพื่อการออกแบบปฏิบัติการในห้องทดลอง

นายกิตติพัทธ์ ลัพกิตโร
นายภูเบศวร์ คงดี
นางสาวสวรส บุญแพร่

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study of Instrumentation for Experiments Design

Kittipat Lappakittaro
Pubet Kongdee
Sawaros Boonphare

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEER IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG ACADEMIC YEAR 2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2566

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาระบบวัดคุมเพื่อการออกแบบปฏิบัติการในห้องทดลอง

A Study of Instrumentation for Experiments Design

นักศึกษาผู้จัดทำ นายกิตติพัทธ์ ลัพกิตโร **รหัสนักศึกษา** 64015009

นายภูเบศวร์ คงดี **รหัสนักศึกษา** 64015111

นางสาวสวรส บุญแพร่ **รหัสนักศึกษา** 64015146

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2566

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
รองศาสตราจารย์ วิริยะ กองรัตน์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาระบบวัดคุมเพื่อการออกแบบปฏิบัติการในห้องทดลอง
A Study of Instrumentation for Experiments Design

นักศึกษาผู้จัดทำ นายกิตติพัทธ์ ลัพกิตโร รหัสนักศึกษา 64015009
นายภูเบศวร์ คงดี รหัสนักศึกษา 64015111
นางสาวสวรส บุญแพร่ รหัสนักศึกษา 64015146
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ วิริยะ กองรัตน์
ปีการศึกษา 2566

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาระบบวัดคุมเพื่อการออกแบบปฏิบัติการในห้องทดลอง โดยมีตัวแปรหลักอยู่ 4 ตัวแปร คือ ระดับ ความดัน อัตราการไหล และอุณหภูมิ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญหลักในโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังมีซอฟต์แวร์นำมาใช่ร่วมอีกด้วย คือ Mitsubishi PLC ซึ่งประกอบไปด้วยการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา Structure Text ในการเขียนอ่านค่าระดับ ความดัน อัตราการไหล และอุณหภูมิ เพื่อให้ Mitsubishi PLC รับค่าที่อ่านได้จาก Plant ซึ่งเป็นภาษาที่ทำให้ดูกระชับและเข้าใจง่ายมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังมีหน้าจอแสดงผล HMI เพื่อแสดงการจำลองให้ได้หน้าตาหรือรูปแบบการทำงานใกล้เคียงกับตัว Plant ให้ได้มากที่สุด ทั้งนี้ที่กล่าวมาข้างต้นต้องเชื่อมต่อระหว่างฮาร์ดแวร์กับซอฟต์แวร์ให้ได้ก่อนและยังต้องมีการแปลงค่าสัญญาณอนาล็อก 4-20 mA เป็น 2-10 V เพื่อให้ได้ค่าที่วัดจากมัลติมิเตอร์สัมพันธ์กับค่าที่แสดงผลบน Plant และในตอนท้ายต้องเขียนคำสั่งเพื่อควบคุม Plant นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A Study of Instrumentation for Experiments Design
Authors	Mr. Kittipat Lappakittaro
	Mr. Pubet Kongdee
	Miss. Sawaros Boonphare
Thesis Advisor	Assoc. Prof Viriya Kongratana
Year	2023

ABSTRACT

This thesis is a study of a control system for laboratory design. There are 4 main variables, namely level, pressure, flow rate and temperature, which are the main factors in present industrial plants. There is also software to use as well, Mitsubishi PLC, which consists of Programming using Structure Text language to write and read level, pressure, flow rate, and temperature values so that Mitsubishi PLC can receive the values read from Plant, which is a language that makes it more concise and easier to understand. There is also an HMI display screen to show the simulation to get the appearance or working style as close to the plant as possible. However, as mentioned above, there must be a connection between the hardware and software first and there is also a need to convert the 4-20 mA analog signal to 2-10 V to get the value measured by the multimeter to be related to the value displayed on the screen. Plant and at the end must write commands to control this Plant.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เพราะคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิริยะ กองรัตน์ และคณะอาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่ช่วยแนะนำ จัดหาและสั่งสอนในเนื้อหาวิชาการรวมถึงสิ่งสำคัญอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ อีกทั้งยังเอื้อเฟื้อต่ออุปกรณ์ที่จำเป็นต่อโครงงานมากมาย ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และนักศึกษาวิศวกรรมการวัดคุมที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจระหว่างการทำโครงงานที่อาจจะพบเจอเรื่องผิดพลาดและไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยคณะผู้จัดทำเอง อีกทั้งยังให้ยืมอุปกรณ์ที่ช่วยในการทำโครงการผ่านพ้นไปได้ด้วยดี

และที่ลืมไม่ได้เสีย ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณครอบครัวอันประกอบไปด้วย พ่อ แม่ พี่ น้อง ทุกคนที่ช่วยสนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์จนประสบผลสำเร็จเช่นนี้ได้ คุณค่าและคุณประโยชน์จากปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยในโครงงานชิ้นนี้ประสบความสำเร็จ

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VII
สารบัญรูป.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....3
2.1 PLC.....3
2.1.1 โครงสร้างของ PLC.....3
2.1.2 ภาษาสำหรับการเขียนโปรแกรม PLC.....4
2.1.2.1 IL (Instruction List).....4
2.1.2.2 LD (Ladder Diagram).....4
2.1.2.3 FBD (Function Block Diagram).....4
2.1.2.4 SFC (Sequential Function Chart).....4
2.1.2.5 ST (Structured Text).....5
2.1.3 โปรแกรมเมเบิล ลอจิก คอนโทรลเลอร์ PLC.....5
2.1.4 หลักการทำงานของ PLC.....5
2.2 เทอร์โมทัปเปิล (Thermocouple).....6
2.2.1 หลักการทำงาน.....6
2.2.2 ประเภทเทอร์โมคัปเปิล.....6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.2.1 ชนิด E (Type E)....6
2.2.2.2 ชนิด J (Type J)....6
2.2.2.3 ชนิด K (Type K)....7
2.2.2.4 ชนิด N (Type N)....7
2.2.2.5 ชนิด T (Type T)....7
2.3 อาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector , RTD)....7
2.3.1 โครงสร้างของอาร์ทีดี....8
2.4 Pressure Transducer (เพรสเซอร์ทรานดิวเซอร์)....8
2.5 Level Sensor....9
2.6 Magnetic Flow Meter....10
2.7 Differential Pressure Transmitter....11
2.8 Hart Wireless Adapter for transmitter....11
2.9 Flow Control Valve....12
2.10 Valve Positioner....12
2.11 การสอบเทียบ (Calibration)....13
2.12 PID controller....13
2.12.1 วิธีคำนวณของ PID....13
2.12.2 สัดส่วน (ส่วนขยาย)....14
2.12.3 ปริพันธ์ (reset)....14
2.12.4 อนุพันธ์....15
2.12.5 การปรับจูนด้วยมือ....16
2.13 Cascade Control....17
2.14 วิธีหาโมเดลทรานเฟอร์ฟังก์ชัน....19
2.14.1 Process Tank....20
2.15 การหาโมเดลทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวาล์วควบคุม....25
2.15.1 การหา Valve gain....25
2.15.2 Flow coefficient หรือ Cv....26
2.15.3 การหา ΔP จากสมการ Darcy-Weisbach....26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ.....28

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....28

3.2 การเขียนแบบ P&ID สำหรับ Plant.....29

3.3 การออกแบบวงจรในการแปลงค่าสัญญาณ Analog 4-20 mA เป็น 2-10 VDC.....30

3.4 วิธีการประมาณค่าเชิงเส้น.....33

3.4.1 การประมาณค่าเชิงเส้นของค่า Register Value.....34

3.4.2 การประมาณค่าเชิงเส้นของค่าระดับ (Level).....35

3.4.3 การประมาณค่าเชิงเส้นของค่าอัตราการไหล (Flowrate).....36

3.4.4 การประมาณค่าเชิงเส้นของค่าความดัน (Pressure).....37

3.4.5 การประมาณค่าเชิงเส้นของค่าอุณหภูมิ (Temperature).....38

3.5 การเขียนโปรแกรม Structure Text.....40

3.5.1 ส่วนของการกำหนดตัวแปร Global Setting.....40

3.5.2 ส่วนของการกำหนดตัวแปร Local Setting.....40

3.5.3 คำสั่ง Structure Text.....41

3.6 ฟังก์ชันที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม Programmable Logic Control (PLC).....41

3.6.1 ฟังก์ชัน FLT.....41

3.7 การออกแบบหน้าจอแสดงผล HMI.....42

3.8 การประมาณค่าเชิงเส้นของ Level Control Plant.....42

3.8.1 การประมาณค่าเชิงเส้นของ Differential Pressure.....41

3.8.2 การประมาณค่าเชิงเส้นของ Flow Transmitter.....44

3.9 Differential Pressure Transmitter Calibration.....45

3.10 การคำนวณหา PID Controller.....46

3.11 วิธีการคำนวณหาค่า PID Control โดยวิธีสังเคราะห์.....48
โดยตรงสำหรับการควบคุมระดับน้ำ

3.12 วิธีหาโมเดลทรานเฟอร์ฟังก์ชันของการควบคุมการไหล.....49

3.13 วิธีคำนวณหาค่า PID โดยวิธี IMC สำหรับการควบคุมระดับน้ำแบบ.....51
Cascade Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง.....54

4.1 การทดลองอ่านค่าระดับ.....54

4.2 การทดลองอ่านค่าอัตราการไหล.....55

4.3 การทดลองอ่านค่าความดัน.....56

4.4 การทดลองอ่านค่าอุณหภูมิ.....56

4.5 การทดลองอ่านค่าของ Level จาก Differential Pressure Transmitter.....57

4.6 Flow Transmitter.....58

4.7 PID Controller.....59

4.7.1 การควบคุมระดับน้ำด้วย PI Controller.....59

4.7.2 การควบคุมอัตราการไหลด้วย PI Controller.....59

4.7.3 การควบคุมอัตราการไหลด้วย PID Controller.....59

4.8 Cascade Controller.....60

4.9 กราฟแสดงผลการตอบสนองของการทดลอง.....61

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....67

5.1 สรุปผลการทดลอง.....67

5.2 ปัญหาที่พบขณะทำการทดลอง.....67

5.3 วิธีแก้ปัญหา.....67

5.4 ข้อจำกัดในการใช้งาน.....67

5.5 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม.....68

บรรณานุกรม.....69

ภาคผนวก.....70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ....16
3.1 พารามิเตอร์ของระบบควบคุมระดับน้ำภายในถัง....46
4.1 การทดลองอ่านค่าระดับใน Application Tank....55
4.2 การทดลองอ่านค่าอัตราการไหลของ Magnetic Flow Meter....55
4.3 การทดลองอ่านค่าความดันของ Pressure Transducer....56
4.4 การทดลองอ่านค่าความดันของ Temperature....56
4.5 แสดงการทดลองอ่านค่าของระดับ จาก Differential Pressure Transmitter....58
4.6 แสดงการทดลองอ่านค่าอัตราการไหลจาก Flow Transmitter....58
4.7 ทดลองตัวควบคุม PI กับการควบคุมระดับน้ำ....59
4.8 ทดลองตัวควบคุม PI กับการควบคุมอัตราการไหล....59
4.9 ทดลองตัวควบคุม Cascade PID....59
4.10 ทดลองตัวควบคุม Cascade PID กับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง....60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้าง PLC....4
2.2 โครงสร้างเทอร์โมคัปเปิล....6
2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานและอุณหภูมิของวัสดุต่างๆ....7
2.4 ส่วนประกอบของ RTD....8
2.5 แสดงการทำงานของ Pressure Transducer....8
2.6 แสดงรูปภาพจริงของ Pressure Transducer....9
2.7 เซ็นเซอร์สชวัดระดับ....9
2.8 โครงสร้างของเครื่องมือวัดการไหลแบบสนามแม่เหล็ก....10
2.9 เครื่องมือวัดการไหลแบบสนามแม่เหล็กในรูปแบบต่างๆ....10
2.10 ส่วนประกอบที่จำเป็นต่อ Pressure Transmitter....11
2.11 Hart Wireless Adapter....11
2.12 Flow Control Valve....12
2.13 Valve Positioner....12
2.14 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบพีไอดี....13
2.15 กราฟ PV ต่อเวลา, KP กำหนดเป็น 3 ค่า (Ki และ Kd คงที่)....14
2.16 กราฟ PV ต่อเวลา, Ki กำหนดเป็น 3 ค่า (Kp และ Kd คงที่)....15
2.17 ผลของการเปลี่ยนพารามิเตอร์ของ PID (Kp,Ki,Kd) บนชั้นของการตอบสนองของระบบ....16
2.18 แสดง Cascade Control....17
2.19 แสดง Cascade Control การควบคุมอุณหภูมิของ Heater....17
2.20 แสดง Configuration ของการควบคุมแบบ Cascade....18
2.21 แสดงตัวอย่าง Cascade Control การควบคุมระดับน้ำ....19
2.22 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุม....20
2.23 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของถังกระบวนการ....20
2.24 จำลองถังไหลตามแรงโน้มถ่วง....21
2.25 Flow Control Diagram....25
3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิจัย....28
3.2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิจัย (ต่อ)....29
3.3 แบบ P&ID สำหรับ Plant....30
3.4 วงจรในการแปลงค่าสัญญาณ Analog 4-20 mA เป็น 2-10 VDC....30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.5 วงจรในการแปลงค่าสัญญาณ Analog 4-20 mA เป็น 1-5 VDC 31
3.6 Wiring Diagram Analog 4-20 mA เป็น 1-5 VDC....31
3.7 แบบ P&ID สำหรับ Level Control Plant....32
3.8 วงจรในการแปลงค่าสัญญาณ Analog 4-20 mA เป็น 1-5 VDC โดยมี....32
Final Element เป็นตัวควบคุม
3.9 แสดงกราฟการประมาณเชิงเส้น....33
3.10 แสดงกราฟการประมาณเชิงเส้น Register Value....35
3.11 แสดงกราฟการประมาณเชิงเส้นระดับ....36
3.12 แสดงกราฟการประมาณเชิงเส้นของอัตราการไหล....37
3.13 แสดงกราฟการประมาณเชิงเส้นของความดัน....38
3.14 แสดงกราฟการประมาณเชิงเส้นของอุณหภูมิ Thermocouple Type K....39
3.15 การกำหนดตัวแปร Global Setting....40
3.16 การกำหนดตัวแปร Local Setting....40
3.17 การเขียนคำสั่ง Structure Text....41
3.18 แสดงสัญลักษณ์ฟังก์ชัน FLT และ การใช้งาน....41
3.19 แสดงหน้าจอแสดงผล HMI....42
3.20 แสดงการประมาณค่าเชิงเส้นของ Differential Pressure ของ Level Control Plant....43
3.21 แสดงการประมาณค่าเชิงเส้นของ Flow Transmitter ของ Level Control Plant....44
3.22 ภาพแสดง Plant ของ Level Control Plant ในการ Calibration....45
3.23 การเขียนโปรแกรมเพื่อหากระบวนการไดนามิกส์ของถัง....46
3.24 ผลการตอบสนองในการจำลอง....47
3.25 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบวงรอบปิด....48
3.26 MATLAB function เพื่อออกแบบระบบควบคุมระดับน้ำ....52
3.27 ผลของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำโดยการจำลองป้อนอัตราการไหล....53
3.28 วิธีการจูน IMC สำหรับตังควบคุมแบบ PI....53
4.1 Process Control Simulation Plant....54
4.2 Level Control Plant....57
4.3 กราฟทดลองตัวควบคุม PI กับการควบคุมระดับน้ำขณะเริ่มภายในถัง....61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.4 กราฟทดลองตัวควบคุม PI กับการควบคุมระดับน้ำภายในถังขณะเข้า Setpoint.....61
4.5 กราฟทดลองตัวควบคุม PI กับการควบคุมอัตราการไหลขณะเริ่ม.....62
4.6 กราฟทดลองตัวควบคุม PI กับการควบคุมอัตราการไหลขณะเข้าSetpoint.....62
4.7 กราฟทดลองตัวควบคุม PID กับการควบคุมอัตราการไหลขณะเริ่ม.....63
4.8 กราฟทดลองตัวควบคุม PID กับการควบคุมอัตราการไหลขณะเข้า Setpoint.....63
4.9 กราฟทดลองตัวควบคุม Cascade PID กับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง.....64
ขณะเริ่ม Setpoint 60
4.10 กราฟทดลองตัวควบคุม Cascade PID กับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง.....64
ขณะเข้า Setpoint 60
4.11 กราฟทดลองตัวควบคุม Cascade PID กับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง.....65
ขณะเริ่ม Setpoint 50
4.12 กราฟทดลองตัวควบคุม Cascade PID กับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง.....65
ขณะเข้า Setpoint 50
4.13 กราฟทดลองตัวควบคุม Cascade PID กับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง.....66
ขณะเริ่ม Setpoint 40
4.14 กราฟทดลองตัวควบคุม Cascade PID กับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง.....66
ขณะเข้า Setpoint 40
ก-1 หน้าจอแสดงผม HMI.....72
ก-2 หน้าจอแสดงผม HMI ควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบ PID.....72
ก-3 หน้าจอแสดงผล HMI ควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมแบบ PID.....72
ก-4 หน้าจอแสดงผม HMI ควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบ Cascade PID.....73
ข-1 การกำหนดตัวแปร Local ควบคุมระดับน้ำภายในถังแบบ PID.....76
ข-2 โปรแกรมการอ่านค่าและควบคุมระดับน้ำภายในถังแบบ PID.....76
ข-3 การกำหนดตัวแปร Local ควบคุมอัตราการไหลแบบ PID.....77
ข-4 โปรแกรมกสนอ่านค่าและควบคุมอัตราการไหลแบบ PID.....77
ข-5 การกำหนดตัวแปร Local ควบคุมอัตราการไหลแบบ Cascade PID.....78
ข-6 การกำหนดตัวแปร Global.....78
ข-7 โปรแกรมการอ่านค่าและควบคุมระดับน้ำภายในถังแบบ Cascade PID.....79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันระบบการควบคุมกระบวนการในโรงงานอุตสาหกรรมมีความสำคัญและจำเป็นอย่างมาก ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือ PLC ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์ควบคุมเครื่องจักรหรือกระบวนการทำงานต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยภายในมีไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocessor) เป็นมันสมองสั่งการที่สำคัญ PLC เป็นระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมหรือเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่องานเฉพาะกิจ โดยทั่วไปมักใช้ PLC ในงานควบคุม หรืองานอุตสาหกรรมที่เน้นการประมวลผลแบบรวดเร็ว ที่ตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์อินพุตหรืออุปกรณ์ป้อนข้อมูลอย่างต่อเนื่อง และทำการออกคำสั่งตามโปรแกรมเพื่อให้สามารถควบคุมสถานะของอุปกรณ์เอาต์พุต PLC ยังเป็นฮาร์ดแวร์ประเภทหนึ่งที่ใช้ทั้งในระบบ DCS และระบบ SCADA ในระบบ SCADA นั้น PLC มีจะการทำงานเหมือนกับ RTU ส่วนในระบบ DCS นั้น PLC ถูกใช้เป็นตัวควบคุมภายใน Supervisory Control Scheme และมันยังถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบหลักในการกำหนดค่าระบบควบคุมขนาดเล็ก

ปัจจุบัน HMI คือ เทคโนโลยีที่ช่วยให้มนุษย์สื่อสารและมีส่วนร่วมกับเครื่องจักรเพื่อตรวจสอบและควบคุมการดำเนินงานให้เป็นไปตามกระบวนการ โดยทั่วไป HMI หมายถึงหน้าจอหรือ Dashboard ที่สื่อสารข้อมูลและตัวชี้วัดผ่านกราฟิกหรือการแสดงตัวเลขหน้าจอ ซึ่งควบคุมโดยผู้ปฏิบัติงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบกระบวนการผลิตในโรงงาน เทคโนโลยี HMI ถูกนำไปใช้ในแวดวงอุตสาหกรรมแทบทุกประเภท เพื่อโต้ตอบกับเครื่องจักรและปรับกระบวนการทางอุตสาหกรรมให้เหมาะสม ในงานวิจัยนี้จะนำมาเชื่อมต่อสื่อสารกับ PLC เพื่อแสดงค่าที่วัดได้มาจาก plant

จากข้อความที่กล่าวมาข้างต้น ทางคณะผู้จัดทำจึงได้นำระบบควบคุมที่เป็น PLC มาประยุกต์ใช้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมและรับค่ามาแสดงบนหน้าจอแสดงผล HMI เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ของ plant มาแสดงผลแบบ real time อีกทั้งยังสามารถควบคุมการทำงานของ plant ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของระบบควบคุมอัตราการไหล อุณหภูมิ ความดัน และระดับน้ำในกระบวนการ
2. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรม Structure Text และ Ladder ของ Mitsubishi บนเครื่องควบคุม Programable Logic Control (PLC)
3. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมจอแสดงผล HMI
4. เพื่อเขียนโปรแกรมรับค่าตัวแปรในกระบวนการโดย PLC มาแสดงผลบน HMI
5. เพื่อเขียนโปรแกรมควบคุม Process Control Simulation Plant ด้วย PLC
6. เพื่อนำความรู้จาก Process Control Simulation Plant ไปต่อยอดและประยุกต์ใช้งาน

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. Process Control Simulation Plant มีตัวแปรที่รับค่ามาแสดงผลซึ่งประกอบด้วยอุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล และระดับน้ำ
2. มีการแปลงค่าสัญญาณเอาต์พุตซึ่งเป็นกระแสไฟฟ้า 4-20 mA ที่จ่ายออกมาจาก Plant ด้วยตัวต้านทานค่า 250 โอห์ม และ 500 โอห์ม เป็นแรงดัน 1-5 VDC กับ 2-10 VDC เพื่อเข้าพอร์ตอนาล็อกอินพุตของ PLC
3. การควบคุมระดับน้ำและอัตราการไหลด้วย Valve เพื่อให้ระดับน้ำใน Application Tank มีค่าอยู่ในช่วงการวัดของค่าต่ำสุดและสูงสุดที่ Level Sensor วัดได้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาหลักการอ่านค่าของอัตราการไหล ระดับ ความดัน และอุณหภูมิของ Plant ในตัว PLC ด้วย Structured Text
2. ศึกษาการประมาณค่าแบบเชิงเส้นของสัญญาณ Analog Output จากตัว Sensor/Transmitter กับค่า Register Value ของตัวโปรแกรม PLC
3. ศึกษาการเขียนโปรแกรมสื่อสารข้อมูลระหว่าง PLC กับ HMI เพื่อให้สามารถสื่อสารข้อมูลกันได้
4. ศึกษาการเขียนโปรแกรม PLC ด้วยคำสั่ง Structure Text เพื่อให้สามารถรับค่า Analog Input ที่ได้มาจาก Plant
5. ศึกษาการเขียนโปรแกรม PLC ด้วยคำสั่ง Structure Text เพื่อให้สามารถควบคุม Plant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 PLC

โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอลโทรลเลอร์ (Programmable Logic Control : PLC) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือกระบวนการทำงานต่าง ๆ โดยภายในมี Microprocessor เป็นมันสมองสั่งการที่สำคัญ PLC จะมีส่วนที่เป็นอินพุตและเอาต์พุตที่สามารถต่อออกไปใช้งานได้ทันที ตัวตรวจวัดหรือสวิตช์ต่าง ๆ จะต่อเข้ากับอินพุต ส่วนเอาต์พุตจะใช้ต่อออกไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่เป็นเป้าหมาย เราสามารถสร้างวงจรหรือแบบของการควบคุมได้โดยการป้อนเป็นโปรแกรมคำสั่งเข้าไปใน PLC

2.1.1 โครงสร้างของ PLC

PLC เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในงานอุตสาหกรรม PLC ประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ หน่วยรับข้อมูล หน่วยส่งข้อมูล และหน่วยป้อนโปรแกรม PLC ขนาดเล็กส่วนประกอบทั้งหมดของ PLC จะรวมกันเป็นเครื่องเดียว แต่ถ้าเป็นขนาดใหญ่สามารถแยกออกเป็นส่วนประกอบย่อย ๆ ได้

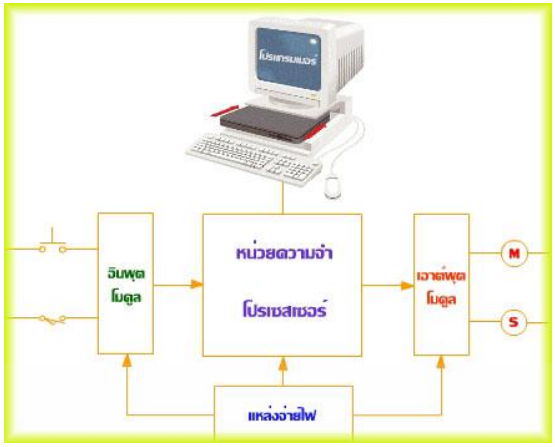
หน่วยความจำของ PLC ประกอบด้วยหน่วยความจำชนิด RAM และ ROM หน่วยความจำชนิด RAM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมของผู้ใช้และข้อมูลสำหรับใช้ในการปฏิบัติงานของ PLC ส่วน ROM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมสำหรับใช้ในการปฏิบัติงานของ PLC ตามโปรแกรมของผู้ใช้ ROM ย่อมาจาก Read Only Memory สามารถโปรแกรมได้แต่ลบไม่ได้ ถ้าชำรุดแล้วซ่อมไม่ได้

1. RAM (Random Access Memory) หน่วยความจำประเภทนี้จะมีแบตเตอรี่เล็ก ๆ ต่อไว้ เพื่อใช้เลี้ยงข้อมูลเมื่อเกิดไฟดับ การอ่านและเขียนโปรแกรมลงใน RAM ทำได้ง่ายมาก จึงเหมาะกับการใช้งานในระยะทดลองเครื่องที่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปรแกรมบ่อย ๆ

2. EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) หน่วยความจำชนิด EPROM นี้จะต้องมีการใช้เครื่องมือพิเศษในการเขียนโปรแกรม การลบโปรแกรมทำได้โดยใช้แสงอัลตราไวโอเลตหรือตากแดดร้อนๆ นาน ๆ มีข้อดีตรงที่โปรแกรมจะไม่สูญหายแม้ไฟดับ จึงเหมาะกับการใช้งานที่ไม่ต้องเปลี่ยนโปรแกรม

3. EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory) หน่วยความจำชนิดนี้ไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการเขียนและลบโปรแกรม โดยใช้วิธีการทางไฟฟ้าเหมือนกับ RAM นอกจากนั้นก็ไม่จำเป็นต้องมีแบตเตอรี่สำรองไฟเมื่อไฟดับ ราคาจะแพงกว่าแต่จะรวมคุณสมบัติที่ดีของทั้ง RAM และ EPROM เอาไว้ด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้าง PLC

2.1.2 ภาษาสำหรับการเขียนโปรแกรม PLC

ตามมาตรฐานของ EC1131-3 ได้กำหนดการใช้ภาษาในการเขียนโปรแกรมของ PLC ไว้ทั้งหมด 5 ภาษา คือ

