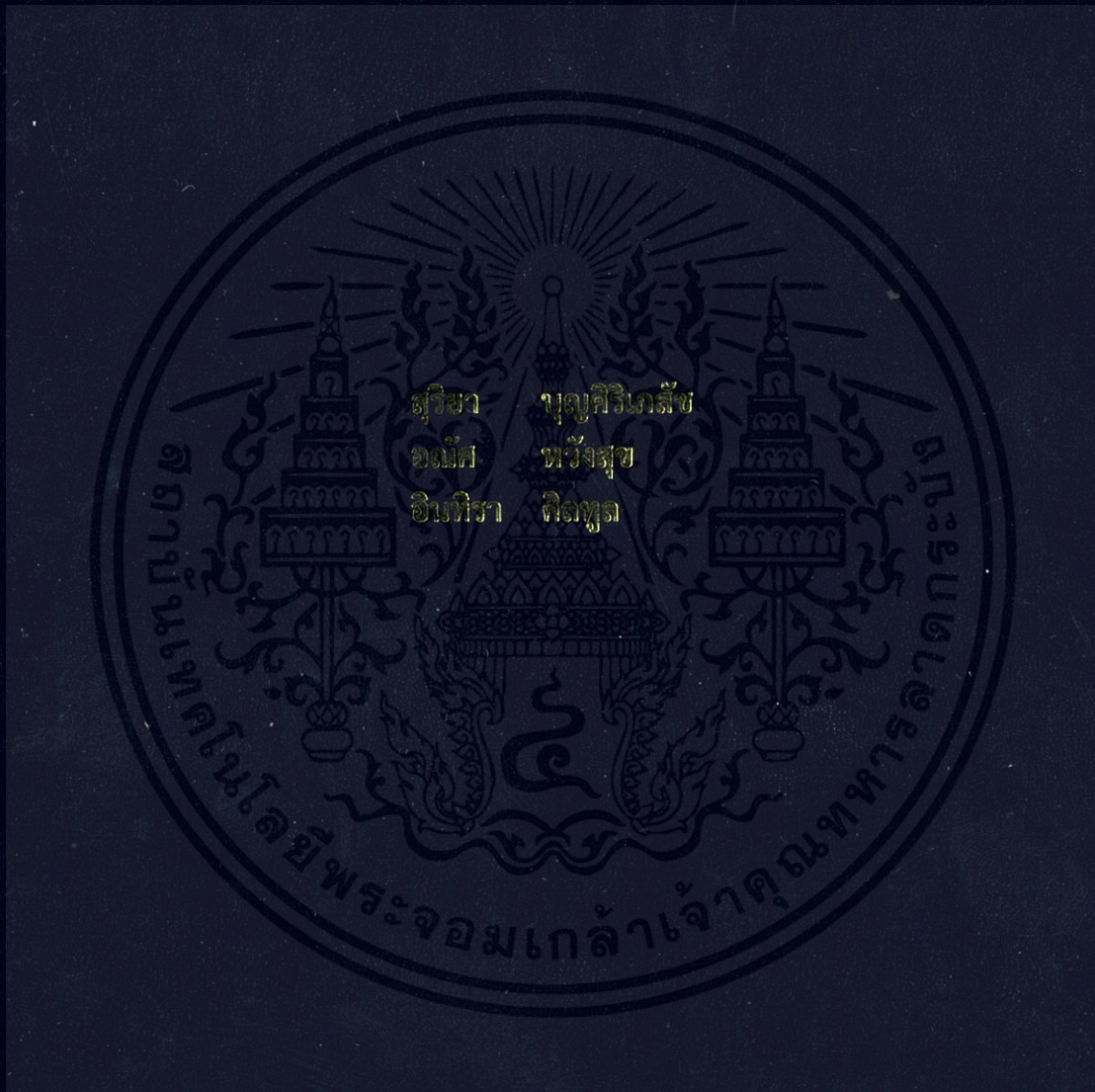


ระบบการวัดและควบคุมกระบวนการบนระบบควบคุมแบบโครงข่าย  
ที่มีการสื่อสารแบบฟาวนด์ชันฟิลด์บัส

Process Instrument and Control System based on  
Foundation Fieldbus Networked Control System



ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2555

ระบบการวัดและควบคุมกระบวนการบนระบบควบคุมแบบโครงข่าย  
ที่มีการสื่อสารแบบฟาว์นเดชันฟิลด์บัส

Process Instrument and Control System based on  
Foundation Fieldbus Networked Control System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการคณะวิศวกรรมศาสตร์นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีลิขสิทธิ์สงวนไว้ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2555

Process Instrument and Control System based on  
Foundation Fieldbus Networked Control System



SURIYA BOONSIRIPESAT  
ANAS WANGSOOK  
INTHIRA SINTOON

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 2012

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2555  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ระบบการวัดและควบคุมกระบวนการบนระบบควบคุมแบบโครงข่าย  
ที่มีการสื่อสารแบบฟาวด์เดชั่นฟิลด์บัส  
Process Instrument and Control System based on  
Foundation Fieldbus Networked Control System

นักศึกษาผู้จัดทำ นายสุรียา บุญศิริเภาสัย รหัสนักศึกษา 52011349  
นายอณัฏ หวังสุข รหัสนักศึกษา 52011368  
นางสาวอินทิรา ศิลกุล รหัสนักศึกษา 52011464  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2555

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์สักรียา ชิตวงศ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบการวัดและควบคุมกระบวนการบนระบบควบคุมแบบโครงข่ายที่มีการสื่อสารแบบฟาว์นเดชันฟิลด์บัส		
	Process Instrument and Control System based on Foundation Fieldbus Networked Control System		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายสุรียา	บุญศิริเกษัช	รหัสนักศึกษา 52011349
	นายอณิศ	หวังสุข	รหัสนักศึกษา 52011368
	นางสาวอินทิรา	ศิลทูล	รหัสนักศึกษา 52011464
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ สักกรียา ชิตวงศ์		
ปีการศึกษา	2555		

### บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอเกี่ยวกับเทคโนโลยีระบบการวัดและควบคุมกระบวนการบนระบบควบคุมแบบโครงข่ายที่มีการสื่อสารแบบฟาว์นเดชันฟิลด์บัส เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารข้อมูลและการควบคุม ใช้ทดแทนเทคโนโลยีแบบเก่า ( สัญญาณอนาล็อกกระแส 4 - 20 มิลลิแอมป์ ) ข้อได้เปรียบของเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส คือลดการสื่อสารระหว่างระบบโฮสและอุปกรณ์วัดและควบคุมในระบบ เพราะอุปกรณ์วัดและควบคุม มีคอนโทรลเลอร์อยู่ในตัวเอง นั่นคือ พีไอดีคอนโทรลเลอร์ การดำเนินการทั้งหมดของเทคโนโลยีนี้จะมีลักษณะคล้ายกับระบบการควบคุมแบบแยกส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Process Instrument and Control System based on Foundation Fieldbus Networked Control System
Authors	Mr. Suriya Boonsiripesat Mr. Anas Wangsook Miss Inthira Sintoon
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Sakreya Chitwong
Year	2555

