การศึกษาการควบคุมระดับร่วมกับอุปกรณ์ฮาร์ททรานสมิตเตอร์แบบไร้สาย โดยใช้โปรแกรมแลปวิว

A STUDY OF LEVEL CONTROL WITH WIRELESSHART TRANSMITTER BY LABVIEW

พงศกร สมคะเน

รุ่งโรจน์ กังวานสุระ

เศรษฐกานต์ รุ่งเรือง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

การศึกษาการควบคุมระดับร่วมกับอุปกรณ์ฮาร์ททรานสมิตเตอร์แบบไร้สาย โดยใช้โปรแกรมแลปวิว

A STUDY OF LEVEL CONTROL WITH WIRELESSHART TRANSMITTER BY LABVIEW

พงศกร สมคะเน

รุ่งโรจน์ กังวานสุระ

เศรษฐกานต์ รุ่งเรือง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF LEVEL CONTROL WITH WIRELESSHART TRANSMITTER BY LABVIEW

PONGSAKORN SOMKANE
RUNGROT KANGWANSURA
SATETHAKARN RUNGRUANG

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2559
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาการควบคุมระดับร่วมกับอุปกรณ์ฮาร์ททรานสมิตเตอร์แบบไร้สายโดยใช้โปรแกรมแลปวิว A STUDY OF LEVEL CONTROL WITH WIRELESSHART TRANSMITTER BY LABVIEW		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายพงศกร	สมคะเน	**รหัสนักศึกษา** 56010773
	นายรุ่งโรจน์	กังวานสุระ	**รหัสนักศึกษา** 56011027
	นายเศรษฐกานต์	รุ่งเรือง	**รหัสนักศึกษา** 56011259
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม		
ปีการศึกษา	2559		

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์วิริยะ กองรัตน์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาการควบคุมระดับร่วมกับอุปกรณ์ฮาร์ททรานสมิตเตอร์แบบไร้สายโดยใช้โปรแกรมแลปวิว A STUDY OF LEVEL CONTROL WITH WIRELESSHART TRANSMITTER BY LABVIEW		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายพงศกร สมคะเน	**รหัสนักศึกษา**	56010773
	นายรุ่งโรจน์ กังวานสุระ	**รหัสนักศึกษา**	56011027
	นายเศรษฐกานต์ รุ่งเรือง	**รหัสนักศึกษา**	56011259
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์วิริยะ กองรัตน์		
ปีการศึกษา	2559		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการควบคุมระดับของเหลว โดยจัดวงรอบการควบคุมให้เป็นแบบคาสเคด ซึ่งตัวแปรควบคุมหลักเป็นระดับของเหลว และตัวแปรควบคุมรองเป็นอัตราการไหล ใช้อุปกรณ์วัดระดับและอัตราการไหลเป็นแบบความดันแตกต่างที่มีการสื่อสารไร้สายด้วยฮาร์ทโปรโตคอล (WirelessHART Protocol) อุปกรณ์วัดคุมที่ใช้ในการรับส่งค่าตัวแปรกระบวนการ ได้แก่ อุปกรณ์วัดไร้สายฮาร์ท ฮาร์ทเกตเวย์ และ พีแอลซีสำหรับวาล์วควบคุม ทั้งหมดล้วนมีมาตรฐานการสื่อสารที่แตกต่างกัน ถูกส่งผ่านไปยังแม่ข่ายโอพีซี (OPC Server) ออกแบบให้ร่วมทำงานกับโปรแกรมแลปวิว ภายในโปรแกรมแลปวิวถูกออกแบบให้เป็นตัวควบคุมแบบพีไอดี ในโหมดปรับแต่งค่าอัตโนมัติ ปัญหาของอัตราการส่งข้อมูลทุก 8 วินาทีของอุปกรณ์วัดไร้สายฮาร์ทถูกแก้ไขโดยปรับคาบเวลาควบคุมให้สามารถควบคุมวงรอบได้ นอกจากนี้โปรแกรมแลปวิวยังสามารถสร้างเอชเอ็มไอ (Human Machine Interface : HMI) เพื่อให้เป็นส่วนที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้งานกับอุปกรณ์ในวงรอบทั้งหมดได้อีกด้วย ผลลัพธ์การทดลองแสดงให้เห็นว่าการควบคุมแบบคาสเคดนั้นมีสมรรถนะที่ดีกว่าการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A STUDY OF LEVEL CONTROL WITH WIRELESSHART TRANSMITTER BY LABVIEW	
Authors	Mr.Pongsakorn	Somkane
	Mr.Rungrot	Kangwansura
	Mr.Satethakarn	Rungruang
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Viriya	Kongratana
Year	2016	

ABSTRACT

This thesis presents fluid level control with setting the control loop to as cascade. The primary control variable is fluid level and the secondary control variable is flow rate, using wirelessHART Protocol with differential pressure as a level and flow rate measurement device. Measurement and control devices used in transmitting and receiving process variables are wirelessHART device, HART gateway and PLC for control valves, all with different communication standards via OPC Server. OPC Server is designed to work with LabVIEW, LabVIEW is designed to be PID controller in auto tuning mode. The problem of data transmission rate per 8 seconds of wirelessHART is fixed by setting control period to allow loop control. Moreover, LabVIEW can create Human Machine Interface or HMI to connect users to all devices in the loop control. Results show that cascade loop control is more efficient than single loop control.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยคำแนะนำ คำปรึกษา และความเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก รองศาสตราจารย์วิริยะ กองรัตน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ และเป็นผู้ที่ให้แนวทางในการดำเนินชีวิตกับคณะผู้จัดทำ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับคณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม ที่ให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ในการศึกษาแก่คณะผู้จัดทำ และให้กำลังใจในการทำงานจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของคณะผู้จัดทำ ที่ได้ให้กำลังใจและคอยสนับสนุน ตลอดจนให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในทุกๆด้าน ซึ่งทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ทั้งหมด ทางคณะผู้จัดทำขอมอบให้แด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

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

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

บทที่ 2 หลักการของระบบควบคุมและอุปกรณ์ในกระบวนการ.....3
2.1 ระบบควบคุม.....3
2.1.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุม.....3
2.1.1.1 อุปกรณ์การวัด (Measuring Instrument).....3
2.1.1.2 ตัวควบคุม (Controller).....3
2.1.1.3 กระบวนการ (Process).....4
2.1.1.4 อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element).....4
2.1.2 ประเภทของระบบควบคุม.....4
2.1.2.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System).....4
2.1.2.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System).....5
2.2 การควบคุมแบบคาสเคด (Cascade Control).....5
2.2.1 ข้อดีของการควบคุมแบบคาสเคด.....6
2.2.2 ข้อเสียของการควบคุมแบบคาสเคด.....6
2.3 ตัวควบคุม (Controller).....6
2.3.1 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control).....6
2.3.2 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Control).....7
2.3.3 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control).....7
2.3.4 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Control).....7
2.4 แผ่นออริฟิส (Orifice Plate).....8
2.4.1 ชนิดของแผ่นออริฟิส.....9
2.4.1.1 แผ่นออริฟิสแบบศูนย์กลางรวม (Concentric Orifice).....9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1.2 แผ่นออริฟิสแบบเยื้องศูนย์ (Eccentric Orifice).....9
2.4.1.3 แผ่นออริฟิสแบบเซกเมนต์ (Segmental Orifice).....10
2.4.1.4 แผ่นออริฟิสแบบเผยปากเป็นรูปโค้ง (Quadrant Edge Orifice).....10
2.4.2 รูปแบบจุดต่อสำหรับวัดค่าความดัน (Pressure Tappings).....10
2.4.2.1 จุดต่อวัดความดันที่ระยะ D และ 0.5D (D and D/2 Tappings).....11
2.4.2.2 จุดต่อวัดความดันที่หน้าแปลน (Flange Tappings).....11
2.4.2.3 จุดต่อวัดความดันที่แผ่นออริฟิส (Corner Tappings).....12
2.5 ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter).....12
2.5.1 ชนิดของทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง.....12
2.5.1.1 ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างชนิดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุ.....12
2.5.1.2 ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างชนิดการเปลี่ยนแปลงความถี่รีโซแนนท์.....13
2.5.2 ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างใช้วัดอัตราการไหล.....14
2.5.3 ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างใช้วัดระดับของถังเปิด.....14
2.6 พีแอลซี (PLC : Programmable Logic Controller).....14
2.6.1 ส่วนประกอบของ PLC.....15
2.6.1.1 ซีพียู (CPU : Central Process Unit).....15
2.6.1.2 หน่วยความจำ (Memory Unit).....15
2.6.1.3 ภาคอินพุต (Input Unit).....15
2.6.1.4 ภาคเอาต์พุต (Output Unit).....16
2.6.1.5 ภาคแหล่งจ่ายพลังงาน (Power Supply Unit).....16
2.6.2 ประเภทของ PLC.....16
2.6.2.1 PLC ชนิดบล็อก (Block Type PLC).....16
2.6.2.2 PLC ชนิดโมดูล (Modular Type PLC) หรือแร็ค (Rack Type PLC).....17
2.6.3 การเชื่อมต่อกับ PLC.....17
2.3.6.1 คอมพิวเตอร์.....17
2.3.6.2 เครื่องป้อนโปรแกรมแบบมือ (Hand Held Programmer).....18
2.7 วาล์วควบคุม (Control Valve).....18
2.7.1 ประเภทของวาล์วควบคุม.....18
2.7.1.1 Linear-Shaft Valve หรือ Linear Motion Type.....18
2.7.1.2 Rotary-Shaft Valve หรือ Rotary Motion Type.....19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7.2 ส่วนประกอบของวาล์วควบคุม....19
2.7.2.1 Valve Body....19
2.7.2.2 Valve Trim....19
2.7.2.3 Valve Positioner....20
2.7.2.4 Actuator....20
2.7.3 การเลือกวาล์วควบคุมเพื่อควบคุมอัตราการไหล....21
2.8 ฮาร์ทโปรโตคอล (HART Protocol)....21
2.8.1 WirelessHART....22
2.8.1.1 การส่งข้อมูลเชื่อมต่อเครือข่าย....23
2.8.1.1.1 แบบจุดต่อจุด (Point-to-Point)....23
2.8.1.1.2 แบบหลายจุด (Multipoint)....23
2.9 OPC (OLE for Process Control)....24
2.9.1 ข้อดีของ OPC Server....24
2.10 LabVIEW....25
2.10.1 ส่วนประกอบสำคัญของโปรแกรม LabVIEW....25
2.10.1.1 Front Panel....25
2.10.1.2 Block Diagram....25

บทที่ 3 การออกแบบและวิธีดำเนินการ....27
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการควบคุม....27
3.2 การออกแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์การวัดและควบคุมกับคอมพิวเตอร์....28
3.2.1 การเชื่อมต่อ OPC Server กับ HART Gateway....29
3.2.2 การเชื่อมต่อ OPC Server กับ PLC....31
3.2.3 การตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อของ OPC Server กับ HART Gateway และ PLC....32
3.2.4 การเชื่อมต่อ OPC Sever กับ LabVIEW....33
3.3 การใช้ฟังก์ชั่นก์ตัวควบคุมแบบ PID โหมด Auto Tuning ของโปรแกรม LabVIEW....35
3.4 การเขียนโปรแกรม LabVIEW ควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว....36
3.5 การเขียนโปรแกรม LabVIEW ควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว....39
3.6 การเขียนโปรแกรม LabVIEW ควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล....41
3.7 Human Machine Interface (HMI) และ Data Acquisition System....43
3.7.1 ส่วน Human Machine Interface (HMI)....43
3.7.2 การเก็บค่าจากกระบวนการ....44
3.8 ขั้นตอนการทดลอง....45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง 46

4.1 ผลการทดลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว 46

4.2 ผลการทดลองการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว 49

4.3 ผลการทดลองการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล 53

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 60

5.1 สรุปผลการทดลอง 60

5.2 ข้อเสนอแนะ 60

บรรณานุกรม 61

ภาคผนวก 62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมในการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล.....53
ก่อน Auto Tuning ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ)

4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมในการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล.....55
หลังจาก Auto Tuning ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ)

4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวกับ.....59
การควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล ซึ่งทำการควบคุมที่ Set Point 60 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุม	3
2.2	ส่วนประกอบของระบบควบคุม	4
2.3	แผนผังระบบควบคุมแบบเปิด	4
2.4	แผนผังระบบควบคุมแบบปิด	5
2.5	แผนผังการควบคุมแบบคาสเคด	5
2.6	ตัวควบคุมแบบสัดส่วน	6
2.7	ตัวควบคุมแบบปริพันธ์	7
2.8	ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์	7
2.9	ตัวควบคุมแบบพีไอดี	8
2.10	แผ่นออริฟิส ตามมาตรฐาน ISO 5167	8
2.11	แผ่นออริฟิสแบบศูนย์กลางร่วม	9
2.12	แผ่นออริฟิสแบบเยื้องศูนย์	10
2.13	แผ่นออริฟิสแบบเซกเมนต์	10
2.14	แผ่นออริฟิสแบบเผยปากเป็นรูปโค้ง	10
2.15	จุดต่อวัดความดันที่ระยะ D และ 0.5D	11
2.16	จุดต่อวัดความดันที่หน้าแปลน	12
2.17	จุดต่อวัดความดันที่แผ่นออริฟิส	12
2.18	ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างชนิดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุ	13
2.19	ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างชนิดการเปลี่ยนแปลงความถี่รีโซแนนท์	13
2.20	ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างต่อร่วมกับแผ่นออริฟิส	14
2.21	ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างต่อเข้ากับถังเปิด	14
2.22	โครงสร้างภายใน PLC	16
2.23	PLC ชนิดบล็อก	17
2.24	PLC ชนิดโมดูล หรือ แร็ค	17
2.25	การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับ PLC	18
2.26	การเชื่อมต่อเครื่องป้อนโปรแกรมแบบมือกับ PLC	18
2.27	Linear-Shaft Valve	18
2.28	Rotary-Shaft Valve	19
2.29	Valve Trim ชนิดต่างๆ	20
2.30	Valve Positioner Current to Pneumatic	20
2.31	Diaphragm Actuator	21
2.32	Cylinder Actuator	21
2.33	การส่งสัญญาณของ HART Protocol	22
2.34	โครงสร้าง WirelessHART	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.35 การส่งสัญญาณแบบจุดต่อจุด	23
2.36 การส่งสัญญาณแบบหลายจุด	23
2.37 การเชื่อมต่อผ่าน OPC Server	24
2.38 Front Panel	25
2.39 Block Diagram	26
3.1 แบบจำลองการควบคุมระดับ	27
3.2 แผนผังการการติดต่อระหว่างอุปกรณ์การวัดและควบคุมกับคอมพิวเตอร์	28
3.3 หน้า Web Browser ของ HART Gateway แสดงว่ายังไม่ได้ Add HART Device	29
3.4 การตั้งค่า HART Device	29
3.5 หน้า Web Browser ของ HART Gateway แสดงว่าทำการ Add HART Device แล้ว	30
3.6 การ Mappings Register ใน HART Gateway	30
3.7 การ Add Tag ของ Transmitter ใน OPC Server	31
3.8 การ Add Tag ของ PLC ใน OPC Server	32
3.9 แสดงสถานะการเชื่อมต่อสัญญาณที่ดี	32
3.10 แสดงสถานะการเชื่อมต่อสัญญาณที่ผิดพลาด	32
3.11 การสร้าง I/O Server	33
3.12 การ Create Variables	34
3.13 หน้า Blank Project ที่มี Tag จาก OPC Server	34
3.14 นำค่าจาก OPC Server มาใช้ในหน้า Blank VI	35
3.15 ฟังก์ชั่นตัวควบคุม PID โหมด Auto Tuning	35
3.16 หน้าโหมด Auto Tuning	36
3.17 Differential Pressure Transmitter วัดระดับของถังเปิด	37
3.18 บล็อกไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว	38
3.19 P&ID ของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว	38
3.20 Differential Pressure Transmitter วัดอัตราการไหล	39
3.21 บล็อกไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว	40
3.22 P&ID ของการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว	41
3.23 บล็อกไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล	42
3.24 P&ID ของการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล	43
3.25 Human Machine Interface (HMI)	44
3.26 บล็อกไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมเก็บค่าจากกระบวนการ	44
3.27 ค่าที่เก็บจากกระบวนการในไฟล์ Text	45
4.1 ผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวก่อน Auto Tuning PID	46
4.2 โหมด Auto Tuning PID ของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.3 ผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 60 % 47

4.4 ผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 50 % 48

4.5 ผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 70 % 48

4.6 ผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวเมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการโดยการปิดปั๊มน้ำเป็นเวลา 10 วินาทีที่ Set Point 60 % 49

4.7 ผลตอบสนองของการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวก่อน Auto Tuning PID 50

4.8 โหมด Auto Tuning PID ของการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว 50

4.9 ผลตอบสนองของการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 60 % 51

4.10 ผลตอบสนองของการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 50 % 51

4.11 ผลตอบสนองของการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 70 % 52

4.12 ผลตอบสนองของการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวเมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการโดยการปิดปั๊มน้ำเป็นเวลา 10 วินาทีที่ Set Point 60 % 53

4.13 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบคาสเคดก่อน Auto Tuning PID ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) 54

4.14 โหมด Auto Tuning PID ในการควบคุมแบบคาสเคดของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) 54

4.15 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบคาสเคดโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 60 % 55

4.16 ผลตอบสนองของสัญญาณ MV (Level Control), Set Point (Flow Control) กับ PV (Flow Control) ที่มีการ Track กัน 56

4.17 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบคาสเคดโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 50 % 57

4.18 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบคาสเคดโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 70 % 57

4.19 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหลเมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการโดยการปิดปั๊มน้ำเป็นเวลา 10 วินาทีที่ Set Point 60 % 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันอุปกรณ์การวัดที่ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายมีการใช้งานมากขึ้น เนื่องจากประหยัดค่าสายสัญญาณ และลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง อุปกรณ์การวัดที่จะใช้เทคโนโลยีไร้สายได้นั้นจะต้องเป็น Smart Device ซึ่งสามารถให้ข้อมูลของอุปกรณ์การวัดเชิงลึกได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการควบคุมให้ดีขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ มาตรฐาน WirelessHART ที่อยู่บนพื้นฐานมาตรฐานการสื่อสารแบบ HART Protocol

อุปกรณ์ทางด้านการวัดและควบคุมในอุตสาหกรรมต่างๆ มีมากมายหลายชนิดให้เลือกใช้งาน โดยแต่ละบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์นั้นจะกำหนดมาตรฐานการสื่อสารเดียวกันทั้งหมด ทำให้การเชื่อมต่อใช้งานของอุปกรณ์แต่ละบริษัทผู้ผลิตนั้นต้องมีมาตรฐานการสื่อสารเดียวกัน จึงจะสามารถเชื่อมต่อและส่งข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการควบคุมได้ แต่ในกระบวนการควบคุมในอุตสาหกรรมจริง ๆ นั้นอาจมีการใช้อุปกรณ์ที่มีมาตรฐานการสื่อสารแตกต่างกัน ซึ่งอาจเกิดจากการออกแบบว่าต้องการใช้อุปกรณ์ชนิดนี้ แต่อุปกรณ์ชนิดนี้ไม่มีมาตรฐานการสื่อสารเดียวกันกับอุปกรณ์ชนิดอื่นในกระบวนการควบคุม หรือเกิดจากอุปกรณ์ที่มีมาตรฐานการสื่อสารเดียวกันทั้งหมดนั้นมีราคาแพง แต่มีอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่สามารถทำหน้าที่ได้เหมือนกันแต่ราคาถูกกว่า ถ้าต้องการลดค่าใช้จ่ายต้องใช้อุปกรณ์ที่มีมาตรฐานการสื่อสารที่แตกต่างกัน ทำให้มีการใช้ซอฟต์แวร์ OPC Server มาเชื่อมต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ที่มาตรฐานการสื่อสารที่แตกต่างกันเพื่อใช้ส่งข้อมูลในกระบวนการควบคุมได้

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการควบคุมระดับ
2. เพื่อศึกษาอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและควบคุมระดับ
3. เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรมในการวัดและควบคุมบนคอมพิวเตอร์
4. เพื่อศึกษาการปรับแต่งพารามิเตอร์ของตัวควบคุมให้ระบบมีเสถียรภาพ

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาการควบคุมระดับโดยเป็นการควบคุมแบบคาสเคดและวงรอบเดี่ยว
2. ศึกษาการใช้ซอฟต์แวร์ OPC Server เป็นสื่อกลางระหว่างมาตรฐานการสื่อสารที่แตกต่างกัน
3. ใช้โปรแกรม LabVIEW อ่านค่าที่วัดได้จาก Differential Pressure Transmitter
4. ใช้โปรแกรม LabVIEW ส่งค่าไปควบคุมการทำงานของ Control Valve
5. ใช้โปรแกรม LabVIEW เขียนโปรแกรมเป็นตัวควบคุมแบบ PID โหมด Auto Tuning โดยอ่านค่าและส่งค่าผ่านซอฟต์แวร์ OPC Server
6. เปรียบเทียบการควบคุมแบบคาสเคดกับการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาการใช้อุปกรณ์ฮาร์ททรานสมิตเตอร์แบบไร้สาย
2. ศึกษาการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว
3. ศึกษาการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว
4. ศึกษาการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล (Cascade Level - Flow Control)
5. ศึกษาการใช้งานซอฟต์แวร์ OPC Server
6. ศึกษาการใช้โปรแกรม LabVIEW ร่วมกับซอฟต์แวร์ OPC Server
7. ศึกษาการเขียนโปรแกรม LabVIEW เป็นตัวควบคุมแบบ PID โหมด Auto Tuning
8. ทำการทดลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว
9. ทำการทดลองการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว
10. ทำการทดลองการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจการทำงานของอุปกรณ์ฮาร์ททรานสมิตเตอร์แบบไร้สาย
2. เข้าใจการทำงานของซอฟต์แวร์ OPC Server
3. สามารถประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ OPC Server ร่วมกับโปรแกรม LabVIEW
4. สามารถเขียนโปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้เป็นตัวควบคุมแบบ PID โหมด Auto Tuning ได้
5. สามารถปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเพื่อให้การควบคุมมีเสถียรภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการของระบบควบคุมและอุปกรณ์ในกระบวนการ

บทนี้จะกล่าวถึงหลักการของระบบควบคุมและส่วนประกอบของตัวควบคุม อาทิเช่น ระบบควบคุมแบบเปิด, ระบบควบคุมแบบปิด และ ระบบควบคุมแบบคาสเคด ในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการจะกล่าวถึงหลักการของ แผ่นออริฟิส, ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง, PLC และวาล์วควบคุม รวมไปถึงหลักการของฮาร์ทโปรโตคอล และ WirelessHART ที่เป็นมาตรฐานการสื่อสารของอุปกรณ์การวัด สุดท้ายเป็นหลักการของซอฟต์แวร์ที่ใช้จะเป็น OPC Server และ LabVIEW

2.1 ระบบควบคุม

ระบบควบคุม คือกระบวนการที่มีส่วนประกอบต่างๆเชื่อมต่อกันขึ้นเป็นระบบเพื่อใช้ในการควบคุมให้ Output เป็นไปตามที่เราต้องการ โดยอาศัยพื้นฐานทางทฤษฎีระบบเชิงเส้นมาช่วยในการวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Input และ Output ไม่ว่าการควบคุมจะมีความซับซ้อนมากก็ตาม โดยสามารถแสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมได้ดังรูปที่ 2.1 [5]

รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุม

2.1.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุม

กระบวนการควบคุมอาจถูกออกแบบให้มีความซับซ้อนมากขึ้นตามการใช้งาน แต่เมื่อพิจารณาจากพื้นฐานของระบบควบคุมโดยทั่วไปอาจแบ่งได้เป็น 4 ส่วนดังนี้ [9]

2.1.1.1 อุปกรณ์การวัด (Measuring Instrument)

อุปกรณ์ประเภทเซ็นเซอร์ (Sensor) ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) อุปกรณ์ส่งสัญญาณ (Transmitter) หรืออุปกรณ์วัดสัญญาณอื่นๆในกระบวนการ จะนำสัญญาณที่วัดไปใช้เป็นตัวแปรในการควบคุม โดยสัญญาณ Output ของเครื่องมือวัดโดยทั่วไปจะเป็นสัญญาณมาตรฐานทางอุตสาหกรรม เช่น สัญญาณแรงดันไฟฟ้า 1-5 Vdc สัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 mAdc เป็นต้น

2.1.1.2 ตัวควบคุม (Controller)

เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุม เพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้ระบบหรือกระบวนการที่ต้องการควบคุมมีผลตอบสนองหรือสัญญาณ Output เป็นไปตามต้องการ

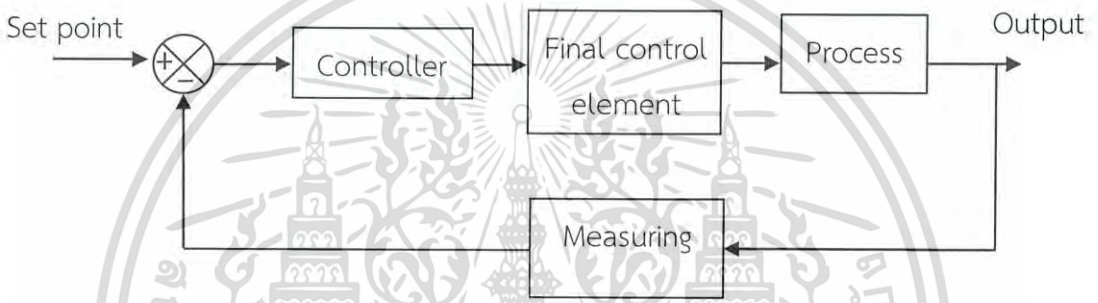
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3 กระบวนการ (Process)

ระบบ หรือ กระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการจะควบคุมให้มีสถานะเป็นไปตามที่ต้องการ เช่น กระบวนการควบคุมระบบแขนกลในโรงงาน กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น โดยสถานะของกระบวนการสามารถแสดงด้วยตัวแปรกระบวนการ (Process Variable: PV)

2.1.1.4 อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element)

อุปกรณ์ หรือ เครื่องมือที่ทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนสภาวะของกระบวนการด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับกระบวนการ (Manipulated Variable: MV) ตามคำสั่งหรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับมาจากตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น วาล์วควบคุม (Control Valve) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นต้น



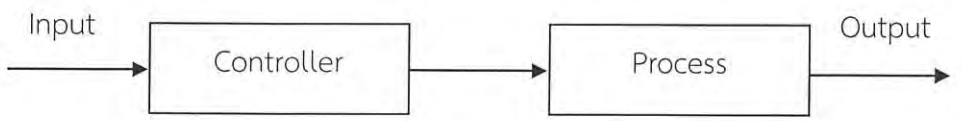
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบควบคุม

2.1.2 ประเภทของระบบควบคุม

ระบบควบคุมแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System) และระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System) [5]

2.1.2.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open Loop Control System)

ระบบควบคุมแบบเปิดเป็นระบบควบคุมที่ Output ของระบบจะไม่มีผลต่อการควบคุมเลยนั้น คือในการควบคุมแบบเปิด Output ของระบบจะไม่ถูกวัดหรือป้อนกลับมาเพื่อเปรียบเทียบกับ Input สามารถแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบเปิดในระบบควบคุมแบบเปิดนั้น Output ไม่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับ Input ดังนั้นความเที่ยงตรงของระบบจะขึ้นอยู่กับการปรับเทียบ (Calibrate) ในทางปฏิบัติแล้วจะสามารใช้การควบคุมแบบเปิดได้ ถ้าทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Input และ Output ของระบบโดยที่จะต้องไม่มี Internal Disturbance และ External Disturbance เท่านั้น [5]

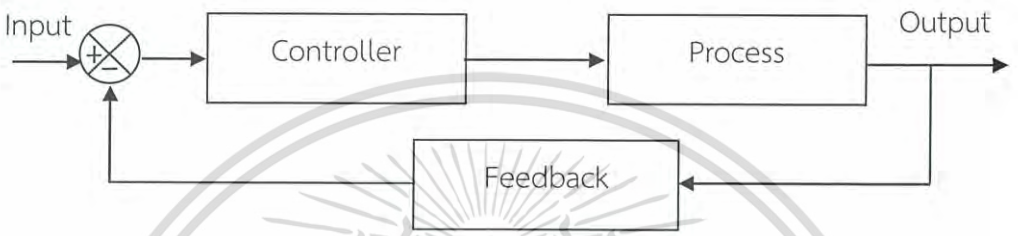


รูปที่ 2.3 แผ่นผังระบบควบคุมแบบเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Close Loop Control System)

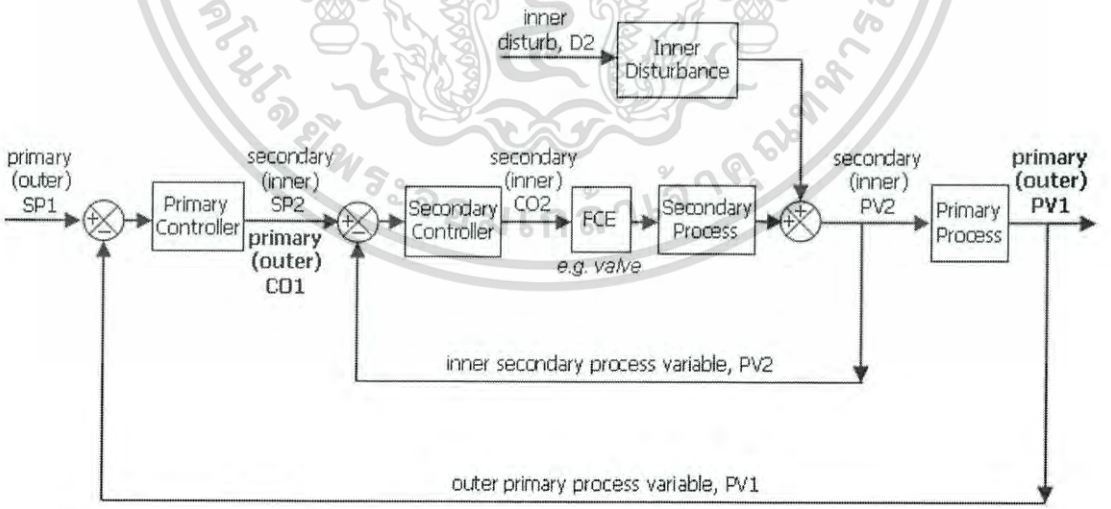
ระบบควบคุมแบบปิดหรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ เป็นระบบควบคุมแบบหนึ่งซึ่งสัญญาณ Output มีผลโดยตรงต่อการควบคุมสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อน (Actuating Error Signal) ซึ่งเป็นสัญญาณแตกต่างระหว่างสัญญาณ Input กับสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) จะถูกส่งให้กับตัวควบคุม (Controller) เพื่อที่จะลดค่าความคลาดเคลื่อนให้น้อยลงและทำให้ Output ของระบบมีค่าตามที่ต้องการสัญญาณป้อนกลับนี้อาจเป็นสัญญาณ Output โดยตรงหรือเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชั่นของสัญญาณ Output หรือเป็นค่าอนุพันธ์ของสัญญาณ Output ก็ได้ [5]