2.1.2.1 IL (Instruction List)

เป็นภาษาที่เขียนอยู่ในรูปของข้อความ และมีลักษณะคล้ายกับภาษาแอสเซมบิล (Assembly) และภาษาเครื่อง (Machine Code) ซึ่งภายในหนึ่งคำสั่งควบคุมประกอบด้วยส่วนปฏิบัติการ (Operator) และส่วนที่ถูกดำเนินการ (Operand)

2.1.2.2 LD (Ladder Diagram)

ภาษาซึ่งมีพื้นฐานมาจากวงจรควบคุมแบบรีเลย์และวงจรไฟฟ้าเป็นวงจรที่อ่านได้ง่ายและแสดงการทำงาน

2.1.2.3 FBD (Function Block Diagram)

ภาษาที่แสดงฟังก์ชันและเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายโดยการเขียนโปรแกรมในรูปของฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมจะมีพื้นฐานมาจากลอจิกไดอะแกรม

2.1.2.4 SFC (Sequential Function Chart)

ภาษาที่รองรับการเขียนโปรแกรมที่มีโครงสร้างการทำงานเป็นแบบลำดับ (Sequence) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของ SFC จะประกอบด้วยคำสั่งในการปฏิบัติการในแต่ละขั้นตอน (Step) และเงื่อนไขที่กำหนดให้กระทำคำสั่งในแต่ละ Step (Transition)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.5 ST (Structured Text)

เป็นภาษาระดับสูง โดยมีพื้นฐานมาจากภาษา Pascal ซึ่งคำสั่งโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปของคำสั่งเกี่ยวกับการเลือกทำงานเช่น IF...THEN...ELSE เป็นต้น

2.1.3 โปรแกรมเมเบิล ลอจิก คอนโทรลเลอร์ (PLC)

PLC เป็นอุปกรณ์ชนิดโซลิด–สเตชท (Solid State) ที่ทำงานแบบลอจิก (Logic Functions) การออกแบบการทำงานของ PLC จะคล้ายกับหลักการทำงานของคอมพิวเตอร์จากหลักการพื้นฐานแล้ว PLC จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Solid-State Digital Logic Elements เพื่อให้ทำงานและตัดสินใจแบบลอจิก PLC ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม

2.1.4 หลักการทำงานของ PLC

PLC เป็นอุปกรณ์ควบคุมชนิดหนึ่งที่นำมาแทนการควบคุมที่ใช้รีเลย์ ทำให้สะดวกขึ้นเพราะเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์และใช้การเขียนโปรแกรมทำนองเดียวกับคอมพิวเตอร์แทนการเดินสายไฟฟ้า PLC เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นโมดูล สามารถตรวจสอบด้วยตัวเองได้เพราะฉะนั้นเมื่อเสียหายก็ทำได้โดยเปลี่ยนโมดูลเท่านั้นและ PLC สามารถตรวจสอบภาวะ ON หรือ OFF ของอุปกรณ์ภายนอกตามโปรแกรมได้ทำให้สามารถตรวจสอบหาข้อบกพร่องได้อย่างรวดเร็ว PLC มีหน่วยอินพุต/เอาต์พุตหลายชนิดเช่น หน่วยอินพุต/เอาต์พุตแบบลอจิก (On/Off), หน่วยอินพุต/เอาต์พุตแบบ (AC/DC) หน่วยอินพุต/เอาต์พุตแบบ (TL), หน่วยอินพุต/เอาต์พุตแบบอนาล็อก(Analog), หน่วยอินพุต/เอาต์พุตแบบอิสระ (Isolated), หน่วยอินพุต/เอาต์พุตแบบตัวเลข, หน่วยอินพุต/เอาต์พุตแบบรีจิสเตอร์ (Register) หน่วยอินพุต/เอาต์พุตแบบรีโมท, หน่วย อินพุต/เอาต์พุตแบบหน้าจอสัมผัส (Contact) เป็นต้น การใช้ PLC สำหรับควบคุมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้ระบบของ รีเลย์ (Relay) ซึ่งจำเป็นจะต้องเดินสายไฟฟ้าหรือที่เรียกว่า Hard-Wired ฉะนั้นเมื่อมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนกระบวนการผลิตหรือลำดับการทำงานใหม่ก็ต้องเดินสายไฟใหม่ ซึ่งเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้ PLC แล้วการเปลี่ยนกระบวนการผลิตหรือลำดับการทำงานให้นั้นทำได้โดยการเปลี่ยนโปรแกรมใหม่เท่านั้น นอกจากนี้แล้ว PLC ยังใช้ระบบโซลิด-สเตชทซึ่งน่าเชื่อถือ

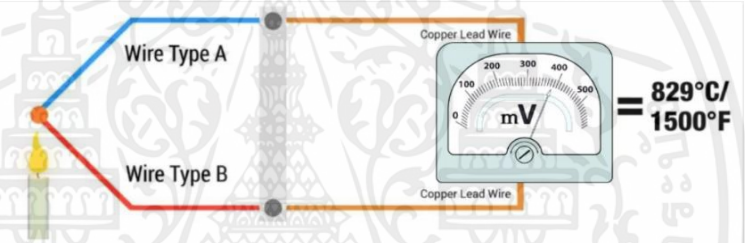
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิเซ็นเซอร์นี้ประกอบด้วยลวดโลหะที่แตกต่างกันสองเส้นต่อเข้าที่ปลายด้านหนึ่งและเชื่อมต่อกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิหรืออุปกรณ์ที่สามารถรองรับการใช้งาน Thermocouple ชนิดต่าง ๆ เมื่อกำหนดค่าอย่างถูกต้องด้วยคุณสมบัติเฉพาะทำให้สามารถวัดระดับความร้อนได้ในช่วงระดับความร้อนที่สูงได้

2.2.1 หลักการทำงาน

เทอร์โมคัปเปิลประกอบด้วยโลหะที่แตกต่างกันที่ปลายทั้งสองข้างและปลายด้านหนึ่งถูกให้ความร้อนจะมีกระแสต่อเนื่องซึ่งไหลในวงจรเทอร์โมอิเล็กทริก ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าซีเบค (Seebeck Effect) ซึ่งหมายความว่าเมื่อจุดเชื่อมต่อของโลหะทั้งสองถูกทำให้ร้อนหรือเย็นลงจะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่สามารถเชื่อมโยงและรู้ค่าระดับความร้อนได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างเทอร์โมคัปเปิล

2.2.2 ประเภทเทอร์โมคัปเปิล

เป็นที่ทราบกับอยู่ว่าเซ็นเซอร์อุณหภูมิชนิดเทอร์โมคัปเปิลนี้มีอยู่ในโลหะผสมที่แตกต่างกัน 2 ชนิดที่พบมากที่สุด คือ “Base Metal” ที่เรียกว่าประเภท N, T, E, J และ K นอกจากนี้ยังมีชนิดพิเศษที่สามารถใช้งานในช่วงอุณหภูมิสูง ที่เรียกว่า Noble Metal ซึ่งมีชื่อเรียกดังนี้ประเภท R, S, C และ GB

2.2.2.1 ชนิด E (Type E)

มีเอาต์พุตสูง (68 μV / ° C) ซึ่งเหมาะอย่างยิ่งกับการใช้งานที่มีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ยังไม่ใช่แม่เหล็ก ช่วงกว้าง คือ −50 °C ถึง +740 °C และช่วงแคบ คือ −110 ° C ถึง +140 ° C

2.2.2.2 ชนิด J (Type J)

มีช่วงที่จำกัดระหว่าง (−40 ° C ถึง +750 ° C) แต่มีความไวสูงประมาณ 50 μV / °C ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ราบรื่นซึ่งจะกำหนดขีดจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.3 ชนิด K (Type K)

เป็นเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้งานทั่วไปมากที่สุดโดยมีความไวประมาณ 41 μV / °C มีราคาไม่แพงและมีหัววัดที่หลากหลายในช่วง −200 °C ถึง +1350 °C

2.2.2.4 ชนิด N (Type N)

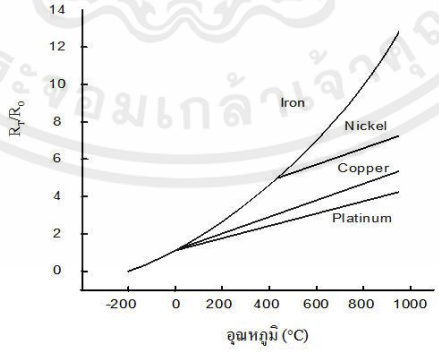
เหมาะสำหรับการใช้งานระหว่าง −270 °C ถึง +1300 °C เนื่องจากความเสถียรและความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชั่นมีความไวต่ออุณหภูมิประมาณ 39 μV / °C ที่ 900 ° C ต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับประเภท K

2.2.2.5 ชนิด T (Type T)

เหมาะสำหรับการวัดในช่วง −200 ถึง 350 ° C มักใช้เป็นการวัดความแตกต่างเนื่องจากมีเพียงลวดทองแดงเท่านั้นที่สัมผัสกับโพรบ มีความไวประมาณ 43 μV / ° C

2.3 อาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector, RTD)

เป็นทรานสดิวเซอร์ (transducer) วัดอุณหภูมิ (temperature) โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ จัดเป็นทรานสดิวเซอร์ประเภทพาสซีพ (passive transducer) การทำงานต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกป้อนให้กับวงจร โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุและอุณหภูมิแสดงความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง โดยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานของโลหะจะมีค่าสูงขึ้นในการใช้งานควรเลือกใช้วัสดุที่ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานสูง เพราะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไปเพียงเล็กน้อยค่าความต้านทานของโลหะจะเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน

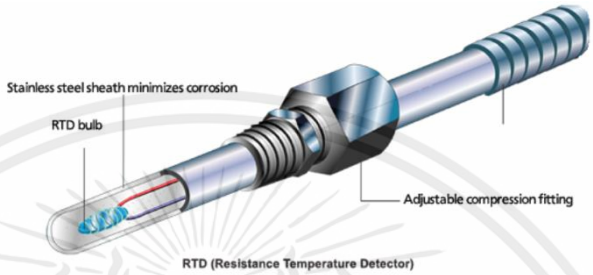


รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานและอุณหภูมิของวัสดุต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 โครงสร้างของอาร์ทีดี

โครงสร้างของอาร์ทีดีประกอบด้วยขดลวดความต้านทานที่ทำจากวัสดุชนิดต่าง ๆ พันรอบแกนหรือหลอดที่มีสภาพเป็นฉนวนไฟฟ้าทนต่อความร้อน จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ขดลวดร้อนจนอ่อนตัวและนำไปอบร้อนเพื่อคลายความเครียดของเส้นลวด

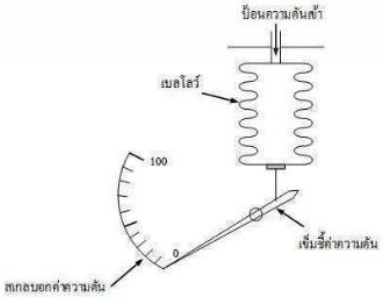


รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของ RTD

2.4 Pressure Transducer (เพรสเซอร์ทรานดิวเซอร์)

เป็นทรานสดิวเซอร์ชนิดพาสซีฟ (Passive Transducer) ที่มีหลักการในการทำงานที่ต้องอาศัยหลักการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งและระยะการเคลื่อนที่ของแผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm Plate) โดยใช้หลักการเดียวกันกับการวัดตำแหน่งและระยะการเคลื่อนที่ด้วย “ทรานสดิวเซอร์ชนิดเปลี่ยนแปลงความจุไฟฟ้า” (Capacitive Displacement Transducer)

โดยโครงสร้างของ Pressure Transducer นั้นจะประกอบไปด้วย แผ่นโลหะไดอะแฟรมขนาดบาง ๆ ที่ถูกยึดติดไว้กับท่อทรงกระบอก ที่เมื่อได้รับความดันเข้ามาก็จะทำให้แผ่นไดอะแฟรมนั้นโก่งตัวไปตามทิศทางของความดัน โดยระยะการโก่งตัวของแผ่นไดอะแฟรมในทรานดิวเซอร์ชนิดนี้จะแปรผันตรงกับขนาดของความดันที่มากระทำ โดยระยะของการโก่งตัวของแผ่นไดอะแฟรมของทรานดิวเซอร์ชนิดนี้จะอยู่ในช่วง 10-8 mm. ถึง 10 mm.



รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานของ Pressure Transducer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากเราต้องการวัดระยะการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุไฟฟ้าของทรานดิวเซอร์ชนิดนี้ สามารถทำได้โดยการติดตั้งแผ่นเพลทตัวนำที่มีฉนวนหุ้ม โดยติดตั้งในแนวขนานประกบแผ่นไดอะแฟรม จากนั้นทำให้แผ่นทั้งสองนี้กลายเป็นขั้วไฟฟ้า และเมื่อแผ่นไดอะแฟรมได้รับความดันเข้ามาก็จะทำให้เกิดการสั่นหรือการโก่งตัวเป็นระยะ ทำให้เราสามารถวัดระยะการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นไดอะแฟรมกับขั้วไฟฟ้าได้นั่นเอง

รูปที่ 2.6 แสดงรูปภาพจริงของ Pressure Transducer

2.5 Level Sensor

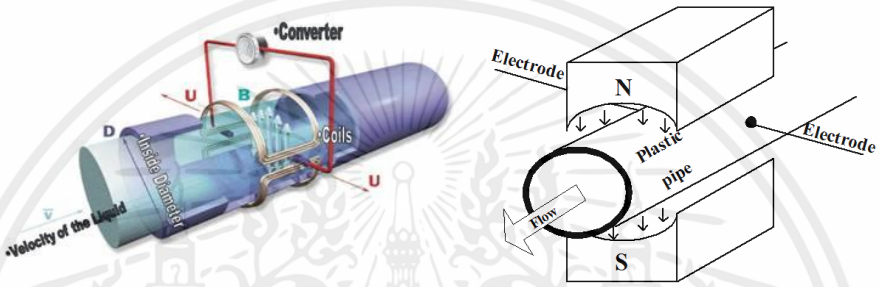
เซ็นเซอร์วัดระดับ เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับระดับของเหลว (Liquid) เช่น วัดระดับความสูงของน้ำ น้ำมันในถัง หรือวัดระดับน้ำในแทงค์เก็บน้ำ เป็นต้น เพื่อจะทราบถึงตำแหน่งและระดับของเหลวนั้นและใช้ในการควบคุมระดับน้ำให้ได้ตามที่ต้องการ โดยต่อร่วมกับตัวควบคุมระดับน้ำ (Level Control), ตัวแสดงผลของระดับน้ำ (Level Indicator) เป็นต้น เพื่อแสดงค่าหรือควบคุมระดับของเหลว และนำค่าต่าง ๆ นี้ไปใช้ในกระบวนการการผลิตต่อไป

รูปที่ 2.7 เซ็นเซอร์วัดระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 Magnetic Flow Meter

เครื่องมือวัดการไหล (flow measurement) ชนิดนี้ทำงานโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็ก เมื่อของเหลวที่เป็นตัวนำไฟฟ้าไหลผ่านสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในแนวตั้งฉากกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก โครงสร้างโดยทั่วไปของเครื่องมือวัดชนิดนี้ประกอบด้วย ท่อที่มีลักษณะเป็นฉนวนไฟฟ้า วางตัวอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็กคงที่ และติดตั้งขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วให้สัมผัสกับของเหลวที่ไหลอยู่ภายในท่อ โดยปลายของขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ด้านใช้เป็นจุดวัดแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการไหลของของเหลว (ดังรูป)



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเครื่องมือวัดการไหลแบบสนามแม่เหล็ก

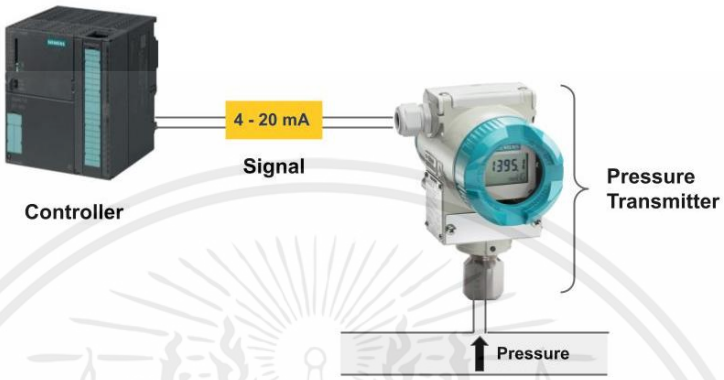
การใช้เครื่องมือวัดการไหลชนิดนี้ต้องมีปริมาณการไหลที่เต็มท่อ สามารถวัดการไหลของของเหลวได้สองทิศทางโดยการกลับขั้วไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่ได้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของของเหลว และความเข้มของสนามแม่เหล็ก ส่วนคุณสมบัติอื่น ของของเหลว เช่น ความหนืด (viscosity) และความหนาแน่น (density) สภาวะการใช้งาน ได้แก่ อุณหภูมิ (temperature) และความดัน (pressure) และลักษณะการไหลทั้งแบบราบเรียบ (laminar flow) และแบบปั่นป่วน (turbulent flow) ไม่ส่งผลต่อเอาต์พุตที่ได้

รูปที่ 2.9 เครื่องมือวัดการไหลแบบสนามแม่เหล็กในรูปแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 Differential Pressure Transmitter

เครื่องมือวัดความดันแตกต่าง เป็นการวัดค่าสูงสุดของความดัน (ความดัน) ตัวอย่างจุดตรวจวัดของสองจุด โดยมีค่าเป็นศูนย์เมื่อความดันทั้งหมดไปที่จุดนั้น การวัดนั้นมีค่าเท่ากันสำหรับการวัดความดัน (การวัดอัตราการไหล) หรือวัดความดันแยกที่ด้านหน้า



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบที่จำเป็นต่อ Pressure Transmitter

2.8 Hart Wireless Adapter for transmitter

อะแดปเตอร์ Smart Wireless THUM เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้กับเครื่องมือสื่อสาร HART® เช่น ตัวควบคุมวาล์วดิจิทัล Fisher FIELDVUE™ อะแดปเตอร์ THUM ปรับโปรโตคอล HART แบบใช้สายเป็นโปรโตคอล Wireless HART อะแดปเตอร์ Smart Wireless THUM™ ในการแก้ไขวาล์ว "ติดขัด" ซึ่งจะช่วยลดการปิดระบบโดยไม่ได้วางแผนโดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่ภายในระบบควบคุมปัจจุบันของตัวเครื่อง

รูปที่ 2.11 Hart Wireless Adapter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 Flow Control Valve

วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow Control Vales) วาล์วทำหน้าที่ควบคุมปริมาณการไหลของลมอัดให้ไหลผ่านได้มากหรือน้อยโดยผ่านช่องแคบและเป็นวาล์วที่ควบคุมอุปกรณ์ทำงานในระบบนิวเมติกส์ให้มีการทำงานช้าหรือเร็วตามความต้องการและเพื่อให้มีการทำงานที่สะดวกและมีความปลอดภัยในการควบคุมความดันในระบบ

รูปที่ 2.12 Flow Control Valve

2.10 Valve Positioner

Positioner ถือเป็นตัวควบคุมวาล์ว (Controller) ตัวหนึ่ง ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณที่อยู่ในรูปความดันอากาศ (Pneumatic Signal) หรือสัญญาณไฟฟ้า (Electronic Signal) กับตัวควบคุมหลักกับสัญญาณของตำแหน่งก้านลิ้นวาล์วที่ต่างกัน Positioner ส่งแรงดันจากอากาศไปกระตุ้น Actuator ให้เคลื่อนที่ไปตำแหน่งที่ต้องการจนกว่าได้ผลต่างของสัญญาณนั้น ๆ หรือควบคุมการเปิดปิดตามสัญญาณนั้นเอง

Positioner จึงนำมาใช้ประโยชน์ เข้ากับอุปกรณ์ Actuator ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการทำงาน ควบคุมการเปิดปิด ลดผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความแม่นยำพื้นฐานของวาล์วควบคุมต่าง ๆ

รูปที่ 2.13 Valve Positioner

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 การสอบเทียบ (Calibration)

การสอบเทียบ (Calibration) คือ การปฏิบัติการเปรียบเทียบผลการวัด ของเครื่องมือวัดที่ไม่รู้ค่าความถูกต้องกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์มาตรฐาน ที่รู้ค่าความถูกต้องเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างกัน และ รายงานผล รวมทั้งปรับแต่งเครื่องมือวัด ในกรณีที่ผลการตรวจวัดผิดไปจากเกณฑ์ที่กำหนด มีการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับการสอบเทียบเครื่องมือวัดแต่ละรายการกระทำโดยเจ้าหน้าที่ภายในหรือภายนอกของห้องปฏิบัติการ ที่มีความรู้ ประสบการณ์ และผ่านการอบรมที่เกี่ยวกับการสอบเทียบเครื่องมือวัดแต่ละรายการ

2.12 PID Controller

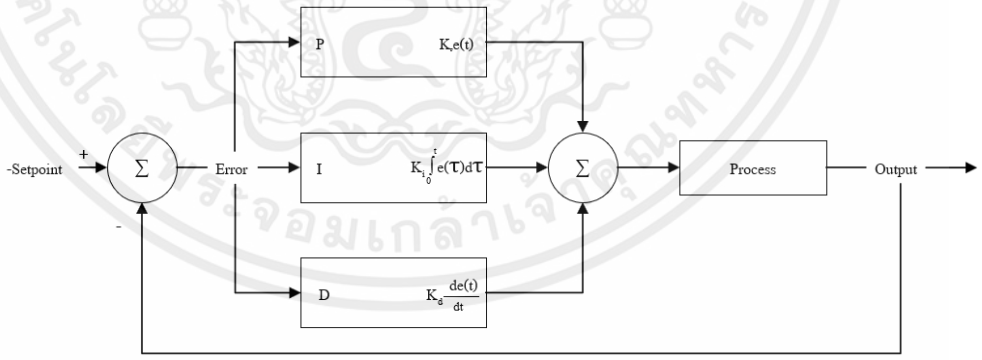
ระบบควบคุมแบบสัดส่วน เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ

P : สัดส่วน ส่วนเบี่ยงเบนอินพุตคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์

I : อินทิกรัล ดำเนินการอินทิกรัลในส่วนเบี่ยงเบนอินพุต

D : มันคือความแตกต่างซึ่งดำเนินการแยกส่วนกับส่วนเบี่ยงเบนอินพุต

การควบคุมแบบ PID เป็นการควบคุมแบบป้อนกลับเชิงลบ เนื่องจากในระบบควบคุมแบบป้อนกลับ ตัวควบคุมอัตโนมัติและวัตถุควบคุมจะสร้างวงจรปิด



รูปที่ 2.14 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบพีไอดี

2.12.1 วิธีคำนวณของ PID

ขึ้นอยู่กับสามตัวแปร คือ ค่าสัดส่วน, ปริพันธ์ และ อนุพันธ์ ค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน, ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งพึ่งผ่านพ้นไป, และค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการ โดยการปรับค่าคงที่ใน PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวควบคุมสามารถปรับรูปแบบการควบคุมให้เหมาะกับที่กระบวนการต้องการได้ การตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุมจนถึงค่าความผิดพลาด ค่าโอเวอร์ชูต (overshoots) และ ค่าแกว่งของระบบ (oscillation)

2.12.2 สัดส่วน (ส่วนขยาย)

เทอมของสัดส่วน (บางครั้งเรียก อัตราขยาย) จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด การตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่ Kp, หรือที่เรียกว่าอัตราขยายสัดส่วน

เทอมของสัดส่วนจะเป็นไปตามสมการ:

$P_{out} = K_P e(t)$

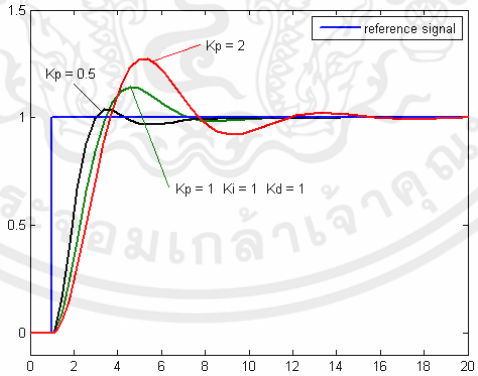
P_{out} = สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน

K_P = อัตราขยายสัดส่วน, ตัวแปรปรับค่าได้

e = ค่าความผิดพลาด SP-PV

t = เวลา

ผลอัตราขยายสัดส่วนที่สูงค่าความผิดพลาดก็จะเปลี่ยนแปลงมากเช่นกัน แต่ถ้าสูงเกินไประบบจะไม่เสถียรได้ ในทางตรงกันข้าม ผลอัตราขยายสัดส่วนที่ต่ำ ระบบควบคุมจะมีผลตอบสนองต่อกระบวนการน้อยตามไปด้วย



รูปที่ 2.15 กราฟ PV ต่อเวลา, Kp กำหนดเป็น 3 ค่า(Ki และ Kd คงที่)

2.12.3 ปริพันธ์ (reset)

ผลจากเทอมปริพันธ์ (บางครั้งเรียก reset) เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด) จะให้ออฟเซ็ตสะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้า ความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์ K_i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอมปริพันธ์จะเป็นไปตามสมการ:

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(t)\,dt$$

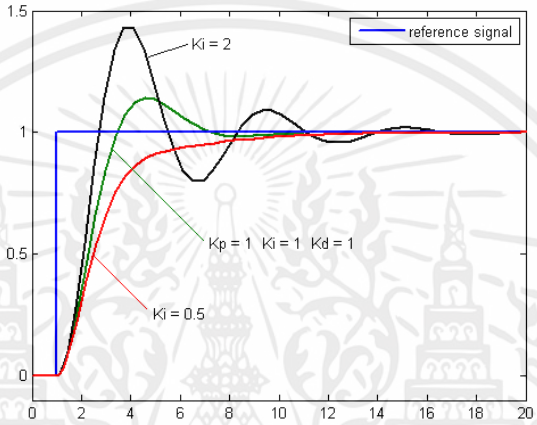
I_{out} = สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

K_i = อัตราขยายปริพันธ์ ตัวแปรปรับค่าได้

e = ค่าความผิดพลาด SP-PV

t = เวลา

T = ตัวแปรอนุพันธ์



รูปที่ 2.16 กราฟ PV ต่อเวลา, Ki กำหนดเป็น 3 ค่า (Kp และ Kd คงที่)

เทอมปริพันธ์ (เมื่อรวมกับเทอมสัดส่วน) จะเร่งกระบวนการให้เข้าสู่จุดที่ต้องการและขจัดความผิดพลาดที่เหลืออยู่ที่เกิดจากการใช้เพียงเทอมสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตาม เทอมปริพันธ์เป็นการตอบสนองต่อความผิดพลาดสะสมในอดีต จึงสามารถทำให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ (ข้ามจุดที่ต้องการและเกิดการหันเหไปทางทิศทางอื่น)

