

การควบคุมการไหลแบบคาสเคดด้วยระบบสกาตาแบบออนไลน์  
LEVEL CASCADE CONTROL WITH ONLINE SCADA SYSTEMS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

การควบคุมการไหลแบบคาสเคดด้วยระบบสกาดาแบบออนไลน์  
LEVEL CASCADE CONTROL WITH ONLINE SCADA SYSTEMS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LEVEL CASCADE CONTROL WITH ONLINE SCADA SYSTEMS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACTULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การควบคุมการไหลแบบคาสเคดด้วยระบบสกาดาแบบออนไลน์  
LEVEL CASCADE CONTROL WITH ONLINE SCADA SYSTEMS

นักศึกษาผู้จัดทำ ณัฐ ชงธนานุรักษ์ รหัสนักศึกษา 56010369  
ธนกร พรจิโรภาส รหัสนักศึกษา 56010498  
ธวัชชัย พุทธสอน รหัสนักศึกษา 56010587

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2559

| อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ | ลายมือชื่อ   |
|-------------------------------|--|
| รศ. วิริยะ กองรัตน์           |  |
| รศ.ดร. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร    |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                  |   |            |               |          |
|------------------|---|------------|---------------|----------|
| หัวข้อปริญญาโท   | การควบคุมระดับแบบคาสเคดด้วยระบบสกาตาแบบออนไลน์<br>LEVEL CASCADE CONTROL WITH ONLINE SCADA SYSTEMS |            |               |          |
| นักศึกษาผู้จัดทำ | นายณัฐ  | ธงธนารักษ์ | รหัสนักศึกษา  | 56010369 |
|                  | นายธนกร   | พรจิโรภาส  | รหัสนักศึกษา  | 56010498 |
|                  | นายธวัชชัย  | พุทธสอน    | รหัสนักศึกษา  | 56010587 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รองศาสตราจารย์ วิริยะ   |            | กองรัตน์      |          |
|                  | รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา  |            | ทิพย์สุวรรณพร |          |
| ปีการศึกษา       | 2559  |            |               |          |

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบการควบคุมระดับของไหลด้วยวิธีคาสเคดคอนโทรล เปรียบเทียบกับระบบควบคุมแบบ Single Loop และวัดอัตราการไหลด้วยอุปกรณ์ Orifice Plate, Magnetic และ Venturi ที่ต่อเข้ากับ DP-Transmitter โดยใช้ระบบ Scada จากโปรแกรม LabVIEW เป็นตัวควบคุมกระบวนการจากคอมพิวเตอร์ และใช้ OPC-Server เป็นสื่อกลางการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ควบคุมกับตัวโปรแกรม ให้สามารถส่งและรับข้อมูลระหว่างกันได้ และโครงการนี้ยังรวมไปถึงการสื่อสารควบคุมระหว่างมนุษย์และเครื่องจักร โดยแสดงผลผ่านหน้าจอ HMI ให้ผู้ดูแลระบบและผู้จัดการสามารถตรวจสอบระบบและควบคุมได้ง่าย เพื่อความปลอดภัยและบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปควบคุมคุณภาพกระบวนการต่อไปได้ จากผลการทดลองพบว่าการควบคุมทั้งสองแบบมีจุดเด่นที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ถ้าต้องการควบคุมให้เข้าสู่ Steady State ให้รวดเร็วควรใช้การควบคุมแบบ Single Loop แต่ถ้าพิจารณาในด้านของประสิทธิภาพของระบบและการเกิด Error ควรเลือกใช้การควบคุมแบบ Cascade Loop

|                |   |                  |
|----------------|---|------------------|
| Thesis Title   | LEVEL CASCADE CONTROL WITH ONLINE SCADA SYSTEMS |                  |
| Authors        | Mr. Nat   | Thongthananuruck |
|                | Mr. Tanakorn                                    | Pornjilopard     |
|                | Mr. Thawatchai                                  | Puttasorn        |
| Thesis Advisor | Assoc. Viriya                                   | Kongratana       |
|                | Assoc.Prof.Dr. Vittaya                          | Tipsuwanporn     |
| Year           | 2016  |                  |

### ABSTRACT

This project investigates the flow control performances of a cascade loop controller, in comparison to single loop control. Flow rates data are obtained through three mechanisms: an orifice plate, a magnetic flow meter, and a Venturi tube; while Level data are obtained through a level transmitter. A supervisory controller in the form of a LabVIEW SCADA system is also used as a Human Machine Interface (HMI). Communication between the supervisory controller and the data acquisition modules is achieved through the use of an OPC server, allowing the transmission and receipt of data. The two controllers are then designed using the derived mathematical model, along with real time data acquired from the OPC server. Transient and steady state responses of the two controllers are compared. Results show that the cascade loop controller outperforms the single loop controller in both aspects. The results of showing that the two controls had different strengths depending on their purpose of use. Controlling the Steady State should be done quickly. Single loop control should be used, but in terms of system performance and error, Cascade Loop control should be used.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยคำแนะนำ คำปรึกษาและการช่วยเหลือต่างๆ จากอาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รศ. วิริยะ กองรัตน์ และ รศ.ดร. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ เป็นอย่างดี ทำให้ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการที่มอบสถานที่ทำการทดลอง และสนับสนุนอุปกรณ์ในการทำโครงการนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้กำลังใจ คำแนะนำ และอยู่ร่วมกันมาเสมอ ณ ติ๊กวิศวกรรมการวัดคุม

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ บิดา มารดา ที่คอยอบรมและส่งเสริม รวมทั้งสนับสนุนสินทรัพย์ในการศึกษาตลอดมา ตั้งแต่แรกเริ่มจนประสบความสำเร็จ คุณงามความดีที่เกิดจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คณะผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

|  | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                                   | I    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                                | II   |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                   | III  |
| สารบัญ.....  | IV   |
| สารบัญตาราง.....                                       | V    |
| สารบัญรูป.....   | VI   |
| <br>   |      |
| บทที่ 1 บทนำ.....                                      | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....                | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....                       | 1    |
| 1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....                           | 1    |
| 1.4 ขอบเขต.....  | 2    |
| 1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....                               | 2    |
| 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ.....                             | 2    |
| <br>   |      |
| บทที่ 2 ระบบควบคุมและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ.....     | 3    |
| 2.1 ระบบควบคุม.....                                    | 3    |
| 2.2 รูปแบบของระบบควบคุม.....                           | 4    |
| 2.2.1 ระบบควบคุมแบบวงรอบเปิด.....                      | 4    |
| 2.2.2 ระบบควบคุมแบบวงรอบปิด.....                       | 5    |
| 2.3 กลุ่มของตัวควบคุมที่มีสัญญาณออกเป็นการเปิดปิด..... | 6    |
| 2.4 ตัวควบคุมแบบฮีสเทรีสิส.....                        | 6    |
| 2.5 กลุ่มของตัวควบคุมที่มีสัญญาณออกเป็นอนาล็อก.....    | 7    |
| 2.6 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์.....                          | 7    |
| 2.7 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์.....                          | 7    |
| 2.8 ตัวควบคุมแบบพีไอดี.....                            | 8    |
| 2.9 อุปกรณ์ใช้วัดอัตราการไหล.....                      | 9    |
| 2.9.1 Venturi Tube / ท่อเวนทูรี.....                   | 9    |
| 2.9.2 แผ่นออริฟิส.....                                 | 10   |
| 2.9.3 เครื่องมือวัดการไหลแบบสนามแม่เหล็ก.....          | 12   |
| 2.10 PLC.....  | 12   |
| 2.10.1 โปรแกรมเมเบิล ลอจิก คอนโทรลเลอร์.....           | 12   |
| 2.10.2 โครงสร้างของ PLC.....                           | 14   |
| 2.10.3 ส่วนประกอบของ PLC.....                          | 14   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า      |
|---|-----------|
| 2.11 Control valve.....   | 15        |
| 2.11.1 Control Valve ประเภท Globe Valve.....                            | 15        |
| 2.12 OPC Server.....  | 15        |
| <b>บทที่ 3 การออกแบบและการใช้โปรแกรมควบคุม.....</b>                     | <b>17</b> |
| 3.1 การออกแบบทางด้าน Hardware.....                                      | 17        |
| 3.1.1 Block Diagram.....  | 17        |
| 3.1.2 Flow Chart ขั้นตอนการดำเนินงานของโปรเจค.....                      | 18        |
| 3.1.3 Piping & Instrument Diagram.....                                  | 19        |
| 3.2 ส่วนประกอบทาง Hardware.....   | 20        |
| 3.2.1 Control Valve ประเภท Globe Valve.....                             | 20        |
| 3.2.2 Orifice Plate.....  | 21        |
| 3.2.3 DP-Transmitter.....   | 22        |
| 3.2.4 Rota Meter.....   | 24        |
| 3.2.5 Tank.....   | 24        |
| 3.3 ด้านการออกแบบ Software.....   | 26        |
| 3.3.1 การเชื่อมต่อข้อมูลจาก PLC OMRON CH200h เข้ากับโปรแกรม NI OPC..... | 26        |
| Server  |           |
| 3.3.1.1 การเลือกอุปกรณ์ที่นำมาเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์.....          | 26        |
| 3.3.1.2 การเลือกอุปกรณ์โดยพิจารณาทางด้านที่ PLC และตั้งค่าของ.....      | 30        |
| ตัว PLC ที่ทำการเลือก   |           |
| 3.3.1.3 การเลือก Tag ของอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับ PLC.....                   | 34        |
| 3.3.1.4 การเปิดการเชื่อมต่อ PLC กับ NI OPC Server.....                  | 36        |
| 3.3.1.5 การเช็คค่าสถานะการทำงานของอุปกรณ์การวัดและควบคุม.....           | 36        |
| 3.3.2 การเชื่อมต่อข้อมูลจาก OPC Server ลงในโปรแกรม LabVIEW.....         | 37        |
| 3.3.2.1 การสร้าง I/O Server และ Variable เพื่อติดต่อ OPC Tag.....       | 37        |
| 3.3.2.2 การสร้าง I/O Server เพื่อติดต่อกับ OPC Server.....              | 38        |
| 3.3.2.3 การเลือกชนิด I/O Server.....                                    | 39        |
| 3.3.2.4 การเลือก OPC Server ใน PC ที่ต้องการติดต่อ.....                 | 39        |
| 3.3.2.5 การสร้าง Variable เพื่อลิ้งค์กับ OPC Tag ที่ต้องการติดต่อ.....  | 40        |
| 3.3.3 การสร้างหน้าจอ HMI (Human Machine Interface).....                 | 41        |
| 3.3.3.1 การสร้าง Block Diagram แสดงการควบคุมระดับ.....                  | 41        |
| 3.3.3.2 Front Panel หรือ HMI ของโปรแกรม LabVIEW.....                    | 45        |
| 3.3.4 Trial & Error Close-Loop Tuning.....                              | 45        |

## สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| บทที่ 4 การจำลองและการทดลอง.....                                  | 46   |
| 4.1 การจำลองกระบวนการผ่านชุดทดลอง.....                            | 46   |
| 4.1.1 การทดลองใช้ Host Link ส่งผ่าน PLC เพื่อควบคุม Plant.....    | 46   |
| 4.1.2 การควบคุม Plant ผ่านโปรแกรม LabView.....                    | 47   |
| 4.2 การทดลองเพื่อออกแบบกระบวนการควบคุม.....                       | 52   |
| 4.2.1 การทดลองเพื่อปรับค่า PID.....                               | 52   |
| 4.2.2 การหาค่า Performance Index ของระบบ.....                     | 60   |
| 4.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมระหว่าง Single Loop กับ..... | 62   |
| Cascade Loop  |      |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....                          | 65   |
| 5.1 สรุปผล.....   | 65   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ.....   | 65   |
| บรรณานุกรม.....   | 66   |
| ภาคผนวก.....  | 67   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 3.1 DP-Transmitter รุ่น STD920-A1N-00000-M-E9.....   | 23   |
| 4.1 การทดลองค่า PID ของ Single Loop ที่ Set Point = 50 (ที่ระดับน้ำ 50%).....                            | 52   |
| 4.2 การทดลองค่า PID ของ Cascade Loop ที่ Set Point = 50 (ที่ระดับน้ำ 50%).....                           | 52   |
| 4.3 การทดลองค่า IAE และ ITAE ของ Cascade Loop ที่ Set Point = 50.....<br>(ที่ระดับน้ำ 50%)               | 61   |
| 4.4 การทดลองค่า IAE และ ITAE ของ Single Loop ที่ Set Point = 50.....<br>(ที่ระดับน้ำ 50%)                | 61   |
| 4.5 ตารางแสดงค่า Percentage Overshoot ของ Cascade Loop ที่ Set Point =50.....<br>(ที่ระดับน้ำ 50%)       | 62   |
| 4.6 ตารางแสดงค่า Percentage Overshoot ของ Single Loop ที่ Set Point = 50.....<br>(ที่ระดับน้ำ 50%)       | 62   |
| 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าเวลาทั้งหมดที่เข้าสู่ Steady State.....<br>ระหว่าง Cascade Loop กับ Single Loop | 63   |
| 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่า Performance Index.....<br>ระหว่าง Cascade Loop กับ Single Loop                 | 63   |
| 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่า Overshoot ระหว่าง Cascade Loop กับ Single Loop.....                            | 64   |

## สารบัญรูป

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุม.....   | 4    |
| 2.2 ระบบควบคุมแบบรบบเปิด.....  | 4    |
| 2.3 ระบบควบคุมแบบวงรบบปิด.....   | 5    |
| 2.4 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ.....   | 6    |
| 2.5 ตัวควบคุมแบบเปิดปิด.....   | 6    |
| 2.6 ตัวควบคุมแบบฮีสเตอร์สิส.....   | 7    |
| 2.7 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน.....   | 7    |
| 2.8 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์.....  | 8    |
| 2.9 ตัวควบคุมแบบพีดี.....  | 8    |
| 2.10 ผลตอบสนองจากการนำเอาตัวควบคุมพีดีดีแบบต่างๆ ไปใช้กับระบบหลายๆแบบ..... | 9    |
| 2.11 โครงสร้างของ venture.....   | 10   |
| 2.12 โครงสร้างของเครื่องมือวัดการไหลแบบสนามแม่เหล็ก.....                   | 11   |
| 2.13 โครงสร้างของ PLC.....   | 12   |
| 2.14 ส่วนประกอบของ CPU.....  | 13   |
| 2.15 ส่วนประกอบของ Control valve.....                                      | 15   |
| 3.1 Block Diagram.....   | 17   |
| 3.2 การทำงานของกระบวนการควบคุม.....  | 19   |
| 3.3 Piping & Instrument Diagram.....                                       | 20   |
| 3.4 Control Valve.....   | 21   |
| 3.5 Orifice Plate.....   | 21   |
| 3.6 การต่อ Orifice Plate ร่วมกับ DP-Transmitter.....                       | 22   |
| 3.7 แสดงการต่อใช้งาน Orifice Plate .....                                   | 22   |
| 3.8 DP-Transmitter.....  | 23   |
| 3.9 Rotameter.....   | 24   |
| 3.10 มุมมอง Tank ด้านบน.....   | 25   |
| 3.11 มุมมอง Tank ด้านข้าง.....   | 25   |
| 3.12 NI OPC Server.....  | 26   |
| 3.13 Add a Channel.....  | 26   |
| 3.14 การตั้งชื่อ Channel ของ OPC Server.....                               | 27   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 3.15 การเลือก Device Driver ของ OPC Server.....                             | 27   |
| 3.16 ตั้งค่าการรับข้อมูลของ OPC Server.....                                 | 28   |
| 3.17 การเลือก Flow Control.....   | 28   |
| 3.18 การเขียนข้อมูลของ OPC Server.....                                      | 29   |
| 3.19 ผลการสร้าง Channel ของ OPC Server.....                                 | 29   |
| 3.20 การตั้งค่าอุปกรณ์โดยพิจารณาที่ PLC เชื่อมต่อกับอุปกรณ์การวัด.....      | 30   |
| 3.21 การสร้าง Device.....   | 30   |
| 3.22 การตั้งชื่ออุปกรณ์บน OPC Server.....                                   | 31   |
| 3.23 การเลือกรุ่นของอุปกรณ์ PLC ที่เลือกของ OPC Server.....                 | 31   |
| 3.24 การเลือกลำดับอุปกรณ์ PLC ของ OPC Server.....                           | 32   |
| 3.25 การเลือกเวลาที่ใช้ในการตอบสนองข้อมูลระหว่าง Device กับ OPC Server..... | 32   |
| 3.26 การเลือกโหมด Auto-Demotion.....  | 33   |
| 3.27 การเลือก Intercharacter Delay ของ OPC Server.....                      | 33   |
| 3.28 ผลสรุปการสร้าง Device ของ OPC Server.....                              | 34   |
| 3.29 การเลือก Tag ของอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับ PLC ของ OPC Server.....           | 34   |
| 3.30 การสร้าง Tags.....   | 35   |
| 3.31 การตั้งค่า Tags ของอุปกรณ์การวัดและควบคุม.....                         | 35   |
| 3.32 การ Connect PLC กับ OPC Server.....                                    | 36   |
| 3.33 การเช็คสถานะการทำงานของอุปกรณ์การวัดและควบคุม.....                     | 36   |
| 3.34 การเช็คสถานะการทำงานของ OPC Server.....                                | 36   |
| 3.35 สร้าง Blank.....   | 37   |
| 3.36 New project.....   | 37   |
| 3.37 Open Items.....  | 38   |
| 3.38 สร้าง I/O Server.....  | 38   |
| 3.39 การเลือกชนิด I/O Server.....   | 39   |
| 3.40 OPC Server ใน PC.....  | 39   |
| 3.41 การสร้าง Variable.....   | 40   |
| 3.42 Create Bound Variables.....  | 40   |
| 3.43 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรม.....   | 41   |
| 3.44 Flow Chart ของการตั้งค่าระดับของไหล.....                               | 42   |
| 3.45 Block Diagram ของ LabVIEW.....   | 43   |
| 3.46 Input ที่ได้รับจาก OPC Server.....                                     | 43   |
| 3.47 ส่วนควบคุมและแสดงผล.....   | 44   |
| 3.48 สัญญาณนาฬิกาและปุ่มหยุด.....   | 44   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| 3.49 Front Panel ของ LabVIEW.....   | 45   |
| 4.1 แสดงส่วนคอมพิวเตอร์พร้อมกับซอฟต์แวร์ Host Link LAB 1.0.....   | 46   |
| 4.2 สาย RS-232 ที่ใช้ต่อกับคอมพิวเตอร์.....   | 47   |
| 4.3 อุปกรณ์ PLC ยี่ห้อ OMRON C200HS 1 เครื่อง.....  | 47   |
| 4.4 Single Loop Front Panel.....  | 48   |
| 4.5 Cascade Loop Front Panel.....   | 48   |
| 4.6 เจจวัดอัตราการไหล.....  | 49   |
| 4.7 กราฟแสดงผล.....   | 49   |
| 4.8 ตำแหน่งใส่ค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมแบบพีไอดี.....   | 50   |
| 4.9 สถานะระบบน้ำในถังและสถานะคอนโทรลวาล์ว.....  | 50   |
| 4.10 Single Loop Block Diagram.....   | 51   |
| 4.11 Cascade Loop Block Diagram.....  | 51   |
| 4.12 กราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบ Single Loop.....  | 53   |
| 4.13 กราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบ Cascade Loop.....   | 54   |
| 4.14 กราฟเปรียบเทียบผลตอบสนองของการควบคุมทั้งสองวงรอบ.....  | 55   |
| 4.15 ผลการตอบสนองเมื่อ $K_c = 2.0$ , $T_i = 0.6$ , $T_d = 0$ .....  | 56   |
| 4.16 ผลการตอบสนองเมื่อ $K_c = 2.0$ , $T_i = 0.8$ , $T_d = 0$ (Level)<br>และ $K_c = 1.0$ , $T_i = 0.7$ , $T_d = 0$ (Flow)..... | 56   |
| 4.17 กราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบ Single Loop.....  | 57   |
| 4.18 กราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบ Cascade Loop.....   | 58   |
| 4.19 กราฟแสดงผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบ Single Loop.....  | 59   |
| 4.20 กราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบ Cascade Loop.....   | 60   |
| 4.21 แสดงถึงค่า Error ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการควบคุมกระบวนการแบบ Single Loop.....  | 63   |
| 4.22 แสดงถึงค่า Error ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการควบคุมกระบวนการแบบ Cascade Loop.....   | 64   |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันเป็นยุคที่มีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว การติดต่อสื่อสารจึงมีความสำคัญเป็นอันดับต้นๆ ปัญหาในการสื่อสารมักจะเกี่ยวข้องกับระยะทาง เพราะฉะนั้นจึงควรมีการติดต่อสื่อสารผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ทำให้สามารถเข้าถึงข้อมูลทั้งหมดได้จากสถานที่เดียว และกระบวนการในการควบคุมนั้นจะต้องต่อเนื่องไม่ติดขัด มีเสถียรภาพที่ดี ฉะนั้นกระบวนการแบบลูปเดี่ยว (Single Loop) จะปรับเสถียรภาพได้ช้ากว่า การควบคุมแบบคาสเคด (Cascade Control) อยู่มากทำให้เสียเวลาในการเริ่มต้นการทำงานของระบบ ถือว่าเป็นการสูญเสียที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ ดังนั้นการควบคุมแบบคาสเคดจะทำให้ง่ายและมีความรวดเร็วในการทำงาน ซึ่งจะแสดงผลผ่านจอ HMI ของโปรแกรม LabVIEW เพื่อทำให้ง่ายต่อการมองภาพรวมของระบบ และสังเกตข้อผิดพลาดได้อย่างชัดเจน

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการของการวัดระดับของไหล
2. เพื่อศึกษาการควบคุมระดับของไหลแบบคาสเคดคอนโทรล
3. เพื่อศึกษาการใช้ LabVIEW ในการควบคุมกระบวนการ
4. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบระหว่าง Single Loop กับ Cascade Loop

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในการปรับค่า PID ของ Single Loop และ Cascade Loop ระบบ แบบ Cascade จะสามารถเข้าหาค่า Steady State ได้เร็วกว่าและมีค่าสมรรถนะที่ดีกว่าแบบ Single Loop

### 1.4 ขอบเขต

1. ออกแบบ Block Diagram แบบ Cascade Loop และ Single Loop
2. ติดตั้ง Orifice Plate, Venturi และ Magnetic Flowmeter ร่วมกับ DP-Transmitter เป็น Flow Transmitter
3. ใช้โปรแกรม LabVIEW ในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมระดับน้ำ
4. เปรียบเทียบระบบ Single Loop กับ Cascade Loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาหลักการที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
2. ศึกษาตำราและค้นหาข้อมูลและปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงาน
3. สร้างแบบจำลอง Block Diagram และ Piping Diagram
4. จัดหาอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทำโครงการงาน ติดตั้ง และเขียน Software
5. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองและสรุปผลการทดลอง

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการนี้สามารถนำไปใช้ได้ใช้ในหลายหน่วยงาน และหลายองค์กรเนื่องจากการควบคุมแบบ Cascade Control จะมีจุดเด่นในเรื่องของความเสถียรและเกิด Error ขึ้นในระบบน้อย ซึ่งเหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการให้เกิดความผิดพลาดได้ไม่มาก โดยประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการศึกษาครั้งนี้

1. เรียนรู้วิธีการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่าง PLC กับ Computer
2. เรียนรู้การใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุมกระบวนการและแสดงผล
3. สามารถนำไปต่อยอดในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องได้
4. สามารถเปรียบเทียบระหว่าง Single Loop และ Cascade Loop ได้

## บทที่ 2

# ระบบควบคุมและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการ

ในบทนี้จะอธิบายถึงส่วนประกอบและรูปแบบต่างๆของระบบควบคุมและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการว่ามีหลักการใช้ทำงานอย่างไรได้แก่ Office, Magnetic, Flowmeter, Venturi Tube, PLC, Control Valve รวมถึงโปรแกรมที่ใช้ในการสื่อสารระหว่าง LabVIEW กับ PLC ด้วย OPC Server

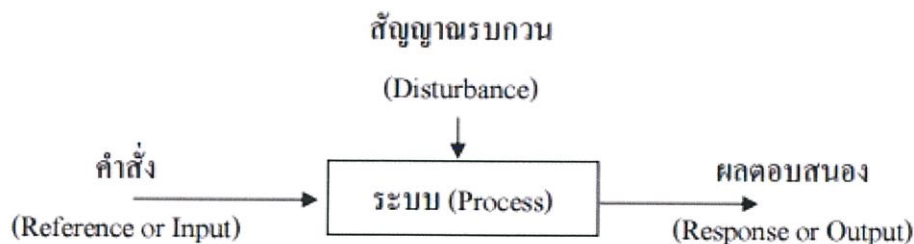
### 2.1 ระบบควบคุม

ระบบควบคุมได้ถูกนำมาใช้งานตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ ที่พอจะมีหลักฐานปรากฏให้เห็นก็คือ ระบบชลประทานที่มีการควบคุมระดับน้ำที่แจกจ่ายไปในพื้นที่เกษตรกรรม การวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุม โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1760 โดย เจมส์ วัตต์ โดยเขาได้นำมาใช้ในการออกแบบควบคุมเครื่องจักรไอน้ำ และในงานอื่นๆที่เขาได้พัฒนาขึ้นในภายหลัง พัฒนาการของระบบควบคุมเริ่มเข้มข้นและจริงจังมากขึ้นในช่วงสมัยสงครามโลกครั้งที่สอง เพื่อพัฒนาอาวุธยุทธภัณฑ์ต่างๆให้ก้าวหน้ากว่าประเทศคู่แข่ง พัฒนาการของระบบควบคุมแบ่งได้เป็น 2 ยุคหลักๆคือระบบควบคุมดั้งเดิม (Classical Control Systems) เป็นระบบควบคุมที่พัฒนาขึ้นในช่วงแรกๆ ที่มีการนำเอาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ซับซ้อนมากนักมาใช้ควบคุมระบบที่เป็นเชิงเส้น (Linear Systems) และระบบที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Time-invariant Systems) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ส่วนใหญ่ก็จะอยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ตัวอย่างของทฤษฎีเกี่ยวกับระบบควบคุมในยุคนี้ได้แก่ ระบบควบคุมพีไอดี (PID Controllers) เส้นทางการเดินราก (Root Locus) แผนภาพโบด (Bode Plot) และแผนภาพไนควิสต์ (Nyquist Plot) เป็นต้น [1]

ระบบควบคุมสมัยใหม่ (Modern Control Systems) เป็นระบบควบคุมที่พัฒนาขึ้นในช่วงหลังๆอันเนื่องมาจากข้อจำกัดในการใช้งานของทฤษฎีระบบควบคุมแบบดั้งเดิม ที่จำกัดการนำไปใช้งานกับระบบที่เป็นเชิงเส้น (Linear Systems) และระบบที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Time-invariant Systems) ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วระบบมักจะไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Systems) และแปรเปลี่ยนตามเวลา (Time-variant Systems) โดยที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในระบบควบคุมแบบดั้งเดิมมักมีข้อจำกัดในการใช้งานกับระบบประเภทนี้ จึงได้มีการคิดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีการควบคุมรูปแบบใหม่ๆขึ้นมา ตัวอย่างของทฤษฎีเกี่ยวกับระบบควบคุมในยุคนี้ได้แก่ ระบบที่อาศัยรูปแบบของสมการสแตต (State Variable) ในการคำนวณ ระบบควบคุมความเหมาะสม (Optimal Control) ระบบควบคุมแบบปรับตัวได้ (Adaptive Control) ระบบควบคุมลูกผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Hybrid Control) โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) และตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) เป็นต้น

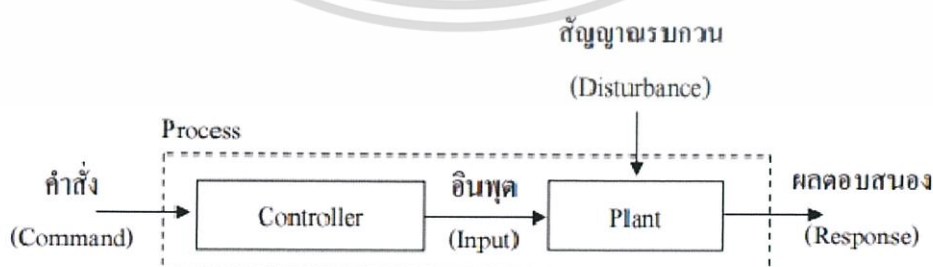


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุม [1]

จากรูปที่ 2.1 การควบคุมหมายถึง การควบคุมให้มีค่าเอาต์พุตที่ต้องการ โดยการป้อนค่าอินพุตที่เหมาะสมให้กับระบบ ตัวอย่างที่เห็นได้ทั่วไป เช่น ระบบควบคุมอุณหภูมิห้องของเครื่องปรับอากาศ หรือ แม่แต่ลูกลอยในโถส้วม ที่เปิดน้ำปิดน้ำโดยอัตโนมัติเมื่อน้ำหมดและน้ำเต็ม โดยในที่นี้ส่วนของ Input ก็คือคำสั่ง และ Output ก็คือผลการตอบสนองของระบบโดยในระบบจะมีสัญญาณรบกวนทำให้ผลตอบสนองที่ออกมาสามารถผิดพลาดได้ ระบบ (System) หมายถึง ส่วนหรือหน่วยที่ได้รวบรวมสิ่งต่างๆเข้าด้วยกัน ควบคุม (Control) หมายถึง การบังคับหรือสั่งการ ระบบควบคุม (Control Systems) หมายถึง ส่วนหรือหน่วยที่ได้รวบรวมสิ่งต่างๆเข้าด้วยกัน เพื่อใช้บังคับหรือสั่งการ เพื่อให้สิ่งใดสิ่งหนึ่งเป็นไปตามความต้องการ

## 2.2 รูปแบบของระบบควบคุม

### 2.2.1 ระบบควบคุมแบบวงรอบเปิด (Open Loop Control)

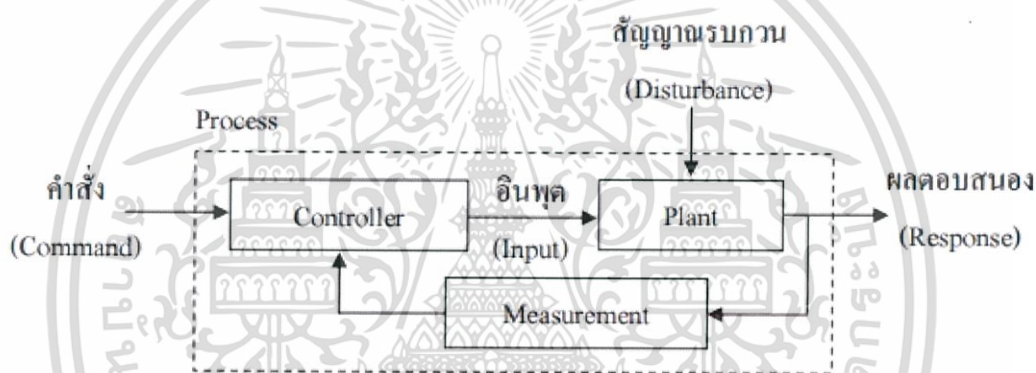


รูปที่ 2.2 ระบบควบคุมแบบรอบเปิด [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

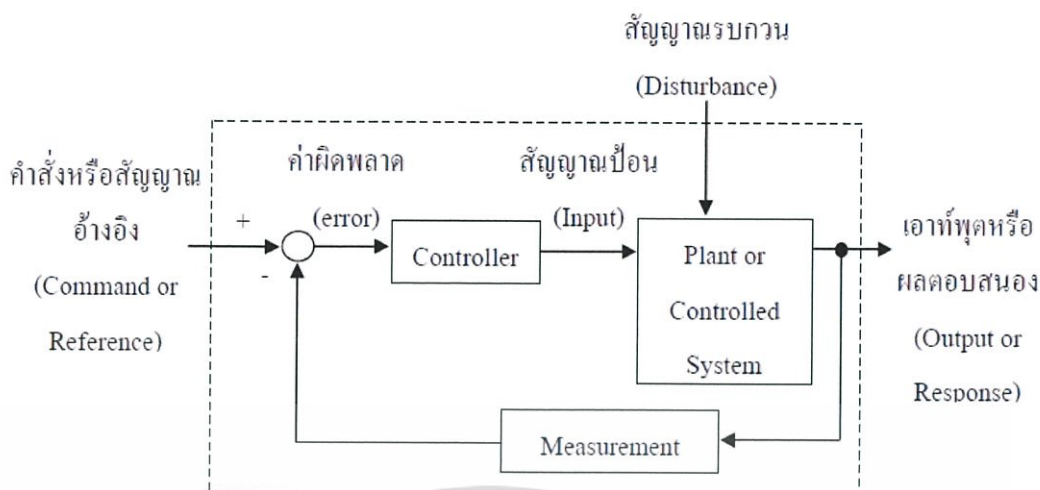
ลักษณะทั่วไปของระบบควบคุมแบบวงรอบเปิดจะเป็นไปตามรูปที่ 2.2 [1] ในการควบคุมแบบวงรอบเปิดตัวควบคุม (Controller) จะส่งสัญญาณป้อน (Input) ให้กับสิ่งที่ต้องการควบคุม (Plant) ตามคำสั่งหรือสัญญาณอ้างอิง (Command or Reference) โดยที่ตัวควบคุมจะอนุมานว่าเมื่อสิ่งที่ต้องการควบคุมได้รับสัญญาณป้อนแล้วนั้น ก็จะผลิตเอาต์พุตหรือผลตอบสนอง (Response) ให้ได้ตามที่คาดหวังไว้โดยไม่ต้องทำการตรวจสอบสัญญาณเอาต์พุตจริง ว่าเป็นไปตามคำสั่งหรือไม่ ตัวอย่างอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีลักษณะการทำงานเป็นแบบวงรอบเปิด ได้แก่ ตู้อบไมโครเวฟที่มีลักษณะการปรับเปลี่ยนกำลังไฟฟ้า โดยที่ไม่มีการตรวจสอบว่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ออกมาในรูปของสัญญาณไมโครเวฟนั้นว่าเป็นเท่าใดกันแน่ หรือออกมาได้เท่ากับที่ปรับตั้งไว้หรือไม่ ลักษณะการทำงานจึงเป็นวงรอบเปิด

### 2.2.2 ระบบควบคุมแบบวงรอบปิด (Closed Loop Control)



รูปที่ 2.3 ระบบควบคุมแบบวงรอบปิด [1]

ลักษณะทั่วไปของระบบควบคุมแบบวงรอบปิดจะเป็นไปตามรูปที่ 2.3 [1] ในการควบคุมแบบวงรอบปิด ตัวควบคุม (Controller) จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณอ้างอิงหรือคำสั่ง (Referent or Command) กับสัญญาณเอาต์พุตหรือผลตอบสนอง (Output or Response) ที่ป้อนกลับมาโดยตัวตรวจจับ (Measurement or Sensor) แล้วนำไปสร้างสัญญาณป้อนหรืออินพุต (Input) ให้กับสิ่งที่ต้องการควบคุม (System Under Controlled or Plant) เพื่อที่จะให้ผลิตเอาต์พุตหรือผลตอบสนองให้เป็นไปตามสัญญาณอ้างอิงที่ต้องการ (Command or Reference) ระบบควบคุมแบบวงรอบปิดอาจจะเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) ตามรูปที่ 2.4 [1] ระบบนี้เป็นระบบควบคุมที่พยายามรักษาเอาต์พุตให้ได้ตามต้องการ โดยการนำเอาสัญญาณเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงที่ต้องการ แล้วนำค่าความแตกต่างไปใช้ในการควบคุมสัญญาณป้อนให้กับสิ่งที่ต้องการควบคุม



รูปที่ 2.4 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ [1]

### ชนิดของการควบคุมที่พบบ่อยในงานอุตสาหกรรม

ชนิดของการควบคุมที่พบบ่อยในงานอุตสาหกรรมระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรมมักเกี่ยวข้องกับการควบคุมใน 2 ลักษณะคือ 1) การควบคุมระบบด้วยการเปิดปิดการทำงาน และ 2) การควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณควบคุมที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าต่อเนื่องเป็นสัญญาณอนาล็อก ตัวอย่างของตัวควบคุมที่พบได้บ่อยๆในงานอุตสาหกรรมแบ่งตามลักษณะการควบคุมดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

### 2.3 กลุ่มของตัวควบคุมที่มีสัญญาณออกเป็นการเปิดปิด

ตัวควบคุมแบบเปิดปิด (On-off or Bang-bang Control) ลักษณะการทำงานก็คือการสั่งเปิดปิดการทำงานเมื่อผลตอบสนองมากกว่าหรือน้อยกว่าสัญญาณอ้างอิง บล็อกไดอะแกรมและฟังก์ชันการทำงานเป็นดังรูปที่ 2.5 [1]



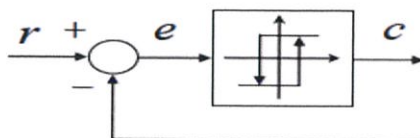
รูปที่ 2.5 ตัวควบคุมแบบเปิดปิด [1]

### 2.4 ตัวควบคุมแบบฮิสเทรีสิส (Hysteresis Control)

ลักษณะการทำงานก็คือ การสั่งเปิดปิดการทำงานเมื่อผลตอบสนองมากกว่าหรือน้อยกว่าสัญญาณอ้างอิงบวกหรือลบด้วยย่านการสั่งการเปิดปิด (Band) ซึ่งจะแตกต่างกับเปิด-ปิดตรง Band (การกำหนดให้มีการเปิดปิดในช่วงที่กว้างขึ้น) เช่น ถ้าเราตั้งค่า Setpoint ไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศา เราก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจจะกำหนดให้ช่วงการเปิด คือ 24 องศา และปิดที่ 26 องศา ซึ่งถ้าเป็นตัวควบคุมแบบเปิดปิดก็จะสั่งปิดที่เกิน 25 องศา และเปิดเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศา

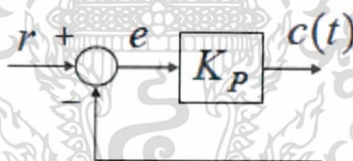


รูปที่ 2.6 ตัวควบคุมแบบฮิสเทอรีซิส [1]

## 2.5 กลุ่มของตัวควบคุมที่มีสัญญาณออกเป็นอนาล็อก

ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control) ลักษณะการทำงานก็คือการส่งสัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณค่าความผิดพลาด บล็อกไดอะแกรมและฟังก์ชันการทำงานเป็นดังรูปที่ 2.7 [1] จากสมการที่ (2.1)

$$c(t) = K_p e(t) \quad (2.1)$$



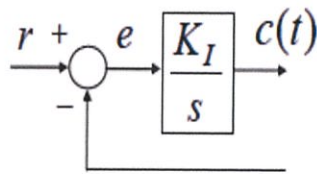
รูปที่ 2.7 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน [1]

## 2.6 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Control)

ลักษณะการทำงานก็คือการส่งสัญญาณเอาต์พุตออกมาจากการอินทิเกรตสัญญาณค่าความผิดพลาด บล็อกไดอะแกรมและฟังก์ชันการทำงานเป็นดังรูปที่ 2.8 [1] จากสมการที่ (2.2)

$$c(t) = K_I \int_0^t e(\tau) d\tau \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

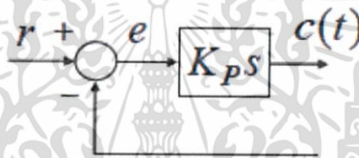


รูปที่ 2.8 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ [1]

## 2.7 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control)

ลักษณะการทำงานก็คือการส่งสัญญาณเอาที่พุดออกมาจากการอนุพันธ์สัญญาณค่าความผิดพลาด บล็อกไดอะแกรมและฟังก์ชันการทำงานเป็นดังรูปที่ 2.9 [1] จากสมการที่ (2.3)

$$c(t) = \frac{K_d de(t)}{dt} \quad (2.3)$$



รูปที่ 2.9 ตัวควบคุมแบบพีดี [1]

## 2.8 ตัวควบคุมแบบพีไอดี

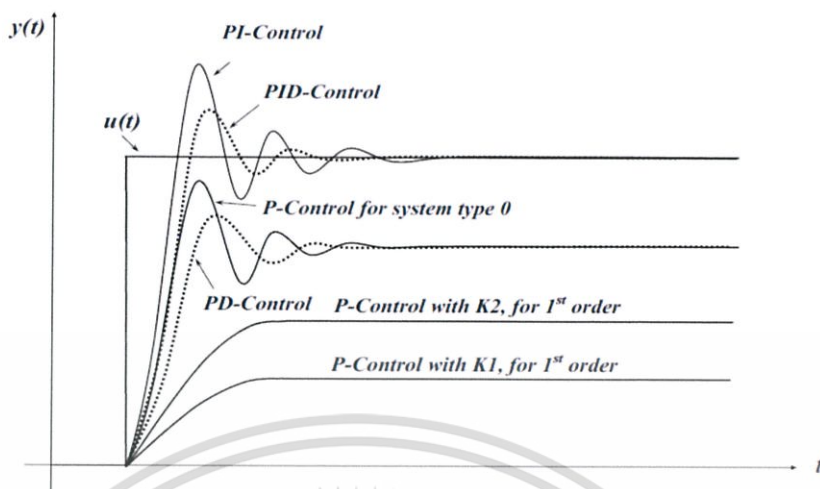
ตัวควบคุมแบบพีไอดี เป็นตัวควบคุมที่พบบ่อยมากที่สุดในงานอุตสาหกรรมทั่วไปเพราะเป็นตัวควบคุมที่ใช้งานง่าย การปรับค่าส่วนขยายอาศัยหลักการที่ไม่ได้ซับซ้อนมากนักก็ให้ผลตอบสนองเป็นที่ยอมรับได้ สามารถปรับแต่งการควบคุมได้ง่ายเมื่อต้องการ ระบบควบคุมแบบพีไอดีมีตัวควบคุมย่อย 3 ตัว คือ 1) ตัวควบคุมแบบสัดส่วนหรือตัวควบคุมพี 2) ตัวควบคุมแบบปริพันธ์หรือตัวควบคุมไอ และ 3) ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์หรือตัวควบคุมดี ในการควบคุมระบบทั่วไปมักใช้งานตัวควบคุมร่วมกัน เช่น การควบคุมแบบพีไอ การควบคุมแบบพีดี และการควบคุมแบบพีไอดี

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.4)$$

สมการอันดับหนึ่ง

$$\frac{K}{\tau_s + 1} e^{-t/\tau_s} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ผลตอบสนองจากการนำเอาตัวควบคุมพีไอดีแบบต่างๆ ไปใช้กับระบบหลายๆแบบ [1]

จากรูปที่ 2.10 [1] จะเห็นว่าถ้าหากนำตัวควบคุมแบบพีไอไปใช้กับระบบที่เป็นอันดับหนึ่ง ผลตอบสนองที่ได้จะมีค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัว ซึ่งสามารถลดผลกระทบได้ด้วยการเพิ่มค่าเกนของตัวควบคุมให้สูงขึ้น สำหรับการนำไปใช้กับระบบที่มีอันดับสูงกว่านั้น ค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวก็จะมีค่าอยู่ และการลดผลกระทบด้วยการปรับค่าเกนของตัวควบคุมพีไอให้สูงขึ้น อาจส่งผลให้การพุ่งเกินมีค่าสูงขึ้นได้ ถ้าหากใช้ตัวควบคุมร่วมกันระหว่างพีกับไอ หรือตัวควบคุมแบบพีไอกับระบบนี้แล้ว ตัวควบคุมแบบโอไคก็จะช่วยจำกัดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัว แต่ผลตอบสนองที่ได้จะยังมีค่าพุ่งเกินเหมือนเดิม ถ้าหากใช้ตัวควบคุมร่วมกันระหว่างพีกับดี หรือตัวควบคุมแบบพีดีกับระบบนี้แล้ว การพุ่งเกินของผลตอบสนองก็จะลดลง แต่ค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวก็จะมีค่าอยู่ ดังนั้นถ้าหากใช้ตัวควบคุมร่วมกันระหว่างพี ไอและดี ด้วยการปรับค่าเกนให้เหมาะสมกับระบบนั้นๆ ก็จะได้ผลตอบสนองแบบหน่วงต่ำกว่าวิกฤตที่มีค่าพุ่งเกินเหมาะสมกับระบบนั้นๆ