รูปที่ 2.4 แผนผังระบบควบคุมแบบปิด

2.2 การควบคุมแบบคาสเคด (Cascade Control)

การควบคุมที่นำค่า Output จาก ตัวควบคุมหลักไปเป็น Input หรือ Set Point ให้กับตัวควบคุมรองหรือมองอีกแง่หนึ่ง คือการซ้อนการควบคุมแบบป้อนกลับไว้ภายในการควบคุมแบบป้อนกลับอีกตัวซึ่งสามารถลดผลกระทบจากการรบกวนตัวแปรควบคุมหลักได้ดีกว่าการควบคุมลูปปิด [15]



รูปที่ 2.5 แผนผังการควบคุมแบบคาสเคด

จากแผนผังจะเห็นว่าค่า Output จากตัวควบคุมหลัก (CO1) จะกลายไปเป็นค่าเป้าหมายของตัวควบคุมรอง (SP2) ตัวควบคุมส่วนใน (Inner Loop) มีชื่อเรียกว่าตัวควบคุมรอง (Secondary Controlled หรือ Slave Controlled) จะวัดค่า Secondary Variable และประมวลผลโดยใช้ค่า Set Point จาก Output ของตัวควบคุมหลัก (Primary Controlled หรือ Master Controlled) ส่วนตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมหลัก (Primary Controlled) จะวัดค่าตัวแปรควบคุม (Controlled Variable) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย การแบ่งกระบวนการออกเป็นสองส่วน คือ กระบวนการหลักและกระบวนการรองซึ่งจะทำให้เกิดกระบวนการล่าช้า (Process Lag) เป็นการทำให้การควบคุมนั้นง่ายขึ้น เพราะว่าเมื่อ Secondary Variable เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าเป้าหมายนั้นตัวควบคุมรองจะแก้ไขในทันทีโดยที่ค่าความผิดพลาดกระบวนการหลัก (Primary Process Variable Error) นั้นยังไม่ทันจะเกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมกระบวนการที่มี Time Lag ได้ง่ายขึ้น การควบคุมแบบคาสเคดเหมาะที่จะใช้ในการควบคุมกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงค่อนข้างช้า

2.2.1 ข้อดีของการควบคุมแบบคาสเคด

1. ควบคุมกระบวนการให้เข้าสู่ Set Point ได้เร็วขึ้นเมื่อมีสิ่งรบกวนกับกระบวนการ
2. ลดผลกระทบจากสิ่งรบกวนที่มีต่อตัวแปรควบคุมหลักได้ดีกว่าการควบคุมลูปปิด
3. สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการควบคุมแบบ Dynamic ได้

2.2.2 ข้อเสียของการควบคุมแบบคาสเคด

1. การปรับค่าพารามิเตอร์ในตัวควบคุมทำได้ยากกว่าการควบคุมแบบลูปปิด
2. การควบคุมมีความซับซ้อนมากกว่าการควบคุมแบบลูปปิด
3. มีค่าใช้จ่ายสูงเพราะต้องใช้อุปกรณ์ในการควบคุมมากขึ้น

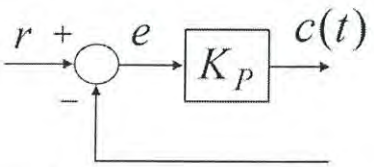
2.3 ตัวควบคุม (Controller)

ตัวควบคุมที่ใช้ในกระบวนการควบคุมส่วนมากแล้วจะเป็นตัวควบคุมแบบป้อนกลับ ซึ่งโดยปกติสัญญาณจากอุปกรณ์การวัดจะถูกคำนวณปรับค่าให้เหมาะสมต่อตัวควบคุม อาศัยความผิดพลาดจากความแตกต่างระหว่างค่าตัวแปรของระบบกับสัญญาณอ้างอิง [11]

2.3.1 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Controller)

ตัวควบคุมแบบสัดส่วน ตัวควบคุมชนิดนี้จะนำค่าสัญญาณความผิดพลาดระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณ Output มาเป็น Input ของตัวควบคุม จากนั้นตัวควบคุมจะทำการสร้างสัญญาณ Output ด้วยการขยายสัญญาณความผิดพลาดดังกล่าวด้วยค่าเกนของตัวควบคุม ทำให้เพิ่มความเร็วในการตอบสนองของระบบ ลดค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ของระบบการทำงาน [11]

$$c(t) = K_P e(t) \tag{2.1}$$



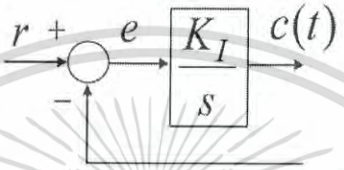
รูปที่ 2.6 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Controller)

ตัวควบคุมแบบปริพันธ์ ตัวควบคุมแบบนี้จะนำเอาค่าสัญญาณความผิดพลาดระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณ Output มาเป็น Input ของตัวควบคุมแล้วตัวควบคุมจะทำการสร้างสัญญาณ Output ด้วยการอินทิเกรตค่าสัญญาณความผิดพลาดดังกล่าว และคูณด้วยค่าเกนของตัวควบคุม โดยจะทำให้ค่าความผิดพลาดที่สถานะคงที่ของระบบลดต่ำลงจนสามารถกลับสู่สภาวะปกติ มีผลให้ความเร็วในการตอบสนองของระบบลดลง ทำให้เสถียรภาพของระบบลดลง [11]

$$c(t) = K_I \int e(t)dt \tag{2.2}$$

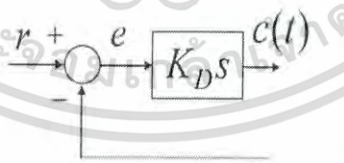


รูปที่ 2.7 ตัวควบคุมแบบปริพันธ์

2.3.3 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Controller)

ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ ตัวควบคุมแบบนี้จะนำเอาสัญญาณความผิดพลาดระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับสัญญาณ Output มาเป็น Input ของตัวควบคุม แล้วตัวควบคุมจะทำการสร้างสัญญาณ Output ด้วยการอนุพันธ์สัญญาณความผิดพลาดข้างต้น แล้วคูณด้วยค่าเกนของตัวควบคุม ทำให้ระบบสามารถทำงานอย่างมีเสถียรภาพมากขึ้น และเพิ่มค่าอัตราส่วนความหน่วงให้กับระบบการทำงาน [11]

$$c(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \tag{2.3}$$



รูปที่ 2.8 ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์

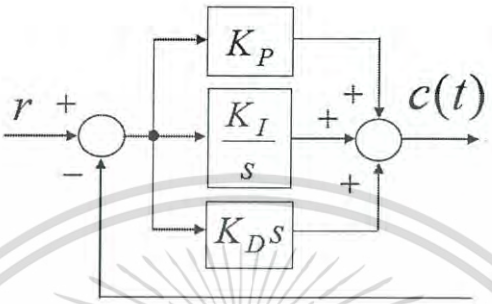
2.3.4 ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Control)

ตัวควบคุมแบบพีไอดี เป็นตัวควบคุมที่พบบ่อยมากที่สุดในงานอุตสาหกรรมทั่วไปเพราะเป็นตัวควบคุมที่สามารถใช้งานได้ง่าย การปรับค่าเกนอาศัยหลักการที่ไม่ได้ซับซ้อนอะไรมากนักก็ให้ผลตอบสนองเป็นที่ยอมรับได้ สามารถปรับแต่งการควบคุมได้ง่ายตามการใช้งาน ระบบควบคุมแบบพีไอดีมีตัวควบคุมย่อยทั้งหมด 3 ตัว คือตัวควบคุมแบบสัดส่วนเป็นส่วนปฏิกิริยาต่อความผิดพลาด ณ ขณะนั้น ตัวควบคุมแบบปริพันธ์จะเป็นส่วนปฏิกิริยาที่เกิดจากผลรวมของค่าความผิดพลาด โดยตลอดเวลาที่ผ่านมา ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์เป็นส่วนปฏิกิริยาที่เกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดพลาด ผลรวมตามน้ำหนัก ของทั้งสาม ซึ่งปรับแต่งโดยค่าคงที่ K_P, K_I และ K_D เพื่อให้ได้การตอบสนองที่ต้องการ จะถูกนำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการต่างๆ [11]

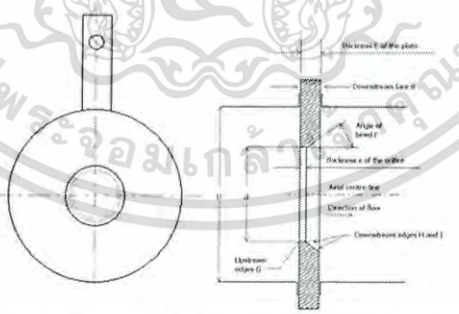
$$c(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t)dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \tag{2.4}$$



รูปที่ 2.9 ตัวควบคุมแบบพีไอดี

2.4 แผ่นออริฟิส (Orifice Plate)

แผ่นออริฟิสเป็นอุปกรณ์วัดอัตราการไหลพื้นฐานมีการใช้งานมาอย่างยาวนาน ในปัจจุบันเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้ภายในอุตสาหกรรม เนื่องจากติดตั้งได้ง่าย มีความแข็งแรงทนทาน มีความน่าเชื่อถือในการวัดอัตราการไหลพอสมควร ลักษณะโครงสร้างของแผ่นออริฟิสจะเป็นแผ่นโลหะที่มีช่องอยู่ตรงกลาง บางชนิดช่องอาจจะอยู่ตรงศูนย์กลาง บางชนิดเยื้องจากจุดศูนย์กลาง โดยการเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของของไหลที่ต้องการวัด [7]



รูปที่ 2.10 แผ่นออริฟิส ตามมาตรฐาน ISO 5167

หลักการใช้งานแผ่นออริฟิสเพื่อวัดอัตราการไหล นำแผ่นออริฟิสไปติดตั้งภายในท่อปิดที่มีของไหลไหลผ่านในลักษณะกีดขวางการไหล เมื่อของไหลภายในท่อไหลมากระทบกับแผ่นออริฟิส จะมีบางส่วนที่ไหลผ่านช่องแผ่นออริฟิสออกไปได้ ทำให้เกิดความดันแตกต่างขึ้นที่บริเวณด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นออริฟิสซึ่งมีค่าความดันไม่เท่ากัน ความดันด้านหน้าของแผ่นออริฟิสจะมีค่าสูง กว่าความดันด้านหลัง เป็นผลมาจากการสูญเสียความดันขณะที่ของไหลพยายามไหลผ่านสิ่งกีดขวาง ค่าความดันแตกต่างขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและขนาดช่องของแผ่นออริฟิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นออริฟิส ตามมาตรฐาน ISO 5167 มีการระบุไว้ดังนี้ ช่องด้านหลังของแผ่นออริฟิส ควรมีมุมของความชันหรือความลาดเอียงประมาณ 45±15 องศา เพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น จากการไหลและทำให้ของไหลไหลได้อย่างสะดวกเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาของขอบในออริฟิส (Thickness of the Orifice: e) ควรอยู่ระหว่าง 0.005D ถึง 0.02D และค่าความหนาของแผ่น ออริฟิส (Thickness of the Plate: E) ควรอยู่ระหว่าง e ถึง 0.05D

ในการออกแบบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางช่องของแผ่นออริฟิส (Bore Diameter: d) ควรจะมีขนาด 12.5 มิลลิเมตรเป็นอย่างน้อย อัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางช่องของแผ่นออริฟิสกับเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อหรือค่าเบต้า (β ratio) ควรจะมีค่าระหว่าง 0.1 ถึง 0.75 แต่ค่านี้ขึ้นอยู่ กับการเลือกของผู้ใช้งาน

$$\beta = \frac{d}{D} \tag{2.5}$$

เมื่อ d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางช่องของแผ่นออริฟิส

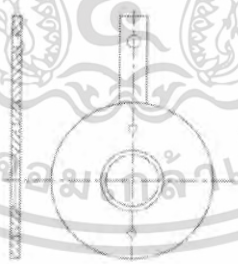
D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ

2.4.1 ชนิดของแผ่นออริฟิส

แผ่นออริฟิสมี 4 ชนิด ดังต่อไปนี้

2.4.1.1 แผ่นออริฟิสแบบศูนย์กลางร่วม (Concentric Orifice)

แผ่นออริฟิสแบบศูนย์กลางร่วมเป็นชนิดพื้นฐานของแผ่นออริฟิส มีการใช้งานทั่วไปในอุตสาหกรรมมากที่สุด สามารถนำไปใช้กับของไหลได้เกือบทุกประเภท ยกเว้น ของไหลที่มีสารแขวนลอย มีส่วนผสมของสิ่งสกปรกหรือของแข็งและของไหลที่มีความหนืดสูง [7]

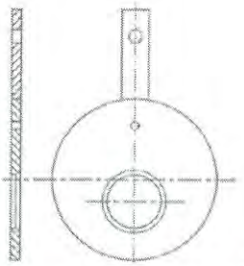


รูปที่ 2.11 แผ่นออริฟิสแบบศูนย์กลางร่วม

2.4.1.2 แผ่นออริฟิสแบบเยื้องศูนย์ (Eccentric Orifice)

แผ่นออริฟิสแบบนี้จะมีรูเยื้องลงมาทางด้านล่างของแผ่นออริฟิสที่ติดตั้งอยู่ในท่อ เพื่อลดการตกค้างของสารแขวนลอยหรือการตกตะกอนที่บริเวณด้านหน้าของแผ่นออริฟิส เหมาะสำหรับของไหลที่มีสารแขวนลอย มีส่วนผสมของสิ่งสกปรกหรือของแข็ง [7]

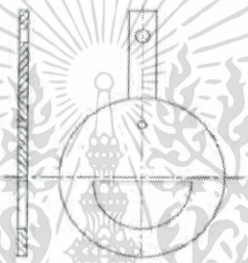
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แผ่นออริฟิสแบบเยื้องศูนย์

2.4.1.3 **แผ่นออริฟิสแบบเซกเมนต์ (Segmental Orifice)**

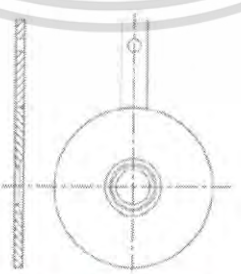
แผ่นออริฟิสชนิดนี้มีลักษณะเป็นช่องครึ่งวงกลม อาจจะถูกติดตั้งอยู่ด้านบนหรือด้านล่างก็ได้ เหมาะสำหรับของไหลที่มีสารแขวนลอย มีส่วนผสมของสิ่งสกปรกหรือของแข็ง [7]



รูปที่ 2.13 แผ่นออริฟิสแบบเซกเมนต์

2.4.1.4 **แผ่นออริฟิสแบบเผยปากเป็นรูปโค้ง (Quadrant Orifice)**

แผ่นออริฟิสแบบนี้รูทางด้านเข้าจะเอียงประมาณ 1/4 ของวงกลมและเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับของไหลที่มีความหนืดสูงๆ ในบางครั้งแผ่นออริฟิส (Orifice Plate) จะมีช่องเล็กๆอยู่ 2 ช่อง เพื่อเป็นช่องทางผ่านของไอน้ำหรือก๊าซ โดยรูที่อยู่ด้านล่าง เรียกว่า “Drain Hole” ถูกใช้ในกรณีวัดก๊าซที่มีของเหลวปะปน ส่วนรูที่อยู่ด้านบน เรียกว่า “Vent Hole” ถูกใช้ในกรณีที่ต้องการวัดของเหลวแต่มีก๊าซปะปนมา [7]



รูปที่ 2.14 แผ่นออริฟิสแบบเผยปากเป็นรูปโค้ง

2.4.2 **รูปแบบจุดต่อสำหรับวัดค่าความดัน (Pressure Tappings)**

ในการใช้งานแผ่นออริฟิสซึ่งใช้หลักการความดันแตกต่าง เพื่อนำมาคำนวณหาค่าอัตราการไหลต้องมีจุดต่อสำหรับวัดค่าความดันแตกต่างทั้งทางด้านหน้าหรือ Upstream และทางด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ Downstream เพื่อนำไปต่อเข้ากับอุปกรณ์สำหรับวัดค่าความดันแตกต่างซึ่งก็คือ ทรานส์มิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter) ตามมาตรฐานรูปแบบจุดต่อสำหรับวัดค่าความดันมี 3 รูปแบบ [7]

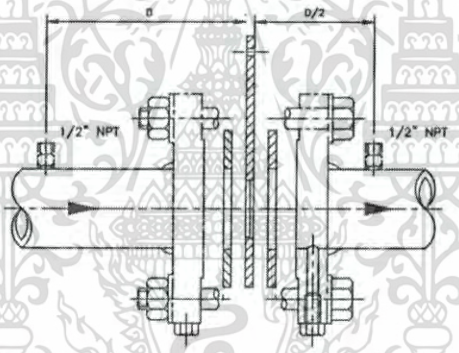
2.4.2.1 จุดต่อวัดความดันที่ระยะ D และ 0.5D (D and D/2 Tappings)

จุดต่อแบบนี้จะอยู่ที่ตัวท่อ โดยจุดต่อความดันด้าน Upstream จะวัดจากทางด้านหน้าของแผ่นออริฟิสเป็นระยะ 1D และจุดต่อความดันด้าน Downstream จะวัดจากทางด้านหลังของแผ่นออริฟิสเป็นระยะ 0.5D เมื่อ D คือเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ระยะของจุดต่อวัดความดันอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อย ดังต่อไปนี้

ในกรณีของด้าน Upstream จุดต่อความดันอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นค่าที่อยู่ระหว่าง 0.9D และ 1.1D และในกรณีของด้าน Downstream จุดต่อความดันอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับค่าเบต้า (β) [7]

$\beta \leq 0.6$ ระยะจุดต่อความดันอยู่ระหว่าง 0.48D และ 0.52D

$\beta > 0.6$ ระยะจุดต่อความดันอยู่ระหว่าง 0.49D และ 0.51D



ภาพที่ 2.15 จุดต่อวัดความดันที่ระยะ D และ 0.5D

2.4.2.2 จุดต่อวัดความดันที่หน้าแปลน (Flange Tappings)

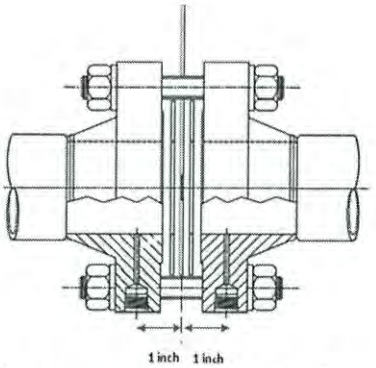
จุดต่อแบบนี้จะอยู่ที่หน้าแปลน โดยจุดต่อความดันทางด้าน Upstream จะถูกวัดจากทางด้านหน้าของแผ่นออริฟิสเป็นระยะ 1 นิ้ว หรือ 25.4 มิลลิเมตร ส่วนจุดต่อความดันทางด้าน Downstream จะถูกวัดจากทางด้านหลังของแผ่นออริฟิสเป็นระยะ 1 นิ้ว หรือ 25.4 มิลลิเมตรเช่นเดียวกัน ระยะของจุดต่อความดันอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับค่าเบต้า (β) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ (D) [7]

$\beta > 0.6$ และ $D < 150$ mm ระยะจุดต่อความดันทั้งทางด้าน Upstream และ Downstream เป็นระยะ 25.4 มิลลิเมตร ± 0.5 มิลลิเมตร

$\beta \leq 0.6$ หรือ $\beta > 0.6$ แต่ 150 mm $< D <$ 1000 mm ระยะจุดต่อความดันทั้งทางด้าน Upstream และ Downstream เป็นระยะ 25.4 มิลลิเมตร ± 1 มิลลิเมตร

ในทางอุตสาหกรรม รูปแบบจุดต่อความดันนี้ถูกใช้งานมากที่สุด เนื่องจากติดตั้งได้ง่าย

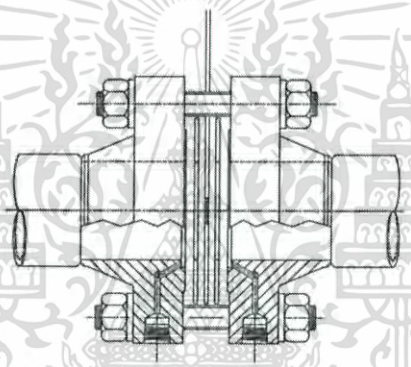
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.16 จุดต่อวัดความดันที่หน้าแปลน

2.4.2.3 **จุดต่อวัดความดันที่แผ่นออริฟิส (Corner Tappings)**

จุดต่อแบบนี้จะอยู่ที่หน้าแปลน ซึ่งติดอยู่กับแผ่นออริฟิสทั้งทางด้านหน้าและทางด้านหลัง เหมาะสมสำหรับท่อที่มีขนาดน้อยกว่า 3 นิ้ว [7]



ภาพที่ 2.17 จุดต่อวัดความดันที่แผ่นออริฟิส

2.5 ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter)

การวัดความดันแตกต่างนิยมใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ในการวัดระดับของเหลว หรือใช้วัดอัตราการไหล เป็นต้น อุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันแตกต่างมักจะอยู่ในรูปแคปซูล เรียกว่า Differential Pressure Cell เมื่อนำ Differential Pressure Cell มาใช้งานร่วมกับทรานสมิตเตอร์จะเรียกว่า Differential Pressure Transmitter โดยในตัว Differential Pressure Cell นั้นจะมีอาศัยหลักการ เช่น การเปลี่ยนแปลงค่าความจุ การเปลี่ยนแปลงความถี่รีโซแนนท์ เป็นต้น ทรานสมิตเตอร์จะให้ Output เป็นสัญญาณมาตรฐาน 4 – 20 mA หรือ 1 – 5 V และส่งสัญญาณไปยังตัวควบคุมหรือแสดงค่าเพื่อตรวจสอบกระบวนการ [8]

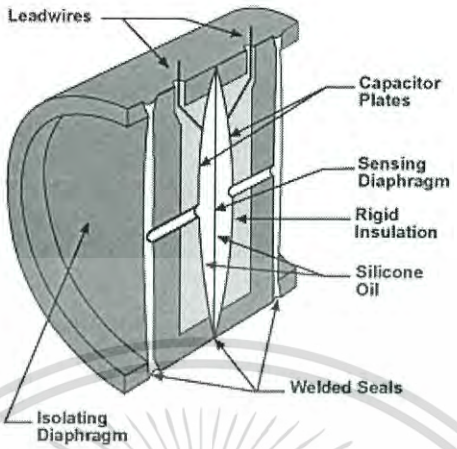
2.5.1 ชนิดของทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง

2.5.1.1 ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างชนิดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุ

หลักการคือ การเปลี่ยนแปลงค่าความดันแตกต่างไปเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าความจุแล้ววัดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุ เมื่อมีค่าของความดันที่แตกต่างกันมากระทำที่ Isolating Diaphragm ทำให้ Capacitor Plates เคลื่อนที่เข้าหา Sensing Diaphragm ทำให้เกิดระยะระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

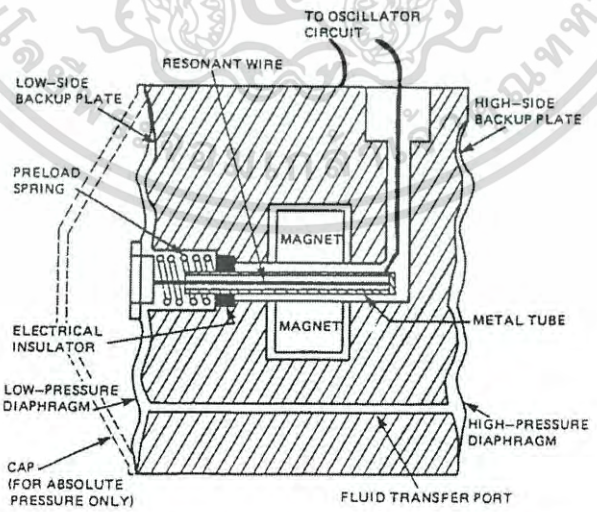
Capacitor Plates กับ Sensing Diaphragm เป็นผลทำให้ค่าความจุเปลี่ยนแปลงเมื่อมีความดันแตกต่างมากระทำ [8]



ภาพที่ 2.18 ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างชนิดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุ

2.5.1.2 ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างชนิดการเปลี่ยนแปลงความถี่รีโซแนนท์

หลักการคือการเปลี่ยนแปลงค่าความดันแตกต่างไป เป็นค่าความตึงของเส้นลวด และทำให้ค่าความถี่รีโซแนนท์ของเส้นลวดเปลี่ยนแปลงไป ถ้าไม่มีความดันแตกต่างมากระทำที่ Diaphragm เส้นลวดรีโซแนนท์จะรับแรงตึงโดยสปริงเป็นตัวกำหนดค่าความตึงเริ่มต้น เมื่อมีค่าความดันแตกต่างมากระทำที่ Diaphragm จะทำให้น้ำมันซิลิโคนที่บรรจุไว้ภายในมีความดันเพิ่มมากขึ้น และเคลื่อนที่ผ่าน Fluid Transfer Port ทำให้เส้นลวดรีโซแนนท์ตึงมากขึ้น และความถี่รีโซแนนท์ของเส้นลวดเพิ่มขึ้น [8]

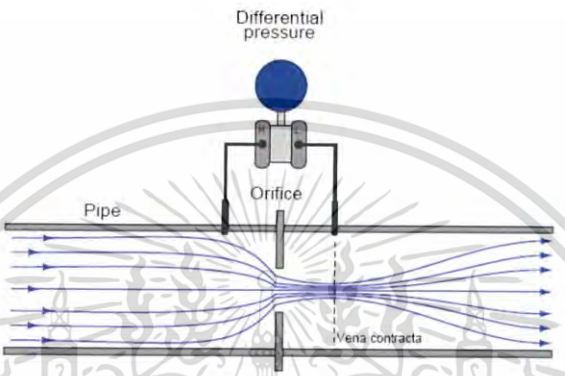


ภาพที่ 2.19 ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างชนิดการเปลี่ยนแปลงความถี่รีโซแนนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างใช้วัดอัตราการไหล

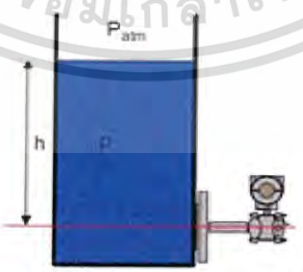
การวัดอัตราการไหลของของเหลว โดยใช้ Differential Pressure Transmitter ต่อร่วมกับ Orifice Plate จะใช้หลักการวัดค่าความดันแตกต่างที่ตกคร่อม Orifice Plate โดยต่อด้าน High Pressure ของ Differential Pressure Transmitter ที่ด้านขาเข้าของ Orifice Plate และต่อด้าน Low Pressure ของ Differential Pressure Transmitter ที่ด้านขาออกของ Orifice Plate สามารถหาอัตราการไหลได้เป็นไปตามสมการ $Q = K\sqrt{\Delta P}$ จะเห็นได้ว่าอัตราการไหลแปรผันตรงกับความดันแตกต่าง [16]



ภาพที่ 2.20 ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างต่อร่วมกับแผ่นออริฟิส

2.5.3 ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างใช้วัดระดับในถังเปิด

การวัดระดับของเหลว โดยใช้ Differential Pressure Transmitter จะใช้หลักการวัดค่าความดันแตกต่างระหว่างความดันก้นถังเทียบกับความดันบรรยากาศในกรณีที่เป็นถังเปิด โดยต่อด้าน High Pressure ของ Differential Pressure Transmitter เข้าที่ก้นถัง และต่อด้าน Low Pressure ของ Differential Pressure Transmitter เข้ากับความดันบรรยากาศโดยสามารถหาความสูงของของเหลวได้เป็นไปตามสมการ $\Delta P = \rho gh$ จะเห็นได้ว่าความสูงของของเหลวแปรผันตรงกับความดันแตกต่าง [17]



ภาพที่ 2.21 ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างต่อเข้ากับถังเปิด

2.6 พีแอลซี (PLC : Programmable Logic Controller)

โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable Logic Controller : PLC) เป็นอุปกรณ์ที่คิดค้นขึ้นมา เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรหรือระบบต่างๆแทนวงจรรีเลย์แบบเก่า ซึ่งวงจรรีเลย์มีข้อเสียคือ การเดินสาย และการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการควบคุมมีความยุ่งยาก และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อใช้งานไปนานๆ หน้าสัมผัสของรีเลย์จะเสื่อม ดังนั้นปัจจุบัน PLC จึงเข้ามาทดแทนวงจรรีเลย์ เพราะ PLC ใช้งานได้ง่ายกว่า สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์ Input / Output ได้โดยตรง หลังจากนั้นเพียงแต่เขียนโปรแกรมควบคุมก็สามารถใช้งานได้ทันที ถ้าต้องการจะเปลี่ยนเงื่อนไขใหม่ สามารถทำได้โดยเปลี่ยนแปลงโปรแกรมเท่านั้น [10]

PLC ยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่นเครื่องอ่านบาร์โค้ด (Barcode Reader), เครื่องพิมพ์ (Printer) เป็นต้น ปัจจุบันนอกจาก PLC จะใช้งานแบบเดี่ยว (Stand Alone) แล้วยังสามารถต่อ PLC หลายๆตัวเข้าด้วยกัน (Network) เพื่อควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จะเห็นได้ว่าการใช้งาน PLC มีความยืดหยุ่นมากกว่าการใช้งานวงจรรีเลย์แบบเก่า ดังนั้นในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆจึงเปลี่ยนมาใช้ PLC มากขึ้น

2.6.1 ส่วนประกอบของ PLC

PLC แบ่งส่วนประกอบออกเป็น 5 ส่วน คือ ซีพียู (CPU: Central Process Unit) หน่วยความจำ (Memory Unit) ภาคอินพุต (Input Unit) ภาคเอาต์พุต (Output Unit) ภาคแหล่งจ่ายพลังงาน (Power Supply Unit) และเมื่อทั้ง 5 ส่วนประกอบเข้าด้วยกันแล้วจะกลายเป็น PLC ชุดหนึ่งที่สามารถทำงานได้ โดยแต่ละยูนิตจะมีหน้าที่และคุณสมบัติดังนี้ [10]