## ABSTRACT

This project presents about technology of the process instrument and control system based on Foundation Fieldbus networked control system. This new technology is used for data communication and control used to compensate the old technology (analog signal input 4-20 mA.) the advantage of Foundation Fieldbus Technology is decreasing communication between host system and field devices because field device embedded controller, that is, PID controller. The full implementation of this technology looks then like a distributed control system (DCS).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ คำปรึกษา และความเอาใจใส่เป็นอย่างดีจาก รศ.สักรียา ชิตวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาบัตรของ คณะผู้วิจัย อีกทั้งยังสนับสนุนงบประมาณ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญาบัตรนี้ คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ สำหรับท่านคณาจารย์ ทุกๆ ท่านที่ให้ความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชา ตั้งแต่เริ่มเข้าการศึกษา เพื่อนำความรู้ที่ได้จากคณาจารย์ทุกท่าน นำมาประกอบในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท เอ็นแคส แอนด์ เฮาเซอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด และ บริษัท แซมซัน คอนโทรลส์ จำกัด ที่สนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือการวัดและวาล์วควบคุม

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมการวัดคัมและนอกภาควิชาที่ให้ความสนใจในการทำงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำทุกท่าน ซึ่งเป็นผู้ที่มีอุปการะชีวิต มอบการศึกษา และอนาคตที่ดี ตลอดจนให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาบัตรฉบับนี้ทั้งหมด ทางคณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริญญาโท.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับความดัน.....	3
2.1.1 ความดันที่เกิดจากระดับของของเหลว.....	3
2.1.2 รูปแบบของความดัน.....	4
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการไหล.....	5
2.2.1 รูปแบบของการวัดการไหล.....	5
2.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพที่มีผลต่อการไหล.....	6
2.2.3 ลักษณะของการไหล.....	6
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับอุณหภูมิ.....	6
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับระดับ.....	7
2.5 หลักการทำงานของอุปกรณ์.....	7
2.5.1 Pressure Transmitter.....	7
2.5.2 Vortex Flow Meter.....	7
2.5.3 magnetic flowmeter.....	8
2.5.4 Differential Pressure Transmitter.....	9
2.5.5 Guide Wave Radar.....	9
2.5.6 Temperature Transmitter.....	9
2.5.7 Resistance Temperature Detectors (RTD).....	9

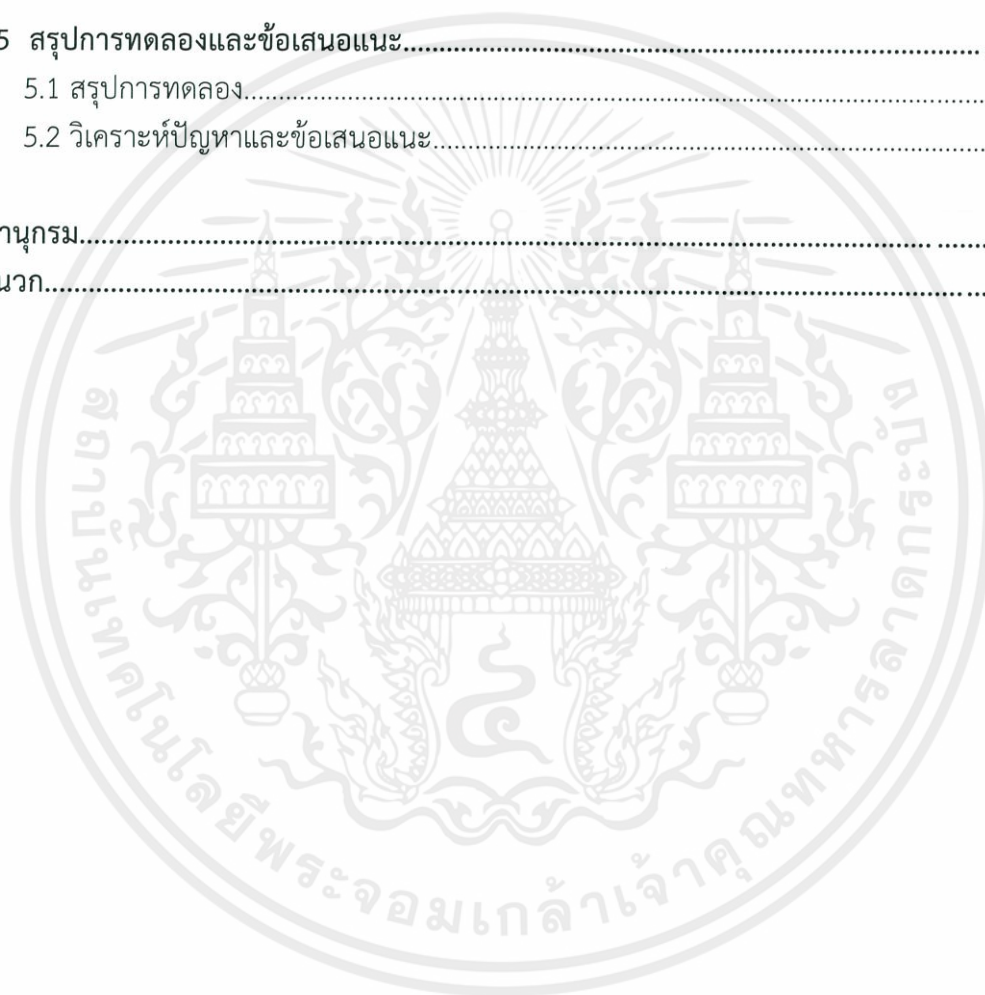
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

2.5.7.1 ชนิดของ RTD.....	10
2.5.8 NI USB-8486 .....	11
2.6 FOUNDATION FIELDBUS.....	12
2.6.1 User layer.....	13
2.6.2 Physical Layer.....	14
2.6.3 Communication Stack.....	14
2.7 ระบบควบคุมพีไอดี.....	15
2.7.1 ทฤษฎี.....	16
2.7.2 สัดส่วน (Proportional ) .....	16
2.7.3 ปริพันธ์ (Integral) .....	17
2.7.4 อนุพันธ์ (Derivative).....	18
2.7.5 ผลรวม.....	19
2.7.6 การปรับจูนด้วยมือ.....	19
2.7.7 วิธีการ Ziegler–Nichols.....	20
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....</b>	<b>21</b>
3.1 การดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์.....	21
3.1.1 ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์.....	21
3.1.2 ขั้นตอนการออกแบบและติดตั้ง.....	22
3.2 การดำเนินงานด้านซอฟต์แวร์.....	24
3.2.1 การเชื่อมต่อ Host เข้ากับกระบวนการ.....	24
3.2.2 องค์ประกอบของหน้าต่างในโปรแกรม NI-FBUS Configurator.....	27
3.2.3 การใช้งานโปรแกรม NI-FBUS Configurator.....	28
3.2.3 ทรานสดิวเซอร์บล็อก.....	31
3.3 การออกแบบกระบวนการควบคุม.....	36
3.3.1 กระบวนการวัดและควบคุมความดัน.....	37
3.3.2 กระบวนการวัดและควบคุมอัตราการไหล.....	38
3.3.2 กระบวนการวัดและควบคุมระดับ.....	42
3.3.4 กระบวนการวัดและควบคุมอุณหภูมิ.....	45
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง.....</b>	<b>48</b>
4.1 คำนำ ทิ้งน้ำหนักให้ลดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.....	48
4.2 วิธีการทดลอง.....	48