## 2.9 อุปกรณ์ใช้วัดอัตราการไหล

### 2.9.1 Venturi Tube / ท่อเวนทูรี

ท่อเวนทูรี (Venturi Tube) เป็นอุปกรณ์ใช้วัดการไหล (Flow Measurement) ที่วัดได้ทั้งของเหลวและก๊าซ ทำงานโดยอาศัยทฤษฎีของเบอร์นูลลี (Bernoulli's Theorem) หรือหลักการวัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure) เช่นเดียวกับแผ่นออริฟิส (Orifice Plate) โดยออกแบบท่อเวนทูรีให้มีค่าความดันสูญเสียเกิดขึ้นน้อยที่สุด มีลักษณะรูปร่างเหมือนกรวย ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ทางด้านขาเข้ามีลักษณะเป็นกรวยแบบลู่เข้า (Converging Conical) ส่วนที่ 2 บริเวณช่วงกลางที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดคงที่ (Cylindrical Throat) และส่วนที่ 3 บริเวณทางด้านขาออก ท่อมีไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

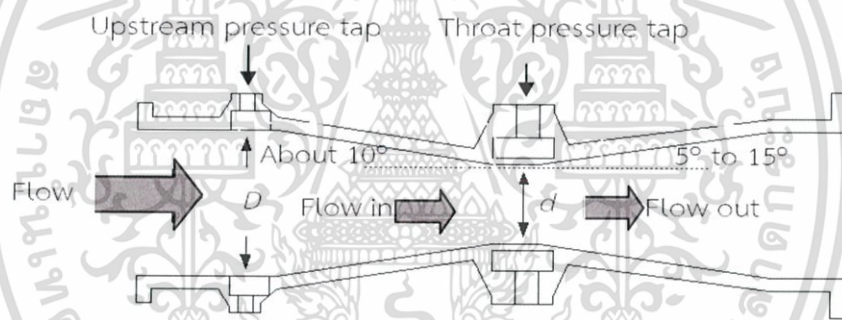
ลักษณะเป็นกรวยที่ขยายออก (Diverging Conical) ลักษณะการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพื้นที่หน้าตัดของท่อเวนตูรีเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป การเปลี่ยนแปลงความเร็วของของไหลจึงเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ส่งผลให้ค่าความดันสูญเสียมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับแบบแผ่นออริฟิสหรือนอสเซล (Nozzle)

การวัดอัตราการไหลด้วยท่อเวนตูรีโดยใช้อาศัยหลักการของวัดความดันแตกต่าง ( $\Delta P$ ) ระหว่างจุด 2 จุดที่ของไหลไหลผ่าน และคำนวณหาอัตราการไหลโดยใช้ทฤษฎีของเบอร์นูลลี เช่นเดียวกับการวัดการไหลด้วยแผ่นออริฟิส (ดังสมการที่ (2.6)) โดยตำแหน่งในการติดตั้งจุดวัดความดันพิจารณาจุด 2 จุดที่มีค่าความดันแตกต่างกันมากที่สุด นั่นคือ จุดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเวนตูรีใหญ่ที่สุด ( $D$ ) และจุดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเวนตูรีเล็กที่สุด

$$Q = K\sqrt{\Delta P} \quad (2.6)$$

โดย  $K$  คือ ค่าคงที่ของท่อและชนิดของของไหล ( $m^3/s/\text{psi}$ )

$\Delta P$  คือ ค่าความดันแตกต่างระหว่างจุดสองจุดที่ของไหลไหลผ่าน (psi)



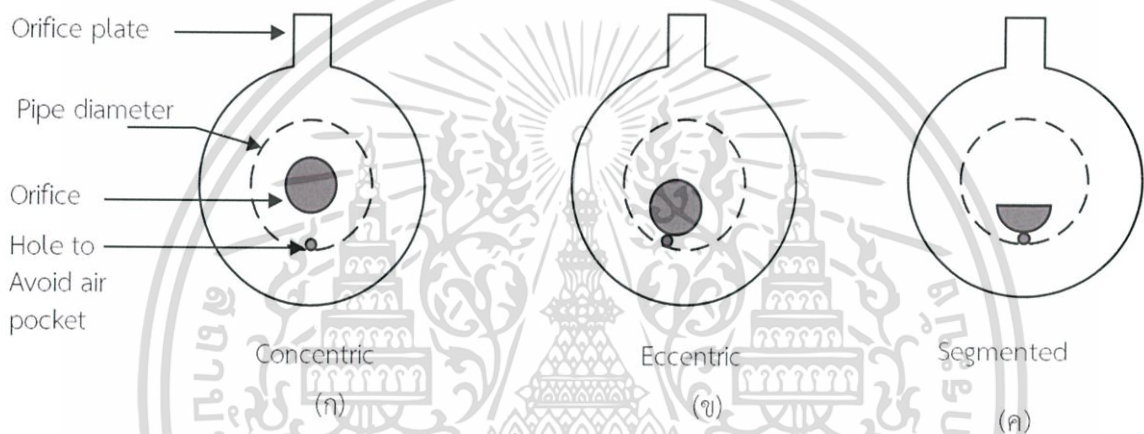
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของ venturi [1]

การวัดการไหลด้วยท่อเวนตูรีให้ค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ค่าความเที่ยงตรง (Precision) และความแม่นยำ (Accuracy) สูงกว่าการวัดการไหลด้วยแผ่นออริฟิส [1] โดยท่อเวนตูรีสามารถใช้วัดการไหลของของไหลได้ในทุกกรณีที่แผ่นออริฟิสวัดได้ รวมถึงสามารถใช้งานกับของไหลที่มีสารแขวนลอยปะปนได้โดยไม่เกิดการอุดตัน นอกจากนี้ยังใช้วัดการไหลที่มีค่าอัตราการไหลสูงได้ อย่างไรก็ตาม ท่อเวนตูรีมีราคาค่อนข้างแพง การติดตั้งและการซ่อมบำรุงทำได้ยากเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นออริฟิส โดยเฉพาะอย่างยิ่งการติดตั้งภายในท่อที่มีขนาดเล็ก ดังนั้น โดยทั่วไปจึงนิยมใช้ท่อเวนตูรีสำหรับการวัดอัตราการไหลในท่อที่มีขนาดใหญ่เท่านั้น

### 2.9.2 แผ่นออริฟิส (Orifice Plate)

เป็นอุปกรณ์ใช้วัดการไหล (Flow Measurement) ของของไหล โดยวัดการไหลได้ทั้งของเหลวและก๊าซ นิยมนำมาใช้งานเนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่าย ราคาถูก สะดวกในการติดตั้งและการบำรุงรักษา แข็งแรงทนทาน และให้ค่าการวัดที่ถูกต้องเที่ยงตรง (Accuracy) ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับราคา

แผ่นออริฟิสแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ ออริฟิสแบบจุดศูนย์กลางเดียวกัน (Concentric Orifice) (รูปที่ 2.12 (ก)) ออริฟิสแบบเยื้องศูนย์กลาง (Eccentric Orifice) (รูปที่ 2.12 (ข)) และออริฟิสชนิดที่มีช่องตรงกลางเป็นส่วนของวงกลม โดยตำแหน่งของช่องออริฟิสจะอยู่ด้านบนหรือด้านล่างก็ได้ ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ด้านล่าง (รูปที่ 2.12 (ค))



รูปที่ 2.12 รูปแบบของออริฟิส

โดยทั่วไปแผ่นออริฟิสทำด้วยโลหะมีช่องเปิดวงกลมอยู่ตรงกลาง โดยช่องออริฟิสทางด้านของไหลไหลเข้าเป็นมุมฉาก และทางด้านขาออกขยายทำมุม 30 ถึง 45 องศา เพื่อลดแรงเสียดทานให้ของไหลสามารถไหลผ่านได้อย่างสะดวก ซึ่งการใช้แผ่นออริฟิสสำหรับวัดอัตราการไหลนี้สามารถวัดการไหลได้เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น โดยติดตั้งภายในท่อในลักษณะขวางทิศทางการไหล และติดตั้งเครื่องมือวัดความดันแตกต่าง ( $\Delta P$ ) ระหว่างความดันบริเวณด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นออริฟิส ซึ่งอาจเลือกใช้เครื่องมือวัดความดันแตกต่างชนิดใดก็ได้

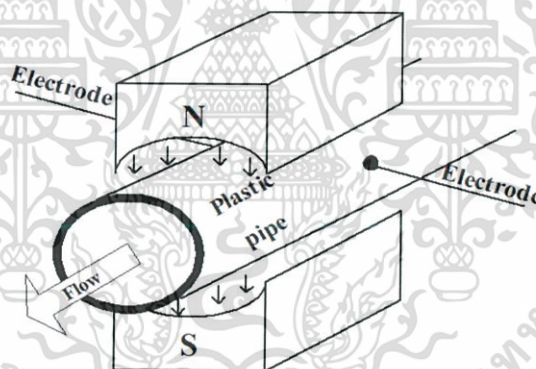
การวัดอัตราการไหล (Flow Measurement) ด้วยแผ่นออริฟิส ของไหลควรมีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) หรือมีค่าความหนืด (Viscosity) ต่ำและไม่ควรมีสารแขวนลอยปะปน เนื่องจากสารแขวนลอยอาจเกิดการสะสมที่บริเวณด้านหลังของแผ่นออริฟิสได้ นอกจากนี้ถ้าเป็นของไหลชนิดอัดตัวไม่ได้หรือของเหลวต้องแน่ใจว่าปริมาณของเหลวที่ไหลภายในท่อสูงกว่าช่องออริฟิส เพื่อให้เกิดค่าความดันแตกต่างอย่างชัดเจน [1]

แผ่นออริฟิสเป็นอุปกรณ์วัดการไหลที่นิยมใช้ อย่างไรก็ตาม การใช้งานออริฟิสไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง จะส่งผลทำให้ค่า Discharge Coefficient ( $C_d$ ) เกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการได้รับแรงเสียดทาน หรือจากการสัมผัสกับอนุภาคที่ปะปนมากับของไหลจนเกิดการสึกหรอและค่าไม่ว่การณัใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากค่าอัตราการไหลของของไหลกับค่าความดันแตกต่างกันอย่างไม่เป็นเชิงเส้น ดังนั้น ในการใช้งานแผ่นออริฟิศจรพิจารณาการวัด (Range) ให้เหมาะสม และทำการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องมือวัดอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้แน่ใจว่าค่าที่วัดได้มีความถูกต้องเที่ยงตรง [1]

### 2.9.3 เครื่องมือวัดการไหลแบบสนามแม่เหล็ก (Electromagnetic Flow Meter)

เครื่องมือวัดการไหล (Flow Measurement) ชนิดนี้ทำงานโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำที่ เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็ก เมื่อของเหลวที่เป็นตัวนำไฟฟ้าไหลผ่านสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงดันไฟฟ้า ขึ้นในแนวตั้งฉากกับทิศทางของสนามแม่เหล็ก โครงสร้างโดยทั่วไปของเครื่องมือวัดชนิดนี้ ประกอบด้วย ท่อที่มีลักษณะเป็นฉนวนไฟฟ้า วางตัวอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มของเส้นแรงแม่เหล็กคงที่ และติดตั้งขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วให้สัมผัสกับของเหลวที่ไหลอยู่ภายในท่อ โดยปลายของขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ด้านใช้เป็นจุดวัดแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการไหลของของเหลว (ดังรูปที่ 2.13) วัสดุที่ใช้ทำท่อต้องมีคุณสมบัติไม่เป็นสารแม่เหล็ก โดยทั่วไปทำด้วยพลาสติก หรือถ้าเป็นท่อสแตนเลสต้องเคลือบด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็น ฉนวนไฟฟ้า ได้แก่ โพลีเอทิลีน หรือนีโอพรีลีน เพื่อป้องกันการลัดวงจรกับขั้วไฟฟ้าที่ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของเครื่องมือวัดการไหลแบบสนามแม่เหล็ก

### 2.10 ส่วนประกอบของ PLC

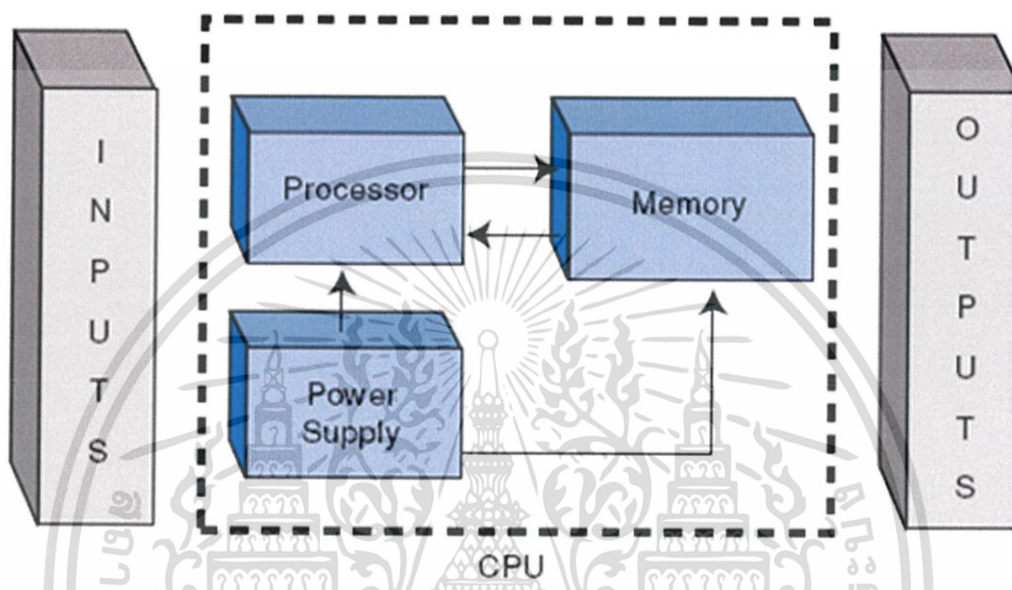
PLC แบ่งออกได้ 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. ส่วนที่เป็นหน่วยประมวลผลกลาง (Control Processing Unit : CPU)
2. ส่วนที่เป็นอินพุต/เอาต์พุต (Input Output : I/O)
3. ส่วนที่เป็นอุปกรณ์การโปรแกรม (Programming Device)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.10.1 CPU

CPU เป็นส่วนมันสมองของระบบ ภายใน CPU จะประกอบไปด้วยวงจร Logic Gate ชนิดต่างๆ หลายชนิด และมี Microprocessor-based ใช้สำหรับแทนอุปกรณ์จำพวก รีเลย์ (Relay) หรือ เคาน์เตอร์ (Counter) หรือ ไทเมอร์ (Timer) เพื่อให้ผู้ใช้ได้ออกแบบใช้วงจรรีเลย์ แลตเตอร์ลอจิก (Relay Ladder Logic) เข้าไปได้



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของ CPU [2]

จากรูปที่ 2.14 CPU จะอ่านค่าข้อมูลอินพุต (Input Data) จากอุปกรณ์ให้สัญญาณ (Sensing Device) ต่างๆ จากนั้นจะปฏิบัติการและเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำ และส่งข้อมูลที่เหมาะสมถูกต้องไปยังอุปกรณ์ควบคุม (Control Device) แหล่งของกระแสไฟฟ้าตรง (DC Current) สำหรับใช้สร้างโวลต์ต่ำ (Low Level Voltage) ซึ่งใช้โดยโปรเซสเซอร์ (Processor) และไอโอโมดูล (I/O Modules) และแหล่งจ่ายไฟนี้จะเก็บไว้ที่ CPU หรือแยกออกไปติดตั้งที่จุดอื่นก็ได้ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตแต่ละราย

การประมวลผลของ CPU จากโปรแกรมทำได้โดยรับข้อมูลจากหน่วยอินพุตและเอาท์พุตและเพื่อส่งข้อมูลสุดท้ายที่ได้จากการประมวลผลไปยังหน่วยเอาท์พุตเรียกว่าการสแกน (Scan) ซึ่งใช้เวลาจำนวนหนึ่ง เรียกว่า เวลาสแกน (Scan Time) เวลาในการสแกนแต่ละรอบใช้เวลาประมาณ 1 ถึง 100 msec. (0.001-0.1วินาที) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลและความยาวของโปรแกรม หรือจำนวนอินพุต/เอาท์พุตหรือจำนวนอุปกรณ์ที่ต่อจาก PLC เช่น เครื่องพิมพ์ จอภาพ เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้จะทำให้เวลาในการสแกนยาวนานขึ้น การเริ่มต้นการสแกนเริ่มจากรับคำสั่งของสถานะของอุปกรณ์จากหน่วยอินพุตเพื่อส่งข้อมูลนำมาเก็บไว้เพื่อนำไปเก็บไว้ภายในหน่วยความจำ (Memory) เสร็จแล้วจะทำการปฏิบัติการตามโปรแกรมที่เขียนไว้ที่ละคำสั่งจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำนั้นจนสิ้นสุดการทำงานแล้วส่งไปที่หน่วยเอาต์พุต ซึ่งการสแกนของ PLC ประกอบด้วย [2]

1. I/O Scan คือ การบันทึกสถานะข้อมูลของอุปกรณ์ที่เป็นอินพุต และให้อุปกรณ์เอาต์พุตทำงาน
2. Program Scan คือ การให้โปรแกรมทำงานตามลำดับก่อนหลังส่วนของอินพุตและเอาต์พุต (I/O Unit)

### 2.10.2 ส่วนของอินพุตและเอาต์พุต (I/O Unit)

จะต่อร่วมกับชุดควบคุมเพื่อรับสถานะและสัญญาณต่างๆ เช่น หน่วยอินพุตรับสัญญาณหรือสถานะแล้วส่งไปยัง CPU เพื่อประมวลผล เมื่อ CPU ประมวลผลแล้วจะส่งให้ส่วนของเอาต์พุต เพื่อให้อุปกรณ์ทำงานตามที่โปรแกรมเอาไว้

สัญญาณอินพุตจากภายนอกที่เป็นสวิตช์และตัวตรวจจับชนิดต่างๆ จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณที่เหมาะสมถูกต้อง ไม่ว่าจะเป็น AC หรือ DC เพื่อส่งให้ CPU ดังนั้น สัญญาณเหล่านี้จึงต้องมีความถูกต้องไม่เช่นนั้นแล้ว CPU จะเสียหายได้

สัญญาณอินพุตที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติและหน้าที่ดังนี้

1. ทำให้สัญญาณอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับ PLC
2. การส่งสัญญาณระหว่างอินพุตกับ CPU จะติดต่อกันด้วยลำแสง ซึ่งอาศัยอุปกรณ์ประเภทนี้ ก็คือ โฟโตทรานซิสเตอร์เพื่อต้องการแยกสัญญาณทางไฟฟ้าออกจากกันเป็นการป้องกันไม่ให้ CPU เสียหายเมื่ออินพุตเกิดลัดวงจร
3. หน้าสัมผัสจะต้องไม่สั่นสะเทือน (Contact Chattering)

ในส่วนของเอาต์พุต จะทำหน้าที่รับค่าสถานะที่ได้จากการประมวลผลของ CPU ต่อจากนั้นนำค่าเหล่านี้ไปควบคุมอุปกรณ์ทำงาน เช่น รีเลย์ โซลินอยด์ หรือหลอดไฟ เป็นต้น นอกจากนั้นแล้ว ยังทำหน้าที่แยกสัญญาณของหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ออกจากอุปกรณ์เอาต์พุต โดยปกติเอาต์พุตนี้จะมีความสามารถขับโหลดด้วยกระแสไฟฟ้าประมาณ 1-2 แอมแปร์ แต่ถ้าโหลดต้องการกระแสไฟฟ้ามากกว่านี้ จะต้องต่อเข้ากับอุปกรณ์ขับอื่นเพื่อขยายให้รับกระแสไฟฟ้ามากขึ้น เช่น รีเลย์หรือคอนแทคเตอร์ เป็นต้น

อุปกรณ์ที่ใช้เป็นสัญญาณอินพุต ได้แก่ พรอกซิมีตีส์วิตช์ (Proximity Switch) ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch), ไทเมอร์ (Timer), โฟโตอิเล็กทริก (Photoelectric Switch) และเอนโค้ดเดอร์ (Encoder) เป็นต้น

อุปกรณ์ที่ใช้เป็นสัญญาณเอาต์พุต ได้แก่ รีเลย์ (Relay) มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor) โซลินอยด์ (Solenoid) ขดลวดความร้อน (Heat Coil) หลอดไฟ (Lamp) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

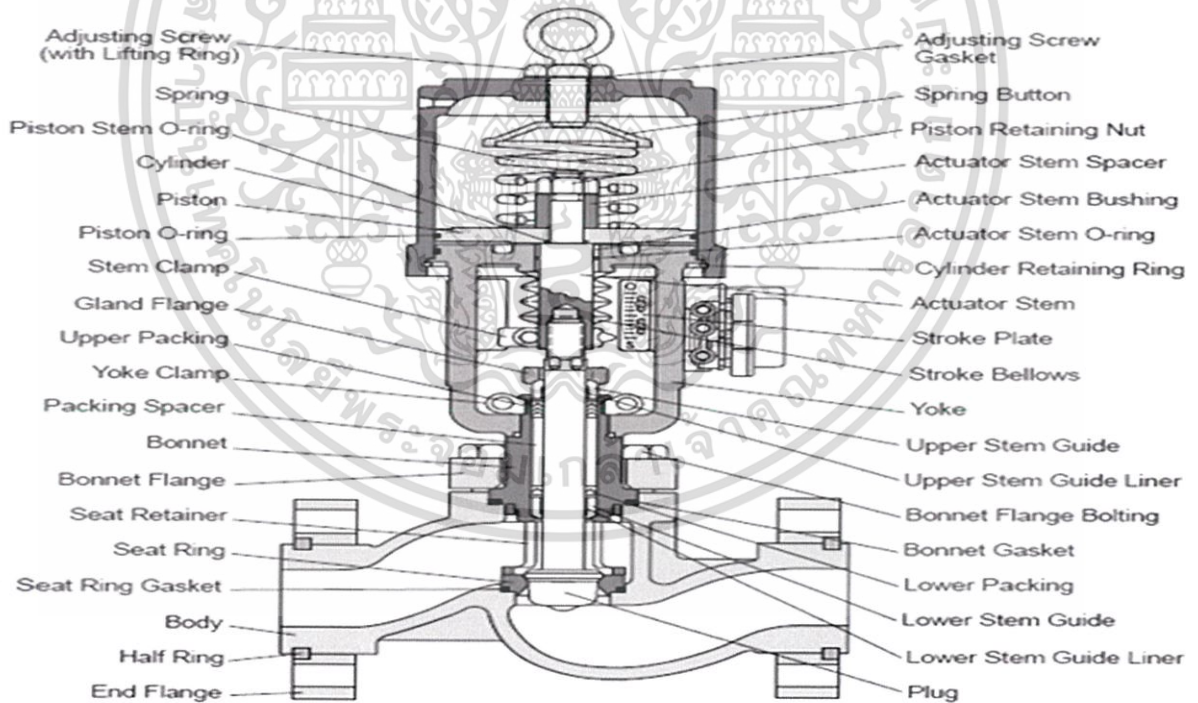
### 2.10.3 เครื่องป้อนโปรแกรม (Programming Device)

เครื่องป้อนโปรแกรม (Hand Held) ทำหน้าที่ ควบคุมโปรแกรมของผู้ใช้ลงในหน่วยความจำของ PLC นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ติดต่อระหว่างผู้ใช้กับ PLC เพื่อให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบการปฏิบัติงานของ PLC และผลการควบคุมเครื่องจักรและกระบวนการตามโปรแกรมควบคุมที่ผู้ใช้เขียนขึ้นได้อีกด้วย เครื่องป้อนโปรแกรม (Hand Held) แต่ละยี่ห้อจะไม่เหมือนกันแต่มีจุดประสงค์ในการใช้งานที่เหมือนกัน [2]

## 2.11 Control Valve

### 2.11.1 Control Valve ประเภท Globe Valve

ในระบบนี้จะเลือกใช้ Globe Valve เนื่องจากควบคุมความดันออกมาเป็นเชิงเส้นได้ดี เนื่องจากมีการหักเหทิศทางของการไหล ให้ขึ้นไปในแนวตั้งฉากจึงทำให้เปิดปิดได้ง่ายขึ้น และยังสามารถใช้กับความดันสูงๆได้ เพราะจุดเด่นนี้จึงทำให้เป็นที่นิยมใช้ ในงานที่ต้องการควบคุมอัตราการไหล [9]



รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบของ Control Valve [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12 OPC server

OPC คือ OLE For Process Control อธิบายง่าย ๆ คือ หากเรามี Controller (PLC, DCS) แต่ต้องการจะสื่อสารกับอุปกรณ์ควบคุมอื่น ๆ เช่น HMI, SCADA หรือ Remote Unit ต่างๆ ที่คนละยี่ห้อกันเพื่อให้สามารถสื่อสารกันได้จะต้องใช้ OPC เปรียบง่าย ๆ ก็คือเป็นเหมือนตัวแปลภาษาของอุปกรณ์ให้คุยกันรู้เรื่องนั่นเอง แต่ถ้าอุปกรณ์ยี่ห้อเดียวกันอันนี้แล้วแต่บริษัทนั้น ๆ แล้วว่าวางคอนเซ็ปต์ไว้ว่าต้องใช้ OPC หรือไม่ ส่วนมากหากอุปกรณ์ยี่ห้อเดียวกันก็มักไม่จำเป็นต้องใช้

ด้วยรูปแบบมาตรฐานของข้อมูลแบบเปิด ทำให้ผู้ผลิตอุปกรณ์ทั้งหลายบนโลกใบนี้สามารถพัฒนาระบบสื่อสารข้อมูลของตนให้เป็นไปตามมาตรฐานเดียวกันบ้างก็เป็น Server (ผู้ให้ข้อมูลซึ่งก็มักจะเป็นอุปกรณ์หรือเครื่องมือต่างๆในโรงงาน เช่น Sensor, Controller, PLC หรือ HMI) กับ Client (ผู้ใช้ข้อมูลซึ่งมักจะเป็นระบบการบริหารจัดการทรัพยากรต่างๆ เช่น HMI, SCADA) ทั้งนี้การประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นการช่วยให้มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลจากอุปกรณ์ต่างค่ายกัน หรือ การรวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์ต่างๆที่หลากหลายในเชิงของข้อมูลมีรูปแบบและมาตรฐานที่แตกต่างกันทำได้ง่ายขึ้น (หากต่างคนต่างพูดแต่ภาษาของตัวเอง พอจับมาอยู่รวมกันก็คงจะสื่อสารกันลำบาก)



## บทที่ 3

# การออกแบบและ การใช้โปรแกรมควบคุม

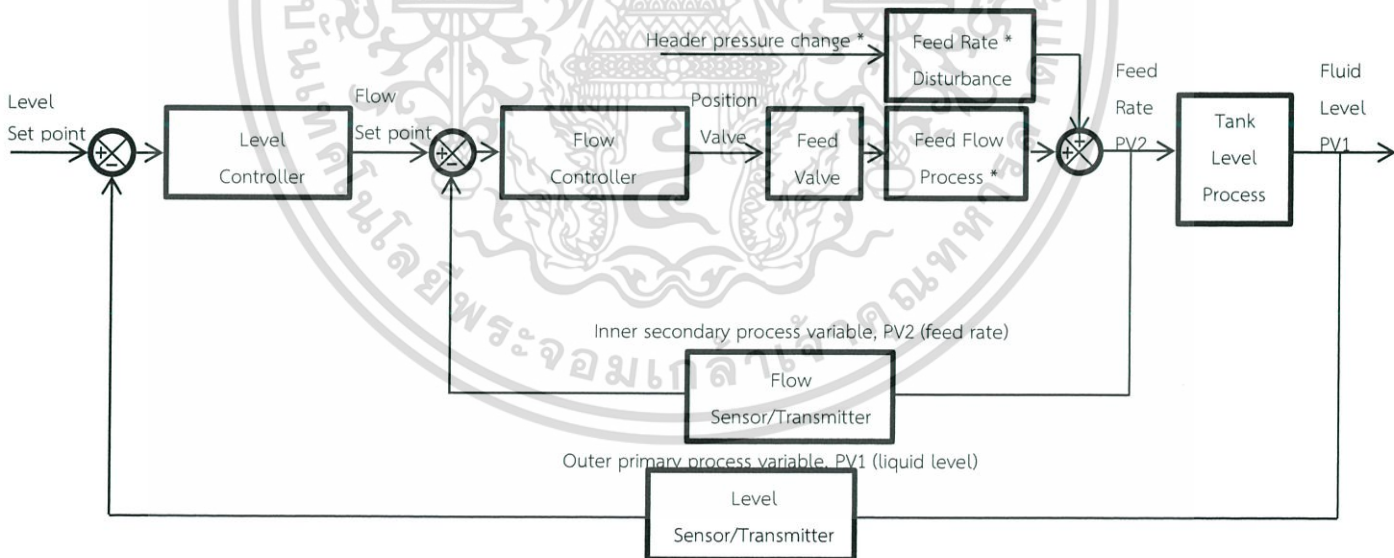
ในบทนี้จะอธิบายถึงวิธีการออกแบบโครงสร้างของโปรเจกต์ที่ต้องการศึกษา เช่น โครงสร้างของการดำเนินงาน โครงสร้างของวงจรควบคุม (Block Diagram) และ โครงสร้างของการติดตั้งใช้งานอุปกรณ์ (P&ID) ในโครงสร้างของการดำเนินงานจะมีการอธิบายถึงวิธีการใช้งาน Software ภายในบทนี้ รวมถึงวิธีการควบคุมที่ใช้ในการดำเนินงาน

### 3.1 การออกแบบทางด้าน Hardware

เป็นการออกแบบโครงสร้างการใช้อุปกรณ์การวัดและควบคุมต่างๆ โดยพิจารณาจากสิ่งที่ต้องการควบคุม อุปกรณ์ที่เลือกใช้ และหลักการควบคุม โดยวิธีการออกแบบจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ Flow Chart, Block Diagram และ Piping & Instrument Diagram

#### 3.1.1 Block Diagram

เป็นแผนภาพจำลองกระบวนการควบคุมของกระบวนการทั้งหมด โดยจะมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องเข้ามาผ่านขั้นตอนต่างๆ ให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ควบคุมไว้ ดังรูปที่ 3.1



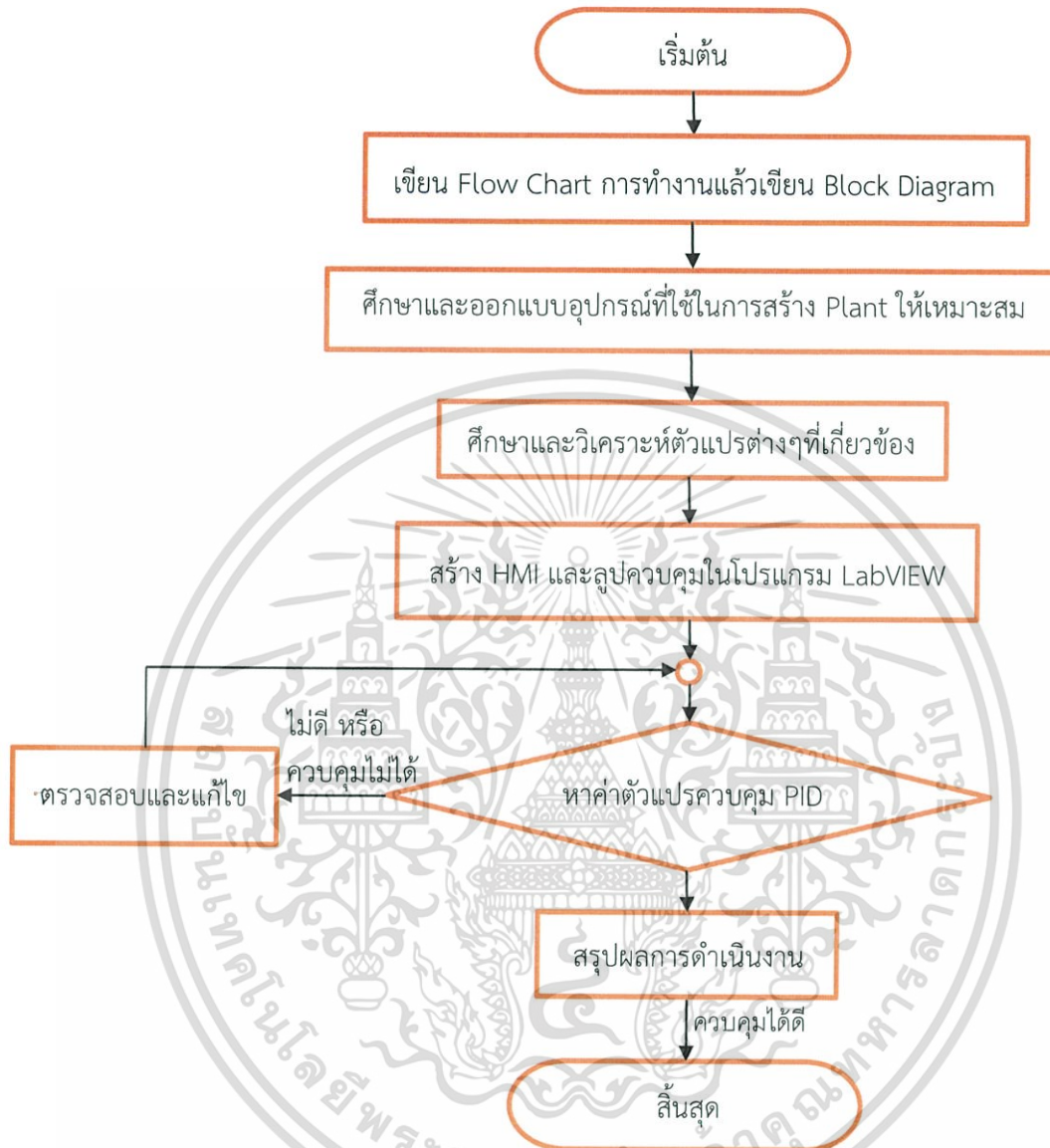
รูปที่ 3.1 Block Diagram

หมายเหตุ \*

1. Header pressure change หมายถึง แรงดันของน้ำทางอินพุทหรือจากปั๊มเกิดการเปลี่ยนแปลง
2. Feed Rate Disturbance หมายถึง ตัวแปรรบกวนที่ส่งผลต่ออัตราการไหล เช่น ปั๊มน้ำหยุดทำงานชั่วคราว ซึ่งมีโอกาสเกิดได้ถ้าเกิดไฟตก
3. Feed Flow Process หมายถึง อัตราการไหลของน้ำที่ไหลออกจาก Control Valve

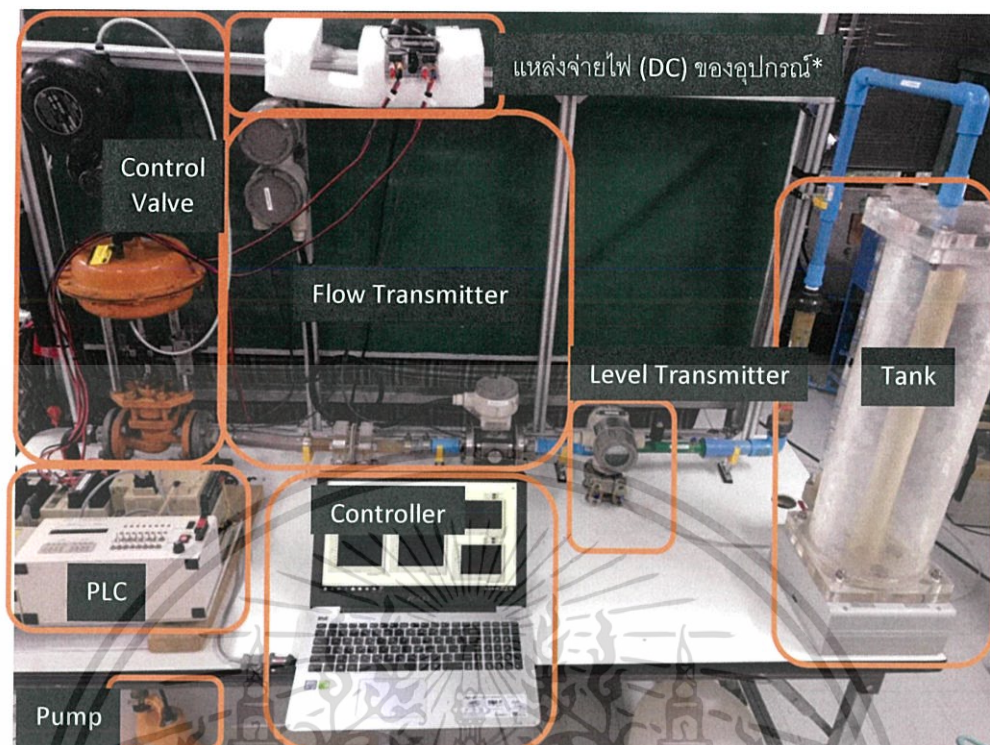
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 Flow Chart ขั้นตอนการดำเนินงานของโปรเจค



Flow Chart นี้แสดงถึงขั้นตอนการดำเนินงานของโปรเจค ซึ่งเมื่อศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องและจะสามารถสร้าง Block Diagram เพื่อใช้เป็นวิธีการควบคุม และสร้าง P&ID เพื่อใช้เป็นแผนภาพการออกแบบชิ้นงาน โดยขั้นตอนแรกจะต้องออกแบบ Block Diagram ของระบบควบคุมแบบ Cascade แล้วศึกษาหาอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในโปรเจคนี้ นำอุปกรณ์มาวาดผัง P&ID Diagram แล้วลองทำการติดตั้งตามแบบแผน เมื่อมีข้อผิดพลาดให้ทำการแก้ที่ผังให้เหมือนชิ้นงานจริงให้มากที่สุด ในการจะทำการควบคุมกระบวนการจะต้องรู้จักตัวแปรที่จะควบคุมก่อนโดยพิจารณาจาก Block Diagram แล้วนำไปเขียนโปรแกรมควบคุมบน LabVIEW ให้ทำการควบคุมตัวแปรเหล่านั้นด้วยตัวแปร PID รวมถึงสร้างหน้าจอ HMI เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาตัวแปรที่ทำการควบคุมด้วยการแสดงผลเป็น Flowchart ของ Set Point, Process Variable และ Manipulate Variable เมื่อกราฟที่แสดงผลออกมาแสดงให้เห็นว่าควบคุมได้ดีหรือไม่ (พิจารณาจาก Steady-State) แล้วบันทึกค่า PID ที่ควบคุมได้ดีลงตารางบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การทำงานของกระบวนการควบคุม

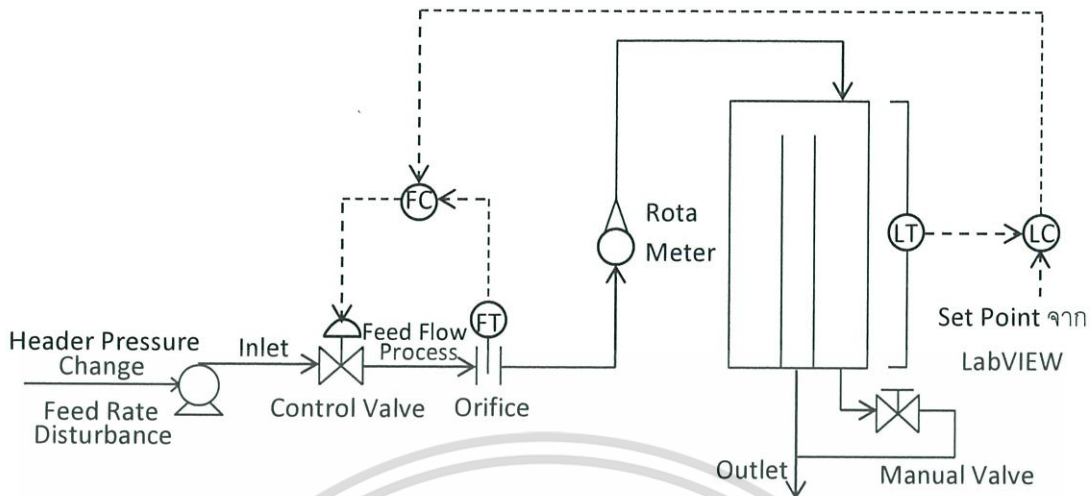
จากรูปที่ 3.1 และ 3.2 เมื่อเริ่มต้นกระบวนการส่วน Controller จะรับค่า Level Set Point (SP1) จากการตั้งค่าผ่านคอมพิวเตอร์ รับค่าอุปกรณ์การวัดและควบคุมผ่าน PLC โดย PLC ทำหน้าที่เป็นตัวกลางรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์และคอมพิวเตอร์ แล้วนำ Set Point (SP1) มาเปรียบเทียบกับ Level Sensor/Transmitter (PV1) นำมาประมวลผลคำนวณค่า Controller Output ตัวที่ 1 (CO1) เพื่อนำมาเป็น Flow Set Point (SV2) และนำค่าที่วัดได้จาก Flow Sensor/Transmitter มาประมวลผลคำนวณค่า Controller Output ตัวที่ 2 (CO2) นำไปขับเคลื่อน Control Valve ให้ค่อยๆเปิด ระดับน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อใกล้ถึงค่าเป้าหมาย CO1 จะสั่งการให้ลดอัตราการไหล และ CO2 จะสั่งให้ Control Valve ค่อยๆปิด ซึ่งในกระบวนการนี้สามารถเกิดตัวแปรบกพร่องได้ เช่น ป้อนน้ำหยุดทำงานชั่วคราว โดยกระบวนการจะพยายามรักษาระดับไว้ที่ค่าเป้าหมาย

หมายเหตุ \* อุปกรณ์ใช้สัญญาณ 4-20 mA (Control Valve, Flow Transmitter และ Level Transmitter) จึงต้องใช้ตัวแปลงแหล่งจ่ายไฟจากกระแส AC ไปเป็น DC

### 3.1.3 Piping & Instrument Diagram

เป็นแบบแสดงรายละเอียดของระบบ Piping และอุปกรณ์วัดและควบคุมต่างๆ เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการดำเนินการออกแบบ รวมไปถึงการติดตั้งชิ้นงาน ผู้ดำเนินการจะต้องทำความเข้าใจกับรายละเอียดที่ต้องการ และมาตรฐานนั้นๆ เพื่อนำไปพัฒนาความต้องการต่างๆของผู้ใช้งาน ออกมาเป็นข้อมูลรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ และแผนภาพกระบวนการผลิตนี้ ดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 Piping & Instrument Diagram

Piping & Instrument Diagram จะแสดงรายละเอียดการทำงานของ Hardware เริ่มจากปั๊มน้ำเข้ามาผ่าน Control Valve อัตราการไหลจะเปลี่ยนไปหรือเกิด Feed Flow Process ที่ถูกควบคุมจาก Controller ผ่าน Flow Transmitter ซึ่งมี Rotameter ใช้แสดงและปรับเทียบอัตราการไหล จากนั้นน้ำเข้าสู่ Tank ซึ่งมี Level Transmitter เป็นตัววัดและควบคุม สุดท้ายน้ำออกจาก Tank ซึ่งสามารถออกได้สองทาง คือ ชอน้ำล้น และใต้ Tank โดยมี Manual Valve ปรับอัตราการไหลของน้ำที่ไหลออกได้ โดย Disturbance จะเกิดขึ้นที่ปั๊มน้ำได้ส่งผลให้แรงดันของน้ำที่ส่งมาเปลี่ยนแปลงไป (Header Pressure Change) ซึ่งทำให้อัตราการไหลเปลี่ยนแปลงไปด้วยจากตัวแปรรบกวน (Feed Rate Disturbance)