2.6.1.1 ซีพียู (CPU : Central Process Unit)

ซีพียูหรือหน่วยประมวลผลกลาง ทำหน้าที่ประมวลผลการทำงานตามคำสั่งของส่วนต่างๆ ตามที่ได้รับมา ผลจากการประมวลผลก็จะถูกส่งออกไปส่วนต่างๆ ตามที่ระบุไว้ด้วยคำสั่งนั่นเองซีพียูจะใช้เวลาในการประมวลช้าหรือเร็ว ขึ้นอยู่กับการเลือกขนาดของซีพียู และขนาดของโปรแกรมด้วย ปกติแล้วซีพียูจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ขนาดตั้งแต่ 4 บิต, 8 บิต, 16 บิต, 32 บิต, 64 บิต หรือ 128 บิต มาทำงาน โดยที่ซีพียูแต่ละขนาดก็จะมีความสามารถจำกัดไม่เท่ากัน จึงทำให้ PLC ในแต่ละรุ่นมีความสามารถต่างกันนั่นเอง หรือแม้กระทั่งว่าภายใน PLC บางรุ่นจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ถึง 2 ตัวช่วยกันทำงาน เวลาการประมวลผลก็จะเร็วกว่า PLC ที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เพียงแค่ ตัวเดียว

2.6.1.2 หน่วยความจำ (Memory Unit)

หน่วยความจำของ PLC เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บโปรแกรมและข้อมูลต่างๆ ของ PLC กรณีที่สั่ง RUN PLC ก็จะนำเอาโปรแกรมและข้อมูลในหน่วยความจำมาประมวลผลการทำงาน สำหรับหน่วยความจำที่ใช้งานของ PLC มีด้วยกัน 2 แบบคือ หน่วยความจำชั่วคราว (RAM: Random Access Memory) และ หน่วยความจำถาวร (ROM: Read Only Memory)

2.6.1.3 ภาคอินพุต (Input Unit)

ภาคอินพุตของ PLC ทำหน้าที่รับสัญญาณ Input เข้ามาแปลงสัญญาณ ส่งเข้าไปภายใน PLC อุปกรณ์ (Input Device) ต่างๆ ที่นำมาต่อกับภาคอินพุตของ PLC อุปกรณ์บางกลุ่มจะมีสัญญาณทั้ง Input / Output เช่น Inverter, Digital Signal, Controller, ตัวควบคุมอุณหภูมิ, เซนเซอร์รุ่นพิเศษ เป็นต้น จำเป็นต้องต่อใช้งานให้ถูกต้อง

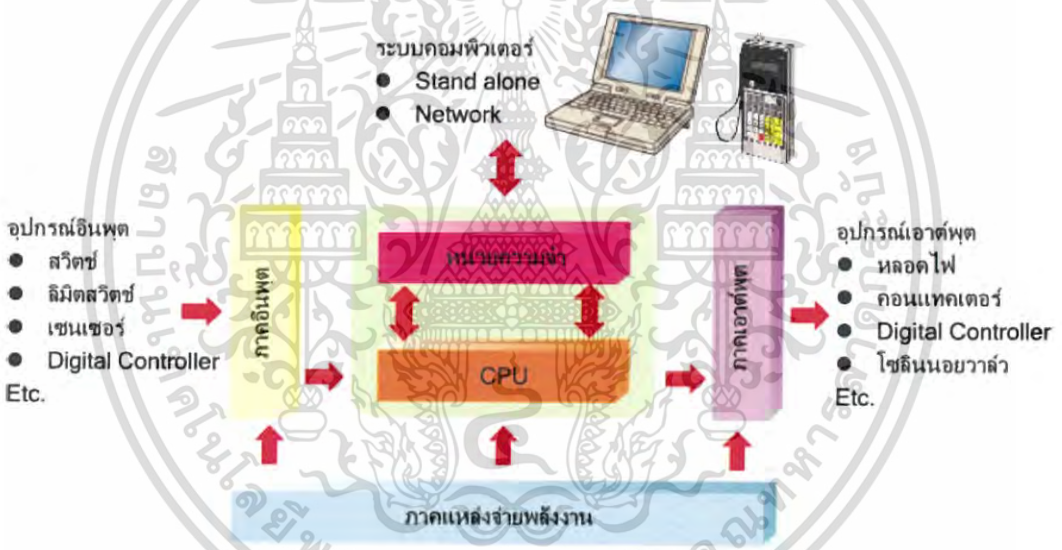
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.4 ภาคเอาต์พุต (Output Unit)

ภาคเอาต์พุตของ PLC ทำหน้าที่ส่งสัญญาณออกไปขับโหลดชนิดต่างๆ ตามเงื่อนไขที่ได้ โปรแกรมเอาไว้ ภาคเอาต์พุตมีทั้งที่เป็นดิจิตอลเอาต์พุต (Digital Output) ที่มีสัญญาณควบคุมเป็นเปิดหรือปิด และอนาลอกเอาต์พุต (Analog Output) ที่มีสัญญาณควบคุมมาตรฐานที่เป็นแรงดันและกระแส คือสัญญาณ 0-10 Vdc, ±10 Vdc และ 1-5 V (4-20mA)

2.6.1.5 ภาคแหล่งจ่ายพลังงาน (Power Supply Unit)

ภาคแหล่งจ่ายพลังงาน จะทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ภายใน PLC ได้แก่อุปกรณ์ไอซี, ไฟเลี้ยงวงจรกำหนดการทำงานแบบต่างๆ แหล่งจ่ายพลังงานของ PLC จะแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดหนึ่งสำหรับอุปกรณ์และวงจรภายในแต่ละโมดูลต่างๆ ของ PLC อีกชุดหนึ่งเป็นตัวจ่ายพลังงาน (Service Unit 24Vdc) 24Vdc สำหรับการต่อวงจรภาคอินพุต หรือภาคเอาต์พุตก็ได้ โดยปกติแล้วชุดบริการ 24Vdc ชุดนี้จะจ่ายกระแสได้ค่อนข้างต่ำ ไม่เหมาะสำหรับนำไปจ่ายโหลดที่ดึงกระแสสูง ส่วนมากจะนำไปต่อใช้งานเฉพาะวงจรภาคอินพุต PLC



รูปที่ 2.22 โครงสร้างภายใน PLC

2.6.2 ประเภทของ PLC

PLC สามารถจำแนกประเภทตามโครงได้ 2 ชนิดดังนี้ [10]

2.6.2.1 PLC ชนิดบล็อก (Block Type PLC)

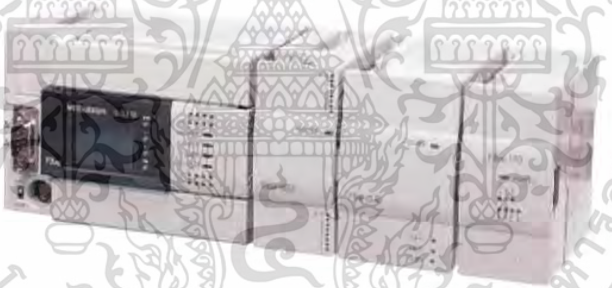
PLC ประเภทนี้ จะรวมส่วนประกอบทั้งหมดของ PLC อยู่ในบล็อกเดียวกัน ไม่ว่าจะเป็น ตัวประมวลผล หน่วยความจำ ภาคอินพุต/เอาต์พุต และแหล่งจ่ายไฟ ใช้งานได้ง่ายเหมาะกับกระบวนการควบคุมที่มีขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.23 PLC ชนิดบล็อก

2.6.2.2 PLC ชนิดโมดูล (Modular Type PLC) หรือแร็ค (Rack Type PLC)

PLC ชนิดนี้ส่วนประกอบแต่ละชิ้นส่วนสามารถถอดแยกออกจากกันเป็นโมดูล (Modules) เช่น ภาคอินพุต/เอาต์พุต จะอยู่ในส่วนของโมดูลอินพุต/เอาต์พุต (Input/Output Units) ซึ่งสามารถเลือกใช้งานได้ว่าจะใช้โมดูลขนาดกี่ Input / Output ซึ่งมีให้เลือกใช้งานหลายรูปแบบอาจจะใช้ เป็น Input อย่างเดียวขนาด 8 /16 จุด หรือ เป็น Output อย่างเดียวขนาด 4/8/12/16 จุด ขึ้นอยู่กับรุ่นของ PLC ด้วย ส่วนประกอบต่างๆของ PLC ชนิดโมดูล หรือแร็คเมื่อต้องการใช้งาน จะถูกนำมาต่อร่วมกัน บางรุ่นใช้เป็นคอนเนคเตอร์ในการเชื่อมต่อกันระหว่างยูนิต



รูปที่ 2.24 PLC ชนิดโมดูล หรือ แร็ค

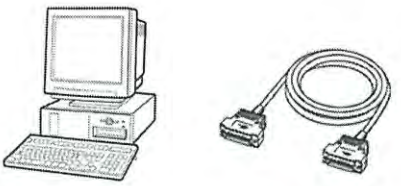
2.6.3 การเชื่อมต่อกับ PLC

การเชื่อมต่อกับ PLC เพื่อรับส่งข้อมูลหรือป้อนคำสั่งให้ PLC กับอุปกรณ์ภายนอกนั้น สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ คอมพิวเตอร์ และ เครื่องป้อนโปรแกรมแบบมือ (Hand Held Programmer) [12]

2.6.3.1 คอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เขียนโปรแกรมเพื่อป้อนคำสั่งให้กับ PLC โดยใช้งานซอฟต์แวร์เฉพาะ PLC แต่ละรุ่น หรือซอฟต์แวร์ที่สามารถติดต่อสื่อสารกับ PLC ได้เช่น OPC Server เป็นต้น PLC สามารถเชื่อมต่อกับ คอมพิวเตอร์โดยผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 หรือ RS-485 ซึ่งเป็นมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมที่นิยมใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับ PLC

2.6.3.2 **เครื่องป้อนโปรแกรมแบบมือ (Hand Held Programmer)**

เครื่องป้อนโปรแกรมแบบมือ สามารถใช้เขียนโปรแกรมเพื่อส่งให้กับ PLC ได้ และสามารถตรวจสอบการทำงานของ PLC ได้ การใช้เครื่องป้อนโปรแกรมแบบมือ มีข้อดีตรงที่มีความสะดวกในการเคลื่อนย้าย สามารถพกพาได้สะดวก เนื่องจากมีขนาดเล็ก แต่ก็มีข้อเสียคือในการใช้งานต้องศึกษาวิธีการใช้งาน ของอุปกรณ์เหล่านี้ว่ามีวิธีการกดอย่างไร ถึงจะสั่งงาน PLC ได้

รูปที่ 2.26 การเชื่อมต่อเครื่องป้อนโปรแกรมแบบมือกับ PLC

2.7 วาล์วควบคุม (Control Valve)

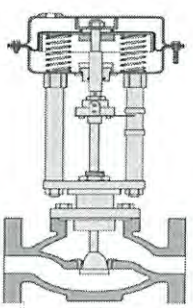
วาล์วควบคุม เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของของไหลในระบบ ซึ่งได้แก่ ไอน้ำ ของเหลว ก๊าซ และสารเคมี โดยจะรับสัญญาณควบคุมจากตัวควบคุมเป็นสัญญาณมาตรฐาน ได้แก่ 4-20 mAdc หรือ 3-15 psi เป็นต้น เพื่อให้การควบคุมเป็นไปอย่างอัตโนมัติ [9]

2.7.1 ประเภทของวาล์วควบคุม

สามารถแบ่งประเภทของวาล์วควบคุม ตามลักษณะการเคลื่อนที่เพื่อเปิดหรือปิดเพื่อให้ของไหลผ่านช่องทางเดิน (Port) ได้เป็น 2 ประเภทได้ดังนี้

2.7.1.1 Linear-Shaft Valve หรือ Linear Motion Type

วาล์วควบคุมชนิดนี้จะมีลักษณะ การเปิด-ปิดของวาล์วที่อยู่ในแนวเส้นตรง (ขึ้น-ลง) ตามแนวดิ่ง ตัวอย่างวาล์วชนิดนี้ที่มีใช้งานมากได้แก่ชนิดที่เป็น Globe Valve

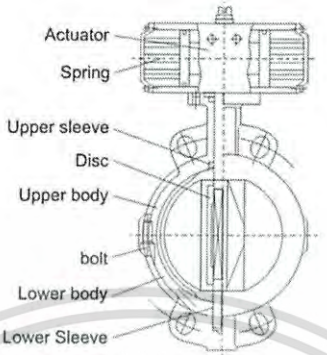


รูปที่ 2.27 Linear-Shaft Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1.2 Rotary-Shaft Valve หรือ Rotary Motion Type

วาล์วควบคุมชนิดนี้จะมีลักษณะการเปิด-ปิดของวาล์วจะเป็นการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นรอบวง ตัวอย่างวาล์วชนิดนี้ได้แก่ Butterfly Valve, Eccentric, Ball Valve



รูปที่ 2.28 Rotary-Shaft Valve

2.7.2 ส่วนประกอบของวาล์วควบคุม

2.7.2.1 Valve Body

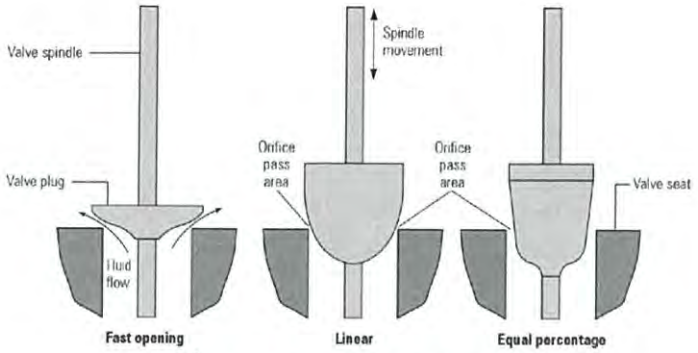
Valve Body ที่ใช้ในระบบควบคุมมีหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบจะมีลักษณะเฉพาะตามความเหมาะสมของการทำงาน โดยทั่วไปชนิดของ Valve Body จะขึ้นอยู่กับการทำงานตามลักษณะการเปิด-ปิดช่องทางเดินของของไหล ส่วนใหญ่ในงานระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรมที่เป็นส่วนของวาล์วควบคุมจะใช้ Valve Body ที่ใช้ Valve Plug เป็นแบบ Globe Valve มากที่สุด สำหรับทิศทางการไหลมีทั้งชนิด Flow-to-Close คือความดันการไหลจะไปดัน Valve Plug เข้าหาบ่าวาล์ว และแบบ Flow-to-Open หมายถึง ความดันการไหลจะดัน Valve Plug ให้ถอยห่างออกจากบ่าวาล์ว โดยชนิดนี้จะนิยมใช้มาก เพราะเป็นชนิดที่ควบคุมให้มีเสถียรภาพได้ดี

2.7.2.2 Valve Trim

Valve Trim เป็นหัวใจหรือส่วนหลักของวาล์วควบคุมทำหน้าที่ คือสร้างพื้นที่การไหล (Orifice Area) ตามสัดส่วนกับการเคลื่อนที่ของ Valve Plug เพื่อให้ได้ Flow Capacity และปิดไม่ให้ของไหลไหลผ่านไปได้ โดยทำร่วมกับ Valve Body, Valve Trim, Actuator, Packing และแรงจากการไหลของของไหลซึ่งขึ้นอยู่กับ Trim

Valve Trim จะเคลื่อนที่ขึ้น-ลง เพื่อควบคุมอัตราการไหลของของไหลและปิดไม่ให้ของไหลไหลผ่าน โดย Valve Plug จะต้องกดลงบน Seat Ring ด้วยแรงกดของก้านวาล์วที่ส่งมาจาก Actuator การควบคุมการไหลยังขึ้นอยู่กับรูปร่างของ Valve Plug เช่น แบบ Linear, Equal-Percentage, Fast Open

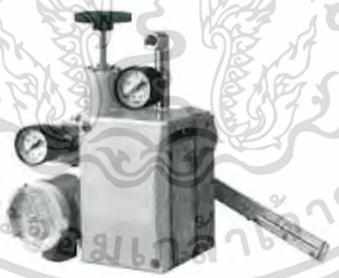
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 Valve Trim ชนิดต่าง ๆ

2.7.2.3 Valve Positioner

การที่จะให้วาล์วควบคุมปิด-เปิดได้ตามตำแหน่งที่ต้องการนั้น วาล์วควบคุมจะต้องมีอุปกรณ์ตัวอื่นมาช่วย เช่น Valve Positioner ในการควบคุมตำแหน่งร่วมกับวาล์วควบคุมอีกทีหนึ่ง ซึ่งในอดีตมีการใช้ตัวควบคุมที่เป็นระบบไฟฟ้า (สัญญาณอนาลอก 4-20 mAdc) แต่วาล์วควบคุมเป็นระบบลม ดังนั้นช่วงแรกๆ จะใช้ตัวแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาลอกมาเป็นสัญญาณลมก่อนซึ่งเรียกว่า Current to Pneumatic Converter เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ใกล้กับวาล์วควบคุมซึ่งเป็นระบบ Open Loop Control ส่วนในการทำงานนั้นจะไม่รู้เลยว่าวาล์วเปิดตามตำแหน่งนั้นจริงหรือไม่ ซึ่งวาล์วควบคุมในสมัยใหม่ จึงพัฒนาให้เป็นแบบการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feed Back Control) โดยมีการตรวจจับค่าของตำแหน่งของก้านวาล์วที่เคลื่อนตัวไปแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย (ได้จากสัญญาณจากตัวควบคุม) เรียกว่า ตัวควบคุมตำแหน่งของวาล์ว (Valve Positioner) ส่วนใหญ่ติดที่ด้านข้างของ Yoke หรือที่ด้านล่างของ Actuator



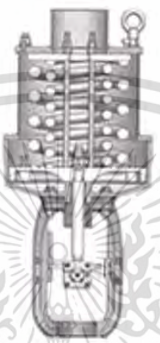
รูปที่ 2.30 Valve Positioner Current to Pneumatic

2.7.2.4 Actuator

Actuator ของวาล์วควบคุมจะเป็นส่วนที่ใช้ในการส่งกำลังเมื่อได้รับสัญญาณควบคุมเพื่อให้ทำการเปิด-ปิดวาล์ว การทำงานของ Actuator นั้นจะเป็นตัวต้นกำลังที่ถูกออกแบบให้ไปขับเคลื่อนก้านวาล์วให้เคลื่อนที่ไปตามความดันที่ส่งผ่านไปที่ส่วนที่เป็นแผ่นไดอะแฟรม (ในกรณีที่เป็นแบบ Diaphragm) หรือแผ่นเพลท (ในกรณีที่เป็นแบบ Cylinder) ซึ่งความดันนี้จะถูกออกแบบมาให้เหมาะสมกับการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.31 Diaphragm Actuator



รูปที่ 2.32 Cylinder Actuator

2.7.3 การเลือกวาล์วควบคุมเพื่อควบคุมอัตราการไหล

1. จะต้องทราบข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบของกระบวนการเช่น ความดัน อุณหภูมิและสภาพการไหล (Flow Condition) และคุณสมบัติของของไหล
2. เลือกรูปแบบ Inherent Flow Characteristic ของบริษัทผู้ผลิตที่แตกต่างกันในรูปร่างของ Valve Trim และเลือกรูปแบบของ Plug และวัสดุที่ใช้ทำ
3. การเปลี่ยนแปลงของ Inherent Flow Characteristic ตามการเปลี่ยนแปลงของ Flow Condition ส่วน Maximum Flow Capacity ขึ้นอยู่กับขนาดของ Port Size
4. การเลือกแบบ Body, Actuator, วัสดุที่ใช้ทำและขนาดกำลังของ Actuator
5. การหาตัวควบคุมตำแหน่งที่เหมาะสมกับช่วงชัก (Stroke) ของวาล์วควบคุม
6. เลือก Class ของวาล์วจะมีผลเกี่ยวกับการรั่วซึมที่ใช้กับกระบวนการที่เป็นก๊าซและน้ำมัน

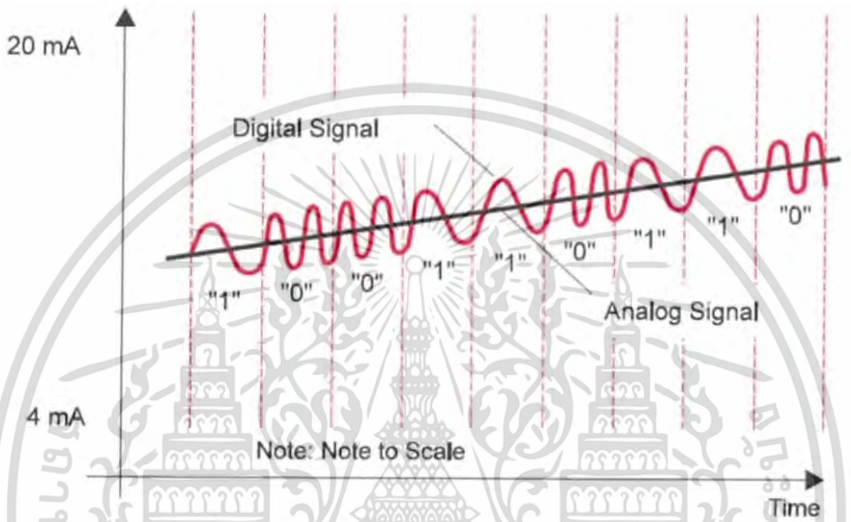
2.8 ฮาร์ทโปรโตคอล (HART Protocol)

HART (Highway Addressable Remote Transducer) เป็นโปโตคอลที่ใช้สื่อสารในกระบวนการควบคุมชนิดหนึ่ง ซึ่งการสื่อสารจะส่งสัญญาณเป็นอนาลอกพร้อมด้วยสัญญาณดิจิตอลไปพร้อมกัน และยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่มีมาตรฐานการส่งสัญญาณ 4 – 20 mA ได้อีกด้วย [13]

โปรโตคอล HART มีพื้นฐานมาจากมาตรฐานของการสื่อสารทางโทรศัพท์ (Bell 202) โดยใช้หลักการมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Shift Keying : FSK) เพื่อให้สัญญาณข้อมูลของค่าทางดิจิตอลเปลี่ยนเป็นสัญญาณความถี่รูปคลื่นไซน์ด้วยแอมพลิจูดของสัญญาณคงที่ ทำให้สัญญาณข้อมูลเปลี่ยนไปตามความถี่ที่แน่นอนด้วยโมเด็ม (Modem) [3] โดยการสร้างสัญญาณข้อมูลจะถูกปรับให้มี

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่สองย่านคือ 1200 เฮิรตซ์และ 2200 เฮิรตซ์ จากการมอดูเลตทางความถี่ซึ่งจะสามารถเปรียบด้วยค่าข้อมูลดิจิตอล 1 และ 0 ตามลำดับ คลื่นสัญญาณข้อมูลรูปไซน์ทั้งสองความถี่จะถูกนำเข้าสู่สายส่งสัญญาณ ซึ่งสัญญาณจะถูกทำให้ทับซ้อนอยู่บนสัญญาณคลื่นพาหะ (Signal Carrier) อนาลอกมาตรฐาน 4-20mA ซึ่งจะช่วยให้สัญญาณมีการสื่อสารข้อมูลแบบสองทิศทางเกิดขึ้นพร้อมกัน ซึ่งสัญญาณการสื่อสารเป็นแบบรูปไซน์ที่ถูกนำมาเข้าสู่สายส่งจะไม่มีผลกระทบต่อสัญญาณอนาลอก ช่วยให้อุปกรณ์มีการใช้โปรโตคอล HART สื่อสารค่าข้อมูลดิจิตอลพร้อมกับการส่งสัญญาณอนาลอกเกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน ทำให้สามารถแก้ไขหรือการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ของอุปกรณ์สนามได้อย่างสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.33 การส่งสัญญาณของ HART Protocol

2.8.1 WirelessHART

Wireless HART หรือ มาตรฐาน IEC62591-1 เป็นการสื่อสารที่อยู่บนพื้นฐาน HART Protocol แต่ใช้เทคโนโลยีไร้สาย อุปกรณ์การวัดที่จะใช้เทคโนโลยีไร้สายได้นั้นจะต้องเป็น Smart Device สามารถให้ข้อมูลของอุปกรณ์การวัดเชิงลึกได้มากขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการควบคุมให้ดีขึ้น อุปกรณ์การวัดที่ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายมีการใช้งานมากขึ้น เนื่องจากประหยัดค่าสายสัญญาณ และลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง [13]

การส่งสัญญาณของ WirelessHART ในงานอุตสาหกรรมแบ่งได้เป็น 2 ระดับคือ 1) Wireless Plant Network ที่มีการรับส่งข้อมูลแบบจุดเชื่อมต่อและการกระจายข้อมูล ทำงานเป็นโครงข่ายทำหน้าที่เชื่อมโยงหรือส่งผ่านข้อมูลจากอุปกรณ์การวัดเข้าสู่ระบบควบคุม ซึ่งอุปกรณ์แต่ละตัวมีความสามารถกระจายสัญญาณเพื่อสร้างเครือข่ายจากระบบออกไปสู่ลูกข่ายที่อยู่ในรัศมี การกระจายสัญญาณของอุปกรณ์ที่กำหนดในวงสื่อสารเดียวกัน 2) Wireless Field Network ใช้เทคโนโลยีแบบไร้สายในย่านความถี่ 2.4 GHz ที่มีเสถียรภาพด้านงานสื่อสารด้วยเทคโนโลยีโครงข่าย (Mesh Topology) ทำให้อุปกรณ์ส่งสัญญาณนั้นสามารถหาเส้นทางที่ดีที่สุดได้ด้วยตัวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.34 โครงสร้าง WirelessHART

2.8.1.1 การส่งข้อมูลเชื่อมต่อเครือข่าย

การส่งข้อมูลเชื่อมต่อเครือข่าย มี 2 ลักษณะคือ แบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) และแบบหลายจุด (Multipoint)

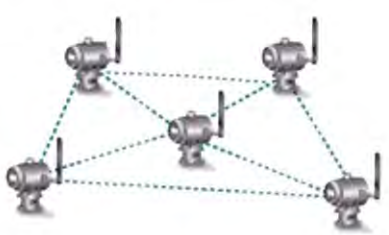
2.8.1.1.1 แบบจุดต่อจุด (Point-to-Point)

การสื่อสารกันของอุปกรณ์สองอุปกรณ์ ซึ่งมีช่องทางในการสื่อสารเพียงช่องทางเดียว โดยไม่มีการใช้ช่องทางร่วมกับอุปกรณ์อื่น จึงทำให้เหมาะสมกับการใช้งานที่มีการรับส่งสัญญาณที่ต่อเนื่องและจำนวนมาก

รูปที่ 2.35 การส่งสัญญาณแบบจุดต่อจุด

2.8.1.1.2 แบบหลายจุด (Multipoint)

การสื่อสารเชื่อมโยงข้อมูลกับอุปกรณ์หลายอุปกรณ์ โดยแต่ละจุดเชื่อมต่อสามารถเก็บข้อมูล ก่อนทำการส่งข้อมูลได้ และถ้าไม่มีการส่งข้อมูลสามารถใช้เป็นช่องทางการสื่อสารได้ ถ้ามีข้อมูลส่งมาพร้อมกันอาจเกิดความเสียหายขึ้นกับข้อมูลได้ ทำให้ต้องมีศูนย์กลางในการจัดการข้อมูล ทำให้เหมาะสมกับการใช้งานที่มีการรับส่งสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องและมีจำนวนไม่มาก

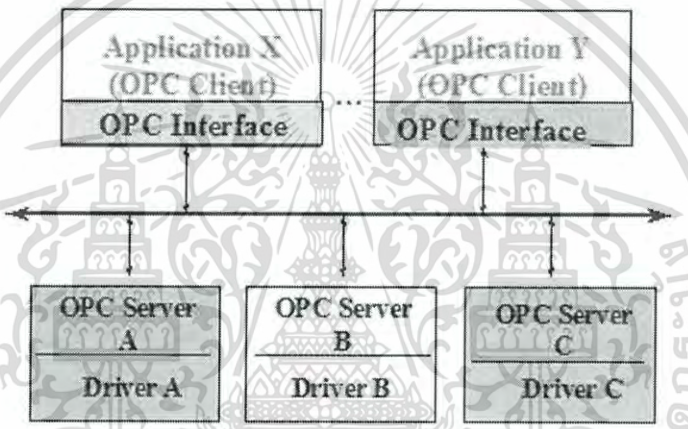


รูปที่ 2.36 การส่งสัญญาณแบบหลายจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 OPC (OLE for Process Control)

OPC เป็นมาตรฐานการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์การวัดและควบคุมบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ เช่น SCADA, HMI หรือ Remote Unit ที่มีมาตรฐานการสื่อสารที่แตกต่างกัน เพื่อทำให้สื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้ OPC ย่อมาจาก OLE for Process Control มีพื้นฐานการสื่อสารข้อมูลมาจาก OLE (Object Linking and Embedding) เป็นเทคโนโลยีที่กำหนดการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการวัดและควบคุม ซึ่งจะทำงานอยู่เบื้องหลังระบบปฏิบัติการวินโดว์ เพื่อคอยสนับสนุนการทำงานในกระบวนการวัดและควบคุม ทำให้สามารถสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลให้มีรูปแบบมาตรฐานเดียวกัน ทำให้ OPC เป็นมาตรฐานกลางสำหรับการใช้งานอุปกรณ์ต่างบริษัทผู้ผลิตที่มี มาตรฐานการสื่อสารข้อมูลต่างกัน ทำให้การออกแบบกระบวนการควบคุมสามารถมีอุปกรณ์ ที่มีมาตรฐานการสื่อสารที่แตกต่างกันเพื่อให้กระบวนการควบคุมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น [12]



รูปที่ 2.37 การเชื่อมต่อผ่าน OPC Server

OPC Server เป็นซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่ให้บริการข้อมูลในระบบโครงข่ายที่มีลูกข่ายด้วยรูปแบบมาตรฐานการสื่อสารแบบเปิด ซึ่งใช้แทนไดร์เวอร์แบบเก่าที่ใช้ได้เฉพาะของแต่ละบริษัทผู้ผลิตที่มีมาตรฐานแตกต่างกัน ทำให้บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์สามารถเชื่อมโยงข้อมูลให้เป็นมาตรฐานเดียวกันได้ โดยมีลักษณะการเชื่อมต่อแบบแม่ข่าย (Server) และลูกข่าย (Client) โดยแม่ข่ายเป็นซอฟต์แวร์ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูลของอุปกรณ์ไปสู่ซอฟต์แวร์อื่น ๆ ที่ต้องการใช้งาน ส่วนลูกข่ายเป็นซอฟต์แวร์ทำหน้าที่เป็นสถานีงาน ถูกใช้เกี่ยวข้องกับงานนั้นในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์จะทำที่สถานีงาน และเก็บข้อมูลบนคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