## สารบัญ (ต่อ)

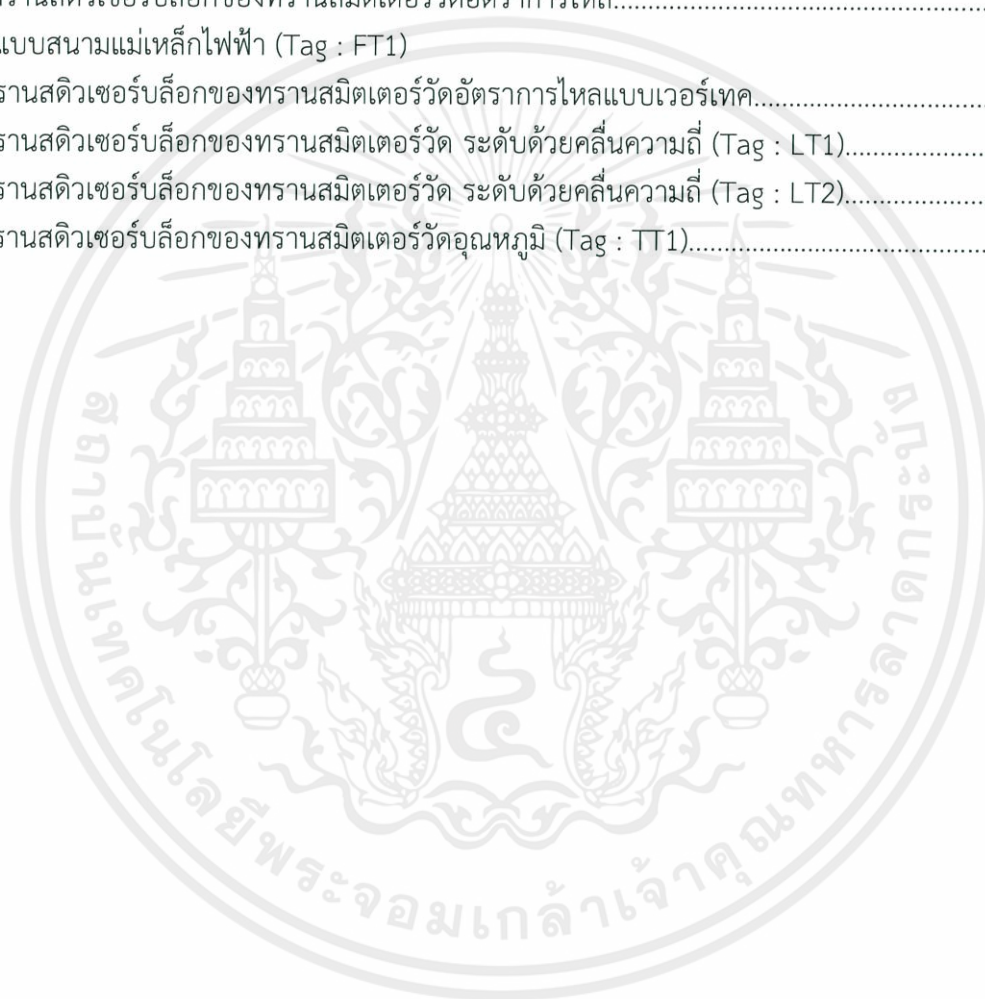
4.3 ผลการทดลอง.....	48
4.3.1 กระบวนการวัดและควบคุมความดัน.....	48
4.3.2 กระบวนการวัดและควบคุมอัตราการไหล.....	49
4.3.3 กระบวนการวัดและควบคุมระดับ.....	50
4.3.4 กระบวนการวัดและควบคุมอุณหภูมิ.....	52
4.4 สรุป.....	52
<b>บทที่ 5 สรุปการทดลองและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>53</b>
5.1 สรุปการทดลอง.....	53
5.2 วิเคราะห์ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	53
บรรณานุกรม.....	54
ภาคผนวก.....	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ.....	20
2.2 Ziegler–Nichols method.....	20
3.1 ทรานสดิวเซอร์บล็อกของทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยความดันแตกต่าง..... (Tag : DP1 และ DP2)	31
3.2 ทรานสดิวเซอร์บล็อกของทรานสมิตเตอร์วัดความดัน (Tag : PT1).....	32
3.3 ทรานสดิวเซอร์บล็อกของทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหล..... แบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Tag : FT1)	33
3.4 ทรานสดิวเซอร์บล็อกของทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบเวอร์เทค.....	33
3.5 ทรานสดิวเซอร์บล็อกของทรานสมิตเตอร์วัด ระดับด้วยคลื่นความถี่ (Tag : LT1).....	33
3.6 ทรานสดิวเซอร์บล็อกของทรานสมิตเตอร์วัด ระดับด้วยคลื่นความถี่ (Tag : LT2).....	34
3.7 ทรานสดิวเซอร์บล็อกของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ (Tag : TT1).....	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะการวัดค่าความดันที่เกิดจาก Static Head.....	4
2.2 แสดง RTD 2 สาย.....	10
2.3 แสดง RTD 3 สาย.....	11
2.4 แสดง RTD 4 สาย.....	11
2.5 NI USB-8486.....	12
2.6 แสดงโปรโตคอลของ FOUNDATION FIELDBUS เทียบกับโมเดลของ OSI.....	12
2.7 แสดง User Layer.....	13
2.8 แสดงโครงสร้างของระบบ FOUNDATION FIELDBUS.....	14
2.9 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบพีไอดี .....	16
2.10 กราฟ PV ต่อเวลา, $K_p$ กำหนดเป็น 3 ค่า( $K_i$ และ $K_d$ คงที่).....	17
2.11 กราฟ PV ต่อเวลา, $K_i$ กำหนดเป็น 3 ค่า( $K_p$ และ $K_d$ คงที่).....	18
2.12 กราฟ PV ต่อเวลา, สำหรับ $K_d$ 3 ค่า ( $K_p$ และ $K_i$ คงที่).....	19
3.1 พีแอนดีไอดี ไดอะแกรม.....	23
3.2 ขนาดของโครงสร้างที่รองรับอุปกรณ์.....	23
3.3 การเชื่อมต่อในเครือข่ายของอุปกรณ์ในระบบ.....	24
3.4 เชื่อมต่อ USB-8486 กับคอมพิวเตอร์.....	24
3.5 โปรแกรม Interface Configuration Utility.....	25
3.6 เลือก Interface ของการเชื่อมต่อ.....	25
3.7 เลือก Interface แบบ USB.....	26
3.8 ตั้งค่า Device Address และ Device Type.....	26
3.9 ไดอะบล็อกบ็อกซ์โปรแกรม NI-FBUS Communications Manager.....	26
3.10 แสดงส่วนต่างๆของหน้าต่างหลัก.....	27
3.11 โปรแกรม NI-FBUS Configurator.....	29
3.12 ส่วน Configuration Tree ขณะกำลังรับข้อมูลของอุปกรณ์.....	29
3.13 การตั้ง Tag และ Address.....	30
3.14 Tag และ Address ของอุปกรณ์ในกระบวนการ.....	30
3.15 การไหลตกคอนฟิกลงไปยังระบบ.....	31
3.16 พีแอนดีไอดี ไดอะแกรม.....	36
3.17 พีแอนดีไอดี กระบวนการวัดและควบคุมความดัน.....	37
3.18 ส่วน Configuration Tree ของทรานสมิตเตอร์วัดความดัน (Tag : PT1).....	38
และตัวแปลงสัญญาณ (Tag : NCS-FI105)	