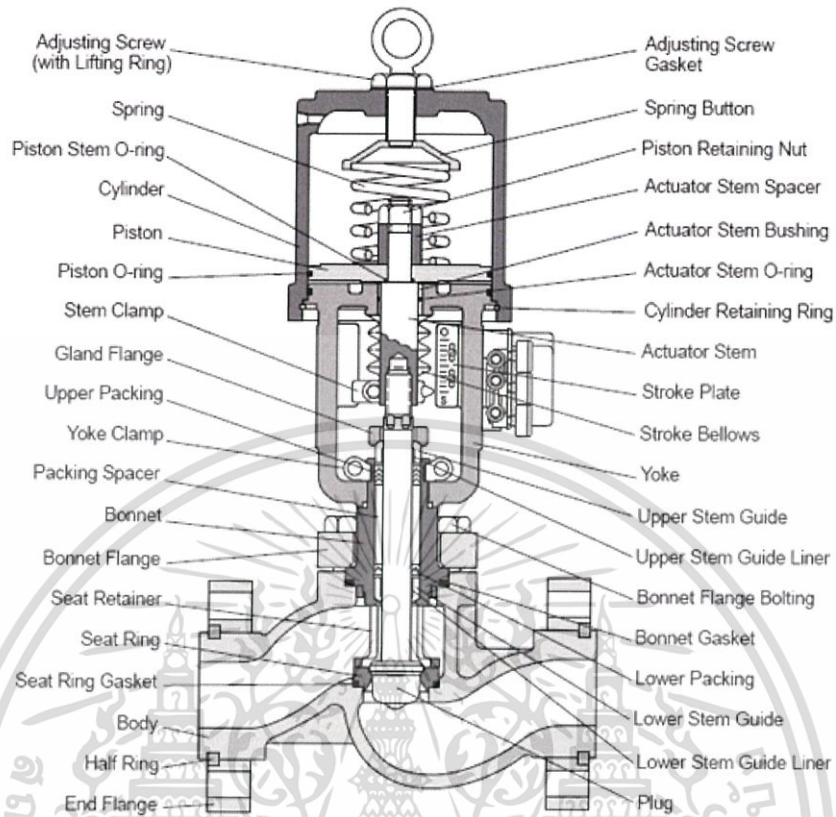
แผนภาพนี้แสดงถึงวิธีการควบคุมแบบ Cascade Control โดยจะเห็นว่ามีการวัดระดับน้ำจากแท่งค์ผ่านทาง Level Transmitter (LT) แล้วนำระดับน้ำไปเปรียบเทียบกับ Set Point ที่ได้ตั้งค่าไว้ใน LabVIEW จากนั้นส่งค่าไปยัง Level Controller (LC) เพื่อสั่งการควบคุมให้ระดับน้ำในแท่งค์เข้าสู่ Set Point ที่ตั้งไว้ โดยสั่งการไปที่ Flow Controller (FC) ซึ่งจะนำค่า Output จาก Level Controller มาเปรียบเทียบกับอัตราการไหลที่ได้จาก Flow Transmitter (FT) แล้วนำไปควบคุม Control Valve ให้เปิดเพิ่มขึ้นหรือปิดลดลงทำให้อัตราการไหลเปลี่ยนแปลงไปจนส่งผลให้ระดับน้ำเท่ากับ Set Point ที่ตั้งไว้

## 3.2 ส่วนประกอบทาง Hardware

### 3.2.1 Control Valve ประเภท Globe Valve

ในระบบนี้จะเลือกใช้ Globe Valve เนื่องจากควบคุมความดันออกมาเป็นเชิงเส้นได้ดี เนื่องจากมีการหักเหทิศทางของการไหล ให้ขึ้นไปในแนวตั้งฉากจึงทำให้เปิดปิดได้ง่ายขึ้น และยังสามารถใช้กับความดันสูงๆได้

ตัวอย่างอุปกรณ์ควบคุมประเภท Globe Valve



รูปที่ 3.4 Control Valve ประเภท Globe Valve ยี่ห้อ Valtak

### 3.2.2 Orifice Plate

เป็นอุปกรณ์ใช้วัดอัตราการไหล นิยมนำมาใช้งานในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่าย ราคาถูก แข็งแรงทนทาน สะดวกในการติดตั้งและการบำรุงรักษา เมื่อไม่ได้ต้องการวัดอัตราการไหลที่ต้องการ ความถูกต้องเที่ยงตรงสูง ถือว่าให้ค่าการวัดที่ถูกต้องเที่ยงตรง ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

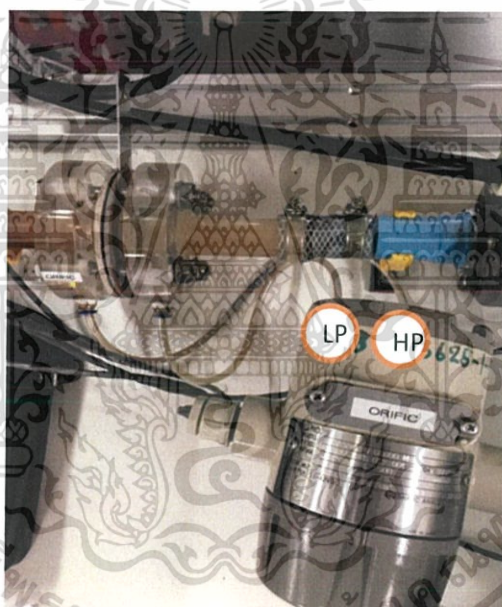


รูปที่ 3.5 Orifice Plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงการต่อ Orifice Plate ร่วมกับ DP-Transmitter



รูปที่ 3.7 ลักษณะการต่อ Orifice จริงในโปรเจกต์

จากรูปที่ 3.7 ในโครงการนี้จะใช้ DP-Transmitter ต่อร่วมกับแผ่น Orifice เพื่อวัดค่าอัตราการไหล โดยด้าน High Pressure (HP) ต่อเข้ากับด้านขาเข้าของ Orifice และด้าน Low Pressure ต่อเข้ากับด้านขาออกของ Orifice แล้วเปรียบเทียบความดันแตกต่างทั้งสองข้างของแผ่น Orifice โดยนำค่าความดันแตกต่างที่ได้คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ไปเปรียบเทียบเป็นอัตราการไหล (เช่น 0%ของความดันแตกต่างคือ อัตราการไหลเป็นศูนย์ และ 100% ของความดันแตกต่างคือ อัตราการไหลสูงสุด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 DP-Transmitter

อุปกรณ์นี้จะถูกนำไปใช้ร่วมกับ อุปกรณ์วัดอัตราการไหลอย่าง Orifice Plate หรือ Venturi โดยมีหน้าที่วัดความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น เพื่อนำสัญญาณไปเปรียบเทียบแปลงผลความดันให้ออกมาเป็นอัตราการไหล ในที่นี้จะนำ DP-Transmitter ยี่ห้อ Yamatake Honeywell รุ่น STD920-A1N-00000-M-E9 มาใช้ร่วมกับ Orifice Plate ซึ่งมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 3.1 DP-Transmitter ยี่ห้อ Yamatake Honeywell รุ่น SP-3000

(วัสดุชิ้นส่วนที่สัมผัสของไหล: โดอะแฟรม; SUS316L, อื่นๆ; SUS316)

|   |  |
|---|--|
| ความถูกต้อง<br>เที่ยงตรง (*3)   | Linear Output: $\pm 0.075\%$ (สำหรับ $x \geq 50.0kPa$ {5000mm H <sub>2</sub> O})<br>$\pm 0.1\%$ (สำหรับ $50.0kPa$ {5000mmH <sub>2</sub> O} > $x \geq 5.0 kPa$ {500 mmH <sub>2</sub> O})<br>$\pm (0.025 + 0.075 \times \frac{5.0}{x}) \%$ (สำหรับ $x \geq 50.0 kPa$ {5000mmH <sub>2</sub> O})<br>Squire-root Output: เมื่อเอาท์พุทเป็น 50-100% ให้คิดแบบ Linear Output<br>เมื่อเอาท์พุทเป็น 7.1-50% ให้ Linear Output คูณกับ $\frac{50}{\text{squire-root output}} \%$<br>เมื่อเอาท์พุทน้อยกว่า 7.1% ให้ตัดทิ้งไป |
| คุณสมบัติทาง<br>อุณหภูมิ (การ<br>เลื่อนจากจุดตั้ง<br>ต้น) (3*) ที่<br>55°C  | การเลื่อนจากจุดศูนย์: $\pm (0.25 + 0.3 \times \frac{12.5}{x}) \%$<br>ผลรวมการเลื่อน: $\pm 0.8\%$ (สำหรับ $x \geq 12.5kPa$ {1250 mmH <sub>2</sub> O})<br>(ผลรวมจากจุดศูนย์ และ Span ของการ<br>เลื่อน) $\pm (0.35 + 0.45 \times \frac{12.5}{x}) \%$ (สำหรับ $x \leq 12.5kPa$ {1250 mmH <sub>2</sub> O})  |
| ผลกระทบจาก<br>ความดันไม่<br>เปลี่ยนแปลง<br>(เลื่อนจาก<br>ขอบเขตที่ตั้งค่า<br>ไว้) (3*) ในช่วง<br>7 MPa {70<br>kgf/cm <sup>2</sup> } | การเลื่อนจากจุดศูนย์: $\pm (0.03 + 0.17 \times \frac{20}{x}) \%$<br>ผลรวมการเลื่อน: $\pm 0.4\%$ (สำหรับ $x \geq 20.0kPa$ {2000 mmH <sub>2</sub> O})<br>(ผลรวมจากจุดศูนย์ และ Span ของการ<br>เลื่อน) $\pm (0.03 + 0.37 \times \frac{20}{x}) \%$ (สำหรับ $x < 20.0kPa$ {2000 mmH <sub>2</sub> O})  |

หมายเหตุ

\*1: URV คิดจากค่ากระบวนการที่เอาท์พุท 100% (20 mA DC)

\*2: LRV คิดจากค่ากระบวนการที่เอาท์พุท 0% (4 mA DC)

\*3: อยู่ในช่วงของ URV  $\geq 0$  และ LRV  $\geq 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 DP-Transmitter ยี่ห้อ Yamatake Honeywell รุ่น SP-3000

### 3.2.4 Rotameter

เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหลอย่างง่าย นำมาใช้เพื่อปรับเทียบให้ตรงกับ Flow Transmitter และให้เห็นอัตราการไหลที่เกิดขึ้นจริง โดยในโครงการนี้เราจะใช้ Rotameter ที่มีลูกลอยแบบมีขอบ ลักษณะเหมือนตะปูลูกลอยชนิดนี้เหมาะกับการไหลชนิด Turbulence Flow และการที่อุปกรณ์ชนิดนี้มีลักษณะเป็นทรงกรวยคว่ำ เพื่อที่จะทำให้อุปกรณ์สามารถอยู่ในสภาวะสมดุล ข้อจำกัดของอุปกรณ์ชนิดนี้คือ สามารถติดตั้งได้ในแนวตั้งเท่านั้นและยอมให้ของไหลไหลผ่านได้เพียงทิศทางเดียว

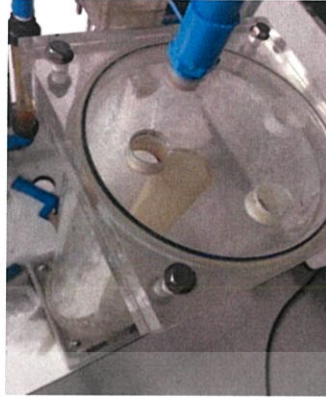


รูปที่ 3.9 Rotameter

### 3.2.5 Tank

จุดประสงค์หลักๆคือ เก็บของไหล หรือ พักของไหลชั่วคราว โดยโครงการนี้จะทำการควบคุมระดับของไหลภายใน Tank เปิดนี้ ที่มีช่องระบายน้ำออกตลอดเวลาในอัตราส่วนที่คงที่ โดยจะทำการวัดระดับน้ำด้วย DP-Transmitter เทียบแรงดันภายใน Tank กับแรงดันอากาศ ที่ระดับของไหลเป็น 0% แรงดันภายใน Tank จะเท่ากับแรงดันภายนอกให้เป็น Zero ของ DP-Transmitter และที่ระดับของไหลเป็น 100% จะทำการปรับ Span ให้เป็นค่า Maximum ของ DP-Transmitter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 มุมมองด้านบนของ Tank

จากรูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นว่า Tank เป็นแบบระบบเปิด (มีช่องอากาศผ่านได้) และมีช่องระบายน้ำล้นอยู่ภายใน



รูปที่ 3.11 มุมมองด้านข้างของ Tank

จากรูปที่ 3.11 แสดงให้เห็นว่ามีขีดบอกระดับน้ำอยู่ด้านข้าง Tank ใช้เป็นระดับน้ำอ้างอิงของโปรเจกต์นี้ และด้านล่างซ้ายของรูปจะเห็น DP-Transmitter ต่อเข้ากับ Tank เพื่อวัดระดับน้ำภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ด้านการออกแบบ Software

เป็นการใช้โปรแกรมเพื่อติดต่อสื่อสารระหว่าง อุปกรณ์ควบคุมกับคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการ ให้มีความสามารถในการรักษาระดับของไหล ให้คงที่และปรับเปลี่ยนระดับได้เร็วที่สุดเท่าที่พอจะเป็นไปได้ และแสดงผลข้อมูลให้เข้าใจง่ายด้วยการแสดงผลบน HMI

#### 3.3.1 การเชื่อมต่อข้อมูลจาก PLC OMRON CH200h เข้ากับโปรแกรม NI OPC Server

เนื่องด้วย PLC จะทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลในส่วนของ Hardware ซึ่ง OPC Server จะทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลจากตัว PLC อีกต่อหนึ่ง

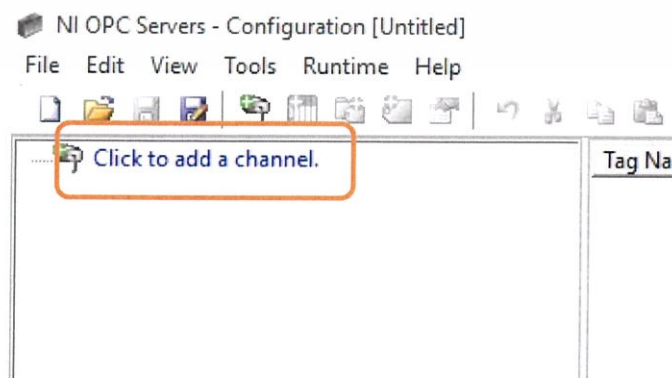


รูปที่ 3.12 NI OPC Server

จากรูปที่ 3.12 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม NI OPC Server หลังจากเปิดโปรแกรม

##### 3.3.1.1 การเลือกอุปกรณ์ที่นำมาเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์

ก) เริ่มจากสร้าง Channel จากรูปที่ 3.13 จะมีข้อความว่า Click to add a channel.

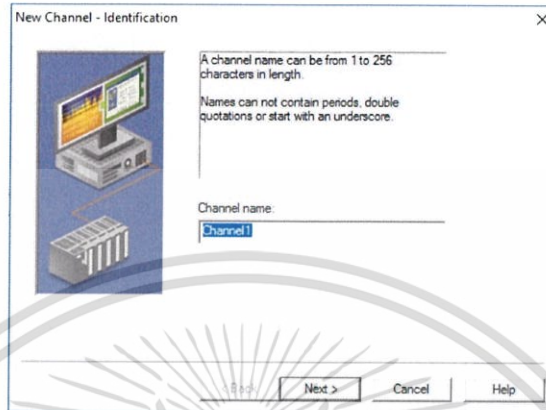


รูปที่ 3.13 Add a Channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.13 เป็นการสร้าง Chanel ใหม่ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์เช่น PLC เป็นต้น

ข) จะขึ้นหน้าต่างใหม่ให้ตั้งชื่อ Channel แล้วกด next

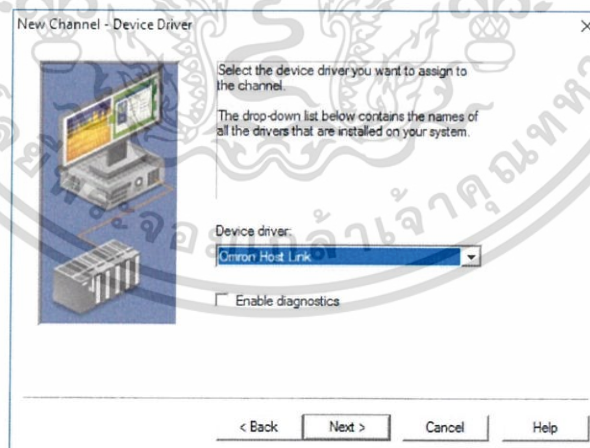


รูปที่ 3.14 การตั้งชื่อ Channel ของ OPC Server

จากรูปที่ 3.14 จะเป็นการตั้งชื่อในช่อง Chanel Name เพื่อให้ง่ายต่อการจำแนก  
เมื่อมีอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อสื่อสารหลายเครื่อง

ค) ถัดมาจะเลือก Device Driver (โปรเจคนี้ใช้ Omron Host Link) แล้วกด

Next

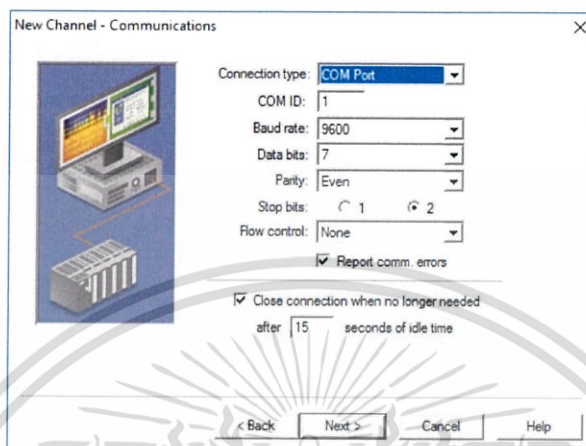


รูปที่ 3.15 การเลือก Device Driver ของ OPC Server

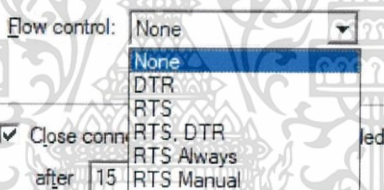
จากรูปที่ 3.15 เป็นการเลือกอุปกรณ์ที่จะติดต่อสื่อสารและชนิดของโปรโตคอล  
โดยโปรเจคนี้ใช้ PLC ยี่ห้อ Omron และใช้โปรโตคอล Host Link สื่อสารผ่านสาย RS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง) ถัดมาเป็นการตั้งค่าที่เกี่ยวข้องกับการรับข้อมูล โดยจะต้องเลือก Com Port ที่ช่อง Com ID ใส่เลขตามช่อง USB ว่าเป็นช่องที่เท่าไร แต่ถ้าใช้เป็นสาย RS-232 ให้เลือกเป็น Ethernet Encap แล้วกด Next



รูปที่ 3.16 การตั้งค่าที่เกี่ยวข้องกับการรับข้อมูลของ OPC Server

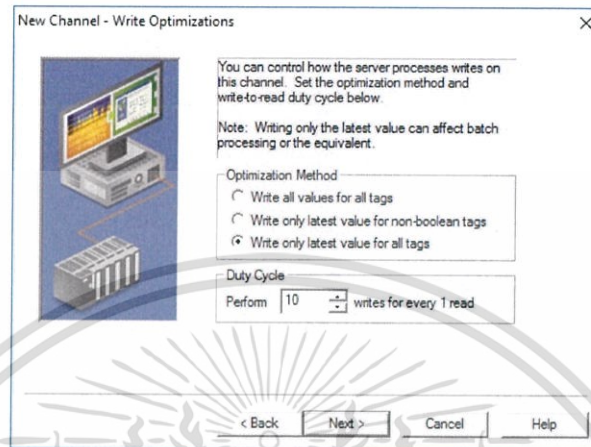


รูปที่ 3.17 การเลือก Flow Control

จากรูปที่ 3.16 เนื่องจากโปรเจกต์นี้ใช้โน้ตบุ๊ก จึงไม่มีช่องต่อ RS-232 จึงต้องแปลงเป็น USB ฉะนั้นต้องเลือกเป็นแบบ Com Port และเลือกค่า Baud rate พื้นฐานคือ 9600 บิต เนื่องจาก Host Link โปรโตคอล เป็นรหัส ASCII มี 7 บิต เนื่องจาก Parity Bits บิตเช็คเป็นแบบคู่ จึงมี Stop Bit 2 ตัว จากรูปที่ 3.17 จะเห็นว่า Flow Control มีหลากหลายหน้าที่ของมันคือการตรวจสอบข้อมูลเพื่อลด Error เช่น DTR (Data Terminal Ready) จะเป็นการถามปลายทางก่อนส่งว่าทางนี้พร้อมแล้วต้องการรับเลยหรือไม่และ RTS (Ready To Send) จะเป็นการถามปลายทางก่อนส่งว่าทางนี้พร้อมจะแลกเปลี่ยนข้อมูลแล้ว ปลายทางพร้อมหรือไม่ ซึ่งโปรเจกต์นี้ไม่ต้องการเนื่องจากข้อมูลมีการรับและส่งอยู่ตลอดเวลาในหน่วยมิลลิวินาที และเป็นการสื่อสารในระยะใกล้จึงไม่จำเป็นต้องใช้โหมดนี้ ช่อง Report, Comm, Error เป็นส่วนที่จำเป็นเพราะว่าเมื่อเกิด Error ที่ตรวจจับได้จะมีการส่งข้อมูลให้ผู้ใช้ว่าเกิดจากอะไร เกิดขึ้นที่ไหน ส่วนสุดท้ายเป็นการหยุดการรับส่งข้อมูลชั่วคราวเพื่อลดการทำงาน โดยโปรเจกต์นี้จะตั้งไว้ที่ 15 วินาทีไม่ควรตั้งไว้ต่ำเกินไปเพราะเมื่อทุกครั้งที่เกิดการรับส่งข้อมูลใหม่ (สถานะ Idle บิต) จะเกิดการ Delay ของข้อมูลเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ใช้เฉพาะในโครงการเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ไปภายนอกได้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

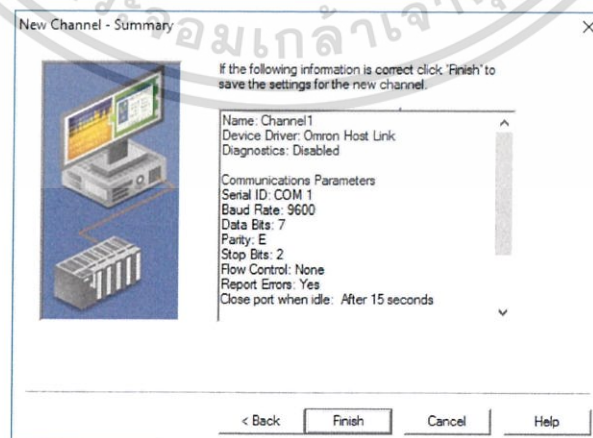
จ) ถัดมาชนิดของการเขียนข้อมูลซึ่งมีให้เลือก 3 แบบ คือ 1) เขียนทุกค่าสำหรับทุกสัญญาณจาก Controller 2) เขียนเฉพาะค่าสุดท้ายสำหรับสัญญาณจาก Controller ที่ไม่ใช่ Boolean 3) เขียนเฉพาะค่าสุดท้ายสำหรับทุกสัญญาณจาก Controller จากนั้นกด Next



รูปที่ 3.18 การเขียนข้อมูลของ OPC Server

จากรูปที่ 3.18 เนื่องจากข้อมูลจะมีการรับเป็นชุด เช่น 1, 2, 3, ... ถ้าเลือกแบบแรก ข้อมูลจะส่งเป็น 1, 1, 2, 1, 2, 3, ..., n (ให้ n = สัญญาณจาก Controller ตัวที่ n) สำหรับตัวที่สองจะทำให้รับส่งข้อมูลเป็น Word ไม่ได้ (Boolean เป็นข้อมูลเลขฐาน 16 นิยมใช้ในสัญญาณ Controller ของ Scada) ซึ่งโปรเจกต์นี้ใช้ Scada จึงเลือกแบบที่สามเพราะจะรับเฉพาะค่าล่าสุด เช่น ข้อมูลจาก Control Valve จะได้รับข้อมูลเป็น 1, 2, 3, ..., n ซึ่งข้อมูลของ Control Valve ที่รับมาคือตำแหน่ง ถ้าให้เป็นแบบแรกจะมีการทำซ้ำเลื่อนไปตำแหน่งที่ไม่ต้องการได้

ฉ) ผลสรุปของข้อมูลการสร้าง Channel ที่ได้เลือกมาทั้งหมด

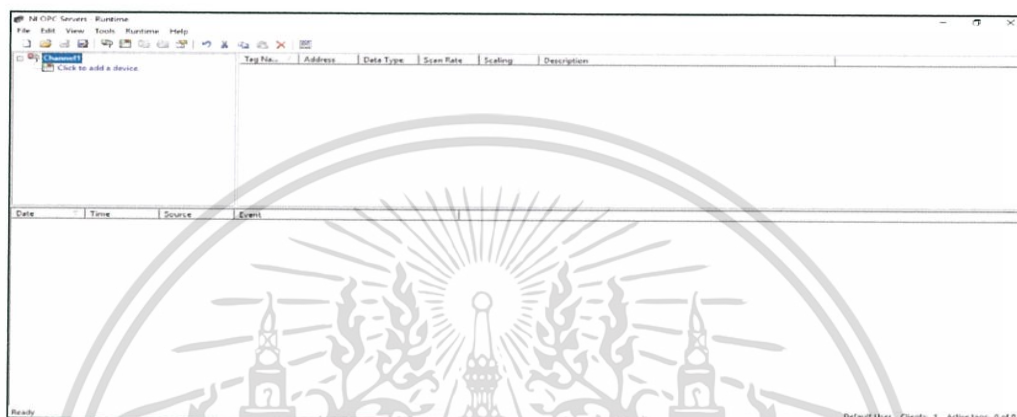


รูปที่ 3.19 ผลสรุปการสร้าง Channel ของ OPC Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

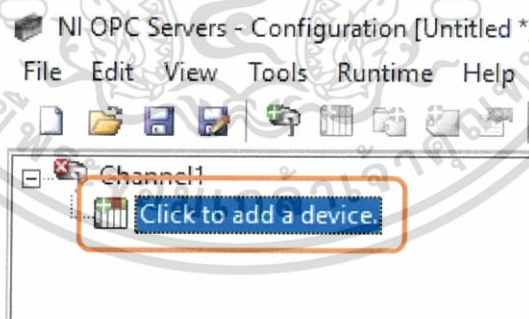
จากรูปที่ 3.19 เป็นการสรุปข้อมูลที่เราได้เลือกไว้ให้ตรวจสอบก่อนจะกดจบการสร้าง Channel (Finish) เพื่อเป็นการตรวจทานอีกครั้ง หรือเก็บข้อมูลนี้ไว้เพื่อทราบการตั้งค่าของ Channel นี้

3.3.1.2 การเลือกอุปกรณ์โดยพิจารณาทางด้านที่ PLC ต่อเชื่อมกับอุปกรณ์วัดและควบคุม และเป็นการตั้งค่าของตัว PLC ที่ทำการเลือก



รูปที่ 3.20 การตั้งค่าอุปกรณ์โดยพิจารณาทางด้านที่ PLC ต่อเชื่อมกับอุปกรณ์วัดและควบคุม

จากรูปที่ 3.20 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม NI OPC Server หลังสร้าง Chanel เสร็จแล้ว

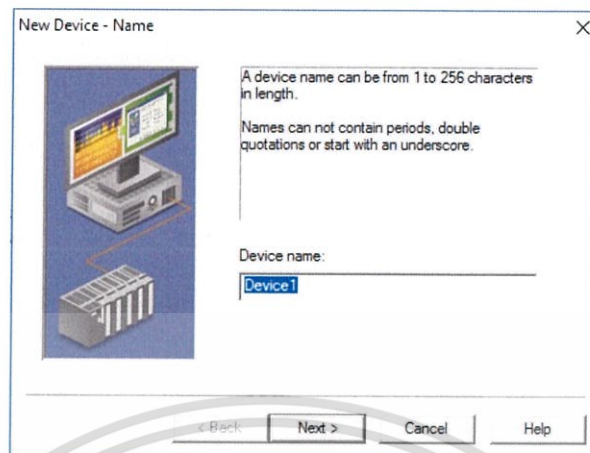


รูปที่ 3.21 การสร้าง Device

จากรูปที่ 3.21 ทำการสร้าง Device โดยการคลิกไปที่ Click to add a device Device ที่จะทำการสร้าง คือ PLC เครื่อง Master หรือ Slave โดยจะต้องทำการระบุข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการติดต่อสื่อสารกับ PLC ตัวนี้

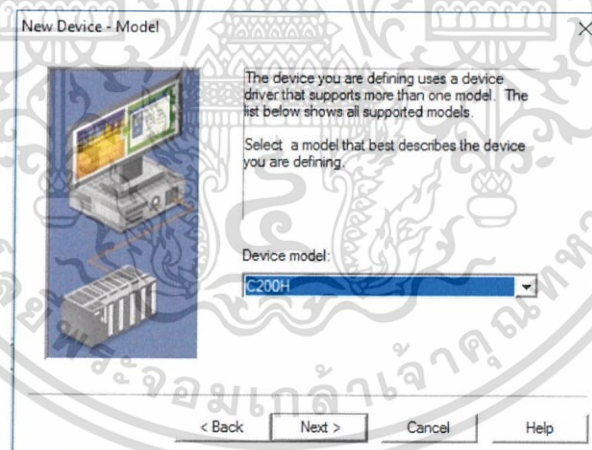
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก) จะขึ้นหน้าต่างใหม่ สำหรับตั้งชื่ออุปกรณ์



รูปที่ 3.22 การตั้งชื่ออุปกรณ์ของ OPC Server

รูปที่ 3.22 จะเป็นการตั้งชื่ออุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับซอฟต์แวร์ (Computer) ซึ่งโปรเจกต์นี้ใช้ PLC ตัวเดียว จึงถือว่า PLC ตัวนี้เป็น Master และตั้งชื่อ Device นี้ว่า PLC เสร็จแล้วกด Next  
ข) ถัดมาจะเป็นการเลือกรุ่นของอุปกรณ์ PLC ที่เลือกไปก่อนหน้านี้

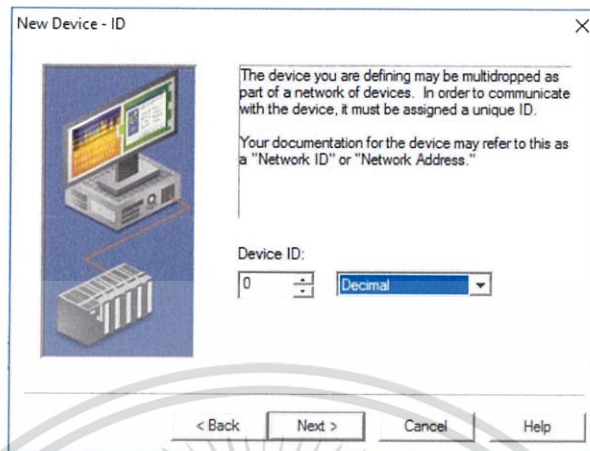


รูปที่ 3.23 การเลือกรุ่นของอุปกรณ์ PLC ที่เลือกของ OPC Server

จากรูปที่ 3.23 เป็นการเลือกรุ่นของอุปกรณ์ PLC ซึ่งในโปรเจกต์นี้เลือกใช้ PLC ยี่ห้อ Omron รุ่น C200H เสร็จแล้วกด Next

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

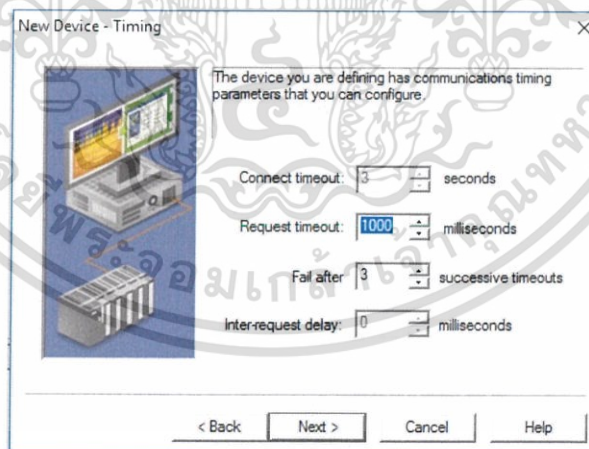
ค) เป็นการเลือกกว่าเป็นอุปกรณ์ PLC ตัวที่เท่าไร



รูปที่ 3.24 การเลือกลำดับอุปกรณ์ PLC ของ OPC Server

จากรูปที่ 3.24 ทำการเลือกลำดับของ PLC เนื่องจากโปรเจกต์นี้ใช้ PLC ตัวเดียว จึงให้ PLC ตัวนี้เป็นตัวที่ 0 หรือก็คือตัวแรก โดยนับลำดับเป็นเลขฐานสิบ (Decimal) เนื่องจากการนับลำดับที่มนุษย์เข้าใจได้ง่ายที่สุด เสร็จแล้วกด Next

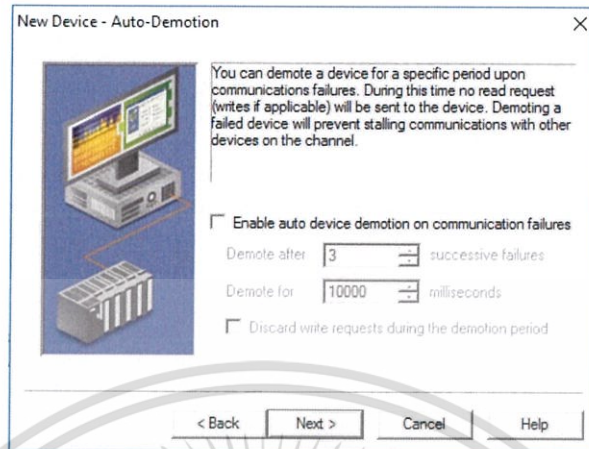
ง) การเลือกเวลาที่ใช้ในการตอบสนองข้อมูลระหว่าง Device กับ OPC Server โดยเลือกตามความเหมาะสม



รูปที่ 3.25 การเลือกเวลาที่ใช้ในการตอบสนองข้อมูลระหว่าง Device กับ OPC Server

จากรูปที่ 3.25 สามารถแก้ไขเวลาได้เพียงสองตัวเลือกเท่านั้น ตัวเลือกแรก (Request Timeout) คือ เวลาที่รอ PLC ตอบสนองกลับมาเมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนดจะส่งว่า Fail แล้วรอการตอบสนองอีกครั้ง โดยโปรเจกต์ตั้งเวลาไว้ที่ 1 วินาทีซึ่งเป็นเวลาที่โปรแกรมแนะนำมา ตัวเลือกที่สอง (Fail After) คือ เวลาที่หยุดเพื่อรอให้ PLC ได้รับข้อมูลแล้วทำการประมวลผล โดยเลือกเวลา 3 มิลลิวินาทีตามที่โปรแกรมแนะนำเช่นกัน เสร็จแล้วกด Next ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

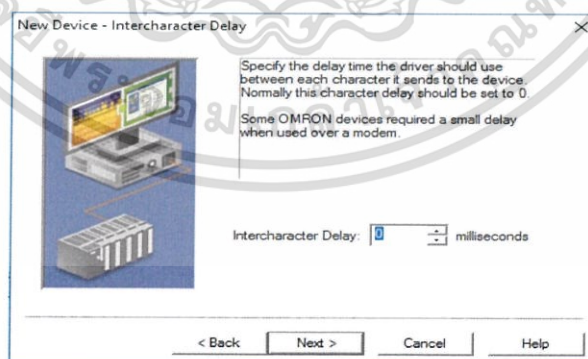
### จ) การเลือกโหมด Auto-Demotion



รูปที่ 3.26 การเลือกโหมด Auto-Demotion

จากรูปที่ 3.26 จะเป็นการเลือกว่าต้องการเปิดโหมด Auto-Demotion หรือไม่ โดยโหมดนี้มีหน้าที่สับเปลี่ยนการรับและส่งข้อมูล ในกรณีที่ Device ตัวหนึ่งไม่ตอบสนองหรือเสีย จะทำการติดต่อกับ Device ตัวอื่นที่ต่ำกว่าหรือเป็น Slave เนื่องจากโปรเจกต์มี PLC เพียงตัวเดียวจึงไม่สามารถใช้โหมดนี้ได้ ถ้ามีความต้องการใช้โหมดนี้ให้กดที่ช่อง Enable auto device Demotion on communication failure โดยแนะนำให้ตั้งเวลาตามที่โปรแกรมกำหนดไว้ เมื่อเลือกเสร็จแล้วให้กด Next

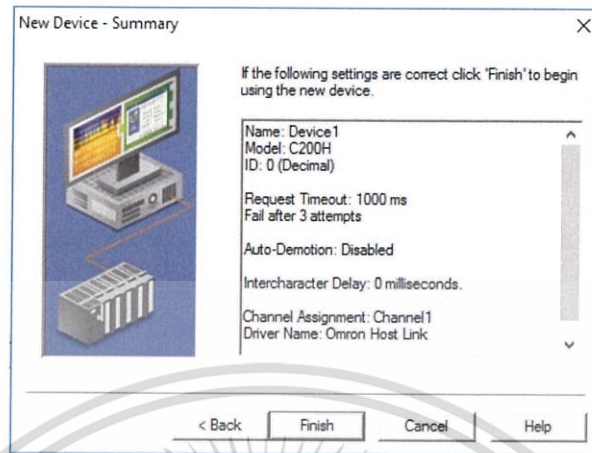
### ฉ) ถัดมาเป็นการเลือก Intercharacter Delay สำหรับ Device บางตัวที่ต้องการ Delay Time



รูปที่ 3.27 การเลือก Intercharacter Delay ของ OPC Server

จากรูปที่ 3.27 Intercharacter Delay คือการตั้ง Delay Time กับ PLC เนื่องจากการใช้งาน PLC ต่างรุ่นในระบบเดียวกันทำให้ความไวของ PLC ทั้งสองตัวเหลื่อมล้ำกันได้ ซึ่งมันจะเกิดขึ้นในหน่วยมิลลิวินาที ถ้าไม่มีปัญหานี้โดยปกติจะตั้งค่าไว้ที่ 0 เมื่อเสร็จแล้วให้กด Next เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

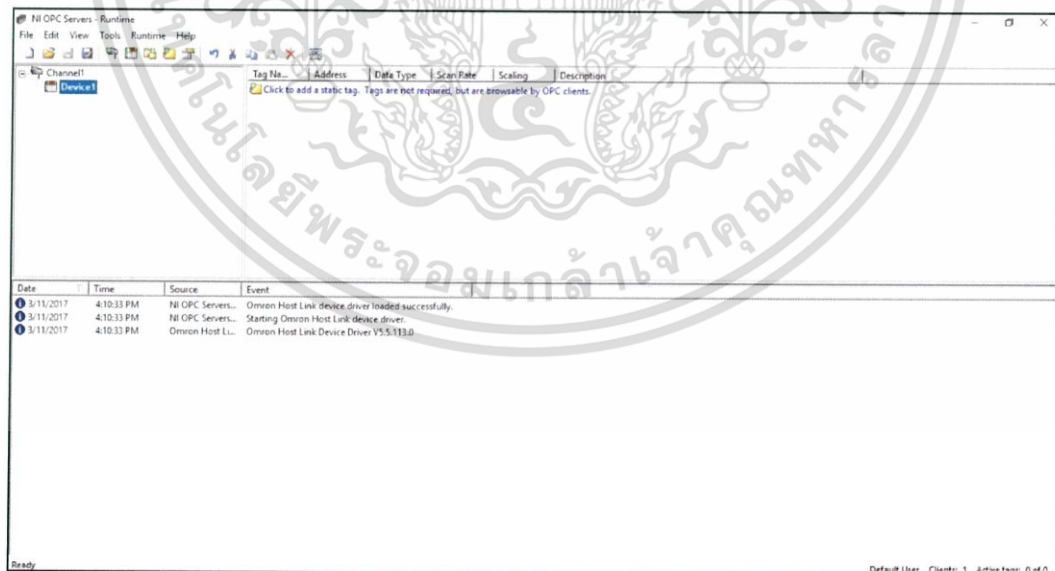
ข) ผลสรุปของข้อมูลการสร้าง Device ที่ได้เลือกมาทั้งหมด



รูปที่ 3.28 ผลสรุปการสร้าง Device ของ OPC Server

จากรูปที่ 3.28 เป็นการสรุปข้อมูลที่เราได้เลือกไว้ให้ตรวจสอบก่อนจะกดจบการสร้าง Device (Finish) เพื่อเป็นการตรวจทานอีกครั้ง หรือเก็บข้อมูลนี้ไว้เพื่อทราบการตั้งค่าของ Device นี้

### 3.3.1.3 การเลือก Tag ของอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับ PLC

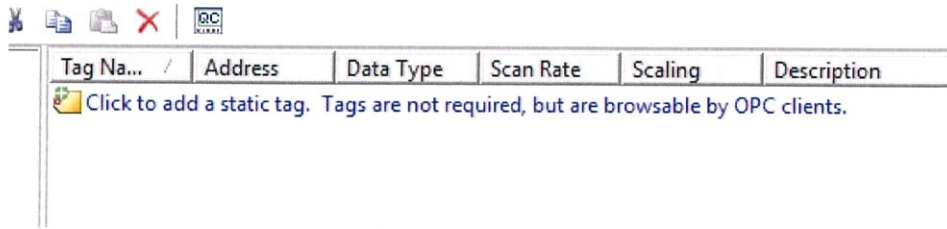


รูปที่ 3.29 การเลือก Tag ของอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับ PLC ของ OPC Server

จากรูปที่ 3.29 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม NI OPC Server หลังสร้าง Device

เสร็จแล้ว

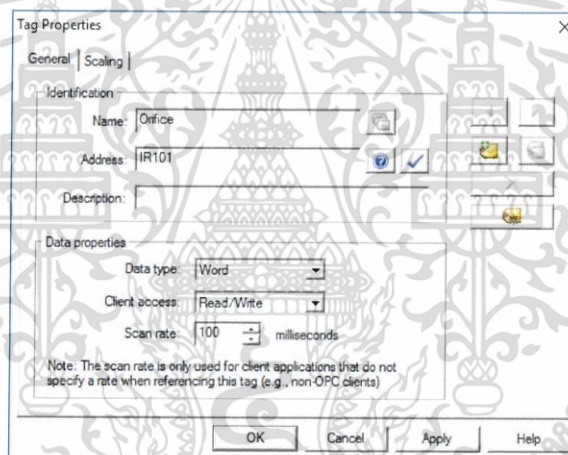
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 การสร้าง Tags

หลังจากเลือก Device เสร็จจะสามารถสร้าง Tags จาก Device ตัวนั้นๆ โดยโปรแกรมนี้ใช้ PLC และ Tags คือ อุปกรณ์การวัดและควบคุมที่ต่อเข้ากับตัว PLC เช่น Orifice , Magnetic Flowmeter, Venturi และ Control Valve เป็นต้น โดยการสร้าง Tags ให้คลิกไปที่ Click to add a static tag. ดังรูปที่ 3.30

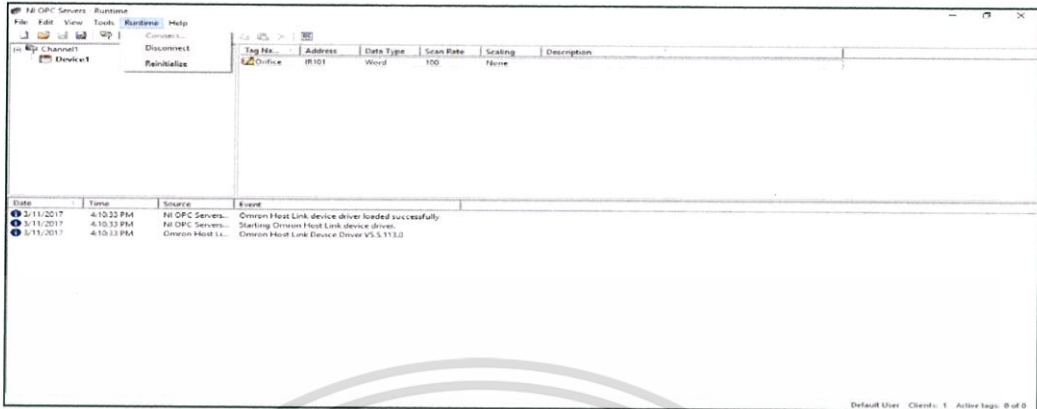
ก) การตั้งค่า Tags ของอุปกรณ์การวัดและควบคุม ที่ต่อเข้ากับ PLC



รูปที่ 3.31 การตั้งค่า Tags ของอุปกรณ์การวัดและควบคุม

การจะตั้งค่า Tags ได้นั้นจะต้องรู้ว่าอุปกรณ์การวัดและควบคุมต่อกับ PLC ที่ช่องไหน ซึ่งโปรแกรมนี้นำอุปกรณ์การวัดต่อเข้ากับ A/D ของ PLC และ Control Valve ต่อเข้ากับ D/A ของ PLC จากนั้นให้ไปดูที่ Datasheet ของ PLC หา Address และ ชนิดของข้อมูล ของ A/D กับ D/A โดยจะยกตัวอย่างการตั้งค่า Tags ของ Orifice ดังรูปที่ 3.31 เมื่อเสร็จสิ้นแล้วให้กด OK

### 3.3.1.4 การเปิดการเชื่อมต่อ PLC กับ NI OPC Server



รูปที่ 3.32 การ Connect PLC กับ OPC Server

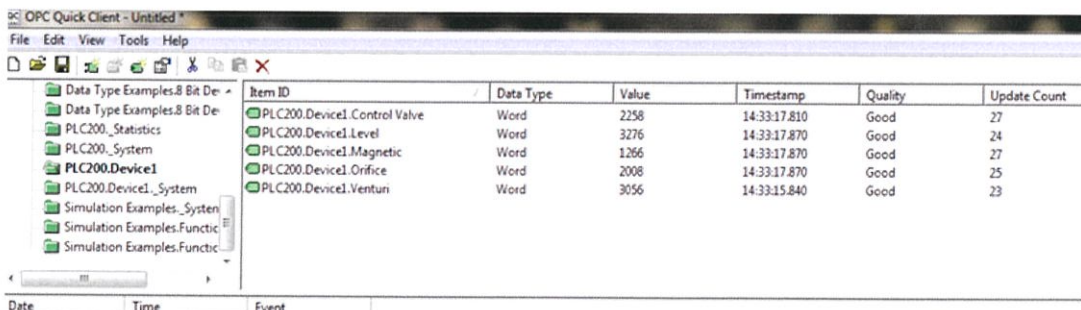
จากรูปที่ 3.32 เป็นการเปิดการเชื่อมต่อ PLC กับ NI OPC Server ทำได้โดยการไปที่เมนูบาร์ Run Time เลือก Connect