2.9.1 ข้อดีของ OPC Server

1. สามารถใช้อุปกรณ์ที่มีมาตรฐานการสื่อสารที่แตกต่างกันในกระบวนการวัดและควบคุมได้
2. สามารถใช้ซอฟต์แวร์โดยไม่ขึ้นกับฮาร์ดแวร์ของบริษัทที่แตกต่างกัน
3. ลดต้นทุนในการใช้ซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

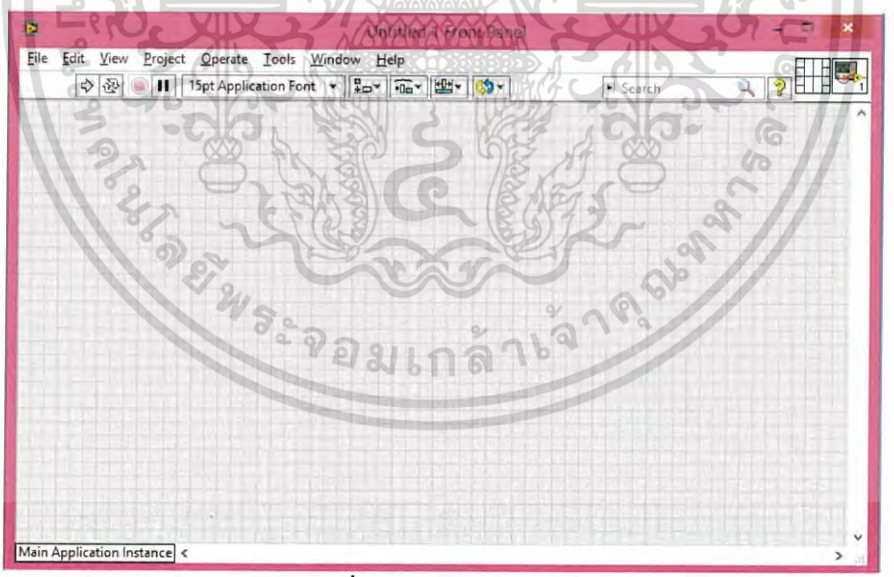
2.10 LabVIEW

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench คือ ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนาระบบจากบริษัทเนชั่นแนลอินสตรูเมนท์ (NI) วัตถุประสงค์หลักเพื่อใช้ในการสร้างระบบอัตโนมัติในการวัด, ทดสอบ และควบคุม โดยใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาโค้ดรูปภาพ (Graphical Programming) ทำให้ง่ายต่อการเรียนรู้และใช้เวลาในการเขียนโปรแกรมน้อยลง ชุดซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนาจะมาพร้อมกับชุดฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์และวิศวกรรมสำหรับการวิเคราะห์, ประมวลผล และแสดงข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ รวมไปถึงความสามารถต่าง ๆ ในการติดต่อใช้งานร่วมกับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์อื่น ๆ ได้ดี ทำให้ LabVIEW เป็นที่สนใจและถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในแทบทุกส่วนของอุตสาหกรรม และการวิจัยที่ต้องการใช้งานระบบอัตโนมัติในการวัดและการควบคุม LabVIEW ต้องอัพเดทเวอร์ชั่นอย่างสม่ำเสมอ เพื่อปรับปรุงเทคนิคการเขียนโปรแกรมและเพื่อรองรับกับเทคโนโลยีใหม่ ๆ [4]

2.10.1 ส่วนประกอบสำคัญของโปรแกรม LabVIEW

2.10.1.1 Front Panel

เป็นส่วนที่ใช้ตั้งค่าการวัดและอ่านค่าตัวเลขหรือกราฟที่ออกมาจาก Block Diagram จึงทำหน้าที่เสมือนเครื่องมือวัดจริง โดย Input ที่ป้อนเข้าไปจะเป็นตัวควบคุม ส่วน Output ที่ออกมาจะเป็นตัวแสดงผล สามารถทำเป็นส่วน Human Machine Interface

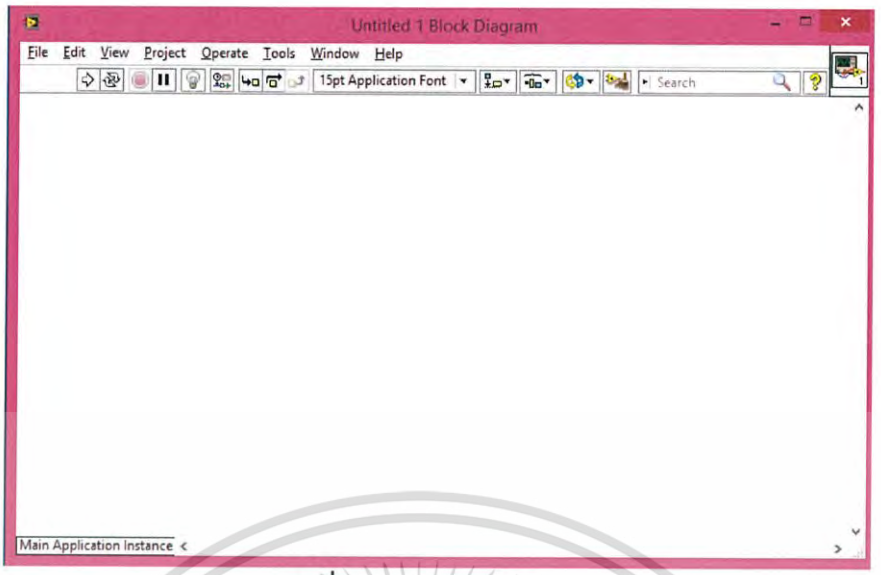


รูปที่ 2.38 Front Panel

2.10.1.2 Block Diagram

ทำหน้าที่เสมือนเป็น Source Code โดยใช้โปรแกรมภาษากราฟิก องค์ประกอบของ Block Diagram จะแทนโปรแกรม Node เช่น For Loop, Case Structure และฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



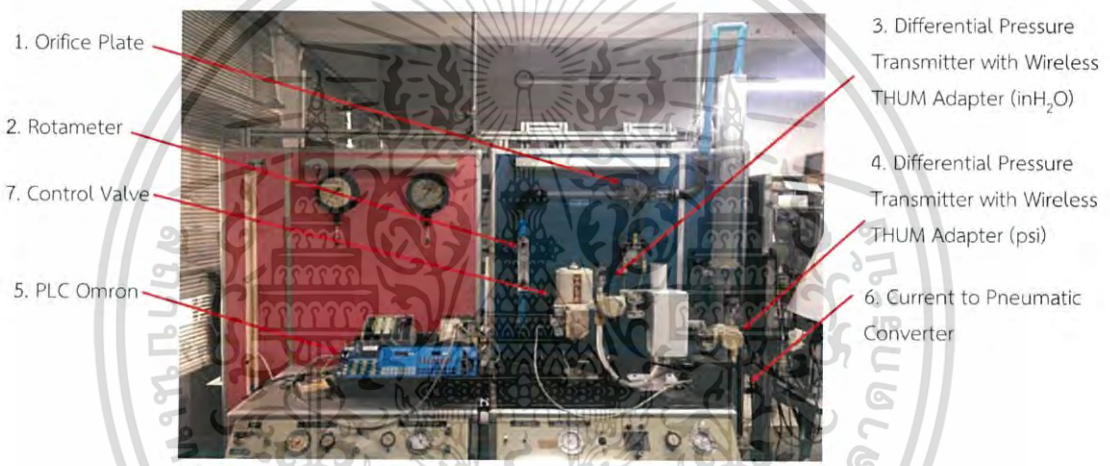
รูปที่ 2.39 Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและวิธีการดำเนินการ

บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบกระบวนการควบคุมระดับ, การควบคุมอัตราการไหล และการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล อาทิเช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการควบคุม และการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์การวัดและควบคุมกับคอมพิวเตอร์ รวมถึงการเขียนโปรแกรม LabVIEW เป็นตัวควบคุมเพื่อใช้ควบคุมกระบวนการทั้งสาม อีกทั้งสามารถสร้างส่วน Human Machine Interface (HMI) และเก็บค่าจากกระบวนการ สุดท้ายเป็นวิธีการดำเนินขั้นตอนการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการควบคุม



รูปที่ 3.1 แบบจำลองการควบคุมระดับ

จากรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ อุปกรณ์การวัดและชุดอุปกรณ์ควบคุม มีดังนี้

1. Orifice Plate
2. Rotameter
3. Differential Pressure Transmitter with Wireless THUM Adapter หน่วย inH_2O

อุปกรณ์วัดอัตราการไหล

4. Differential Pressure Transmitter with Wireless THUM Adapter หน่วย psi

อุปกรณ์วัดระดับ

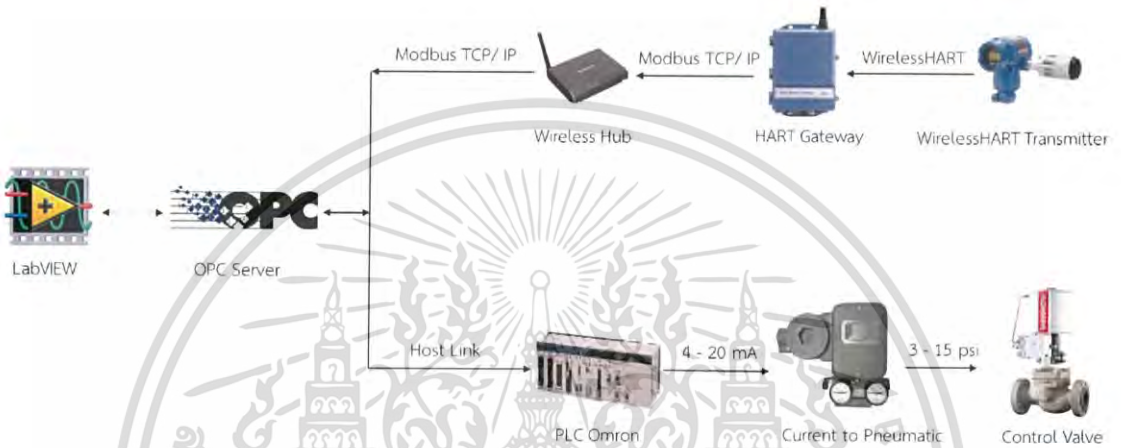
5. PLC Omron with Digital to Analog Module
6. Current to Pneumatic Converter
7. Control Valve

ชุดอุปกรณ์ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวัดอัตราการไหลจะใช้ Differential Pressure Transmitter with Wireless THUM Adapter หน่วย inH_2O เชื่อมต่อกับแผ่นออริฟิส และ โรตามิเตอร์ และการวัดระดับจะใช้ Differential Pressure Transmitter with Wireless THUM Adapter หน่วย psi สุดท้ายชุดควบคุมจะใช้ PLC Omron with Digital to Analog Module, Current to Pneumatic Converter และ Control Valve ในการเปิดปิดทางเดินของของไหล

3.2 การออกแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์การวัดและควบคุมกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.2 แผนผังการการติดต่อระหว่างอุปกรณ์การวัดและควบคุมกับคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 3.2 จะใช้ซอฟต์แวร์ OPC Server เป็นตัวเชื่อมต่อเพื่อการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่มีมาตรฐานการสื่อสารที่แตกต่างกัน และใช้โปรแกรม LabVIEW เขียนโปรแกรมเป็นตัวควบคุมแบบ PID ในโหมด Auto Tuning แล้วเชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์ OPC Server เพื่อรับ Process Variable และส่ง Manipulated Variable ในการควบคุมกระบวนการ

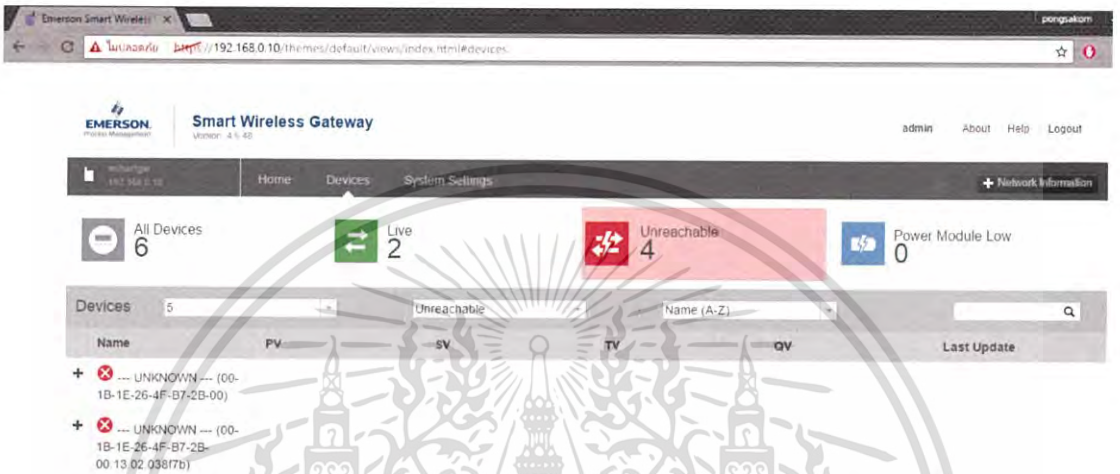
ส่วนของอุปกรณ์การวัดมีการติดต่อสื่อสารจาก WirelessHART Transmitter มายัง HART Gateway เป็นการติดต่อสื่อสารแบบ WirelessHART จากนั้นทำการเชื่อมต่อ HART Gateway กับ Hub Wireless ด้วยสาย LAN เป็นการติดต่อสื่อสารแบบ Modbus TCP/IP เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อแบบไร้สายกับคอมพิวเตอร์ได้

ส่วนของชุดอุปกรณ์ควบคุมมีการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ PLC Omron ด้วยพอร์ตอนุกรม RS-232 เป็นการติดต่อสื่อสารแบบ Host Link จากนั้นทำการเชื่อมต่อ PLC Omron กับ Current to Pneumatic Converter ผ่าน Digital to Analog Module เป็นสัญญาณไฟฟ้ามาตรฐาน 4-20 mA และสุดท้ายจาก Current to Pneumatic ไปที่ Control Valve เป็นสัญญาณลมมาตรฐาน 3-15 psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

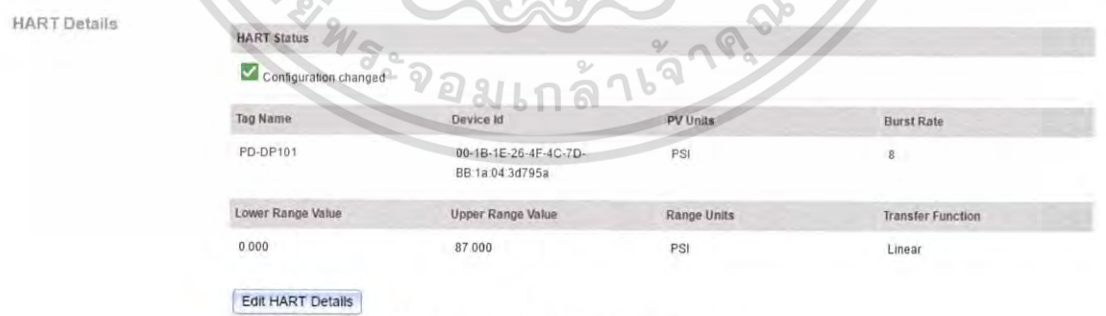
3.2.1 การเชื่อมต่อ OPC Server กับ HART Gateway

การเชื่อมต่อ OPC Server กับ HART Gateway จะใช้คอมพิวเตอร์ติดต่อกับ HART Gateway โดยเชื่อมต่อผ่าน Wireless Hub ในการติดต่อสื่อสาร เมื่อเชื่อมต่อกับ Wireless Hub เข้าไปที่ IP Address มาตรฐานของ HART Gateway นั่นคือ 192.168.0.10 เพื่อเข้าไปที่ Web Browser ของ HART Gateway ใน Web Browser สามารถ Add HART Device รวมถึงการตั้งค่าพารามิเตอร์ของ HART Device ไม่ว่าจะเป็นการ Mapping Register และ อัตราการส่งข้อมูล (Burst Rate)



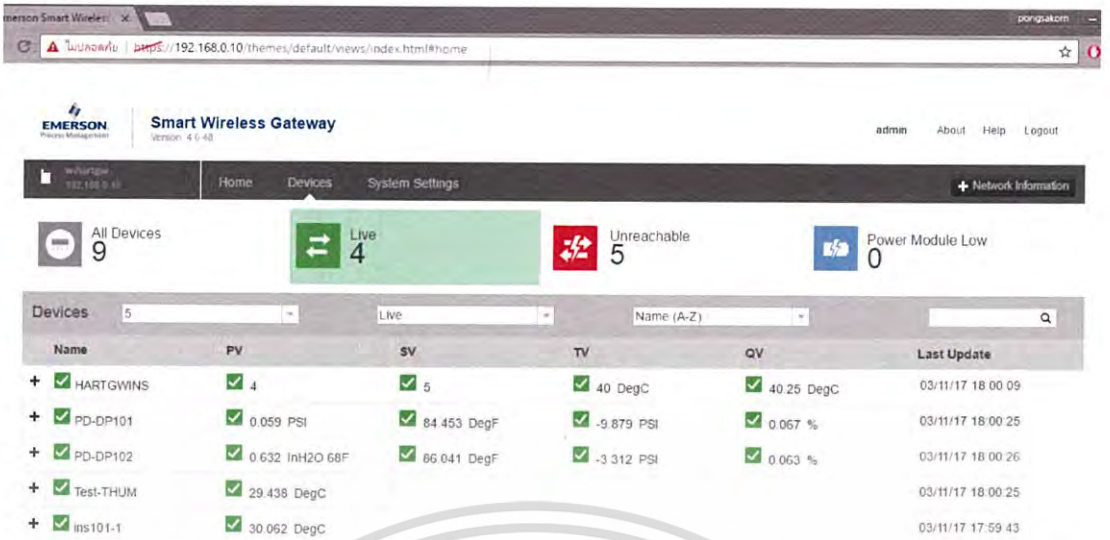
รูปที่ 3.3 หน้า Web Browser ของ HART Gateway แสดงว่ายังไม่ได้ Add HART Device

จากรูปที่ 3.3 เข้ามาหน้า Web Browser จะเห็นว่าช่อง Name ของ HART Device นั้นยังเป็น UNKNOW อยู่ทำการ Add HART Device โดยไปที่ Detailed Device Information >> HART Detailed จากนั้นทำการแก้ไข Tag Name รวมถึงแก้ไข อัตราการส่งข้อมูล (Burst Rate) และตั้งค่า Lower - Upper ย่านการวัดของ Transmitter ได้อีกด้วยตั้งตาม Specification ของ Transmitter ตามรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การตั้งค่า HART Device

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 หน้า Web Browser ของ HART Gateway แสดงว่าทำการ Add HART Device แล้ว

จากรูปที่ 3.5 ทำการ Add HART Device คือ PD-DP101 เป็น Differential Pressure Transmitter with Wireless THUM Adapter หน่วย psi ใช้ในการวัดระดับ และ PD-DP102 Differential Pressure Transmitter with Wireless THUM Adapter หน่วย inH_2O ใช้ในการวัดอัตราการไหล ซึ่งค่าที่จะนำมาควบคุมนั้นจะเป็นค่าในช่องของ PV ซึ่งจะเป็นความดันแตกต่างที่ถูกวัดได้ในหน่วย psi และ inH_2O การจะนำค่า PV มาใช้ได้นั้นต้องทำการสร้าง Register คือตำแหน่งที่เก็บข้อมูลที่ถูกส่งมาจาก Transmitter มายัง HART Gateway ในการทำ Mappings ค่า Register ทำได้โดยเลือก System Settings >> Protocols >> Modbus ตามรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 การ Mappings Register ใน HART Gateway

จากรูปที่ 3.6 ทำการ Mapping ค่า Register ของ PD-DP101 ซึ่งเป็นค่า PV เป็น 40029 และค่า Register ของ PD-DP102 ซึ่งเป็นค่า PV เป็น 40031 ตำแหน่ง Register มีค่าห่างกัน 2 บิต เพราะ Modbus TCP/IP มีการส่งข้อมูล 2 บิต

เมื่อได้ค่า Register จะทำการ Add Tag ลงใน OPC Server ดังนี้

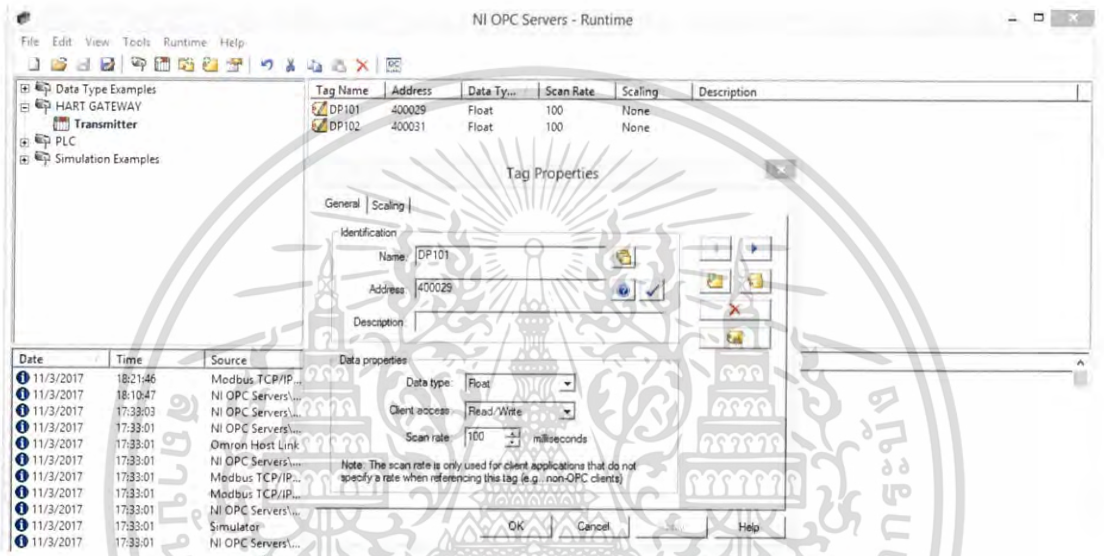
1. สร้าง Channel โดยที่ Device Driver เลือกเป็น Modbus TCP/IP Ethernet จากนั้นเลือก Network Interface เป็น Default

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการ Add Device เลือก Device Model เป็น Modbus จากนั้นใน Device ID ให้ใส่ IP Address ของ HART Gateway คือ 192.168.0.10

3. ทำการ Add Tag ให้ใส่ค่า Register ที่ทำการ Mappings จาก HART Gateway ถ้าต้องการใช้ค่า PD-DP101 ค่า Register คือ 40029 แล้วเลือก Data Type เป็น Float เนื่องจากค่าที่รับได้รับเป็นจุดทศนิยม

4. ทำการ Add Tag ให้ใส่ค่า Register ที่ทำการ Mappings จาก HART Gateway ถ้าต้องการใช้ค่า PD-DP102 ค่า Register คือ 40031 แล้วเลือก Data Type เป็น Float เนื่องจากค่าที่รับได้เป็นจุดทศนิยม



รูปที่ 3.7 การ Add Tag ของ Transmitter ใน OPC Server

3.2.2 การเชื่อมต่อ OPC Server กับ PLC

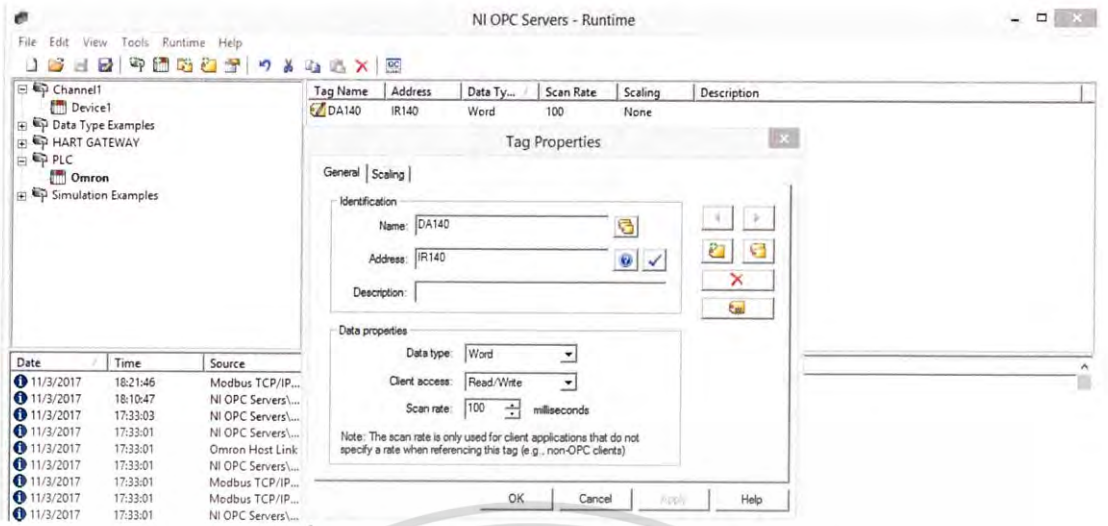
PLC ที่ใช้จะเป็น Omron C200HE เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยใช้พอร์ตอนุกรม RS-232 แปลงเป็น USB ในการเชื่อมต่อ และค่า Register ของ PLC คือ IR140 อยู่ที่การต่อใช้งานของ Digital to Analog Module ว่าต้องการใช้งานที่ Channel ไหนเลือกเป็น Channel 140 เมื่อได้ค่า Register จะทำการ Add Tag ลงใน OPC Server ดังนี้

1. สร้าง Channel โดยที่ Device Driver เลือกเป็น Omron Host Link จากนั้นเลือก COM Port ที่เชื่อมต่ออยู่สามารถดูได้จาก Device Manager

2. ทำการ Add Device เลือก Device Model เป็น C200HE

3. ทำการ Add Tag ให้ใส่ค่า Register เป็น IR140 แล้วเลือก Data Type เป็น Word

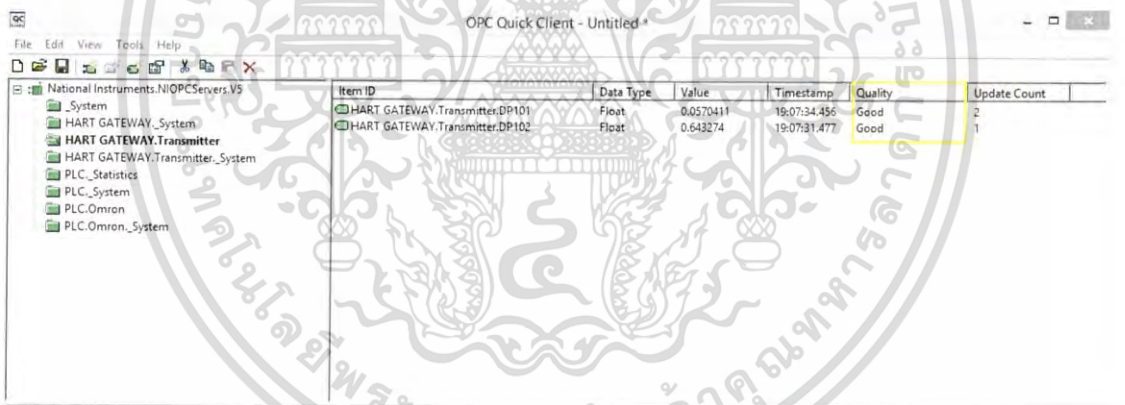
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



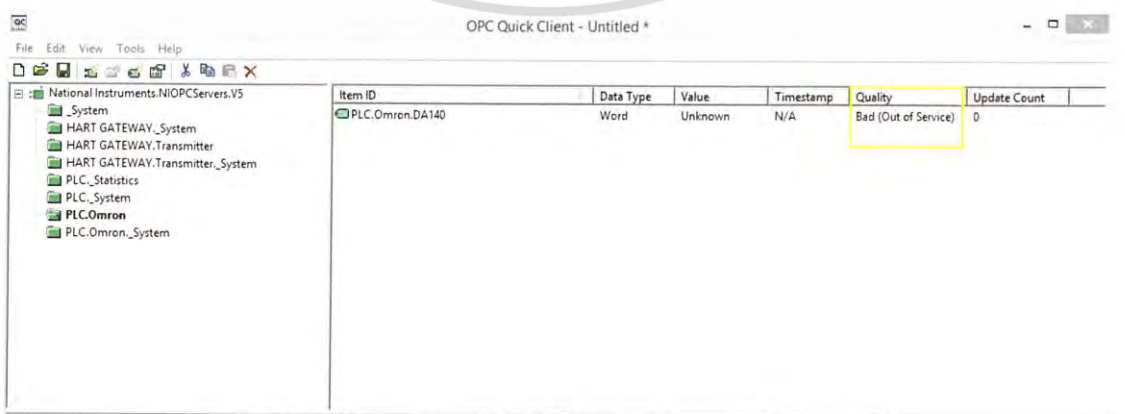
รูปที่ 3.8 การ Add Tag ของ PLC ใน OPC Server

3.2.3 การตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อของ OPC Server กับ HART Gateway และ PLC

การตรวจสอบสถานะสามารถดูได้ที่ OPC Quick Client ถ้าสัญญาณที่เชื่อมต่อดีที่ช่อง Quality จะเป็น Good และถ้าสัญญาณที่เชื่อมต่อผิดพลาดที่ช่อง Quality จะเป็น Bad (Out of Service)



รูปที่ 3.9 แสดงสถานะการเชื่อมต่อสัญญาณที่ดี



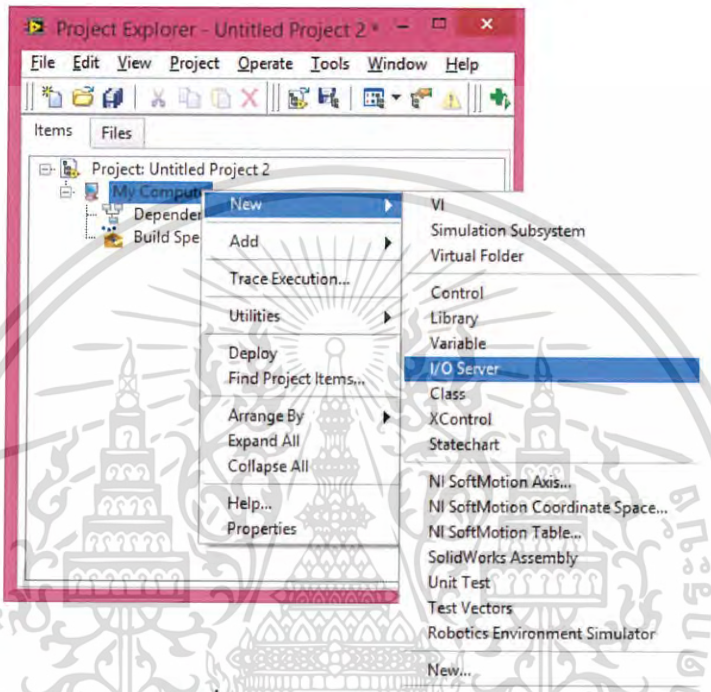
รูปที่ 3.10 แสดงสถานะการเชื่อมต่อสัญญาณที่ผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การเชื่อมต่อ OPC Sever กับ LabVIEW