3.19 ฟังก์ชันบล็อกแอฟฟลิเคชันของกระบวนการวัดและควบคุมความดัน.....	39
3.20 พีแอนดีไอดีของกระบวนการวัดและควบคุมอัตราการไหล.....	39

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.21 ส่วน Configuration Tree ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบเวอร์เทค (Tag : FT1).....40 ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Tag : FT2) และวาล์วควบคุม (Tag : CV2 และ CV3)	
3.22 ฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชันของกระบวนการวัดและควบคุมอัตราการไหล.....41 ไหล แนวท่อเส้นทางที่ 1	
3.23 ฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชันของกระบวนการวัดและควบคุมอัตราการไหล.....42 แนวท่อเส้นทางที่ 2	
3.24 พีแอนด์ไอดีของกระบวนการวัดและควบคุมระดับ.....42	
3.25 ส่วน Configuration Tree ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง (Tag : DP1).....43 ทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยคลื่นความถี่ (Tag : LT1) และวาล์วควบคุม (Tag : CV2 และ CV3)	
3.26 ฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชันของกระบวนการวัดและควบคุมระดับแทงค์ที่ 2.....44	
3.27 ฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชันของกระบวนการวัดและควบคุมระดับแทงค์ที่ 2.....45	
3.28 พีแอนด์ไอดีของกระบวนการวัดและควบคุมอุณหภูมิ.....45	
3.29 การเชื่อมต่อเซนเซอร์เข้ากับทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ.....46	
3.30 ส่วน Configuration Tree ของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ (Tag : TT1).....46 และตัวแปลงสัญญาณ (Tag : NCS-FI105)	
3.31 ฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชันของกระบวนการวัดและควบคุมอุณหภูมิ.....47	
4.1 ผลตอบสนองของตัวควบคุมควบคุมความดัน.....49	
4.2 ผลตอบสนองของตัวควบคุมควบคุมอัตราการไหลของทรานสมิตเตอร์.....49 วัดอัตราการไหลแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	
4.3 ผลตอบสนองของตัวควบคุมควบคุมอัตราการไหลของทรานสมิตเตอร์.....50 วัดอัตราการไหลแบบเวอร์เทค	
4.4 ผลตอบสนองของตัวควบคุมระดับของทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยคลื่นความถี่.....51	
4.5 ผลตอบสนองของตัวควบคุมระดับของทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยความดันแตกต่าง.....51	
4.6 ผลตอบสนองของตัวควบคุมอุณหภูมิ.....52	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปริญญาโท

ปัจจุบันอุปกรณ์วัดในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิต ได้มีการพัฒนากันอย่างต่อเนื่อง ทำให้ อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบอุปกรณ์วัดมีความสามารถเพิ่มขึ้น ดังนั้นระบบการสื่อสารเพื่อทำการแลกเปลี่ยนข้อมูล ระหว่างอุปกรณ์เหล่านี้จึงมีความจำเป็น โดยเฉพาะในส่วนการสื่อสารข้อมูลระหว่าง อุปกรณ์การวัด (Measuring Device) กับอุปกรณ์ต่างๆในระบบอุปกรณ์วัด เพื่อให้ตัวแปรต่างๆที่อยู่ใน อุปกรณ์สามารถแสดงค่าบนระบบควบคุม ซึ่งจะเป็ประโยชน์ในการตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ และยังทำให้ผู้ใช้งานสามารถวางแผนการปรับเทียบ หรือซ่อมบำรุงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ ปริมาณข้อมูลที่สื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ มีปริมาณมากขึ้น

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท

1. เรียนรู้หลักการของระบบสื่อสารที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม (Industrial communication)
2. เข้าใจโครงสร้าง โครงข่าย และสถาปัตยกรรมของฟาว์นเดชันฟิลด์บัส
3. ศึกษา และเรียนรู้การใช้งานโปรแกรมเซตค่าคอนฟิกของโครงข่าย อุปกรณ์ และตัวควบคุม (Network, Device and Control Configuration Program) ที่มีการสื่อสารแบบฟาว์น เดชันฟิลด์บัส
4. เรียนรู้วิธีการเซตค่าพารามิเตอร์ของทรานสดิวเซอร์บล็อก (Transducer Block) ของ อุปกรณ์วัด (Instrument configuration) บนระบบที่มีการสื่อสารแบบฟาว์นเดชันฟิลด์บัส ในระดับ H1
5. สามารถพัฒนาโปรแกรมแบบกราฟิกเพื่อสร้างระบบการควบคุม และเรียนรู้วิธีการเซต ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของฟังก์ชันบล็อก (Function blocks) บนระบบที่มีการสื่อสารแบบ ฟาว์นเดชันฟิลด์บัส
6. เข้าใจหลักการของระบบควบคุมความดัน อัตราการไหล ระดับ และอุณหภูมิ (Pressure, flow rate, level, temperature control)
7. ออกแบบตัวควบคุมแบบต่างๆ สำหรับควบคุมความดัน อัตราการไหล ระดับ และอุณหภูมิ บนระบบที่มีการสื่อสารแบบฟาว์นเดชันฟิลด์บัส

### 1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

ติดตั้ง เซตค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทดสอบ ใช้งานอุปกรณ์วัด และระบบควบคุมแบบโครงข่ายที่ มีการสื่อสารแบบฟาว์นเดชันฟิลด์บัสสำหรับควบคุมความดัน อัตราการไหล ระดับ และอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาโครงสร้างและสถาปัตยกรรมของฟาวนด์เชนฟิลด์บัส
2. ศึกษาการใช้งานอุปกรณ์วัดบนกระบวนการ
3. ศึกษาการใช้งานโปรแกรมเซตค่าคอนฟิกของโครงข่าย อุปกรณ์ และตัวควบคุม
4. ศึกษาการเซตค่าพารามิเตอร์ของทรานสดิวเซอร์บล็อก (Transducer Block) ของอุปกรณ์วัด
5. ศึกษาหลักการของระบบควบคุมความดัน อัตราการไหล ระดับ และอุณหภูมิ
6. ศึกษาและออกแบบโปรแกรมแบบกราฟิกเพื่อสร้างระบบการควบคุมกระบวนการ