### 3.3.1.5 การเช็คสถานะการทำงานของอุปกรณ์การวัดและควบคุม



รูปที่ 3.33 การเช็คสถานะการทำงานของอุปกรณ์การวัดและควบคุม

จากรูปที่ 3.33 ถัดลงมาอีกบรรทัดจาก Run Time จะมีสัญลักษณ์ QC ให้กดเข้าไปจะพบกับหน้าต่างดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 การเช็คสถานะการทำงานของ OPC Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในหน่วยงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.34 เลือกที่ Channel ที่เราตั้งชื่อ Device ที่เราตั้งชื่อ จะเห็นสถานะที่ช่อง Quality ถ้าเป็น Bad เกิดจากอุปกรณ์การวัดและควบคุมไม่ตอบสนองกับ PLC ถ้าเป็น Good แสดงว่าอุปกรณ์ตอบสนองพร้อมรับและส่งข้อมูล

### 3.3.2 การเชื่อมข้อมูลจาก OPC Server ลงในโปรแกรม LabVIEW

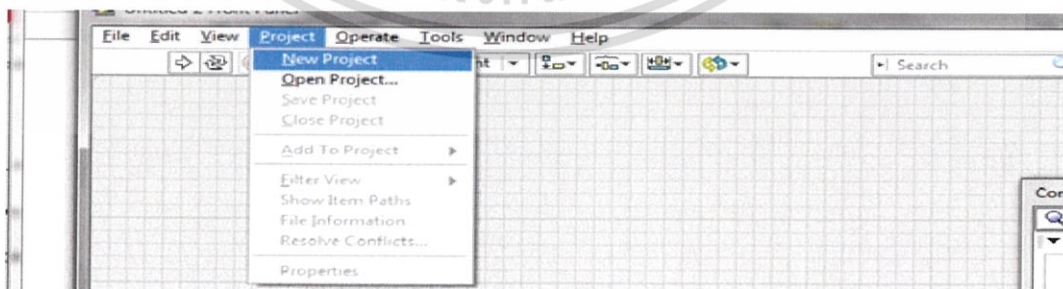
การเขียนโปรแกรมเพื่อที่จะควบคุมกระบวนการเราต้องหาโปรแกรมที่สามารถควบคุมและเลือกใช้ฟังก์ชันได้หลากหลายฟังก์ชัน เช่น ฟังก์ชันคำนวณกระบวนการควบคุมที่เป็นแบบ PID เป็นต้น โดยในที่นี่โปรแกรม LabVIEW สามารถที่จะตอบโจทย์การใช้งานได้เป็นอย่างดี

3.3.2.1 เมื่อต้องการติดต่อ LabVIEW กับ OPC Server ต้องทำการสร้าง I/O Server และ Variable เพื่อติดต่อกับ OPC Tag นั้นๆที่ต้องการ จากนั้นสร้าง Project ขึ้นมาก่อน และใน Project เราต้องสร้าง I/O Server และ Variable ขึ้นมา



รูปที่ 3.35 สร้าง Blank

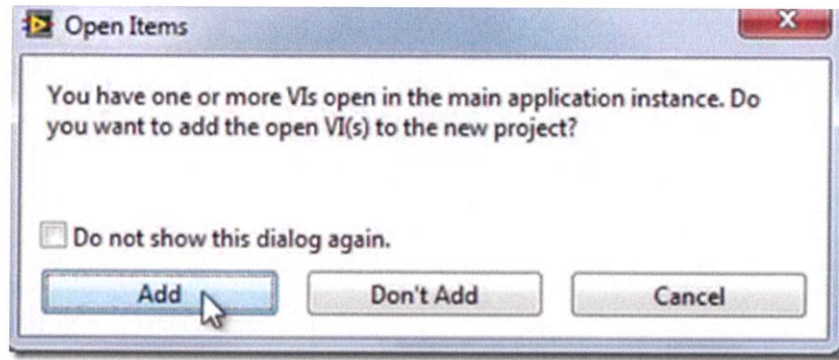
จากรูปที่ 3.35 เริ่มต้นสร้าง LabVIEW เบล่าขึ้นมาเพื่อให้ทุกอย่างอยู่ในค่าเริ่มต้น



รูปที่ 3.36 New project

จากรูปที่ 3.36 หลังทำการสร้าง Blank VI จะทำการสร้าง New Project ดังรูปที่ แล้วจะขึ้นตามดังรูปที่ 3.37

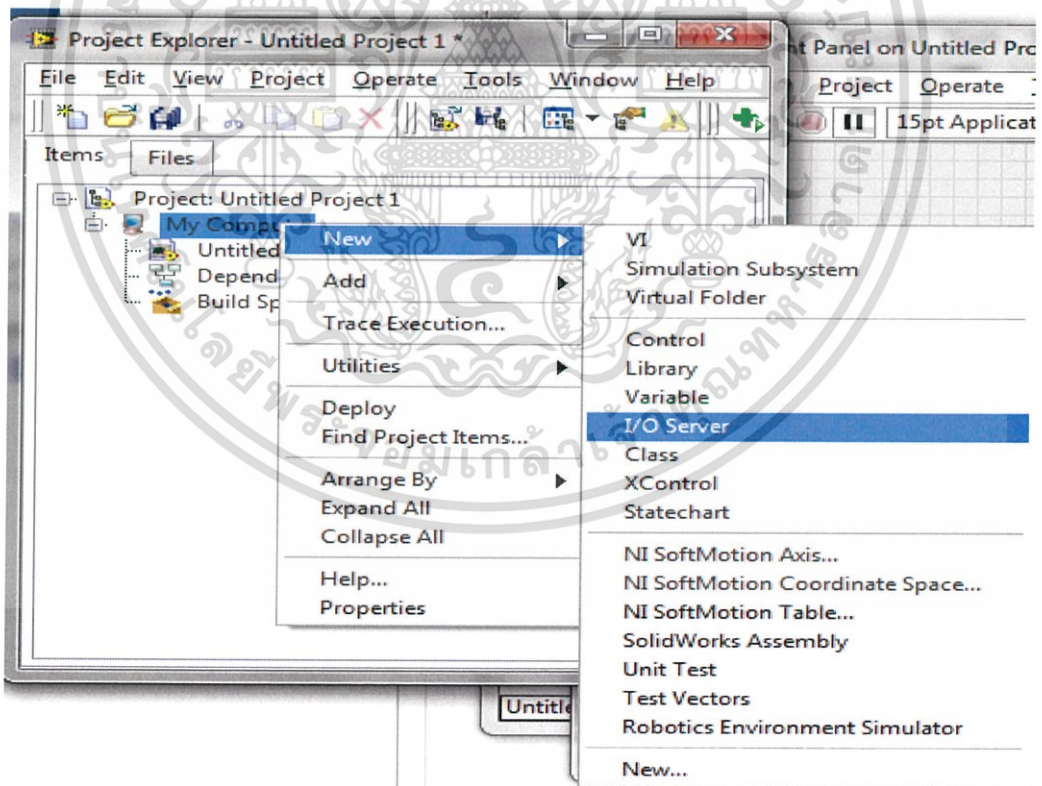
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผลิตขึ้นเพื่อให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.37 Open Items

จากรูปที่ 3.37 เป็นการถามว่าต้องการสร้างหน้าต่าง VI, HMI หรือ Front Panel หรือไม่ ซึ่งเป็นหน้าต่างที่ใช้สร้างกล่องรับข้อมูลแบบ Manual ทั้งยังสามารถนำข้อมูลจาก PLC มาแสดงผล และนำข้อมูลจากผลการควบคุมมาแสดงผลได้ด้วย

### 3.3.2.2 สร้าง I/O Server เพื่อต่อกับ OPC Server

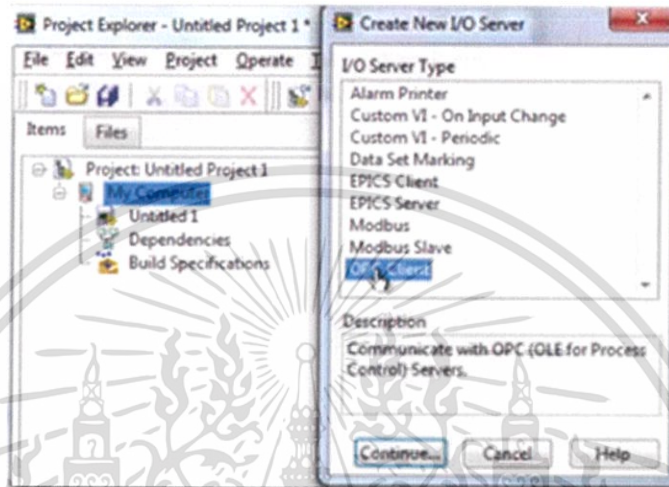


รูปที่ 3.38 สร้าง I/O Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.38 จะปรากฏขึ้นหลังการ Add ในรูปที่ 3.37 โดย I/O Server คือการเชื่อมต่อข้อมูลจากอุปกรณ์การวัดและควบคุม ให้มาแสดงผลบน LabVIEW เริ่มจากการสร้าง I/O Server ก่อนโดยเลือกตามรูปที่ 3.38

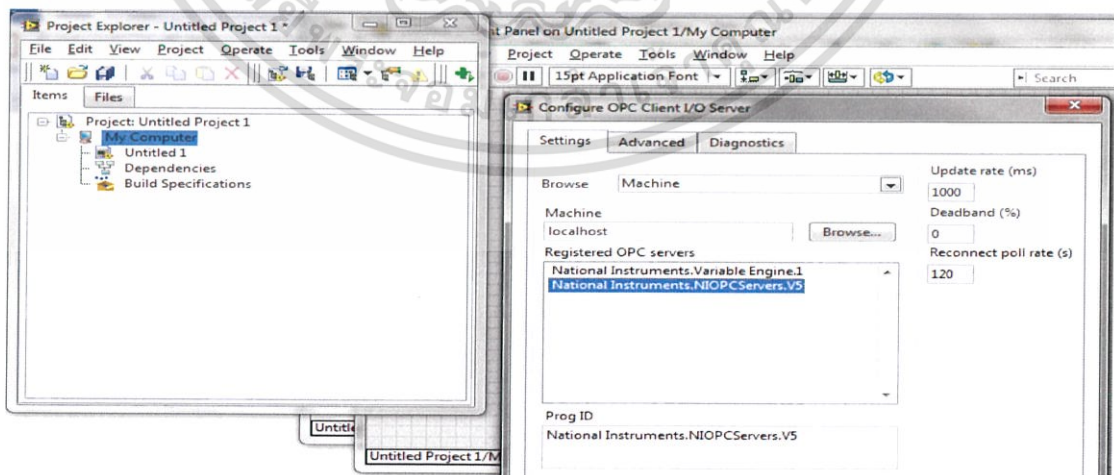
### 3.3.2.3 การเลือกชนิด I/O Server



รูปที่ 3.39 การเลือกชนิด I/O Server

เนื่องจากอุปกรณ์การวัดและควบคุมได้ต่อเข้ากับ PLC ซึ่งเชื่อมข้อมูลอยู่กับโปรแกรม NI OPC Server ฉะนั้นจะต้องเลือก I/O Server เป็น OPC Client ดังรูปที่ 3.39

### 3.3.2.4 เลือก OPC Server ใน PC ของเราที่ต้องการติดต่อ

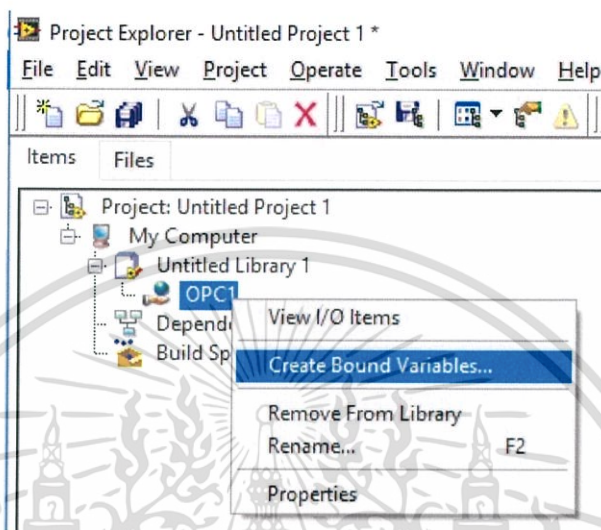


รูปที่ 3.40 OPC Server ใน PC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

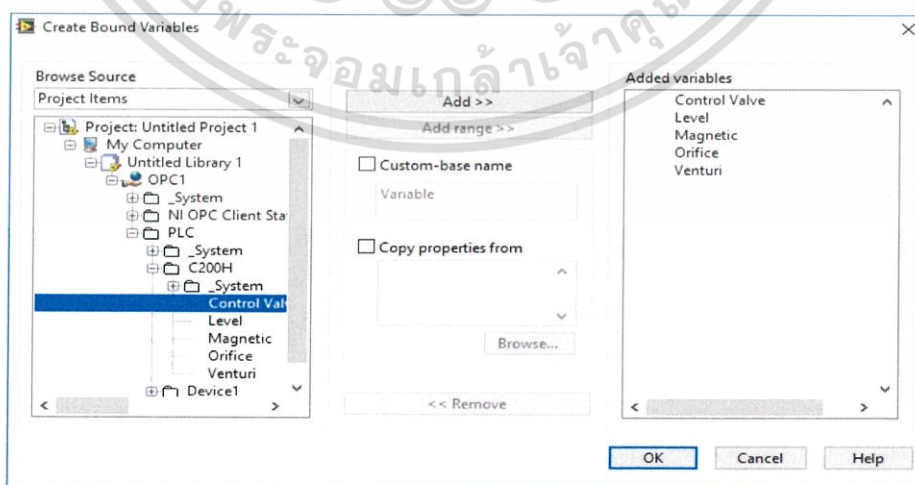
จากรูปที่ 3.40 เลือก OPC Server ที่เราใช้ ซึ่งชื่อเต็มคือ National Instruments.  
NIOPCServer.V5

### 3.3.2.5 การสร้าง Variable เพื่อลิงค์กับ OPC Tag ที่ต้องการติดต่อ



รูปที่ 3.41 การสร้าง Variable

จากรูปที่ 3.41 หลังจากขั้นตอนจากรูปที่ 3.40 จะปรากฏ Untitled Library 1 เมื่อคลิก + เข้าไปจะพบว่า มี OPC 1 เกิดขึ้นให้คลิกขวาแล้วกด Create Bound Variables เพื่อไปยังหน้าต่างกำหนด Tags ของอุปกรณ์วัดและควบคุมที่ต่ออยู่กับ PLC และต้องการเรียกชื่อข้อมูลของอุปกรณ์เพื่อนำมาควบคุม ดังรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 Create Bound Variables

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

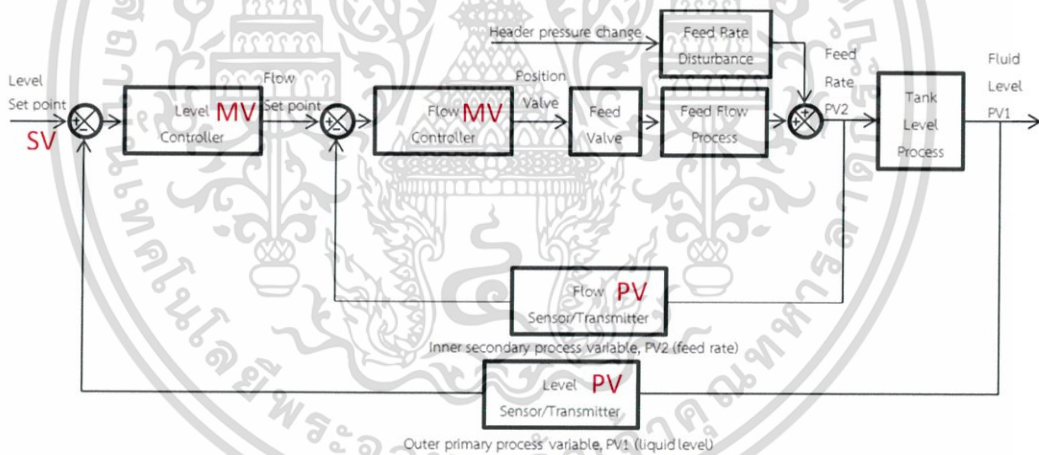
จากรูปที่ 3.42 จะเป็นหน้าต่างการเลือก Tags ที่ได้ทำไว้กับการเชื่อมต่อกับโปรแกรม NI OPC Server โดยด้านซ้ายเป็นข้อมูลจาก OPC ทั้งหมด ซึ่งเราต้องการข้อมูลอุปกรณ์การวัดและควบคุมจาก OPC จึงต้องเลือกไปที่อุปกรณ์แล้วกด Add ที่อยู่ตรงกลาง จากนั้นจะปรากฏขึ้นในช่องทางขวามือ เมื่อ Add ทุกตัวแล้วให้กด OK พร้อมสำหรับการนำไปใช้ควบคุม

### 3.3.3 การสร้างหน้าจอ HMI หรือ Front Panel

การสร้างหน้าจอ HMI เพื่อทำการ Monitoring ค่าของกระบวนการต่างๆที่ต้องการควบคุม, ป้อนค่า, หรือการแสดงผล ซึ่งหน้า Front Panel จะมีรูปแบบการทำงานอยู่ที่หน้า Block Diagram ของโปรแกรม LabVIEW

#### 3.3.3.1 การสร้าง Block Diagram แสดงการควบคุมระดับ

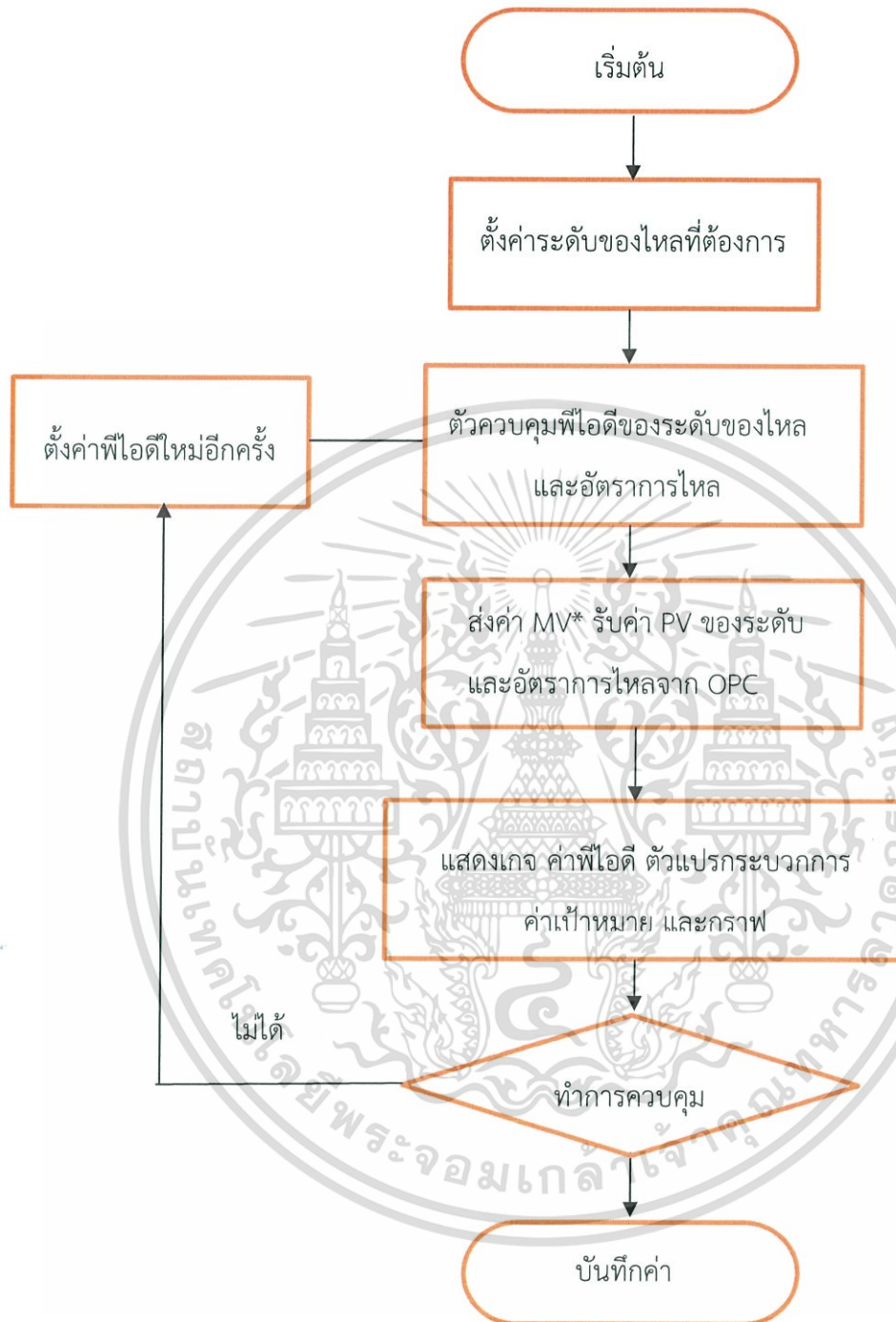
การจะเขียนหน้านี้ได้จะต้องมีการเขียน Flow Chart ขึ้นมาก่อน แล้วจึงออกแบบฟังก์ชันบล็อกขึ้นมาดังรูปที่ 3.43 แล้วจึงค่อยมาเขียนในโปรแกรม LabVIEW ดังรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.43 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรม

จากรูปที่ 3.43 เป็นบล็อกการควบคุมแบบ Cascade Control ที่ได้วางแผนไว้โดยจะแสดงให้เห็นที่มาของค่า PV MV และ SV ของกระบวนการที่จะส่งผลไปสู่ระดับน้ำใน Tank ที่ทำการควบคุม

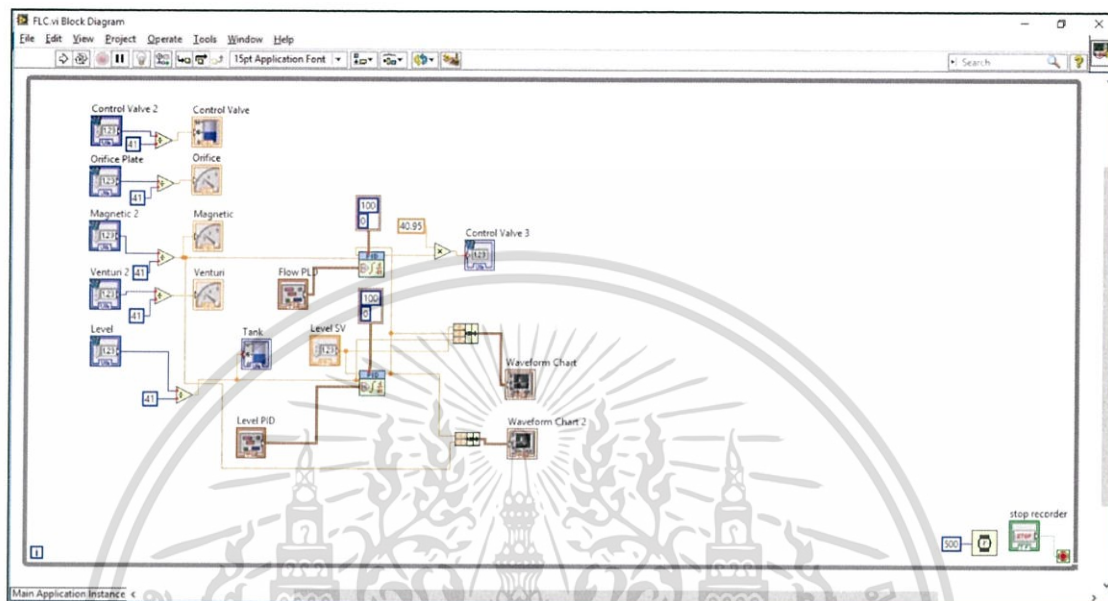
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



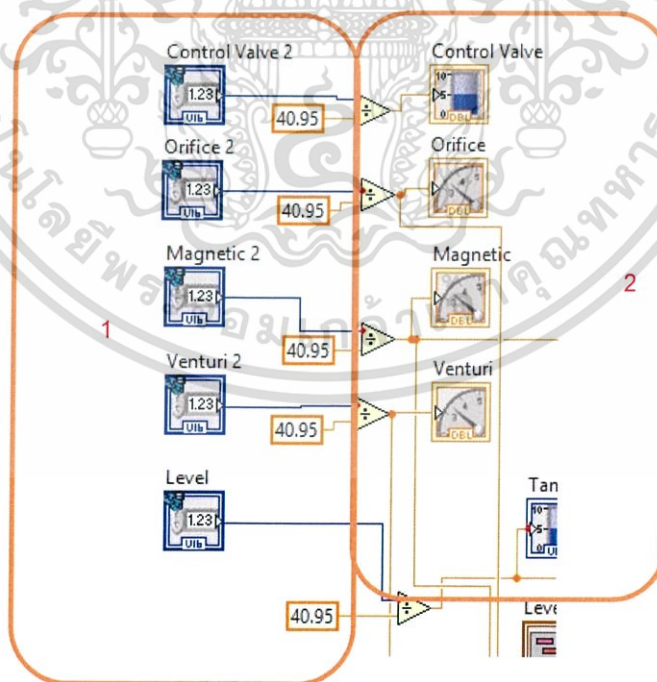
รูปที่ 3.44 Flow Chart ของการตั้งค่าระดับของไอล

จากรูปที่ 3.44 ในขั้นตอนแรกในการที่จะควบคุมระดับของไอลจะต้องมีการตั้ง Setpoint ระดับของไอลที่ต้องการก่อน จากนั้นต้องทำฟังก์ชันควบคุมแบบ Cascade Control ซึ่งจะมีตัวแปรควบคุม PID ของระดับและอัตราการไหลเข้ามาเกี่ยวข้อง เมื่อทดลองป้อนค่า PID จะมีผลตอบสนองที่ตามมาคือ PV (Process Variable) ของระดับและอัตราการไหลที่เปลี่ยนแปลงไป MV\* เป็นตัวแปรที่ส่งวนสำหรับการทำงานเพื่อการรักษาระดับไอล เมื่อผู้ปฏิบัติงานปรับค่า PID แล้วค่าที่ออกมาจะไม่ถูกต้อง ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Manipulate Variable) ของการควบคุม PID ทั้งสองตัวโดย MV จะทำหน้าที่สั่งการควบคุม Control Valve ให้เปิดหรือปิดมากน้อยตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งค่า PID ที่เลือกอาจจะไม่สามารถควบคุมได้ดังที่ต้องการ จึงต้องมีการทดลองหาค่า PID ที่ดีที่สุดเท่าที่จะทำได้



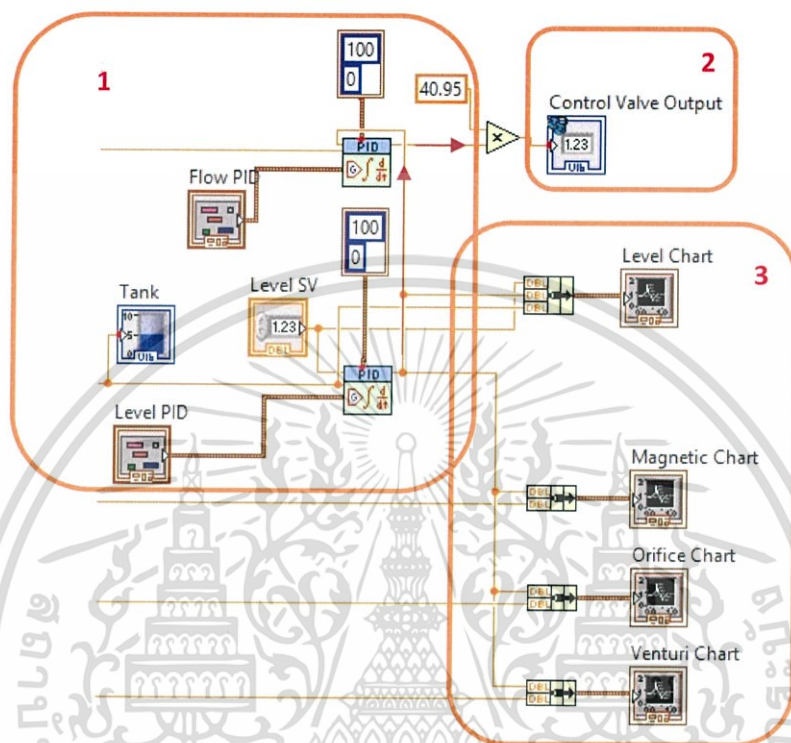
รูปที่ 3.45 Block Diagram ของ LabVIEW



รูปที่ 3.46 Input ที่ได้รับจาก OPC Server

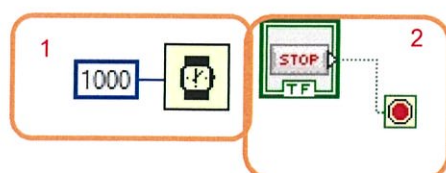
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปส่วนแรกคือ ค่าจากอุปกรณ์ที่รับมาจาก OPC Server ซึ่งส่งมาเป็น Word (ได้รับตัวเลขที่แปลงเป็นเลขฐานสิบคือ 0-4095) ส่วนที่สองจะเป็นการนำค่าที่ได้ไปแสดงในส่วนแสดงผล โดยจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ ด้วยการนำ Word ที่ได้ไปหาร 40.95



รูปที่ 3.47 ส่วนควบคุมและแสดงผล

จากรูปที่ 3.47 ส่วนแรกจะเป็นส่วนของ Controller ซึ่งแต่ละ Controller จะรับ Input 2 อย่างคือ PV และ PID โดย Level Controller จะสั่งการ Flow Controller และไปสั่ง Control Valve ต่ออีกทอดหนึ่ง ส่วนที่สองเป็นการสั่ง Control Valve ผ่านทาง OPC Server โดยค่าที่ได้จาก Controller เป็นเปอร์เซ็นต์จึงต้องแปลงเป็น Word ก่อนด้วยการคูณ 40.95 ส่วนที่สามจะเป็นการแสดงผลเป็น Chart ของกระบวนการ โดยจะมี 2 รูปแบบคือ Process Chart (Level Chart) โดยจะแสดงระดับของไหล สัญญาณควบคุม MV และ Setpoint รูปแบบที่สองคือ Tracking Chart มีหน้าที่แสดงผลเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณ MV ที่สั่งให้เพิ่มหรือลดอัตราการไหลกับอัตราการไหลขณะนั้น



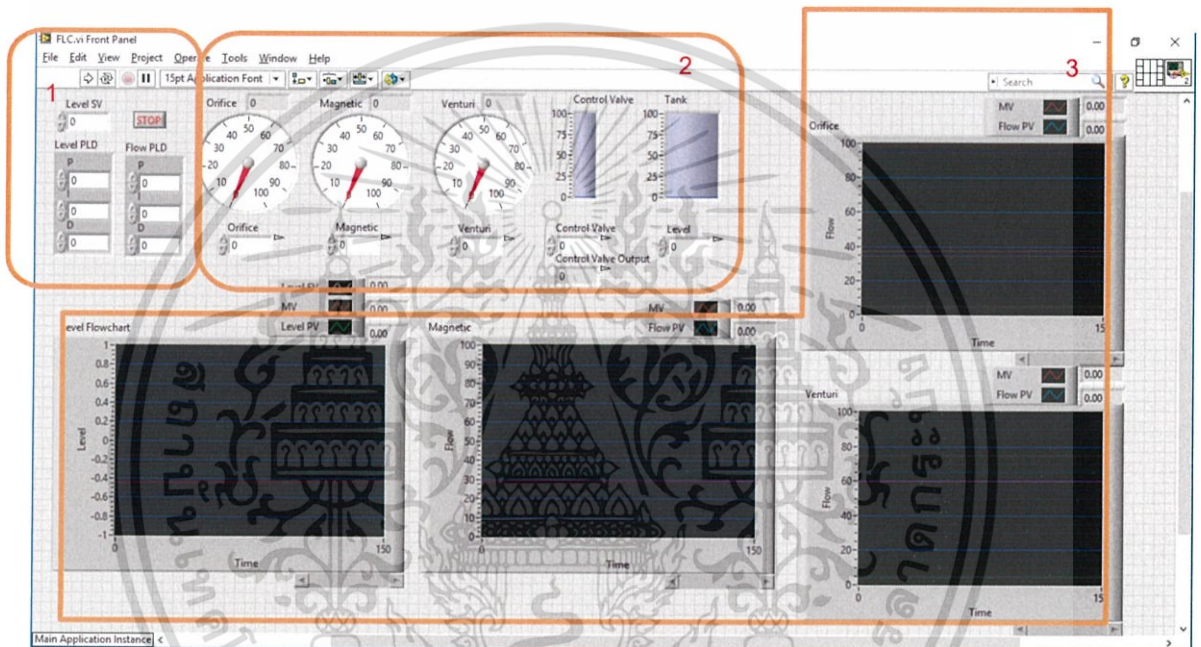
รูปที่ 3.48 สัญญาณนาฬิกาและปั๊มหยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.48 ส่วนแรกเป็นการกำหนดความเร็วของส่วนแสดงผล มีหน่วยเป็น มิลลิวินาที โดยโปรเจกต์นี้ตั้งไว้ 1000 มิลลิวินาที ส่วนที่ 2 เป็นการสร้างปุ่ม Stop บนหน้าจอ HMI

### 3.3.1.2 Front Panel หรือ HMI ของโปรแกรม LabVIEW

ที่ได้จากการเขียน Block Diagram โดยจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน ส่วนแรกรับ ข้อมูลแบบ Manual ได้แก่ การตั้งค่า Set Point การกดปุ่ม Stop และการตั้งค่า PID ส่วนที่สอง ส่วนรับข้อมูลจากตัว PLC ได้แก่ ค่าของ Control Valve ว่าเปิดที่กี่ Percent และค่าของอุปกรณ์วัด ต่างๆ ส่วนที่สาม การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบของกราฟ



รูปที่ 3.49 Front Panel ของ LabVIEW

### 3.3.4 Trial & Error Close-loop Tuning (การทำแบบลองผิดลองถูก)

วิธีนี้คือการทดลองปรับ  $K_p$ ,  $K_i$  เข้าคอนโทรล แล้วสังเกตค่าที่ทำให้ระบบสมดุล ขั้นตอนการจูน

1. เริ่มพล็อตกราฟของ Process Variable (PV)
2. เช็ต  $K_i$  และ  $K_d$  เป็นศูนย์
3. เช็ต  $K_p$  ค่าน้อยๆ
4. เพิ่มค่า  $K_p$  จนกระทั่งสัญญาณขาออกเกิดการแกว่ง (Oscillate)
5. ตั้งค่า  $K_p$  ให้เหลือครึ่งหนึ่งของค่าที่ทำให้เกิดการแกว่ง
6. ถ้าระบบยังมี Offset ระหว่าง Set Point และ Process Variable ให้ปรับ  $K_i$  เพิ่มขึ้น จนไม่มี Offset (การทดลองนี้ไม่ปรับ  $K_d$  เพราะว่าจะเกิดการแกว่งของสัญญาณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

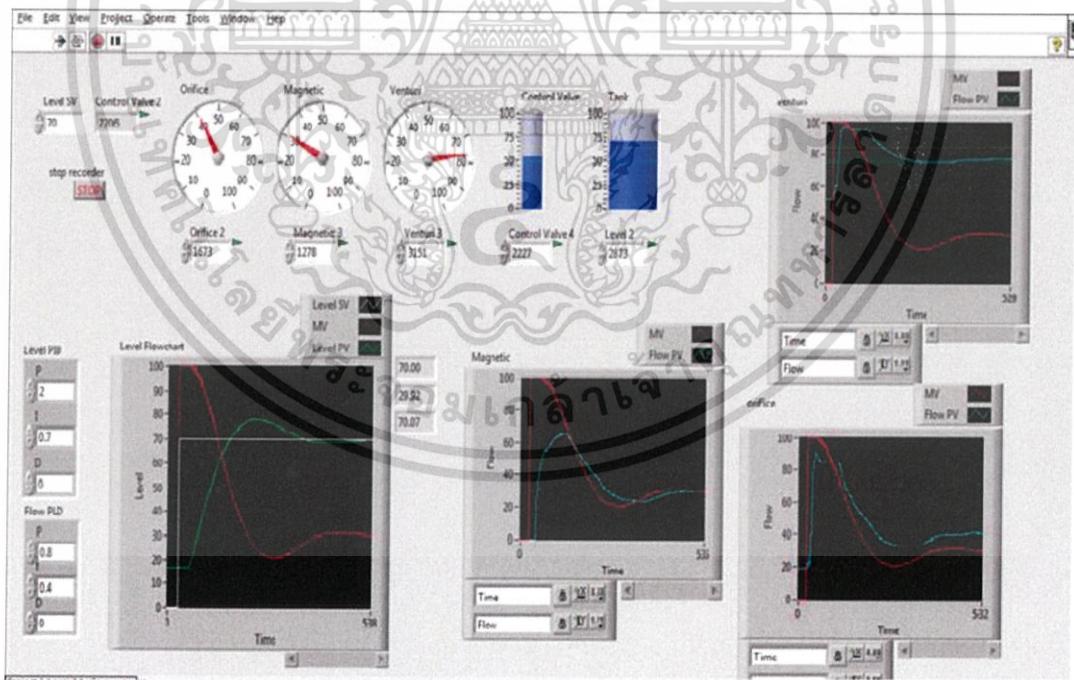
### การจำลองและการทดลอง

โดยปกติแล้วในอุตสาหกรรมจะใช้การควบคุมแบบ Single Loop จึงทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมที่สนใจคือ Cascade Control ในบทที่ 4 จะเป็นการกล่าวถึงชุดการทดลอง การจำลองและการทดลองต่างๆ ซึ่งการทดลองในบทนี้จะประกอบไปด้วยการทดลองใช้ Host Link ส่งผ่าน PLC ควบคุม Plant, การติดต่อสื่อสารระหว่าง OPC Server กับโปรแกรม LabVIEW และการควบคุม Plant ผ่านโปรแกรม LabVIEW

#### 4.1 การจำลองกระบวนการผ่านชุดจำลอง

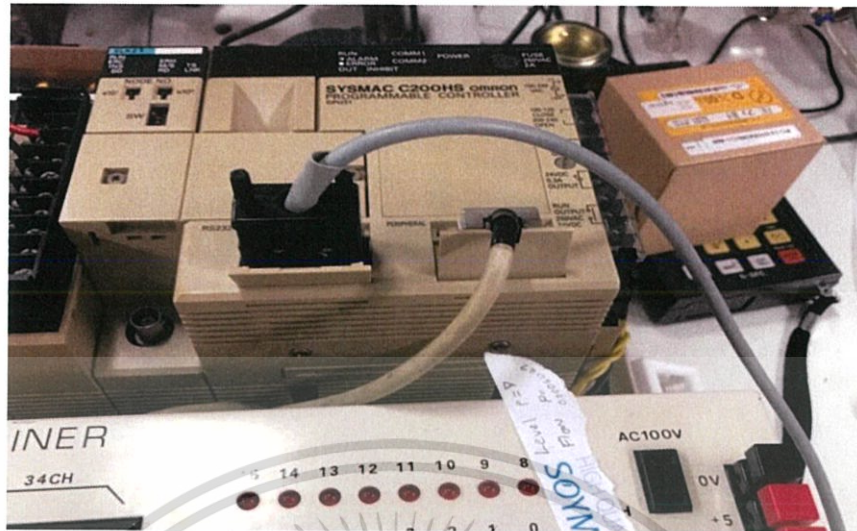
##### 4.1.1 การทดลองใช้ Host Link ส่งผ่าน PLC เพื่อควบคุม Plant อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. อุปกรณ์ PLC ยี่ห้อ OMRON C200HS 1 เครื่อง
2. คอมพิวเตอร์พร้อมซอฟต์แวร์ Host Link LAB 1.0 1 ชุด
3. สายเชื่อมโยงพอร์ตอนุกรม RS-232C ของ OMRON 1 ชุด

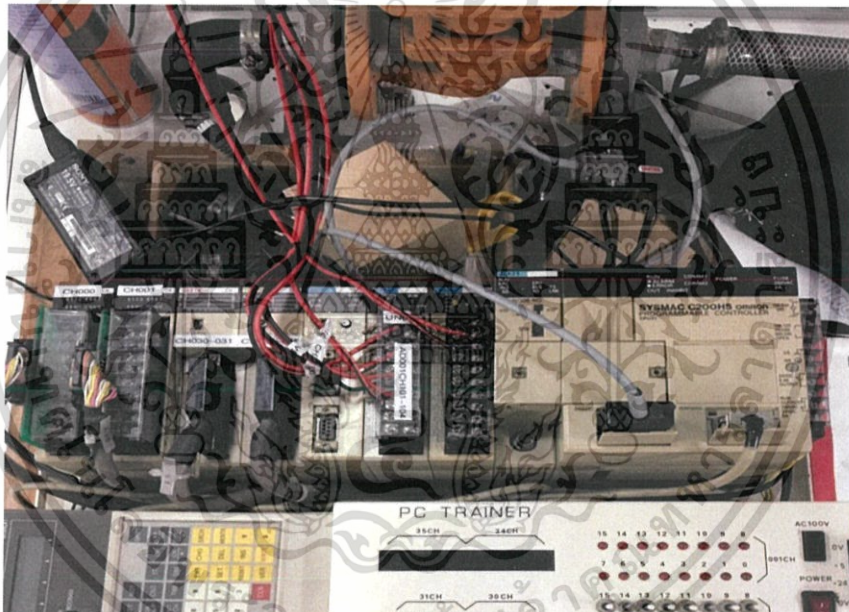


รูปที่ 4.1 รูปส่วนคอมพิวเตอร์พร้อมซอฟต์แวร์ Host Link LAB 1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 สาย RS-232 ที่ใช้ต่อกับคอมพิวเตอร์

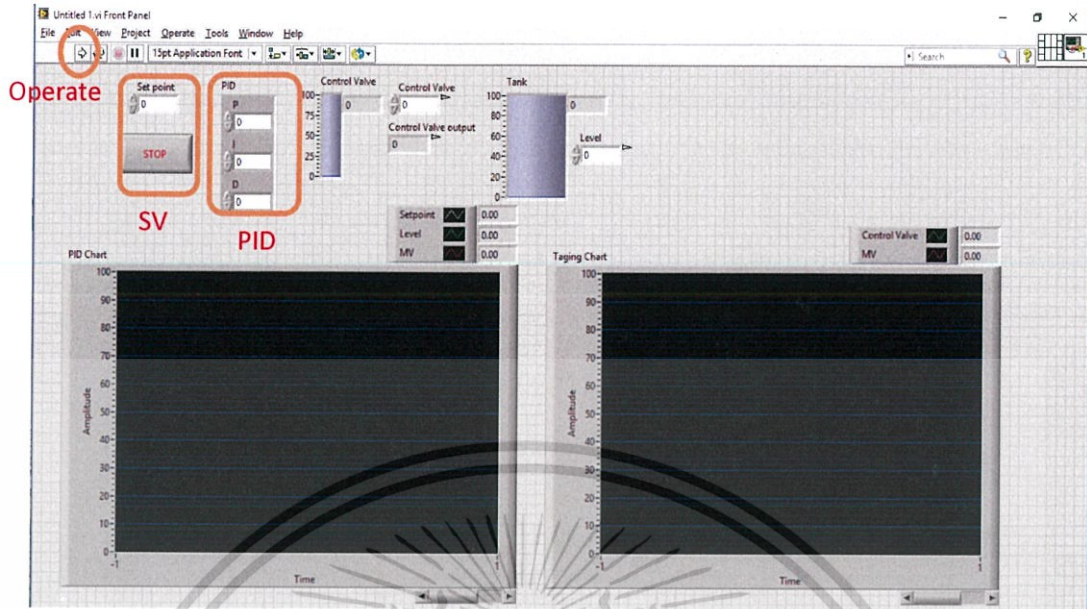


รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ PLC ยี่ห้อ OMRON C200HS 1 เครื่อง