การเชื่อมต่อ OPC Server กับ LabVIEW เพื่อให้โปรแกรม LabVIEW สามารถอ่านค่าที่วัดได้จาก Transmitter และส่งค่าสัญญาณควบคุมไปที่ Control Valve ได้จำเป็นต้องดึงค่ามาจาก OPC Server ที่ทำการเชื่อมต่อกับ HART Gateway และ PLC ก่อนซึ่งจะมีวิธีการดังต่อไปนี้

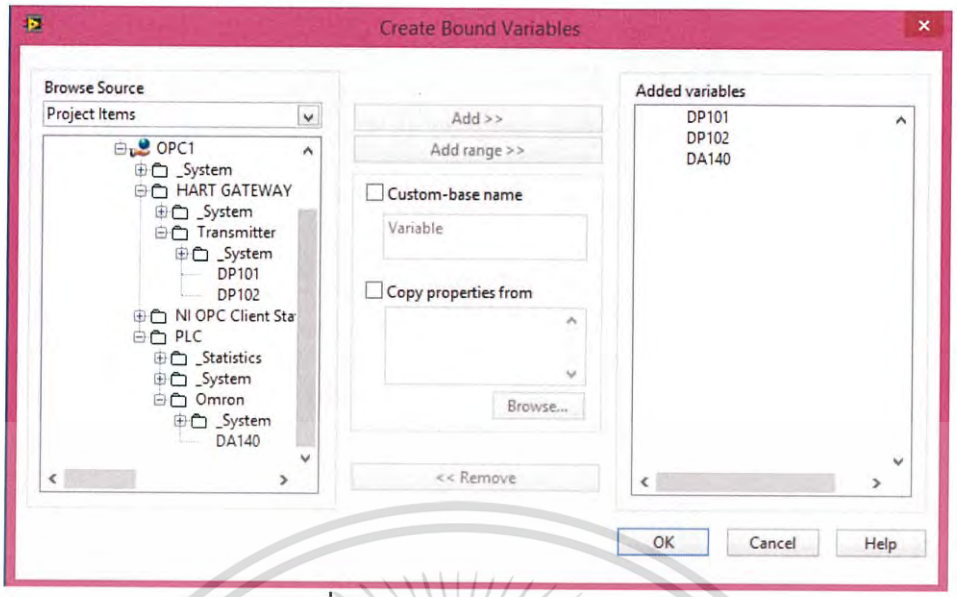
1. เลือก My Computer เลือก New >> I/O Server เพื่อทำการสร้าง I/O Server



รูปที่ 3.11 การสร้าง I/O Server

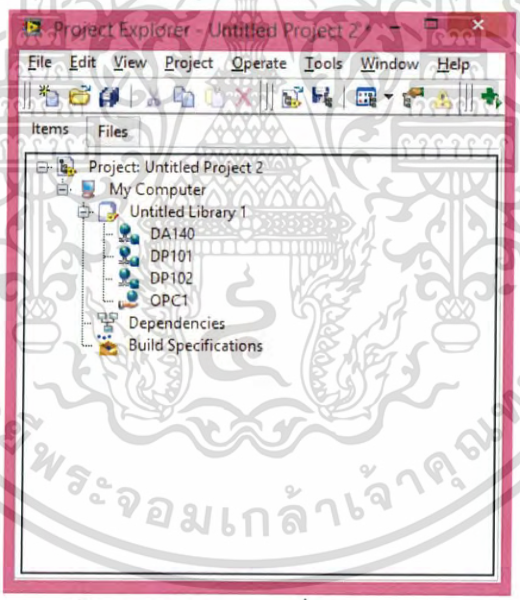
2. เลือก I/O Server Type เป็น OPC Server Client จากนั้นเลือก Register OPC Server Register เป็น NI OPC Server จะได้ OPC1
3. คลิกขวาที่ OPC1 เลือก Create Bound Variables ในช่อง Browser Source ทำการเลือก Tag ที่ได้ทำการ Add Tag ไว้จากการเชื่อมต่อกับ HART Gateway และ PLC เลือกแล้วทำการ Add ไปยังช่อง Added Variables

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



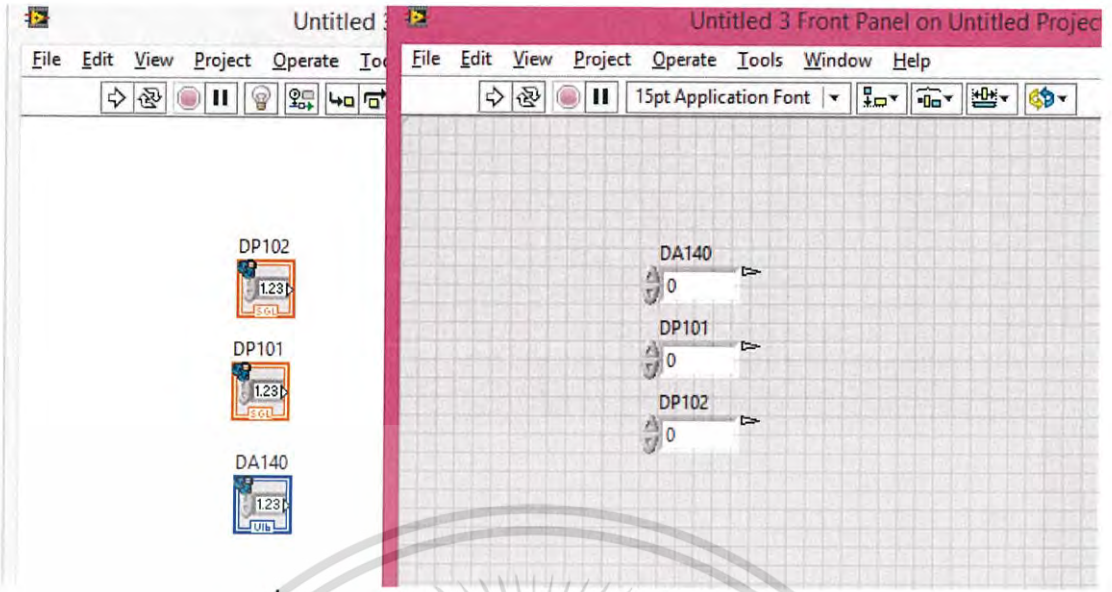
รูปที่ 3.12 การ Create Variables

4. จะได้ Tag จาก OPC Server ในหน้าเพื่อนำค่าไปใช้ในโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 3.13 หน้า Blank Project ที่มี Tag จาก OPC Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

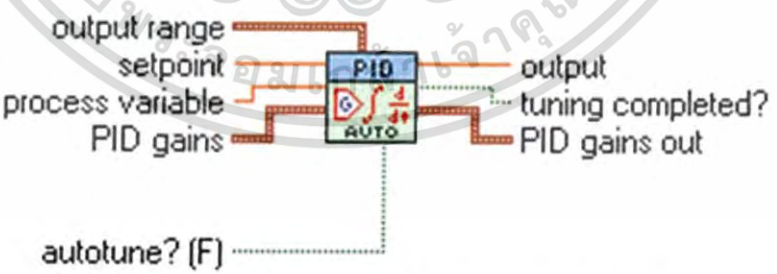


รูปที่ 3.14 นำค่าจาก OPC Server มาใช้ในหน้า Blank VI

จากรูปที่ 3.14 เป็นการนำค่าจาก OPC Server มาใช้ซึ่ง DP101 คือ Differential Pressure Transmitter with Wireless THUM Adapter หน่วย psi ใช้วัดระดับ และ DP102 คือ Differential Pressure Transmitter with Wireless THUM Adapter หน่วย inH_2O ใช้วัดอัตราการไหล สุดท้าย DA140 คือ PLC ที่เชื่อมต่อเพื่อส่งสัญญาณควบคุมไปยัง Control Valve

3.3 การใช้ฟังชั่นก์ตัวควบคุมแบบ PID โหมด Auto Tuning ของโปรแกรม LabVIEW

การเขียนโปรแกรม LabVIEW เป็นตัวควบคุม PID นั้นต้องลง Tool ของโปรแกรม LabVIEW ก่อนนั่นคือ LabVIEW PID and Fuzzy Logic Toolkit เพื่อให้โปรแกรม LabVIEW มีฟังก์ชั่นการใช้งานเป็นตัวควบคุม PID โหมด Auto Tuning



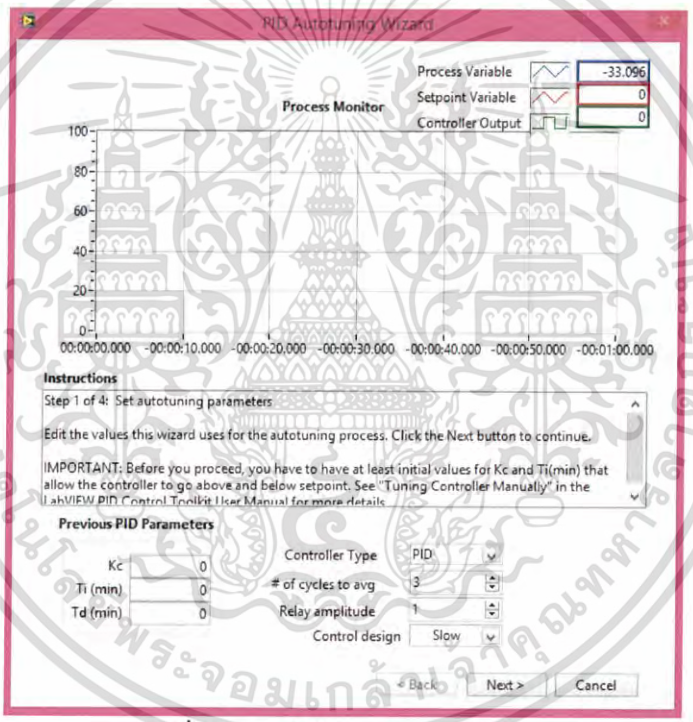
รูปที่ 3.15 ฟังก์ชั่นตัวควบคุม PID โหมด Auto Tuning

องค์ประกอบที่สำคัญของฟังก์ชั่นการควบคุมแบบ PID โหมด Auto Tuning ประกอบด้วย

1. Set Point คือค่าเป้าหมายของตัวแปรกระบวนการ
2. Process Variable คือตัวแปรกระบวนการ ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้จากกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. PID Gains คือค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ประกอบด้วย
   - Proportional Gain (K_c)
   - Integral Time (T_i)
   - Derivative Time (T_d)
4. Output คือค่า Manipulated ที่ออกจากตัวควบคุมแบบ PID
5. Output Range คือการกำหนดค่าต่ำสุดกับค่าสูงสุดของ Output สามารถตั้งได้ -100 ถึง 100
6. PID gains out คือค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการ Auto Tuning แล้ว
7. tuning completed คือการตรวจสอบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการ Auto Tuning นั้นถูกต้องตรงตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้
8. autotune? คือปุ่มที่จะทำการเรียกโหมด Auto Tuning มาใช้งาน



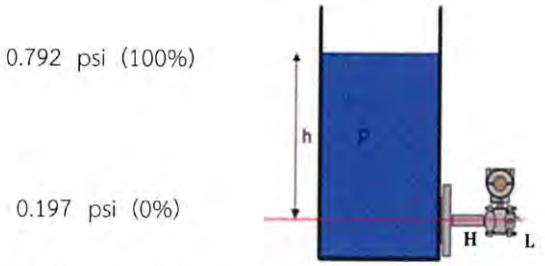
รูปที่ 3.16 หน้าโหมด Auto Tuning

การใช้งานโหมด Auto Tuning สามารถเลือกชนิดของ Controller ที่ต้องการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ได้ไม่ว่าจะเป็น P, PI และ PID

3.4 การเขียนโปรแกรม LabVIEW ควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว

การวัดระดับจากถังเปิดนั้นจะใช้ Differential Pressure Transmitter with Wireless THUM Adapter หน่วย psi จะใช้การวัดค่าความดันที่ก้นถังเทียบกับความดันบรรยากาศโดยที่ด้าน High Pressure จะต่อเข้าที่ก้นถังเปิด และด้าน Low Pressure จะต่อกับความดันบรรยากาศ โดยค่าที่วัดได้จะเป็นหน่วย psi ซึ่งต้องทำการ Scaling ให้เป็นค่า 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์เสียก่อน ซึ่งความสูงของถังเปิดจาก 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์คือ 0 ถึง 45 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 Differential Pressure Transmitter วัดระดับของถังเปิด

ทำการ Scaling เพื่อหาค่า 0 ถึง 100 % ดังนี้

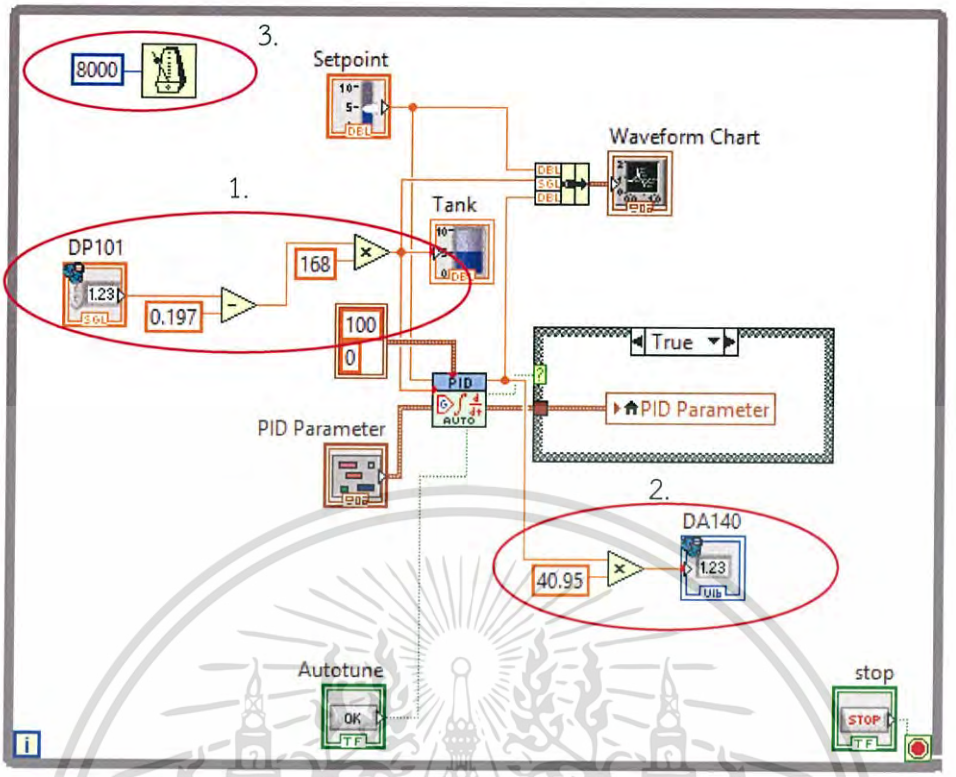
$$0\ \% \ >> 0.197 - 0.197 = 0\ \%$$
$$100\ \% \ >> 0.792 - 0.197 = 0.595$$
$$0.595 \times 168 \ = 100\ \%$$

จากนั้นทำการเขียนโปรแกรม LabVIEW ในส่วนของ Block Diagram โดยใช้ฟังก์ชั่นตัวควบคุมแบบ PID โหมด Auto Tuning จะทำงานร่วมกับ While Loop เพื่อรันโปรแกรมไปเรื่อยๆ จนกว่าจะมีเงื่อนไขไปหยุดการรันโปรแกรมนั่นคือปุ่ม Stop ในการเขียนโปรแกรมจะแบ่งเป็นการรับ Process Variable และส่ง Manipulated Variable สุดท้ายทำการปรับคาบเวลาการควบคุม ซึ่งจะแสดงได้ 3 ส่วนดังนี้

1. ในการรับ Process Variable มาจาก DP101 โดยที่ลบด้วยค่าคงที่ 0.197 และคูณด้วยค่าคงที่ 168 เพื่อทำการ Scaling ให้ Process Variable เป็นค่า 0 ถึง 100 %
2. Output ของตัวควบคุมหรือ Manipulated Variable จะเป็นสัญญาณควบคุมที่จะไปสั่งให้อุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้ายจะต้องผ่าน Digital to Analog Module ของ PLC มีค่าการแปลงเลขจาก 0 - 4095 เป็น 4 – 20 mA แต่ Output ของตัวควบคุมมีช่วงอยู่ที่ 0 - 100 เพราะฉะนั้นจะต้องแปลงเป็นเลข 0 - 4095 จึงต้องทำการคูณด้วยค่าคงที่ 40.95 กับค่า Output ของตัวควบคุมก่อนจะส่งไปที่ DA140 ซึ่งเป็น PLC ที่เชื่อมต่อเพื่อส่งสัญญาณควบคุมไปยัง Control Valve
3. การปรับคาบเวลาการควบคุมทำได้โดยตั้งค่าหน่วงเวลาใน While Loop ของการทำงานแต่ละครั้ง การตั้งค่าหน่วงเวลาตั้งให้อยู่ที่ 8000 มิลลิวินาทีหรือ 8 วินาทีเพื่อให้สอดคล้องกับการส่งค่าของ Smart Wireless THUM Adapter หรือ เรียกว่าเป็นการควบคุมแบบคาบเวลา 8 วินาที

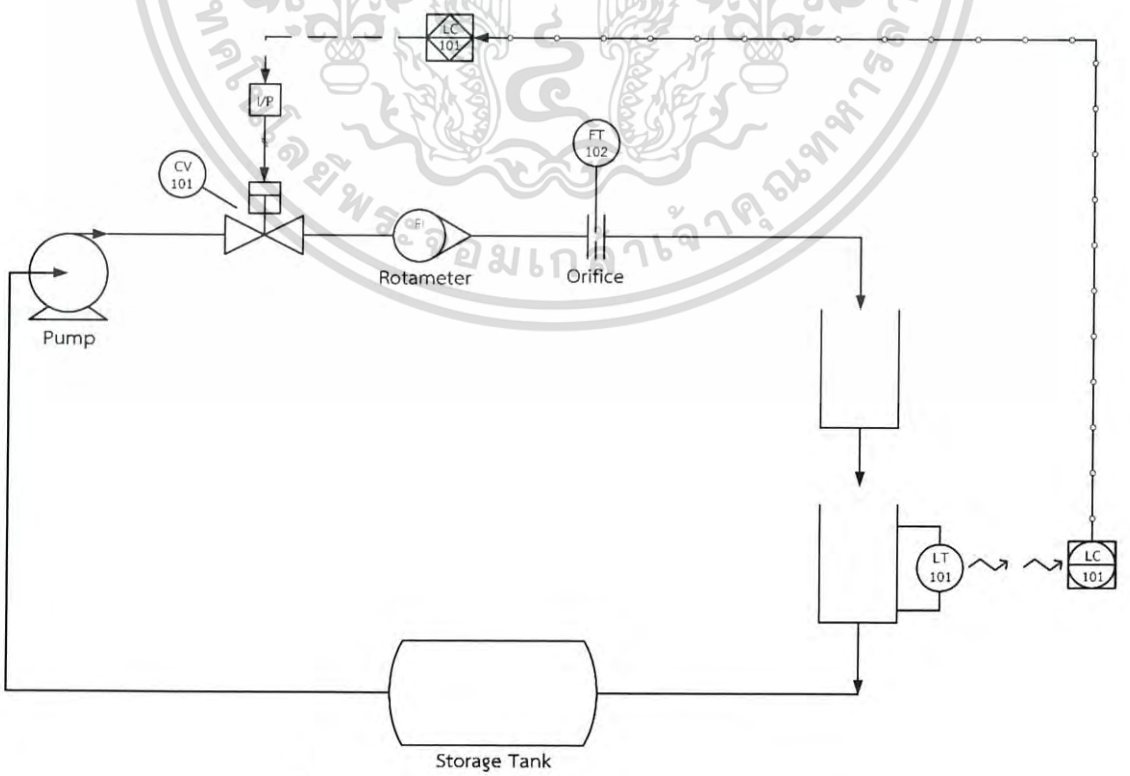
มีการพล็อตกราฟของ Set Point และ Process Variable และ Manipulated Variable เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของ Process Variable และมีปุ่มสำหรับการเรียกโหมด Auto tuning มาใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 บล็อกไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและควบคุมของกระบวนการจะแสดงอยู่ในรูป P&ID (Piping and Instrumentation Diagram) ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.19 P&ID ของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว

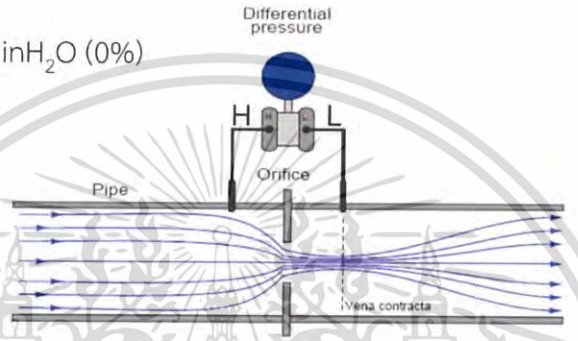
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเขียนโปรแกรม LabVIEW ควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว

การวัดอัตราการไหลนั้นจะใช้ Differential Pressure Transmitter with Wireless THUM Adapter หน่วย inH_2O ซึ่งทำการต่อร่วมกับแผ่นออริฟิสเพื่อวัดค่าความดันแตกต่างที่ตกคร่อมแผ่นออริฟิสโดยที่ด้าน High Pressure จะต่อที่ด้านขาเข้าของแผ่นออริฟิส และด้าน Low Pressure จะต่อเข้าที่ด้านขาออกของแผ่นออริฟิส โดยค่าที่วัดได้จะเป็นหน่วย inH_2O ซึ่งต้องทำการ Scaling ให้เป็นค่า 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์เสียก่อน

6.817 inH_2O (100%)

1.049 inH_2O (0%)



รูปที่ 3.20 Differential Pressure Transmitter วัดอัตราการไหล

ทำการ Scaling เพื่อหาค่า 0 ถึง 100 % ดังนี้

จะต้องทำการถอดสแควรูทค่าความดันที่วัดได้ก่อน เนื่องจากการวัดอัตราการไหลด้วยวิธี Variable Head อัตราการไหลแปรผันกับสแควรูทของค่าความดันแตกต่างจากสมการ $Q = K\sqrt{\Delta P}$

0 % >> $\sqrt{1.049}$ = 1.024 >> ทำการถอดสแควรูทของค่าความดันที่วัดได้

1.024 – 1.024 = 0 %

100 % >> $\sqrt{6.817}$ = 2.611 >> ทำการถอดสแควรูทของค่าความดันที่วัดได้

2.611 – 1.024 = 1.587

1.587 x 12.4 = 19.68 ลิตรต่อนาที

19.68 ลิตรต่อนาทีได้มาจากการวัดอัตราการไหลโดยใช้โรตามิเตอร์โดยวัดอัตราการไหลที่ 100 %

19.68 x 5.08 = 100 %

จากนั้นทำการเขียนโปรแกรม LabVIEW ในส่วนของ Block Diagram โดยใช้ฟังก์ชั่นตัวควบคุมแบบ PID โหมด Auto Tuning จะทำงานร่วมกับ While Loop เพื่อรันโปรแกรมไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะมีเงื่อนไขไปหยุดการรันโปรแกรมนั่นคือปุ่ม Stop ในการเขียนโปรแกรมจะแบ่งเป็นการรับ Process Variable และส่ง Manipulated Variable สุดท้ายทำการปรับคาบเวลาการควบคุม ซึ่งจะแสดงได้ 3 ส่วนดังนี้

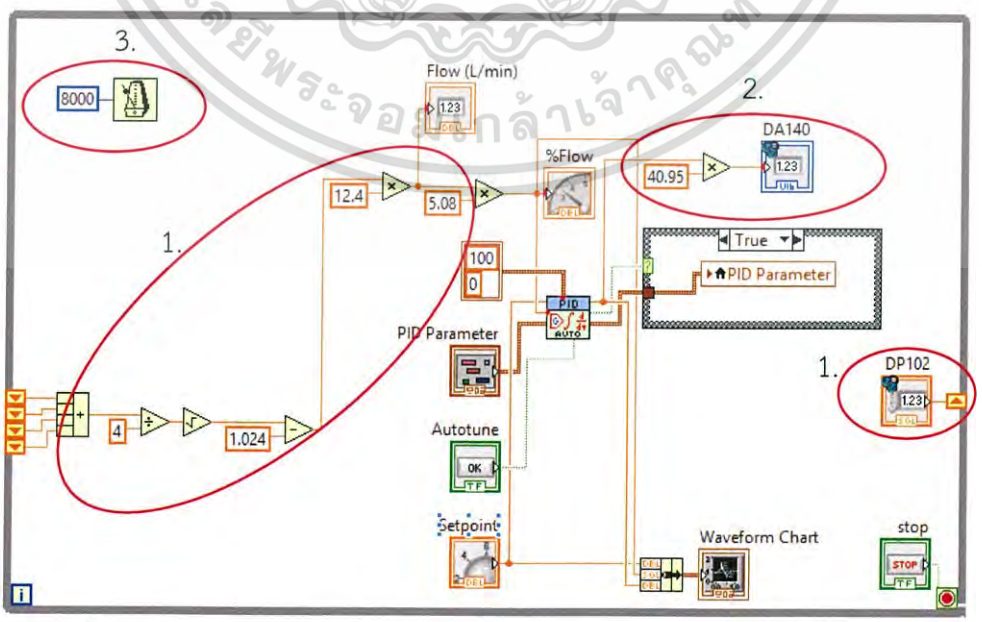
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ในการรับ Process Variable มาจาก DP102 จะทำการ Filter ก่อนโดยใช้วิธี Moving Average คือการการเก็บค่าที่อ่านได้ก่อนหน้ามารวมกับค่าที่อ่านได้ในปัจจุบันจำนวน 4 ค่า เพื่อมาหาค่าเฉลี่ยเพราะถ้าไม่ Filter ค่าที่วัดได้จะไม่ราบเรียบทำให้ยากต่อการควบคุม เมื่อได้ค่า Process Variable ที่ทำการ Filter แล้วจะทำการถอดสแควรูทจากค่าความดันที่วัดได้ เนื่องจากการวัดอัตราการไหลด้วยวิธี Variable Head เป็นไปตามสมการ $Q = K\sqrt{\Delta P}$ นั่นก็คือค่าที่วัดได้โดย DP102 จะทำการ Filter จากนั้นถอดสแควรูทแล้วลบด้วยค่าคงที่ 1.024 และคูณด้วยค่าคงที่ 12.4 เพื่อทำให้เป็นหน่วย ลิตรต่อนาที (การคำนวณดูจากการ Scaling เพื่อหาค่า 0 ถึง 100 %) จากนั้นคูณด้วยค่าคงที่ 5.08 เพื่อทำการ Scaling ให้ Process Variable เป็นค่า 0 ถึง 100 %

2. Output ของตัวควบคุมหรือ Manipulated Variable จะเป็นสัญญาณควบคุมที่จะไปสั่งให้อุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้ายจะต้องผ่าน Digital to Analog Module ของ PLC มีค่าการแปลงเลขจาก 0 - 4095 เป็น 4 – 20 mA แต่ Output ของตัวควบคุมมีช่วงอยู่ที่ 0 - 100 เพราะฉะนั้นจะต้องแปลงเป็นเลข 0 - 4095 จึงต้องทำการคูณด้วยค่าคงที่ 40.95 กับค่า Output ของตัวควบคุมก่อนจะส่งไปที่ DA140 ซึ่งเป็น PLC ที่เชื่อมต่อเพื่อส่งสัญญาณควบคุมไปยัง Control Valve

3. การปรับคาบเวลาการควบคุมทำได้โดยตั้งค่าหน่วงเวลาใน While Loop ของการทำงานแต่ละครั้ง การตั้งค่าหน่วงเวลาตั้งให้อยู่ที่ 8000 มิลลิวินาทีหรือ 8 วินาทีเพื่อให้สอดคล้องกับการส่งค่าของ Smart Wireless THUM Adapter หรือ เรียกว่าเป็นการควบคุมแบบคาบเวลา 8 วินาที

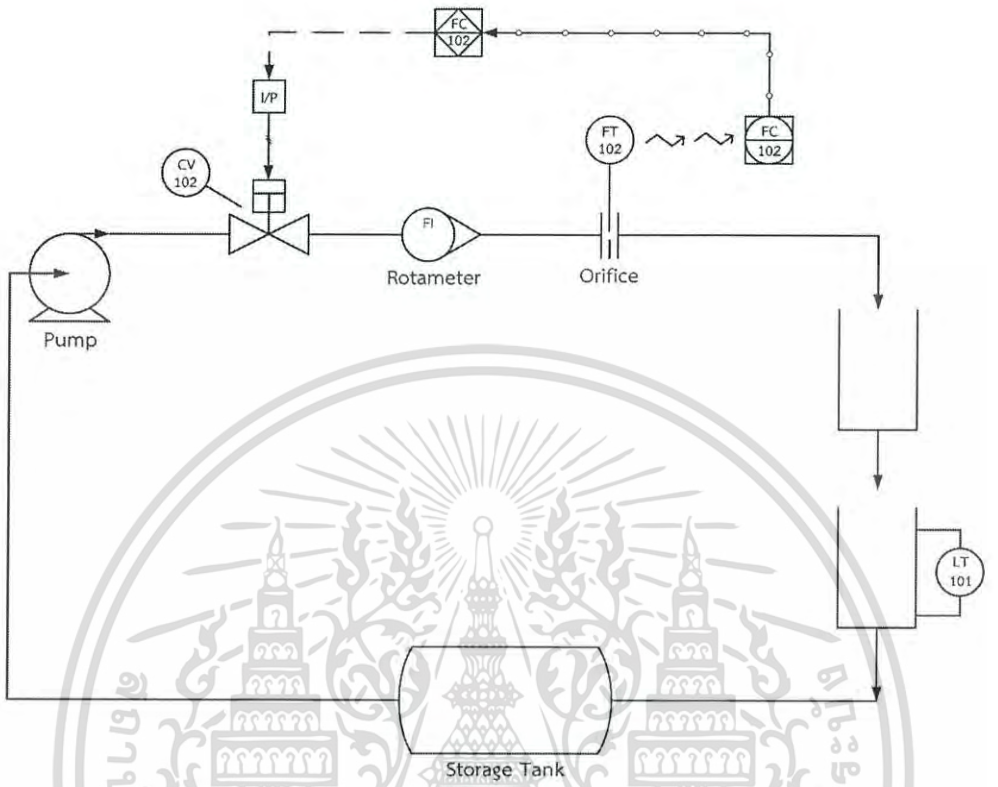
มีการพล็อตกราฟของ Set Point และ Process Variable และ Manipulated Variable เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของ Process Variable และมีปุ่มสำหรับการเรียกโหมด Auto Tuning มาใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 บล็อกไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและควบคุมของกระบวนการจะแสดงอยู่ในรูป P&ID (Piping and Instrumentation Diagram) ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.22 P&ID ของการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว

3.6 การเขียนโปรแกรม LabVIEW ควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล

เป็นการเขียนโปรแกรมการควบคุมแบบคาสเคดมีฟังก์ชั่นตัวคุมแบบ PID จำนวน 2 บล็อก โดยบล็อกแรกเป็นการควบคุมระดับที่เป็นตัวควบคุมหลักซึ่งจะใช้โหมด Auto Tuning และ บล็อกที่สองเป็นการควบคุมอัตราการไหลที่เป็นตัวควบคุมรองจะใช้โหมดตัวควบคุมธรรมดา ซึ่งฟังก์ชั่นทั้งหมดจะทำงานร่วมกับ While Loop เพื่อรันโปรแกรมไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะมีเงื่อนไขไปหยุดการรันโปรแกรมนั่นคือปุ่ม Stop ในการเขียนโปรแกรมจะแบ่งเป็นการรับ Process Variable และส่ง Manipulated Variable สุดท้ายทำการปรับคาบเวลาการควบคุม ซึ่งจะแสดงได้ 3 ส่วนดังนี้

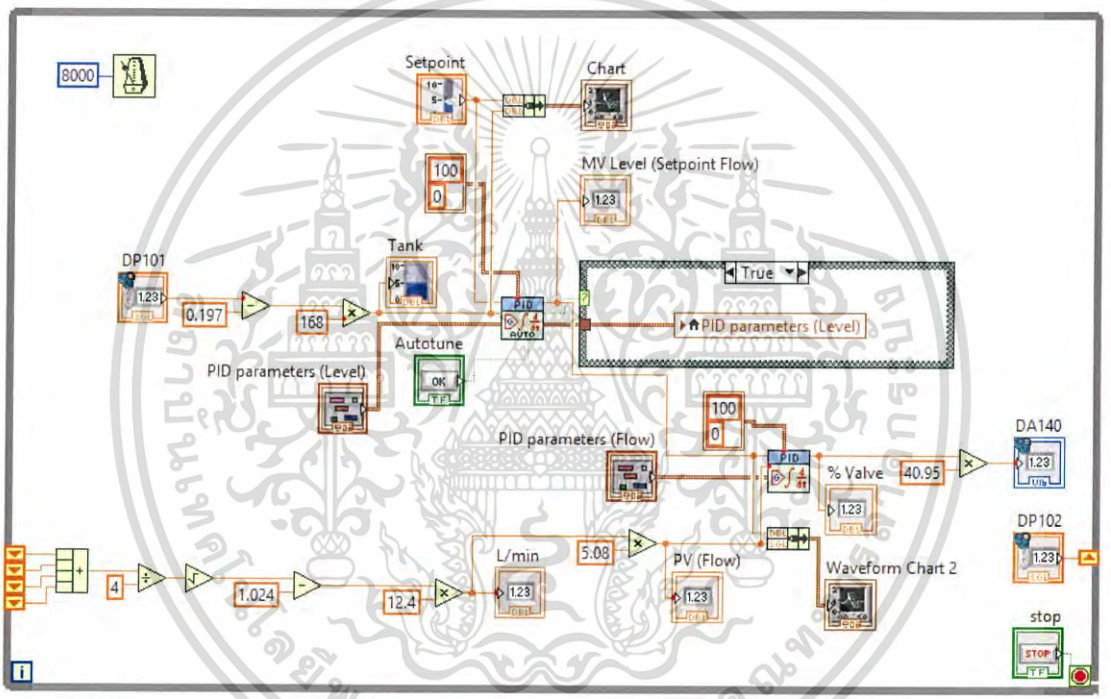
1. ในการรับ Process Variable มาจาก DP101 และ DP102 ต้องทำการ Scaling ให้ Process Variable เป็นค่า 0 ถึง 100 % โดยตัวคูณนำมาจากการ Scaling ของการวัดระดับและวัดอัตราการไหลที่ได้ทำการคำนวณมาจากการทดลองทั้งสองก่อนหน้านี้แล้ว
2. Output ของตัวควบคุมหลักหรือตัวควบคุมระดับจะไปเป็น Set Point ของตัวควบคุมรองหรือตัวควบคุมอัตราการไหล ส่วน Output ของตัวควบคุมรองจะเป็นสัญญาณควบคุมที่จะไปสั่งให้อุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้ายจะต้องผ่าน Digital to Analog Module ของ PLC มีค่าการแปลงเลขจาก 0 - 4095 เป็น 4 – 20 mA แต่ Output ของตัวควบคุมมีช่วงอยู่ที่ 0 - 100 เพราะฉะนั้นจะต้องแปลงเป็นเลข 0 - 4095 จึงต้องทำการคูณด้วยค่าคงที่ 40.95 กับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output ของตัวควบคุมก่อนจะส่งไปที่ DA140 ซึ่งเป็น PLC ที่เชื่อมต่อเพื่อส่งสัญญาณควบคุมไปยัง Control Valve

3. การปรับคาบเวลาการควบคุมทำได้โดยตั้งค่าหน่วงเวลาใน While Loop ของการทำงานแต่ละครั้ง การตั้งค่าหน่วงเวลาตั้งให้อยู่ที่ 8000 มิลลิวินาทีหรือ 8 วินาทีเพื่อให้สอดคล้องกับการส่งค่าของ Smart Wireless THUM Adapter หรือ เรียกว่าเป็นการควบคุมแบบคาบเวลา 8 วินาที

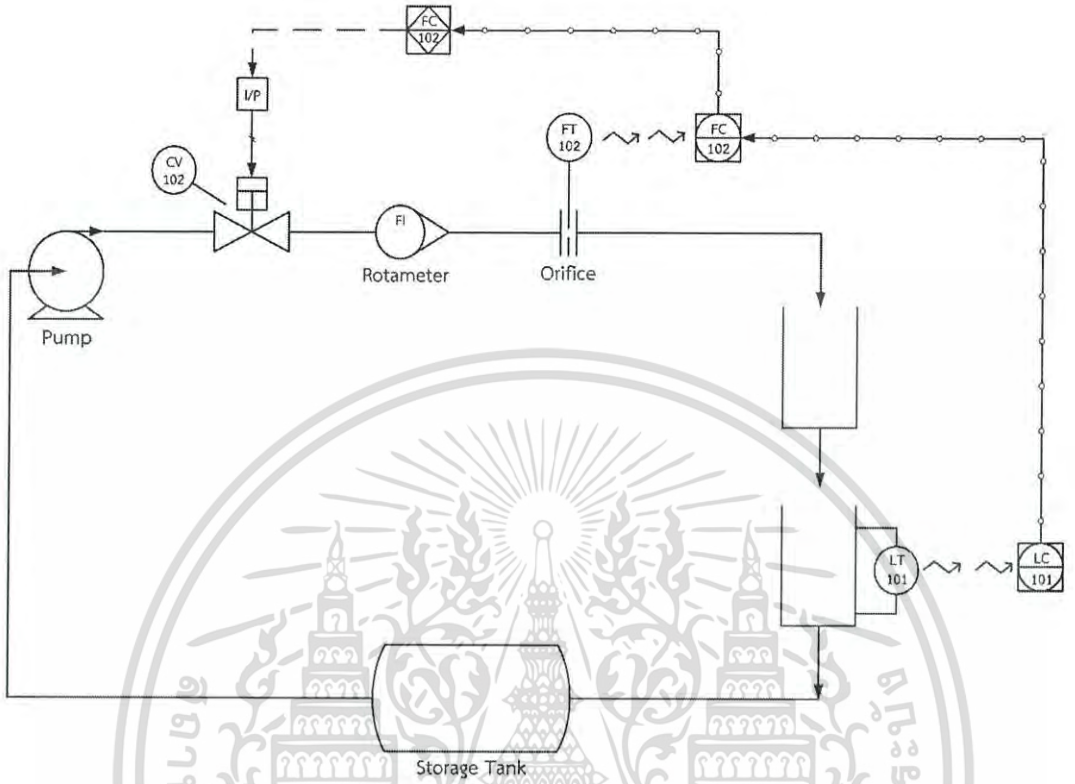
มีการพล็อตกราฟของ Set Point และ Process Variable และ Manipulated Variable เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของ Process Variable และมีปุ่มสำหรับการเรียกโหมด Auto Tuning มาใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 บล็อกไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและควบคุมของกระบวนการจะแสดงอยู่ในรูป P&ID (Piping and Instrumentation Diagram) ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.24 P&ID ของการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล

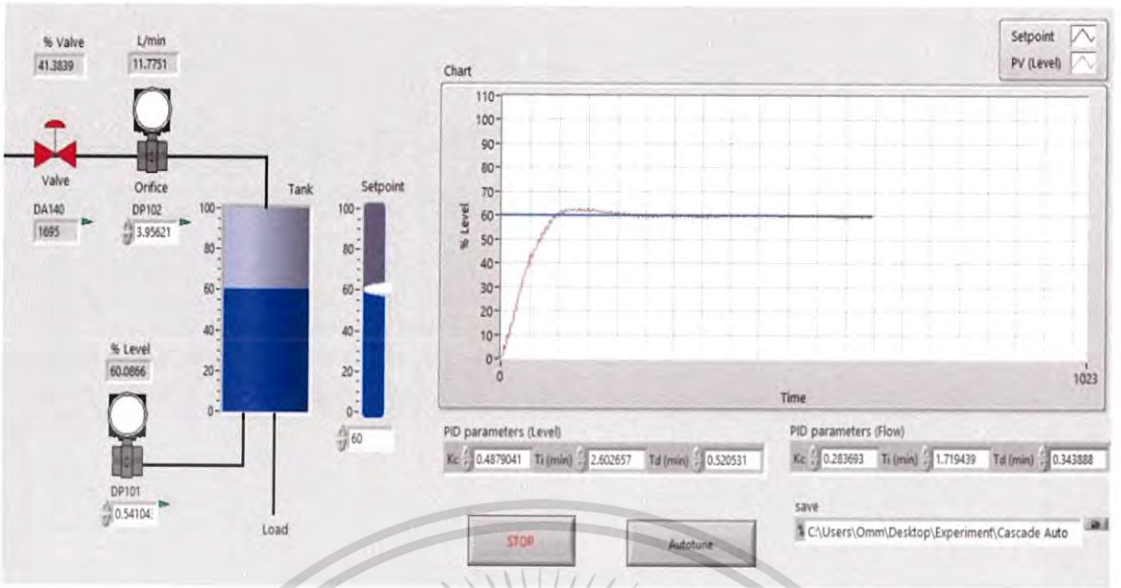
3.7 Human Machine Interface (HMI) และ Data Acquisition System

ส่วนที่ทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้งานกับกระบวนการควบคุม (Human Machine Interface : HMI) และส่วนที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลจากกระบวนการควบคุม (Data Acquisition System) ทั้งสองส่วนนั้นจะอยู่ในโปรแกรม LabVIEW ในการควบคุมไม่ว่าจะเป็นการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว และการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว สุดท้ายการควบคุมแบบคาสเดคระดับ - อัตราการไหล เพื่อดูกระบวนการควบคุมทั้งหมดรวมถึงเก็บค่าจากกระบวนการควบคุม

3.7.1 Human Machine Interface (HMI)

ในส่วนของ Human Machine Interface (HMI) สร้างได้จากโปรแกรม LabVIEW ที่หน้าต่าง Front Panel เพื่อป้อนค่าเป้าหมายของกระบวนการ และแสดงค่าต่างๆในกระบวนการไม่ว่าจะเป็นอัตราการไหลในหน่วยลิตรต่อนาที หรือระดับในหน่วยเปอร์เซ็นต์ของระดับน้ำในถังเปิดและเปอร์เซ็นต์ที่ Control Valve เปิด มีการแสดงกราฟของค่า Process Variable และ ค่า Set Point เพื่อดู Trend ของกระบวนการเพื่อการปรับปรุงกระบวนการต่อไป และ สามารถเก็บค่าจากกระบวนการเพื่อนำวิเคราะห์กระบวนการได้ และ มีปุ่ม Autotune ไว้สำหรับเรียกโหมด Auto Tuning เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม หรือใส่ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเองก็ได้ สุดท้ายมีปุ่ม Stop ไว้ใช้สำหรับสั่งหยุดการทำงานของโปรแกรมการควบคุม

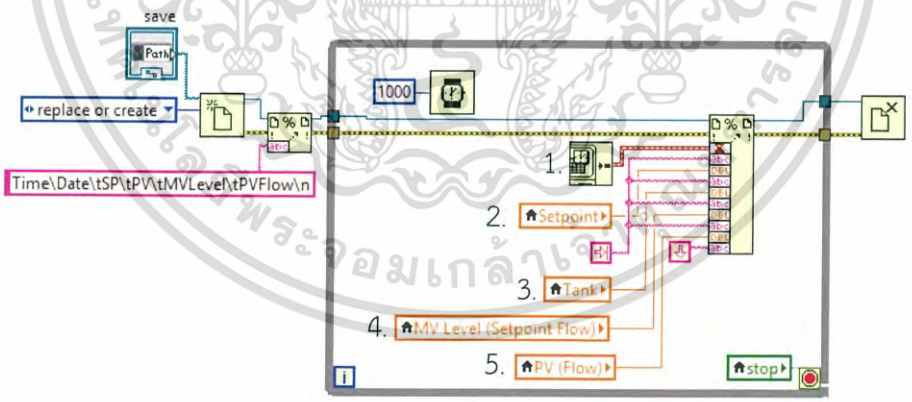
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 Human Machine Interface (HMI)

3.7.2 การเก็บค่าจากกระบวนการ

เนื่องจากการพล็อตกราฟในกระบวนการนั้นไม่เป็นแบบ Real Time เพราะมีการหน่วงเวลาการทำงานในลูปไว้ที่ 8 วินาที ทำให้กราฟที่แสดงในส่วน HMI นั้นไม่ใช่เวลาจริงจึงต้องทำการเก็บค่าจากกระบวนการจริงทุก 1000 มิลลิวินาทีหรือ 1 วินาทีเพื่อมาพล็อตกราฟเทียบกับเวลาจริงได้ โดยเก็บเป็นไฟล์ Text ทำงานร่วมกับ While Loop เพื่อรันโปรแกรมไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะมีเงื่อนไขไปหยุดการรันโปรแกรมนั่นคือปุ่ม Stop



รูปที่ 3.26 บล็อกไดอะแกรมที่เขียนโปรแกรมเก็บค่าจากกระบวนการ

โปรแกรมเก็บค่านั้นเป็นฟังก์ชั่นของโปรแกรม LabVIEW จะทำการสร้างไฟล์ Text โดยมีการออกแบบเพื่อทำการเก็บค่าตัวแปรทั้งหมด 5 ค่า ดังนี้

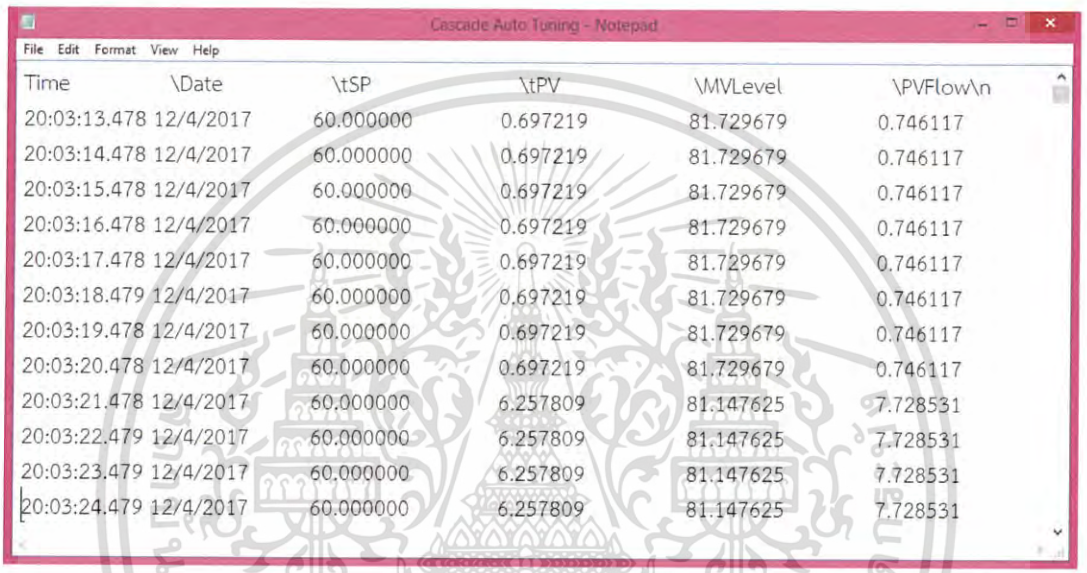
1. ฟังก์ชั่นแสดงวันและเวลา (Time, Date) ในขณะทำการทดลองของโปรแกรม LabVIEW โดยจะแสดงเวลาจริงที่ทำการทดอลงอยู่ในขณะนั้น
2. Set Point คือค่าเป้าหมายของการควบคุมระดับที่ตั้งไว้
3. Tank คือ Process Variable เป็นค่าของระดับที่เป็นเปอร์เซ็นต์ในถังเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. MV Level (Set Point Flow) คือ Manipulated Variable ของระดับซึ่งเป็น Set Point ของการควบคุมอัตราการไหลมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์

5. PV Flow คือ Process Variable เป็นค่าของอัตราการไหลที่เป็นเปอร์เซนต์

เมื่อทำการเก็บค่าจากกระบวนการแล้วสามารถดูค่านั้นได้จากโปรแกรม Notepad ซึ่งจะเป็นไฟล์ Text ซึ่งจะแสดง เวลา, วันที่, Set Point ของระดับ, Process Variable ของระดับ, Manipulated Variable ของระดับ (Set Point ของอัตราการไหล) และ Process Variable ของอัตราการไหล แสดงในรูปที่ 3.27


Cascade Auto Tuning - Notepad

File Edit Format View Help

Time	\Date	\tSP	\tPV	\MVLevel	\PVFlow\n
20:03:13.478	12/4/2017	60.000000	0.697219	81.729679	0.746117
20:03:14.478	12/4/2017	60.000000	0.697219	81.729679	0.746117
20:03:15.478	12/4/2017	60.000000	0.697219	81.729679	0.746117
20:03:16.478	12/4/2017	60.000000	0.697219	81.729679	0.746117
20:03:17.478	12/4/2017	60.000000	0.697219	81.729679	0.746117
20:03:18.479	12/4/2017	60.000000	0.697219	81.729679	0.746117
20:03:19.478	12/4/2017	60.000000	0.697219	81.729679	0.746117
20:03:20.478	12/4/2017	60.000000	0.697219	81.729679	0.746117
20:03:21.478	12/4/2017	60.000000	6.257809	81.147625	7.728531
20:03:22.479	12/4/2017	60.000000	6.257809	81.147625	7.728531
20:03:23.479	12/4/2017	60.000000	6.257809	81.147625	7.728531
20:03:24.479	12/4/2017	60.000000	6.257809	81.147625	7.728531

รูปที่ 3.27 ค่าที่เก็บจากกระบวนการในไฟล์ Text

3.8 ขั้นตอนการทดลอง

หลังจากเขียนโปรแกรม LabVIEW เป็นตัวควบคุมแบบ PID โหมด Auto Tuning แล้วนั้นจะทำการทดลองด้วยกัน 3 ส่วนคือ

1. การทดลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว
2. การทดลองการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว
3. การทดลองการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล

โดยการทดลองทั้งหมดจะต้องทำด้วยเงื่อนไขเดียวกัน คือมีค่าเป้าหมายเท่ากัน และหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีเดียวกันคือ Auto Tuning เพื่อหาผลตอบสนองของการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยวและการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล และหาผลตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการโดยการปิดปั๊มน้ำเป็นเวลา 10 วินาที แล้วนำ Setting Time ที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อดูว่าการควบคุมแบบไหนมีสมรรถนะที่ดีกว่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

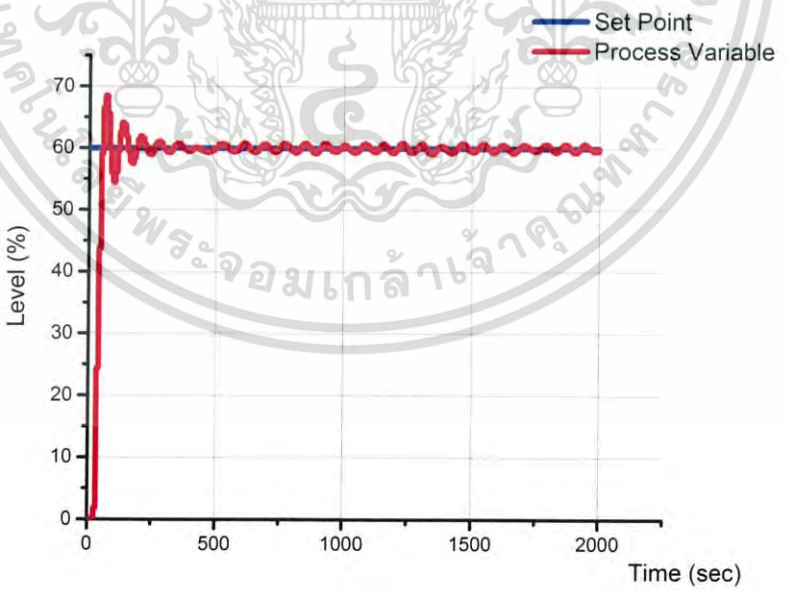
บทที่ 4
ผลการทดลอง

จากการทดลองควบคุมระดับโดยใช้อุปกรณ์ฮาร์ททรานสมิตเตอร์และ PLC ในการควบคุมจะใช้เงื่อนไขเดียวกันคือค่าเป้าหมายของกระบวนการที่มีค่าเท่ากัน และ พารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ซึ่งอยู่ในค่าที่เท่ากันก่อนทำการ Auto Tuning เนื่องจากฟังก์ชั่นของตัวควบคุมของโปรแกรม LabVIEW ในโหมด Auto Tuning นั้นต้องทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของตัวควบคุมก่อนถึงจะทำการ Auto Tuning ได้จากนั้นจะใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Auto Tuning ในการควบคุมกระบวนการ จากการทดลองทั้ง 3 ส่วนจะได้ผลดังนี้

1. ผลการทดลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว
2. ผลการทดลองการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว
3. ผลการทดลองการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล

4.1 ผลการทดลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว

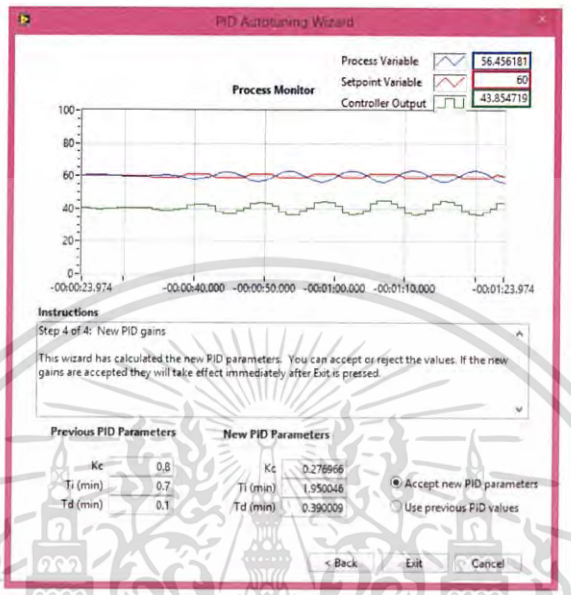
การทดลองควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว โดยใช้ค่าเป้าหมายของกระบวนการคือ 60 % และมีค่าพารามิเตอร์คือ $K_c = 0.8$, $T_i = 0.7$, $T_d = 0.1$ โดยที่ได้ค่ามาจากวิธีการลองผิดลองถูกเป็นค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น จากนั้นสังเกตผลตอบสนองของกระบวนการให้เข้าสู่สภาวะสมดุลเพื่อที่จะทำการ Auto Tuning ต่อไป



รูปที่ 4.1 ผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวก่อน Auto Tuning PID

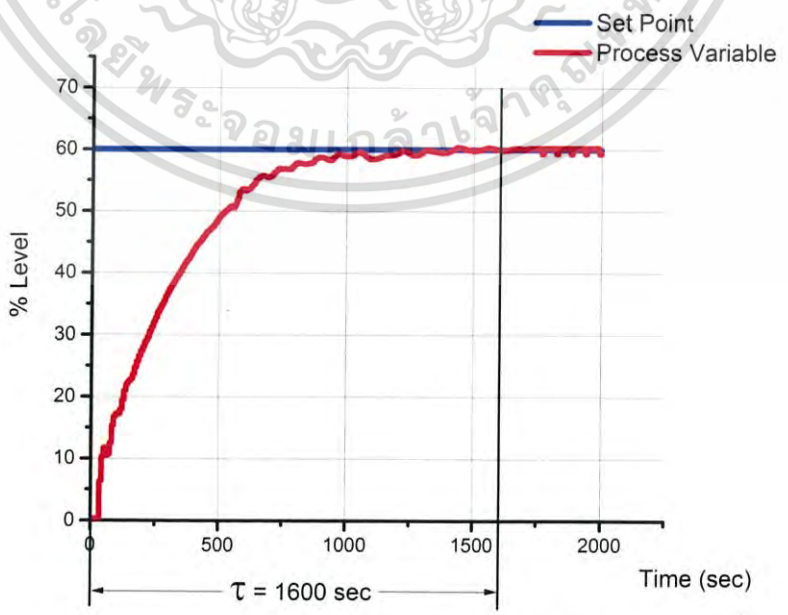
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผลตอบสนองของกระบวนการเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว จากนั้นทำการใช้โหมด Auto Tuning PID ที่อยู่ในโปรแกรม LabVIEW ในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ใหม่ เมื่อทำการใช้โหมด Auto Tuning แล้วเลือกตัวควบคุมเป็น PID ฟังก์ชั่น Auto Tuning จะทำการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมใหม่เพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการควบคุม ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โหมด Auto Tuning PID ของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว

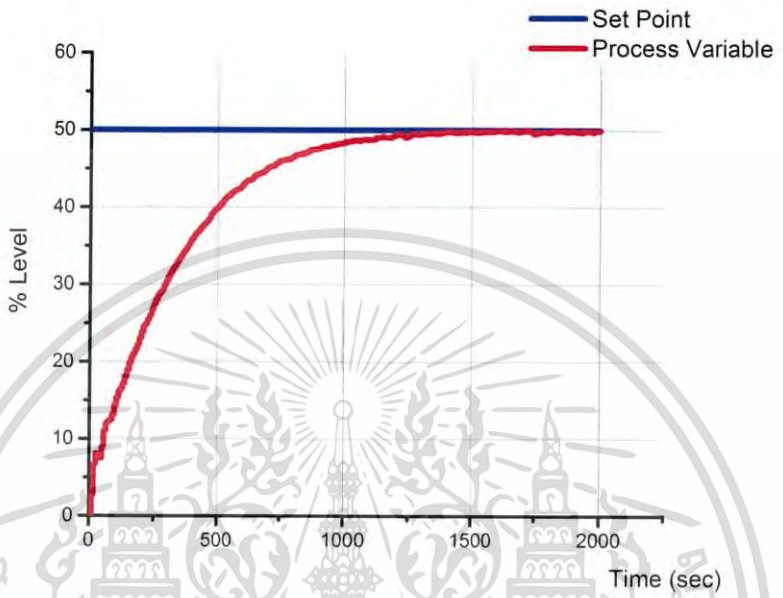
หลังจากใช้ โหมด Auto Tuning PID แล้วจะได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ใหม่คือ K_c = 0.276966, T_i = 1.950046, T_d = 0.390009 จากนั้นทำการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวที่ Set Point 60 % เพื่อดูผลตอบสนองของกระบวนการดังรูปที่ 4.3



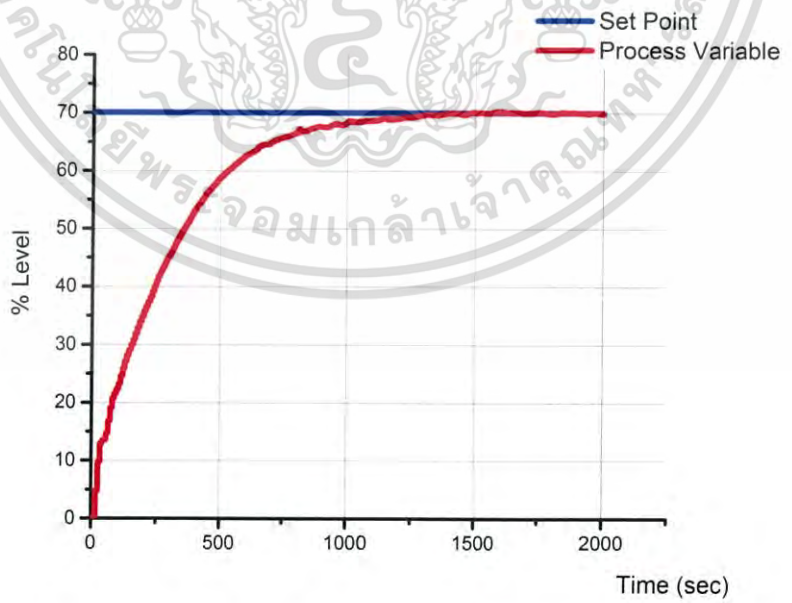
รูปที่ 4.3 ผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 60 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการทดลองควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 60 % นั้นผลคือสามารถควบคุมกระบวนการได้โดยมี Settling Time คือ 1600 วินาที จากนั้นทำการทดลองควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวที่ Set Point 50 % และ 70 % เพื่อดูว่าค่าพารามิเตอร์นั้นเหมาะสมกับการควบคุมกระบวนการที่ Set Point อื่นหรือไม่



รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 50 %

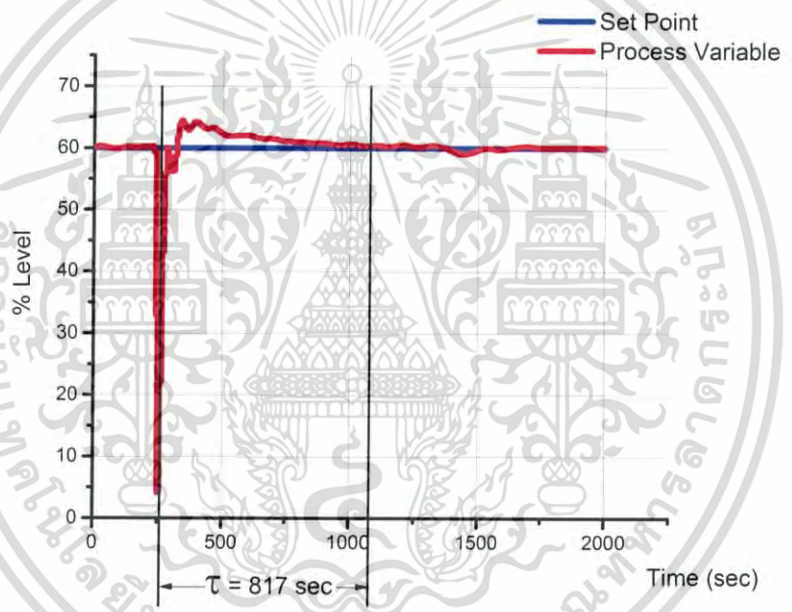


รูปที่ 4.5 ผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 70 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการทดลองควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวที่ Set Point 50 % และ 70 % ผลคือสามารถควบคุมได้ซึ่งก็คือค่าพารามิเตอร์ที่หาจาก Auto Tuning PID สามารถใช้ควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวได้

จากนั้นทำการทดลอง เพื่อดูผลตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการโดยการปิดปั๊มน้ำเป็นเวลา 10 วินาทีที่ Set Point 60 % ถ้าทำการปิดปั๊มน้ำนานกว่านี้จะไม่เป็นการดูผลตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการ เนื่องจาก Process Variable มีค่าเข้าใกล้ 0 % แล้วเมื่อทำการปิด 10 วินาทีดังรูปที่ 4.6 ถ้านานกว่านี้ Process Variable มีค่าเป็น 0 % ซึ่งจะไม่เป็นการดูผลตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการ สัญญาณรบกวนที่ใส่เข้าไปในกระบวนการซึ่งใช้วิธีปิดปั๊มวิธีเดียวนั้น เนื่องจากไม่สามารถใช้วิธีการเปลี่ยนโหลดของกระบวนการได้ เพราะในแบบจำลองการควบคุมไม่มีวาล์วที่จะทำหน้าที่เป็นโหลดในกระบวนการเลยจึงไม่สามารถใช้วิธีการเปลี่ยนโหลดได้



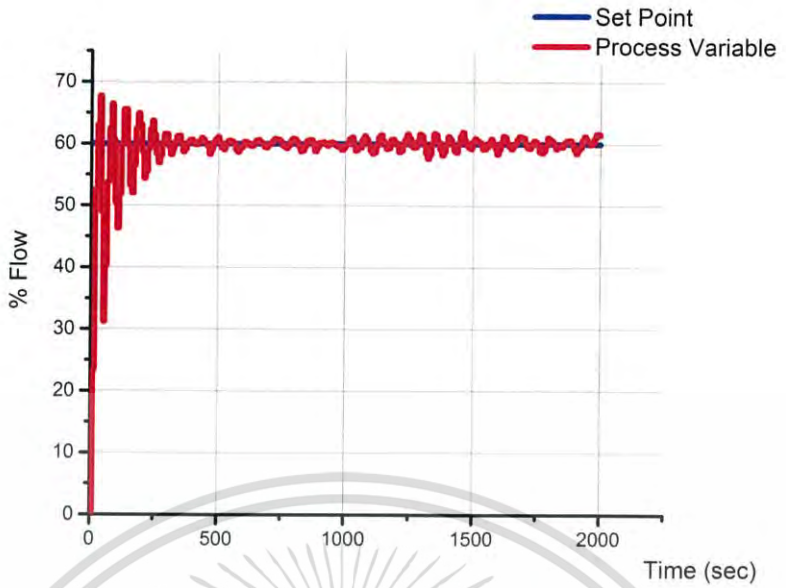
รูปที่ 4.6 ผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวเมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการโดยการปิดปั๊มน้ำเป็นเวลา 10 วินาทีที่ Set Point 60 %

เมื่อทำการทดลองดูผลตอบสนอง เมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการโดยการปิดปั๊มน้ำเป็นเวลา 10 วินาที ผลที่ได้คือตัวควบคุมสามารถควบคุมกระบวนการต่อได้และมี Settling Time คือ 817 วินาที

4.2 ผลการทดลองการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว

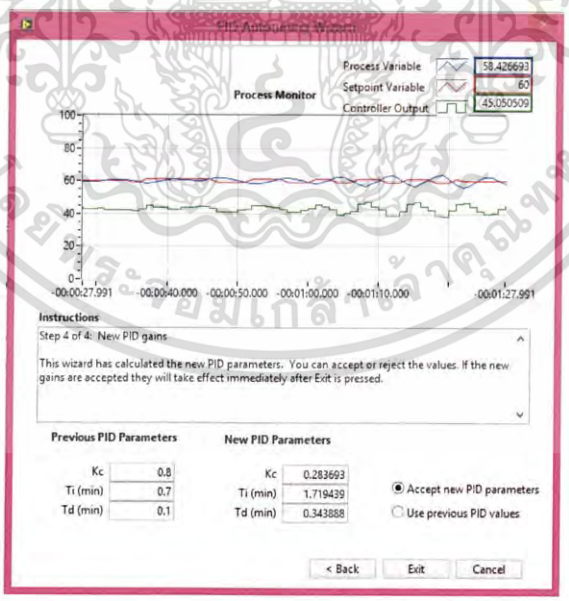
การทดลองควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว โดยใช้ค่าเป้าหมายของกระบวนการคือ 60 % และมีค่าพารามิเตอร์คือ K_c = 0.8, T_i = 0.7, T_d = 0.1 โดยที่ได้ค่ามาจากวิธีการลองผิดลองถูกเป็นค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น จากนั้นสังเกตผลตอบสนองของกระบวนการให้เข้าสู่สภาวะสมดุลเพื่อที่จะทำการ Auto Tuning ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลตอบสนองของการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวก่อน Auto Tuning PID

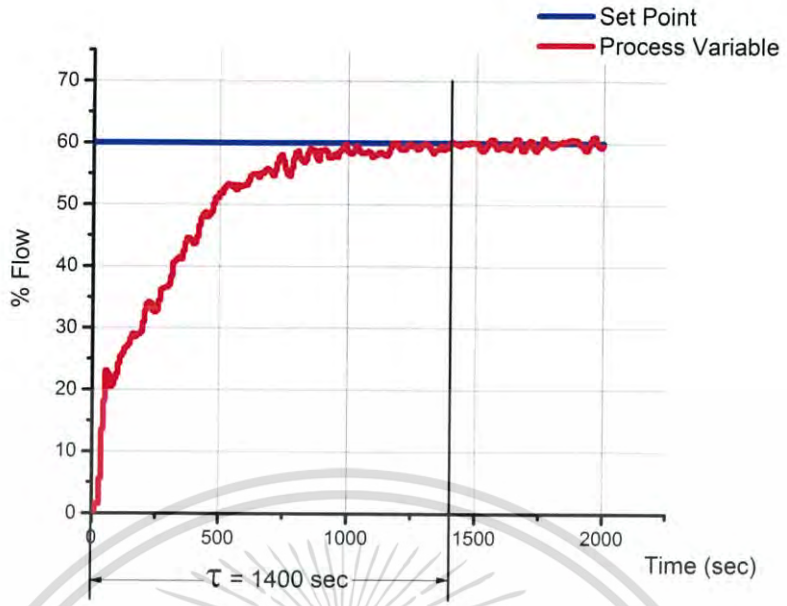
เมื่อผลตอบสนองของกระบวนการเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว จากนั้นทำการใช้โหมด Auto Tuning PID ที่อยู่ในโปรแกรม LabVIEW ในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ใหม่ เมื่อทำการใช้โหมด Auto Tuning แล้วเลือกตัวควบคุมเป็น PID ฟังก์ชั่น Auto Tuning จะทำการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมใหม่เพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการควบคุม ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 โหมด Auto Tuning PID ของการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว

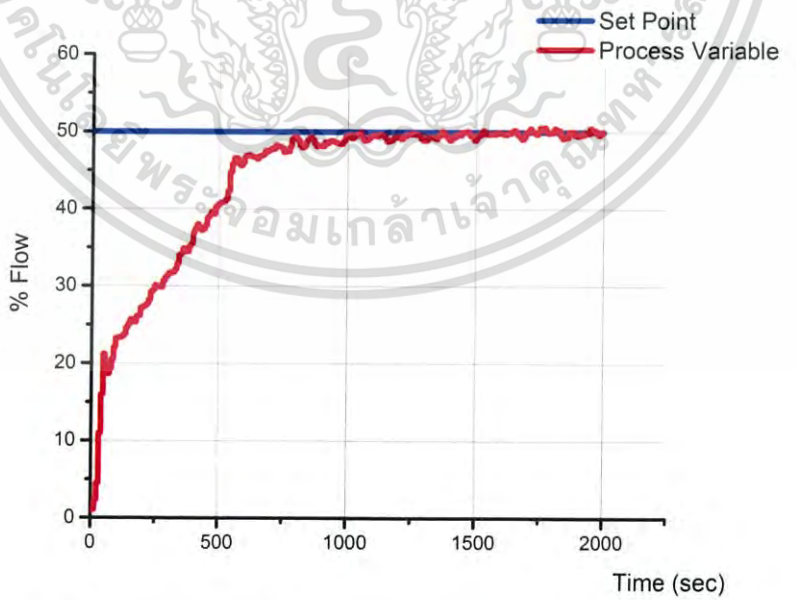
หลังจากใช้ โหมด Auto Tuning PID แล้วจะได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ใหม่คือ K_c = 0.283693, T_i = 1.719439, T_d = 0.343888 จากนั้นทำการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวที่ Set Point 60 % เพื่อดูผลตอบสนองของกระบวนการดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



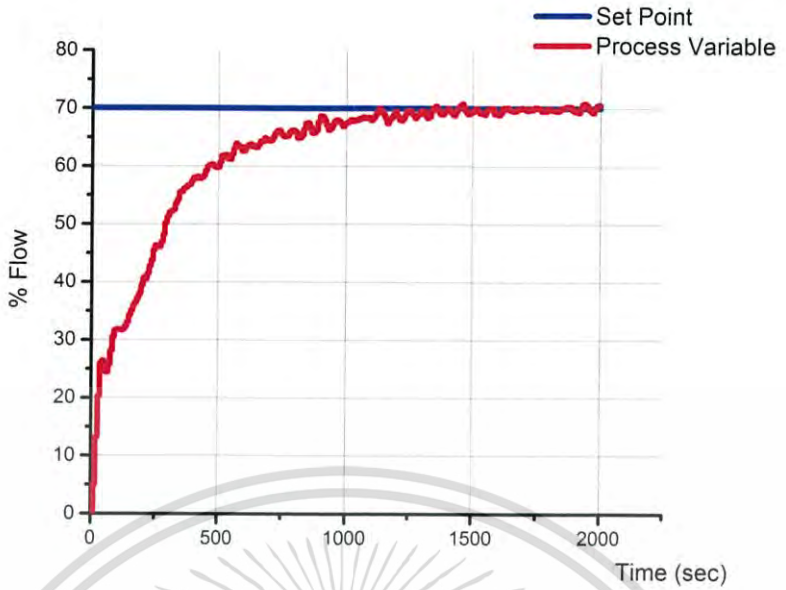
รูปที่ 4.9 ผลตอบสนองของการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 60 %

เมื่อทำการทดลองควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 60 % นั้นผลคือสามารถควบคุมกระบวนการได้โดยมี Settling Time คือ 1400 วินาที จากนั้นทำการทดลองควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวที่ Set Point 50 % และ 70 % เพื่อดูว่าค่าพารามิเตอร์นั้นเหมาะสมกับการควบคุมกระบวนการที่ Set Point อื่นหรือไม่



รูปที่ 4.10 ผลตอบสนองของการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

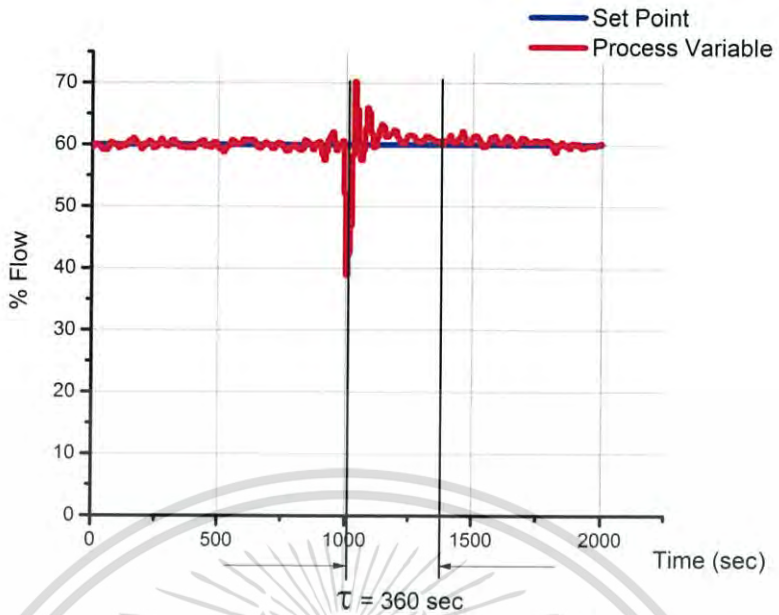


รูปที่ 4.11 ผลตอบสนองของการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 70 %

เมื่อทำการทดลองควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวที่ Set Point 50 % และ 70 % ผลคือสามารถควบคุมได้ซึ่งก็คือค่าพารามิเตอร์ที่หาจาก Auto Tuning PID สามารถใช้ควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวได้

จากนั้นทำการทดลองเพื่อดูผลตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการโดยการปิดปั๊มน้ำเป็นเวลา 10 วินาทีที่ Set Point 60 % ถ้าทำการปิดปั๊มน้ำนานกว่านี้ในการทดลองควบคุมอัตราการไหลสามารถทำได้ แต่เพื่อให้การทดลองเป็นเหมือนกันกับการทดลองควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวจึงทำการปิดปั๊มน้ำเป็นเวลา 10 วินาทีเช่นเดียวกัน สัญญาณรบกวนที่ใส่เข้าไปในกระบวนการซึ่งใช้วิธีปิดปั๊มวิธีเดียวนั้น เนื่องจากไม่สามารถใช้วิธีการเปลี่ยนโหลดของกระบวนการได้ เพราะในแบบจำลองการควบคุมไม่มีวาล์วที่จะทำหน้าที่เป็นโหลดในกระบวนการเลย จึงไม่สามารถใช้วิธีการเปลี่ยนโหลดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ผลตอบสนองของการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวเมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการโดยการปิดปั๊มน้ำเป็นเวลา 10 วินาทีที่ Set Point 60 %

เมื่อทำการทดลองดูผลตอบสนอง เมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการโดยการปิดปั๊มน้ำเป็นเวลา 10 วินาที ผลที่ได้คือตัวควบคุมสามารถควบคุมกระบวนการต่อได้และมี Settling Time คือ 360 วินาที

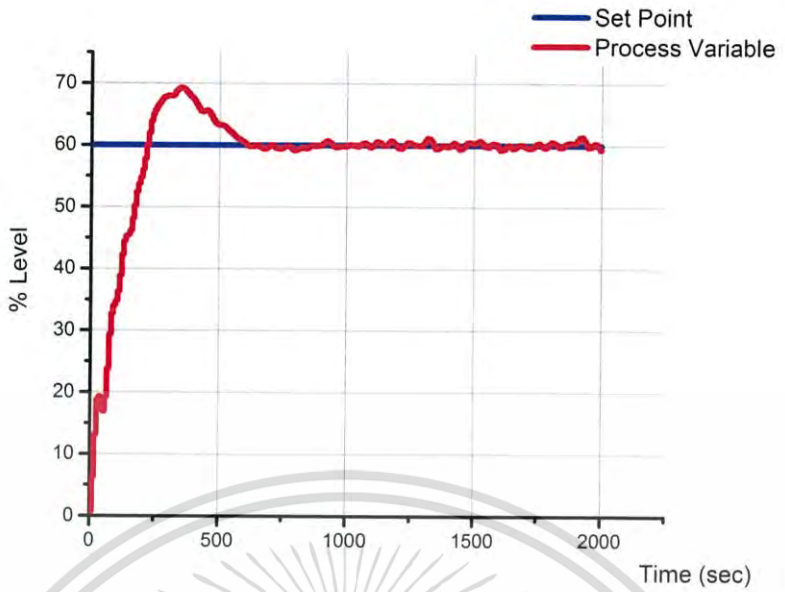
4.3 ผลการทดลองการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล

การทดลองควบคุมแบบคาสเคด ตัวควบคุมหลักคือการควบคุมระดับ และตัวควบคุมรองคือการควบคุมอัตราการไหล โดยใช้ค่าเป้าหมายของกระบวนการคือ 60 % และมีค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) คือ K_c = 0.8, T_i = 0.7, T_d = 0.1 โดยได้ค่ามาจากวิธีการลองผิดลองถูกเพื่อเป็นค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น เพราะต้องการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) ใหม่โดยใช้โหมด Auto Tuning PID ส่วนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมรอง (ตัวควบคุมอัตราการไหล) คือ K_c = 0.283693, T_i = 1.719439, T_d = 0.343888 โดยได้ค่ามาจากผลการทดลองการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้โหมด Auto Tuning PID ในการหาค่าพารามิเตอร์มาแล้ว จากนั้นสังเกตผลตอบสนองของกระบวนการให้เข้าสู่สภาวะสมดุล เพื่อที่จะทำการ Auto Tuning ต่อไป โดยที่ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมในการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหลก่อน Auto Tuning ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมในการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหลก่อน Auto Tuning ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ)

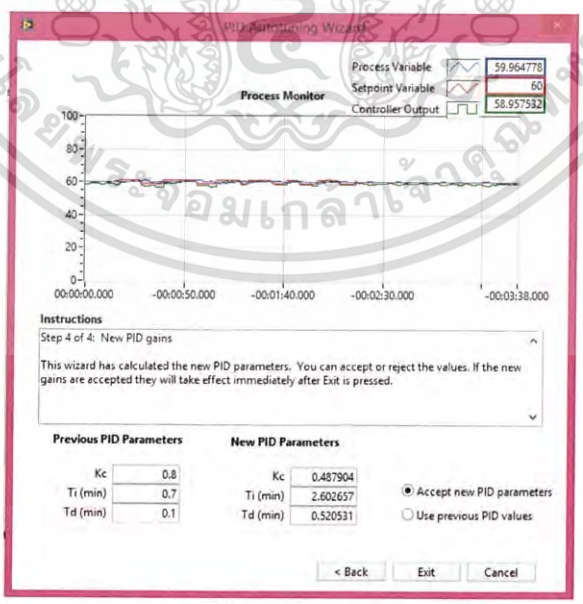
ประเภทตัวควบคุม	K_c	T_i	T_i
ตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ)	0.8	0.7	0.1
ตัวควบคุมรอง (ตัวควบคุมอัตราการไหล)	0.283693	1.719439	0.343888

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบคาสเคดก่อน Auto Tuning PID ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ)

เมื่อผลตอบสนองของกระบวนการเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้ว จากนั้นทำการใช้โหมด Auto Tuning PID ที่อยู่ในโปรแกรม LabVIEW ในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) ใหม่เมื่อทำการใช้โหมด Auto Tuning แล้วเลือกตัวควบคุมเป็น PID ฟังก์ชั่น Auto Tuning จะทำการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) ใหม่ เพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการควบคุม ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 โหมด Auto Tuning PID ในการควบคุมแบบคาสเคดของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ)

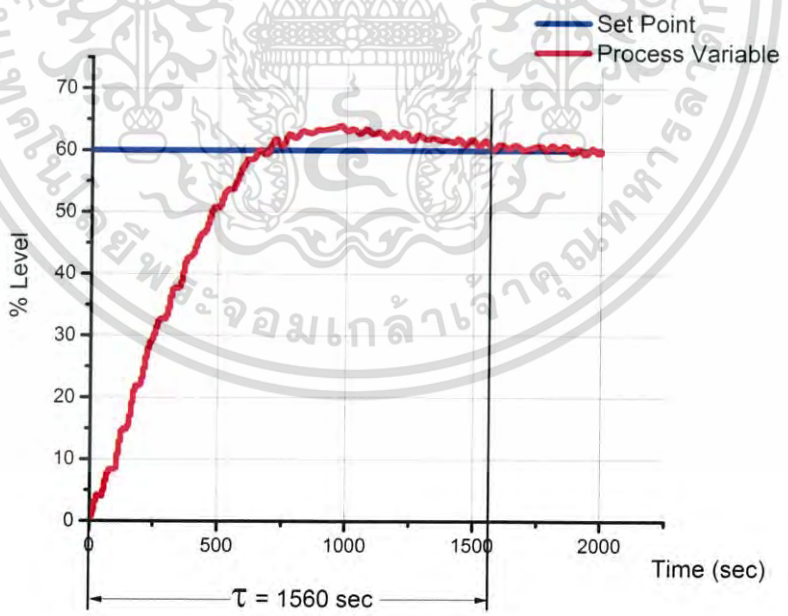
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากใช้ โหมด Auto Tuning PID แล้วจะได้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) ใหม่คือ K_c = 0.487904, T_i = 2.602657, T_d = 0.520531 และมีค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมรอง (ตัวควบคุมอัตราการไหล) คือ K_c = 0.283693, T_i = 1.719439, T_d = 0.343888 โดยได้ค่ามาจาก การทดลองการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้โหมด Auto Tuning PID ในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม ที่ใช้ค่านี้เป็นค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมรอง (ตัวควบคุมอัตราการไหล) เนื่องจากเป็นค่าที่ได้จากการทดลองควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวโดยที่มี Set Point เดียวกันคือ 60 % และวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ก็ใช้วิธีเดียวกันคือ Auto Tuning แล้วผลที่ได้ คือ ตัวควบคุมที่ใช้ค่าพารามิเตอร์นี้สามารถควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวได้

จากนั้นทำการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหลที่ Set Point 60 % เพื่อดูผลตอบสนองของกระบวนการ ดังรูปที่ 4.15 โดยที่ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมในการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหลหลังจาก Auto Tuning ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมในการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล หลังจาก Auto Tuning ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ)

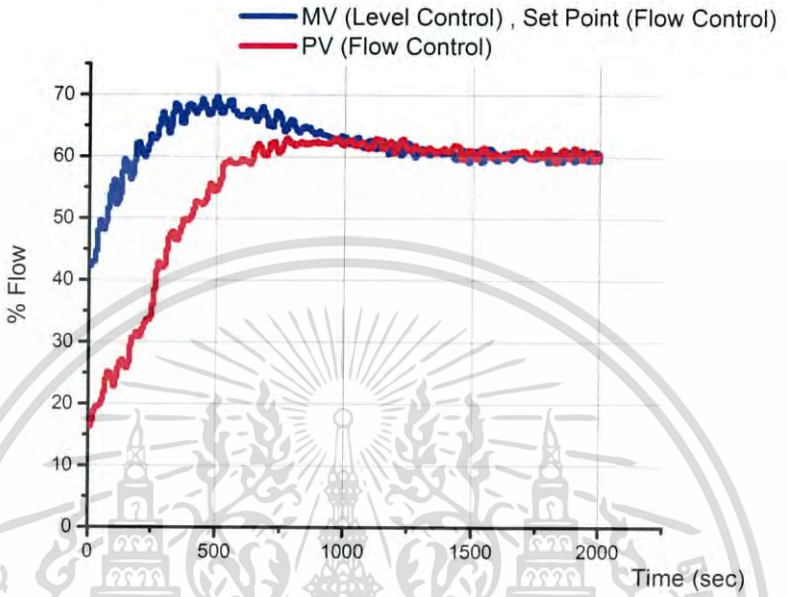
ประเภทตัวควบคุม	K_c	T_i	T_i
ตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ)	0.487904	2.602657	0.520531
ตัวควบคุมรอง (ตัวควบคุมอัตราการไหล)	0.283693	1.719439	0.343888



รูปที่ 4.15 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบคาสเคดโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 60 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการทดลองควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล สัญญาณ Manipulated Variable ของการควบคุมระดับ จะไปเป็น Set Point ของการควบคุมอัตราการไหล ซึ่งจะมีการ Track กันระหว่าง สัญญาณ Manipulated Variable ของการควบคุมระดับ กับ Process Variable ของการควบคุมอัตราการไหล แสดงดังรูปที่ 4.16

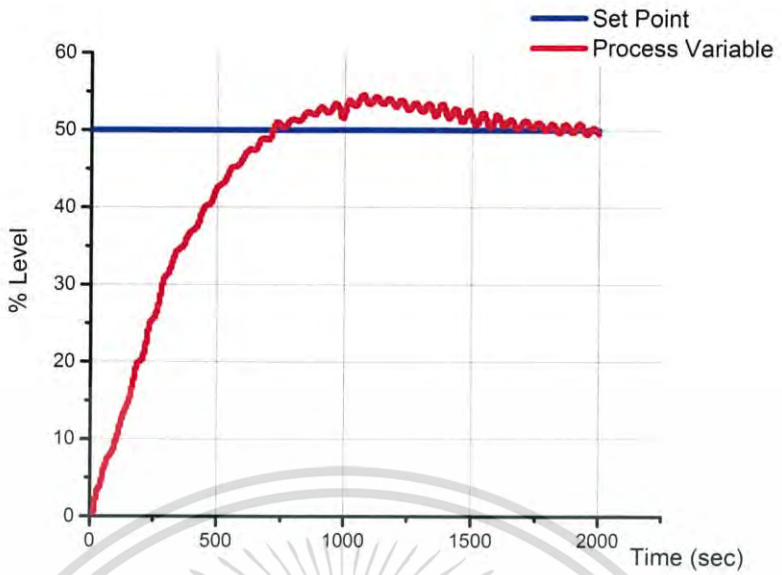


รูปที่ 4.16 ผลตอบสนองของสัญญาณ MV (Level Control), Set Point (Flow Control) กับ PV (Flow Control) ที่มีการ Track กัน

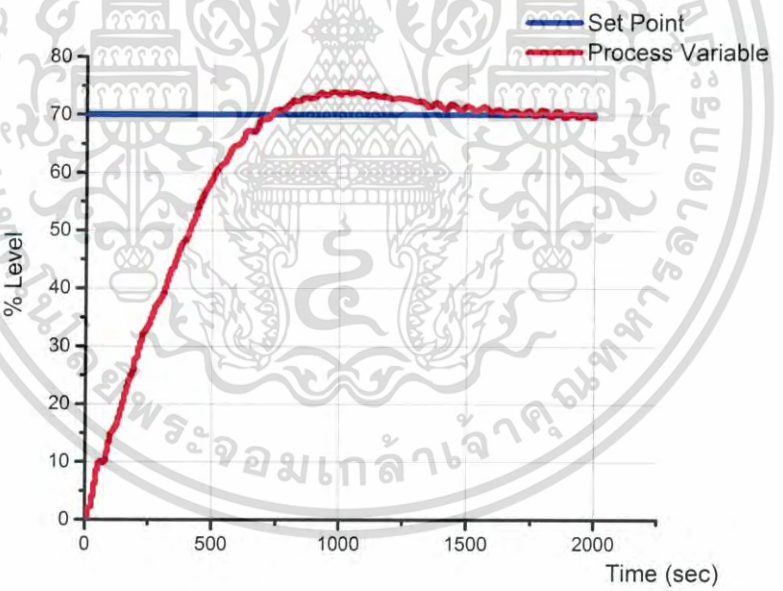
เมื่อทำการทดลองควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหลโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) จาก Auto Tuning PID และใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมรอง (ตัวควบคุมอัตราการไหล) จากการทดลองควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้โหมด Auto Tuning ในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม โดยทำการทดลองที่ Set Point 60 % ซึ่งผลที่ได้คือสามารถควบคุมกระบวนการได้โดยมี Settling Time คือ 1560 วินาที

จากนั้นทำการทดลองควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหลที่ Set Point 50 % และ 70 % เพื่อดูว่าค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) และ ตัวควบคุมรอง (ตัวควบคุมอัตราการไหล) นั้นเหมาะกับการควบคุมกระบวนการที่ Set Point อื่นหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบคาสเคดโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 50 %



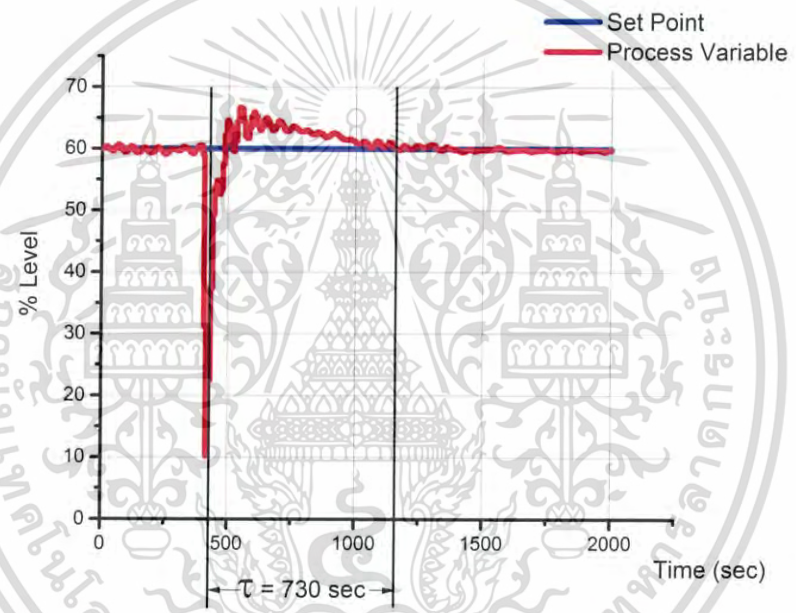
รูปที่ 4.18 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบคาสเคดโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) จาก Auto Tuning PID ที่ Set Point 70 %