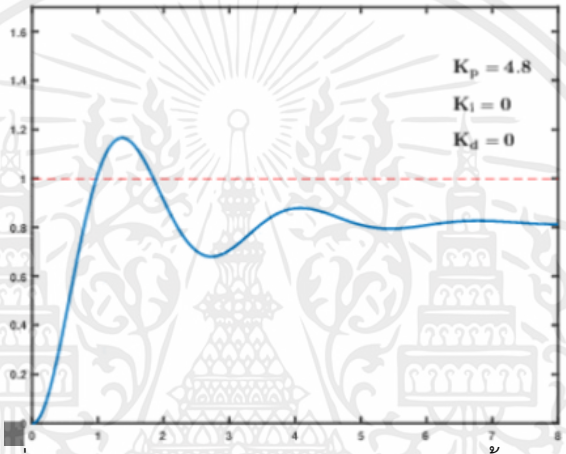
2.12.4 อนุพันธ์

อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดจากกระบวนการนั้นคำนวณหาจากความชันของความผิดพลาดทุก ๆ เวลา (นั่นคือ เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งสัมพันธ์กับเวลา) และคูณด้วยอัตราขยายอนุพันธ์ K_d ขนาดของผลของเทอมอนุพันธ์ (บางครั้งเรียกอัตรา) ขึ้นอยู่กับอัตราขยายอนุพันธ์ K_d

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.5 การปรับจูนด้วยมือ

ถ้าระบบยังคงทำงาน ขั้นแรกให้ตั้งค่า K_i และ K_d เป็นศูนย์ เพิ่มค่า K_p จนกระทั่งสัญญาณขาออกเกิดการแกว่ง (oscillate) แล้วตั้งค่า K_p ให้เหลือครึ่งหนึ่งของค่าที่ทำให้เกิดการแกว่ง สำหรับการตอบสนองชนิด "quarter amplitude decay" แล้วเพิ่ม K_i จนกระทั่งออฟเซ็ตถูกต้องในเวลาที่พอเพียงของกระบวนการ แต่ถ้า K_i มากไปจะทำให้ไม่เสถียร สุดท้ายถ้าต้องการ ให้เพิ่มค่า K_p จนกระทั่งลูปอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่ถ้า K_d มากเกินไปจะเป็นเหตุให้การตอบสนองและโอเวอร์ชูตเกินยอมรับได้ ปกติการปรับจูน PID ถ้าเกิดโอเวอร์ชูตเล็กน้อยจะช่วยให้เข้าสู่จุดที่ต้องการเร็วขึ้น แต่ในบางระบบไม่สามารถยอมให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ และถ้าค่า K_p น้อยเกินไปก็จะทำให้เกิดการแกว่ง



รูปที่ 2.17 ผลของการเปลี่ยนพารามิเตอร์ของ PID (Kp, Ki, Kd) บนขั้นของการตอบสนองของระบบ

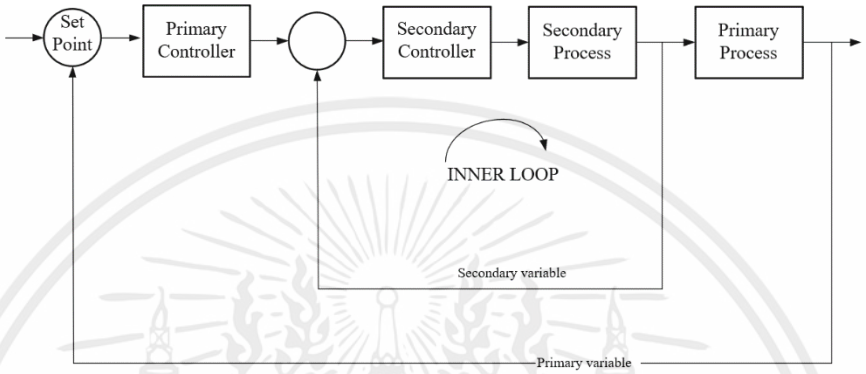
ตาราง 2.1 ผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ

ตัวแปร	ช่วงเวลาขึ้น (Rise time)	โอเวอร์ชูต (Overshoot)	เวลาสู่สมดุล (Settling time)	ความผิดพลาดสถานะคงตัว (Steady-state error)	เสถียรภาพ
K_p	ลด	เพิ่ม	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลด	ลด
K_i	ลด	เพิ่ม	เพิ่ม	ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ	ลด
K_d	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลดลง	ลดลง	ตามทฤษฎีไม่มีผล	ดีขึ้นถ้า K_d มีค่าน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

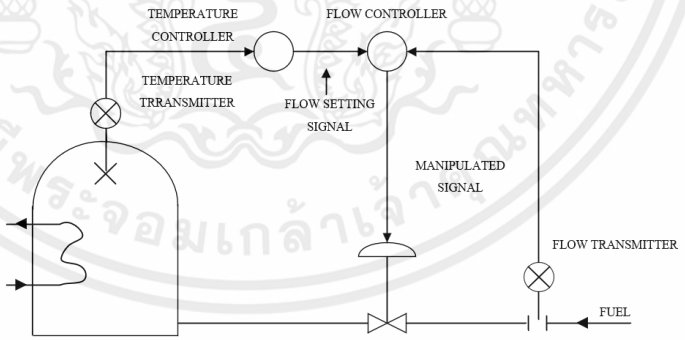
2.13 Cascade Control

การจัดระบบควบคุมในแบบ Cascade ก็คือ การกำหนดให้ Output จาก Controller หนึ่งไปเป็น Input หรือ Set Point ให้กับ Controller อีกชุดหนึ่ง หรือจะมองในอีกมุมหนึ่งก็คือการแทรกระบบ Feedback Loop อันหนึ่งไว้ในระบบ Feedback Loop อีกอันหนึ่ง นั่นเองDiagram ของการควบคุมแบบ Cascade ดังรูป



รูปที่ 2.18 แสดง Cascade Control

Primary Controller หรือ Master Controller เป็นตัวควบคุมหลัก จำเป็นต้องมี Secondary Controller หรือ Slave Controller เป็นตัวควบคุมรอง ไม่จำเป็นต้องมีก็สามารถควบคุม Process ได้ด้วย Primary Controller

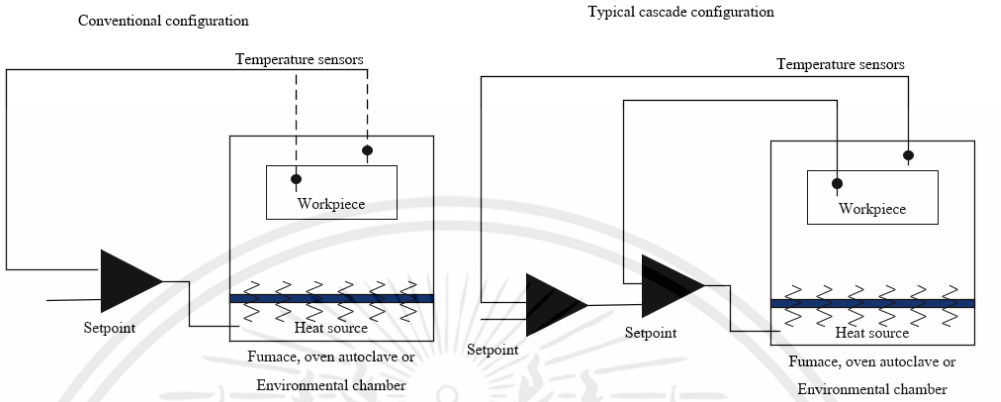


รูปที่ 2.19 แสดง Cascade Control การควบคุมอุณหภูมิของ Heater

การควบคุมอุณหภูมิเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยุ่งยากในระบบ Control เนื่องจากว่า การตอบสนองของ Instrument ไม่ได้เกิดขึ้นทันทีทันใด เช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขึ้นจริงของระบบจาก 100˚C เป็น 200˚C ไปแล้วแต่ตัว Instrument หรือ Temperature Sensor ยังค่อย ๆ อ่านค่าไต่ขึ้นไปจนกระทั่งเท่ากับค่าจริงนั้นต้องใช้เวลาค่อนข้างนาน คือเกิด Time Lag ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือหากระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบ่อย ๆ ยิ่งมีปัญหาเพราะว่า Instrument ต้องไล่ตามวัดค่าที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและไม่สามารถไล่ทันด้วย ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าว ด้วยการใช้ระบบ Cascade Control เข้ามาช่วย



รูปที่ 2.20 แสดง Configuration ของการควบคุมแบบ Cascade

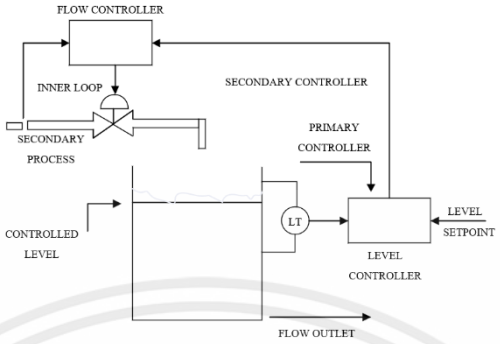
จาก Diagram จะสังเกตว่า Process หรือกระบวนการที่ต้องการจะควบคุม (Controlled Process) ถูกแบ่งส่วนออกโดยมีการนำเอาตัวแปรของ Process ที่ยังเปลี่ยนแปลงอยู่ที่เรียกชื่อว่า Intermediate Variable หรือ Secondary Variable มาเป็น Controlled Variable ของการควบคุมส่วนใน (Inner Control Loop)

Controller ใน Inner Loop มีชื่อเรียกว่า Secondary Controller หรือ Slave Controller จะประมวลโดยใช้ค่า Set Point ซึ่งเป็น Output จาก Primary Controller หรือ Master Controller โดย Primary Controller จะวัดค่า Controlled Variable ที่ถือว่าเป็นผลจากระบบควบคุมแบบ Cascade ที่เรียกว่า Primary หรือ Final Variable แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่า Set Point การตัดตอน Process ออกเป็นสองส่วน (Primary และ Secondary Process) จะทำให้ Process Lag ในกระบวนการรวมถูกตัดตอนออกเป็นสองส่วนไปด้วยซึ่งจะเป็นผลให้การควบคุมทำได้ง่ายขึ้น เสมือนหนึ่งเป็นการลดขนาดของ Time Lag นั่นเอง โดย Time Lag แต่ละตัวจะถูกประมวลผลไปพร้อม ๆ กัน ทำให้ Time Lag มีผลกระทบต่อการควบคุมลดลงไปด้วย Cascade Control จึงเหมาะที่จะใช้การควบคุม Process ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างช้า หรือ Process ที่มี Time Constant มาก ๆ เช่น การควบคุมอุณหภูมิ

Process ที่กล่าวถึงนี้เมื่อมี Error หรือ Deviation เกิดขึ้นแล้วก็มักจะเป็นอยู่นานและแม้แต่สภาพ Disturbance (S) ที่ผ่านเข้ามารบกวนกับ Process ก็ต้องอาศัยระยะเวลานานพอสมควรจึงจะแสดงผลออกมาให้ระบบควบคุมทราบและจัดการแก้ไข ผลของการแก้ไขก็เช่นกัน จำเป็นต้องรอเวลาอยู่ระยะหนึ่งจึงจะเห็นผล Process ที่มีลักษณะดังกล่าวมักจะเป็น Process ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนหรือการควบคุมอุณหภูมิของ Process ที่มีมวล (Mass) หรือความจุความร้อน (Heat Capacity) สูง



รูปที่ 2.21 แสดงตัวอย่าง Cascade Control การควบคุมระดับน้ำ

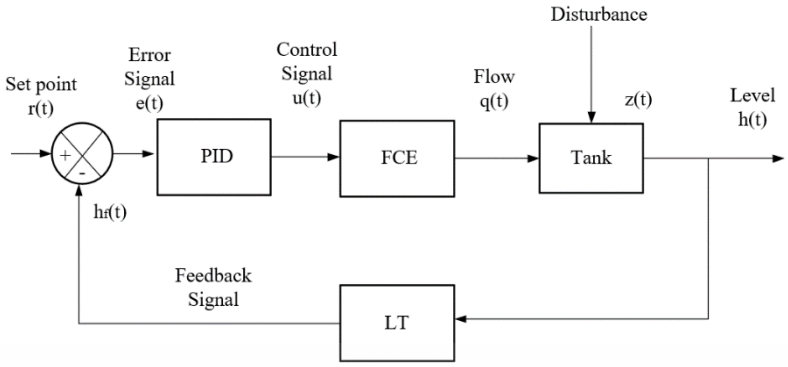
จากรูปที่ 2.21 เป็นการควบคุมระดับน้ำในถังน้ำขนาดใหญ่ (Large Capacity) โดยการควบคุมปริมาณของน้ำที่ไหลผ่าน Control Valve มี Level Controller ทำหน้าที่เป็น Primary Controller วัดระดับน้ำเพื่อเปรียบเทียบกับ Set Point และส่ง Output ไปยัง Flow Controller ซึ่งทำหน้าที่เป็น Secondary Controller จุดเด่นของการควบคุมในลักษณะนี้ที่น่าสนใจคือ เมื่อเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ Flow Rate ไปจาก Set Point นั้นตัว Secondary Controller จะทำการแก้ไขทันทีโดยที่ Level Error ยังไม่ทันจะเกิดขึ้น ทำให้การควบคุมระดับทำได้แม่นยำขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าถังน้ำที่มีขนาดความจุสูงย่อมจะมี Process Lag ที่ยาวนานและหากปล่อยให้ Level เปลี่ยนแปลงไป การควบคุมจะทำได้ยากและใช้เวลานานขึ้น

2.14 การหาโมเดลทรานเฟอร์ฟังก์ชันของการควบคุมระดับน้ำ

การควบคุมระดับของเหลวในถังถือเป็นหนึ่งในส่วนที่สำคัญที่สุดที่นำไปใช้กับโรงงานหลายแห่งในอุตสาหกรรมกระบวนการ เช่น อุตสาหกรรมปิโตรเลียมและก๊าซ อุตสาหกรรมเคมีการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม การบำบัดน้ำ โลหะวิทยา และอุตสาหกรรมอื่น ๆ

ในส่วนของขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมอัตโนมัตินั้นแรงดันต่างชนิดเครื่องส่งสัญญาณระดับ (LT) จะวัดระดับน้ำในถัง ผลการวัดของ LT คือสัญญาณเอาต์พุตกระแสไฟฟ้าที่มีช่วงตั้งแต่ 4 mA ถึง 20 mA จากนั้นจะถูกป้อนเข้าสู่ตัวควบคุมระดับ (LC) โดยใช้ตัวควบคุม PID จากนั้น LC จะคำนวณความแตกต่างระหว่างค่าอินพุตสัญญาณของ LT กับจุดที่ตั้งไว้บน LC นั่นคือระดับน้ำที่ต้องการ หากมีข้อผิดพลาด LC จะสั่งให้วาล์วควบคุม (CV) ผ่านกระแสไปที่แรงดัน (I/P) เพื่อเปิดหรือปิดปิดวาล์ว ส่งผลให้ปริมาณน้ำไหลเข้าถังเพิ่มขึ้นหรือลดลง กระบวนการดำเนินต่อไปจนกว่าข้อผิดพลาดจะเป็นศูนย์ กระบวนการทำงานของการควบคุมระดับน้ำจะแสดงผ่านแผนภาพบล็อกในรูปที่ 2.22

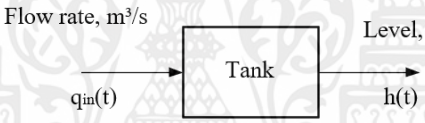
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมระดับ

2.14.1 Process Tank

ถังกระบวนการคือการแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในถัง สัญญาณอินพุตของถังคืออัตราการไหลของน้ำ q_{in} (m3 /s) ในขณะที่สัญญาณเอาต์พุตคือระดับน้ำในถัง h (m) ความสัมพันธ์ระหว่าง q_{in} และ h แสดงในแผนภาพที่ 2.23



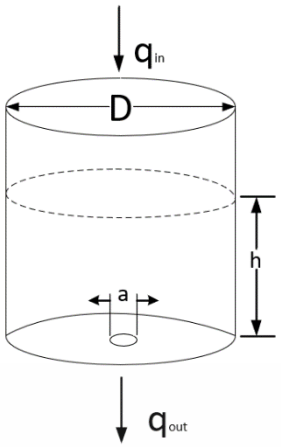
รูปที่ 2.23 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของถังกระบวนการ

ระดับน้ำในถัง h ซึ่งได้จากการปรับอัตราการไหลของน้ำที่ไหลออกจากถัง q_{out} ของถังผ่านวาล์ว K1 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง q_{in} และการเปิดวาล์ว q_{out} และระดับน้ำในถัง h ในสภาวะสมดุลถูกจำลองโดยแบบจำลองถังไหลตามแรงโน้มถ่วงดังแสดงใน รูปที่ 2.24 ระดับน้ำ h (m) ที่เกิดขึ้นในถังได้มาจากสมการต่อไปนี้

$$A\frac{dh}{dt} = q_{in\,(t)} - q_{out\,(t)} \qquad (2.1)$$

โดยที่ A คือพื้นที่ของถัง (m2) q_{in} คืออัตราการไหลของน้ำที่เติมถัง (m3/s) และ q_{out} คืออัตราการไหลของน้ำออกจากถัง (m3/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 จำลองถังไหลตามแรงโน้มถ่วง

จากการใช้สมการเบอร์นูลี อัตราการไหลของน้ำที่ไหลออกจากรูก้นถัง q_{out} จะได้จากสมการต่อไปนี้

$$q_{out} = a\sqrt{2\,g\,h} \tag{2.2}$$

โดยที่ g คือแรงโน้มถ่วง (m/s2) และ a คือ พื้นที่ของวาล์วเปิด K1 (m^2) โดยการแทนที่สมการเข้ากับสมการ (2.1) จะได้สูตรของ $A\frac{dh}{dt}$ จะได้รับดังนี้

$$A\frac{dh}{dt} = q_{in\,(t)} - a\sqrt{2\,g\,h} \tag{2.3}$$

จากนั้น ในสถานะคงตัว dh/dt = 0 สมการ (2.3) จะกลายเป็น

$$0 = q_{in} - a\sqrt{2\,g\,h} \tag{2.4}$$

จากสมการ (2.4) ในสภาวะคงตัว $q_{in} = q_{out}$ ในระดับน้ำ h ก็อยู่ในสภาวะคงตัวเช่นกัน จากนั้นเพื่อให้ได้พื้นที่เปิดของวาล์ว a เพื่อให้ได้ระดับน้ำที่ต้องการ จะได้ สมการ (2.5) ดังต่อไปนี้

$$a = \frac{q_{in}}{\sqrt{2\,g\,h_{ss}}} \tag{2.5}$$

โดยที่ h_{ss} คือ ความสูงของระดับน้ำในสภาวะคงตัว (m) ระดับ h(t) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลของน้ำที่เติมถัง qin สามารถหาได้จากสมการ (2.3) ดังแสดงตามสมการ (2.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dh}{dt} = \frac{q_{in}}{A} = \frac{a}{A}\sqrt{2gh} \tag{2.6}$$

ค่าเบี่ยงเบนของจุดสมดุล h ได้มาจากสมการต่อไปนี้

$$h = h_{ss} + \Delta h \tag{2.7}$$

โดยที่ h_{ss} คือระดับน้ำในสภาวะคงตัว (m) โดยการแก้ไขสมการ (2.5) จะได้ไฮสปีดได้จากสมการต่อไปนี้

$$h_{ss} = \frac{q_{in_ss}^2}{2ga^2} \tag{2.8}$$

โดยที่ q_{in_ss} คือ อัตราการไหลของน้ำที่ไหลลงถังในสภาวะคงที่ จากนั้นการรวมกันของสมการ (2.6) และสมการ (2.7) จะถูกฝังอยู่ในสมการดังนี้

$$\frac{d}{dt} = (h_{ss} + \Delta h) = \frac{q_{in}}{A} - \frac{a\sqrt{2g}}{A}\sqrt{h} \tag{2.9}$$

เนื่องจาก h_{ss} เป็นค่าคงที่ สมการ (2.9) จึงกลายเป็น

$$\frac{d\Delta h}{dt} = f(q_{in}, h) = \frac{q_{in}}{A} - \frac{a\sqrt{2g}}{A}\sqrt{h} \tag{2.10}$$

การใช้อนุกรมไทเลอร์ลำดับที่หนึ่ง สามารถเขียนสมการ (2.10) ได้ดังนี้

$$\frac{d\Delta h}{dt} = \frac{\Delta q_{in}}{A} - \frac{a\sqrt{2g}}{2A\sqrt{h_{ss}}}\Delta h \tag{2.11}$$

ดังนั้น สมการ (2.11) จึงเป็นแบบจำลองของระบบระดับน้ำในถังที่มีแบบจำลองถังไหลตามแรงโน้มถ่วงโดยที่ระบบเป็นแบบเส้นตรง การแปลงลาปลาซของสมการ (2.11) โดยการที่สมมติว่า $\Delta h(0) = 0$ สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$s\Delta h = \frac{\Delta q_{in}}{A} - \frac{a\sqrt{2g}}{2A\sqrt{h_{ss}}}\Delta h \tag{2.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นสมการพีชคณิตของ Δh(s) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Delta h = \frac{\frac{1}{A}}{s + \frac{a\sqrt{2g}}{2A\sqrt{h_{ss}}}} \Delta q_{in} \tag{2.13}$$

เพราะว่า transfer function สำหรับ G(s) คือ

$$G(s) = \frac{\Delta h}{\Delta q_{in}} = \frac{\frac{1}{A}}{s + \frac{a\sqrt{2g}}{2A\sqrt{h_{ss}}}} \tag{2.14}$$

จากนั้นแก้สมการ (2.14) เพื่อให้ได้ค่าเกนและค่าคงที่เวลา ตอนนี้เขียนสมการ (2.14) ได้ดังนี้

$$G(s) = \frac{\frac{\sqrt{2h_{ss}}}{a\sqrt{g}}}{\frac{A\sqrt{2h_{ss}}}{a\sqrt{g}} s + 1} \tag{2.15}$$

หรือโดยการใช้สมการ (2.15) สามารถเขียนได้อีกรูปแบบหนึ่งโดยเขียนด้วยสมการ (2.16) ได้ดังนี้

$$G(s) = \frac{\frac{q_{in_s} s}{a^2 g}}{\frac{A q_{in_s} s}{a^2 g} + 1} \tag{2.16}$$

สมการ (2.16) คือรูปแบบหนึ่งของฟังก์ชันการถ่ายโอนลำดับที่หนึ่งโดยทั่วไปจะแสดงโดยสมการ (2.17)

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} \tag{2.17}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ K คือเกน และ τ คือค่าคงที่เวลา (วินาที) ดังนั้นจากสมการ (2.15) จะได้ K และ τ ดังนี้

$$K = \frac{\sqrt{2h_{ss}}}{a\sqrt{g}} \tag{2.18}$$

และ

$$\tau = \frac{A\sqrt{2h_{ss}}}{a\sqrt{g}} \tag{2.19}$$

จากนั้นจะได้ K และ τ จากสมการ (2.16) ดังนี้

$$K = \frac{q_{in_ss}}{a^2 g} \tag{2.20}$$

และ

$$\tau = \frac{Aq_{in_ss}}{a^2 g} \tag{2.21}$$

ผลลัพธ์ผลการจำลองด้วยสมการโมเดลสมการ (2.6) และค่าเกน K จากผลการจำลองโมเดลจะได้ผ่านสมการ (2.22) ดังนี้

$$K = \frac{\text{output on steady state}}{\text{input on steady state}} \frac{\Delta y}{\Delta x} \tag{2.22}$$

สำหรับการได้รับค่าคงที่เวลาจะใช้สมการ (2.23)

$$\tau = KA \tag{2.23}$$

โดยที่ A คือพื้นที่ถัง (m^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 การหาโมเดลทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวาล์วควบคุม

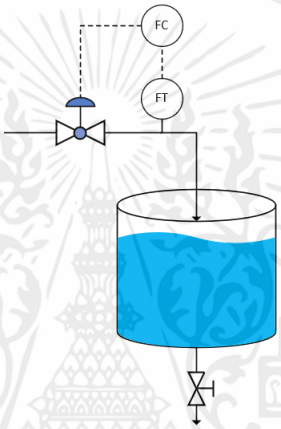
ฟังก์ชันการถ่ายโอนของวาล์วสามารถแสดงได้ดังนี้

$$Gc(s) = Kc / (1 + \tau s) \tag{2.24}$$

เมื่อ Gc(s) คือฟังก์ชันถ่ายโอนของวาล์วควบคุม

Kc คืออัตราขยายของวาล์ว

τ คือค่าคงที่เวลาของวาล์ว



รูปที่ 2.25 Flow Control Diagram

2.15.1 การหา valve gain

ใช้สมการของ flow characteristic สำหรับวาล์วที่มี flow characteristic แบบต่าง ๆ นอกเหนือจาก linear สามารถหา valve gain ได้จากสมการของ flow characteristic นั้น ๆ ตัวอย่างเช่น วาล์วที่มี flow characteristic แบบ equal percentage valve สามารถหา valve gain จากสมการต่อไปนี้

$$Kc = \frac{100}{(1 + (h / hmax)^2)} \tag{2.25}$$

เมื่อ Kc คือ valve gain

h คือ ระยะการเคลื่อนที่ของก้านวาล์ว

hmax คือ ระยะการเคลื่อนที่ของก้านวาล์วสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้สมการของ flow characteristic สำหรับวาล์วที่มี flow characteristic แบบอื่น ๆ นอกเหนือจาก linear สามารถหา valve time constant ได้จากสมการของ flow characteristic นั้น ๆ ตัวอย่างเช่น วาล์วที่มี flow characteristic แบบ equal percentage valve สามารถหา valve time constant จากสมการต่อไปนี้

$$\tau = \frac{\text{hmax}}{(\text{K} * \text{Kc})} \tag{2.26}$$

เมื่อ τ คือ เวลาคงที่ของวาล์ว

hmax คือ ระยะการเคลื่อนที่ของก้านวาล์วสูงสุด

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหล

Kc คือ valve gain

2.15.2 Flow coefficient หรือ Cv

คือค่าสัมประสิทธิ์การไหลของวาล์ว ใช้ในการวัดความสามารถในการไหลของวาล์ว หน่วยของ Cv มักใช้หน่วย US gallons per minute (gpm) ที่ความดันตกคร่อม 1 psi ณ อุณหภูมิ 60 องศาฟาเรนไฮต์ Flow coefficient สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Cv} = \frac{\text{Q}}{(\Delta\text{P})^{0.5}} \tag{2.27}$$

เมื่อ Cv คือ ค่าสัมประสิทธิ์การไหล flow coefficient

Q คือ อัตราการไหลของของเหลว (หน่วยลิตรต่อวินาที)

ΔP คือ ความดันตกคร่อม (หน่วยปาสกาล)