#### 4.1.2 การควบคุม Plant ผ่านโปรแกรม LabVIEW

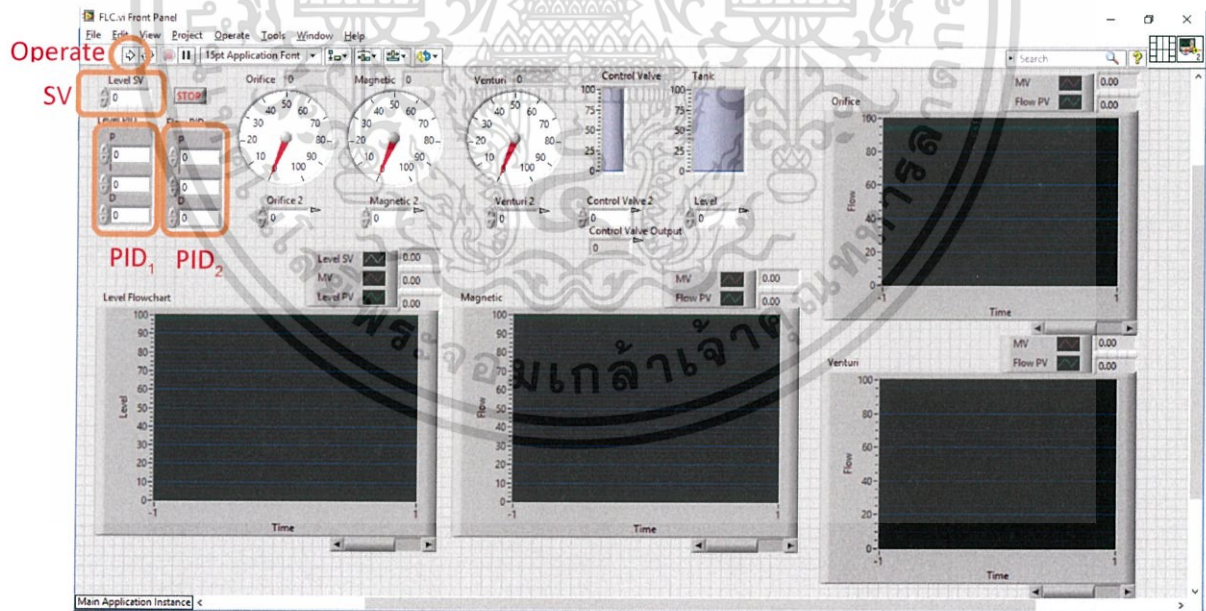
เมื่อสร้างไฟล์โปรแกรม LabVIEW จะมีหน้าต่างขึ้นมา 2 หน้า ได้แก่ หน้า Front Panel ซึ่งเป็นหน้าที่ใช้ในการแสดงผลสู่ผู้ใช้งาน และ หน้า Block Diagram เป็นหน้าที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม และการทดลองนี้แบ่งออกเป็น Single Loop และ Cascade Loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 Single Loop Front Panel

จากรูปที่ 4.4 แสดงถึงหน้าจอ HMI ของ Single Loop ซึ่งจะมีส่วนที่ใส่ค่า PID เพื่อทำการควบคุม และส่วนที่กำหนด Set Point เมื่อรอกค่าเสร็จเรียบร้อยให้กดที่ปุ่ม Operate เพื่อที่จะเริ่มทำการควบคุมผ่าน LabVIEW โดยโปรแกรมจะทำการควบคุมกระบวนการให้ทันที



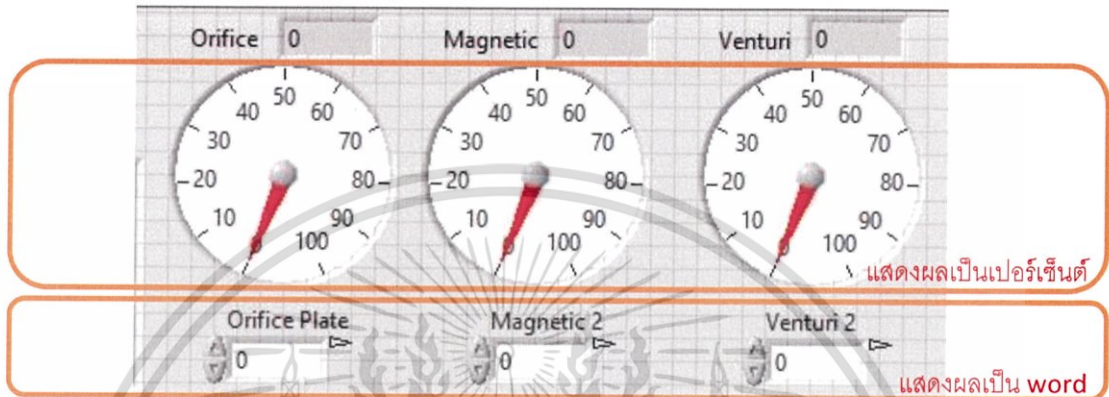
รูปที่ 4.5 Cascade Loop Front Panel

จากรูปที่ 4.5 หน้าจอ HMI ของ Cascade Control จะใช้ PID สองตัวซึ่งตัวแรกเป็นของการควบคุม Level และตัวที่สองเป็นของการควบคุม Flow เมื่อทำการกำหนด Set Point และ PID แล้วให้ทำการ Operate โดยโปรแกรม LabVIEW จะทำการควบคุมกระบวนการให้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

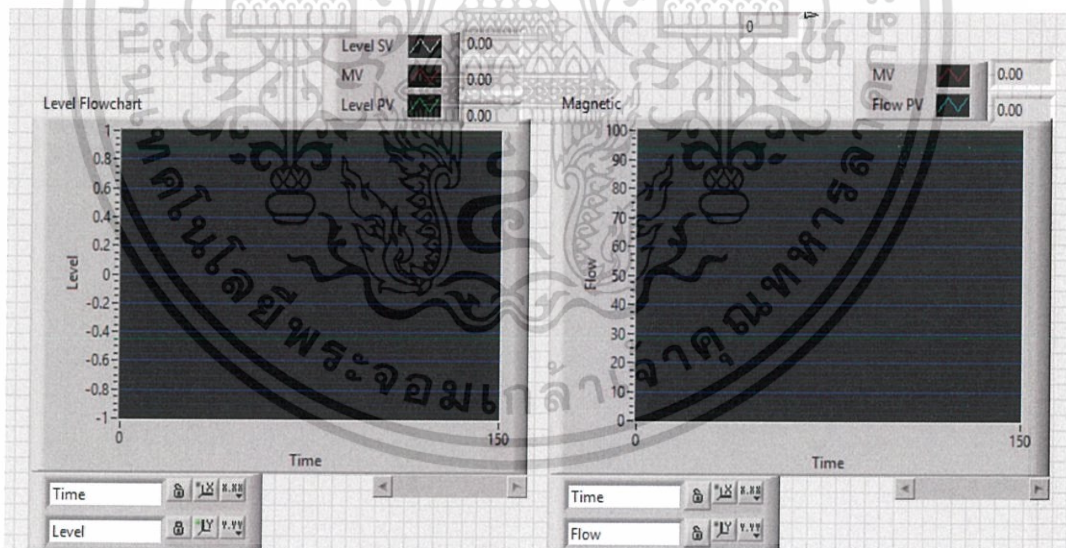
ในส่วนแสดงผลหน้า Front Panel ได้มีการออกแบบให้แสดงผลดังนี้

1. แสดงค่าอัตราการไหลจากตัวทรานสมิตเตอร์ที่อุปกรณ์วัดอัตราการไหล คือ Orifice Plate, Magnetic และ Venturi โดยมีสเกลตั้งแต่ 0-4095 (โดยรับข้อมูลมาจาก OPC Server ได้ซึ่งเราได้กำหนด Type ของข้อมูลเป็น Word จากนั้นนำมาแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์ดังรูปที่ 4.6)



รูปที่ 4.6 เกจวัดอัตราการไหล

2. แสดงแนวโน้มค่าอัตราการไหลจากทรานสมิตเตอร์ด้วยกราฟแสดงผล

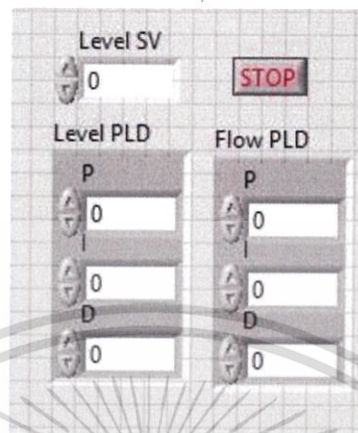


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผล

จากรูปที่ 4.7 กราฟทางด้านซ้ายเป็นการแสดงให้เห็นค่า PV (PV คือ ค่าเอาต์พุตที่ได้จากกระบวนการ) ที่กำลังเข้าสู่ Set Point โดยมีตัวแปร MV (MV เป็นสัญญาณควบคุมที่เครื่องควบคุมคำนวณได้มีหน่วยเป็น % (0 - 100 %)) และมี SV มาทำการเปรียบเทียบ ส่วนกราฟขวาเป็นการแสดง ค่า MV เปรียบเทียบกับ PV ของอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

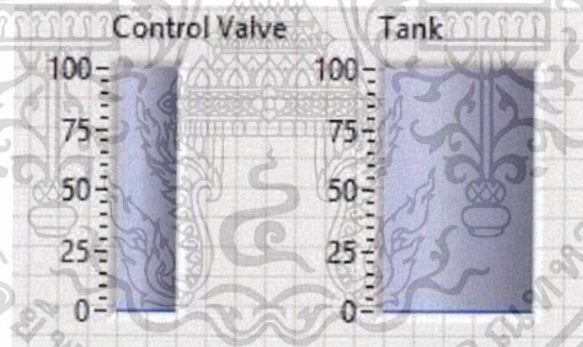
### 3. ช่องใส่ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมพีไอดี



รูปที่ 4.8 ตำแหน่งใส่ค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมแบบพีไอดี

จากรูปที่ 4.8 ส่วนอินพุทของ HMI โดยสามารถป้อนค่า Setpoint และ PID ที่ต้องการ รวมถึงการหยุดกระบวนการควบคุมกลางคืน

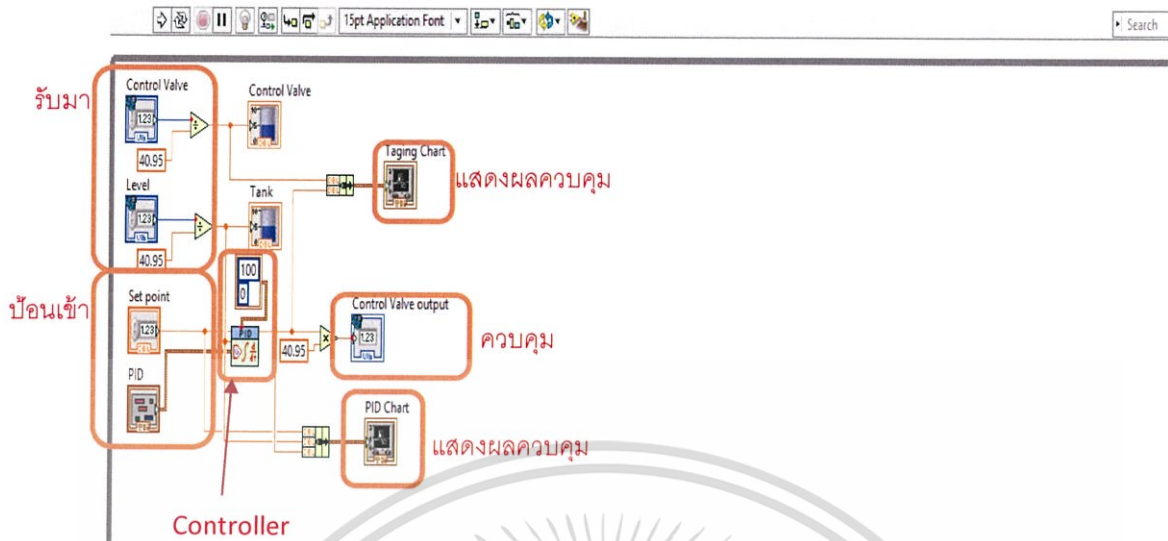
### 4. รูปแสดงค่าสถานะระดับน้ำในถังและสถานะคอนโทลวาล์ว



รูปที่ 4.9 สถานะระบบน้ำในถังและสถานะคอนโทลวาล์ว

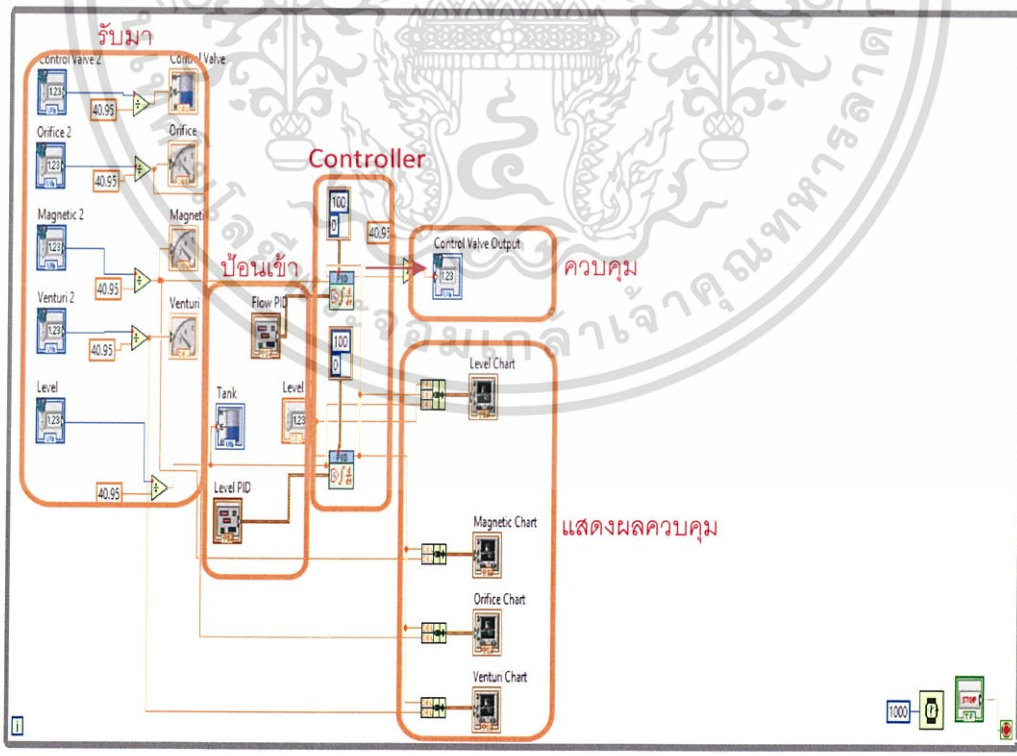
จากรูปที่ 4.9 แสดงค่าสถานะระดับน้ำในถังและสถานะคอนโทลวาล์วโดยมีรับมาจาก OPC Server ได้ข้อมูลเป็น Word แล้วแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์ดังรูป และแสดง Control Valve Output ที่ได้จากการควบคุม เพื่อให้เห็นถึงผลตอบสนองการควบคุม

เมื่อหน้าจอ HMI ป้อนอินพุทและทำการ Operate จะส่งค่าอินพุทมายังส่วน Block Diagram เพื่อทำการควบคุมและส่งค่าออกไปในส่วนแสดงผลให้เห็น



รูปที่ 4.10 Single Loop Block Diagram

จากรูปที่ 4.10 แสดงการทำงานของ Single Loop Block Diagram เริ่มจากบ่อน้ำเข้า Set Point และ PID แล้วกด Operate จะรับสถานะล่าสุดของ Control Valve และ ระดับของไหลใน Tank มาแสดงและใช้เป็นตัวแปรที่ใช้ควบคุม Control Valve เพื่อให้ระดับน้ำเป็นไปตาม Set Point ที่ตั้งไว้ จากนั้นนำมาพล็อตเป็น Chart เปรียบเทียบกับเวลาให้เห็นระดับน้ำกำลังปรับตัวเข้าสู่ Set Point



รูปที่ 4.11 Cascade Loop Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 การทำงานของ Block Diagram เริ่มจากป้อนค่า Set Point และ PID ของระดับของไหลและอัตราการไหล จากนั้นกด Operate จะรับสถานะล่าสุดของ Control Valve ระดับของไหลใน Tank และอัตราการไหลมาแสดงและใช้เป็นตัวแปรที่ใช้ควบคุม Control Valve เพื่อให้ระดับน้ำเป็นไปตาม Set Point ที่ตั้งไว้ จากนั้นนำมาพล็อตเป็น Chart เปรียบเทียบกับเวลาให้เห็นระดับน้ำกำลังปรับตัวเข้าสู่ Set Point

#### 4.2 การทดลองเพื่อออกแบบกระบวนการควบคุม

เนื่องจากเราไม่สามารถรู้ตัวแปรควบคุมที่ดีที่สุด จึงต้องมีการทดลองหาค่าโดยมีหลักเหตุผลและความเข้าใจประกอบ การปรับ  $K_c$  จะทำเมื่อต้องการเพิ่มความเร็วของกระบวนการแต่ถ้ามากเกินไปจะไม่สามารถรักษาเสถียรภาพได้ การปรับ  $T_i$  จะทำก็ต่อเมื่อต้องการลดระยะเวลาที่เข้าสู่ภาวะ Steady-State สุดท้ายการปรับ  $T_d$  จะเป็นการขยายสัญญาณควบคุมให้กับระบบทำให้โอเวอร์ชูตลดลง และทำให้ระบบเสถียรมากขึ้นด้วยแต่ระบบมีความไวต่อสัญญาณรบกวนด้วยเช่นกัน จึงทำให้ระบบไม่เสถียรได้ ซึ่งในการทดลองนี้เราไม่ได้หาค่า  $T_d$  มาพิจารณาเนื่องจากพลานท์ที่เราทำการทดลองนั้นเป็นเพียงแค่การจำลองย่อส่วนจากอุตสาหกรรมใหญ่ไม่ได้มีช่วงเวลาที่เข้าสู่ภาวะ Steady State นาน

จากศึกษากระบวนการจำลองกระบวนการควบคุมระดับ ได้ออกแบบการทดลองไว้ 3 ส่วนดังนี้

- 1) การทดลองหาค่าของผลตอบสนองเมื่อทำการปรับค่า PID ต่างๆ
- 2) ค่า Performance Index ของระบบ
- 3) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการควบคุมระหว่าง Single Loop กับ Cascade Loop

##### 4.2.1 ทดลองปรับค่า PID

ตารางที่ 4.1 การทดลองค่า PID ของ Single Loop ที่ Set Point = 50 (ที่ระดับน้ำ 50%)

| PID ที่ทดลอง                    | เวลา T1(min) | เวลา T2(min) |
|---------------------------------|--------------|--------------|
| $K_c = 1.2, T_i = 0.6, T_d = 0$ | 1.10         | 4.30         |
| $K_c = 1.6, T_i = 0.6, T_d = 0$ | 0.78         | 3.60         |
| $K_c = 2.0, T_i = 0.6, T_d = 0$ | 0.63         | 2.78         |

ตารางที่ 4.2 การทดลองค่า PID ของ Cascade Loop ที่ Set Point = 50 (ที่ระดับน้ำ 50%)

| PID ที่ทดลอง  | เวลา T1(min) | เวลา T2(min) |
|---|--------------|--------------|
| Level $K_c = 1.0, T_i = 0.1, T_d = 0$<br>Flow $K_c = 2.0, T_i = 0.8, T_d = 0$   | 0.75         | 2.95         |
| Level $K_c = 2.0, T_i = 0.75, T_d = 0$<br>Flow $K_c = 1.0, T_i = 0.75, T_d = 0$ | 0.83         | 3.28         |
| Level $K_c = 2.0, T_i = 0.8, T_d = 0$<br>Flow $K_c = 1.0, T_i = 0.7, T_d = 0$   | 0.93         | 2.63         |

กำหนดให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

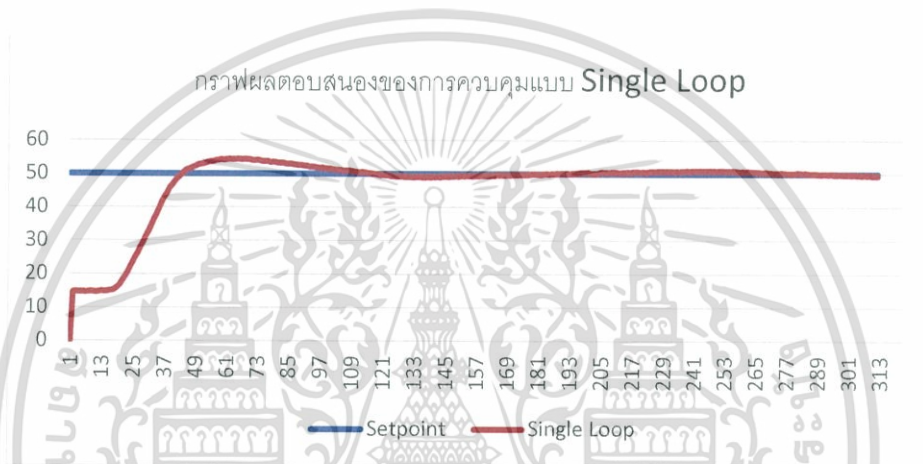
$T_1$  = คือช่วงเวลา Rise Time ที่มีค่าเอาต์พุตระหว่าง 10 ถึง 90 % ค่าของระดับจะอยู่ที่ 5 – 45 %

$T_2$  = คือเวลาที่เข้าสู่ Steady-State

โดยตารางที่ 4.1 และ 4.2 แสดงช่วงเวลาในการเข้าถึง Steady-State ของทั้งสองการควบคุมทั้งในแบบ Single Loop และแบบ Cascade Loop ที่ Set Point = 50% ซึ่งจะจำแนกผลของการทดลองเป็นดังนี้

ผลตอบสนองของการควบคุมแบบ Single Loop

เป็นการนำผลที่ดีที่สุดจากการทดลองมาเขียนเป็นกราฟของผลตอบสนองที่มีค่า Set Point อยู่ที่ 50 % แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบ Single Loop

จากรูปที่ 4.12 กราฟผลตอบสนองของการควบคุมแบบ Single Loop เราสามารถพิจารณาผลตอบสนองได้โดยการนำตารางที่ 4.1 มาพิจารณาร่วมดังนี้ โดยพิจารณาจากผลตอบสนองรวมที่ดีที่สุดของการทดลองซึ่งผลที่ได้มีดังนี้

ในการพิจารณาที่ค่าช่วงเวลาขาขึ้น (Rise Time)

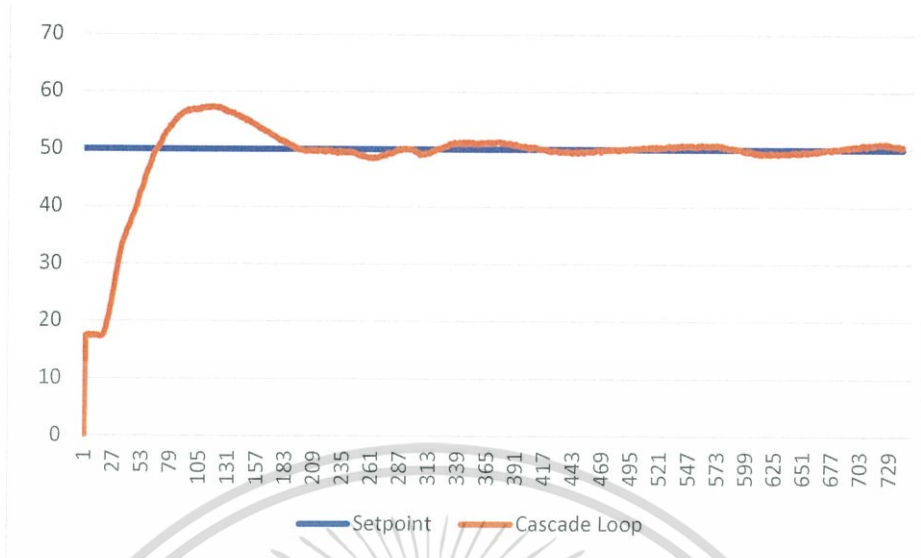
ที่เอาต์พุตระหว่าง 10 ถึง 90 % จะพบว่าที่การควบคุมแบบ Single Loop นั้นจะมีผลของการทดลองอยู่ที่ 0.63 นาที โดยพิจารณาที่ค่า  $T_1$  จากตารางที่ 4.1

เมื่อทำการพิจารณาที่ค่าของ Setting Time ( $T_2$ )

โดยที่ระดับสถานะคงที่เท่ากับ 50 % โดยเมื่อทำการวัดที่ระดับ  $\pm 2\%$  ของสถานะคงที่จะได้ค่าระดับอยู่ระหว่าง 49-51% ซึ่งการควบคุมแบบ Single Loop จะใช้ช่วงเวลาเข้าสู่ Setting Time ที่ดีที่สุดของการทดลองมีค่าเท่ากับ 2.78 นาที จากการพิจารณาค่าที่ตาราง 4.1

ผลตอบสนองของการควบคุมแบบ Cascade Loop

โดยการพิจารณาจากตารางที่ 4.2 และนำค่าผลตอบสนองที่ดีที่สุดของการทดลองมาทำกราฟแสดงผลดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 กราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบ Cascade Loop

จากกราฟผลตอบสนองของการควบคุมแบบ Cascade Loop เราสามารถพิจารณาผลตอบสนองได้โดยการนำตารางที่ 4.2 มาพิจารณาร่วมซึ่งผลที่ได้มีดังนี้ โดยพิจารณาจากผลตอบสนองรวมที่ดีที่สุดของการทดลอง

ในการพิจารณาที่ค่าช่วงเวลาขาขึ้น (Rise Time)

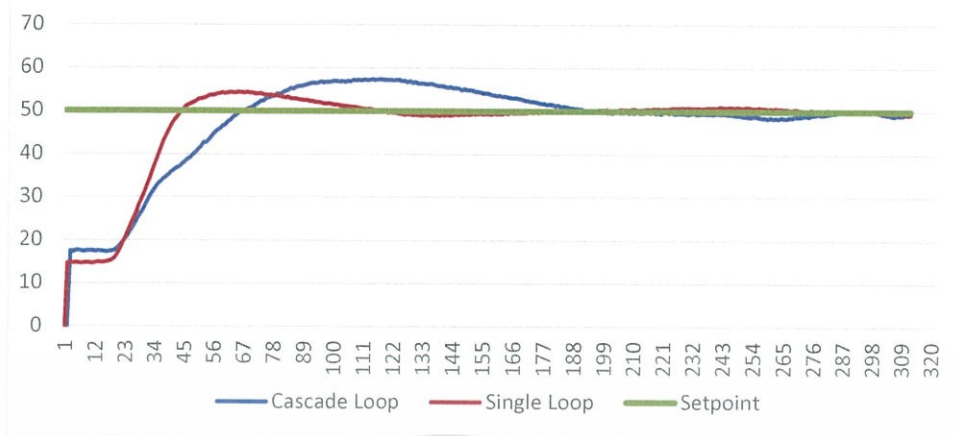
ที่เอาต์พุตระหว่าง 10 ถึง 90 % จะพบว่าที่การควบคุมแบบ Cascade Loop นั้นจะมีผลการทดลองอยู่ที่ 0.93 นาที โดยพิจารณาที่ค่า  $T_1$  จากตารางที่ 4.1

เมื่อทำการพิจารณาที่ค่าของ Setting Time ( $T_2$ )

โดยที่ระดับสภาวะคงที่เท่ากับ 50 % โดยเมื่อทำการวัดที่ระดับ  $\pm 2$  % ของสภาวะคงที่จะได้ค่าระดับอยู่ระหว่าง 49-51% ซึ่งการควบคุมแบบ Single Loop จะใช้ช่วงเวลาเข้าสู่ Setting Time ที่ดีที่สุดของการทดลองมีค่าเท่ากับ 2.63 นาที จากการพิจารณาค่าที่ตาราง 4.1

การเปรียบเทียบผลตอบสนองของการควบคุม

ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลระหว่างการควบคุมแบบ แบบ Single Loop และแบบ Cascade Loop ทำได้โดยการนำค่าที่ได้จากการทดลอง และ กราฟของผลตอบสนองมาเปรียบเทียบกันดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบผลตอบสนองของการควบคุมทั้งสองวงรอบ

จากกราฟผลตอบสนองของการควบคุมเป็นการเปรียบเทียบระหว่างกราฟที่ได้จากผลตอบสนองของการควบคุมแบบ แบบ Single Loop และแบบ Cascade Loop และเมื่อนำไปพิจารณาร่วมกับค่าที่ได้จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะสามารถสรุปผลได้ดังนี้

ในการพิจารณาที่ค่าช่วงเวลาขาขึ้น (Rise Time)

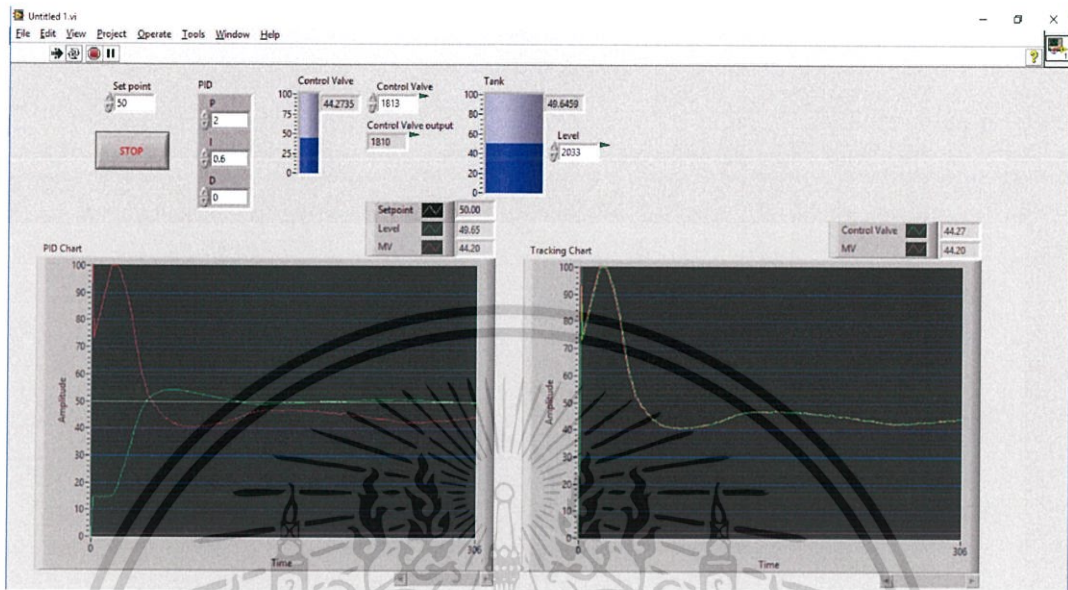
ที่เอาต์พุตระหว่าง 10 ถึง 90 % จะพบว่าที่การควบคุมแบบ Single Loop นั้นจะใช้เวลาน้อยกว่าซึ่งสังเกตได้จากค่า  $T_1$  ซึ่งในการทดลองนี้จะมีค่าที่ดีที่สุดอยู่ที่ 0.63 นาที

เมื่อทำการพิจารณาที่ค่าของ Setting Time ( $T_2$ )

โดยที่ระดับสถานะคงที่เท่ากับ 50 % โดยเมื่อทำการวัดที่ระดับ  $\pm 2\%$  ของสถานะคงที่จะได้ค่าระดับอยู่ระหว่าง 49-51% ซึ่งการควบคุมแบบ Cascade Loop จะใช้ช่วงเวลาเข้าสู่ Setting Time ได้เร็วกว่าโดยมีค่าเท่ากับ 2.63 นาที

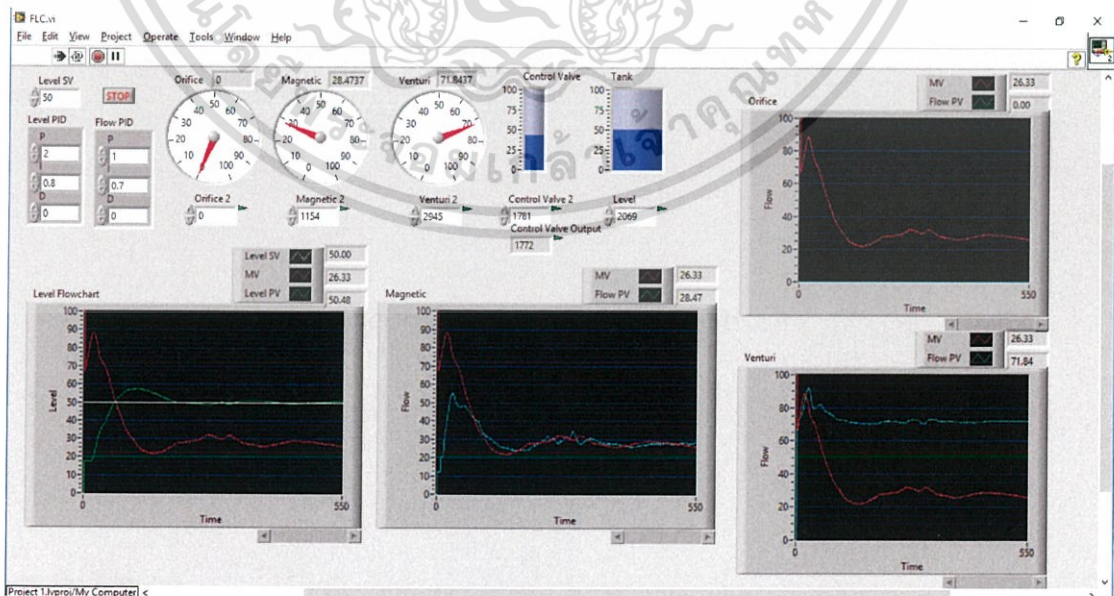
แต่เมื่อทำการพิจารณาช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้เข้าสู่สถานะ Steady State (ผลรวมของ  $T_1$  และ  $T_2$ ) จะพบว่าที่การควบคุมแบบ Single Loop จะให้ผลตอบสนองได้ดีกว่าซึ่งมีค่าอยู่ที่ 3.41 นาที ซึ่งมากกว่า Cascade Loop ที่มีค่าอยู่ที่ 3.56 นาที

หน้าจอแสดงผลตอบสนองของการควบคุมขณะที่ทำการทดลองจากการปรับ PID ของ Single Loop จากตารางจะได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.15 ผลการตอบสนองเมื่อ  $K_c = 2.0$ ,  $T_i = 0.6$ ,  $T_d = 0$

จากรูปที่ 4.15 เป็นค่าของผลตอบสนองที่ดีที่สุดของการทดลอง กราฟทางซ้ายมือแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของการควบคุมระดับให้เข้าสู่ Set Point ซึ่งจากพฤติกรรมของกราฟจะมีการเกิด Overshoot เกิดขึ้นแล้วจะค่อยๆ เข้าสู่สภาวะ Steady State ในช่วงเวลาต่อมา และกราฟทางขวามือแสดงถึงการ Tag ค่าข้อมูลที่ได้จากจากเครื่องมือเทียบกับค่าที่ตัวควบคุม (Controller) คำนวณได้จากการปรับ PID ของ Cascade Loop จากตารางจะได้ผลดังนี้



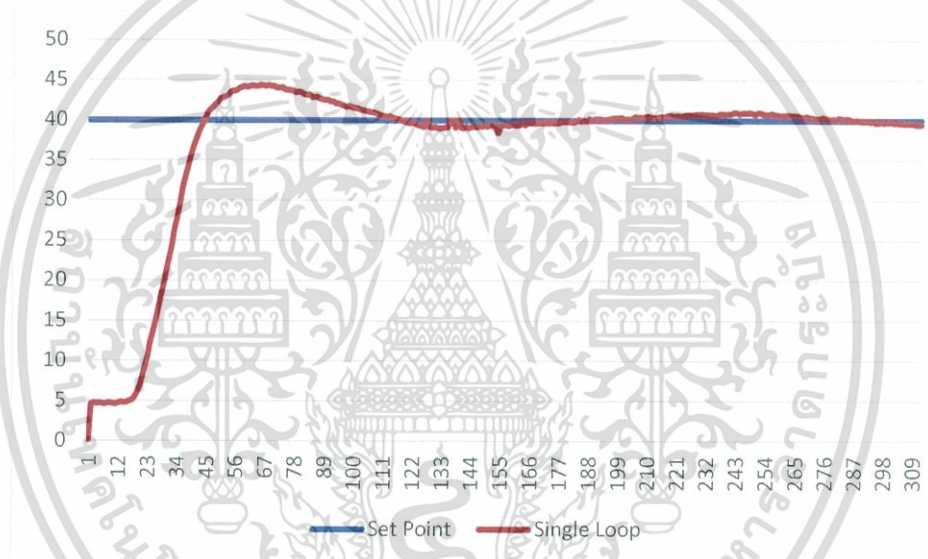
รูปที่ 4.16 ผลการตอบสนองเมื่อ  $K_c = 2.0$ ,  $T_i = 0.8$ ,  $T_d = 0$  (Level) และ  $K_c = 1.0$ ,  $T_i = 0.7$ ,  $T_d = 0$  (Flow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 เป็นค่าผลการตอบสนองที่ดีที่สุดในการทดลองของการควบคุมแบบ คาสเคด กราฟแรกทางซ้ายมือแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของการควบคุมระดับให้เข้าสู่ Set Point ซึ่งจาก พฤติกรรมของกราฟจะมีการเกิด Overshoot เกิดขึ้นแล้วจากนั้นจะค่อยๆเข้าสู่สภาวะ Steady State ในช่วงเวลาต่อมา และกราฟที่เหลือจะแสดงถึงการ Tag ค่าข้อมูลที่ได้จากจากเครื่องมือทั้ง 3 ตัว (Venturi , Orifice , Magnetic) เทียบกับค่าที่ตัวควบคุม (Controller) คำนวณได้

จากนั้นทำการเปลี่ยน Set Point ของการควบคุมเพื่อสังเกตพฤติกรรมของผลตอบสนองโดย เลือกใช้ค่า Set Point ที่ 40 % และ Set Point 60 % ตามลำดับ เพื่อที่จะสังเกตว่าเมื่อทำการ เปลี่ยน Set Point แล้วจะสามารถทำการควบคุมให้เข้าสู่สภาวะ Steady State ได้หรือไม่ การทดลองการควบคุมที่ค่าเป้าหมายระดับ 40 %

เมื่อเริ่มการจำลองการทำงานของระบบควบคุมแบบ Single Loop จะได้ผลตอบสนองดังรูป ที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบ Single Loop

จากกราฟผลการตอบสนองของการควบคุมระดับแบบ Single Loop ที่ค่าเป้าหมาย 40 % สามารถพิจารณาผลตอบสนองได้ดังต่อไปนี้

ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise Time)

ที่เอาต์พุตระหว่าง 10 % ถึง 90 % ค่าของระดับอยู่ระหว่าง 4 - 36 % เมื่อทำการวัด ช่วงเวลา ณ ช่วงของระดับข้างต้นจะมีค่าประมาณ 0.45 นาที

ค่าเวลาสู่สมดุล (Setting Time)

ที่ระดับสภาวะคงที่เท่ากับ 40.00 % เมื่อทำการวัดที่ระดับ  $\pm 2$  % ของค่าที่สภาวะคงที่ จะ ได้ค่าระดับอยู่ระหว่าง 39.2 % ถึง 40.8 % จะได้ช่วงเวลาสู่สมดุลประมาณ 3.12 นาที

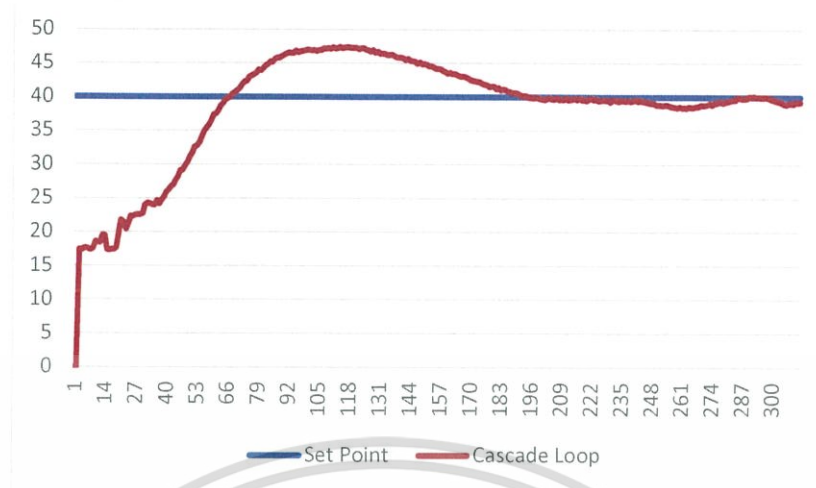
ค่าโอเวอร์ชูตสูงสุด (Maximum Overshoot)

ตั้งเริ่มต้นกระบวนการจนถึงสิ้นสุดกระบวนการ มีค่าโอเวอร์ชูตสูงสุดที่ได้เท่ากับ 11.0875 %

เมื่อเริ่มการจำลองการทำงานของระบบควบคุมแบบ Cascade Loop จะได้ผลตอบสนองดัง

รูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบ Cascade Loop

ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise Time)

ที่เอาต์พุตระหว่าง 10 % ถึง 90 % ค่าของระดับอยู่ระหว่าง 4 - 36 % เมื่อทำการวัดช่วงเวลา ณ ช่วงของระดับข้างต้นจะมีค่าประมาณ 0.55 นาที

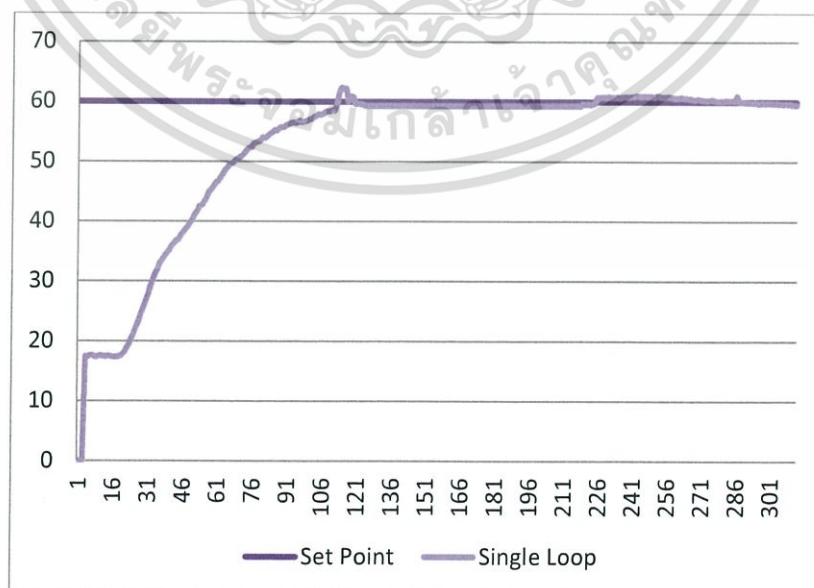
ค่าเวลาสู่สมดุล (Setting Time)

ที่ระดับสภาวะคงที่เท่ากับ 40.00 % เมื่อทำการวัดที่ระดับ  $\pm 2$  % ของค่าที่สภาวะคงที่ จะได้ค่าระดับอยู่ระหว่าง 39.2 % ถึง 40.8 % จะได้ช่วงเวลาสู่สมดุลประมาณ 2.98 นาที

ค่าโอเวอร์ชูดสูงสุด (Maximum Overshoot)

ตั้งเริ่มต้นกระบวนการจนถึงสิ้นสุดกระบวนการ มีค่าโอเวอร์ชูดสูงสุดที่ได้เท่ากับ 21.9125 % การทดลองการควบคุมที่ค่าเป้าหมายระดับ 60 %

เมื่อเริ่มการจำลองการทำงานของระบบควบคุมแบบ Single Loop จะได้ผลตอบสนองดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบ Single Loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise Time)

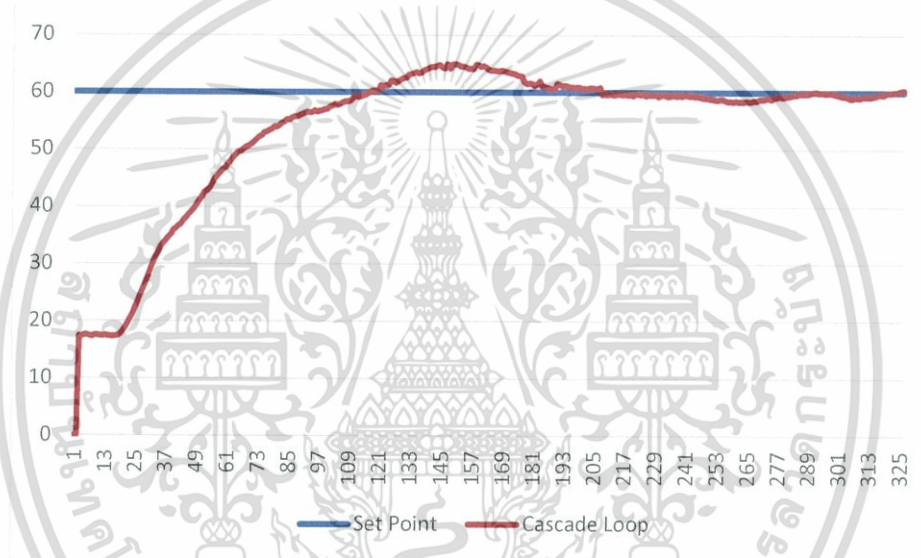
ที่เอาต์พุตระหว่าง 10 % ถึง 90 % ค่าของระดับอยู่ระหว่าง 6 - 54 % เมื่อทำการวัดช่วงเวลา ณ ช่วงของระดับข้างต้นจะมีค่าประมาณ 1.52 นาที