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเรียนรู้ เข้าใจหลักการและประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีของอุปกรณ์วัด และระบบควบคุม ที่มีการสื่อสารแบบฟาวนด์เชนฟิลด์บัส สำหรับระบบการวัดและควบคุมกระบวนการ
2. เข้าใจพฤติกรรมของระบบควบคุมความดัน อัตราการไหล และระดับ
3. สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปประกอบอาชีพต่อไปในอนาคตหลังจากจบการศึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความดัน

ความดัน เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับระบบในกระบวนการทางอุตสาหกรรมทางอุตสาหกรรมมากอีกชนิดหนึ่ง ในการวัดและควบคุมค่าความดันสามารถทำได้หลายวิธีทั้งจากอุปกรณ์วัดที่เป็นอุปกรณ์เซนเซอร์หรือทรานสดิวเซอร์ โดยจะขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างพื้นฐานทางกายภาพทางของอุปกรณ์แต่ละตัว โดยการพิจารณาเลือกใช้อุปกรณ์วัดและแปลงค่าความดันให้ได้ อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมนั้นจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบหลักๆที่สำคัญคือ ย่านของความดัน (Range of Pressure) รูปแบบหรือชนิดของความดัน (Type of Pressure) ตลอดจนตัวกลางที่ทำให้เกิดค่าความดันเช่น ความดันที่เกิดจากของเหลว อากาศ หรือก๊าซ เป็นต้น อีกทั้งยังต้องพิจารณาให้ลึกลงไปถึงลักษณะชนิดของของเหลว และชนิดของก๊าซอีกด้วย ทั้งนี้ที่เครื่องมือที่ใช้สำหรับตรวจวัดความดันจะต้องได้รับการสอบเทียบให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมของการวัดอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้อุปกรณ์วัดมีความเที่ยงตรงแน่นอนและเชื่อถือได้ โดยจะแบ่งหลักการทำงานของอุปกรณ์วัดความดันออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ เครื่องมือตรวจวัดความดัน (Pressure Measuring Equipment) ซึ่งให้หลักการเปลี่ยนแปลงเชิงกล และทรานสดิวเซอร์ความดัน (Pressure Transducer) ซึ่งจะให้หลักการทางไฟฟ้าร่วมกับทางกล เพื่อนำค่าที่ได้จากการตรวจวัดซึ่งอยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าไปควบคุมกระบวนการต่อไป

จากกฎ Pascal's ที่กล่าวมาเมื่อมีแรง (F) ที่เกิดขึ้นจากความดัน (P) มากระทำกับพื้นที่ (A) ในทิศทางที่ตั้งฉากแล้ว ค่าความดันสามารถหาได้จาก ดังสมการ 2.1

$$P = \frac{F}{A} \quad 2.1$$

เมื่อ P คือ ความดัน

F คือ แรง (kg)

A คือ พื้นที่รองรับแรง (cm<sup>2</sup>)

#### 2.1.1 ความดันที่เกิดจากระดับของของเหลว (Pressure of Liquid Level)

ในการตรวจวัดความดันที่เกิดจากระดับความสูงของของเหลวนั้น ค่าของความดันที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับความสูงซึ่งเรียกว่า “Static Head” โดยความดันที่มีค่าสูงที่สุดจะอยู่ที่ก้นภาชนะ รูปที่ 2.1 แสดงถึงการใช้มาตรวัดความดันเพื่อวัดค่าความดันที่เกิดจากระดับความสูงของของเหลวโดยจะต้องพิจารณาค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity) ด้วย ซึ่งสามารถหาได้ ดังสมการ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

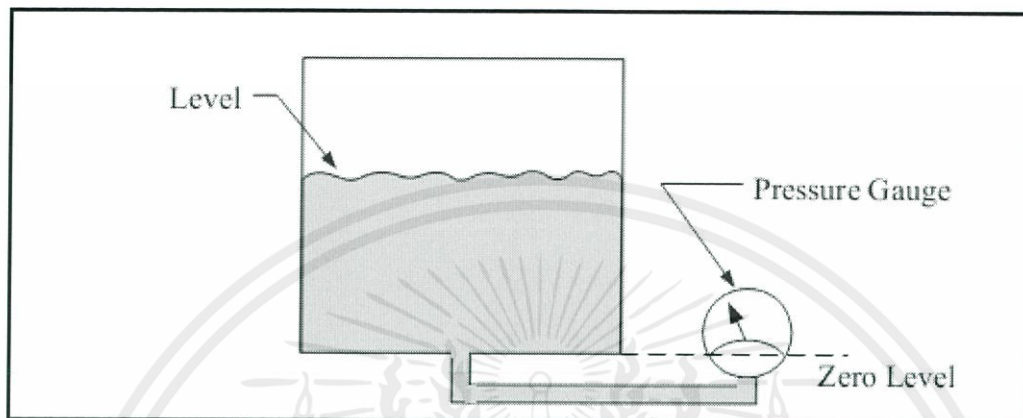
$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

2.2

เมื่อ  $\rho$  คือ ความโน้มถ่วงจำเพาะของของเหลว ( $kg/m^3$ )

$g$  คือ แรงโน้มถ่วงของโลก ( $9.81 m/s^2$ )

$h$  คือ ระดับความสูงของของเหลว ( $m$ )



รูปที่ 2.1 ลักษณะการวัดค่าความดันที่เกิดจาก Static Head

### 2.1.2 รูปแบบของความดัน (Type of Pressure)

ก่อนที่จะกล่าวถึงวิธีการวัดความดันควรที่จะต้องศึกษาและทำความเข้าใจถึงรูปแบบของความดันเพื่อใช้เป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งในการพิจารณาเลือกเครื่องมือหรืออุปกรณ์ให้เหมาะสมกับความดันที่ต้องการตรวจวัด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะดังนี้คือ ความดันเกจ (Gauge Pressure) สุญญากาศ (Vacuum) ความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure) ความดันแตกต่าง (Differential Pressure)

ความดันเกจคือจุดเริ่มต้นของความดันเกจจะอยู่ที่ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) ซึ่งเทียบกับระดับความสูงของน้ำทะเล โดยความดันเกจจะสูงขึ้นไปจากความดันบรรยากาศ มีหน่วยเป็น bar, pa, psi หรือ  $kg/cm^2$  เช่นถ้าความดันที่วัดอ่านได้มีค่าเท่ากับ 32 psi ความดันจริงจะต้องมีค่า 46.7 psi เพราะความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลมีค่าเท่ากับ 14.7 psi ในขณะที่ระดับ 5,000 ft เหนือระดับน้ำทะเลความดันบรรยากาศจะมีค่า 12.2 psi และมีค่าเป็น 9.7 psi ที่ 10,000 ft เหนือระดับน้ำทะเล