2.15.3 การหา ΔP จากสมการ Darcy-Weisbach

เป็นสมการที่ใช้คำนวณความดันตกคร่อมในท่อที่ไหลผ่านของเหลว

$$\Delta\text{P} = \frac{32\ \mu\ \text{L}}{(2\text{g}\ \text{D})} \tag{2.28}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ΔP คือ ความดันตกคร่อม

μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของของเหลว (หน่วยปาสกาล-วินาที)

L คือ ความยาวของท่อ (หน่วยเมตร)

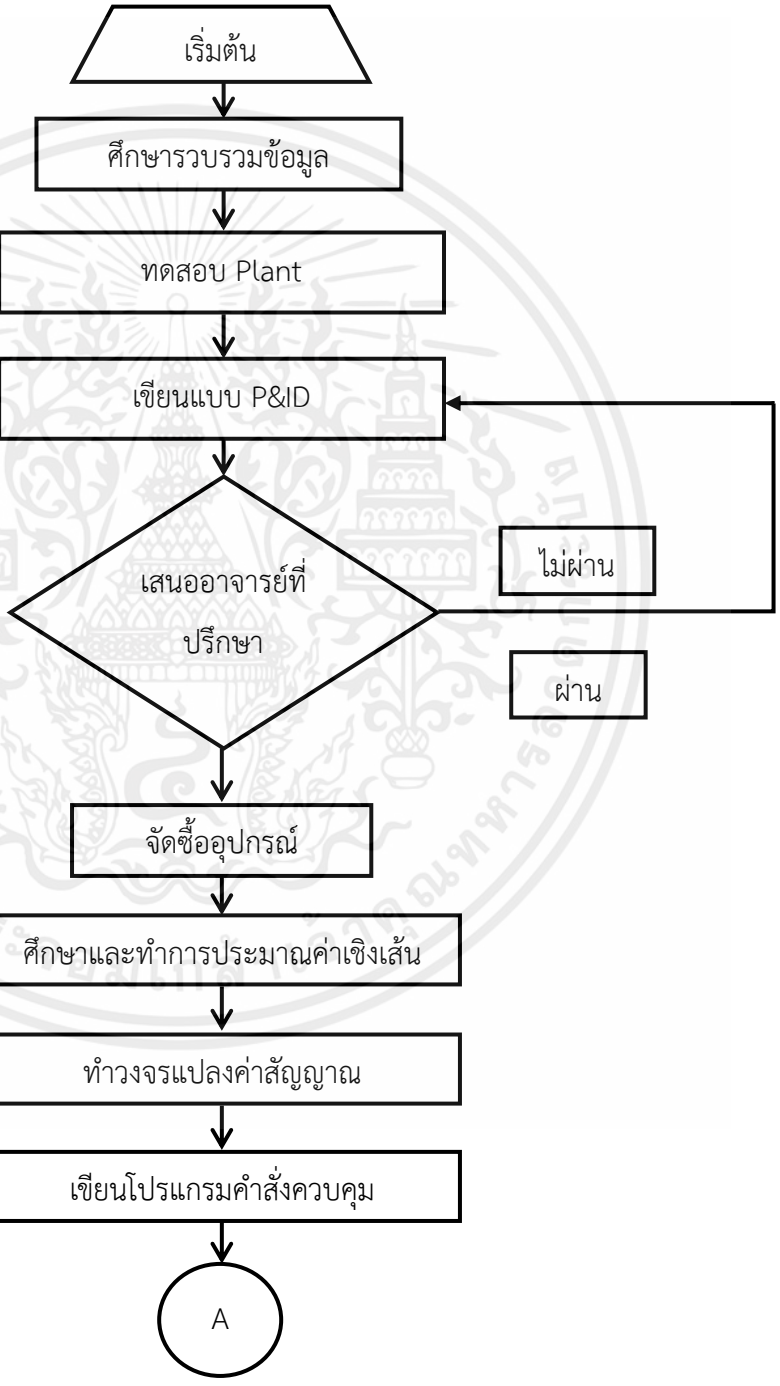
g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (หน่วยเมตรต่อวินาที^2)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (หน่วยเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

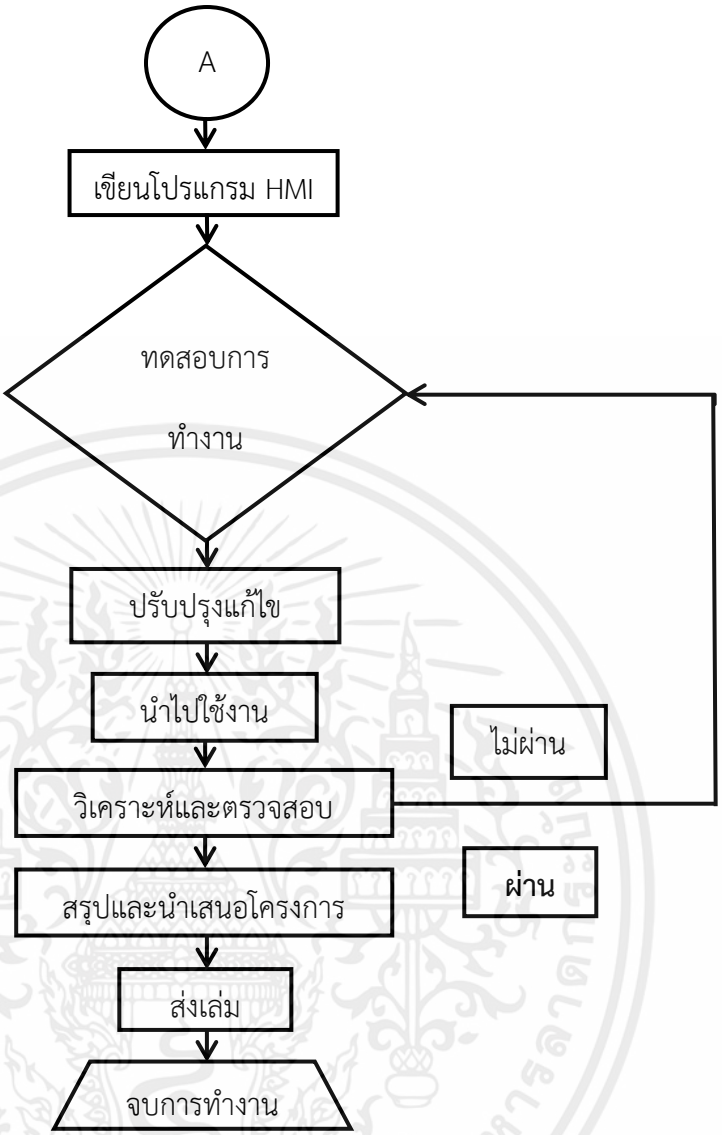
บทที่ 3
วิธีการดำเนินการ

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



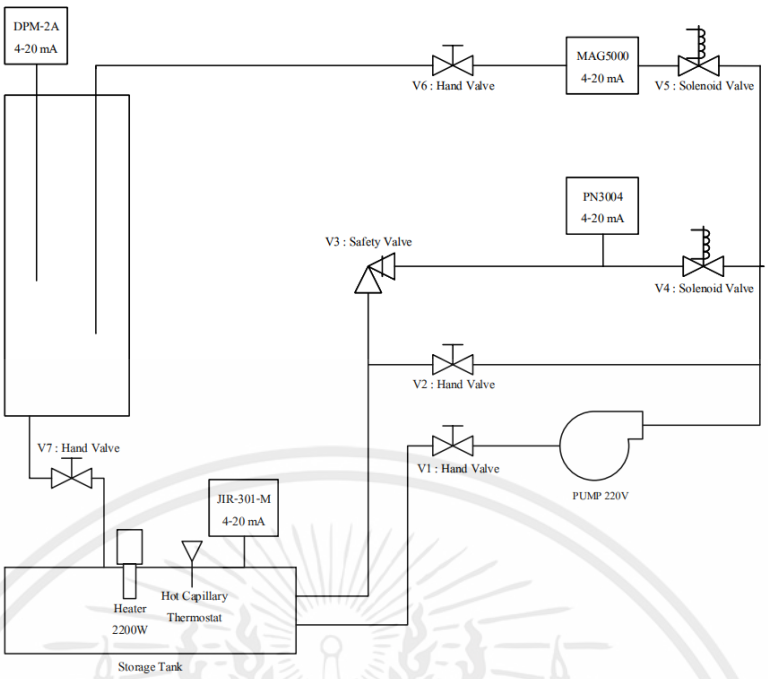
รูปที่ 3.2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิจัย (ต่อ)

3.2 การเขียนแบบ P&ID สำหรับ Plant

สำหรับการออกแบบ P&ID ของ Process Control Simulation Plant โดยใช้โปรแกรม VISIO และมีส่วนประกอบหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

1) Level Sensor (DPM-2A)
2) Magnetic Flow Meter (MAG5000)
3) Pressure Transducer (PN3004)
4) Transmitter (JIR-301-M)
5) Pump
6) Heater
7) Application Tank

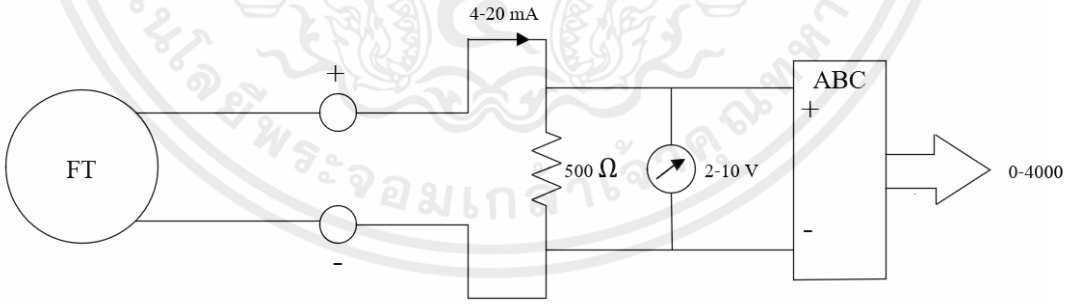
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แบบ P&ID สำหรับ Process Control Unit

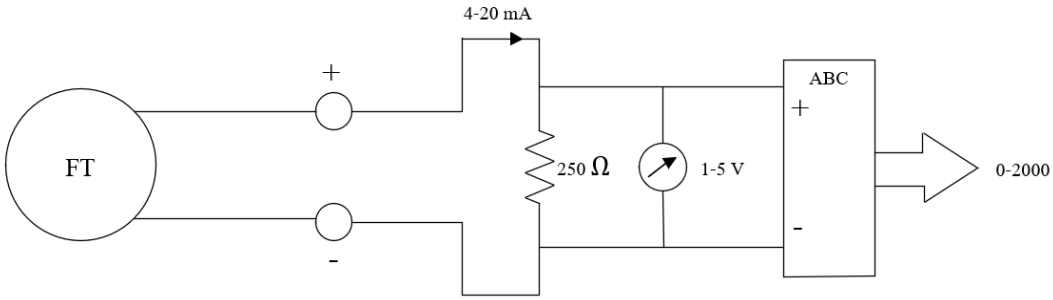
3.3 การออกแบบวงจรในการแปลงค่าสัญญาณ Analog 4-20 mA เป็น 2-10 VDC

เนื่องด้วยการรับค่าอนาล็อกในตัวพอร์ตของ PLC เป็น 0-10 VDC ทางผู้จัดทำจึงได้ทำการออกแบบ สั่งซื้ออุปกรณ์ และนำมาต่อวงจรเป็นตัวแปลงสัญญาณ โดยใช้ตัวต้านทานค่า 500 โอห์ม และ 250 โอห์ม เพื่อที่จะแปลงค่าสัญญาณอนาล็อก 4-20 mA เป็น 2-10 VDC และ 1-5 VDC

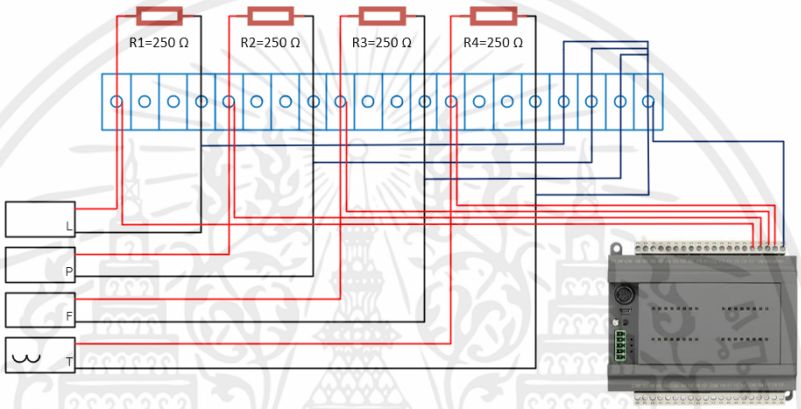


รูปที่ 3.4 วงจรในการแปลงค่าสัญญาณ Analog 4-20 mA เป็น 2-10 VDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรในการแปลงค่าสัญญาณ Analog 4-20 mA เป็น 1-5 VDC

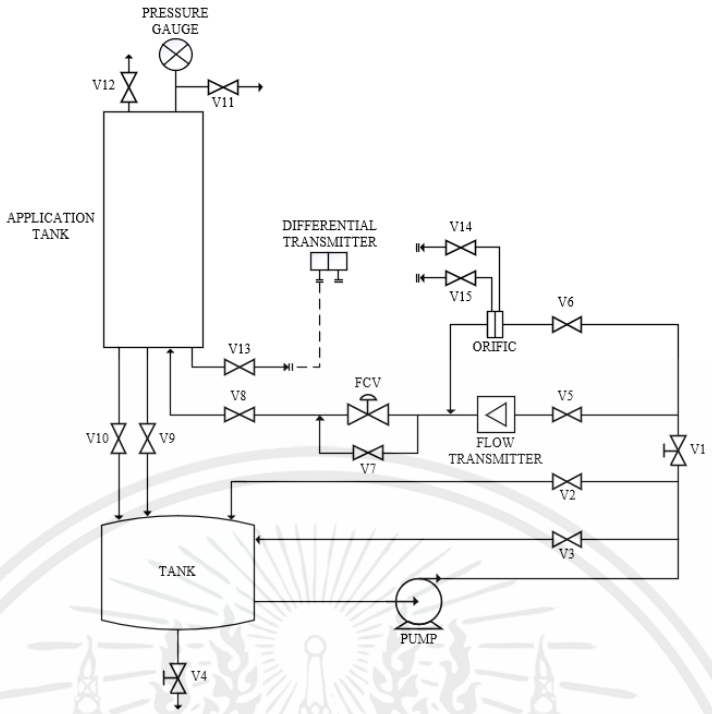


รูปที่ 3.6 Wiring Diagram Analog 4-20 mA เป็น 1-5 VDC

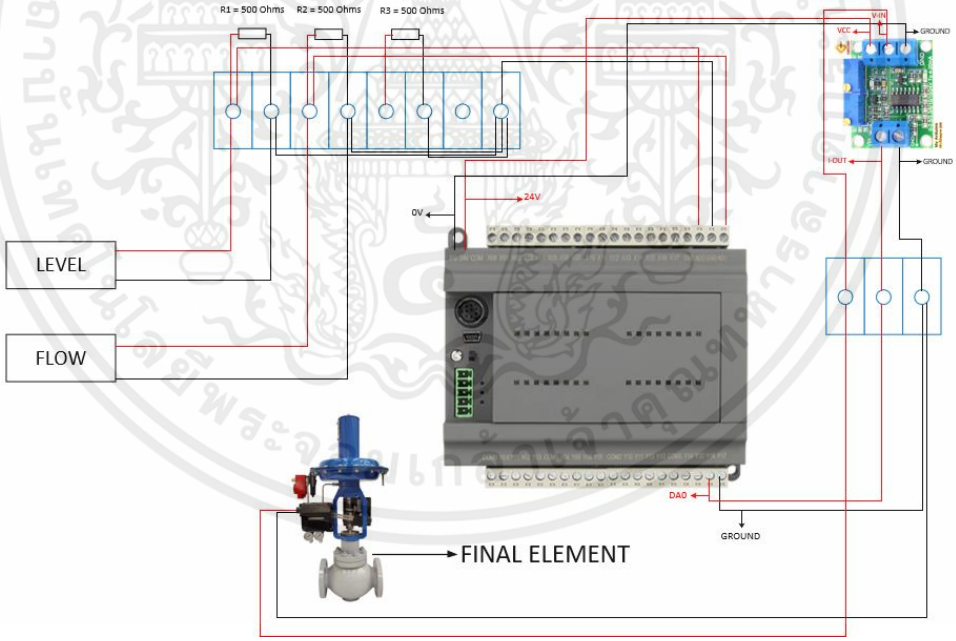
สำหรับการออกแบบ P&ID ของ Level Control Plant โดยใช้โปรแกรม VISIO และมีส่วนประกอบหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

1) Differential Transmitter
2) Magnetic Flow Transmitter
3) Control Valve
4) Orifice Plate
5) Pump
6) Application Tank

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แบบ P&ID สำหรับ Level Control Plant



รูปที่ 3.8 วงจรในการแปลงค่าสัญญาณ Analog 4-20 mA เป็น 2-10 VDC โดยมี Final Element เป็นตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการประมาณค่าเชิงเส้นสำหรับ Process Control Unit

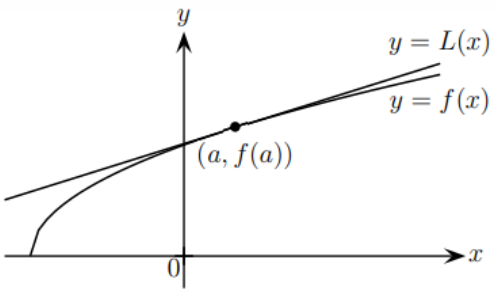
เพื่อทำการหาสมการที่จะใช้ในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Structure Text โดยสมการในการรับค่าจะใช้การเปรียบเทียบค่าระหว่างอนาล็อกอินพุตที่รับมาจากตัวอุปกรณ์ทางการวัดซึ่งมีค่า 4-20 mA กับค่า Register ของตัว PLC ค่าอยู่ที่ 0-4000 ที่แรงดัน 0-10 VDC แต่เนื่องด้วยทางผู้จัดทำได้ใช้ตัวต้านทาน 250 โอห์มในการแปลงสัญญาณ 4-20 mA จึงได้แรงดันอยู่ที่ 1-5 VDC และค่า Register อยู่ที่ 0-2000 ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องจากการรับมาของค่าตัวแปรต่าง ๆ จึงต้องใช้วิธีการประมาณค่าเชิงเส้นในการเปรียบเทียบที่ค่า 0-2000 ของ PLC นั้นแสดงค่าของตัวแปรที่วัดมาไม่ว่าจะเป็นค่าความดัน อุณหภูมิ ระดับ และอัตราการไหลมีการอ่านค่าได้ถูกต้องกับค่าที่วัดจริง โดยสามารถแสดงวิธีการประมาณค่าเชิงเส้นของทั้ง 4 ตัวแปรได้ดังต่อไปนี้

สมการเชิงเส้น คือสมการที่แต่ละพจน์มีเพียงค่าคงตัว หรือเป็นผลคูณระหว่างค่าคงตัวกับตัวแปรยกกำลังหนึ่ง ซึ่งจะมีดีกรีของพหุนามเท่ากับ 0 หรือ 1 สมการเหล่านี้เรียกว่า "เชิงเส้น" เนื่องจากสามารถวาดกราฟของฟังก์ชันบนระบบพิกัดคาร์ทีเซียนได้เป็นเส้นตรง รูปแบบทั่วไปของสมการเชิงเส้นในตัวแปร x และ y คือ

$$y = mx + c \tag{3.1}$$

โดยที่ m คือค่าคงตัวที่แสดงความชันหรือเกรเดียนต์ของเส้นตรง และพจน์ b แสดงจุดที่เส้นตรงนี้ตัดแกน y สำหรับสมการที่มีพจน์ x^2, $y^{1/3}$, xy ฯลฯ ที่มีดีกรีมากกว่าหนึ่งไม่เรียกว่าเป็นสมการเชิงเส้น

การประมาณเชิงเส้นและผลต่างเชิงอนุพันธ์ การประมาณเชิงเส้น จากที่กล่าวมาข้างต้น จะสังเกตได้ว่ากราฟของเส้นโค้ง และกราฟของเส้นสัมผัสโค้งจะอยู่ใกล้ ๆ กันที่จุดใกล้ ๆ กับจุดสัมผัส ข้อสังเกตนี้เป็นพื้นฐานสำหรับวิธีการหาค่าประมาณของฟังก์ชัน โดยมีแนวคิดว่า การคำนวณหาค่าของ f(x) ที่ x = a นั้นไม่ใช่เรื่องยาก แต่เป็นการยาก (หรือเป็นไปไม่ได้) ที่จะหาค่าของฟังก์ชัน f(x) ที่จุดใกล้ๆ x = a ดังนั้นเราจะประมาณค่าของฟังก์ชัน f(x) โดยใช้ ฟังก์ชันเชิงเส้น L ของเส้นสัมผัสโค้ง f ที่จุด (a, f(a))



รูปที่ 3.9 แสดงกราฟการประมาณเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือกล่าวได้ว่าเราใช้สมการของเส้นสัมผัสโค้งที่จุด (a, f(a)) ในการประมาณค่าของฟังก์ชัน y = f(x) เมื่อ x มีค่าเข้าใกล้ a ในที่นี้สมการของเส้นสัมผัสโค้งคือ

$$y = f(a) + f'(a)(x - a) \tag{3.2}$$

และการประมาณค่า

$$f(x) \approx f(a) + f'(a)(x - a) \tag{3.3}$$

เรียกว่า การประมาณค่าเชิงเส้น (Linear Approximation) ของ f ที่จุด x = a และฟังก์ชันเชิงเส้นที่มีกราฟเป็นเส้นสัมผัสโค้งคือ

$$L(x) \approx f(a) + f'(a)(x - a) \tag{3.4}$$

เรียกว่า ฟังก์ชันการประมาณเชิงเส้นของ f ที่ x = a

3.4.1 การประมาณค่าเชิงเส้นของค่า Register Value

โดยจะเป็นการประมาณเชิงเส้นเพื่อเปรียบเทียบค่าที่ 0-4000 ให้มีค่าเท่ากับ 0-2000 ของ Register value ซึ่งเป็นหน่วยความจำ PLC แสดงการคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.1)

จากสูตร

$$y = mx + c$$

หาค่าคงที่แสดงความชัน (m)

$$m = \frac{4000 - 0}{2000 - 400} = 2.5$$

$$y = 2.5x + c$$

หาค่าคงที่ (C)

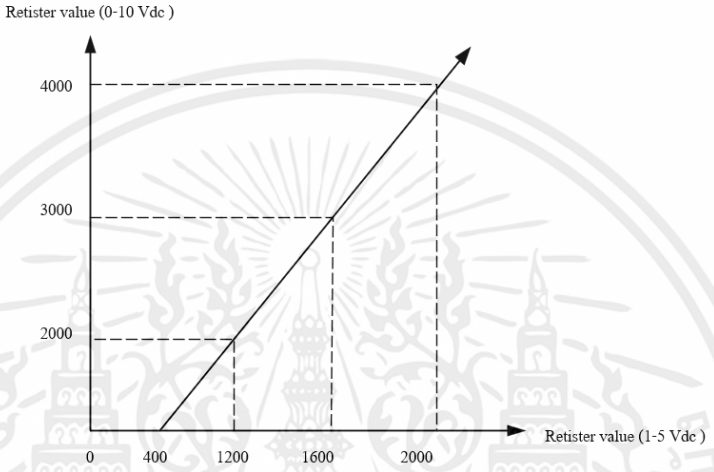
$$0 = (2.5)(400) + c$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$c = -1000$$

เพราะฉะนั้น จะได้สมการ

$$y = 2.5x - 1000$$



รูปที่ 3.10 แสดงกราฟการประมาณเชิงเส้น Register value

3.4.2 การประมาณค่าเชิงเส้นของค่าระดับ (Level)

โดยจะเป็นการประมาณเชิงเส้นเพื่อเปรียบเทียบค่าของระดับน้ำใน Application Tank ซึ่งอยู่ในช่วง 0-200 mmH_2O กับค่า 0-2000 ของ Register Value ซึ่งเป็นหน่วยความจำ PLC แสดงการคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.1)

จากสูตร

$$y = mx + c$$

หาค่าคงที่แสดงความชัน (m)

$$m = \frac{200 - 0}{2000 - 400} = 0.125$$

$$y = 0.125x + c$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

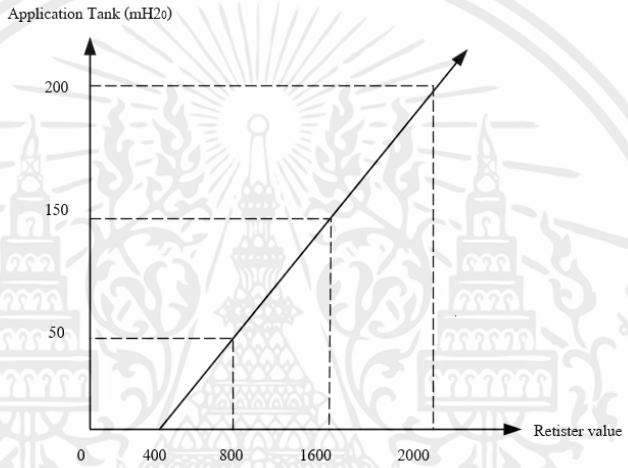
หาค่าคงที่ (C)

$$0 = (0.125)(400) + c$$

$$c = -50$$

เพราะฉะนั้น จะได้สมการ

$$y = 0.125x - 50$$



รูปที่ 3.11 แสดงกราฟการประมาณเชิงเส้นระดับ

3.4.3 การประมาณค่าเชิงเส้นของค่าอัตราการไหล (Flowrate)

โดยจะเป็นการประมาณเชิงเส้นเพื่อเปรียบเทียบค่าของอัตราการไหลจาก Storage Tank ไปยัง Application Tank ซึ่งมีค่าอัตราการไหลอยู่ในช่วง 0-2 m^3/h กับค่า 0-2000 ของ Register Value ซึ่งเป็นหน่วยความจำ PLC แสดงการคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.1)

จากสูตร

$$y = mx + c$$

หาค่าคงที่แสดงความชัน (m)

$$m = \frac{2 - 0}{2000 - 400} = 0.00125$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y = 0.00125x + c$$