ค่าเวลาสู่สมดุล (Setting Time)

ที่ระดับสถานะคงที่เท่ากับ 40.00 % เมื่อทำการวัดที่ระดับ  $\pm 2$  % ของค่าที่สถานะคงที่ จะได้ค่าระดับอยู่ระหว่าง 58.8 % ถึง 61.2 % จะได้ช่วงเวลาสู่สมดุลประมาณ 3.53 นาที

สาเหตุที่กราฟไม่เกิด Overshoot ขึ้นเพราะเนื่องจากที่ทำการทดลองปริมาณน้ำในถังไม่เพียงพอต่อการเพิ่มขึ้นของกราฟ ถึงแม้ว่าวาล์วจะเปิดมากขึ้นก็ตาม (ในการทดลองนี้มีการตั้งค่า Maximum Set Point ไว้ที่ 60 %)

เมื่อเริ่มการจำลองการทำงานของระบบควบคุมแบบ Cascade Loop จะได้ผลตอบสนองดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 กราฟผลตอบสนองการควบคุมระดับแบบ Cascade Loop

ค่าช่วงเวลาขึ้น (Rise Time)

ที่เอาต์พุตระหว่าง 10 % ถึง 90 % ค่าของระดับอยู่ระหว่าง 6 - 54 % เมื่อทำการวัดช่วงเวลา ณ ช่วงของระดับข้างต้นจะมีค่าประมาณ 1.62 นาที

ค่าเวลาสู่สมดุล (Setting Time)

ที่ระดับสถานะคงที่เท่ากับ 40.00 % เมื่อทำการวัดที่ระดับ  $\pm 2$  % ของค่าที่สถานะคงที่ จะได้ค่าระดับอยู่ระหว่าง 58.8 % ถึง 61.2 % จะได้ช่วงเวลาสู่สมดุลประมาณ 3.36 นาที

มี Overshoot เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยอยู่ที่ประมาณ 8.33 % พฤติกรรมของกราฟมีสาเหตุมาจากเพราะขณะที่ทำการทดลองปริมาณน้ำในถังไม่เพียงพอต่อการเพิ่มขึ้นของกราฟ ถึงแม้ว่าวาล์วจะเปิดมากขึ้นก็ตาม (ในการทดลองนี้มีการตั้งค่า Maximum Set Point ไว้ที่ 60 %)

#### 4.2.2 หาค่า Performance Index ของระบบ

ค่า Performance Index คือ ค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของระบบควบคุม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบควบคุมแบบลูปปิดเราสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ของระบบควบคุมเพื่อเพิ่มหรือลดค่า Performance Index ได้ ค่า Performance Index ที่พบได้ทั่วไปคือ

1) ค่า IAE ( $\int_0^\infty |e(t)| dt$ ) เป็นการหาค่าประสิทธิภาพของระบบได้จากการหาขนาดของ Error เพียงอย่างเดียวแล้วนำมา Integral ว่ามีค่าเท่าไร ซึ่งค่า IAE นี้จะเป็นตัวที่บอกขนาดของ Error ทั้งระบบ ถ้าค่า IAE น้อยแสดงว่า Error ของระบบจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์

$|e(t)|$  = ผลรวมของค่า Error ของระบบ ซึ่งค่า Error นี้หาได้จากผลต่างของ SV และ PV โดยจะนำมา Integral เทียบกับเวลา

2) ค่า ITAE ( $\int_0^\infty t |e(t)| dt$ ) เป็นหนึ่งในการหาค่าประสิทธิภาพของระบบซึ่งค่า ITAE นี้จะมีตัวแปร T ที่เกี่ยวข้องกับเวลานำมาใช้คิดด้วย โดยจะเป็นตัว Integral ที่รวมทั้งการวัดเวลาและการวัดขนาดของ Error ในตัวเดียวกัน ซึ่งจะหมายความว่าถ้าค่า ITAE ออกมาน้อยๆ ก็จะสามารถ Controller ของเรามีช่วง Rise Time ที่ดี

$|e(t)|$  = ผลรวมของค่า Error ของระบบ ซึ่งค่า Error นี้หาได้จากผลต่างของ SV และ PV โดยจะนำมา Integral เทียบกับเวลา

$t$  = คือช่วงเวลาขณะที่ทำการทดลอง ซึ่งค่าของ  $|e(t)|$  นี้จะแตกต่างกันตามช่วงเวลาโดยจะต้องนำเวลามาพิจารณาทุกค่า (วินาที)

ตารางที่ 4.3 การทดลองค่า IAE และ ITAE ของ Cascade Loop ที่ Set Point = 50 (ที่ระดับน้ำ 50%)

| PID ที่ทดลอง  | IAE      | ITAE     |
|---|----------|----------|
| Level Kc= 1.0, Ti= 0.1, Td= 0<br>Flow Kc= 2.0, Ti= 0.8, Td= 0   | 2.036284 | 4.901066 |
| Level Kc= 2.0, Ti= 0.75, Td= 0<br>Flow Kc= 1.0, Ti= 0.75, Td= 0 | 2.25001  | 5.523169 |
| Level Kc= 2.0, Ti= 0.8, Td= 0<br>Flow Kc= 1.0, Ti= 0.7, Td= 0   | 1.31885  | 2.946707 |

ตารางที่ 4.4 การทดลองค่า IAE และ ITAE ของ Single Loop ที่ Set Point = 50 (ที่ระดับน้ำ 50%)

| PID ที่ทดลอง            | IAE      | ITAE     |
|-------------------------|----------|----------|
| Kc= 1.2, Ti= 0.6, Td= 0 | 2.907645 | 6.4378   |
| Kc= 1.6, Ti= 0.6, Td= 0 | 2.738318 | 6.861829 |
| Kc= 2.0, Ti= 0.6, Td= 0 | 1.680011 | 4.351541 |

จากตารางที่ 4.3 – 4.4 เราจะเห็นว่าค่า IAE , ITAE, ของวิธีการควบคุมแบบ Cascade Control เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการควบคุมแบบ Single Loop จะเห็นว่ามิต่ำกว่า ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงให้เห็นว่าการควบคุมแบบ Cascade มีประสิทธิภาพมากกว่า เพราะมีค่า Error ของระบบน้อยกว่าเมื่อสังเกตจากค่า IAE และส่วนของ ITAE นั้นจะบ่งบอกถึง Error ที่เกิดขึ้นในช่วง Rise Time จะพบว่าที่การควบคุมแบบ Cascade Loop จะมี Error เกิดขึ้นน้อยกว่าเช่นเดียวกัน

#### การหาค่า Overshoot ของระบบ

เพราะเนื่องจาก Overshoot นั้นอยู่ในส่วน Transient Performance ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์หารูปแบบของผลตอบสนอง โดย Overshoot จะเป็นค่าที่มากที่สุดระหว่าง input และ Output คำนี้อาจใช้ประมาณความเสถียรภาพของระบบซึ่งเราจะหาในรูปของ Percentage Overshoot โดยต้องนำมาพิจารณาร่วมกับค่า ITAE เพื่อบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการควบคุม

$$\text{Percentage overshoot} = \frac{\text{maximum overshoot}}{\text{set point}} \times 100 \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่า Percentage Overshoot ของ Cascade Loop ที่ Set Point = 50 (ที่ระดับน้ำ 50%)

| PID ที่ทดลอง  | Percentage overshoot |
|---|----------------------|
| Level Kc= 1.0, Ti= 0.1, Td= 0<br>Flow Kc= 2.0, Ti= 0.8, Td= 0   | 22.9792              |
| Level Kc= 2.0, Ti= 0.75, Td= 0<br>Flow Kc= 1.0, Ti= 0.75, Td= 0 | 13.7484              |
| Level Kc= 2.0, Ti= 0.8, Td= 0<br>Flow Kc= 1.0, Ti= 0.7, Td= 0   | 14.7742              |

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่า Percentage Overshoot ของ Single Loop ที่ Set Point = 50 (ที่ระดับน้ำ 50%)

| PID ที่ทดลอง            | Percentage Overshoot |
|-------------------------|----------------------|
| Kc= 1.2, Ti= 0.6, Td= 0 | 25.2258              |
| Kc= 1.6, Ti= 0.6, Td= 0 | 18.3394              |
| Kc= 2.0, Ti= 0.6, Td= 0 | 8.8156               |

จากตารางที่ 4.5 - 4.6 เราจะเห็นว่าค่า Overshoot ของวิธีการควบคุมแบบ Cascade Control เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการควบคุมแบบ Single Loop จะมีค่าสูงกว่า แต่ Overshoot อย่างเดียวนั้นไม่สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของการควบคุมได้ ต้องใช้ค่า ITAE ตารางที่ 4.3 และ 4.4 มาพิจารณาซึ่งการควบคุมแบบ Cascade Loop จะมีค่า Performance Index ดีกว่า กล่าวคือในขณะการเกิด Overshoot จะมี Error เกิดขึ้นน้อยกว่า

#### 4.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการควบคุมระหว่าง Single Loop กับ Cascade Loop

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.2.1 และ 4.2.2 เราได้นำผลเปรียบเทียบระหว่าง Single Loop กับ Cascade Loop ในด้านของการเข้าสู่ Steady State และค่า Performance Index โดยทำการเลือกค่าพารามิเตอร์ ที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบกัน

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าเวลาทั้งหมดที่เข้าสู่ Steady State ระหว่าง Cascade Loop กับ Single Loop

| PID ที่ทดลอง  | ค่าเวลาที่ใช้เข้าสู่ Steady State (นาท) |
|---|---|
| Level $K_c = 2.0$ , $T_i = 0.8$ , $T_d = 0$<br>Flow $K_c = 1.0$ , $T_i = 0.7$ , $T_d = 0$ | 3.56                                    |
| $K_c = 2.0$ , $T_i = 0.6$ , $T_d = 0$   | 3.41                                    |

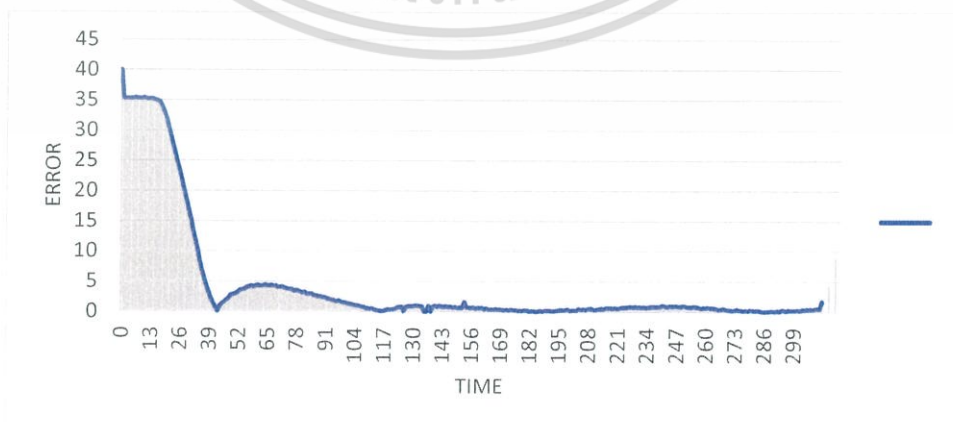
จากตารางที่ 4.7 เป็นการเปรียบเทียบเวลารวมทั้งหมดที่ใช้ในการควบคุมเพื่อให้เข้าสู่สภาวะ Steady State ระหว่างการควบคุมทั้งสองแบบ พบว่าการควบคุมแบบ Single Loop จะให้ผลตอบสนองได้ดีกว่าซึ่งมีค่าอยู่ที่ 3.41 นาท ซึ่งน้อยกว่า Cascade Loop ที่มีค่าอยู่ที่ 3.56 นาท

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่า Performance Index ระหว่าง Cascade Loop กับ Single Loop

| PID ที่ทดลอง  | IAE      | ITAE     |
|---|----------|----------|
| Level $K_c = 2.0$ , $T_i = 0.8$ , $T_d = 0$<br>Flow $K_c = 1.0$ , $T_i = 0.7$ , $T_d = 0$ | 1.31885  | 2.946707 |
| $K_c = 2.0$ , $T_i = 0.6$ , $T_d = 0$   | 1.680011 | 4.351541 |

กราฟเปรียบเทียบถึงค่า Error ที่เกิดขึ้นในกระบวนการควบคุมทั้งแบบ Single Loop และ Cascade Loop

กราฟแสดงค่า Error ที่ผลการตอบสนองการควบคุมแบบ Single Loop เมื่อ  $K_c = 2.0$ ,  $T_i = 0.6$ ,  $T_d = 0$

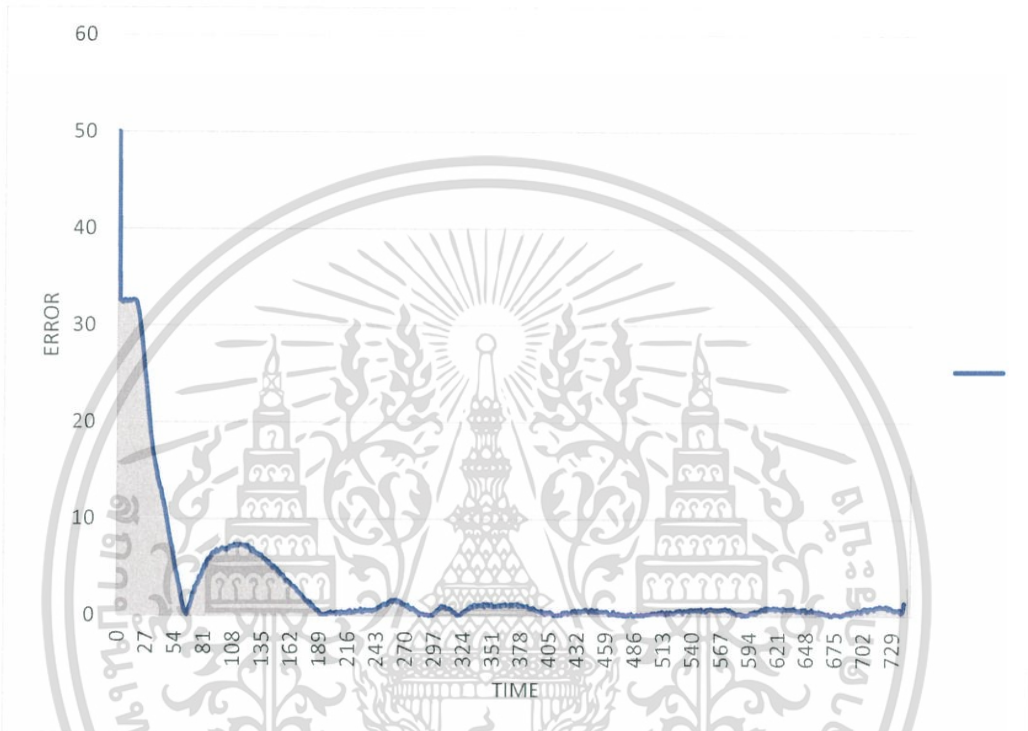


รูปที่ 4.21 แสดงถึงค่า Error ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการควบคุมกระบวนการแบบ Single Loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21 แสดงถึงค่า Error ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการควบคุมกระบวนการแบบ Single Loop ซึ่งเราสามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบกับรูปที่ 4.22

กราฟแสดงค่า Error ที่ผลการตอบสนองเมื่อ  $K_c = 1.0$ ,  $\tau_I = 0.7$ ,  $\tau_D = 0$  (Flow) และ  $K_c = 2.0$ ,  $\tau_I = 0.8$ ,  $\tau_D = 0$  (Level)



รูปที่ 4.22 แสดงถึงค่า Error ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการควบคุมกระบวนการแบบ Cascade Loop

จากรูปที่ 4.22 แสดงถึงค่า Error ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการควบคุมกระบวนการแบบ Cascade Loop

เมื่อทำการพิจารณาร่วมกับตารางที่ 4.8 และ รูปที่ 4.21 แล้วสามารถสรุปได้ว่าการควบคุมแบบ Cascade Loop จะให้ค่า Performance Index ที่ดีกว่า หมายความว่า Error ที่เกิดในระบบมีค่าน้อยกว่า

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่า Overshoot ระหว่าง Cascade Loop กับ Single Loop

| PID ที่ทดลอง                                | ค่า Percentage Overshoot (%) |
|---|------------------------------|
| Level $K_c = 2.0$ , $T_i = 0.8$ , $T_d = 0$ | 14.7742                      |
| Flow $K_c = 1.0$ , $T_i = 0.7$ , $T_d = 0$  |                              |
| $K_c = 2.0$ , $T_i = 0.6$ , $T_d = 0$       | 8.8156                       |

จากตารางที่ 4.9 การควบคุมแบบ Cascade Loop มีค่า Overshoot สูงกว่า ถ้ามีค่า Overshoot ที่สูงเกินไป (จนถึงค่า Alarm High) จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดของกระบวนการได้ แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยหลักที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของการควบคุมให้พิจารณาจากค่า ITAE ซึ่งจะพบว่า การควบคุมแบบ Cascade Loop จะมีประสิทธิภาพดีกว่าคือมี Error ในช่วง Maximum Overshoot น้อยกว่า

เมื่อนำหัวข้อ 4.2.3 ทั้งหมดมาพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้ดังนี้

ทำการพิจารณาในเรื่องของใช้เวลาเข้าสู่ Steady State (ในตารางที่ 4.7) การควบคุมแบบ Single Loop จะดีกว่าแบบ Cascade Loop

ทำการพิจารณาในเรื่องของ Performance Index (ในตารางที่ 4.8) การควบคุมแบบ Cascade Loop จะมีค่า Performance Index ที่ดีกว่า

ทำการพิจารณาในเรื่องของการเกิด Overshoot (ในตารางที่ 4.9) การควบคุมแบบ Single Loop จะมี Overshoot ต่ำกว่าแบบ Cascade Loop

จากการทดลองเราสรุปได้ว่า

ในการพิจารณาเลือกชนิดของการควบคุมนั้นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการควบคุมถ้าต้องการการควบคุมที่มีค่าเข้าสู่ Set Point และ Steady State ได้ไวให้ทำการเลือกใช้แบบ Single Loop แต่ถ้าในระบบต้องการให้เกิดข้อผิดพลาดน้อย ควรเลือกใช้การควบคุมแบบ Cascade Loop



## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลอง

### 5.1 สรุปผล

จากการศึกษาและทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลตอบสนองการควบคุมระหว่างการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว และการควบคุมระดับแบบวงรอบคาสเคด ด้วยการใช้ PID Control พบว่าประสิทธิภาพของการควบคุมทั้งสองนั้นมีประสิทธิภาพที่ต่างกัน ในการพิจารณาเลือกชนิดของการควบคุมนั้นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการควบคุมถ้าต้องการการควบคุมที่มีค่าเข้าสู่ Set Point และ Steady State ได้เร็วให้ทำการเลือกใช้แบบ Single Loop แต่ถ้าในระบบมีการเกิดสัญญาณรบกวน (Disturbance) เกิดขึ้น หรือระบบต้องการให้เกิดข้อผิดพลาดน้อย ควรเลือกใช้การควบคุมแบบ Cascade Loop

ส่วนในด้านของ Performance Index เราจะเห็นว่าค่า IAE , ITAE, ของวิธีการควบคุมแบบ Cascade Control เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการควบคุมแบบ Single loop จะเห็นว่ามีค่าน้อยกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการควบคุมแบบ Cascade มีประสิทธิภาพมากกว่า เพราะมีค่า Error ของระบบน้อยกว่า และมี Error ที่เกิดขึ้นในช่วง Rise time น้อยกว่า

### 5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

ในการทำโปรเจกต์จำเป็นต้องมีการศึกษาข้อมูลต่างๆก่อนทำซึ่งทำให้เกิดการล่าช้าในการดำเนินงานเช่น ในส่วนการใช้งานของโปรแกรม LabVIEW และการติดตั้งพลานท์

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

ควรเลือกรูปแบบของการควบคุมให้เหมาะสมกับสอดคล้องกับวัตถุประสงค์

## บรรณานุกรม

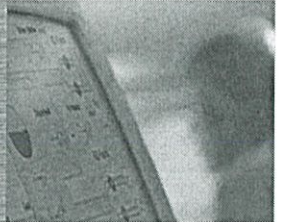
- [1] [suchart.rmutl.ac.th/04-220-308/Control.pdf](http://suchart.rmutl.ac.th/04-220-308/Control.pdf)
- [2] [http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Plc/unit\\_2.htm](http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Plc/unit_2.htm)
- [3] สุมาลี อุณหวนิชย์. 2545. ระบบควบคุม (Control System). กรุงเทพฯ : ว.เพ็ชรสกุล.
- [4] อาจินต์ น่วมสำราญ. 2554. Advanced Virtual Instrument using LabVIEW. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.
- [5] การออกแบบตัวควบคุมแบบ (PID Controller Design). [Online]  
Available:[http://www.eng.sut.ac.th/me/box/3\\_54/425311/02%20PID%20control%20design.pdf](http://www.eng.sut.ac.th/me/box/3_54/425311/02%20PID%20control%20design.pdf)
- [6] Connect LabVIEW to Any PLC Using OPC in NI OPC server configuration.[Online]  
Available: <http://www.ni.com/tutorial/7450/en/>
- [7] อาจินต์ น่วมสำราญ. ปฏิบัติการที่ 8 Control System การวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุม  
ในโดเมนเวลา.[Online]. Available : <http://www.arjin.info/doc/CSLAB/LAB8.pdf>
- [8] ME 3600 Control Systems Performance Indices for Closed-Loop Control Ref: Dorf and Bishop, *Modern Control Systems*, Pearson/Prentice-Hall, 2005.  
[Online].  
Available:<https://www.safaribooksonline.com/library/view/modern-control-system/9780471249061/sec5-06.html>
- [9] Control Valve  
Available: <http://www.alibabavalve.com/control-valve/>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ST 3000 Smart Pressure Transmitter Series 900 Differential Pressure Models Specifications

34-ST-03-65, January 2013



### Introduction

In 1983, Honeywell introduced the first Smart Pressure Transmitter—the ST 3000®. In 1989, Honeywell launched the first all digital, bi-directional protocol for smart field devices. Today, its ST 3000 Series 900 Differential Pressure Transmitters continue to bring proven “smart” technology to a wide spectrum of pressure measurement applications, from furnace combustion airflow rate to hydrostatic tank gauging. The ST 3000 S900 Differential Pressure Transmitter can be used with any primary flow element to provide proven, repeatable flow measurement.

All ST 3000 transmitters can provide a 4-20 mA output, Honeywell Digitally Enhanced (DE) output, HART® output, or FOUNDATION™ Fieldbus output. When digitally integrated with Honeywell’s Process Knowledge System™, EXPERION PKS™, ST 3000 instruments provide a more accurate process variable as well as advanced diagnostics.

Honeywell’s cost-effective ST 3000 S900 transmitters lead the industry in reliability and stability:

- Stability = ±0.01% per year
- Reliability = 470 years MTBF

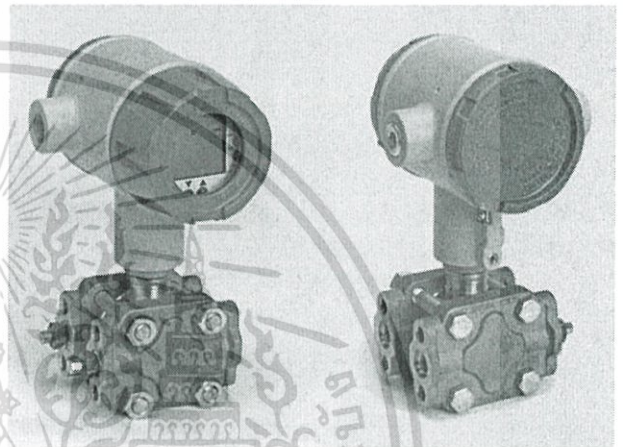


Figure 1 - Series 900 Differential Pressure Transmitters feature proven piezoresistive sensor technology.

The devices provide comprehensive self-diagnostics to help users maintain high uptime, meet regulatory requirements, and attain high quality standards. S900 transmitters allow smart performance at analog prices. Accurate, reliable and stable, Series 900 transmitters offer greater turndown ratio than conventional transmitters

All ST 3000 transmitters can be ordered to provide one of the following output communication options.

| Models |                             |                 |
|--------|-----------------------------|-----------------|
| STD924 | 0 to 400 inH <sub>2</sub> O | 0 to 1,000 mbar |
| STD930 | 0 to 100 psi                | 0 to 7 bar      |
| STD974 | 0 to 3,000 psi              | 0 to 210 bar    |

| Communications options            |
|-----------------------------------|
| 4-20 mA                           |
| Honeywell Digitally Enhanced (DE) |
| HART® (versions 5.x or 6.x)       |
| FOUNDATION™ Fieldbus              |

## Description

The ST 3000 transmitter can replace any 4 to 20 mA output transmitter in use today and operates over a standard two-wire system.

The measuring means is a piezoresistive sensor, which actually contains three sensors in one. It contains a differential pressure sensor, a temperature sensor, and a static pressure sensor.

Microprocessor-based electronics provide higher span-turndown ratio, improved temperature and pressure compensation, and improved accuracy.

The transmitter's meter body and electronics housing resist shock, vibration, corrosion, and moisture. The electronics housing contains a compartment for the single-board electronics, which is isolated from an integral junction box. The single-board electronics is replaceable and interchangeable with any other ST 3000 Series 100 or Series 900 model transmitter.

Like other Honeywell transmitters, the ST 3000 features two-way communication and configuration capability between the operator and the transmitter through several Honeywell field-rated portable configuration devices, including the Smart Field Communicator (SFC) and the Multiple Communication Configurator (MC ToolKit). While both are made for in-field use, the MC Toolkit also can be ordered for use in intrinsically safe environments.

The SCT 3000 Smartline® Configuration Toolkit provides an easy way to configure instruments using a personal computer. The toolkit enables configuration of devices before shipping or installation. The SCT 3000 can operate in the offline mode to configure an unlimited number of devices.

The database can then be loaded down-line during commissioning.

When digitally integrated with Honeywell's Experion® Process Knowledge System or other TDC/TPS systems, ST 3000 instruments provides local measurement accuracy to the system level without adding typical A/D and D/A converter inaccuracies as well as providing advantages from the many other on-board advanced diagnostic features. Honeywell's high-performance ST 3000 S100 transmitters lead the industry in: Accuracy, Stability, Reliability, Rangeability and Warranty.

## Features

- Choice of linear or square root output conformity is a simple configuration selection.
- Direct digital integration with Experion PKS and other control systems provides local measurement accuracy to the system level without adding typical A/D and D/A converter inaccuracies.
- Unique piezoresistive sensor automatically compensates input for temperature and static pressure. Added "smart" features include configuring lower and upper range values, simulating accurate analog output, and selecting preprogrammed engineering units for display.
- Smart transmitter capabilities with local or remote interfacing means significant manpower efficiency improvements in commissioning, start-up, and ongoing maintenance functions.

## Advanced Diagnostics

ST 3000 is now available for both HART® 6 and Foundation™ Fieldbus with advanced diagnostics that minimize unplanned plant outages, minimize maintenance costs and by providing the industry's most reliable transmitter.

- Provide advanced warning of possible failure events and avoid costly shutdowns.
- Three levels of failure reporting
- Comprehensive list of on-board diagnostics (Ref. ST 3000 User manual with HART® 6, 34-ST-25-17 Rev: June 09 and Foundation™ Fieldbus option manual 34-ST-25-15 Rev: June 09)

**Operating Conditions – All Models**

| Parameter   | Reference Condition<br>(at zero static)   |      | Rated Condition         |                         | Operative Limits   |            | Transportation and Storage |            |
|---|---|------|-------------------------|-------------------------|--|------------|----------------------------|------------|
|   | °C  | °F   | °C                      | °F                      | °C   | °F         | °C                         | °F         |
| Ambient Temperature   | 25±1  | 77±2 | -40 to 85               | -40 to 185              | -40 to 85  | -40 to 185 | -55 to 125                 | -67 to 257 |
| Meter Body Temperature  | 25±1  | 77±2 | -40 to 110 <sup>1</sup> | -40 to 230 <sup>1</sup> | -40 to 125   | -40 to 257 | -55 to 125                 | -67 to 257 |
| Humidity %RH  | 10 to 55  |      | 0 to 100                |                         | 0 to 100   |            | 0 to 100                   |            |
| Vacuum Region – Minimum Pressure<br>All Models Except STD110<br>mmHg absolute<br>inH <sub>2</sub> O absolute  | Atmospheric<br>Atmospheric  |      | 25<br>13                |                         | 2 (short term <sup>2</sup> )<br>1 (short term <sup>2</sup> ) |            |                            |            |
| Supply Voltage, Current, and Load Resistance  | <b>Voltage Range:</b> 10.8 to 42.4 Vdc at terminals<br><b>Current Range:</b> 3.0 to 21.8 mA<br><b>Load Resistance:</b> 0 to 1,440 ohms (as shown in Figure 2) |      |                         |                         |  |            |                            |            |
| Maximum Allowable Working Pressure (MAWP) <sup>4</sup><br><small>(ST 3000 products are rated to Maximum Allowable Working Pressure. MAWP depends on Approval Agency and transmitter materials of construction.)</small> | STD924, STD930, STD974 = 4,500psi, 310 bar <sup>3</sup><br>Static Pressure Limit = Maximum Allowable Working Pressure (MAWP) = Overpressure Limit             |      |                         |                         |  |            |                            |            |

- <sup>1</sup> For CTFE fill fluid, the rating is -15°C to 110°C (5°F to 230°F); for the STD924 model at temperatures below -15° C (5°F) the URL is reduced to 100" H<sub>2</sub>O.
- <sup>2</sup> Short term equals 2 hours at 70°C (158°F).
- <sup>3</sup> MAWP applies for temperature range -40 to 125°C. However, Static Pressure Limit is de-rated to 3,000 psi from -26°C to -40°C. Use of graphite o-rings de-rates transmitter to 3,625 psi. Use of adaptor with graphite o-rings de-rates transmitter to 3,000 psi.
- <sup>4</sup> Consult factory for MAWP of ST 3000 transmitters with CSA approval.

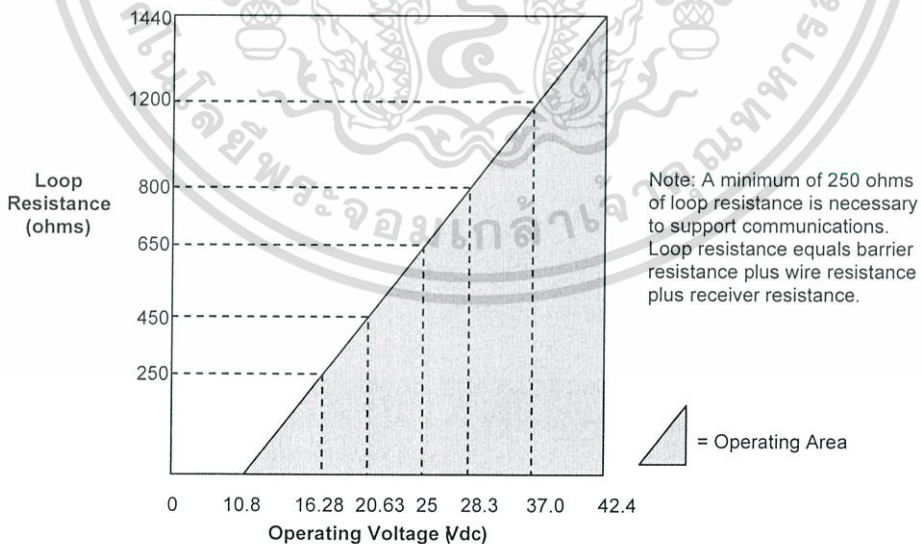


Figure 2 - Supply voltage and loop resistance chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Performance Under Rated Conditions\* - Model STD924 (0 to 400 inH<sub>2</sub>O/1,000 mbar)**

| Parameter  | Description   |
|--|---|
| <b>Upper Range Limit</b>   | inH <sub>2</sub> O<br>mbar<br>400 (39.2°F/4°C is standard reference temperature for inH <sub>2</sub> O range.)<br>1,000   |
| <b>Minimum Span</b>  | inH <sub>2</sub> O<br>mbar<br>4 Note: Recommended minimum span in square root mode is 20 inH <sub>2</sub> O (50 mbar).<br>10  |
| <b>Turndown Ratio</b>  | 100 to 1  |
| <b>Zero Elevation and Suppression</b>  | -5 to ±100% URL.  |
| <b>Accuracy</b> (Reference – Includes combined effects of linearity, hysteresis, and repeatability)<br>• Accuracy includes residual error after averaging successive readings.<br>• For FOUNDATION™ Fieldbus use Digital Mode specifications.<br>• For HART® use Analog Mode specifications. | <b>In Analog Mode:</b> ±0.075% of calibrated span or upper range value (URV), whichever is greater, terminal based.<br>For URV below reference point (25 inH <sub>2</sub> O), accuracy equals:<br>$\pm \left[ 0.025 + 0.05 \left( \frac{25 \text{ inH}_2\text{O}}{\text{span inH}_2\text{O}} \right) \right]$ or $\pm \left[ 0.025 + 0.05 \left( \frac{62 \text{ mbar}}{\text{span mbar}} \right) \right]$ in % of span<br><b>In Digital Mode:</b> ±0.0625% of calibrated span or upper range value (URV), whichever is greater, terminal based.<br>For URV below reference point (25 inH <sub>2</sub> O), accuracy equals:<br>$\pm \left[ 0.125 + 0.05 \left( \frac{25 \text{ inH}_2\text{O}}{\text{span inH}_2\text{O}} \right) \right]$ or $\pm \left[ 0.0125 + 0.05 \left( \frac{62 \text{ mbar}}{\text{span mbar}} \right) \right]$ in % of span |
| <b>Zero Temperature Effect per 28°C (50°F)</b>   | <b>In Analog Mode:</b> ±0.2125% of span.<br>For URV below reference point (50 inH <sub>2</sub> O), effect equals:<br>$\pm \left[ 0.0125 + 0.2 \left( \frac{50 \text{ inH}_2\text{O}}{\text{span inH}_2\text{O}} \right) \right]$ or $\pm \left[ 0.0125 + 0.2 \left( \frac{125 \text{ mbar}}{\text{span mbar}} \right) \right]$ in % of span<br><b>In Digital Mode:</b> ±0.2% of span.<br>For URV below reference point (50 inH <sub>2</sub> O), effect equals:<br>$\pm 0.2 \left( \frac{50 \text{ inH}_2\text{O}}{\text{span inH}_2\text{O}} \right)$ or $\pm 0.2 \left( \frac{125 \text{ mbar}}{\text{span mbar}} \right)$ in % of span  |
| <b>Combined Zero and Span Temperature Effect per 28°C (50°F)</b>   | <b>In Analog Mode:</b> ±0.3% of span.<br>For URV below reference point (50 inH <sub>2</sub> O), effect equals:<br>$\pm \left[ 0.10 + 0.2 \left( \frac{50 \text{ inH}_2\text{O}}{\text{span inH}_2\text{O}} \right) \right]$ or $\pm \left[ 0.10 + 0.02 \left( \frac{125 \text{ mbar}}{\text{span mbar}} \right) \right]$ in % of span<br><b>In Digital Mode:</b> ±0.275% of span.<br>For URV below reference point (50 inH <sub>2</sub> O), effect equals:<br>$\pm \left[ 0.075 + 0.2 \left( \frac{50 \text{ inH}_2\text{O}}{\text{span inH}_2\text{O}} \right) \right]$ or $\pm \left[ 0.075 + 0.2 \left( \frac{125 \text{ mbar}}{\text{span mbar}} \right) \right]$ in % of span  |
| <b>Zero Static Pressure Effect per 1,000 psi (70 bar)</b>  | ±0.1625% of span.<br>For URV below reference point (50 inH <sub>2</sub> O), effect equals:<br>$\pm \left[ 0.0125 + 0.15 \left( \frac{50 \text{ inH}_2\text{O}}{\text{span inH}_2\text{O}} \right) \right]$ or $\pm \left[ 0.0125 + 0.15 \left( \frac{125 \text{ mbar}}{\text{span mbar}} \right) \right]$ in % of span  |
| <b>Combined Zero and Span Static Pressure Effect per 1,000 psi (70 bar)</b>  | ±0.30% of span.<br>For URV below reference point (50 inH <sub>2</sub> O), effect equals:<br>$\pm \left[ 0.15 + 0.15 \left( \frac{50 \text{ inH}_2\text{O}}{\text{span inH}_2\text{O}} \right) \right]$ or $\pm \left[ 0.15 + 0.15 \left( \frac{125 \text{ mbar}}{\text{span mbar}} \right) \right]$ in % of span  |
| <b>Stability</b>   | ±0.015% of URL per year   |

\* Performance specifications are based on reference conditions of 25°C (77°F), zero (0) static pressure, 10 to 55% RH, and 316 Stainless Steel barrier diaphragm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Performance Under Rated Conditions\* - Model STD930 (0 to 100 psi/7,000 mbar)**

| Parameter   |  | Description  |
|---|--|--|
| Upper Range Limit   | psi  | 100  |
|   | bar  | 7  |
| Minimum Span  | psi  | 1  |
|   | bar  | 0.07   |
| Turndown Ratio  |  | 100 to 1   |
| Zero Elevation and Suppression  |  | No limit except minimum span within $\pm 100\%$ URL. |
| Accuracy (Reference – Includes combined effects of linearity, hysteresis, and repeatability). | <b>In Analog Mode:</b> $\pm 0.075\%$ of calibrated span or upper range value (URV), whichever is greater, terminal based.<br>For URV below reference point (25 inH <sub>2</sub> O), accuracy equals:<br>$\pm \left[ 0.025 + 0.05 \left( \frac{20 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right]$ or $\pm \left[ 0.025 + 0.05 \left( \frac{1.4 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right]$ in % of span |  |
|   | <b>In Digital Mode:</b> $\pm 0.0625\%$ of calibrated span or upper range value (URV), whichever is greater, terminal based.<br>For URV below reference point (20 psi), accuracy equals:<br>$\pm \left[ 0.0125 + 0.05 \left( \frac{20 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right]$ or $\pm \left[ 0.0125 + 0.05 \left( \frac{1.4 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right]$ in % of span            |  |
| Zero Temperature Effect per 28°C (50°F)   | <b>In Analog Mode:</b> $\pm 0.1625\%$ of span.<br>For URV below reference point (30 psi), effect equals:<br>$\pm \left[ 0.0125 + 0.15 \left( \frac{30 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right]$ or $\pm \left[ 0.0125 + 0.15 \left( \frac{2 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right]$ in % of span   |  |
|   | <b>In Digital Mode:</b> $\pm 0.15\%$ of span.<br>For URV below reference point (30 psi), effect equals:<br>$\pm 0.15 \left( \frac{30 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right)$ or $\pm 0.15 \left( \frac{2 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right)$ in % of span  |  |
| Combined Zero and Span Temperature Effect per 28°C (50°F)                                     | <b>In Analog Mode:</b> $\pm 0.25\%$ of span.<br>For URV below reference point (30 psi), effect equals:<br>$\pm \left[ 0.10 + 0.15 \left( \frac{30 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right]$ or $\pm \left[ 0.10 + 0.15 \left( \frac{2 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right]$ in % of span   |  |
|   | <b>In Digital Mode:</b> $\pm 0.225\%$ of span.<br>For URV below reference point (30 psi), effect equals:<br>$\pm \left[ 0.075 + 0.15 \left( \frac{30 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right]$ or $\pm \left[ 0.075 + 0.15 \left( \frac{2 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right]$ in % of span   |  |
| Zero Static Pressure Effect per 1000 psi (70 bar)   | $\pm 0.1625\%$ of span.<br>For URV below reference point (30 psi), effect equals:<br>$\pm \left[ 0.0125 + 0.15 \left( \frac{30 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right]$ or $\pm \left[ 0.0125 + 0.15 \left( \frac{2 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right]$ in % of span  |  |
| Combined Zero and Span Static Pressure Effect per 1000 psi (70 bar)                           | $\pm 0.30\%$ of span.<br>For URV below reference point (30 psi), effect equals:<br>$\pm \left[ 0.15 + 0.15 \left( \frac{30 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right]$ or $\pm \left[ 0.15 + 0.15 \left( \frac{2 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right]$ in % of span  |  |
| Stability   | $\pm 0.04\%$ of URL per year   |  |

\* Performance specifications are based on reference conditions of 25°C (77°F), zero (0) static pressure, 10 to 55% RH, and 316L Stainless Steel barrier diaphragm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Performance Under Rated Conditions\* - Model STD974 (0 to 3,000 psi/210 bar)

| Parameter   | Description  |
|---|--|
| Upper Range Limit<br>psi<br>bar   | 3,000<br>210   |
| Minimum Span<br>psi<br>bar  | 30<br>2.1  |
| Turndown Ratio  | 100 to 1   |
| Zero Elevation and Suppression  | -0.6 and +100% URL.  |
| Accuracy (Reference – Includes combined effects of linearity, hysteresis, and repeatability)<br>• Accuracy includes residual error after averaging successive readings.<br>• For FOUNDATION™ Fieldbus use Digital Mode specifications.<br>• For HART® use Analog Mode specifications. | <p><b>In Analog Mode:</b> ±0.2% of calibrated span or upper range value (URV), whichever is greater, terminal based.<br/>For URV below reference point (300 psi), accuracy equals:<br/> <math display="block">\pm \left[ 0.05 + 0.15 \left( \frac{300 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right]</math> or <math display="block">\pm \left[ 0.05 + 0.15 \left( \frac{21 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right]</math> in % of span</p> <p><b>In Digital Mode:</b> ±0.175% of calibrated span or upper range value (URV), whichever is greater, terminal based.<br/>For URV below reference point (300 psi), accuracy equals:<br/> <math display="block">\pm \left[ 0.025 + 0.15 \left( \frac{300 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right]</math> or <math display="block">\pm \left[ 0.025 + 0.15 \left( \frac{21 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right]</math> in % of span</p> |
| Zero Temperature Effect per 28°C (50°F)   | <p><b>In Analog Mode:</b> ±0.2125% of span.<br/>For URV below reference point (500 psi), effect equals:<br/> <math display="block">\pm \left[ 0.0125 + 0.20 \left( \frac{500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right]</math> or <math display="block">\pm \left[ 0.0125 + 0.20 \left( \frac{35 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right]</math> in % of span</p> <p><b>In Digital Mode:</b> ±0.20% of span.<br/>For URV below reference point (500 psi), effect equals:<br/> <math display="block">\pm 0.20 \left( \frac{500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right)</math> or <math display="block">\pm 0.20 \left( \frac{35 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right)</math> in % of span</p>   |
| Combined Zero and Span Temperature Effect per 28°C (50°F)   | <p><b>In Analog Mode:</b> ±0.325% of span.<br/>For URV below reference point (500 psi), effect equals:<br/> <math display="block">\pm \left[ 0.0125 + 0.20 \left( \frac{500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right]</math> or <math display="block">\pm \left[ 0.0125 + 0.20 \left( \frac{35 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right]</math> in % of span</p> <p><b>In Digital Mode:</b> ±0.30% of span.<br/>For URV below reference point (500 psi), effect equals:<br/> <math display="block">\pm \left[ 0.10 + 0.20 \left( \frac{500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right]</math> or <math display="block">\pm \left[ 0.10 + 0.20 \left( \frac{35 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right]</math> in % of span</p>  |
| Zero Static Pressure Effect per 1,000 psi (70 bar)  | <p>±0.1625% of span.<br/>For URV below reference point (500 psi), effect equals:<br/> <math display="block">\pm \left[ 0.0125 + 0.15 \left( \frac{500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right]</math> or <math display="block">\pm \left[ 0.0125 + 0.15 \left( \frac{35 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right]</math></p>  |
| Combined Zero and Span Static Pressure Effect per 1,000 psi (70 bar)  | <p>±0.30% of span.<br/>For URV below reference point (500 psi), effect equals:<br/> <math display="block">\pm \left[ 0.15 + 0.15 \left( \frac{500 \text{ psi}}{\text{span psi}} \right) \right]</math> or <math display="block">\pm \left[ 0.15 + 0.15 \left( \frac{35 \text{ bar}}{\text{span bar}} \right) \right]</math> in % of span</p>   |
| Stability   | ±0.03% of URL per year   |