ความดันสุญญากาศจะมีจุดเริ่มต้นจุดเดียวกับความดันเกจหรือความดันเกจคือระดับน้ำทะเล หรือความดันบรรยากาศ แต่มีทิศทางที่ตรงข้ามกันคือสุญญากาศจะต่ำลงมาจากความดันบรรยากาศซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะแสดงในหน่วยที่เป็นระดับความดันสูงของของเหลว เช่น  $mmH_2O$ , inHg เป็นต้น อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดความดันนี้จะใช้อุปกรณ์ที่สามารถยืดและหดตัวได้ เช่น หลอดบูร์ตอง (Bourdon Tube) เบลโลว์ (Bellows) หรือ ไดอะแฟรม (Diaphragm)

ความดันสัมบูรณ์คือค่าความดันจริงทั้งหมดที่สามารถวัดได้ ซึ่งอธิบายได้จากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ เช่น หน้าการค้า ความสัมพันธ์ ดังสมการ 2.3

ไม่ว่ากรณีใดๆ หงสน อีทงห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

$$P_{abs} = P_g + P_{atm} \quad 2.3$$

เมื่อ  $P_{abs}$  คือ ความดันสัมบูรณ์  
 $P_g$  คือ ความดันเกจ  
 $P_{atm}$  คือ ความดันบรรยากาศ

โดยค่าของความดันสัมบูรณ์นั้นจะเป็นผลรวมของค่าความดันเกจและสุญญากาศด้วย เช่น ความดันสัมบูรณ์ 10 inHg อาจจะได้ด้วยค่า 20 inHg ของสุญญากาศหรือแสดงด้วยค่า -20 inHg ของความดันเกจ ซึ่งหน่วยของความดันสัมบูรณ์นั้นจะใช้ psia

ความดันแตกต่างเป็นความแตกต่างหรือผลต่างของความดัน 2 ค่าซึ่งเรียกอีกอย่างว่า  $\Delta P$  โดยปกติแล้วจะนำไปใช้สำหรับตรวจวัดอัตราการไหล (Flow Rate) ของของไหล ร่วมกับอุปกรณ์วัดอัตราการไหลบางชนิด ความดันลักษณะนี้ส่วนมากจะนำไปใช้สำหรับวัดอัตราการไหลด้วยเหตุที่ว่าของไหลที่มีคุณสมบัติที่สำคัญอันเนื่องมาจากการขาดความแข็ง 3 ประการดังนี้ คือ

- (1) แรงของของไหลที่กระทำบนผนังของภาชนะที่บรรจุของไหลนั้น จะมีทิศทางที่ตั้งฉากกับผนังเสมอ
- (2) ความดันภายนอกที่กระทำบนของไหลที่ถูกบรรจุอยู่ จะถูกส่งไปในของไหลทั้งหมดอย่างสม่ำเสมอ
- (3) ที่จุดใดๆ ในของไหล ความดันจะมีค่าเท่ากันทุกทิศทาง

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการไหล

การตรวจวัดการไหลของของไหล (Fluid) ในกระบวนการอุตสาหกรรมนั้นสามารถทำได้หลายรูปแบบ แต่ส่วนใหญ่จะนิยมทำกันอยู่ 2 รูปแบบคือ การวัดปริมาตร (Volume) ทั้งหมดที่ไหลและการวัดอัตราการไหล (Flow Rate) ของของไหล โดยในที่นี้จะแยกหลักการวัดการไหลออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือการวัดอัตราการไหลในระบบท่อปิด และการวัดการไหลของของเหลวแบบลำธารงเปิด ซึ่งการวัดการไหลในแต่ละลักษณะนั้นจะใช้หลักการที่แตกต่างกันออกไป เช่นการวัดอัตราการไหลของของไหล อากาศ และก๊าซ ภายในระบบท่อปิดจะใช้หลักการวัดค่าความดันแตกต่าง ( $\Delta P$ ) ระหว่างจุดที่ของไหลไหลผ่าน โดยจุดที่ทำการวัดนั้นจะต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่ไม่เท่ากัน การวัดการไหลโดยใช้หลักการของอัลตราโซนิก การวัดการไหลด้วยสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flow) หรือการตรวจวัดการไหลโดยใช้ทรานสดิวเซอร์แปลงการไหลให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า (Electrical Transducer) เป็นต้น

### 2.2.1 รูปแบบของการวัดการไหล

อัตราการไหลของปริมาตร (Volume Flow Rate) เป็นการตรวจวัดปริมาตรของการไหลต่อหน่วยเวลา ดังสมการ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  $Q = \frac{V}{t}$  เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ 2.4 ในการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 เมื่อ  $Q$  คือ อัตราการไหลของปริมาตร ( $m^3/min, ft^3/min$ )

$V$  คือ ปริมาตร ( $m^3, ft^3$ )

$t$  คือ เวลา  $min, sec$

ความเร็วของการไหล (Flow Velocit) เป็นปริมาตรของการไหลต่อพื้นที่หน้าตัดที่ของไหลไหลผ่าน ดังสมการ 2.5

$$v = \frac{Q}{A} \quad 2.5$$

เมื่อ  $v$  คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล ( $m/min, ft / min$ )

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดที่ของไหลไหลผ่าน ( $m^2, ft^2$ )

$Q$  คือ อัตราการไหลของมวลหรือน้ำหนัก (Mass or Weight Flow Rate)

เป็นการตรวจวัดมวลของของไหลที่เป็นของแข็งต่อหน่วยเวลา ดังสมการ 2.6

$$F = \rho Q \quad 2.6$$

เมื่อ  $F$  คือ อัตราการไหลของมวลหรือน้ำหนัก ( $kg/min, lb / min$ )

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของมวลหรือน้ำหนัก ( $kg/m^3, lb / ft^3$ )

### 2.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพที่มีผลต่อการไหล

คุณสมบัติทางฟิสิกส์หรือทางกายภาพพื้นฐานที่มีผลต่อการไหลของของไหลนั้นถือว่ามี ความสำคัญต่อการตรวจวัดการไหลของของไหลมาก อีกทั้งยังเป็นตัวแปรที่จะต้องนำมาพิจารณา เสมอเพื่อให้ได้ความเที่ยงตรงและแม่นยำมากที่สุดสำหรับการวัด คุณสมบัติทางพื้นฐานต่างๆ เหล่านี้ จะประกอบด้วย ความหนืด (Viscosity) อุณหภูมิ (Temperature) ความดัน (Pressure) ความ หนาแน่น (Density)

### 2.2.3 ลักษณะของการไหล

โดยทั่วไปลักษณะการไหลของของไหลสามารถบอกได้ถึงความเร็วหรืออัตราการไหล ของของไหลได้ ในการตรวจวัดการไหลนั้นจะพิจารณาจากธรรมชาติการไหลของของไหลซึ่งแบ่ง ออกเป็น 2 ลักษณะคือ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