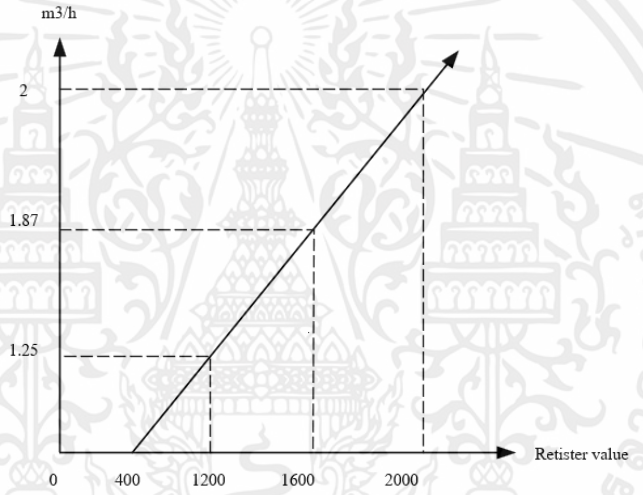
หาค่าคงที่ (C)

$$0 = (0.00125)(400) + c$$

$$c = -0.5$$

เพราะฉะนั้น จะได้สมการ

$$y = 0.00125x - 0.5$$



รูปที่ 3.12 แสดงกราฟการประมาณเชิงเส้นของอัตราการไหล

3.4.4 การประมาณค่าเชิงเส้นของค่าความดัน (Pressure)

โดยจะเป็นการประมาณเชิงเส้นเพื่อเปรียบเทียบค่าของความดันซึ่งเมื่อเกิดการไหลของน้ำโดยมีปั๊มเป็นตัวดูดน้ำจาก Storage Tank ไปยัง Application Tank ซึ่งมีค่าอัตราการไหลอยู่ในช่วง 0-2.5 m^3/h กับค่า 0-2000 ของ Register Value ซึ่งเป็นหน่วยความจำ PLC แสดงการคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.1)

จากสูตร

$$y = mx + c$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่าคงที่แสดงความชัน (m)

$$\mathrm{m} = \frac{2.5 - 0}{2000 - 400} = 0.001563$$

$$\mathrm{y} = 0.001563\mathrm{x} + \mathrm{c}$$

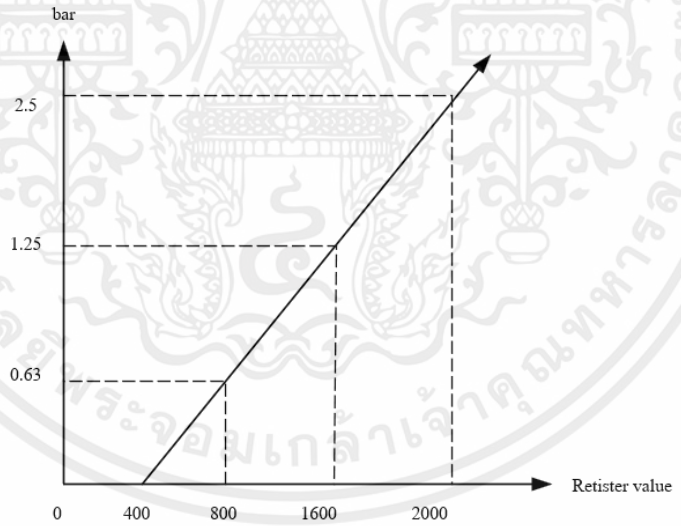
หาค่าคงที่ (C)

$$0 = (0.001563)(400) + \mathrm{c}$$

$$\mathrm{c} = -0.6262$$

เพราะฉะนั้น จะได้สมการ

$$\mathrm{y} = 0.001563\mathrm{x} - 0.6252$$



รูปที่ 3.13 แสดงกราฟการประมาณเชิงเส้นของความดัน

3.4.5 การประมาณค่าเชิงเส้นของค่าอุณหภูมิ (Temperature)

โดยจะเป็นการประมาณเชิงเส้นเพื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของน้ำซึ่งเมื่อเกิดการทำงานของ Heater ติดอยู่ใน Storage Tank โดยจะมีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิของน้ำทั้งแบบ RTD PT100 และ Thermocouple Type K, J โดยมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียสเทียบกับค่า 0-2000 ของ Register Value ซึ่งเป็นหน่วยความจำ PLC แสดงการคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตร

$$y = mx + c$$

หาค่าคงที่แสดงความชัน (m)

$$m = \frac{20 - 4}{400 - (-200)} = 0.026$$

$$y = 0.026x + c$$

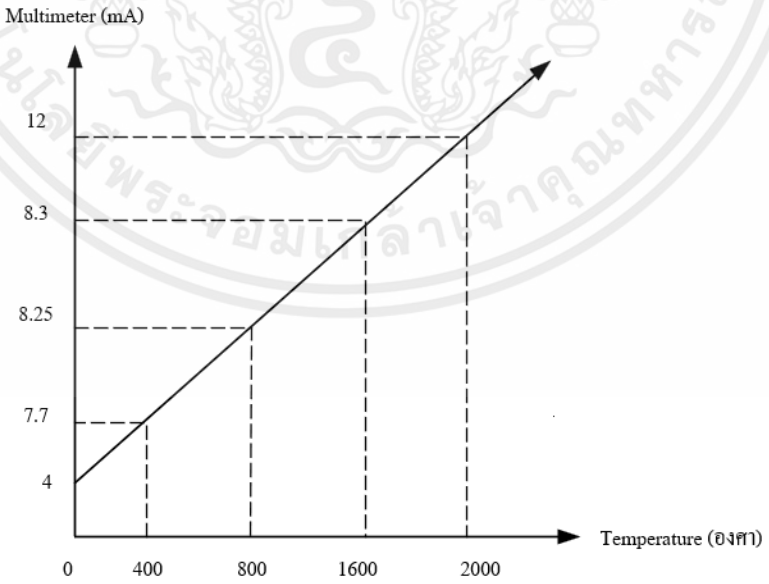
หาค่าคงที่ (C)

$$4 = (0.026)(-200) + c$$

$$c = 9.2$$

เพราะฉะนั้น จะได้สมการ

$$y = 0.026x + 9.2$$



รูปที่ 3.14 แสดงกราฟการประมาณเชิงเส้นของอุณหภูมิ Thermocouple Type K

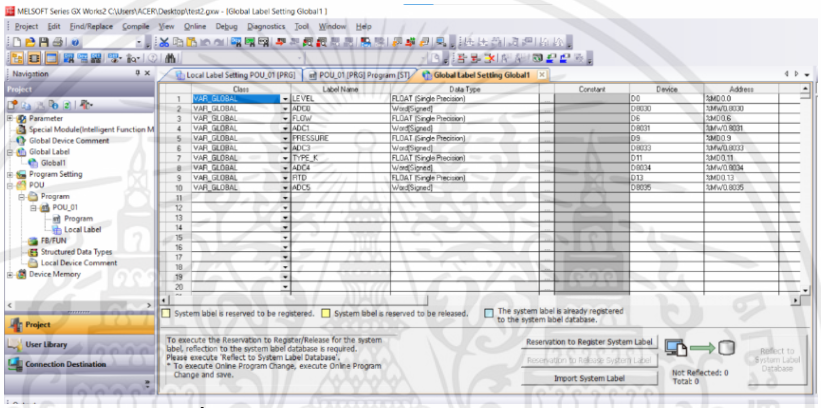
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเขียนโปรแกรม Structure Text

ส่วนของการเขียนโปรแกรมคำสั่งรับค่าความดัน อุณหภูมิ ระดับ และความดันจาก Plant ด้วยภาษา Structure Text

3.5.1 ส่วนของการกำหนดตัวแปร Global Setting

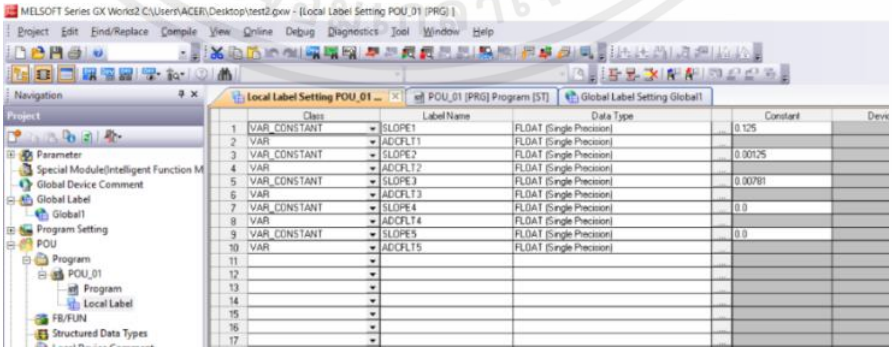
เป็นการกำหนดตัวแปร Label Name เพื่อระบุชื่อของตัวแปร รวมไปถึงการกำหนดชนิดของข้อมูล และระบุ Address ของตัวแปรนั้น โดยตัวแปร Global จะเป็นส่วนที่ติดต่อกับภายนอกได้ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.15 การกำหนดตัวแปร global setting

3.5.2 ส่วนของการกำหนดตัวแปร Local Setting

เป็นการกำหนดตัวแปร Label Name เพื่อระบุชื่อของตัวแปร การกำหนดตัวแปรให้เป็น VAR หรือ VAR Constant จากนั้นกำหนดชนิดของข้อมูล และใส่ค่าคงที่ซึ่งได้มาจากการประมาณค่า โดยตัวแปร Local จะเป็นส่วนที่ไม่ได้ติดต่อกับภายนอก ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.15

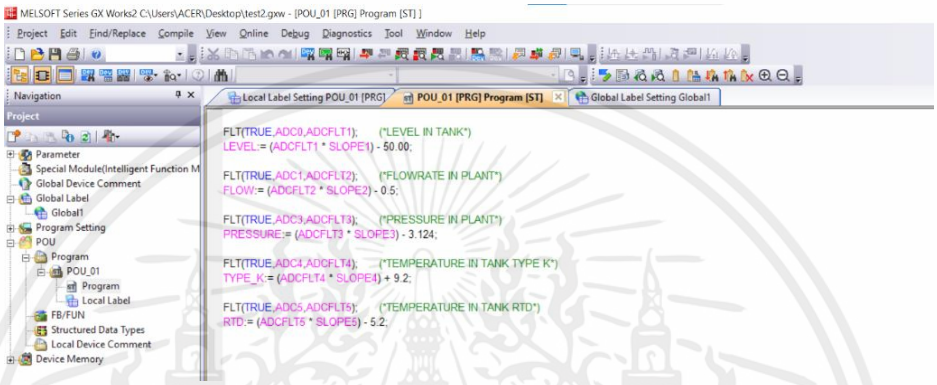


รูปที่ 3.16 การกำหนดตัวแปร local setting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 คำสั่ง Structure Text

ในส่วนของโปรแกรมคำสั่งรับค่าจาก Process Control Simulation Plant ซึ่งจะรับค่าสัญญาณจาก Analog input AD0, AD1, AD3 และ AD4 โดยมีค่า Register Value ที่ 0-2000 มาเข้าคำสั่ง FLT เพื่อทำให้เป็นทศนิยมไปเก็บในตัวแปร ADCFLT จากนั้นก็นำค่าไปเข้าสมการประมาณค่าเชิงเส้นที่คำนวณได้ เพื่อให้ค่าที่อ่านมานั้นตรงกับค่าที่ได้จากการวัดของตัว Sensor/Transducer โดยแสดงคำสั่งของโปรแกรมดังรูปที่ 3.16

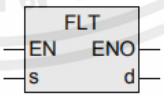


รูปที่ 3.17 การเขียนคำสั่ง Structure Text

3.6 ฟังก์ชันที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม Programable Logic Control (PLC)

3.6.1 ฟังก์ชัน FLT

ใช้แปลงค่าไบนารีที่เซ็นชื่อแบบ 16 บิตเป็นข้อมูลจุดลอยตัวแบบ 32 บิต และวางผลลัพธ์เป็นคำผลลัพธ์ที่ระบบ

Instruction name	Operation	Execution form	Expression in each language	
			Structured ladder/FBD	ST
FLT	16 bits	Continuous		FLT(EN,s,d);

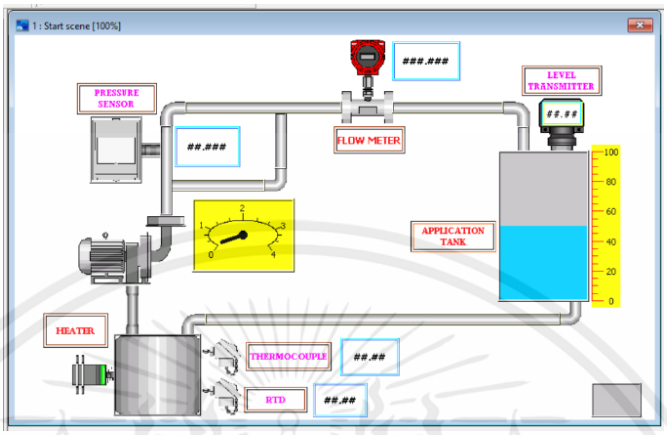
Variable		Description	Data type	
			16-bit operation	32-bit operation
Input variable	EN	Execution condition	Bit	
	(s)	Data register storing binary integer	ANY_SIMPLE	
Output variable	ENO	Execution state	Bit	
	(d)	Data register storing binary floating point (real number)	ANY_SIMPLE	

รูปที่ 3.18 แสดงสัญลักษณ์ฟังก์ชัน FLT และการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การออกแบบหน้าจอแสดงผล HMI

ในส่วนของหน้าจอ HMI จะออกแบบเพื่ออ่านค่าอุณหภูมิ ความดัน ระดับ และอัตราการไหลจากโปรแกรม PLC มาแสดงค่าบนหน้าจอแสดงผลเป็นแบบ Real time ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.19 แสดงหน้าจอแสดงผลของ HMI

3.8 การประมาณค่าเชิงเส้นของ Level Control Plant

เพื่อทำการหาสมการที่จะใช้ในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Structure Text โดยสมการในการรับค่าจะใช้การเปรียบเทียบค่าระหว่างอนาล็อกอินพุตที่รับมาจากตัวอุปกรณ์ทางการวัดซึ่งจะมีค่า 4-20 mA กับค่า Register ของตัว PLC ค่าอยู่ที่ 0-4000 ที่แรงดัน 0-10 VDC แต่เนื่องด้วยทางผู้จัดทำได้ใช้ตัวต้านทาน 500 โอห์มในการแปลงสัญญาณ 4-20 mA จึงได้แรงดันอยู่ที่ 2-10 VDC และค่า Register อยู่ที่ 800-4000 ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องจากการรับมาของค่าตัวแปรต่าง ๆ จึงต้องใช้วิธีการประมาณค่าเชิงเส้นในการเปรียบเทียบที่ค่า 800-4000 ของ PLC นั้นแสดงค่าของตัวแปรที่วัดมาไม่ว่าจะเป็นค่าระดับน้ำภายในถัง และอัตราการไหลมีการอ่านค่าได้ถูกต้องกับค่าที่วัดจริง โดยสามารถแสดงวิธีการประมาณค่าเชิงเส้นของทั้ง 2 ตัวแปรได้ดังต่อไปนี

3.8.1 การประมาณค่าเชิงเส้นของ Differential Pressure

โดยจะเป็นการประมาณเชิงเส้นเพื่อเปรียบเทียบค่าของระดับน้ำใน Application Tank ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0-100 เปอร์เซ็นต์ กับค่า 800-4000 ของ Register Value ซึ่งเป็นหน่วยความจำ PLC แสดงการคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตร

$$y = mx + c$$

หาค่าคงที่แสดงความชัน (m)

$$m = \frac{100}{3200} = 0.03125$$

$$y = 0.032125x + c$$

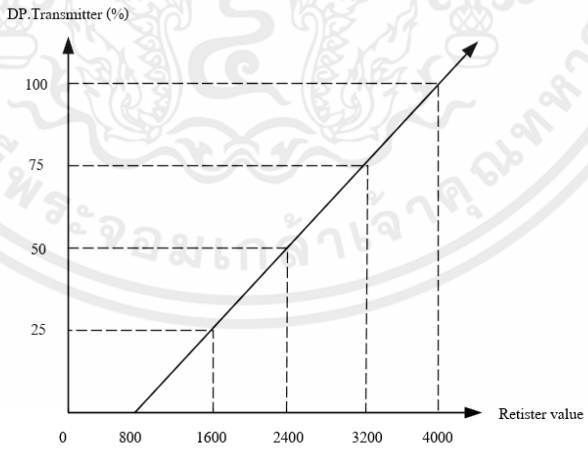
หาค่าคงที่ (C)

$$100 = (0.03125)(4000) + c$$

$$c = 25$$

เพราะฉะนั้น จะได้สมการ

$$y = 0.032125x - 25$$



รูปที่ 3.20 แสดงการประมาณค่าเชิงเส้นของ Differential Pressure ของ Level Control Plant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.2 การประมาณค่าเชิงเส้นของ Flow Transmitter

โดยจะเป็นการประมาณเชิงเส้นเพื่อเปรียบเทียบค่าของอัตราการไหล ซึ่งแสดงค่าในช่วง 0-23.22 ลิตรต่อนาที กับค่า 800-4000 ของ Register Value ซึ่งเป็นหน่วยความจำ PLC แสดงการคำนวณโดยใช้สมการที่ (3.1)

จากสูตร

$$y = mx + c$$

หาค่าคงที่แสดงความชัน (m)

$$m = \frac{20}{3200} = 0.00625$$

$$y = 0.00625x + c$$

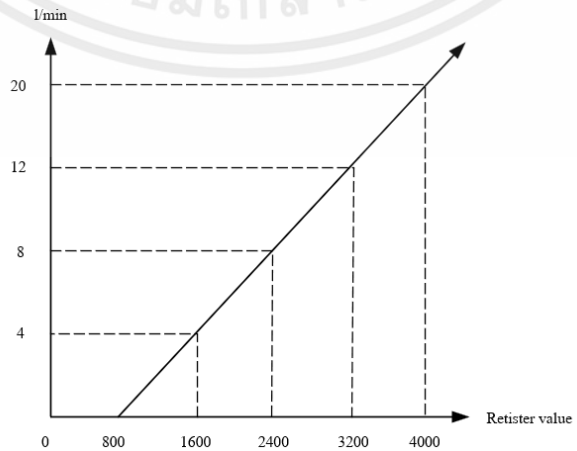
หาค่าคงที่ (C)

$$12 = (0.00625)(3200) + c$$

$$c = 5.3752$$

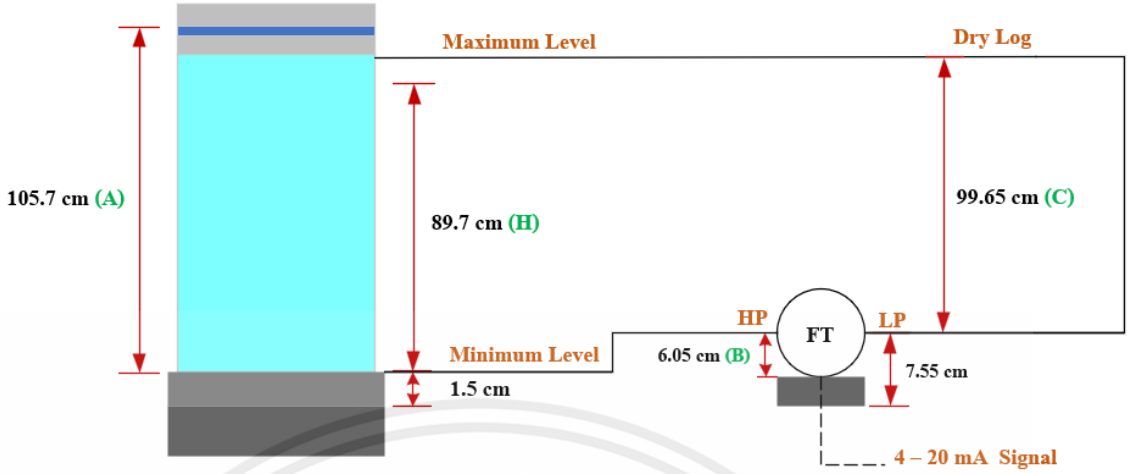
เพราะฉะนั้น จะได้สมการ

$$y = 0.00625x - 53752$$



รูปที่ 3.21 แสดงการประมาณค่าเชิงเส้นของ Flow Transmitter ของ Level Control Plant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 ภาพแสดง Plant ของ Level Control Plant ในการ Calibration

3.9 Calibration Differential Pressure transmitter

ขั้นตอนในการคำนวณการสอบเทียบ

ρP = Specific Gravity of Water at 20 celsuis

ρA = Specific Gravity of Air at 20 celsuis

DP = Ph – Pl

ที่ Low Range Value 0 %

At 0% (LRV) = P(HP Side) - P(LP Side)

At 0% (LRV) = (ρP * H1) - (ρA * H2)

At 0% (LRV) = (1 * 0) - (0.0013 * 39.2323)

At 0% (LRV) = -0.051 inches H2O

At 0% (LRV) = -1.2954 mmH2O

ที่ Upper Range Value 100 %

At 100% (URV) = P(HP Side) - P(LP Side)

At 100% (URV) = (ρP * H1) - (ρA * H2)

At 100% (URV) = (1* 35.3149) - (0.0013 * 39.2323)

At 100% (URV) = 35.2639 inches H2O

At 100% (URV) = 895.71 mmH2O

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

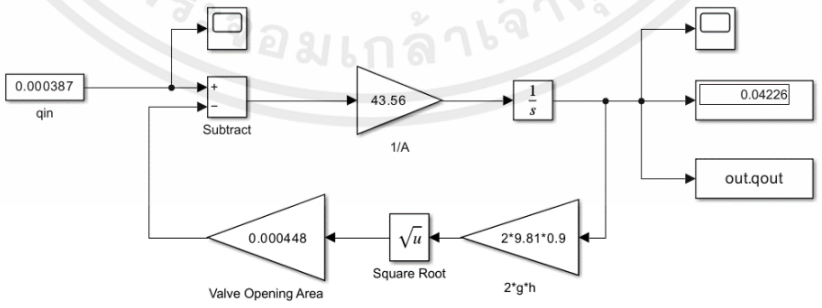
3.10 วิธีหาโมเดลทรานเฟอร์ฟังก์ชันของการควบคุมระดับน้ำ

แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของถังกระบวนการในรูปที่ 2.23 จะขึ้นอยู่กับค่าของพารามิเตอร์พื้นฐานในการออกแบบเครื่องจำลองและข้อกำหนดเฉพาะของอุปกรณ์ตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ในระบบดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของระบบควบคุมระดับน้ำภายในถัง

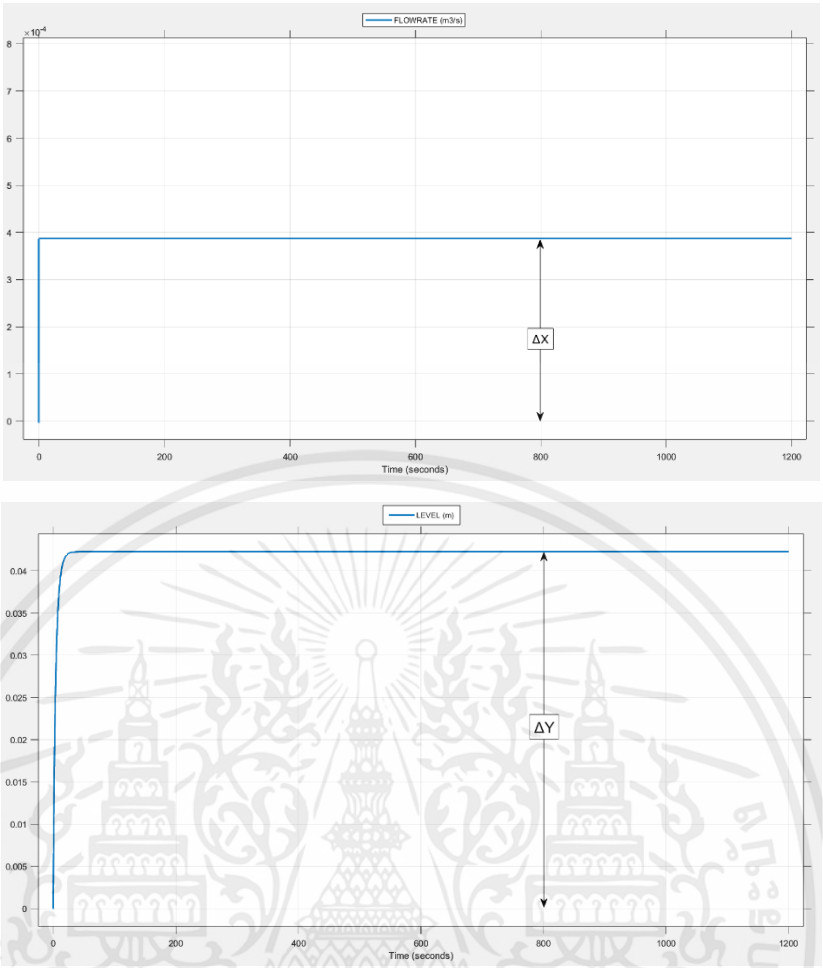
พารามิเตอร์	ข้อมูลเฉพาะ
ความสูงของถัง	1.05 เมตร
ระดับความสูงที่สูงสุด	0.9 เมตร
ระดับความสูงที่ต่ำสุด	0.0045 เมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางของถัง	0.171 เมตร
อัตราการไหลสูงสุด	0.000387 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อสำหรับน้ำไหลออก	0.0239 เมตร

สำหรับระดับน้ำ h ในถังมีความสูงสูงสุดที่ 0.9 เมตร โดยอัตราการไหลของน้ำที่เติมไปยังถัง qin มีอัตราการไหลสูงสุดที่ 0.000387 ลูกบาศก์เมตร/วินาที และ g = 9.8 m/s2 ที่ได้มาโดยปรับช่องเปิดของวาล์ว K1 ดังแสดงในรูปที่ 2.23 จากนั้นโดยใช้สมการ (2.5) พบว่า พื้นที่เปิดของวาล์ว K1 เท่ากับ 0.000448 m2 ดังแสดงในรูปที่ 2.23 เพิ่มเติมตามในสมการ (2.6) การจำลองเพื่อให้ได้กระบวนการไดนามิกส์ที่ระดับ h(t) ที่เกิดขึ้นเมื่ออัตราการไหลของน้ำ qin = 0.000387 m3 /s เต็มถัง และ a = 0.000448 m2 โดยใช้ Simulink ดังแสดงใน รูปที่ 3.22 ผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 การเขียนโปรแกรมเพื่อหากระบวนการไดนามิกส์ของถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 ผลการตอบสนองในการจำลอง

จากการใช้ Simulink ในการจำลองจะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 3.22 ซึ่งจะได้ค่าอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 0.000387 m3/s โดยที่ระดับความสูงของน้ำภายในถังอยู่ที่ 0.04226 m จากนั้นแทนค่าลงในสมการ (2.22)

$$K = \frac{0.04226}{0.000387} = 109.19$$

จะได้ค่าเกน K = 109.19 s/m2 จากนั้นใช้สมการสำหรับการได้รับค่าคงที่เวลา (2.23) โดยที่พื้นที่ถัง A = 0.023 ตารางเมตร)

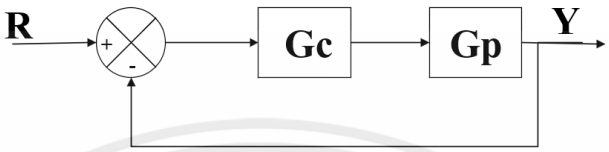
$$\tau = 109.19 \times 0.023 = 2.51$$

ค่าคงที่เวลาคือ τ = 2.51 วินาที ค่าของ K และ τ ได้มาจากสมการของแบบจำลองไม่เชิงเส้น สามารถแสดงโมเดลทรานเฟอร์ฟังก์ชันของ Process Tank ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Gp(s) = \frac{109.19}{2.51s + 1}$$