\* Performance specifications are based on reference conditions of 25°C (77°F), zero (0) static pressure, 10 to 55% RH, and 316L Stainless Steel barrier diaphragm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Performance Under Rated Conditions - General for all Models**

| Parameter                               | Description   |
|---|---|
| Output (two-wire)                       | Analog 4 to 20 mA or DE digital communications mode. Options available for FOUNDATION™ Fieldbus and HART® protocol.   |
| Supply Voltage Effect                   | 0.005% span per volt.   |
| Damping Time Constant                   | Adjustable from 0 to 32 seconds digital damping.  |
| CE Conformity (Europe)                  | 89/336/EEC, Electromagnetic Compatibility (EMC) Directive.  |
| NAMUR NE 43 Compliance Option           | Transmitter failure information is generated when the measuring information is invalid or no longer present. Failure information is transmitted as a current signal but outside the normal 4-20 mA measurement signal level. Transmitter failure values are: $\leq 3.6$ mA and $\geq 21.0$ mA. The normal signal range is $\geq 3.8$ mA and $\leq 20.5$ mA. |
| SIL 2/3 Compliance                      | SIL certified to IEC 61508 for non-redundant use in SIL 2 related Safety Systems (single use) and for redundant (multiple) use in SIL 3 Safety Systems through TÜV Nord Sys Tec GmbH & Co. KG under the following standards: IEC61508-1: 1998; IEC 61508-2: 2000; IEC61508-3: 1998.   |
| Lightning Protection Option (Code "LP") | Leakage Current: 10 microamps max. @ 42.4 VDC, 93°C<br>Impulse Rating: 10/20 $\mu$ sec.      5,000 Amps (50 strikes)      10,000 Amps (20 strikes)<br>(rise/decay)      10/1,000 $\mu$ sec.      250 Amps (1,000 strikes)      500 Amps (400 strikes)   |

**Physical and Approval Bodies**

| Parameter   | Description   |
|---|---|
| Barrier Diaphragms Material<br>STD924, STD930, STD974 | 316L SS, Hastelloy® C-276 <sup>2</sup> , Monel® 400 <sup>3</sup> , Tantalum, Gold plated 316LSS, Gold plated Hastelloy® C-276 <sup>2</sup> , Gold plated Monel®400 <sup>3</sup>   |
| Process Head Material<br>STD924, STD930, STD974       | 316 SS <sup>4</sup> , Carbon Steel (zinc-plated) <sup>5</sup> , Monel®400 <sup>7</sup> , Hastelloy® C-276 <sup>6</sup>  |
| Head Gaskets  | Glass filled PTFE standard. Viton® and graphite optional.   |
| Meter Body Bolting                                    | Carbon Steel (Zinc plated) <sup>5</sup> standard. Options include 316 SS, NACE A286 SS bolts with NACE 304 SS nuts, and B7M.  |
| Optional Adapter Flange and Bolts                     | Adapter Flange materials include 316 SS <sup>4</sup> , Hastelloy® C-276 <sup>6</sup> and Monel®400 <sup>7</sup> . Options for bolting include carbon steel, 316SS <sup>4</sup> , NACE A286SS and B7M. Standard adapter flange gasket material is glass filled PTFE. Viton® and graphite optional. |
| Mounting Bracket                                      | Carbon Steel (Zinc-plated) or Stainless Steel angle bracket or Carbon Steel flat bracket available (standard options).  |
| Fill Fluid  | Silicone DC® 200 oil or CTFE (Chlorotrifluoroethylene)  |
| Electronic Housing                                    | Epoxy-Polyester hybrid paint. Low Copper-Aluminum. Meets NEMA 4X (watertight) and NEMA 7 (explosionproof). Stainless steel optional.  |
| Process Connections                                   | 1/4-inch NPT; 1/2-inch NPT with adapter. Process heads meet DIN 19,213 requirements.  |
| Wiring  | Accepts up to 16 AWG (1.5 mm diameter).   |
| Mounting  | Can be mounted in virtually any position using the standard mounting bracket. Bracket is designed to mount on 2-inch (50 mm) vertical or horizontal pipe. See Figure 3.   |
| Dimensions  | See Figure 4.   |
| Net Weight  | Approximately 9 pounds (4.1 Kg).  |

<sup>2</sup> Hastelloy® C-276 or UNS N10276<sup>3</sup> Monel® 400 or UNS N04400<sup>4</sup> Supplied as 316 SS or as Grade CF8M, the casting equivalent of 316 SS.<sup>5</sup> Carbon Steel heads are zinc-plated and not recommended for water service due to hydrogen migration. For that service, use 316 stainless steel wetted Process Heads.<sup>6</sup> Hastelloy® C-276 or UNS N10276. Supplied as indicated or as Grade CW12MW, the casting equivalent of Hastelloy® C-276<sup>7</sup> Monel® 400 or UNS N04400. Supplied as indicated or as Grade M30C, the casting equivalent of Monel® 400

**Note:** Pressure transmitters that are part of safety equipment for the protection of piping (systems) or vessel(s) from exceeding allowable pressure limits, (equipment with safety functions in accordance with Pressure Equipment Directive 97/23/EC article 1, 2.1.3), require separate examination

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Certifications

|                            | Type of Protection   | Comm. Option                     | Field Parameters   | Temp. Codes                  |
|----------------------------|--|----------------------------------|--|------------------------------|
| FM Approvals <sup>SM</sup> | <b>Explosionproof:</b><br>Class I, Division 1, Groups A, B, C, D locations<br><b>Dust Ignition Proof:</b><br>Class II, III, Division 1, Groups E, F, G locations,<br>Enclosure Type 4X                                 | All                              | All  | T5 Ta = 93°C                 |
|                            | <b>Intrinsically Safe:</b><br><br>Class I, II, III, Division 1, Groups A, B, C, D, E, F, G locations, Enclosure Type 4X  | 4-20 mA / DE                     | Vmax = 42.4V<br>Imax = 225mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W  | T4 Ta = 93°C                 |
|                            |  | 4-20 mA /                        | Vmax = 30V<br>Imax = 225mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W    | T4 Ta = 93°C                 |
|                            | <b>Intrinsically Safe:</b><br><br>Class I, II, III, Division 1, Groups A, B, C, D, E, F, G locations;<br><br>Class 1, Zone 0, AEx ia Group IIC,<br>Enclosure Type 4X / IP 66/67  | Fieldbus – Entity<br>(Not FISCO) | Vmax = 32V<br>Imax = 120mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = 0<br>Pi = 0.84W   | T4 Ta = 40°C<br>T3 Ta = 93°C |
|                            |  | Fieldbus – Entity<br>(Not FISCO) | Vmax = 24V<br>Imax = 250mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = 0<br>Pi = 1.2W    | T4 Ta = 40°C<br>T3 Ta = 93°C |
|                            |  | FISCO                            | Vmax = 17.5V<br>Imax = 380mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = 0<br>Pi = 5.32W | T4 Ta = 40°C<br>T3 Ta = 93°C |
|                            | <b>Nonincendive:</b><br><br>Class I, Division 2, Groups A, B, C, D locations, Enclosure Type 4X  | 4-20 mA / DE                     | Vmax = 42.4V<br>Imax = 225mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W  | T4 Ta = 93°C                 |
|                            |  | 4-20 mA / HART                   | Vmax = 30V<br>Imax = 225mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W    | T4 Ta = 93°C                 |
|                            | <b>Nonincendive:</b><br><br>Class I, Division 2, Groups A, B, C, D;<br><br>Suitable for:<br>Class II, Division 2, Groups F&G;<br>Class III, Division 2;<br>Class I, Zone 2, Group IIC,<br>Enclosure Type 4X / IP 66/67 | Fieldbus – Entity<br>(Not FNICO) | Vmax = 32V<br>Imax = 120mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = 0<br>Pi = 0.84W   | T4 Ta = 40°C<br>T3 Ta = 93°C |
|                            |  | Fieldbus – Entity<br>(Not FNICO) | Vmax = 24V<br>Imax = 250mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = 0<br>Pi = 1.2W    | T4 Ta = 40°C<br>T3 Ta = 93°C |
|                            |  | FNICO                            | Vmax = 32V<br>Ci = 4.2nF<br>Li = 0                                 | T4 Ta = 40°C<br>T3 Ta = 93°C |

\*Li = 0 except Li = 150µH when Option ME, Analog Meter, is selected.

FM Approvals<sup>SM</sup> is a service mark of FM Global

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|                                      | Type of Protection  | Comm. Option   | Field Parameters  | Temp. Codes                  |  |
|--------------------------------------|---|--|---|------------------------------|--|
| Canadian Standards Association (CSA) | <b>Explosion Proof:</b> Class I, Division 1, Groups B, C, D locations<br><b>Dust Ignition Proof:</b> Class II, III, Division 1, Groups E, F, G locations, Enclosure Type 4X | All  | All   | T4 Ta = 93°C                 |  |
|                                      | <b>Intrinsically Safe:</b><br>Class I, II, III, Division 1, Groups A, B, C, D, E, F, G locations, Enclosure Type 4X   | 4-20 mA / DE   | Vmax = 42V<br>Imax = 225mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W   | T4 Ta = 93°C                 |  |
|                                      |   | 4-20 mA / HART   | Vmax = 42V<br>Imax = 225mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W   | T4 Ta = 93°C                 |  |
|                                      |   | Fieldbus – Entity (Not FISCO)  | Vmax = 24V<br>Imax = 250mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = 0<br>Pi = 1.2W   | T4 Ta = 40°C<br>T3 Ta = 93°C |  |
|                                      | <b>Nonincendive:</b><br>Class I, Division 2, Groups A, B, C, D locations, Enclosure Type 4X   | 4-20 mA / DE   | Vmax = 42.4V<br>Imax = 225mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W | T4 Ta = 93°C                 |  |
|                                      |   | 4-20 mA / HART   | Vmax = 30V<br>Imax = 225mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W   | T4 Ta = 93°C                 |  |
|                                      |   | Fieldbus – Entity (Not FNICO)  | Vmax = 24V<br>Imax = 250mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = 0<br>Pi = 1.2W   | T4 Ta = 40°C<br>T3 Ta = 93°C |  |
|                                      | <b>Canadian Registration Number (CRN):</b>  | All ST 3000 models except STG19L, STG99L, STG170 and STG180 have been registered in all provinces and territories in Canada and are marked CRN: 0F8914.5C. |   |                              |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|   | Type of Protection  | Comm. Option            | Field Parameters  | Temp. Codes   |
|---|---|-------------------------|---|---|
| <b>IECEX<br/>International<br/>Electrotechnical<br/>Commission<br/>(LCIE)</b> | <b>Flameproof, Zone 1:</b><br>Ex d IIC, Enclosure IP 66/67            | All                     | All   | T5 Ta = -50 to 93°C<br>T6 Ta = -50 to 78°C                        |
|   | <b>Intrinsically Safe, Zone 0/1:</b><br>Ex ia IIC, Enclosure IP 66/67 | 4-20 mA / DE            | Ui = 30V<br>Ii = 100mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W | T4 Ta = -50 to 93°C<br>T5 Ta = -50 to 85°C<br>T6 Ta = -50 to 70°C |
|   |   | 4-20 mA / HART          | Ui = 30V<br>Ii = 100mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W | T4 Ta = -50 to 93°C<br>T5 Ta = -50 to 63°C<br>T6 Ta = -50 to 48°C |
|   |   | Fieldbus<br>(Not FISCO) | Ui = 24V<br>Ii = 250mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = 0<br>Pi = 1.2W | T3 Ta = -50 to 93°C<br>T4 Ta = -50 to 40°C                        |

Li = 0 except Li = 150µH when Option ME, Analog Meter, is selected.

|                                | Type of Protection   | Comm. Option            | Field Parameters  | Temp. Codes   |
|--------------------------------|--|-------------------------|---|---|
| <b>SAEx<br/>(South Africa)</b> | <b>Flameproof, Zone 1:</b><br>Ex d IIC, Enclosure IP 66/67                             | All                     | All   | T5 Ta = -50 to 93°C<br>T6 Ta = -50 to 78°C                        |
|                                | <b>Intrinsically Safe, Zone 0/1:</b><br>Ex ia IIC, Enclosure IP 66/67                  | 4-20 mA / DE            | Ui = 30V<br>Ii = 100mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W | T4 Ta = -50 to 93°C<br>T5 Ta = -50 to 85°C<br>T6 Ta = -50 to 70°C |
|                                |  | 4-20 mA / HART          | Ui = 30V<br>Ii = 100mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W | T4 Ta = -50 to 93°C<br>T5 Ta = -50 to 63°C<br>T6 Ta = -50 to 48°C |
|                                |  | Fieldbus<br>(Not FISCO) | Ui = 24V<br>Ii = 250mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = 0<br>Pi = 1.2W | T3 Ta = -50 to 93°C<br>T4 Ta = -50 to 40°C                        |
|                                | <b>Multiple Marking:</b><br><b>Flameproof, Zone 1:</b><br>Ex d IIC, Enclosure IP 66/67 | 4-20 mA / DE            | Ui = 30V<br>Ii = 100mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W | T4 Ta = -50 to 93°C<br>T5 Ta = -50 to 85°C<br>T6 Ta = -50 to 70°C |
|                                | <b>Intrinsically Safe, Zone 0/1:</b><br>Ex ia IIC, Enclosure IP 66/67                  | 4-20 mA / HART          | Ui = 30V<br>Ii = 100mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W | T4 Ta = -50 to 93°C<br>T5 Ta = -50 to 63°C<br>T6 Ta = -50 to 48°C |
|                                |  | Fieldbus<br>(Not FISCO) | Ui = 24V<br>Ii = 250mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = 0<br>Pi = 1.2W | T3 Ta = -50 to 93°C<br>T4 Ta = -50 to 40°C                        |

\* Li = 0 except Li = 150µH when Option ME, Analog Meter, is selected.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|  | Type of Protection   | Comm. Option  | Field Parameters  | Temp. Codes   |
|--|--|---|---|---|
| <b>ATEX<br/>(LCIE)</b>   | <b>Flameproof, Zone 0:</b><br>⊕ II 1 D, Ex tD<br>Enclosure IP 66/67  | All   | All   | A20 IP6X T95°C Ta = 93°C<br>or T80°C Ta = 78°C  |
|  | <b>Flameproof, Zone 1:</b><br>⊕ II 2 GD, Ex d IIC, Ex tD<br>Enclosure IP 66/67   | All   | All   | T5 Ta = -50 to +93°C<br>T6 Ta = -50 to +78°C,<br>A21 IP6X T95°C Ta = 93°C<br>or T80°C Ta = 78°C |
|  | <b>Intrinsically Safe, Zone 0/1:</b><br>⊕ II 1 G, Ex ia IIC,<br>Enclosure IP 66/67   | 4-20 mA / DE  | Ui = 30V<br>Ii = 100mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W | T4 Ta = -50 to 93°C<br>T5 Ta = -50 to 85°C<br>T6 Ta = -50 to 70°C                               |
|  |  | 4-20 mA / HART  | Ui = 30V<br>Ii = 100mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W | T4 Ta = -50 to 93°C<br>T5 Ta = -50 to 63°C<br>T6 Ta = -50 to 48°C                               |
|  |  | Fieldbus<br>(Not FISCO)                                     | Ui = 24V<br>Ii = 250mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = 0<br>Pi = 1.2W | T3 Ta = -50 to 93°C<br>T4 Ta = -50 to 40°C  |
|  | <b>Non-Sparking, Zone 2:</b><br>⊕ II 3 G, Ex nA IIC (Honeywell),<br>Enclosure IP 66/67   | 4-20 mA / DE  | Ui = 30V<br>Ii = 100mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W | T4 Ta = -50 to 93°C<br>T5 Ta = -50 to 85°C<br>T6 Ta = -50 to 70°C                               |
|  |  | 4-20 mA / HART  | Ui = 30V<br>Ii = 100mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W | T4 Ta = -50 to 93°C<br>T5 Ta = -50 to 63°C<br>T6 Ta = -50 to 48°C                               |
|  |  | Fieldbus<br>(Not FNICO)                                     | Ui = 24V<br>Ii = 250mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = 0<br>Pi = 1.2W | T3 Ta = -50 to 93°C<br>T4 Ta = -50 to 40°C  |
|  | <b>Multiple Marking:</b><br><b>Flameproof, Zone 1:</b><br>⊕ II 2 G, Ex d IIC<br><b>Intrinsically Safe, Zone 0/1:</b><br>⊕ II 1 G, Ex ia IIC<br><b>Non-Sparking, Zone 2:</b><br>⊕ II 3 G, Ex nA IIC | 4-20 mA / DE  | Ui = 30V<br>Ii = 100mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W | T4 Ta = -50 to 93°C<br>T5 Ta = -50 to 85°C<br>T6 Ta = -50 to 70°C                               |
|  |  | 4-20 mA / HART  | Ui = 30V<br>Ii = 100mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W | T4 Ta = -50 to 93°C<br>T5 Ta = -50 to 63°C<br>T6 Ta = -50 to 48°C                               |
| Fieldbus<br>(Not FISCO/FNICO)  |  | Ui = 24V<br>Ii = 250mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = 0<br>Pi = 1.2W | T3 Ta = -50 to 93°C<br>T4 Ta = -50 to 40°C                  |   |
| <b>NOTE:</b> The user must determine the type of protection required for installation of the equipment. The user shall then check the box [ √ ] adjacent to the type of protection used on the equipment certification nameplate. Once a type of protection has been checked on the nameplate, subsequently the equipment shall not be reinstalled using any of the other certification types. |  |   |   |   |

\* Li = 0 except Li = 150µH when Option ME, Analog Meter, is selected.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|   | Type of Protection   | Comm. Option            | Field Parameters  | Temp. Codes   |
|---|--|-------------------------|---|---|
| <b>INMETRO<br/>(CERTUSP)<br/>Brazil</b> | <b>Flameproof, Zone 1:</b><br>BR-Ex d IIC<br>Enclosure IP 66/67            | All                     | All   | T5 Ta = -50 to 93°C<br>T6 Ta = -50 to 78°C                        |
|   | <b>Intrinsically Safe, Zone 0/1:</b><br>BR-Ex ia IIC<br>Enclosure IP 66/67 | 4-20 mA / DE            | Ui = 30V<br>Ii = 100mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W | T4 Ta = -50 to 93°C<br>T5 Ta = -50 to 85°C<br>T6 Ta = -50 to 70°C |
|   |  | 4-20 mA / HART          | Ui = 30V<br>Ii = 100mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = *<br>Pi = 1.2W | T4 Ta = -50 to 93°C<br>T5 Ta = -50 to 63°C<br>T6 Ta = -50 to 48°C |
|   |  | Fieldbus<br>(Not FISCO) | Ui = 24V<br>Ii = 250mA<br>Ci = 4.2nF<br>Li = 0<br>Pi = 1.2W | T3 Ta = -50 to 93°C<br>T4 Ta = -50 to 40°C                        |

\* Li = 0 except Li = 150µH when Option ME, Analog Meter, is selected.

|  |   |
|--|---|
| <b>ST 3000 Pressure<br/>Transmitter Marine<br/>Certificate<br/>(MT Option)</b> | This certificate defines the certifications covered for the ST 3000 Pressure Transmitter family of products, including the SMV 3000 Smart Multivariable Transmitter. It represents the compilation of the five certificates Honeywell currently has covering the certification of these products into marine applications.<br>For ST 3000 Smart Pressure Transmitter and SMV 3000 Smart Multivariable Transmitter |
|  | <b>American Bureau of Shipping (ABS)</b> - 2009 Steel Vessel Rules 1-1-4/3.7, 4-6-2/5.15, 4-8-3/13 & 13.5, 4-8-4/27.5.1, 4-9-7/13. Certificate number: 04-HS417416-PDA  |
|  | <b>Bureau Veritas (BV)</b> - Product Code: 389:1H. Certificate number: 12660/B0 BV  |
|  | <b>Det Norske Veritas (DNV)</b> - Location Classes: Temperature D, Humidity B, Vibration A, EMC B, Enclosure C. For salt spray exposure; enclosure of 316 SST or 2-part epoxy protection with 316 SST bolts to be applied. Certificate number: A-11476  |
|  | <b>Korean Register of Shipping (KR)</b> - Certificate number: LOX17743-AE001  |
|  | <b>Lloyd's Register (LR)</b> - Certificate number: 02/60001(E1) & (E2)  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

|  |  |
|--|--|
| <p><b>European Pressure Equipment Directive (PED) (97/23/EC)</b></p> | <p>The ST 3000 Smart Pressure Transmitters are in conformity with the essential requirements of the Pressure Equipment Directive.</p> <p>Honeywell ST 3000 Smart Pressure Transmitters are designed and manufactured in accordance with the applicable portions of Annex I, Essential Safety Requirements, and sound engineering practices. These transmitters have no pressurized internal volume, or have a pressurized internal volume rated less than 200 bar (2,900 psig), and/or have a maximum volume of less than 0.1 liter (Article 3, 1.1.(a) first indent, Group 1 fluids). Therefore, these transmitters are not subject to the essential requirements of the directive 97/23/EC (PED, Annex I) and shall not have the CE mark applied.</p> <p>For transmitters rated &gt; 200 bar (2,900 psig) &lt; 1,000 bar (14,500 psig) Honeywell maintains a technical file in accordance with Annex III, Module A, (internal production control) when the CE mark is required. Transmitter Attachments: Diaphragm Seals, Process Flanges and Manifolds comply with Sound Engineering Practice.</p> <p><b>NOTE:</b> Pressure transmitters that are part of safety equipment for the protection of piping (systems) or vessel(s) from exceeding allowable pressure limits, (equipment with safety functions in accordance with Pressure Equipment Directive 97/23/EC article 1, 2.1.3), require separate examination.</p> <p>A formal statement from TÜV Industry Service Group of TÜV America, Inc., a division of TÜV SÜDDEUTSCHLAND, a Notified Body regarding the Pressure Equipment Directive, can be found at <a href="http://www.honeywell.com">www.honeywell.com</a>. A hard copy may be obtained by contacting a Honeywell representative.</p> |
| <p><b>CE Mark</b></p>  | <p><b>Electro Magnetic Compatibility (EMC) (2004/108/EC)</b><br/>All Models: EN 50081-1: 1992; EN 50082-2:1995; EN 61326-1:1997 + A1, A2, and A3 – Industrial Locations</p>  |
| <p><b>Dual Seal Certification</b></p>                                | <p>Dual Seal Certification based on ANSI/NFPA 70-202 and ANSI/ISA 12.27.01 requirements without the use of additional seal protection elements.</p>  |
| <p><b>Recommended Frequency of Calibration</b></p>                   | <p>Honeywell recommends verifying the calibration of these devices once every four years.</p>  |
| <p><b>Approved Manufacturing Locations</b></p>                       | <p>Honeywell Process Solutions - York, PA USA<br/>Honeywell (Tianjin) Limited – Tianjin, P.R. China<br/>Honeywell Automation India Ltd. – Pune 411013 India</p>  |

Foundation™ Fieldbus is a trademark of the Fieldbus Foundation.

HART® is a registered trademark of HART Communications Foundation.

Hastelloy® C-276 is a registered trademark of Haynes International.

Monel® 400 is a registered trademark of Special Metals Corporation.

ST 3000® and Experion® are registered trademarks of Honeywell International Inc.

Viton® is a registered trademark of DuPont

Teflon® is a registered trademark of DuPont.

DC® 200 is a registered trademark of Dow Corning.

FM Approvals<sup>SM</sup> is a service mark of FM Global

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mounting

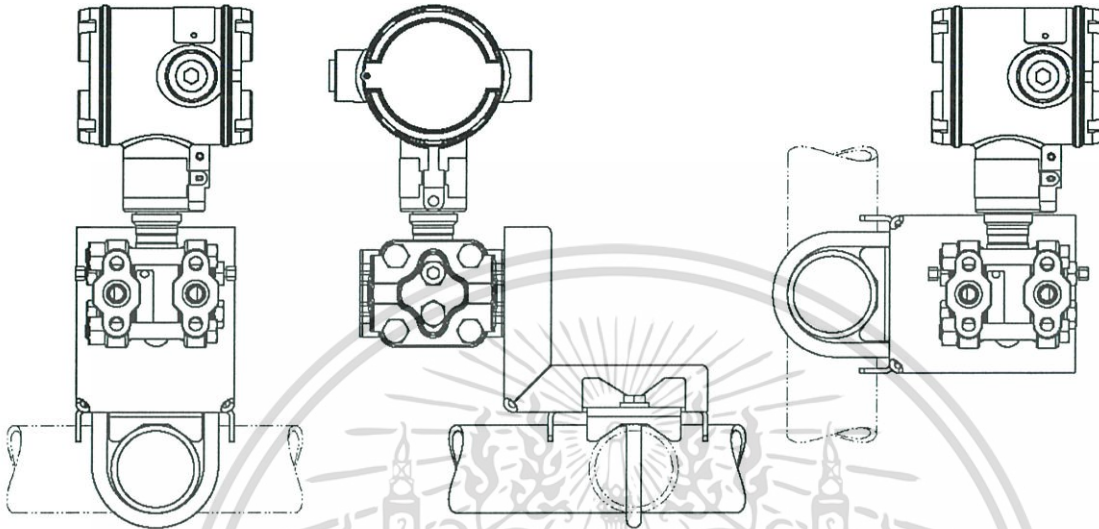


Figure 3 – Examples of typical mounting positions for Models STD924, STD930 and STD974

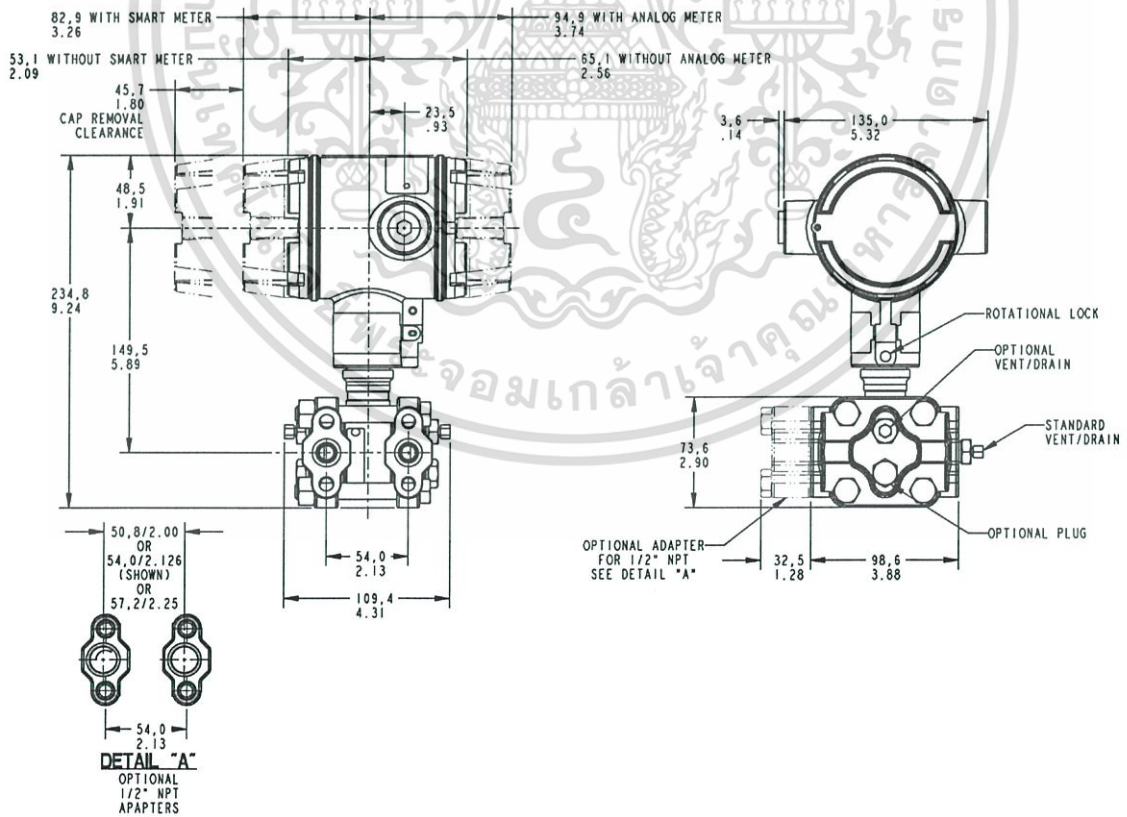


Figure 4 – Typical mounting dimensions of STD924, STD930 and STD974 for reference

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

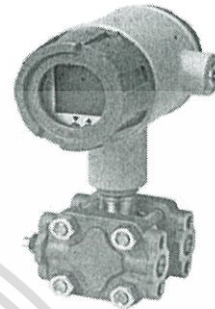
## Options

- **Mounting Bracket (Options MB, MX, SB, SX, FB)**  
The angle mounting bracket is available in either zinc-plated carbon steel or stainless steel and is suitable for horizontal or vertical mounting on a two inch (50 millimeter) pipe, as well as wall mounting. An optional flat mounting bracket is also available in carbon steel for two inch (50 millimeter) pipe mounting.
- **Indicating Meter (Options ME and SM)**  
Two integral meter options are available. An analog meter (option ME) is available with a 0 to 100% linear scale. The Smart Meter (option SM) provides an LCD display for both analog and digital output and can be configured to display pressure in pre-selected engineering units.
- **Lightning Protection (Option LP)**  
A terminal block is available with circuitry that protects the transmitter from transient surges induced by nearby lightning strikes.
- **HART® Protocol Compatibility (Options HC and H6)**  
Optional electronics modules for the ST 3000 that provides HART protocol compatibility in either the HART 5.x or 6.x formats. Transmitters with a HART option are compatible with any HART enabled system that provides either 5.x or 6.x format support.
- **FOUNDATION Fieldbus (Option FF)**  
Equips transmitter with FF protocol for use in 31.25 kbit/s FF networks. See document 34-ST-03-72 for additional information on ST 3000 Fieldbus transmitters.
- **SIL2/SIL3 Certification (Option SL)**  
This ST 3000 product is available for use with safety systems. With the SL option, we are fully certified to SIL 2 capability for single transmitters and SIL 3 capability for multiple transmitter use through TÜV Nord Sys Tec GmbH & Co. KG. We are in compliance with the following SIL standards:  
IEC 61508-1: 1998;  
IEC 61508-2: 2000;  
IEC 61508-3: 1998.
- **NAMUR NE43 Compliance (Option NE)**  
This option provides software that meets the NAMUR NE43 requirements for failsafe software. Transmitter failure information is generated when the measuring information is no longer valid.  
Transmitter failure values are  $\leq 3.6$  mA and  $\geq 21.0$  mA. The normal ST 3000 ranges are  $\leq 3.8$  mA and  $\geq 20.8$  mA.
- **Indicator Configuration (Option CI)**  
Provides custom configuration of Smart Meters
- **Stainless Steel Tagging (Option TG)**  
Up to 30 characters can be added on the stainless steel nameplate mounted on the transmitter's electronics housing at no extra cost. A stainless steel wired on tag with additional data of up to 4 lines of 28 characters is also available. The number of characters for tagging includes spaces.
- **Transmitter Configuration (Options TC and FC)**  
With Option TC, the factory can configure the analog, DE or HART® transmitter's linear/square root extraction, damping time, LRV, URV and mode (analog/digital) and enter an ID tag of up to eight characters and scratchpad information as specified.  
With Option FC, the Device ID, Transmitter Tag, Unit Level Node Address, Output Mode and Damping Time Constants can be specified.
- **Custom Calibration and ID in Memory (Option CC)**  
The factory can calibrate any range within the scope of the transmitter's range and enter an ID tag of up to eight characters in the transmitter's memory.

Model Selection Guides are subject to change and are inserted into the specifications as guidance only. Prior to specifying or ordering a model check for the latest revision Model Selection Guides which are published at: <http://hpsweb.honeywell.com/Cultures/en-US/Products/Instrumentation/ProductModelSelectionGuides/default.htm>

Model Selection Guide

# ST 3000 Smart Transmitter Differential Pressure (DP) Series 900 Model Selection Guide



34-ST-16U-24  
Issue 55  
Page 1 of 5

**Instructions**

- Select the desired Key Number. The arrow to the right marks the selection available.
- Make one selection from each Table (I, II and IV), using the column below the proper arrow.
- Select as many Table III options as desired plus a communications option selection.
- A (•) denotes unrestricted availability. A letter denotes restricted availability.
- Restrictions follow Table IV.



**KEY NUMBER**

| Span   | Selection | Availability |
|--|-----------|--------------|
| 0-4" to 0-400" H <sub>2</sub> O / 0-10 to 0-1,000 mbar<br>Body Rating: 4,500 psi (310 bar) | STD924    | ↓            |
| 0-1 to 0-100 psi / 0-0.07 to 0-7 bar<br>Body Rating: 4,500 psi (310 bar)                   | STD930    | ↓            |
| 0-30 to 0-3,000 psi / 0-2.1 to 0-210 bar<br>Body Rating: 4,500 psi (310 bar)               | STD974    | ↓            |

**Important Note:** Base STD models no longer include a default communications option. All units now **require** the selection of a communication option from Table III (AN, DE, HC, H6 or FF).

TABLE I - METER BODY

|                            | Process Wetted Heads                    | Vent/Drain Valves and Plugs <sup>2</sup>  | Barrier Diaphragms                        | Selection |    |    |    |
|----------------------------|---|---|---|-----------|----|----|----|
| Materials of Construction  | Carbon Steel <sup>1</sup>               | 316 SS                                    | 316L SS                                   | A         | •  | •  | •  |
|                            | Carbon Steel <sup>1</sup>               | 316 SS                                    | Hastelloy <sup>®</sup> C-276 <sup>3</sup> | B         | •  | •  | •  |
|                            | Carbon Steel <sup>1</sup>               | 316 SS                                    | Monel 400 <sup>®4</sup>                   | C         | 19 | 19 | 19 |
|                            | Carbon Steel <sup>1</sup>               | 316 SS                                    | Tantalum                                  | D         | •  | •  | •  |
|                            | 316 SS <sup>5</sup>                     | 316 SS                                    | 316L SS                                   | E         | •  | •  | •  |
|                            | 316 SS <sup>5</sup>                     | 316 SS                                    | Hastelloy <sup>®</sup> C-276 <sup>3</sup> | F         | •  | •  | •  |
|                            | 316 SS <sup>5</sup>                     | 316 SS                                    | Monel 400 <sup>®4</sup>                   | G         | 19 | 19 | 19 |
|                            | 316 SS <sup>5</sup>                     | 316 SS                                    | Tantalum                                  | H         | •  | •  | •  |
|                            | Hastelloy <sup>®</sup> C <sup>3,6</sup> | Hastelloy <sup>®</sup> C-276 <sup>3</sup> | Hastelloy <sup>®</sup> C-276 <sup>3</sup> | J         | •  | •  | •  |
|                            | Hastelloy <sup>®</sup> C <sup>3,6</sup> | Hastelloy <sup>®</sup> C-276 <sup>3</sup> | Tantalum                                  | K         | •  | •  | •  |
| Monel 400 <sup>®4,7</sup>  | Monel 400 <sup>®9</sup>                 | Monel 400 <sup>®4</sup>                   | L   | 19        | 19 | 19 |    |
| Fill Fluid                 | DC <sup>®</sup> 200 Silicone            |   |   | 1         | •  | •  | •  |
|                            | CTFE                                    |   |   | 2         | •  | •  | •  |
| Process Head Configuration | 1/4 NPT                                 |   |   | A         | •  | •  | •  |
|                            | 1/2 NPT with Adapter (on 1/4 NPT Head)  |   |   | H         | t  | t  | t  |

TABLE II

|              | Selection |   |   |   |
|--------------|-----------|---|---|---|
| No Selection | 0 0 0 0   | • | • | • |

<sup>1</sup> Carbon Steel heads are zinc-plated and not recommended for water service due to hydrogen migration. For that service, use 316 stainless steel wetted Process Heads.

<sup>2</sup> Vent/Drains are sealed with Teflon<sup>®</sup> or PTFE.

<sup>3</sup> Hastelloy<sup>®</sup> C-276 or UNS N10276

<sup>4</sup> Monel 400<sup>®</sup> or UNS N04400

<sup>5</sup> Supplied as 316 SS or as Grade CF8M the casting equivalent of 316 SS

<sup>6</sup> Supplied as indicated or as Grade CW12MW the casting equivalent of Hastelloy<sup>®</sup> C-276

<sup>7</sup> Supplied as indicated or as Grade M30C the casting equivalent of Monel 400<sup>®</sup>

<sup>9</sup> Monel 400<sup>®</sup> or UNS N04400 or UNS N04405

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

34-ST-16U-24  
Issue 55  
Page 2 of 5

Availability  
STD9xx      ↓      ↓      ↓  
Selection    24    30    74

TABLE III - OPTIONS

|  | Selection | 24 | 30 | 74 |   |
|--|-----------|----|----|----|---|
| <b>Communication Options (Must choose a communications option)</b>   |           |    |    |    |   |
| Analog only (can be configured using appropriate Honeywell DE tool)  | AN        | •  | •  | •  | b |
| DE Protocol communications   | DE        | •  | •  | •  |   |
| HART® 6.x Protocol Compatible Electronics  | H6        | •  | •  | •  |   |
| FOUNDATION™ Fieldbus Communications  | FF        | r  | r  | r  |   |
| <b>Indicating Meter Options</b>  |           |    |    |    |   |
| Analog Meter (0-100 Even 0-10 Square Root)   | ME        | •  | •  | •  | b |
| Smart Meter  | SM        | •  | •  | •  |   |
| Custom Configuration of Smart Meter  | CI        | e  | e  | e  | b |
| Local Zero   | LZ        | x  | x  | x  |   |
| Local Zero and Span  | ZS        | m  | m  | m  |   |
| <b>Transmitter Housing &amp; Electronics Options</b>   |           |    |    |    |   |
| No housing conduit plugs or adaptors come standard with the ST 3000.<br>For certain approval codes, you <b>must</b> select a certified conduit plug from below and it will come packaged in the box with your transmitter. |           |    |    |    |   |
| 316 SS <sup>5</sup> Electronics Housing - (with M20 conduit connections)   | SH        | n  | n  | n  | b |
| 316 SS <sup>5</sup> Electronics Housing - (with M20 to 1/2 NPT 316 SS conduit adaptor for use with FM and CSA Approval codes)  | A3        | i  | i  | i  |   |
| 1/2 NPT Male to M20 Female 316 SS Certified Conduit Adaptor (ATEX, CSA & IECEx)  | A1        | •  | •  | •  | b |
| 1/2 NPT Male to 3/4 NPT Female 316 SS Certified Conduit Adaptor (ATEX, CSA & IECEx)  | A2        | •  | •  | •  |   |
| M20 Male to 1/2 NPT Female 316 SS Certified Conduit Adaptor (ATEX, CSA & IECEx)  | A4        | •  | •  | •  | b |
| 1/2 NPT Zinc-plated Certified Conduit Plug (ATEX, CSA & IECEx)   | A5        | •  | •  | •  |   |
| 1/2 NPT 316 SS Certified Conduit Plug (ATEX, CSA & IECEx)  | A6        | •  | •  | •  | b |
| M20 316 SS Certified Conduit Plug (ATEX, CSA & IECEx)  | A7        | •  | •  | •  |   |
| 1/2 NPT Non-certified Conduit plug (Zinc-plated carbon steel, general use)   | A8        | •  | •  | •  | b |
| NAMUR Failsafe Software  | NE        | 15 | 15 | 15 |   |
| SIL 2 - TÜV Certified transmitter (requires HC/H6 and WP options)  | SL        | p  | p  | p  | b |
| Lightning Protection   | LP        | •  | •  | •  |   |
| Custom Calibration and I.D. in Memory  | CC        | •  | •  | •  | b |
| Transmitter Configuration - (non-Fieldbus)   | TC        | 15 | 15 | 15 |   |
| Transmitter Configuration - (Fieldbus)   | FC        | 21 | 21 | 21 | b |
| Write Protection (Delivered in the "enabled" position)   | WP        | •  | •  | •  |   |
| Write Protection (Delivered in the "disabled" position)  | WX        | •  | •  | •  | b |
| Stainless Steel Customer Wired-On Tag (4 lines, 26 characters per line, customer supplied information)   | TG        | •  | •  | •  |   |
| Stainless Steel Customer Wired-On Tag (blank)  | TB        | •  | •  | •  | b |
| Low Temperature (-50° C Ambient Limit)   | LT        | 18 |    |    |   |
| <b>Meter Body Options (Seal bolt material depends on Transmitter bolt material)</b>  |           |    |    |    |   |
| 316 SS Bolts and 316 SS Nuts for Process Heads   | SS        | •  | •  | •  | b |
| B7M Bolts and Nuts for Process Heads   | B7        | •  | •  | •  |   |
| NACE A286 SS Bolts and NACE 304 SS Nuts for Process Heads  | CR        | •  | •  | •  | b |
| 316 SS <sup>5</sup> Adapter Flange - 1/2 NPT with CS Bolts   | S2        | c  | c  | c  |   |
| 316 SS <sup>5</sup> Adapter Flange - 1/2 NPT with 316 SS Bolts   | S3        | c  | c  | c  | b |
| 316 SS <sup>5</sup> Adapter Flange - 1/2 NPT with NACE A286 SS Bolts   | S4        | c  | c  | c  |   |
| 316 SS <sup>5</sup> Adapter Flange - 1/2 NPT with B7M Bolts  | S5        | c  | c  | c  | b |
| Hastelloy® C-276 <sup>3,6</sup> Adapter Flange - 1/2 NPT with CS Bolts   | T2        | c  | c  | c  |   |
| Hastelloy® C-276 <sup>3,6</sup> Adapter Flange - 1/2 NPT with 316 SS Bolts   | T3        | c  | c  | c  | b |
| Monel 400 <sup>4,7</sup> Adapter Flange - 1/2 NPT with CS Bolts  | V2        | c  | c  | c  |   |
| Monel 400 <sup>4,7</sup> Adapter Flange - 1/2 NPT with 316 SS Bolts  | V3        | c  | c  | c  | b |
| 316 SS <sup>5</sup> Blind Adapter Flange with CS Bolts   | B3        | •  | •  | •  |   |
| 316 SS <sup>5</sup> Blind Adapter Flange with 316 SS Bolts   | B4        | •  | •  | •  | b |
| 316 SS <sup>5</sup> Blind Adapter Flange with NACE A286 SS Bolts   | B5        | •  | •  | •  |   |
| 316 SS <sup>5</sup> Blind Adapter Flange with B7M Bolts  | B6        | •  | •  | •  | b |
| Side Vent/Drain (End Vent Drain is standard)   | SV        | •  | •  | •  |   |
| 316 SS Center Vent Drain and Bushing   | CV        | •  | •  | •  | b |
| Viton® <sup>8</sup> Process Head Gaskets (adapter gaskets ordered separately)  | VT        | •  | •  | •  |   |
| Graphite Process Head & Adapter Flange Gaskets   | GF        | •  | •  | •  | b |
| Viton® <sup>8</sup> Adapter Flange Gaskets   | VF        | 17 | 17 | 17 |   |

<sup>3</sup> Hastelloy® C-276 or UNS N10276

<sup>4</sup> Monel 400® or UNS N04400

<sup>5</sup> Supplied as 316 SS or as Grade CF8M the castino equivalent of 316 SS

<sup>6</sup> Supplied as indicated or as Grade CW12MW the castino equivalent of Hastelloy® C-276

<sup>7</sup> Supplied as indicated or as Grade M30C. the castino equivalent of Monel 400®

<sup>8</sup> Viton® or Fluorocarbon Elastomer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