## 2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ

อุณหภูมิจัดได้ว่าเป็นตัวแปรสำคัญมากทั้งในระบบและกระบวนการทางอุตสาหกรรม ไม่ เฉพาะแต่ในอุตสาหกรรมหนักเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงค่าของอุณหภูมิสามารถจะส่งผลกระทบต่อตัว แปรอื่นๆที่อยู่ในกระบวนการเดียวกัน ทั้งตัวแปรที่อยู่ในรูปของความดัน อัตราการไหล ระดับของ ของเหลว หรือค่าความต้านทาน นั้นหมายความว่า การตรวจวัดปริมาณใดๆของตัวแปรใดๆ ภายใต้ สภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดเวลา มักทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นในการ วัดและการควบคุมตัวแปรต่างๆอยู่เสมอ ดังนั้นในระหว่างทำงานของกระบวนการในระบบจึงต้องมี

การตรวจวัดเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิมีอยู่หลายชนิดขึ้นอยู่กับย่านของอุณหภูมิรวมถึงตัวกลางที่ต้องการวัด และลักษณะการติดตั้งตัวอุปกรณ์เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ สามารถแยกอุปกรณ์การตรวจวัดอุณหภูมิตามหลักการเปลี่ยนแปลง ลักษณะคุณสมบัติและโครงสร้างออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆได้แก่

- (1) หลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงกล
- (2) หลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางไฟฟ้า
- (3) หลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเชิงแสงและการแผ่รังสี
- (4) หลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี

## 2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระดับ

ระดับ คือ ตัวแปรอีกประเภทหนึ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการทางอุตสาหกรรม การตรวจวัดระดับสามารถทำได้หลายวิธีทั้งการวัดทางตรงและการวัดทางอ้อม โดยจะแบ่งชนิดของตัวแปรที่ต้องการวัดออกเป็น 2 ลักษณะคือระดับที่เกิดจากของแข็งและระดับที่เกิดจากของเหลว ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์สำหรับใช้งาน จะต้องคำนึงถึงลักษณะและชนิดของตัวแปรดังกล่าวเป็นสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวแปรที่มีลักษณะเป็นของเหลวจะต้องพิจารณาเป็นพิเศษว่าของเหลวชนิดนั้น มีความหนืดหรือเป็นสารกัดกร่อนหรือไม่ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ได้ และยังต้องพิจารณาสภาพแวดล้อมถึงช่วงระดับที่ต้องการวัดและสภาพแวดล้อมของการติดตั้งอุปกรณ์วัด ลักษณะของสัญญาณทางด้านเอาต์พุตที่ได้จากการตรวจวัด เช่นลักษณะของสัญญาณที่เป็นารวัดแบบต่อเนื่องหรือสัญญาณที่ได้จากการวัดแบบจุด เป็นต้น จึงทำให้ผลที่ได้จากการวัดมีความถูกต้องและมีความแม่นยำเชื่อถือได้

## 2.5 หลักการทำงานของอุปกรณ์

### 2.5.1 Pressure Transmitter

อุปกรณ์วัดความดัน ความดันคือแรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ การวัดความดันจะสามารถทำได้โดยใช้การวัดความเปลี่ยนแปลงของโตะแพร้มของเซนเซอร์ ที่เกิดจากความดัน และแปลงค่านี้ออกมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าที่สอดคล้องกับค่าความดัน ใช้สำหรับการวัดเพื่อป้องกันค่าความดันเกิน หรืองานวัดความดันสัมบูรณ์ หรือ ความดันเกจ ในท่อ ถัง ในของเหลวที่กัดกร่อน ไอน้ำ ก๊าซ และฝุ่น

### 2.5.2 Vortex Flow Meter

ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบเวอร์เทค เป็นอุปกรณ์วัดอัตราการไหลที่อาศัยปรากฏการณ์ธรรมชาติ ในการเกิดลูกกระแสน้ำวนหรือ Vortice ของของไหลเมื่อไหลผ่านสิ่งกีดขวาง ดังนั้นจึงสามารถสร้างมิเตอร์ให้สิ่งกีดขวางหรือ Bluff body อยู่ในตัวและเมื่อของไหลที่ต้องการวัดผ่าน ลูก Vortice จะเกิดขึ้น โดยความถี่ของลูก Vortice จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการไหล ความถี่นี้จะถูกวัดโดยตัวตรวจจับแบบ Capacitive ตัวมิเตอร์แบบเวอร์เทค นี้มีอายุการใช้งานที่

ยาวนานโดยไม่ต้องทำการสอบเทียบใหม่ โดยในบางรุ่นจะมีการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิด้วย จึงสามารถวัดค่า Mass Flow ของไอน้ำอิ่มตัวได้อีกด้วย มีข้อดีคือ

- (1) ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง สามารถวัดได้ทั้งของเหลว ก๊าซ และไอน้ำ
- (2) ไม่มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าความดัน อุณหภูมิ และค่าความหนืด
- (3) มี Long-term stability สูง ไม่มี Zero-point drift
- (4) ไม่มีส่วนใดของมิเตอร์ที่เคลื่อนที่
- (5) มีความดันสูญเสียไม่มาก
- (6) ติดตั้งและปรับตั้งได้ง่าย
- (7) มีTurndownกว้างอยู่ที่10:1ถึง30:1 สำหรับก๊าซ/ไอน้ำหรือ 40:1 สำหรับของเหลว
- (8) มีย่านอุณหภูมิที่ใช้งานได้กว้างถึง -200 ถึง +400°C

### 2.5.3 magnetic flowmeter

จะอาศัยหลักการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของ Faraday กล่าวคือ การวัดความเร็วการไหลของของไหล จะเป็นการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเมื่อมีของไหลไหลผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหลและสนามแม่เหล็ก โดยที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นขณะมีของไหลไหลผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถหาได้ ดังสมการ 2.7

$$Um = BLV \quad 2.7$$

เมื่อ

$U$  คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

$B$  คือ ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก

$L$  คือ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด= $d$ =เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ

$V$  คือ ความเร็วการไหลเฉลี่ยของของไหล

$$Q = AV = \left(\frac{3.14d^2}{4}\right) V \quad 2.8$$

ดังนั้น

$$U = \frac{4QB}{3.14d} \quad 2.9$$

ข้อจำกัดในการใช้งานmagnetic flowmeter สามารถยกตัวอย่างได้ดังนี้

- (1) ของเหลวจะต้องเป็นตัวนำไฟฟ้าและมีค่าความนำไฟฟ้าไม่น้อยกว่าค่าที่ทางบริษัท

ผู้ผลิตกำหนด โดยปกติแล้วต้องไม่น้อยกว่า 10 microcmemens แต่ Krohne Optiflux 5000

สามารถ นำมาวัดกับสารที่มีค่านำไฟฟ้าต่ำกว่า 5 microcmemens

- (2) ของเหลวไหลผ่านควรจะมีของเหลวเต็มตลอดเวลา เพราะว่าการที่ไม่มีของเหลว

ไหลเต็มท่อหรือมีฟองอากาศปะปนกับของเหลวนั้น อาจจะมีผลทำให้ค่าที่วัดได้นั้นมีค่าความแม่นยำ