3.11 วิธีการคำนวณหาค่า PID Control โดยวิธีสังเคราะห์โดยตรงสำหรับการควบคุมระดับน้ำ



รูปที่ 3.25 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบวงรอบปิด

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G_P G_C}{1 + G_P G_C}$$

$$G_P = \frac{109.19}{2.51\,S + 1}$$

$$G_C = \frac{1}{G_P}\left[\frac{\frac{Y(s)}{R(s)}}{1 + \frac{Y(s)}{R(s)}}\right]$$

โดยที่สมการทรานเฟอร์ฟังก์ชัน

$$G_P = \frac{K}{\tau\, s + 1}$$

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{K_{CL}}{\tau_{CL} S + 1}$$

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{1}{\tau_{CL} S + 1}\ ;\ \tau_{CL} = \text{user defined}$$

จะได้

$$G_C = \frac{\tau_S + 1}{K} \cdot \frac{1}{\tau_{CL} S}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อจัดการกับตัวควบคุม PID

$$G_C = K_C\left(1 + \frac{1}{\tau_I S} + \tau_D S\right)$$

$$G_C = \frac{\tau_S}{K}\cdot\frac{1}{\tau_{CL}S} + \frac{1}{K}\cdot\frac{1}{\tau_{CL}S}$$

$$G_C = \frac{1}{K}\cdot\frac{\tau}{\tau_{CL}} + \frac{1}{K}\cdot\frac{1}{\tau_{CL}S}$$

$$G_C = \frac{1}{K}\cdot\frac{\tau}{\tau}\left(1 + \frac{1}{\tau_S}\right)$$

เมื่อหาตัวควบคุม PI จะได้ค่าเกณฑ์ดังนี้

$$K_C = \frac{1}{109.19}\cdot\frac{2.51}{0.0045} = 0.01 \cdot 557.78$$

$$K_C = 5.58$$

หาค่าเวลาคงที่

$$T_I = \tau = 2.51$$

$$K_C = \frac{1}{K}\cdot\frac{\tau}{\tau_{CL}}, \quad T_i = \tau, \quad T_D = 0$$

3.12 วิธีหาโมเดลทรานเฟอร์ฟังก์ชันของวาล์วควบคุม

โดยสมการฟังก์ชันการถ่ายโอน คือ

$$Gv(s) = \frac{Kc}{\tau s + 1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หา K_c ของ Valve โดยใช้ Flow Characteristics Equation แบบ Equal Percentage Valve

$$K_c = \frac{100}{[1 + (\frac{h}{h_{max}})^2]}$$

$$K_c = \frac{100}{[1 + (\frac{11}{22})^2]}$$

$$K_c = \frac{100}{1 + [0.25]}$$

$$K_c = 80$$

จากนั้นหาค่าเวลาคงที่ ($\boldsymbol{\tau}$)

$$\tau = \frac{h_{max}}{(K * K_c)}$$

โดยที่

$$K = C_v \text{ of valve}$$

$$\frac{C_v * Q}{(\Delta P)^{0.5}}$$

ใช้สมการของ Darcy – Weisbach หา ΔP

$$\Delta P = \frac{32\ \mu L}{(2g\Delta)}$$

$$\Delta P = \frac{32 * (1.002 * 10^{-3}) * 0.47}{2 * 9.81 * 0.024}$$

$$\Delta P = 0.032 \text{ Pa}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้ Flow coefficient

$$C_v = \frac{0.387\ \text{lit/s}}{0.032^{0.5}\ \text{Pa}}$$

$$= 2.16$$

ดังนั้นเมื่อ h_{max} มีค่าเท่ากับ 22 มิลลิเมตรจะได้ค่าคงที่เวลาของสมการทรานเฟอร์ฟังก์ชันดังนี้

$$\tau = \frac{h_{max}}{(K * K_c)}$$

$$\tau = \frac{22}{2.16 * 80}$$

$$\tau = 0.127$$

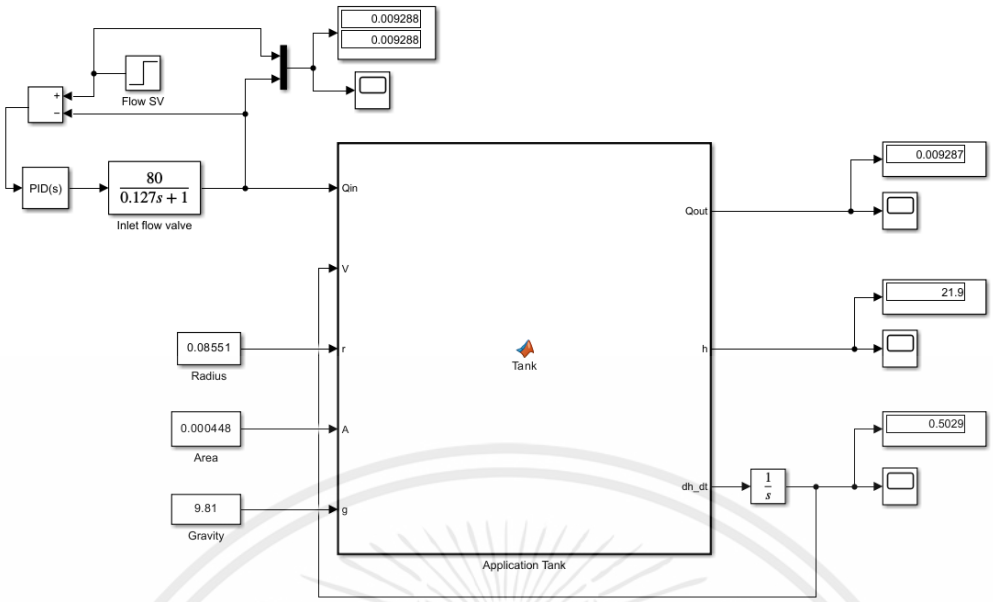
$$G_v(s) = \frac{80}{0.127s + 1}$$

3.13 วิธีคำนวณหาค่า PID โดยวิธี IMC สำหรับการควบคุมระดับน้ำแบบ Cascade Controller

ในการคำนวณหาค่า PID โดยวิธี Internal Model Control (IMC) เป็นกระบวนการที่ใช้วิธีการวิเคราะห์และปรับค่า PID ที่มีพื้นฐานทางควบคุมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการในการควบคุมระบบหนึ่ง ๆ ดังนั้นขั้นตอนการหาค่า PID ใน IMC มีดังนี้:

โดยใช้โปรแกรม Simulink ในการจำลองโมเดลของระบบด้วยการสร้าง MATLAB function เพื่อออกแบบระบบการควบคุมระดับน้ำภายในถัง ซึ่งจะมี 2 วงรอบในการที่จะหาค่า PID โดยที่ secondary loop กำหนดให้เป็นวาล์วควบคุมอัตราการไหลเข้า ส่วนใน primary loop นั้นจะเป็นการควบคุมระดับของน้ำแสดงดังรูปที่ 3.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 MATLAB function เพื่อออกแบบระบบการควบคุมระดับน้ำ

ขั้นตอนในการคำนวณหาค่า PID ในการควบคุมแบบ IMC กำหนดให้ค่าเกน Kp = 3.15 Ki = 5.36 สำหรับวาล์วควบคุมอัตราการไหลเข้า โดยจะป้อนค่าอัตราการไหลเข้าเริ่มที่ 20 เปอร์เซ็นต์ และค่าสุดท้ายอยู่ที่ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยจะใช้ค่าเวลาการเพิ่มขึ้น (step time) ของอัตราการไหลที่ 20 ไปยัง 40 เปอร์เซ็นต์นั้นอยู่ที่ 320 เมื่อจำลองจะพบว่าค่าของสถานะคงตัวสุดท้าย (final steady state) มีค่าเท่ากับ 21.9 เซนติเมตร และค่าของสถานะคงตัวเริ่มแรก (initial steady state) มีค่าเท่ากับ 5.46 เซนติเมตร ซึ่งทั้ง 2 ค่าคือค่าของการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของน้ำภายในถัง

เมื่อค่าเกน (K)

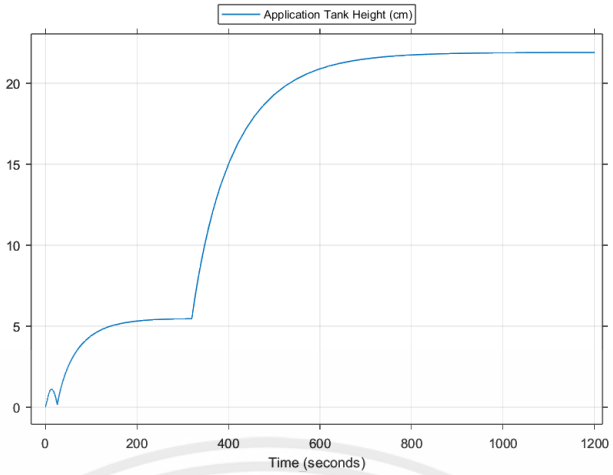
$$K = \frac{\Delta h}{\Delta Qin}$$

แทนค่า Δh คือความแตกต่างระหว่างความสูงของน้ำภายในถัง และ ΔQin คือความแตกต่างระหว่างอัตราการไหลเข้าของน้ำ

$$K = \frac{21.9 \ - \ 5.46}{40 \ - \ 20} = 0.822$$

จากค่า Δh ที่ 5.46 ถึง 21.9 นำมาคิดเพื่อหาค่าคงที่ของเวลา (τ) ที่ 63.2 เปอร์เซ็นต์ จะได้ค่าที่ระดับความสูงเท่ากับ 15.85 เซนติเมตร ซึ่งมีค่า τ เท่ากับ 1.5 นาที แสดงดังรูปที่ 3.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 ผลของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำโดยการจำลองป้อนอัตราการไหล

จากค่าคงที่ของเวลาที่ τ เท่ากับ 1.5 นาที โดยต้องการให้ค่าคงที่ของเวลาของวงรอบปิดที่ τ เท่ากับ 0.5 นาที ซึ่งนำไปคำนวณหาค่า PI ได้ดังนี้

$P = \frac{\tau}{K * \tau_{CL}}$	$I = \frac{P}{\tau}$

รูปที่ 3.28 วิธีการจูน IMC สำหรับตัวควบคุมแบบ PI

แทนค่าสมการคำนวณหาค่า PI

$$P = \frac{1.5}{0.822 * 0.5} = 3.65$$

$$I = \frac{3.65}{1.5} = 2.43$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการทดสอบ Process Control Simulation Plant โดยจะใช้ PLC เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการอ่านค่าตัวแปรทั้ง 4 ของ Plant นี้ ซึ่งจะประกอบไปด้วยอุณหภูมิ ความดัน ระดับ และอัตราการไหลมาแสดงผลบนหน้าจอแสดงผล HMI ที่เชื่อมต่อกับตัว PLC ซึ่งในการทดลองนี้สามารถแบ่งผลของการทดลองออกมาเป็น 4 หัวข้อดังนี้

4.1 การทดลองอ่านค่าระดับ

4.2 การทดลองอ่านค่าอัตราการไหล

4.3 การทดลองอ่านค่าความดัน

4.4 การทดลองอ่านค่าอุณหภูมิ

รูปที่ 4.1 Process Control Simulation Plant

4.1 การทดลองอ่านค่าระดับ

การทดลองอ่านค่าระดับโดยการอ่านค่าจะเทียบกับค่าที่ได้มาด้วยวิธีการคำนวณโดยการประมาณค่าเชิงเส้นและเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์ เพื่ออยากทราบว่าค่าที่วัดได้นั้นมีค่าที่ตรงกันและถูกต้องหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การทดลองอ่านค่าระดับใน Application Tank

ระดับ (%)	สมการเชิงเส้น (Register Value)	กระแสไฟฟ้า (mA)	PLC & HMI (mmH2O)
0	400	4.02	0
25	800	8.14	50
50	1200	12.03	100
75	1600	16.15	150
100	2000	20.06	200

จากตารางการทดลองที่ 4.1 การทดลองอ่านค่าระดับใน Application Tank ได้ผลการทดลองว่า ระดับที่ 0-100 % จะมีกระแสไฟที่ 4-20 mA และ มีปริมาตรน้ำอยู่ที่ 0-200 มิลลิเมตรน้ำ ซึ่งกระแสที่วัดได้มีความคาดเคลื่อนเล็กน้อย

4.2 การทดลองอ่านค่าอัตราการไหล

การทดลองอ่านค่าอัตราการไหลโดยการอ่านค่าจะเทียบกับค่าที่ได้มาด้วยวิธีการคำนวณโดยการประมาณค่าเชิงเส้นและเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์ เพื่ออยากทราบว่าค่าที่วัดได้นั้นมีค่าที่ตรงกันและถูกต้องหรือไม่

ตารางที่ 4.2 การทดลองอ่านค่าอัตราการไหลของ Magnetic Flow Meter

อัตราการไหล (m3/h)	กระแสไฟฟ้า (mA)	PLC & HMI (m3/h)
0.125	4.9	1.25
0.162	5.2	1.87
0.310	6.4	2

จากตารางการทดลองที่ 4.2 การทดลองอ่านค่าอัตราการไหลของ Magnetic Flow Meter ได้ผลการทดลองว่า อัตราการไหลที่ 0.125 0.162 และ 0.310 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จะมีกระแสไฟฟ้าที่ 4.9 5.2 และ 6.4 mA ค่าที่อ่านได้จาก PLC มีปริมาตรน้ำอยู่ที่ 1.25 1.87 และ 2 มิลลิเมตรน้ำ ซึ่งกระแสที่วัดได้ มีความคาดเคลื่อนเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองอ่านค่าความดัน

การทดลองอ่านค่าความดันโดยการอ่านค่าด้วยโปรแกรม PLC โดยจะเทียบกับค่าที่ได้มาด้วยวิธีการคำนวณโดยการประมาณค่าเชิงเส้นและเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์ เพื่ออยากทราบว่าค่าที่วัดได้นั้นมีค่าที่ตรงกันและถูกต้องหรือไม่

ตารางที่ 4.3 การทดลองอ่านค่าความดันของ Pressure Transducer

ความดัน (Bar)	กระแสไฟฟ้า (mA)	PLC & HMI (bar)
0	4	0
0.5	4.8	0.63
1.2	5.8	1.25
1.5	6.3	1.53
2	7.3	2.54

จากตารางการทดลองที่ 4.3 การทดลองอ่านค่าความดันของ Pressure Transducer ได้ผลการทดลองว่า ความดันที่ 0-2 Bar จะมีกระแสไฟฟ้าที่ 4-20 mA และ ความดันที่ PLC & HMI อ่านค่าได้สูงสุดที่ 2.5 Bar กระแสที่วัดได้มีสูงสุดอยู่ที่ 7.3 mA ซึ่งมีความคาดเคลื่อนจำนวนมาก

4.4 การทดลองอ่านค่าอุณหภูมิ

การทดลองอ่านค่าอุณหภูมิโดยการอ่านค่าด้วย PLC จะเทียบกับค่าที่ได้มาด้วยวิธีการคำนวณโดยการประมาณค่าเชิงเส้นและเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์ เพื่ออยากทราบว่าค่าที่วัดได้นั้นมีค่าที่ตรงกันและถูกต้องหรือไม่

ตารางที่ 4.4 การทดลองอ่านค่าความดันของ Temperature

อุณภูมิ (องศา)	กระแสไฟฟ้า (mA)
0	4
39	7.7
42	8.25
55	8.3
100	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางการทดลองที่ 4.4 การทดลองอ่านค่าความดันของ Temperature ได้ผลการทดลองว่า อุณหภูมิที่ 0-100 องศา จะมีกระแสไฟฟ้าที่ 4-12 mA ซึ่งมีความคาดเคลื่อนจำนวนมาก

ต่อมาจะเป็นการทดสอบ Level Control Plant โดยจะใช้ PLC เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการอ่านค่าตัวแปรทั้ง 2 ตัวแปรของ Plant นี้ ซึ่งจะประกอบไปด้วย ระดับ และอัตราการไหลมาแสดงผลบนหน้าจอแสดงผล HMI ที่เชื่อมต่อกับตัว PLC ซึ่งในการทดลองนี้สามารถแบ่งผลของการทดลองออกมาเป็น 2 หัวข้อดังนี้

4.5 การทดลองอ่านค่าระดับน้ำ

4.6 การทดลองอ่านค่าอัตราการไหล

รูปที่ 4.2 Level Control Plant

4.5 การทดลองอ่านค่าของระดับจาก Differential Pressure Transmitter

การทดลองอ่านค่าระดับโดยการอ่านค่าด้วย PLC เทียบกับค่าที่ได้มาจาก Differential Pressure Transmitter โดยการประมาณค่าเชิงเส้นและเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์ เพื่ออยากทราบว่าค่าที่วัดได้นั้นมีค่าที่ตรงกันและถูกต้องหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงการทดลองอ่านค่าของระดับ จาก Differential Pressure Transmitter

DP. Transmitter (%)	กระแสไฟฟ้า (mA)	PLC & HMI
0	4.1	0
25	1	24.93
50	12	49.94
75	16	75
100	20	100.3

จากตารางการทดลองที่ 4.5 การทดลองอ่านค่าระดับจาก Differential Pressure Transmitter ได้ผลการทดลองว่า ระดับที่ 0 เปอร์เซ็นต์ จะมีกระแสไฟฟ้าที่ 4.1 mA PLC อ่านค่าได้ 0 ระดับที่ 50 เปอร์เซ็นต์ จะมีกระแสไฟฟ้าที่ 12 mA PLC อ่านค่าได้ 24.93 และ ระดับที่ 100 เปอร์เซ็นต์ จะมีกระแสไฟฟ้าที่ 20 mA PLC อ่านค่าได้ 100.3 กระแสที่วัดได้มีความใกล้เคียงกับค่าของระดับที่วัด ซึ่งมีความคาดเคลื่อนน้อยมาก

4.6 การทดลองอ่านค่าอัตราการไหลจาก Flow Transmitter

การทดลองอ่านค่าอัตราการไหลโดยการอ่านค่าด้วย PLC เทียบกับค่าที่ได้มาจาก Magnetic Flowmeter (l/min) โดยการประมาณค่าเชิงเส้นและเทียบกับค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากมัลติมิเตอร์ เพื่ออยากทราบว่าค่าที่วัดได้นั้นมีค่าที่ตรงกันและถูกต้องหรือไม่

ตารางที่ 4.6 แสดงการทดลองอ่านค่าอัตราการไหลจาก Flow Transmitter

Magnetic Flowmeter (l/min)	กระแสไฟฟ้า (mA)	PLC & HMI
0	3.9	0
5	7.8	5
10	11.35	10
15	15.7	15
20	19.1	20

จากตารางการทดลองที่ 4.6 การทดลองอ่านค่าอัตราการไหล ได้ผลการทดลองว่า อัตราการไหลที่ 0-20 ลิตรต่อนาที จะมีกระแสไฟฟ้าที่ 4-20 mA แต่อ่านค่าอัตราการไหลที่ 0 ลิตรต่อนาที มีกระแสไฟฟ้าที่ 3.9 mA PLC อ่านค่าได้ 0 อัตราการไหลที่ 10 ลิตรต่อนาที มีกระแสไฟฟ้าที่ 11.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

mA PLC อ่านค่าได้ 10 อัตราการไหลที่ 20 ลิตรต่อนาที มีกระแสไฟฟ้า 19.1 mA PLC อ่านค่าได้ 20 กระแสที่วัดได้มีความใกล้เคียงกับค่าของอัตราการไหลที่วัด ซึ่งมีความคาดเคลื่อนน้อยมาก

4.7 PID Controller

4.7.1 การควบคุมระดับน้ำด้วย PI Controller

ในขั้นตอนการทดลองควบคุมระดับโดยการใช้ตัวควบคุมแบบ PI ซึ่งได้จากการหาค่าโดยวิธีการสังเคราะห์มีค่า Kp = 5.58 Ki = 2.51 เมื่อปรับค่าตัวควบคุมและตั้งค่า Setpoint เรียบร้อยจากนั้นตั้งเป็นโหมดควบคุมเป็น Auto

ตารางที่ 4.7 ทดลองตัวควบคุม PI กับการควบคุมระดับน้ำ

SV	Kp	Ki	Settling time (min)	Overshoot
40	5.58	2.51	16.08	62.5%

4.7.2 การควบคุมอัตราการไหลด้วย PI Controller

ในขั้นตอนการทดลองควบคุมอัตราการไหลโดยการใช้ตัวควบคุมแบบ PI ซึ่งได้จากการหาค่าโดยวิธี Ziegler-Nichols แบบวงรอบปิดมีค่า Kp = 3.15 Ki = 5.36 เมื่อปรับค่าตัวควบคุมและตั้งค่า Setpoint เรียบร้อยจากนั้นตั้งเป็นโหมดควบคุมเป็น Auto

ตารางที่ 4.8 ทดลองตัวควบคุม PI กับการควบคุมอัตราการไหล

SV	Kp	Ki	Settling time (sec)	Overshoot
20	3.15	5.36	14	1.5%

4.7.3 การควบคุมอัตราการไหลด้วย PID Controller

ในขั้นตอนการทดลองควบคุมอัตราการไหลโดยการใช้ตัวควบคุมแบบ PID ซึ่งได้จากการหาค่าโดยวิธี Ziegler-Nichols แบบวงรอบปิดมีค่า Kp = 4.2 Ki = 11.91 Kd = 0.37 เมื่อปรับค่าตัวควบคุมและตั้งค่า Setpoint เรียบร้อยจากนั้นตั้งเป็นโหมดควบคุมเป็น Auto

ตารางที่ 4.9 ทดลองตัวควบคุม PID กับการควบคุมอัตราการไหล

SV	Kp	Ki	Kd	Settling time (sec)	Overshoot
20	4.2	11.91	0.37	29	30.2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 Cascade Controller

การควบคุมระดับน้ำภายในถังด้วย Cascade PID Controller ในขั้นตอนการทดลองควบคุมจะให้ primary loop เป็นระดับน้ำ และให้ secondary loop เป็นอัตราการไหล โดยใช้ตัวควบคุมแบบ PI ทั้งใน primary loop และ secondary loop เมื่อปรับค่าตัวควบคุมและตั้งค่า Setpoint เรียบร้อยจากนั้นตั้งเป็นโหมดควบคุมเป็น Auto

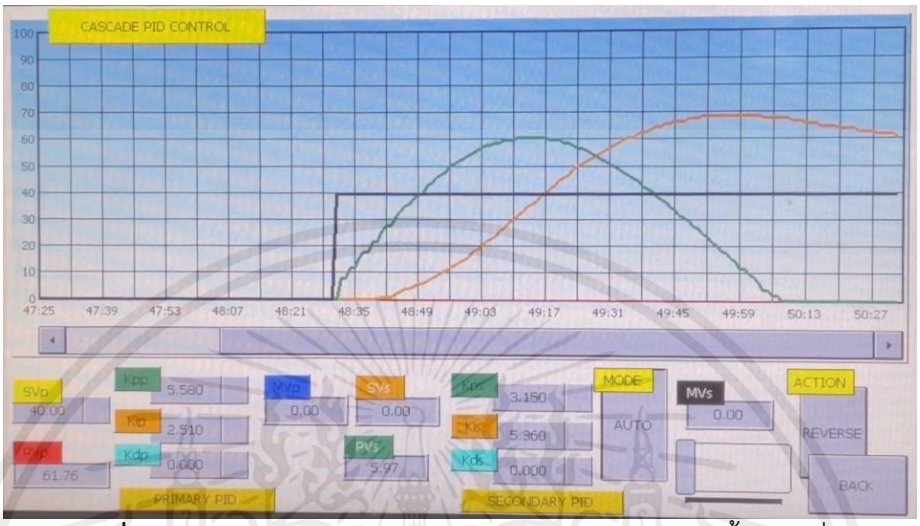
ตารางที่ 4.10 ทดลองตัวควบคุม Cascade PID กับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง

SV	PI (Primary Loop)	PI (Secondary Loop)	Settling time (min)	Overshoot
60	Kp = 3.3	Kp = 10	18.42	7.11%
	Ki = 0.2	Ki = 20		
50	Kp = 3.65	Kp = 3.15	37.33	66%
	Ki = 2.43	Ki = 5.36		
40	Kp = 5.58	Kp = 3.15	17.56	57.5%
	Ki = 2.51	Ki = 5.36		

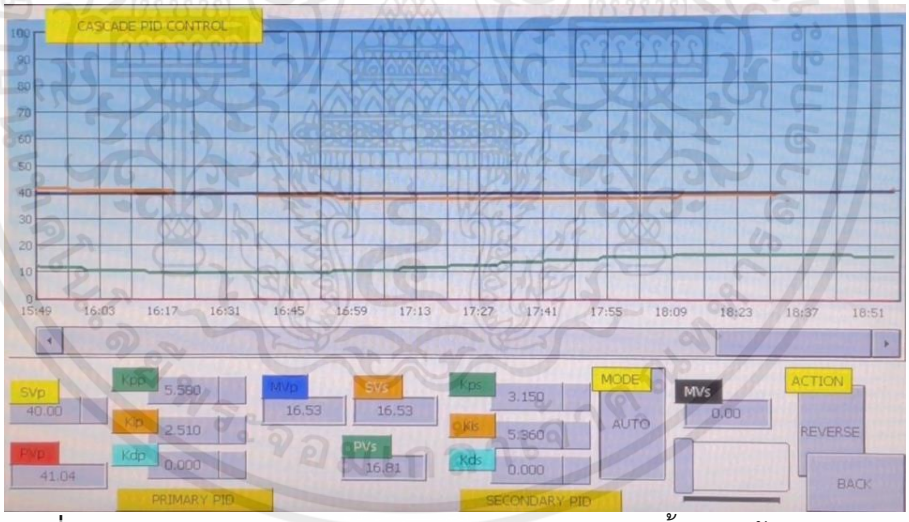
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 กราฟแสดงผลการตอบสนองของการทดลอง