เมื่อทำการทดลองควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหลที่ Set Point 50 % และ 70 % ผลคือสามารถควบคุมได้ซึ่งก็คือค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) ที่หาจาก Auto Tuning PID และค่าค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมรอง (ตัวควบคุมอัตราการไหล) จากการทดลองควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวโดยใช้โหมด Auto Tuning ในการหาค่าพารามิเตอร์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวควบคุม นั้นสรุปว่าค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมหลัก (ตัวควบคุมระดับ) และ ตัวควบคุมรอง (ตัวควบคุมอัตราการไหล) ที่ใช้ในการควบคุมสามารถใช้ควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหลได้

จากนั้นทำการทดลองเพื่อดูผลตอบสนอง เมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการโดยการปิดปั๊มน้ำเป็นเวลา 10 วินาทีที่ Set Point 60 % ถ้าทำการปิดปั๊มน้ำนานกว่านี้จะไม่เป็นการดูผลตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการ เนื่องจาก Process Variable มีค่าเข้าใกล้ 0 % แล้วเมื่อทำการปิด 10 วินาทีดังรูปที่ 4.19 ถ้านานกว่านี้ Process Variable มี ค่าเป็น 0 % ซึ่งจะไม่เป็นการดูผลตอบสนองเมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการ สัญญาณรบกวนที่ใส่เข้าไปในกระบวนการซึ่งใช้วิธีปิดปั๊มวิธีเดียวนั้น เนื่องจากไม่สามารถใช้วิธีการเปลี่ยนโหลดของกระบวนการได้ เพราะในแบบจำลองการควบคุมไม่มีวาล์วที่จะทำหน้าที่เป็นโหลดในกระบวนการเลยจึงไม่สามารถใช้วิธีการเปลี่ยนโหลดได้



รูปที่ 4.19 ผลตอบสนองของการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหลเมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการโดยการปิดปั๊มน้ำเป็นเวลา 10 วินาทีที่ Set Point 60 %

เมื่อทำการทดลองดูผลตอบสนอง เมื่อมีสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการโดยการปิดปั๊มน้ำเป็นเวลา 10 วินาที ผลที่ได้คือตัวควบคุมสามารถควบคุมกระบวนการต่อได้และมี Settling Time คือ 730 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลจากการทดลองทั้ง 3 ส่วนเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะ ระหว่างการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว กับการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหลซึ่งจะแสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวกับการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลตอบสนองของการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวกับการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล ซึ่งทำการควบคุมที่ Set Point 60 %

ผลตอบสนองของกระบวนการ	การควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว	การควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล
เวลาเข้าสู่สมดุล หรือ Settling Time (วินาที)	1600	1560
เมื่อเกิดสัญญาณรบกวนมากระทำต่อกระบวนการโดยการปิดปั๊มน้ำเป็นเวลา 10 วินาที จะมี Settling Time (วินาที)	817	730

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการควบคุมระดับร่วมกับอุปกรณ์ฮาร์ททรานสมิตเตอร์แบบไร้สายซึ่งมี Smart Wireless THUM Adapter เพื่อให้ทรานสมิตเตอร์มีการสื่อสารแบบไร้สายนั้นมีอัตราการอัพเดตข้อมูล 8 วินาทีสามารถใช้ในการควบคุมได้ โดยแก้ไขปรับคาบเวลาควบคุมให้สามารถควบคุมวงรอบได้ ซึ่งสามารถดูค่ากระบวนการและควบคุมกระบวนการได้ทั้งการควบคุมระดับและการควบคุมอัตราการไหลได้อีกด้วย

จากผลการทดลองทั้ง 3 ส่วนเพื่อเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล (Cascade Level - Flow Control) กับการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว (Level Single Loop) เมื่อทำการทดลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวในการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมจะใช้โหมด Auto Tuning PID จะได้ Settling Time = 1600 วินาที และ การทดลองการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยวในการหาค่าพารามิเตอร์จะใช้โหมด Auto Tuning PID จะได้ Settling Time = 1400 วินาที และสุดท้ายการทดลองการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล โดยมีลูปในเป็นการควบคุมอัตราการไหล และลูปนอกเป็นการควบคุมระดับ ในการหาค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมของลูปในจะใช้ ค่าพารามิเตอร์จากการทดลองการควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว และการหาค่าพารามิเตอร์ในลูปนอกจะใช้โหมด Auto Tuning PID จะได้ Settling Time = 1560 วินาที และทดลองเมื่อเกิดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการปิดปั๊มน้ำที่เป็นแหล่งจ่ายเป็นเวลา 10 วินาที จากผลการทดลองการควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยวค่ากระบวนการจะใช้เวลาในการในการเข้าหาค่าเป้าหมายคือ 817 วินาที และการควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหลจะค่ากระบวนการจะใช้เวลาในการในการเข้าหาค่าเป้าหมายคือ 730 วินาที จากผลการทดลองทั้งสองแสดงให้เห็นว่าการควบคุมแบบคาสเคดมีสมรรถนะที่ดีกว่าการควบคุมแบบวงรอบเดี่ยว เนื่องจากมี Settling Time ที่น้อยกว่า และเมื่อเกิดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการปิดปั๊มน้ำที่เป็นแหล่งจ่ายเป็นเวลา 10 มีเวลาที่ค่ากระบวนการเข้าสู่ค่าเป้าหมายที่น้อยกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

การใช้งาน Smart Wireless THUM Adapter ที่มีอัตราการอัพเดตข้อมูล 8 วินาทีนั้นเหมาะกับการควบคุมกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงช้า เช่น อุณหภูมิ หรือ ระดับที่แทงค์มีความจุมากเป็นต้น และเหมาะกับการดูหรือตรวจสอบกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงเร็วเช่นอัตราการไหล แต่ในการควบคุมนั้นก็สามารถทำได้ แต่อาจจะทำให้การควบคุมนั้นมีสมรรถนะที่ไม่ค่อยดี

การใช้งาน OPC Server เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่มีมาตรฐานการสื่อสารที่แตกต่างกันจำเป็นที่จะต้องรู้โปโตคอลของแต่ละอุปกรณ์และวิธีการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับคอมพิวเตอร์ก่อน เพื่อที่จะตั้งค่า OPC Server ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์นั้นๆ จึงจะสามารถใช้งานอุปกรณ์ผ่าน OPC Server ได้

การใช้งานอุปกรณ์การวัดในกระบวนการควบคุมควรจะเลือกใช้อุปกรณ์ ให้เหมาะสมกับย่านการวัดในกระบวนการควบคุม เพื่อให้ค่าที่วัดได้มีความละเอียดเหมาะสมกับการควบคุมกระบวนการนั้น ๆ และให้ระบบควบคุมมีประสิทธิภาพอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Carlos A. Smith, Armando B. Corripio. **"Principles and Practice of Automation Process Control."** 2nd ed. New York. John & Sons. Inc., 1997

[2] Jeffrey Travis. **"LabVIEW for Everyone."** 2nd ed. Prentice-Hall Inc., 2002

[3] William Stallings, **"Data and Computer Communications."** 8th ed. New Jersey. Prentice-Hall Inc., 2007

[4] กิจไพบูลย์ ชีวพันธุศรี. **"การสร้างระบบอัตโนมัติด้วย LabVIEW ร่วมกับระบบ Data Acquisition และ Machine Vision สำหรับผู้เริ่มต้น."** ซีเอ็ดยูเคชั่น., 2557

[5] สุมาลี อุณหวณิชย์. **"ระบบควบคุม."** ว.เพ็ชรสกุล., 2545

[6] ทวิช ชูเมือง. **"การออกแบบระบบเครื่องมือวัดและควบคุมทางอุตสาหกรรม (เล่ม 1 ระบบควบคุมและข้อมูลพื้นฐาน)."** เอช. เอ็น. กรุ๊ป.,2549

[7] ทวิช ชูเมือง. **"การออกแบบระบบเครื่องมือวัดและควบคุมทางอุตสาหกรรม (เล่ม 2 การเลือกใช้และออกแบบระบบเครื่องมือวัด)."** เอช. เอ็น. กรุ๊ป., 2549

[8] เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์. **"หลักการของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม."** แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง., 2547

[9] ประสิทธ์ จุลเสรีวงศ์, ศรีนคร นนทนาคร. **"วาล์วควบคุม (Control Valve)."** งานบริการการเรียนการสอน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง., 2555

[10] บริษัท ออมรอน อีเลคทรอนิคส์ จำกัด. **"การใช้งาน PLC ระดับ 1."** ซีเอ็ดยูเคชั่น., 2557

[11] สุชาติ จันทร์จรมานิตย์. **"ระบบควบคุม."** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา., 2555

[12] ธิติกานต์ โชติกลาง. **"การประยุกต์ใช้งานโอพีซีเซิร์ฟเวอร์ร่วมกับฮาร์ททรานสมิตเตอร์แบบไร้สายและพีแอลซีเพื่อควบคุมความดันแก๊สด้วยแลปวิว."** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศกรรมการวัดคุม วิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง., 2559

[13] HART APPLICATION GUIDE. **"HART Communication Protocol Application Guide."** HART Communication Foundation. 2013. [Online]. Available: http://www.hartcomm.org.

[14] NATIONAL INSTRUMENT. **"PID Control Toolkit User Manual."** [Online] Available: http://www.ni.com/pdf/manuals/372192d.pdf. Inc., 1997.

[15] **The Cascade Control Architecture** [Online] Available: http://controlguru.com/the-cascade-control-architecture/

[16] **Differential Pressure Flow meters** [Online] Available: http://www.electricalidea.com/2016/12/12/differential-pressure-flow-meters/

[17] **A few important concepts about Pressure Transmitters** [Online] Available: http://www.smar.com/en/technical-article/a-few-important-concepts-about-pressure-transmitters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
(Specification ของอุปกรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specification ของอุปกรณ์

1 ทรานสมิตเตอร์วัดค่าความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter)

เป็นทรานสมิตเตอร์ชนิดวัดความดันแตกต่างยี่ห้อ ABB รุ่น 2600T Series ที่มีมาตรฐานการสื่อสารเป็น HART Protocol โดยมี 2 หน่วยการวัดคือ inH_2O ใช้ในการวัดอัตราการไหล และ psi ใช้ในการวัดระดับ

รูปที่ 1 Differential Pressure Transmitter

Specifications		
หน่วย inH_2O		
URL	1000	inH_2O at 20 degrees Celsius
LRL	-1000	inH_2O at 20 degrees Celsius
Span Limits	10-1000	inH_2O at 20 degrees Celsius
Output Signal	4-20	mA + HART
Power Supply	10.5-42	Vdc
หน่วย psi		
URL	87	psi
LRL	-87	psi
Span Limits	0.87-87	psi
Output Signal	4-20	mA + HART
Power Supply	10.5-42	Vdc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 Smart Wireless THUM Adapter

ใช้ต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่มีมาตรฐานเป็น HART Protocol เพื่อใช้ส่งสัญญาณแบบไร้สายที่ความถี่ 2.4 GHz

รูปที่ 2 Smart Wireless THUM Adapter

Specifications

อินพุต	2 or 4 wire HART powered device
เอาต์พุต	Wireless HART
การทนความชื้น	ความชื้นสัมพัทธ์ 0-100 เปอร์เซ็นต์
อัตราการอัพเดทข้อมูล	สามารถตั้งได้ตั้งแต่ 8 วินาที – 60 นาที
ระดับการป้องกัน	IP66
น้ำหนัก	0.29 กิโลกรัม
การทนอุณหภูมิ	-40 – 85 องศาเซลเซียส

3 Smart Wireless Gateway

โดย Smart Wireless Gateway เป็นอุปกรณ์ที่รับสัญญาณจากทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter) ผ่านทาง IP Address 192.168.1.10 และมีการเชื่อมต่อ Smart Wireless Gateway ไปยัง Wireless Hub ส่งค่าออกมาเป็น Modbus TCP/IPโดยสามารถอ่านค่าที่วัดได้ผ่านทาง OPC Server

รูปที่ 3 Smart Wireless Gateway

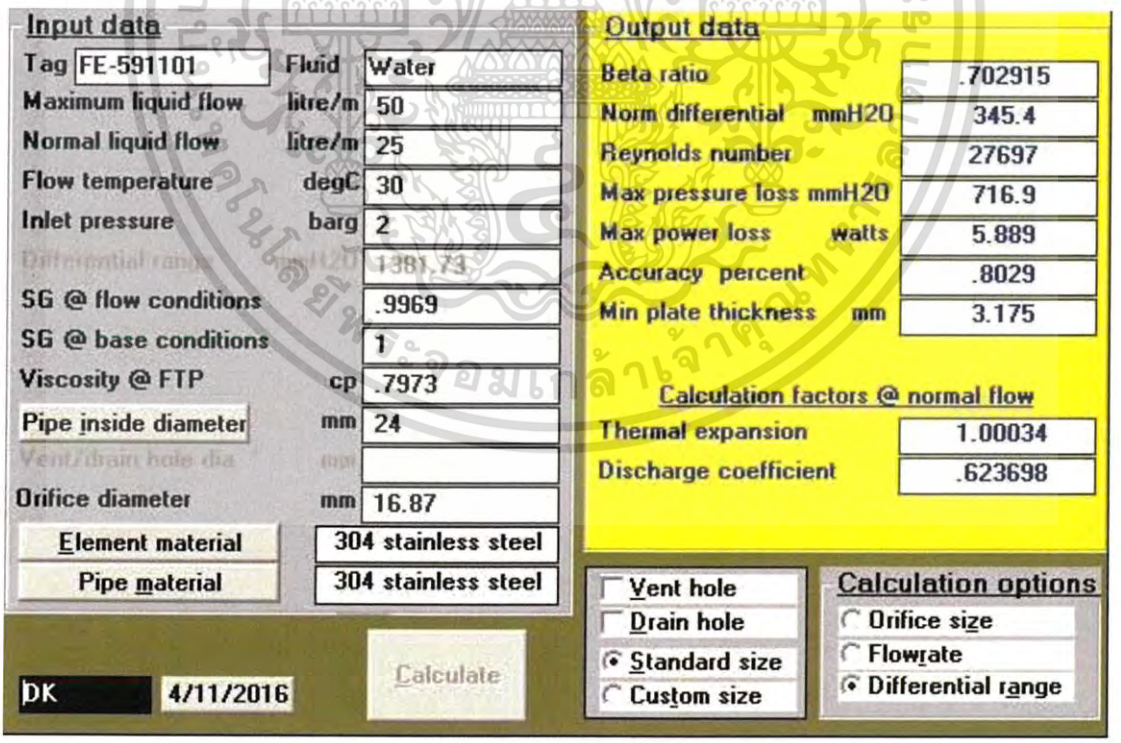
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ[illegible]ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 แผ่นออริฟิส (Orifice Plate)

แผ่นออริฟิสเป็น Primary Element ในการวัดอัตราการไหล ทำหน้าที่กีดขวางการไหลทำให้เกิดความดันแตกต่างตกคร่อมระหว่างด้านขาเข้ากับขาออก

รูปที่ 4 แผ่นออริฟิส

Specifications Sheet



รูปที่ 5 Specifications Sheet ของแผ่นออริฟิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 ปั๊มน้ำ (Submersible Pump)

ปั๊มน้ำของ Mitsubishi Tornado WSP-105S Submersible Pump

รูปที่ 6 ปั๊มน้ำ

Specifications

โมเดล	WSP-105S	
ความสูงที่ปั๊มได้	6.7	เมตร
อัตราการไหลสูงสุด	85	ลิตรต่อนาที
Power Output	100	วัตต์
Supply	1 เฟส/220-230 โวลต์/50 เฮิรตซ์	
ขนาดท่อ	1	นิ้ว

6 Current-to-Pneumatic Converter

Current to Pneumatic Converter ของ Yokogawa ทำหน้าที่รับสัญญาณควบคุมจาก PLC ซึ่งรับมาเป็นสัญญาณ 4-20 mAdc แล้วส่งสัญญาณมาตรฐาน Pneumatic 3-15 psi ไปยัง Control Valve

รูปที่ 7 Current to Pneumatic Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

โมเดล	5502-2101/NPT	
แหล่งจ่ายลม	1.4	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
อินพุต	dc 4-20	มิลลิแอมป์
เอาต์พุต	0.2-1.0	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

7 วาล์วควบคุม (Control Valve)

วาล์วควบคุมที่ใช้เป็นยี่ห้อ Valtek ที่มี Valve Positioner ที่เป็นแบบ Pneumatic to Pneumatic และมี Actuator เป็นลูกสูบ วาล์วควบคุมเป็นชนิด Globe Valve

รูปที่ 8 Control Valve

Specifications

ขนาด	1 นิ้ว
วัสดุที่ใช้ทำบอดี้	ASTM-A351-CF8C
วัสดุที่ใช้ทำชุดทริม	ST
RATING	ANSI 150
AIR FAIL	CLOSE

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8 Rotameter

Rotameter จะใช้ยี่ห้อ FuWell รุ่น LZT M-25

รูปที่ 9 Rotameter

Specifications

วัสดุที่ใช้	แก้ว, สแตนเลส, พลาสติก
ย่านการวัด	1-11 แกลอนต่อนาที, 4-40 ลิตรต่อนาที
ขนาด	236x79x45 มิลลิเมตร
การติดตั้ง	ติดตั้งแนวตั้ง

9 PLC (Programmable Logic Controller)

PLC ใช้เป็น PLC Omron C200HE เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย RS-232 และรับค่าสัญญาณดิจิตอลด้วยโมดูล D to A (Digital to Analog) ไปเป็นสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA เพื่อส่งสัญญาณไปยัง Current to Pneumatic Converter

รูปที่ 10 PLC Omron C200HE

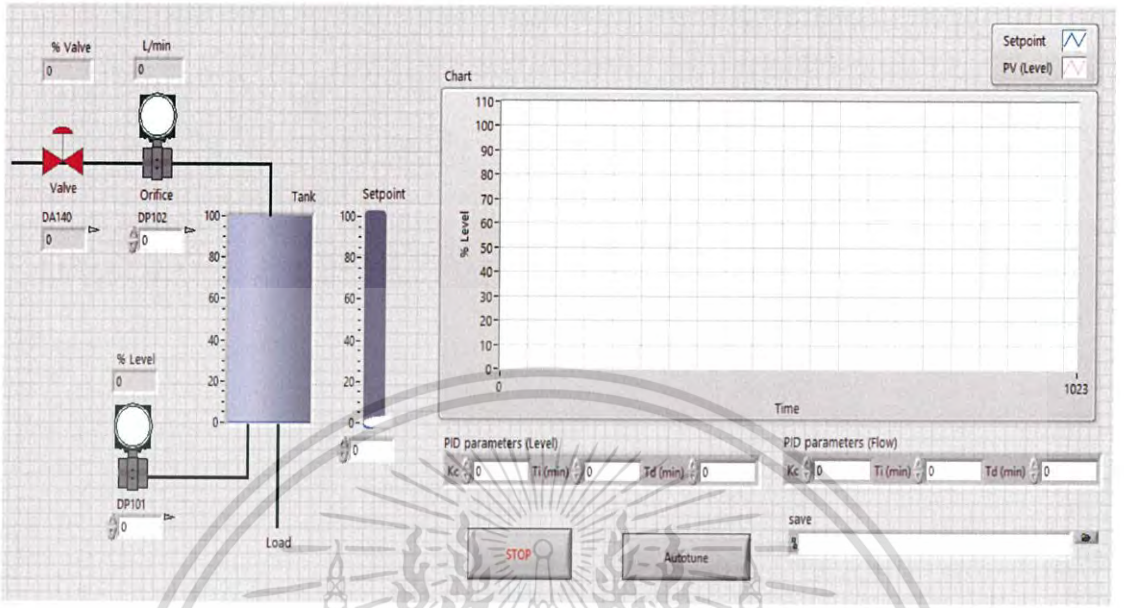
รูปที่ 11 RS-232 to USB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

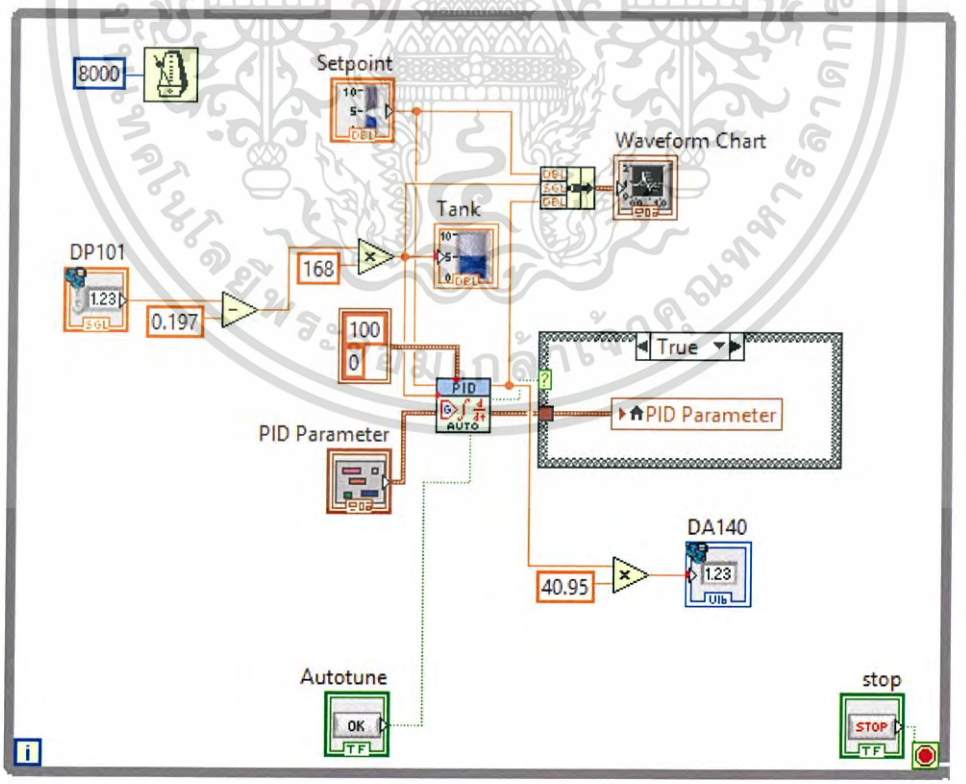
ภาคผนวก ข
(โปรแกรม LabVIEW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนแสดงผล Front Panel (Human Machine Interface : HMI)

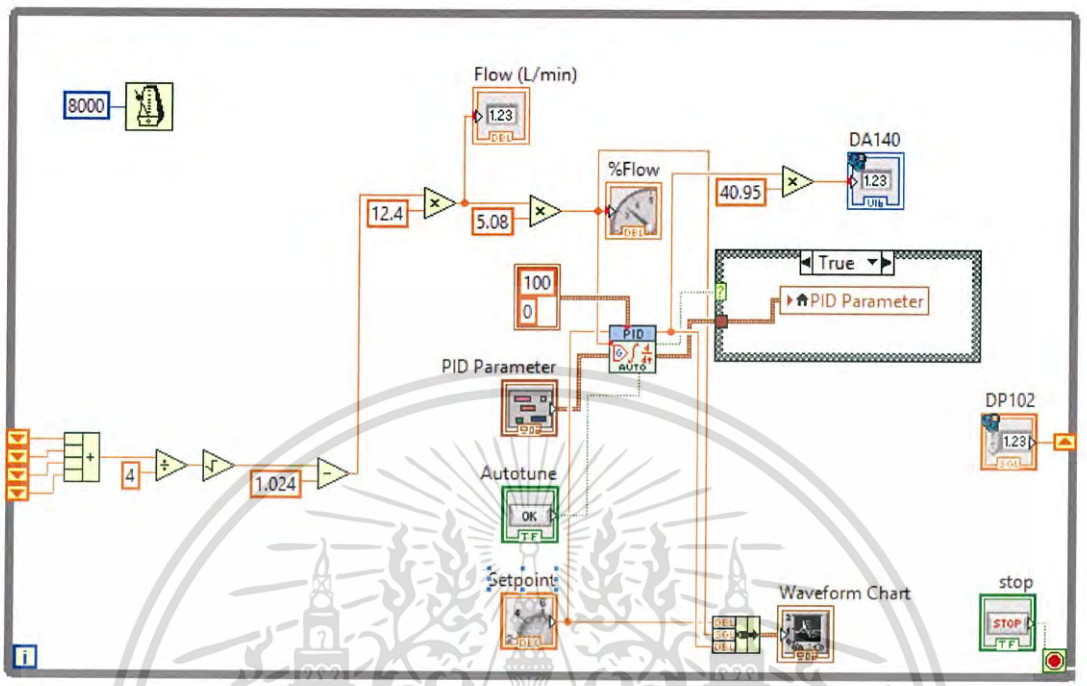


Block Diagram เป็นโปรแกรมควบคุมระดับแบบวงรอบเดี่ยว

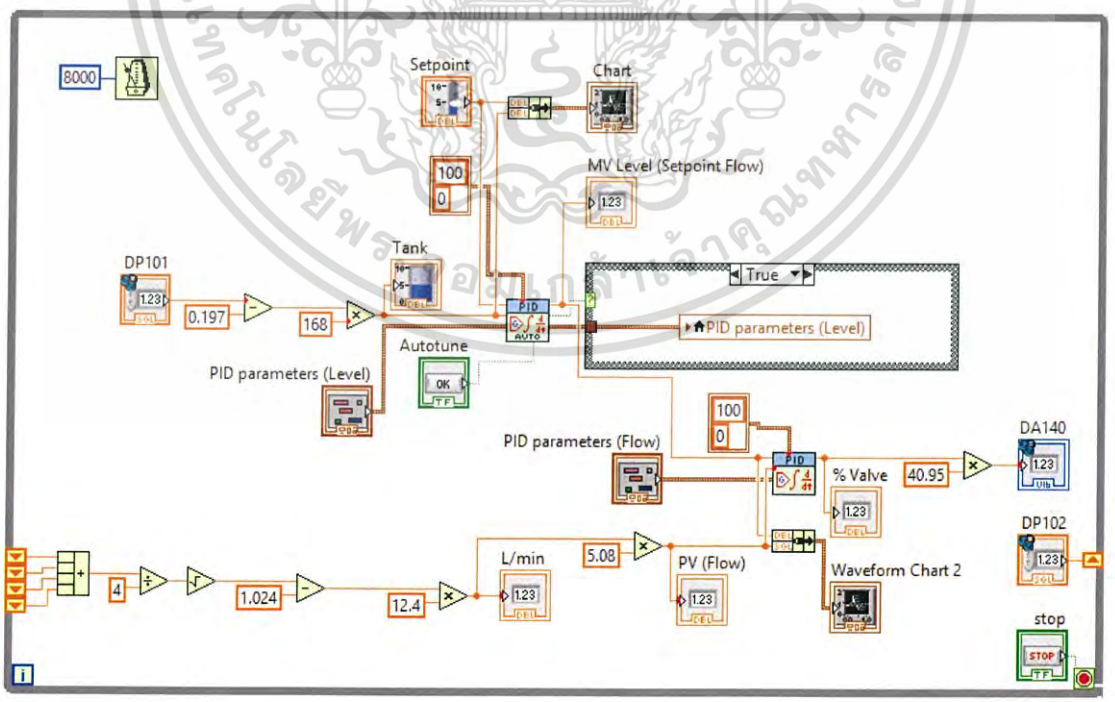


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram เป็นโปรแกรมควบคุมอัตราการไหลแบบวงรอบเดี่ยว

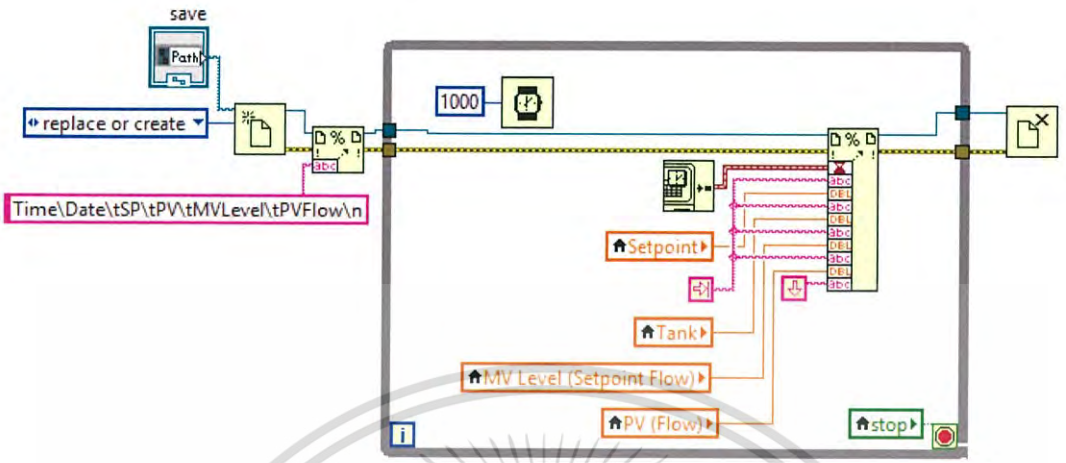


Block Diagram เป็นโปรแกรมควบคุมแบบคาสเคดระดับ - อัตราการไหล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram เป็นโปรแกรมเก็บค่าจากกระบวนการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
(Data Sheet ของอุปกรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data Sheet DS/264XS-EN Rev. G

Model 264DS Differential
Model 264PS Gauge
Model 264VS Absolute

ABB 2600T Series
Engineered solutions for all applications

Base accuracy : ±0.075%

Span limits
- 0.05 to 16000kPa; 0.2inH_2O to 2320psi
- 0.27 to 16000kPa abs; 2mmHg to 2320psia

Reliable sensing system coupled with very latest digital technologies
- provides large turn down ratio up to 100:1

Comprehensive sensor choice
- optimize in-use total performance and stability

5-year stability

Flexible configuration facilities
- provided locally via local keys combined with LCD indicator or via hand held terminal or PC configuration platform

Multiple protocol availability
- provides integration with HART®, PROFIBUS PA and FOUNDATION Fieldbus platforms offering interchangeability and transmitter upgrade capabilities

Full compliance with PED Category IV
- suitable for safety accessory application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power and productivity for a better world™

Reference Manual
00809-0100-4075, Rev CA
March 2014

Smart Wireless THUM™ Adapter

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

IEC

WirelessHART

EMERSON.
Process Management

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Product Data Sheet
August 2015
00813-0200-4420, Rev GB

Emerson™ Smart Wireless Gateway

- Gateway connects wireless self-organizing networks with any host system
- Easy configuration and management of self-organizing networks
- Easy integration into control systems and data applications through serial and Ethernet LAN connections
- Seamless integration into AMS® Device Manager and DeltaV™ automation system
- Greater than 99% reliability with industry proven security
- Smart Wireless capabilities extends the full benefit of PlantWeb® architecture to previously inaccessible locations

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้