34-ST-16U-24  
Issue 55  
Page 3 of 5

| TABLE III - OPTIONS (continued)   | STD9xx<br>Selection | Availability |    |    |   |
|---|---------------------|--------------|----|----|---|
|   |                     | 24           | 30 | 74 |   |
| <b>Transmitter Mounting Bracket Options</b>   |                     |              |    |    |   |
| Angle Mounting Bracket - Carbon Steel   | MB                  | •            | •  | •  | b |
| Marine Approved Angle Mounting Bracket - Carbon Steel   | MX                  | •            | •  | •  |   |
| Angle Mounting Bracket - 304 SS   | SB                  | •            | •  | •  |   |
| Marine Approved Angle Mounting Bracket - 304 SS   | SX                  | •            | •  | •  |   |
| Flat Mounting Bracket ( <i>pipe mounting</i> ) - Carbon Steel   | FB                  | •            | •  | •  |   |
| <b>Diaphragm Options</b>  |                     |              |    |    |   |
| Gold plated diaphragm(s) on 316 SS  | G1                  | •            | •  | •  | b |
| Gold plated diaphragm(s) on Monel 400 <sup>4</sup> or Hastelloy <sup>3</sup> C-276 <sup>3</sup> ONI Y | G2                  | •            | •  | •  |   |
| <b>Services/Certificates/Marine Type Approvals Options</b>  |                     |              |    |    |   |
| User's Manual Paper Copy ( <i>Standard, HC, H6 or FF ships accordingly</i> )                          | UM                  | •            | •  | •  | b |
| Clean Transmitter for Oxygen or Chlorine Service with Certificate (50039190)                          | 0X                  | j            | j  | j  |   |
| Over-Pressure Leak Test with Certificate (F3392)  | TP                  | •            | •  | •  |   |
| Calibration Test Report and Certificate of Conformance (F3399)  | F1                  | •            | •  | •  |   |
| Certificate of Conformance (F3391)  | F3                  | •            | •  | •  |   |
| Certificate of Origin (F0195)   | F5                  | •            | •  | •  |   |
| SIL Certificate ( <i>SIL 2/3</i> ) (FC33337)  | FE                  | 22           | 22 | 22 |   |
| NACE Certificate ( <i>Process-Wetted &amp; Non-Process Wetted</i> ) (FC33339)                         | F7                  | o            | o  | o  |   |
| NACE Certificate ( <i>Process-Wetted</i> ) (FC33338)  | FG                  | •            | •  | •  |   |
| Material Traceability Certification per EN 10204 3.1 (FC33341)  | FX                  | •            | •  | •  |   |
| Marine Type Approvals ( <i>DNV, ABS, BV, KR &amp; LR</i> ) (FC33340)                                  | MT                  | 2            | 2  | 2  |   |
| <b>Warranty Options</b>   |                     |              |    |    |   |
| Additional Warranty - 1 year  | W1                  | •            | •  | •  | b |
| Additional Warranty - 2 years   | W2                  | •            | •  | •  |   |
| Additional Warranty - 3 years   | W3                  | •            | •  | •  |   |
| Additional Warranty - 4 years   | W4                  | •            | •  | •  |   |

| Approval Body                        | Approval Type                | Location or Classification  | STD9xx<br>Selection | Availability |    |    |   |   |
|--------------------------------------|------------------------------|---|---------------------|--------------|----|----|---|---|
|                                      |                              |   |                     | 24           | 30 | 74 |   |   |
| No hazardous location approvals      |                              |   |                     | 9X           | •  | •  | • | b |
| FM Approvals <sup>SM</sup>           | Explosion Proof              | Class I, Div. 1, Groups A,B,C,D   | 1C                  | •            | •  | •  |   |   |
|                                      | Dust-Ignitionproof           | Class II, III Div. 1, Groups E,F,G  |                     |              |    |    |   |   |
|                                      | Non-Incendive                | Class I, Div. 2, Groups A,B,C,D   |                     |              |    |    |   |   |
|                                      | Intrinsically Safe           | Class I, II, III, Div. 1, Groups A,B,C,D,E,F,G  |                     |              |    |    |   |   |
| Canadian Standards Association (CSA) | Explosion Proof              | Class I, Div. 1, Groups B,C,D   | 2J                  | 24           | 24 | f  |   |   |
|                                      | Dust-Ignitionproof           | Class II, III, Div. 1, Groups E,F,G   |                     |              |    |    |   |   |
|                                      | Intrinsically Safe           | Class I, II, III, Div. 1, Groups A,B,C,D,E,F,G  |                     |              |    |    |   |   |
| IECEX                                | Flameproof, Zone 1           | Ex d IIC<br>T5 (Ta = -40 to +93°C),<br>T6 (Ta = -40 to +78°C)   | CA                  | 24           | 24 | 24 |   |   |
|                                      | Intrinsically Safe, Zone 0/1 | Ex ia IIC; T3, T4, T5, T6 See Spec for detailed temperature codes by Communications option                  |                     |              |    |    |   |   |
| CERTUSP INMETRO (Brazil)             | Flameproof, Zone 1           | BR- Ex d IIC; T5, T6  | 6D                  | •            | •  | •  |   |   |
|                                      | Intrinsically Safe, Zone 0/1 | BR- Ex ia IIC; T4, T5, T6 (See CERTUSP certificate for detailed temperature codes by Communications option) | 6S                  | •            | •  | •  |   |   |

Table III Approvals continued next page

<sup>3</sup> Hastelloy<sup>®</sup> C-276 or UNS N10276

<sup>4</sup> Monel 400<sup>®</sup> or UNS N04400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

34-ST-16U-24  
Issue 55  
Page 4 of 5  
STD9xx

TABLE III - OPTIONS (continued)

| Approval Body                | Approval Type   | Location or Classification  | Selection | 24 | 30 | 74 |
|------------------------------|---|---|-----------|----|----|----|
| ATEX <sup>10</sup><br>(LCIE) | Intrinsically Safe, Zone 0  | Ex ia IIC<br>T4 (Ta = -50°C to +93°C);<br>T5 (Ta = -50°C to +85°C);<br>T6 (Ta = -50°C to +70°C)<br>Enclosure IP 66/67   | 3S        | •  | •  | •  |
|                              | Intrinsically Safe, Zone 1  | Ex ia IIC<br>T4 (Ta = -50°C to +93°C);<br>T5 (Ta = -50°C to +85°C);<br>T6 (Ta = -50°C to +70°C)<br>Enclosure IP 66/67   |           |    |    |    |
|                              | Dust-tight Enclosure, Zone 0  | Ex td A20 IP6X<br>T95°C (at Ta = 93°C) or<br>T80°C (at Ta = 78°C)<br>Enclosure IP 66/67   |           |    |    |    |
|                              | Flameproof and Dust-tight Enclosure, Zone 1   | Ex d IIC<br>T5 (Ta = -40°C to +93°C),<br>T6 (Ta = -40°C to +78°C)<br>Supply 11- 42Vdc<br>Ex td A21 IP6X<br>T95°C (at Ta = 93°C) or<br>T80°C (at Ta = 78°C)<br>Enclosure IP 66/67  | 33        | 24 | 24 | 24 |
|                              | Non-Sparking, Zone 2  | Ex nA, IIC<br>T5 (Ta = -40°C to +93°C),<br>T6 (Ta = -40°C to +78°C);<br>Zone 2 Supply < 42Vdc, 23mA<br>Ex td A22 IP6X<br>T95°C (at Ta = 93°C) or<br>T80°C (at Ta = 78°C) (Honeywell).<br>Enclosure IP 66/67   | 3N        | •  | •  | •  |
|                              | Multiple Marking <sup>11</sup><br>Int. Safe, Zone 0/1 and Dust-tight Enclosure,<br>or<br>Flameproof, Zone 1 and Dust-tight Enclosure,<br>or<br>Non-Sparking, Zone 2 | Ex ia IIC<br>T4 (Ta = -50°C to +93°C);<br>T5 (Ta = -50°C to +85°C);<br>T6 (Ta = -50°C to +70°C);<br>Ui = 30V; Ii = 100mA<br>Ex td A20 IP6X<br>T95°C (at Ta = 93°C) or<br>T80°C (at Ta = 78°C)<br>Ex d IIC<br>T5 (Ta = -40°C to +93°C),<br>T6 (Ta = -40°C to +78°C)<br>Supply 11- 42Vdc<br>Ex td A21 IP6X<br>T95°C (at Ta = 93°C) or<br>T80°C (at Ta = 78°C)<br>Ex nA, IIC<br>T5 (Ta = -40°C to +93°C),<br>T6 (Ta = -40°C to +78°C);<br>Zone 2 Supply < 42Vdc, 23mA<br>Ex td A22 IP6X<br>T95°C (at Ta = 93°C) or<br>T80°C (at Ta = 78°C) (Honeywell)<br>Enclosure IP 66/67 | 3C        | 24 | 24 | 24 |
| SAEx<br>(South Africa)       | Intrinsically Safe, Zone 0/1  | Ex ia IIC T4, T5, T6  | Z2        | •  | •  | •  |
|                              | Flameproof, Zone 1  | Ex d IIC T5, T6 Enclosure IP 66/67  | ZD        | •  | •  | •  |
|                              | Multiple Marking <sup>11</sup><br>Int. Safe, Zone 0/1, or<br>Flameproof, Zone 1   | Ex ia IIC T4, T5, T6<br>Ex d IIC T5, T6 Enclosure IP 66/67  | ZA        | •  | •  | •  |

<sup>3</sup> Hastellov® C-276 or UNS N10276

<sup>4</sup> Monel 400® or UNS N04400

<sup>10</sup> See ATEX installation requirements in the ST 3000 User's Manual

<sup>11</sup> The user must determine the type of protection required for installation of the equipment. The user shall then check the box [x] adjacent to the type of protection used on the equipment certification nameplate. Once a type of protection has been checked on the nameplate, subsequently the equipment shall not be reinstalled using any of the other certification types.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

34-ST-16U-24  
Issue 55  
Page 5 of 5

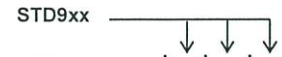


TABLE IV

|                        |         |   |   |   |
|------------------------|---------|---|---|---|
| Factory Identification | X X X X | • | • | • |
|------------------------|---------|---|---|---|

**RESTRICTIONS**

| Restriction Letter | Available Only With |   | Not Available With |   |
|--------------------|---------------------|---|--------------------|---|
|                    | Table               | Selection   | Table              | Selection   |
| <b>b</b>           |                     | Select only one option from this group  |                    |   |
| <b>c</b>           | I                   | __ H  |                    |   |
| <b>e</b>           | III                 | SM  |                    |   |
| <b>f</b>           | III                 | This approval code requires the selection of a certified conduit plug: A5, A6 or A7 | I                  | L __  |
| <b>i</b>           | III                 | 1C or 2J  |                    |   |
| <b>j</b>           | I                   | _ 2 _   |                    |   |
| <b>m</b>           |                     |   | III                | ME, FF  |
| <b>n</b>           |                     |   | III                | 1C, 2J  |
| <b>o</b>           | III                 | CR, S4, B5  |                    |   |
| <b>p</b>           | III                 | HC or H6 and WP   | III                | FF, 00  |
| <b>r</b>           | III                 | FISCO/FNICO compliance available only with 1C                                       | III                | TC, ME or FISCO/FNICO compliance not available with 3C, 3N, 33, 3S, 2J, CA, Z2, ZD, ZA, 6D & 6S |
| <b>t</b>           | III                 | S2, S3, S4, S5, T2, T3, V2, V3  |                    |   |
| <b>x</b>           | III                 | FF, SM  |                    |   |
| <b>2</b>           | III                 | MX, SX  | III                | FB, MB, SB  |
| <b>15</b>          |                     |   | III                | FF  |
| <b>17</b>          | III                 | VT  |                    |   |
| <b>18</b>          | I                   | _ 1 _   |                    |   |
| <b>19</b>          |                     |   | III                | F7, FG  |
| <b>21</b>          | III                 | FF  |                    |   |
| <b>22</b>          | III                 | SL  |                    |   |
| <b>24</b>          | III                 | This approval code requires the selection of a certified conduit plug: A5, A6 or A7 |                    |   |

**Ordering Example: STD924-A1A-00000-HC,WP,1C+XXXX**

Hastelloy® is a registered trademark of Havnes International  
 Monel 400® is a registered trademark of Special Metals Corporation.  
 HART® is a registered trademark of HART Communication Foundation.  
 FOUNDATION™ Fieldbus is a trademark of Fieldbus Foundation.  
 Viton® is a registered trademark of DuPont Performance Elastomers.  
 Teflon® is a registered trademark of DuPont.  
 FM Approvals<sup>SM</sup> is a service mark of FM Global  
 DC® 200 is a registered trademark of Dow Corning

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Sales and Service

For application assistance, current specifications, pricing, or name of the nearest Authorized Distributor, contact one of the offices below.

### ASIA PACIFIC

(TAC) [hfs-tac-support@honeywell.com](mailto:hfs-tac-support@honeywell.com)

#### Australia

Honeywell Limited  
Phone: +(61) 7-3846 1255  
FAX: +(61) 7-3840 6481  
Toll Free 1300-36-39-36  
Toll Free Fax:  
1300-36-04-70

#### China – PRC - Shanghai

Honeywell China Inc.  
Phone: (86-21) 5257-4568  
Fax: (86-21) 6237-2826

#### Singapore

Honeywell Pte Ltd.  
Phone: +(65) 6580 3278  
Fax: +(65) 6445-3033

#### South Korea

Honeywell Korea Co Ltd  
Phone: +(822) 799 6114  
Fax: +(822) 792 9015

### EMEA

Phone: + 80012026455 or +44  
(0)1202645583

FAX: +44 (0) 1344 655554

Email: (Sales) [sc-cp-apps-salespa62@honeywell.com](mailto:sc-cp-apps-salespa62@honeywell.com)  
or

(TAC) [hfs-tac-support@honeywell.com](mailto:hfs-tac-support@honeywell.com)

### NORTH AMERICA

Honeywell Process Solutions,

Phone: 1-800-423-9883

Or 1-800-343-0228

Email: (Sales) [ask-ssc@honeywell.com](mailto:ask-ssc@honeywell.com) or

(TAC) [hfs-tac-support@honeywell.com](mailto:hfs-tac-support@honeywell.com)

### SOUTH AMERICA

Honeywell do Brazil & Cia

Phone: +(55-11) 7266-1900

FAX: +(55-11) 7266-1905

Email: (Sales) [ask-ssc@honeywell.com](mailto:ask-ssc@honeywell.com) or

(TAC) [hfs-tac-support@honeywell.com](mailto:hfs-tac-support@honeywell.com)



*Specifications are subject to change without notice.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



#### For More Information

Learn more about how Honeywell's ST 3000 Smart Pressure Transmitters can increase performance, reduce downtime and decrease configuration costs, visit our website [www.honeywellprocess.com/pressure-transmitters](http://www.honeywellprocess.com/pressure-transmitters) or contact your Honeywell account manager.

# Honeywell

#### Honeywell Process Solutions

1860 West Rose Garden Lane

Phoenix, AZ 85027

Tel: 1-800-423-9883 or 1-800-343-0228

[www.honeywellprocess.com](http://www.honeywellprocess.com)

34-ST-03-65

January 2013

© 2013 Honeywell International Inc.

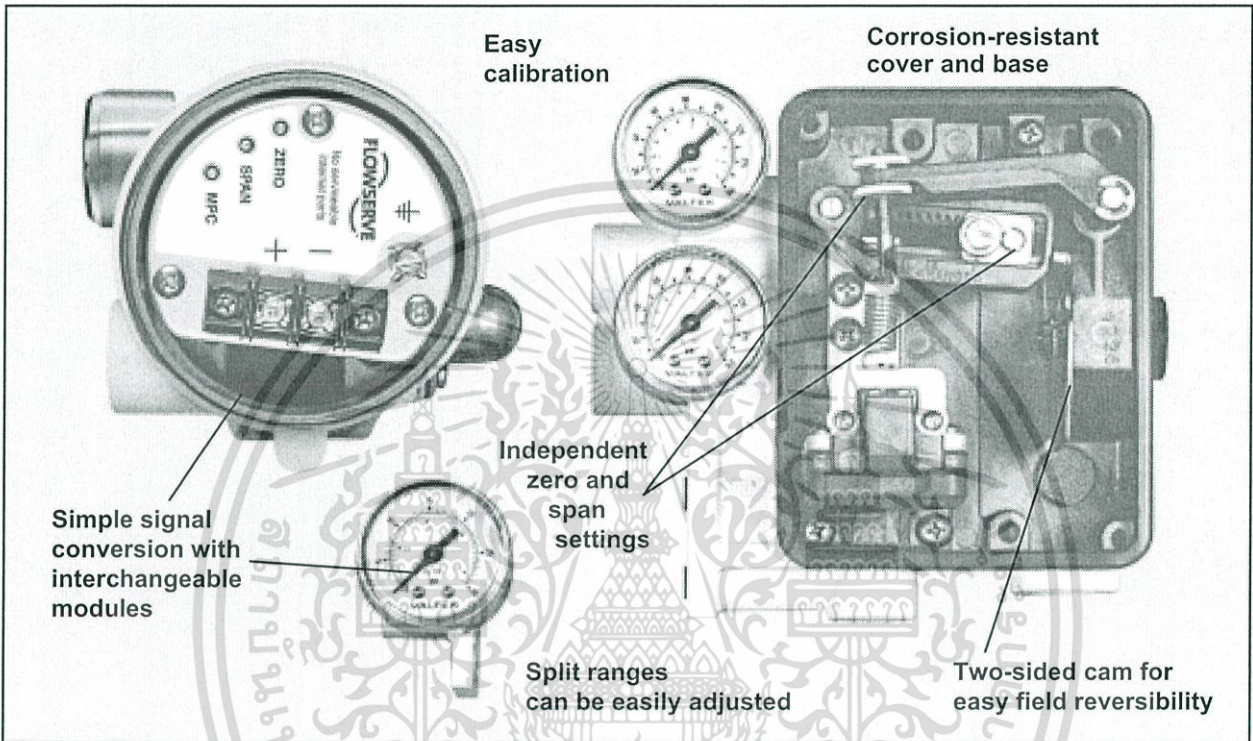
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



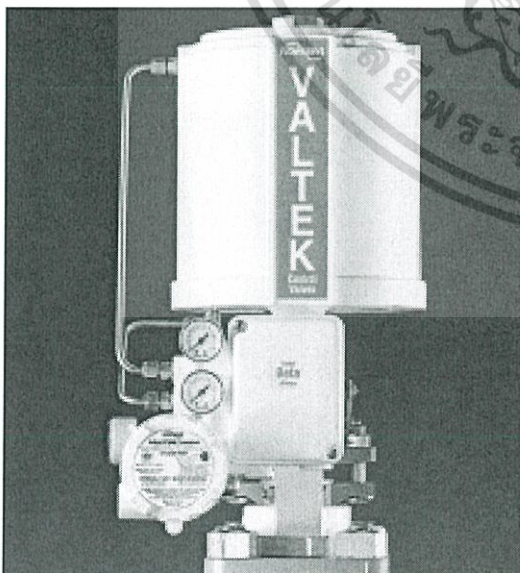
**FLOWSERVE**

*Valtek Beta Positioners  
for Control Valves*

*Valtek Beta Positioner*  
*Features*



**Figure 1: Features of Beta Positioner with Pneumatic or Electro-pneumatic modules**



**Figure 2: Beta Positioner Mounted on Linear Actuator**

The Beta™ positioner is a single or double-acting, force-balanced instrument that provides fast, sensitive and accurate positioning of diaphragm or cylinder actuators. It is available with either a pneumatic module for air control signals or an electro-pneumatic (I/P) module for milliamp current control signals. Designed for high performance, this positioner is compact, field reversible and ruggedly built for reliability in severe industrial environments.

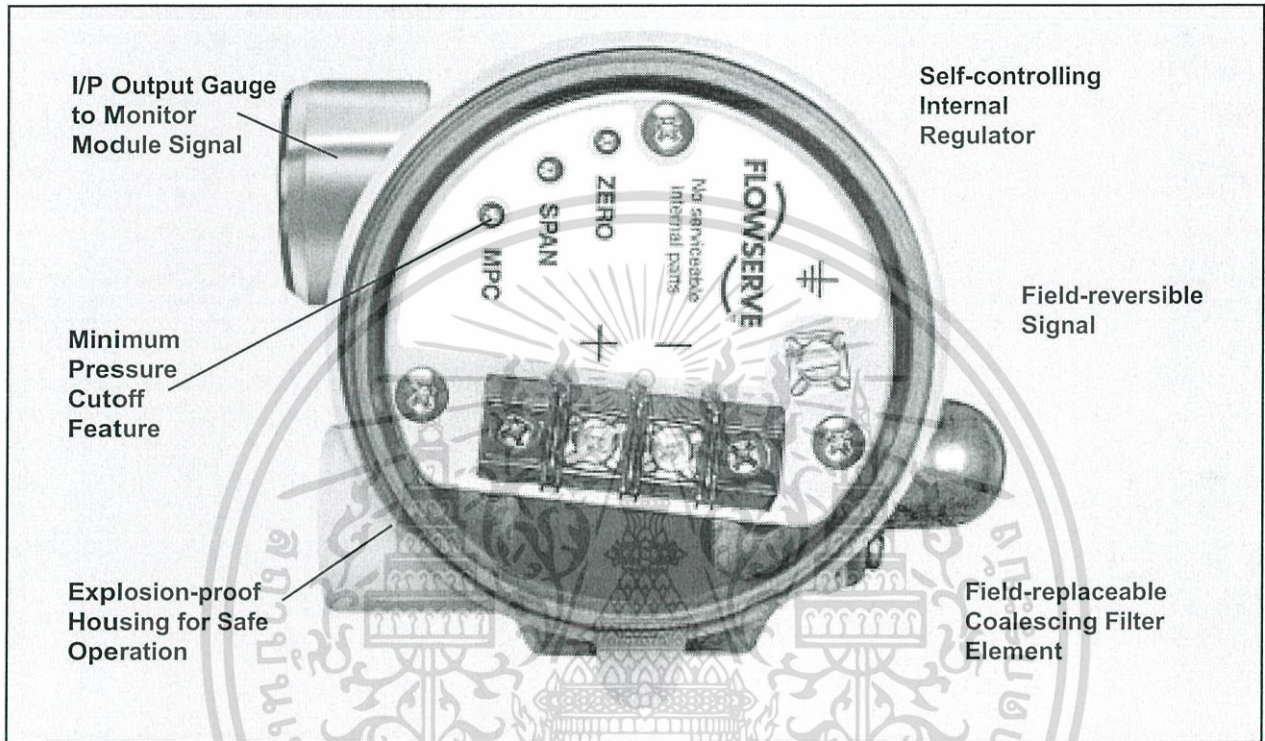
Because of its interchangeability with System 80 pneumatic and electro-pneumatic positioners, the Beta positioner can be mounted on either Valtek® linear or rotary actuators or other manufacturers' actuators. Two, three and four-way split ranges are available.

The Beta positioner with NT 3000 module is intrinsically safe for class I, division I, groups A, B, C and D; class II, groups E, F and G, when installed with the appropriate energy limiting safety barriers. It is also explosion proof in class I, division I, groups B, C and D; class II, groups E, F & G. Ratings are certified by Factory Mutual and the Canadian Standards Association.

## Valtek Beta Positioner Advantages

|   |  |
|---|--|
| <b>P/P or I/P Signal Convertible</b>                        | Field conversion from one control signal to another is easily accomplished by replacing one module with the other.   |
| <b>Minimum Pressure Cutoff</b>                              | When initiated, causes the NT 3000 module output to decrease to near zero when the input signal falls below a user-determined point.   |
| <b>Shock and Vibration Resistant</b>                        | Beta positioners are designed with a high natural frequency coupled with pneumatic damping – unaffected by vibrations with acceleration up to 2 G's, and frequencies to 500 Hz.  |
| <b>For Single or Double-acting Actuators</b>                | Usable with either single or double-acting actuators (both linear and rotary) makes the modular Beta positioner versatile.   |
| <b>Easily Field Reversed</b>                                | Action can be reversed in the field by simply turning the cam over, reversing the anti-backlash spring and changing the output tubing.   |
| <b>Easy Calibration Procedures</b>                          | Calibration is easy due to minimal interaction between zero and span. Positioner adjustments are totally enclosed for protection and to discourage tampering.  |
| <b>Split-Range Service</b>                                  | Standard signal ranges are 4 - 20 mA for the electro-pneumatic (I/P) model and 3 - 15 psi for the pneumatic (P/P) model. Optional ranges are 10 - 50 mA and 6 - 30 psi, respectively. All models can be calibrated for a 2 or 3-way split range. |
| <b>Replaceable Coalescing Filter (NT 3000 module only)</b>  | Removes particles that could clog transducer. Large orifice/air passages provide additional protection against clogging.   |
| <b>Simplified Maintenance</b>                               | The positioner's simplicity, modular design and few parts, make maintenance quick and easy.  |
| <b>No Regulator Required</b>                                | The Beta positioner with the pneumatic or I/P module is designed to withstand 150 psi at all ports, and is relatively insensitive to supply pressure fluctuation.  |
| <b>Changeable Flow Characteristics</b>                      | Easily changed cam provides characterized flow feedback.   |
| <b>Insensitive to Mounting Position</b>                     | Positioner can be mounted in any orientation without affecting performance.  |
| <b>Output Gauge Helps Monitor Unit</b>                      | Indicates transducer output to the positioner, permitting easy verification of transducer and positioner calibration.  |
| <b>Self-controlling Internal Regulator (NT 3000 module)</b> | Reduces pressure to 22 psi, eliminating need for external regulator.   |
| <b>Corrosion Resistant Parts for Long Life</b>              | Cover and base assembly are epoxy powder painted and continuously purged from the inside with instrument air. Internal working parts are constructed from 300 series stainless steel, anodized aluminum or Buna-N.                               |
| <b>Low Air Consumption</b>                                  | Steady state air consumption is .25 SCFM @ 60 psi supply maximum (.31 SCFM with I/P module).   |
| <b>High Air Flow Gain Model</b>                             | Standard on 200 square-inch actuators and above, optional on others.   |
| <b>Oxygen Service Model</b>                                 | Pneumatic models are available with Fluorosilicone diaphragms and O-rings, cleaned and assembled in a clean room.  |

*Valtek Beta Positioner*  
*NT 3000 Module Features*



**Figure 3: Features of NT 3000 Electro-pneumatic Transducer Module**

**Minimum Pressure Cutoff**

The NT 3000 electro-pneumatic module has a “Minimum Pressure Cutoff” (MPC) feature, which allows the user to preset the positioner so when the input signal falls below a user-adjustable current the pressure output falls rapidly to near zero psi, causing the valve to close. This feature is generally used when the service requires a tight shutoff or to prevent throttling near the valve seat.

The MPC is a simple, low-cost means of achieving tight shutoff, which traditionally has required less desirable methods. Traditional methods have included installing a three-way solenoid valve between the transducer and positioner; installing a block valve upstream of the control valve; or setting the positioner’s zero adjustment to close the valve at a higher signal, adversely affecting positioner accuracy. These methods can be time consuming and expensive in addition to affecting positioner accuracy.

Beta positioners with the NT 3000 module are shipped with the minimum pressure cutoff feature disabled.

It is easily enabled in the field by using the MPC potentiometer to adjust the cutoff point (for example, 4.1 mA).

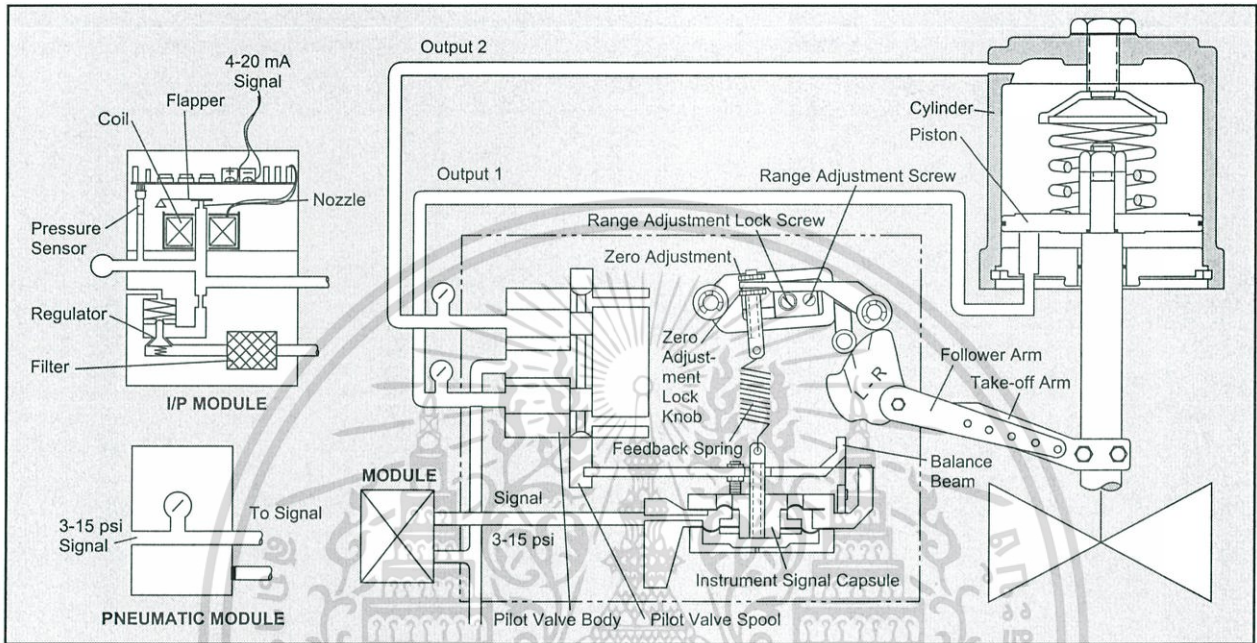
**Coalescing Filter**

A frequently encountered problem with most manufacturers’ transducers is clogging in the air passageways. The NT 3000 module avoids this problem with its integral, field-replaceable coalescing filter that ensures a long-life and trouble-free operation. In addition to the dirt particles captured by traditional air filters, the NT 3000 coalescing filter traps oils and moisture from the supply air.

**I/P Output Gauge**

The NT 3000 module has an output gauge to help monitor the process system. The gauge with its 0 to 160 psi (0 to 11 kg/cm<sup>2</sup>) scale can help make troubleshooting a process loop simple. Controller output signal vs. module output is easily verified using this gauge. On-site visual maintenance is also simplified using the output gauge.

## Valtek Beta Positioner Positioner Operation



**Figure 4: Positioner Schematic for Air-to-Open (Retract)**

The Beta positioner is a force-balanced instrument. Figure 4 shows a Beta positioner, with either a pneumatic or electro-pneumatic module, installed on a double-acting actuator for air-to-open action. Positioning is based on a balance of two forces; one proportional to the instrument signal and the other proportional to the stem position.

With the NT 3000 model, the current signal is first converted to a 3-15 psi air signal. For the pneumatic model, the 3-15 psi signal is passed directly into the positioner. The transducer receives an electric input signal and converts it to an output proportional to the input. The supply pressure is filtered and regulated in the transducer by a filter element and an internal regulator.

The output of the transducer is controlled by a feedback loop consisting of a pressure sensor, electromagnetic pressure modulator and circuit board. The pressure modulator consists of a stiff flapper that is attracted by the electromagnet to a nozzle. The nozzle-flapper spacing determines the transducer output.

Based on the difference between the input and the output measured by the pressure sensor, the circuit board sends a current to the pressure modulator that adjusts the nozzle-flapper spacing to provide the correct output.

The detailed sequence of positioner operations are as follows: An increase in the instrument signal forces the

instrument signal capsule and balance beam downward. This motion of the balance beam also pulls the pilot valve spool downward from its equilibrium position. This opens the pilot valve ports, supplying air to port 1 and exhausting air from port 2. This causes the actuator piston to move upward.

This upward motion of the piston is transmitted back to the positioner through the feedback linkage and cam resulting in the spring being stretched proportionally to the valve position. The piston continues to stroke upward until the force in the feedback spring increases sufficiently to counter the force generated by the instrument signal capsule. At this point, the balance beam and spool begin to return to their equilibrium position. As the valve spool ports start to close, the air flow rate to the actuator is decreased.

After the piston has reached the required position, the feedback spring tension force will equal the force generated in the instrument signal capsule. The balance beam and instrument signal capsule will remain in their equilibrium positions with no air flowing to the actuator until a change in the instrument signal is made.

A decrease in the instrument signal reverses the described actions causing a proportional downward movement of the actuator piston and stem.

## Valtek Beta Positioner Specifications and Performance

**Table I: NT 3000 Electro-pneumatic Transducer Module Specifications**

| Specification                                      | Pneumatic Module   | NT 3000 Transducer Module   |
|--|--|---|
| Input signal range:                                | 3-15 psi, 2 or 3-way split range; 6-30 psi, 2 or 3-way split range; 4-way split range          | 4-20 and 10-50 mA with 2 or 3 and 4-way split range   |
| Supply pressure                                    | 30 psi to 150 psi  | Same  |
| Ambient temperature limits                         | Standard model: -20° F to +185° F<br>Ext. temp. model: -50° F to +250° F                       | Standard model: -20° F to +180° F<br>Ext. temp. model: -40° F to +180° F  |
| Connections  | Supply, instrument and output: 1/4-inch NPT; Gauges: 1/8-inch NPT                              | Signal: 1/2-inch NPT elect. conduit;<br>Output: 1/4-inch NPT; Gauges: 1/8-inch NPT  |
| Standard materials                                 | Stainless steel, anodized aluminum, nickel-plated steel, epoxy powder-painted steel and Buna-N | Same  |
| Loop Load  | N/A  | 5.3 volts + 5 ohms (270 ohms at 20 mA)  |
| Hazardous Location Approvals (FM and CSA approved) | N/A  | Intrinsically safe: Class I, Division 1, Groups A, B, C, D; Class II, Groups E, F, G<br>Explosion-proof: Class I, Division 1, Groups B, C, D; Class II, Groups E, F, G<br>Non-incendive: Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, F, G |
| Net weight   | 3 lbs.   | 5.5 lbs.  |

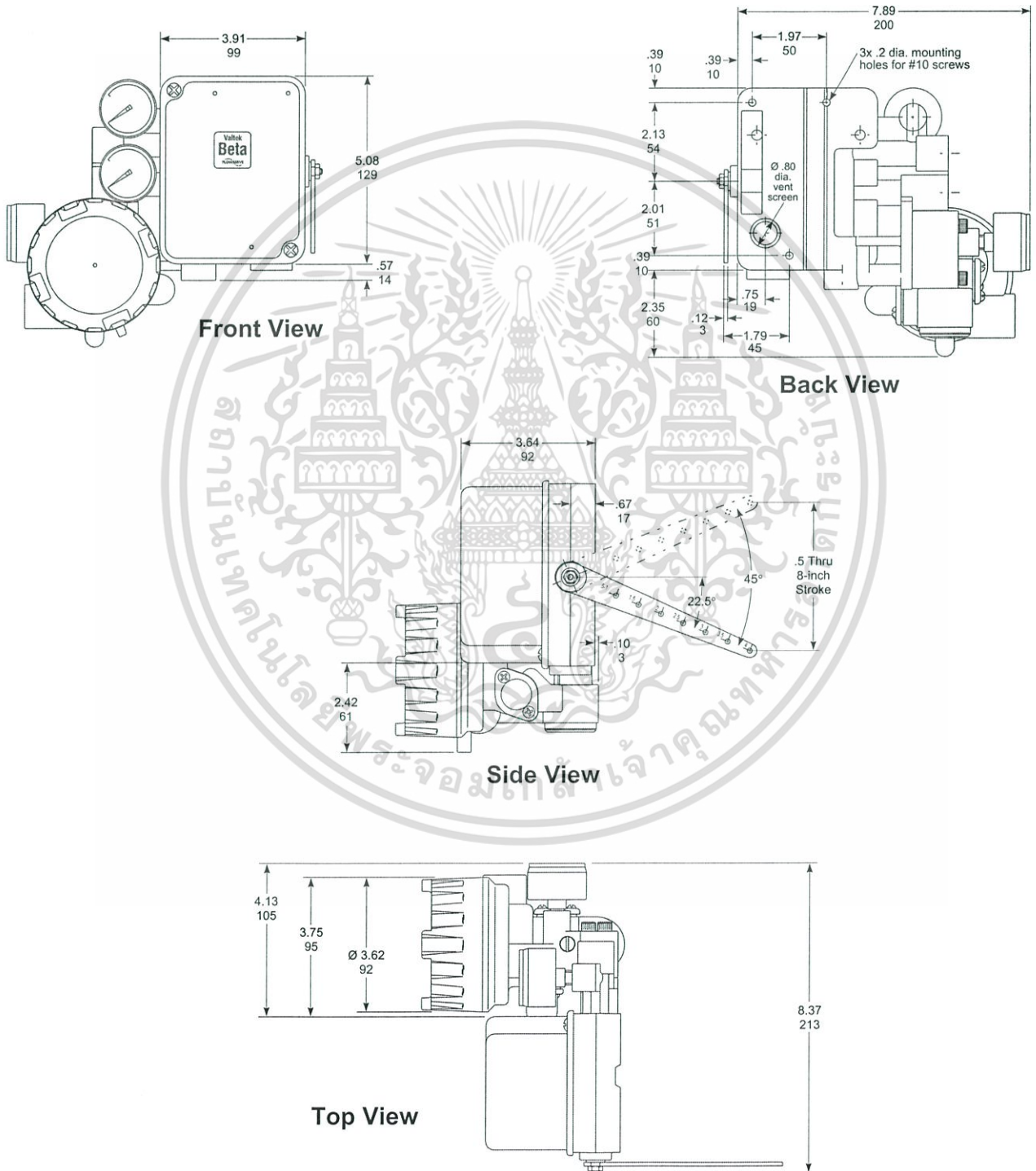
**Table II: Beta Positioner Performance\***

|   | Pneumatic Module                       | NT 3000 Module       |
|---|--|----------------------|
| <b>Independent Linearity</b> – Maximum deviation from a best fit straight line  | ±1.0% F.S.                             | ±1.0% F.S.           |
| <b>Hysteresis</b> – Maximum position error for the same value of input when approached from opposite ends of the scale.   | 0.5% F.S.                              | 0.5% F.S.            |
| <b>Repeatability</b> – Maximum variation in position for the same value of input when approached from the same direction. | 0.2% F.S.                              | 0.2% F.S.            |
| <b>Response Level</b> – Maximum change in input required to cause a change in valve stem position in one direction.       | 0.2% F.S.                              | 0.2% F.S.            |
| <b>Dead Band</b> – Maximum change in input required to cause a reversal in valve stem movement.                           | 0.3% F.S.                              | 0.3% F.S.            |
| <b>Resolution</b> – Smallest possible change in valve stem position.  | .1% F.S.                               | .1% F.S.             |
| <b>Steady State Air Consumption @ 60 psi</b>  | .25 SCFM                               | .31 SCFM             |
| <b>Supply Pressure Effect</b> – Position change for a 10 psi supply pressure change                                       | .05 % F.S.                             | .06% F.S.            |
| <b>“Open-loop” Gain</b> – Ratio of cylinder pressure unbalance to instrument pressure change with locked stem.            | 300:1 psi/psi @60 psi                  | 400:1 psi/mA @60 psi |
| <b>Maximum Flow Capacity @ 60 psi</b>   | 11 SCFM                                | 11 SCFM              |
| <b>Frequency Response</b> –<br>(With sinusoidal input of ±5% F.S. centered about 50% F.S.)                                | -6 dB Frequency<br>Phase Angle at -6dB | .8 Hz<br>-71.1°      |
| <b>Stroking Speed</b> –   | Closed to open -                       | 2.3 in./sec.         |
|   | Open to closed -                       | 1.3 in./sec.         |

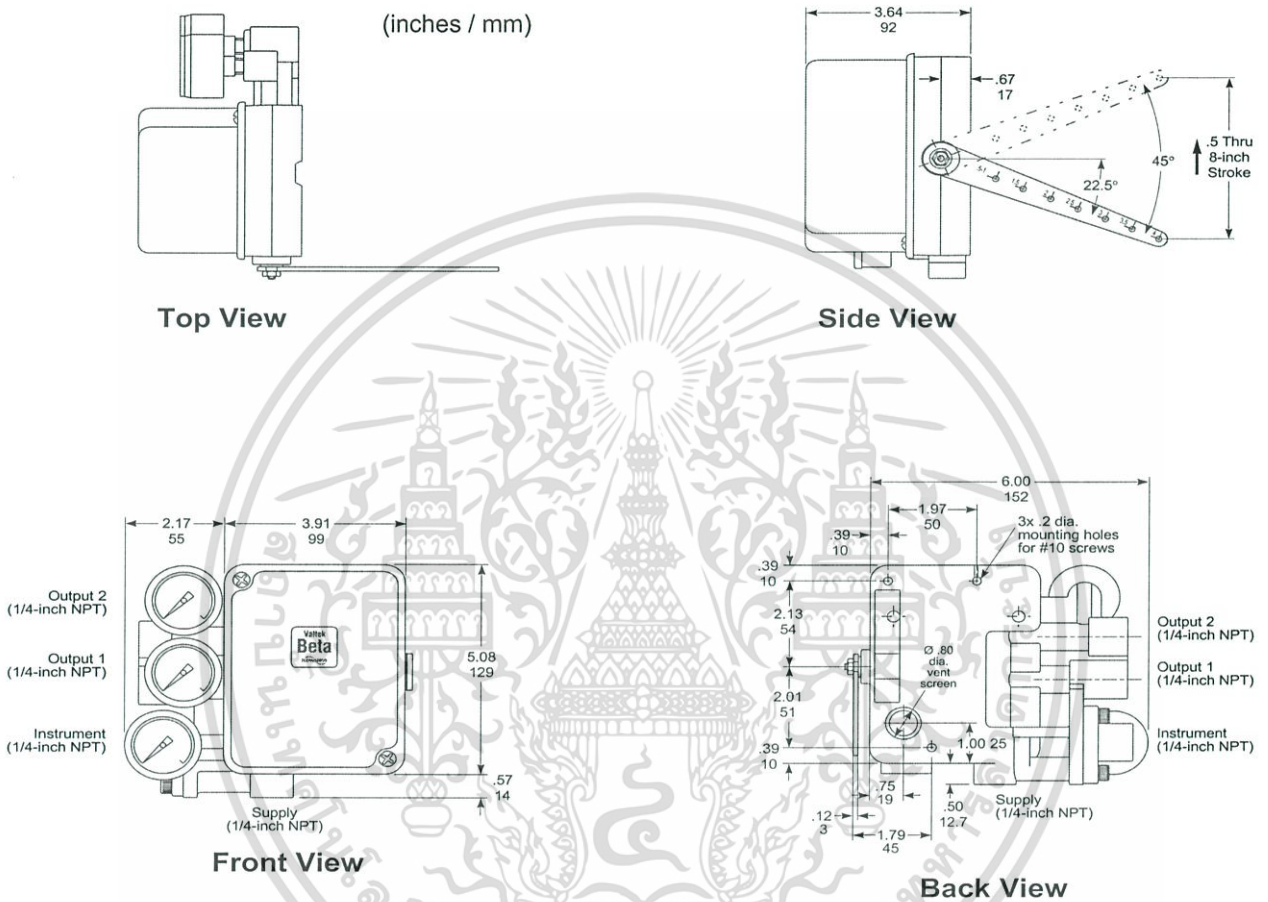
\*Data is based on tests of the Beta positioner mounted on a double-acting cylinder actuator having a piston area of 25 square inches with a valve stroke of 1.5 inches and 60 psi supply pressure. Instrument signal was 3-15 psi with pneumatic module and 4-20 mA with I/P module.

*Valtek Beta Positioner*  
*Dimensions with Electro-pneumatic (I/P) Module*

(inches / mm)



# Valtek Beta Positioner Dimensions with Pneumatic (P/P) Module



Flowserve Corporation has established industry leadership in the design and manufacture of its products. When properly selected, this Flowserve product is designed to perform its intended function safely during its useful life. However, the purchaser or user of Flowserve products should be aware that Flowserve products might be used in numerous applications under a wide variety of industrial service conditions. Although Flowserve can (and often does) provide general guidelines, it cannot provide specific data and warnings for all possible applications. The purchaser/user must therefore assume the ultimate responsibility for the proper sizing and selection, installation, operation and maintenance of Flowserve products. The purchaser/user should read and understand the Installation Operation Maintenance (IOM) instructions included with the product, and train its employees and contractors in the safe use of Flowserve products in connection with the specific application.

While the information and specifications presented in this literature are believed to be accurate, they are supplied for informative purposes only and should not be considered certified or as a guarantee of satisfactory results by reliance thereon. Nothing contained herein is to be construed as a warranty or guarantee, express or implied, regarding any matter with respect to this product. Because Flowserve is continually improving and upgrading its product design, the specifications, dimensions and information contained herein are subject to change without notice. Should any question arise concerning these provisions, the purchaser/user should contact Flowserve Corporation at any of its worldwide operations or offices.

For more information, contact:

For more information about Flowserve, contact [www.flowserve.com](http://www.flowserve.com) or call USA 972 443 6500

**Regional Headquarters**

1350 N. Mt. Springs Prkwy.  
Springville, UT 84663  
Phone 801 489 8611  
Facsimile 801 489 3719

12, av. du Québec, B.P. 645  
91965, Courtaboeuf Cedex,  
France  
Phone (33 1) 60 92 32 51  
Facsimile (33 1) 60 92 32 99

19 Creek Parkway  
Boothwyn, PA 19061 USA  
Phone 610 990 8710

**Quick Response Centers**

12 Tuas Avenue 20  
Republic of Singapore 638824  
Phone (65) 862 3332  
Facsimile (65) 862 4940

4001 Flowserve Way, Suite 300  
Pasadena, TX 77503 USA  
Phone 713 286 3100  
Facsimile 281 479 8511



Flowserve and Valtek are registered trademarks of Flowserve Corporation.