4.9.1 กราฟทดลองตัวควบคุม PI กับการควบคุมระดับน้ำ



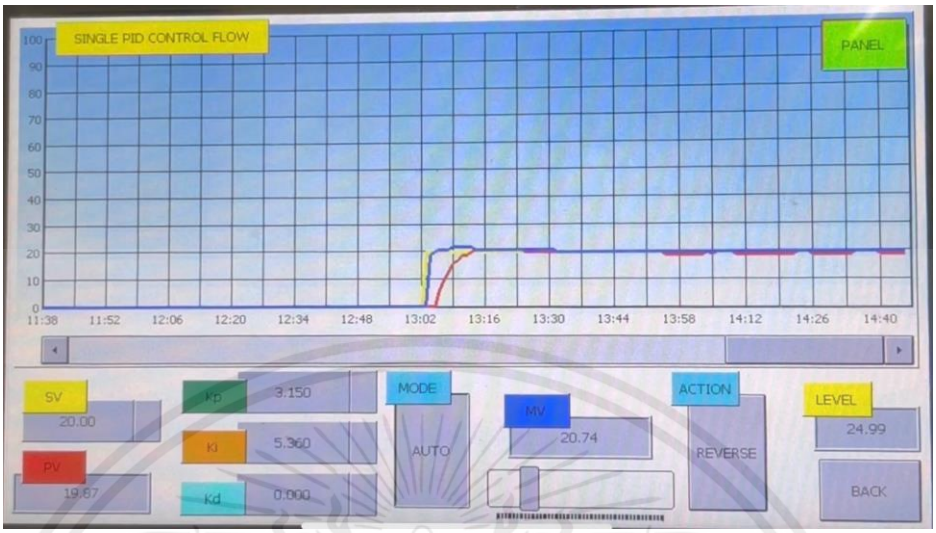
รูปที่ 4.3 กราฟทดลองตัวควบคุม PI กับการควบคุมระดับน้ำขณะเริ่ม



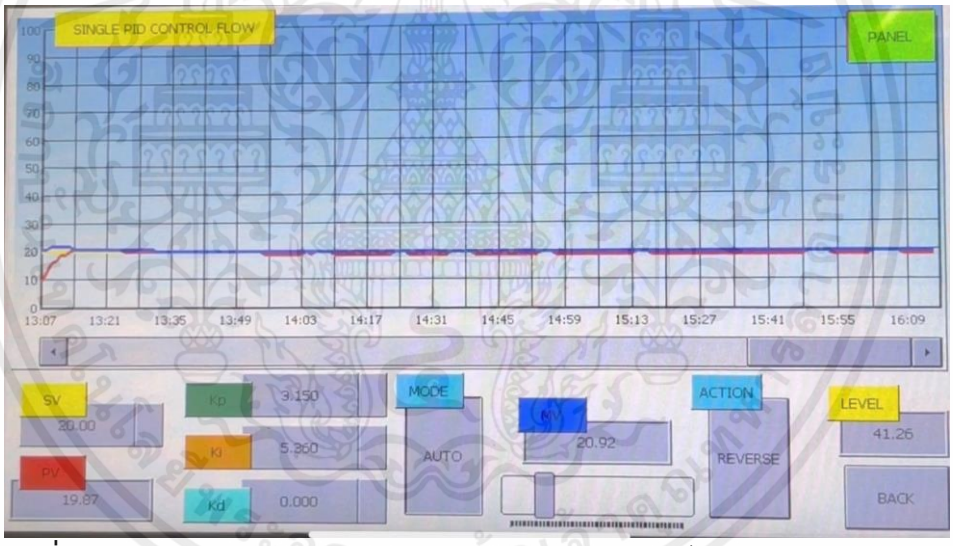
รูปที่ 4.4 กราฟทดลองตัวควบคุม PI กับการควบคุมระดับน้ำขณะเข้า Setpoint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.2 กราฟทดลองตัวควบคุม PI กับการควบคุมอัตราการไหล



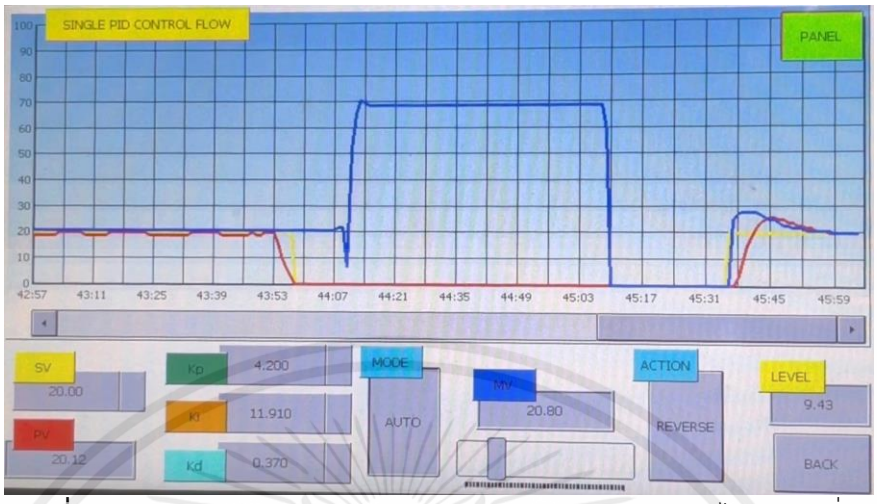
รูปที่ 4.5 กราฟทดลองตัวควบคุม PI กับการควบคุมอัตราการไหลขณะเริ่ม



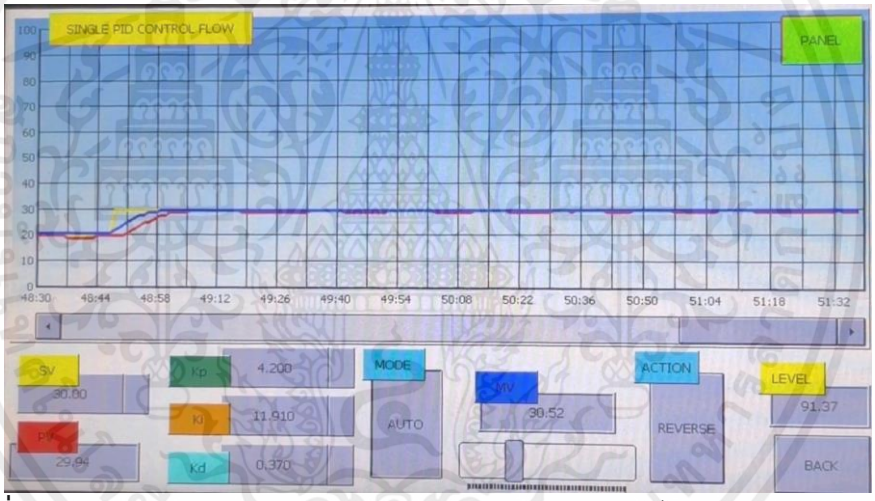
รูปที่ 4.6 กราฟทดลองตัวควบคุม PI กับการควบคุมอัตราการไหลขณะเข้า Setpoint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.3 กราฟทดลองตัวควบคุม PID กับการควบคุมอัตราการไหล



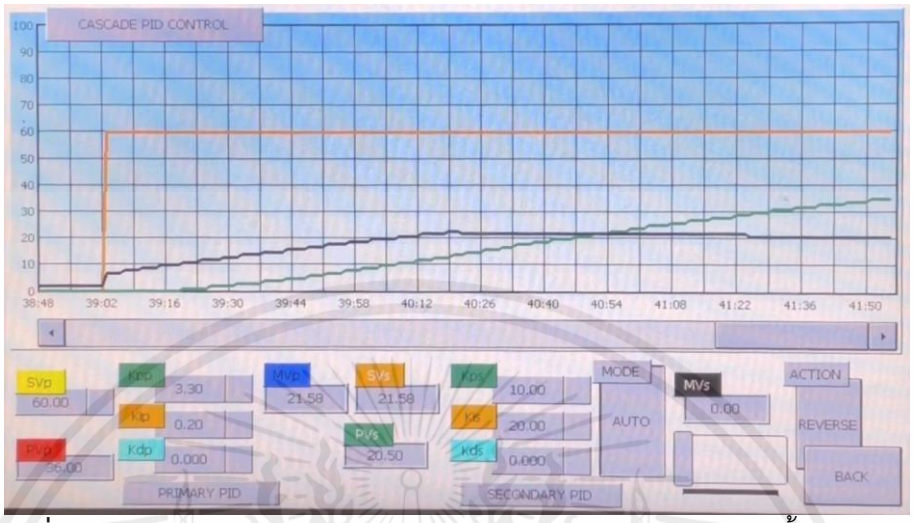
รูปที่ 4.7 กราฟทดลองตัวควบคุม PID กับการควบคุมอัตราการไหลขณะเริ่ม



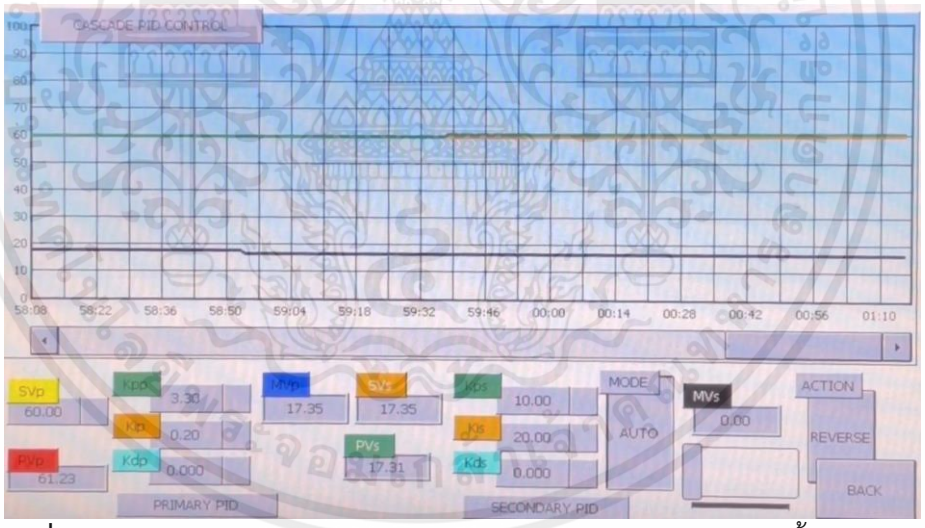
รูปที่ 4.8 กราฟทดลองตัวควบคุม PID กับการควบคุมอัตราการไหลขณะเข้า Setpoint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.4 กราฟทดลองตัวควบคุม Cascade PID กับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง Setpoint 60



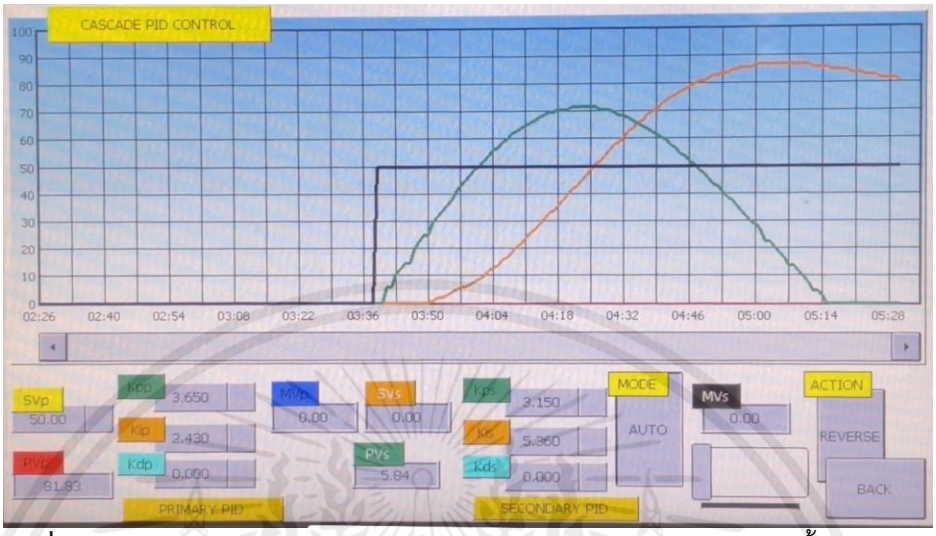
รูปที่ 4.9 กราฟทดลองตัวควบคุม Cascade PID กับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง ขณะเริ่ม Setpoint 60



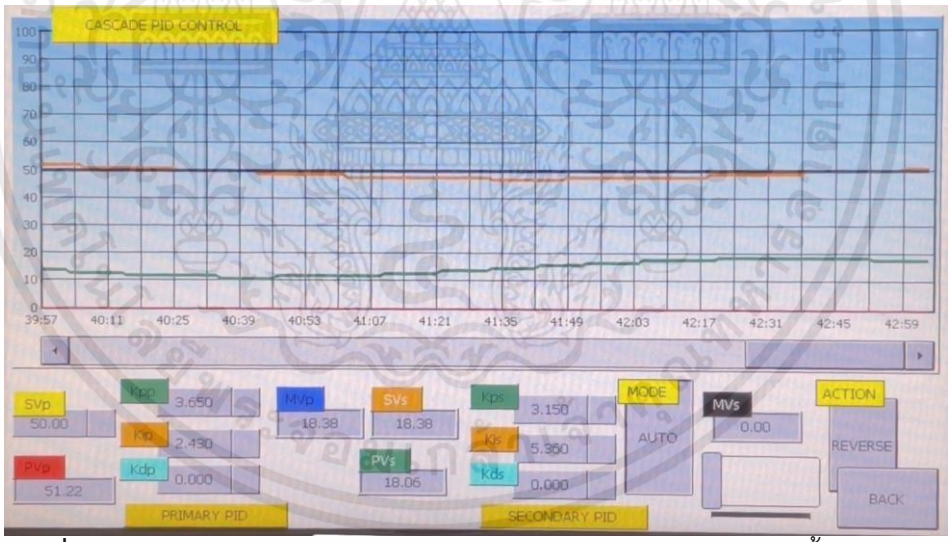
รูปที่ 4.10 กราฟทดลองตัวควบคุม Cascade PIDกับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง ขณะเข้า Setpoint 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.5 กราฟทดลองตัวควบคุม Cascade PID กับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง Setpoint 50



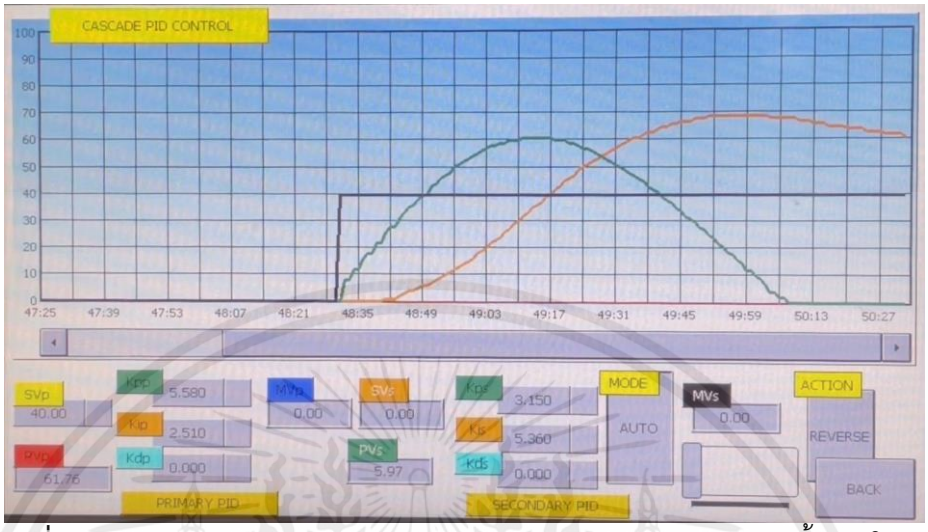
รูปที่ 4.11 กราฟทดลองตัวควบคุม Cascade PID กับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง ขณะเริ่ม Setpoint 50



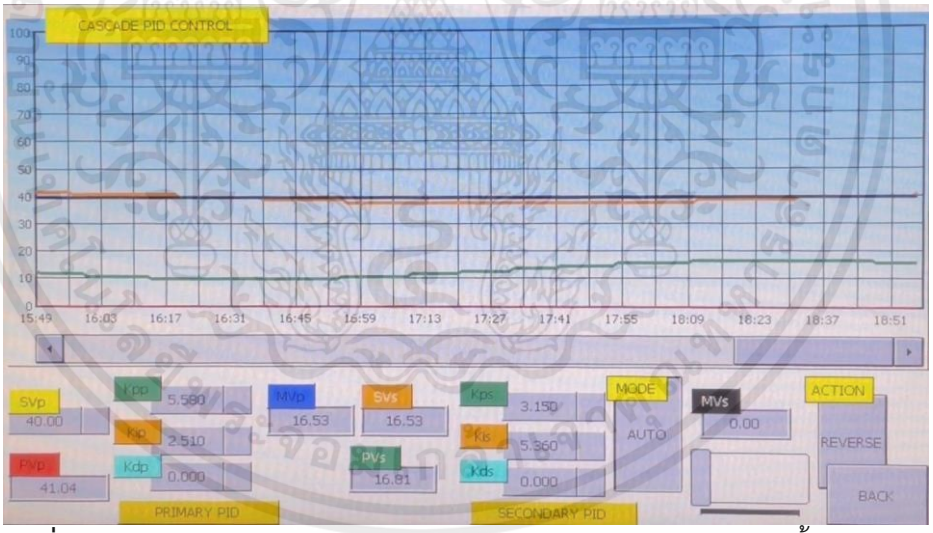
รูปที่ 4.12 กราฟทดลองตัวควบคุม Cascade PIDกับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง ขณะเข้า Setpoint 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.6 กราฟทดลองตัวควบคุม Cascade PID กับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง Setpoint 40



รูปที่ 4.13 กราฟทดลองตัวควบคุม Cascade PID กับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง ขณะเริ่ม Setpoint 40



รูปที่ 4.14 กราฟทดลองตัวควบคุม Cascade PIDกับการควบคุมระดับน้ำภายในถัง ขณะเข้า Setpoint 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองใช้โปรแกรม PLC ในการเขียนคำสั่งแบบ Structure Text ในการอ่านค่าตัวแปรเข้ามาเพื่อควบคุมระดับน้ำภายในถัง โดยในการควบคุมกระบวนการนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ ประกอบไปด้วยการควบคุมแบบ PID และในแบบของ Cascade การเขียนคำสั่งควบคุมนั้นจะใช้การสังเคราะห์วิธีการทำงานของ PID Control ขึ้นมาเอง ซึ่งในการควบคุมระดับน้ำและอัตราการไหลด้วยการใช้ PID ในการควบคุมให้เป็นไปตามค่า setpoint ที่ตั้งไว้ได้ ส่วนในการนำเอาการควบคุมแบบ cascade จะให้ผลในการควบคุมที่เหมาะสมกว่าเพราะในกระบวนการจะมี Process Lag จึงทำให้ลดเวลาในส่วนนั้นได้ ซึ่งการใช้ตัวควบคุมทั้ง 2 แบบนั้นสามารถให้การตอบสนองการควบคุมที่มีผลลัพธ์อย่างน่าพอใจและเป็นไปตามที่ทางผู้จัดทำนั้นกำหนดเป้าหมายไว้

5.2 ปัญหาที่พบขณะทำการทดลอง

5.2.1 Differential Pressure Transmitter อ่านค่าได้ไม่ตรงกับสเกล

5.2.2 การแสดงค่าบนจอแสดงผล HMI แสดงค่าได้ไม่ตรงกับตัว Transmitter

5.2.3 อุณหภูมิที่แสดงผลจากการวัดค่าด้วย RTD และ Thermocouple (Type K and J) ไม่คงที่ มีการแกว่งค่อนข้างมาก

5.2.4 สเกลระดับน้ำบน Application Tank ไม่ตรงกับค่าจริงที่แสดง

5.2.5 Transmitter อ่านค่าไม่ตรงกับระดับสเกลใน Application Tank

5.3 วิธีแก้ปัญหา

5.3.1 สอบเทียบ Differential Pressure Transmitter ใหม่

5.3.2 คำนวณสมการเชิงเส้น

5.3.3 ทำการเทียบค่ากระแส 4-20 mA กับค่าระดับน้ำในถังให้สอดคล้องกัน

5.4 ข้อจำกัดการใช้งาน

5.4.1 โปรแกรมใช้ได้กับ PLC Mitsubishi เท่านั้น

5.4.2 รูปแบบคำนวณค่าคำสั่งโปรแกรมต้องใช้ค่าตัวต้านทานเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

สำหรับการศึกษาต่อในอนาคต Level Control Plant สามารถใช้โมดูลแปลงสัญญาณแบบสำเร็จรูป (analog to digital) ที่ใช้ในการแปลงและรับค่าจาก PLC ให้มีประสิทธิภาพมากกว่าแปลงผ่านตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] บริษัท เจดับบลิวเทค จำกัด บทความ วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow control vales) http://jwtech.co.th/activity/?p=1020#

[2] PHARMCEUTICAL ONLINE บทคาวม 775 Smart Wireless THUM Adapter https://www.pharmaceuticalonline.com/doc/775-smart-wireless-thum-adapter-0002

[3] PAKO ENGINEERING บทความ Control Valve – POSITIONER – 03 – Positioner แต่ประเภทมีอะไรบ้าง https://blog.pako.co.th/3-02-05_02_positioner-

[4] บริษัท เจดับบลิวเทค จำกัด บทความ ทำความรู้จักเครื่องมือวัดของไหล – Flow Measurement http://jwtech.co.th/activity/?p=1280

[5] บริษัท แฟ็คโตมาร์ท จำกัด บทความ Flow Meter มีหลักการทำงานยังไง ถึงได้วัดการไหลได้แม่นยำ https://mall.factomart.com/principle-flow-meter/

[6] บริษัท แมกซ์ แวลู เทคโนโลยีจำกัด บทความ การสอบเทียบ (Calibration) กับ การปรับค่า (Adjustment) https://www.maxvalue.co.th/th/content/6081/

[7] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี บทความ ระบบควบคุมพีไอดี https://th.wikipedia.org/wiki/

[8] บริษัท นครปฐมไพศาล จำกัด (NProcess) บทความ Cascade Control http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid

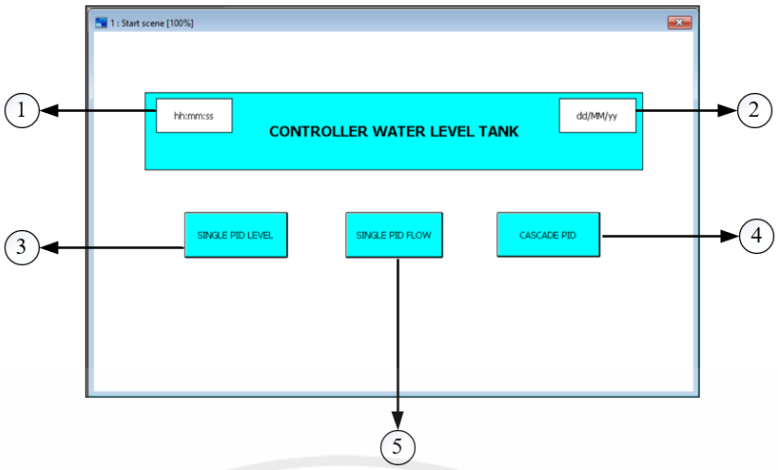
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

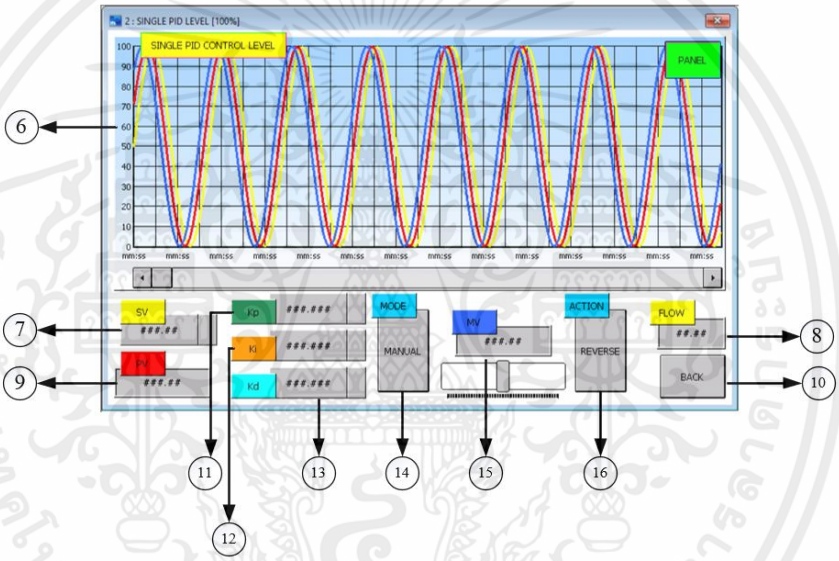
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
หน้าจอแสดงผล HMI

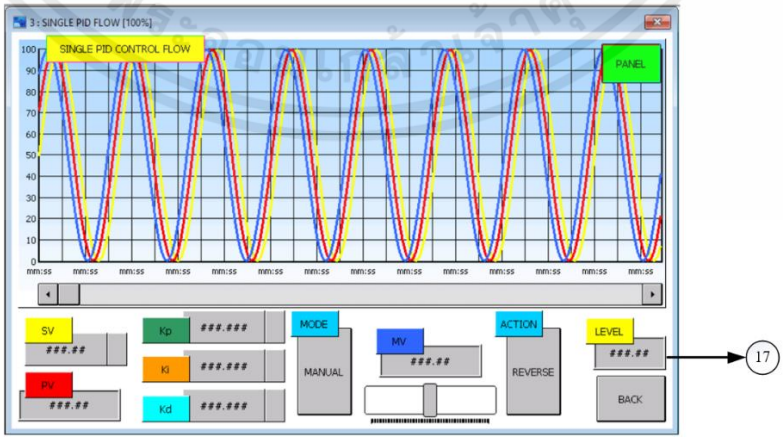
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-1 หน้าจอแสดงผล HMI

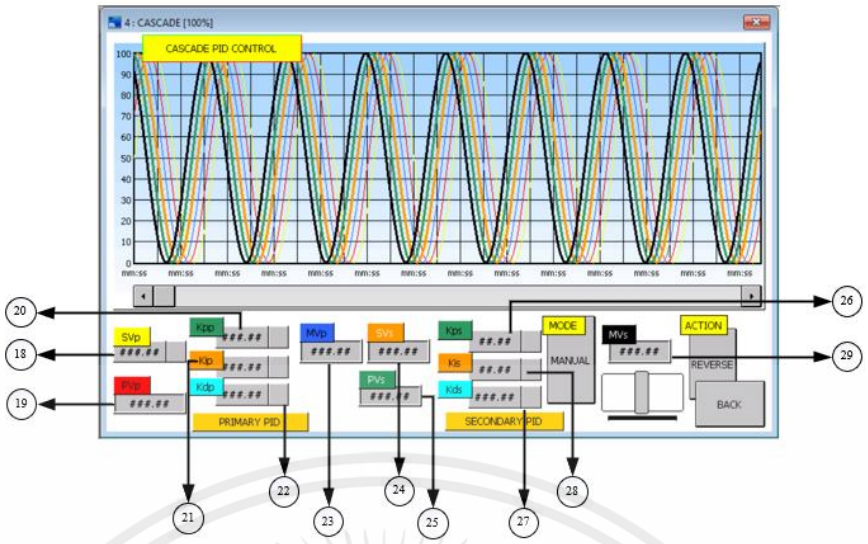


รูปที่ ก-2 หน้าจอแสดงผล HMI ควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบ PID



รูปที่ ก-3 หน้าจอแสดงผล HMI ควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมแบบ PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-4 หน้าจอแสดงผล HMI ควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบ Cascade PID

หมายเลข	หน้าที่
1	ตัวแสดงเวลา
2	ตัวแสดงวัน เดือน ปี
3	ปุ่มเปิดหน้าควบคุมระดับน้ำแบบ PID
4	ปุ่มเปิดหน้าควบคุมอัตราการไหลแบบ PID
5	ปุ่มเปิดหน้าควบคุมระดับน้ำแบบ Cascade PID
6	กราฟแสดงผลค่า Setpoint, Process Variable และ Manipulate Variable
7	ปุ่ม SV คือ Setpoint
8	ตัวแสดงอัตราการไหล
9	ตัวแสดง PV คือ Process Variable
10	ปุ่มกดกลับไปยังหน้าเริ่มต้น
11	ปุ่ม Kp คือ เลือกปรับค่า Proportional Gain
12	ปุ่ม Ki คือ เลือกปรับค่า Integral Gain
13	ปุ่ม Kd คือ เลือกปรับค่า Derivative Gain
14	ปุ่ม MODE คือ ตั้งค่าโหมดควบคุมแบบ Manual / Auto
15	ตัวแสดง MV คือ Manipulate Variable
16	ปุ่ม ACTION คือ ตั้งค่าการควบคุมวาล์วควบคุมแบบ Direct / Reverse
17	ตัวแสดงระดับน้ำ
18	ปุ่ม SVp คือ Setpoint Primary Loop
19	ตัวแสดง PVp คือ Process Variable Primary Loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข	หน้าที่
20	ปุ่ม Kpp คือ เลือกปรับค่า Proportional Gain Primary Loop
21	ปุ่ม Kip คือ เลือกปรับค่า Integral Gain Primary Loop
22	ปุ่ม Kdp คือ เลือกปรับค่า Derivative Gain Primary Loop
23	ตัวแสดง MVp คือ Manipulate Variable Primary Loop
24	ตัวแสดง SVs คือ Setpoint Secondary Loop
25	ตัวแสดง PVs คือ Process Variable Secondary Loop
26	ปุ่ม Kps คือ เลือกปรับค่า Proportional Gain Secondary Loop
27	ปุ่ม Kis คือ เลือกปรับค่า Integral Gain Secondary Loop
28	ปุ่ม Kds คือ เลือกปรับค่า Derivative Gain Secondary Loop
29	ตัวแสดง MVs คือ Manipulate Variable Secondary Loop

ในการใช้งานโปรแกรม เมื่อทำการเปิดจอแสดงผล HMI ขึ้นมาจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ ก-1 ซึ่งสามารถเลือกโหมดการควบคุมได้ 3 แบบ ประกอบไปด้วย

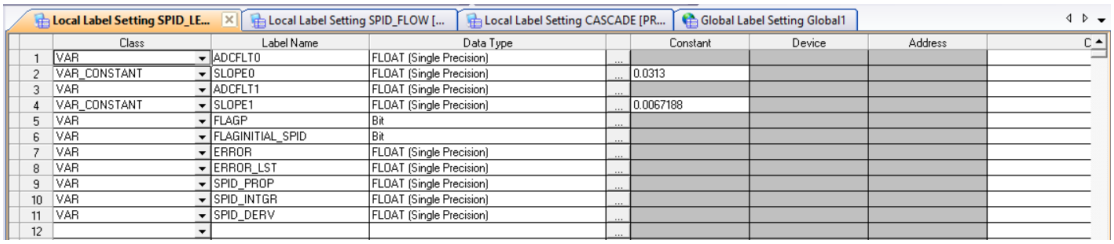
1. ควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบ PID
2. ควบคุมอัตราการไหลด้วยตัวควบคุมแบบ PID
3. การควบคุมระดับน้ำด้วยตัวควบคุมแบบ Cascade PID

เมื่อเข้าไปยังหน้าต่างการควบคุมในแต่ละแบบแล้ว กดปุ่ม Kp, Ki, และ Kd เพื่อตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID เสร็จสิ้น ทำการกดปุ่ม ACTION เพื่อเลือกโหมดการควบคุมวาล์วควบคุมแบบ Direct หรือแบบ Reverse ซึ่งกระบวนการนี้ ACTION ของวาล์วควบคุมเป็นแบบ Reverse ต่อมากดปุ่ม SV กำหนดค่า Setpoint ของกระบวนการ จากนั้นกดปุ่ม MODE เพื่อตั้งค่าโหมดควบคุมเป็นแบบ Auto เป็นอันเสร็จสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
โปรแกรมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Local Label Setting SPID_LE... | Local Label Setting SPID_FLOW [... | Local Label Setting CASCADE [PR... | Global Label Setting Global1

	Class	Label Name	Data Type		Constant	Device	Address	C
1	VAR	ADCFLT0	FLOAT (Single Precision)	...				
2	VAR_CONSTANT	SLOPE0	FLOAT (Single Precision)	...	0.0313			
3	VAR	ADCFLT1	FLOAT (Single Precision)	...				
4	VAR_CONSTANT	SLOPE1	FLOAT (Single Precision)	...	0.0067188			
5	VAR	FLAGP	Bit	...				
6	VAR	FLAGINITIAL_SPID	Bit	...				
7	VAR	ERROR	FLOAT (Single Precision)	...				
8	VAR	ERROR_LST	FLOAT (Single Precision)	...				
9	VAR	SPID_PROP	FLOAT (Single Precision)	...				
10	VAR	SPID_INTGR	FLOAT (Single Precision)	...				
11	VAR	SPID_DERV	FLOAT (Single Precision)	...				
12				...				

รูปที่ ข-1 การกำหนดตัวแปร Local ควบคุมระดับน้ำภายในถังแบบ PID

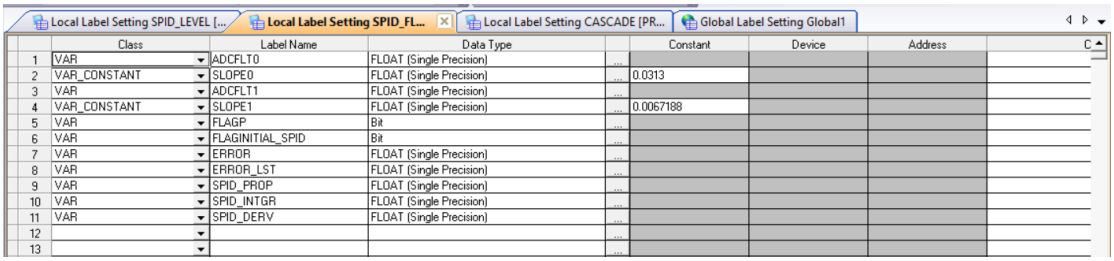
ST 11/4/2023

Data Name : SPID_LEVEL

```
FLT(TRUE, ADC0, ADCFLT0);     ("LEVEL IN APPLICATION TANK")
  LEVEL:= (ADCFLT0*0.0313) - 25.0;

FLT(TRUE, ADC1, ADCFLT1);     ("FLOWRATE IN PLANT")
  FLOW:= (ADCFLT1*0.0067188) - 5.3752;

FLAGINITIAL_SPID := LDP(TRUE,M8002);     ("Operate every 1 second")
IF (FLAGINITIAL_SPID = TRUE) THEN
    SPID_INTGR := 0.0;
END_IF;
FLAGP := LDP(TRUE,M8013);
IF (FLAGP = TRUE) AND (SPID_LEVEL_PAGE = TRUE) THEN
  SPIDPV_L := LEVEL;
IF (SPID_LEVEL = TRUE) THEN
        ERROR := SPIDSV_L - SPIDPV_L;     ("Error = Setpoint - Process Variable")
        SPID_PROP := ERROR * SPID_KP;     ("Proportional Gain = Kp * error ")

        SPID_INTGR := SPID_INTGR + ERROR;     ("Integral Gain = Ki * integral + error ")
        IF SPID_INTGR >= 10000.0 THEN
          SPID_INTGR := 10000.0;
        END_IF;
        IF SPID_INTGR <= -10000.0 THEN
          SPID_INTGR := -10000.0;
        END_IF;

        SPID_DERV := SPID_KD * (ERROR - ERROR_LST);     ("Derivative Gain = Kd * present error - previous error ")

        SPIDMV_L := SPID_PROP + (SPID_KI * SPID_INTGR) + SPID_DERV; ("Manipulate Variable = Proportional Gain + Integral Gain + Derivative Gain")
        IF SPIDMV_L >= 10000.0 THEN
          SPIDMV_L := 10000.0;
        END_IF;
        IF SPIDMV_L <= -10000.0 THEN
          SPIDMV_L := -10000.0;
        END_IF;

        SPIDMV_OUT_L := SPIDMV_L/100.0;
        IF SPIDMV_OUT_L >= 100.0 THEN
          SPIDMV_OUT_L := 100.0;
        END_IF;
        IF SPIDMV_OUT_L <= 0.0 THEN
          SPIDMV_OUT_L := 0.0;
        END_IF;
        SPID_MVSLIDE_L := REAL_TO_INT(SPIDMV_OUT_L);
        ERROR_LST := ERROR;     ("Receive new error every 1 second")
    ELSE
        SPIDMV_OUT_L := INT_TO_REAL(SPID_MVSLIDE_L);
    END_IF;

    IF SPID_CA_LEVEL = TRUE THEN
        LEVEL := 4000.0 - (SPIDMV_OUT_L * 40.0);
    ELSE
        DA0 := REAL_TO_INT(SPIDMV_OUT_L * 40.0);
    END_IF;

    SPID_SVGRAPH_L := REAL_TO_INT(SPIDSV_L);
    SPID_PVGRAPH_L := REAL_TO_INT(SPIDPV_L);
    SPID_MVGRAPH_L := REAL_TO_INT(SPIDMV_OUT_L);
END_IF;
```

รูปที่ ข-2 โปรแกรมการอ่านค่าและควบคุมระดับน้ำภายในถังแบบ PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Local Label Setting SPID_LEVEL [... | Local Label Setting SPID_FL... | Local Label Setting CASCADE [PR... | Global Label Setting Global1

	Class	Label Name	Data Type		Constant	Device	Address	C
1	VAR	ADCFLT0	FLOAT (Single Precision)	...				
2	VAR_CONSTANT	SLOPE0	FLOAT (Single Precision)	...	0.0313			
3	VAR	ADCFLT1	FLOAT (Single Precision)	...				
4	VAR_CONSTANT	SLOPE1	FLOAT (Single Precision)	...	0.0067188			
5	VAR	FLAGP	Bit	...				
6	VAR	FLAGINITIAL_SPID	Bit	...				
7	VAR	ERROR	FLOAT (Single Precision)	...				
8	VAR	ERROR_LST	FLOAT (Single Precision)	...				
9	VAR	SPID_PROP	FLOAT (Single Precision)	...				
10	VAR	SPID_INTGR	FLOAT (Single Precision)	...				
11	VAR	SPID_DERV	FLOAT (Single Precision)	...				
12				...				
13				...				

รูปที่ ข-3 การกำหนดตัวแปร Local ควบคุมอัตราการไหลแบบ PID

ST 11/4/2023

Data Name : SPID_FLOW

```
FLT(TRUE, ADC0, ADCFLT0);     ("LEVEL IN APPLICATION TANK")
  LEVEL:= (ADCFLT0*0.03125) - 25.0;

FLT(TRUE, ADC1, ADCFLT1);     ("FLOWRATE IN PLANT")
  FLOW:= (ADCFLT1*0.0067188) - 5.3752;

FLAGINITIAL_SPID := LDP(TRUE,M8002);     ("Operate every 1 second")
IF (FLAGINITIAL_SPID = TRUE) THEN
    SPID_INTGR := 0.0;
END_IF;
FLAGP := LDP(TRUE,M8013);
IF (FLAGP = TRUE) AND (SPID_FLOW_PAGE = TRUE) THEN
  SPIDPV_F := FLOW*4.651;    ("Convert to 0-100%")
IF (SPID_FLOW = TRUE) THEN
        ERROR := SPIDSV_F - SPIDPV_F;     ("Error = Setpoint - Process Variable")
        SPID_PROP := ERROR * SPID_KP;    ("Proportional Gain = Kp * error ")

        SPID_INTGR := SPID_INTGR + ERROR;     ("Integral Gain = Ki * integral + error ")
        IF SPID_INTGR >= 10000.0 THEN
          SPID_INTGR := 10000.0;
        END_IF;
        IF SPID_INTGR <= -10000.0 THEN
          SPID_INTGR := -10000.0;
        END_IF;

        SPID_DERV := SPID_KD * (ERROR - ERROR_LST);     ("Derivative Gain = Kd * present error - previous error ")

        SPIDMV_F := SPID_PROP + (SPID_KI * SPID_INTGR) + SPID_DERV; ("Manipulate Variable = Proportional Gain + Integral Gain + Derivative Gain")
        IF SPIDMV_F >= 10000.0 THEN
          SPIDMV_F := 10000.0;
        END_IF;
        IF SPIDMV_F <= -10000.0 THEN
          SPIDMV_F := -10000.0;
        END_IF;

        SPIDMV_OUT_F := SPIDMV_F/100.0;
        IF SPIDMV_OUT_F >= 100.0 THEN
          SPIDMV_OUT_F := 100.0;
        END_IF;
        IF SPIDMV_OUT_F <= 0.0 THEN
          SPIDMV_OUT_F := 0.0;
        END_IF;
        SPID_MVSLIDE_F := REAL_TO_INT(SPIDMV_OUT_F);
        ERROR_LST := ERROR;     ("Receive new error every 1 second")
    ELSE
        SPIDMV_OUT_F := INT_TO_REAL(SPID_MVSLIDE_F);
    END_IF;

    IF SPID_CA_FLOW = TRUE THEN
        FLOW := 4000.0 - (SPIDMV_OUT_F * 40.0);
    ELSE
        DA0 := REAL_TO_INT(SPIDMV_OUT_F * 40.0);
    END_IF;

    SPID_SVGRAPH_F := REAL_TO_INT(SPIDSV_F);
    SPID_PVGRAPH_F := REAL_TO_INT(SPIDPV_F);
    SPID_MVGRAPH_F := REAL_TO_INT(SPIDMV_OUT_F);
END_IF;
```

รูปที่ ข-4 โปรแกรมการอ่านค่าและควบคุมอัตราการไหลแบบ PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Local Label Setting SPID_LEVEL [... | Local Label Setting SPID_FLOW [... | Local Label Setting CASCAD... | Global Label Setting Global1

	Class	Label Name	Data Type	Constant	Device	Address
1	VAR	ADCFLT0	FLOAT (Single Precision)			
2	VAR_CONSTANT	SLOPE0	FLOAT (Single Precision)	0.0313		
3	VAR	ADCFLT1	FLOAT (Single Precision)			
4	VAR_CONSTANT	SLOPE1	FLOAT (Single Precision)	0.0067188		
5						
6	VAR	FLAGP	Bit			
7	VAR	FLAGINITIAL_CPID	Bit			
8	VAR	ERRORP	FLOAT (Single Precision)			
9	VAR	ERRORP_LST	FLOAT (Single Precision)			
10	VAR	CPIDP_PROP	FLOAT (Single Precision)			
11	VAR	CPIDP_INTGR	FLOAT (Single Precision)			
12	VAR	CPIDP_DERV	FLOAT (Single Precision)			
13						
14	VAR	ERRORS	FLOAT (Single Precision)			
15	VAR	ERRORS_LST	FLOAT (Single Precision)			
16	VAR	CPIDS_PROP	FLOAT (Single Precision)			
17	VAR	CPIDS_INTGR	FLOAT (Single Precision)			
18	VAR	CPIDS_DERV	FLOAT (Single Precision)			
19						
20						

รูปที่ ข-5 การกำหนดตัวแปร Local ควบคุมระดับน้ำภายในถังแบบ Cascade PID

Local Label Setting SPID_LEVEL [... | Local Label Setting SPID_FLOW [... | Local Label Setting CASCADE [PR... | Global Label Setting Global1

	Class	Label Name	Data Type	Constant	Device	Address
1	VAR_GLOBAL	LEVEL	FLOAT (Single Precision)		D0	%MD0.0
2	VAR_GLOBAL	ADC0	Word[Signed]		D8030	%MW0.8030
3	VAR_GLOBAL	FLOW	FLOAT (Single Precision)		D2	%MD0.2
4	VAR_GLOBAL	ADC1	Word[Signed]		D8031	%MW0.8031
5						
6	VAR_GLOBAL	SPID_LEVEL_PAGE	Bit		M10	%MX0.10
7	VAR_GLOBAL	SPID_FLOW_PAGE	Bit		M11	%MX0.11
8	VAR_GLOBAL	CPID_PAGE	Bit		M12	%MX0.12
9						
10	VAR_GLOBAL	DA0	Word[Signed]		D8050	%MW0.8050
11	VAR_GLOBAL	DA1	Word[Signed]		D8051	%MW0.8051
12						
13						
14	VAR_GLOBAL	SPID_FLOW	Bit		M13	%MX0.13
15	VAR_GLOBAL	SPID_CA_FLOW	Bit		M14	%MX0.14
16	VAR_GLOBAL	SPID_LEVEL	Bit		M22	%MX0.22
17	VAR_GLOBAL	SPID_CA_LEVEL	Bit		M23	%MX0.23
18	VAR_GLOBAL	SPIDSV_L	FLOAT (Single Precision)		D10	%MD0.10
19	VAR_GLOBAL	SPIDPV_L	FLOAT (Single Precision)		D12	%MD0.12
20	VAR_GLOBAL	SPIDMV_L	FLOAT (Single Precision)		D14	%MD0.14
21	VAR_GLOBAL	SPID_KP	FLOAT (Single Precision)		D16	%MD0.16
22	VAR_GLOBAL	SPID_KI	FLOAT (Single Precision)		D18	%MD0.18
23	VAR_GLOBAL	SPID_KD	FLOAT (Single Precision)		D20	%MD0.20
24	VAR_GLOBAL	SPID_MVSLIDE_L	Word[Signed]		D22	%MW0.22
25	VAR_GLOBAL	SPID_SVGRAPH_L	Word[Signed]		D23	%MW0.23
26	VAR_GLOBAL	SPID_PVGRAPH_L	Word[Signed]		D24	%MW0.24
27	VAR_GLOBAL	SPID_MVGRAPH_L	Word[Signed]		D25	%MW0.25
28	VAR_GLOBAL	SPIDMV_OUT_L	FLOAT (Single Precision)		D26	%MD0.26

Local Label Setting SPID_LEVEL [... | Local Label Setting SPID_FLOW [... | Local Label Setting CASCADE [PR... | Global Label Setting Global1

	Class	Label Name	Data Type	Constant	Device	Address
31	VAR_GLOBAL	SPIDSV_F	FLOAT (Single Precision)		D28	%MD0.28
32	VAR_GLOBAL	SPIDPV_F	FLOAT (Single Precision)		D30	%MD0.30
33	VAR_GLOBAL	SPIDMV_F	FLOAT (Single Precision)		D32	%MD0.32
34	VAR_GLOBAL	SPID_MVSLIDE_F	Word[Signed]		D34	%MW0.34
35	VAR_GLOBAL	SPID_SVGRAPH_F	Word[Signed]		D35	%MW0.35
36	VAR_GLOBAL	SPID_PVGRAPH_F	Word[Signed]		D36	%MW0.36
37	VAR_GLOBAL	SPID_MVGRAPH_F	Word[Signed]		D37	%MW0.37
38	VAR_GLOBAL	SPIDMV_OUT_F	FLOAT (Single Precision)		D38	%MD0.38
39						
40						
41	VAR_GLOBAL	CPID_AM	Bit		M24	%MX0.24
42	VAR_GLOBAL	CPID_CA	Bit		M25	%MX0.25
43	VAR_GLOBAL	CPIDSVP	FLOAT (Single Precision)		D40	%MD0.40
44	VAR_GLOBAL	CPIDPVP	FLOAT (Single Precision)		D42	%MD0.42
45	VAR_GLOBAL	CPIDMVP	FLOAT (Single Precision)		D44	%MD0.44
46	VAR_GLOBAL	CPIDP_KP	FLOAT (Single Precision)		D46	%MD0.46
47	VAR_GLOBAL	CPIDP_KI	FLOAT (Single Precision)		D48	%MD0.48
48	VAR_GLOBAL	CPIDP_KD	FLOAT (Single Precision)		D50	%MD0.50
49	VAR_GLOBAL	CPIDMVP_OUT	FLOAT (Single Precision)		D52	%MD0.52
50						
51	VAR_GLOBAL	CPIDSVS	FLOAT (Single Precision)		D54	%MD0.54
52	VAR_GLOBAL	CPIDPVS	FLOAT (Single Precision)		D56	%MD0.56
53	VAR_GLOBAL	CPIDMVS	FLOAT (Single Precision)		D58	%MD0.58
54	VAR_GLOBAL	CPIDS_KP	FLOAT (Single Precision)		D60	%MD0.60
55	VAR_GLOBAL	CPIDS_KI	FLOAT (Single Precision)		D62	%MD0.62
56	VAR_GLOBAL	CPIDS_KD	FLOAT (Single Precision)		D64	%MD0.64

Local Label Setting SPID_LEVEL [... | Local Label Setting SPID_FLOW [... | Local Label Setting CASCADE [PR... | Global Label Setting Global1

	Class	Label Name	Data Type	Constant	Device	Address
58	VAR_GLOBAL	CPID_SVPGRAPH	Word[Signed]		D66	%MW0.66
59	VAR_GLOBAL	CPID_PVPGRAPH	Word[Signed]		D67	%MW0.67
60	VAR_GLOBAL	CPID_MVPGRAPH	Word[Signed]		D68	%MW0.68
61	VAR_GLOBAL	CPID_SVSGRAPH	Word[Signed]		D69	%MW0.69
62	VAR_GLOBAL	CPID_PVSGRAPH	Word[Signed]		D70	%MW0.70
63	VAR_GLOBAL	CPID_MVSGRAPH	Word[Signed]		D71	%MW0.71
64	VAR_GLOBAL	CPID_MVSSLIDE	Word[Signed]		D72	%MW0.72
65	VAR_GLOBAL	CPIDMVS_OUT	FLOAT (Single Precision)		D74	%MD0.74
66						
67						

รูปที่ ข-6 การกำหนดตัวแปร Global

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ST 11/4/2023

Data Name : CASCADE

```
FLT(TRUE, ADC0, ADCFLT0);      ("LEVEL IN APPLICATION TANK")
  LEVEL:= (ADCFLT0*0.0313) - 25.0;

FLT(TRUE, ADC1, ADCFLT1);      ("FLOWRATE IN PLANT")
  FLOW:= (ADCFLT1*0.0067188) - 5.3752;

FLAGINITIAL_CPID := LDP(TRUE,M8002);     ("OPERATING EVERY 1 SEC")
IF (FLAGINITIAL_CPID = TRUE) THEN
    CPIDP_INTGR := 0.0;
    CPIDS_INTGR := 0.0;
END_IF;

FLAGP := LDP(TRUE,M8013);
IF (FLAGP = TRUE) AND (CPID_PAGE = TRUE) THEN
    CPIDPVP := LEVEL;
    CPIDPVS := FLOW*4.651;

    IF (CPID_AM = TRUE) THEN   ("OUTER/PRIMARY PROCESS VARIABLE")
        ERRORP := CPIDSVP - CPIDPVP;
        CPIDP_PROP := ERRORP * CPIDP_KP;

        CPIDP_INTGR := CPIDP_INTGR + ERRORP;
        IF CPIDP_INTGR >= 5000.0 THEN
          CPIDP_INTGR := 5000.0;
        END_IF;
        IF CPIDP_INTGR <= -5000.0 THEN
          CPIDP_INTGR := -5000.0;
        END_IF;

        CPIDP_DERV :=  CPIDP_KD * (ERRORP - ERRORP_LST);

        CPIDMVP := CPIDP_PROP + (CPIDP_KI * CPIDP_INTGR) + CPIDP_DERV;
        IF CPIDMVP >= 5000.0 THEN
          CPIDMVP := 5000.0;
        END_IF;
        IF CPIDMVP <= -5000.0 THEN
          CPIDMVP := -5000.0;
        END_IF;

        CPIDMVP_OUT := CPIDMVP/50.0;
        IF CPIDMVP_OUT >= 50.0 THEN
          CPIDMVP_OUT := 50.0;
        END_IF;
        IF CPIDMVP_OUT <= 0.0 THEN
          CPIDMVP_OUT := 0.0;
        END_IF;

        CPIDSVS := CPIDMVP_OUT;        ("INNER/SECONDARY PROCESS VARIABLE")
        ERRORS := CPIDSVS - CPIDPVS;
        CPIDS_PROP := ERRORS * CPIDS_KP;

        CPIDS_INTGR := CPIDS_INTGR + ERRORS;
        IF CPIDS_INTGR >= 5000.0 THEN
          CPIDS_INTGR := 5000.0;
        END_IF;
        IF CPIDS_INTGR <= -5000.0 THEN
          CPIDS_INTGR := -5000.0;
        END_IF;

        CPIDS_DERV :=  CPIDS_KD * (ERRORS - ERRORS_LST);

        CPIDMVS := CPIDS_PROP + (CPIDS_KI * CPIDS_INTGR) + CPIDS_DERV;
        IF CPIDMVS >= 5000.0 THEN
          CPIDMVS := 5000.0;
        END_IF;
        IF CPIDMVS <= -5000.0 THEN
          CPIDMVS := -5000.0;
        END_IF;

        CPIDMVS_OUT := CPIDMVS/50.0;
        IF CPIDMVS_OUT >= 50.0 THEN
          CPIDMVS_OUT := 50.0;
        END_IF;
        IF CPIDMVS_OUT <= 0.0 THEN
          CPIDMVS_OUT := 0.0;
        END_IF;
        CPID_MVSSLIDE := REAL_TO_INT(CPIDMVS_OUT);

        ERRORP_LST := ERRORP;
        ERRORS_LST := ERRORS;
    ELSE
        CPIDMVS_OUT := INT_TO_REAL(CPID_MVSSLIDE) ;
    END_IF;
```

```
    IF CPID_CA = TRUE THEN
        DA0 := 4000 - REAL_TO_INT(CPIDMVP_OUT * 40.0);
        DA1 := 4000 - REAL_TO_INT(CPIDMVS_OUT * 40.0);
    ELSE
        DA0 := REAL_TO_INT(CPIDMVP_OUT * 40.0);
        DA1 := REAL_TO_INT(CPIDMVS_OUT * 40.0);
    END_IF;

    CPID_SVPGRAPH :=  REAL_TO_INT(CPIDSVP);
    CPID_PVPGRAPH :=  REAL_TO_INT(CPIDPVP);
    CPID_MVPGRAPH :=  REAL_TO_INT(CPIDMVP_OUT);
    CPID_SVSGRAPH :=  REAL_TO_INT(CPIDSVP);
    CPID_PVSGRAPH :=  REAL_TO_INT(CPIDPVP);
    CPID_MVSGRAPH :=  REAL_TO_INT(CPIDMVP_OUT);
END_IF;
```

รูปที่ ข-7 โปรแกรมการอ่านค่าและควบคุมระดับน้ำภายในถังแบบ Cascade PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้