### 2.5.4 Differential Pressure Transmitter

อุปกรณ์วัดระดับ โดยหลักการ static head โดยใช้ Differential Pressure Transmitter ใช้หลักการทำงานของความดันแตกต่างทั้งสองข้างของเซนเซอร์ จะส่งผลให้ไดอะแฟรมมีการเปลี่ยนแปลงเคลื่อนตัวไป ค่าการเปลี่ยนแปลงนี้จะเป็นสัดส่วนกับค่าความดันและถูกแปลงออกมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า สามารถใช้ในงานได้หลากหลาย เพราะไม่มีผลกระทบจากค่า Dielectric Constant โฟม ผิวระดับที่ปั่นป่วน ทนต่อความดันที่สูงเกินปกติ ทนต่อสภาพอากาศกันน้ำ และมีเสถียรภาพในการวัดสูง

### 2.5.5 Guide Wave Radar

อุปกรณ์วัดระดับ โดยหลักการทำงานบนหลักการของการส่งคลื่นเรดาร์ความถี่สูงซึ่งวิ่งไปบนก้านโลหะ เมื่อคลื่นเรดาร์วิ่งไปเจอผิวของของเหลวจะเกิดการสะท้อนกลับ เวลาตั้งแต่ส่งคลื่นจนกระทั่งรับคลื่นจะถูกแปลงให้เป็นระยะทาง ซึ่งระยะทางนี้คือระยะทางระหว่างตัววัดและผิวของเหลว ตัววัดมีความน่าเชื่อถือสูงและไม่ต้องการการซ่อมบำรุง ใช้ได้ดีแม้ในการวัดของเหลวที่มีผิวระดับ กระเพื่อมหรือมีโฟม เป็นอิสระจากการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่น อุณหภูมิ ค่าความนำไฟฟ้าและความชื้น ทนทานแม้ในที่ที่มีความดันไอสูง

### 2.5.6 Temperature Transmitter

เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณ Input จากตัวตรวจจับอุณหภูมิ (RTD, TC, Ohm, mV) ไปเป็นสัญญาณอนาล็อก 4 ถึง 20 mA หรือ FieldBus Protocol สามารถปรับตั้งค่า (Setup) ตัวแปลงสัญญาณ (Transmitter) ให้เหมาะสมกับการวัดได้หลายวิธี โดยขึ้นอยู่กับรูปแบบของสัญญาณซึ่งได้แก่ การโปรแกรมโดยใช้ PC, Profibus-PA, FF หรือ Hart Protocol สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายในงานควบคุมกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ (Process Automation) และในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ อุตสาหกรรมเคมี, อาหาร, ยา และพลังงาน มีข้อดีคือ

- (1) สามารถแปลงและส่งสัญญาณค่าอุณหภูมิของกระบวนการได้ถูกต้องและแม่นยำ
- (2) สามารถใช้สายเคเบิลแบบใช้งานทั่วไปแทนแบบคุณภาพสูงในการเชื่อมต่อเข้ากับระบบควบคุม ทำให้ประหยัดต้นทุนการผลิตค่าสายเคเบิล (Cable) และงานเดินสายสะดวกและง่ายดาย

ในกรณีที่ไม่สามารถติดตั้งใช้งาน Head Transmitter (เช่น มีข้อจำกัดเกี่ยวกับพื้นที่ที่จำกัดหรือ ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมรอบๆ ) นั้น ตัวแปลงสัญญาณแบบแยกติดตั้งบนราง (Rail Transmitter) เป็นทางเลือกที่ดีกว่า สามารถติดตั้งในแผง (Panel) ซึ่งอยู่บริเวณใกล้ๆ ได้อย่างง่ายดาย โดยทั่วไปรูปแบบนี้เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมประเภท สถานีไฟฟ้า (Power Station) บริเวณพื้นที่โรงงาน (Plant Construction) หรือ กระบวนการผลิตอัตโนมัติ (Production Automation)

### 2.5.7 Resistance Temperature Detectors (RTD)

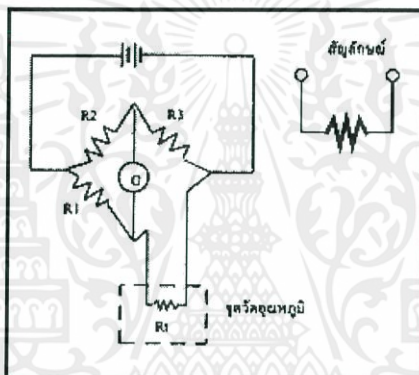
RTD คือ ตัวเซนเซอร์อุณหภูมิที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะซึ่งค่าความต้านทานดังกล่าวจะมีค่าเพิ่มตามอุณหภูมิ ความต้านทานของโลหะที่เพิ่มเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นนี้ เรียกว่า “ สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบบวก ” ( Positive Temperature

Coefficient ) นอกจากนี้ RTD ยังมีชื่อเรียกได้อีกอย่างว่า “ เทอร์โมมิเตอร์แบบค่าความต้านทาน “ ( Resistance Temperatures )

RTD ทำจากลวดโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งที่ 0 °C จะมีค่าความต้านทานค่าหนึ่งตามที่กำหนด ลวดโลหะนี้จะพันอยู่บนแกนที่เป็นฉนวนไฟฟ้า มีคุณสมบัติทนต่อความร้อน และต้องมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสัมพันธ์กับการขยายตัวของขดลวด RTD จะถูกบรรจุอยู่ใน Metal Sheath ฉนวนที่ใช้เป็นพวกแมกนีเซียมออกไซด์ หรืออะลูมิเนียมออกไซด์

### 2.5.7.1 ชนิดของ RTD

RTD 2 สาย วงจรใช้งานพื้นฐานของ RTD คือ Wheathstone Bridge โดย  $R_t$  คือ RTD ซึ่งติดตั้งอยู่ในจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ มีค่าความต้านทานอีก 3 ค่าในวงจร คือ  $R_1$ ,  $R_2$ , และ  $R_3$  ซึ่งต้องอยู่ที่อุณหภูมิห้อง และเป็นความต้านทานชนิดที่มีความถูกต้องสูง ดังสมการ 2.10



รูปที่ 2.2 แสดง RTD 2 สาย

$$\frac{R_t}{R_3} = \frac{R_1}{R_2}$$

2.10

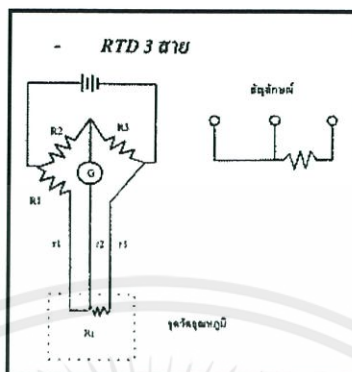
จากรูปที่ 2.2 วงจร Bridge จะอยู่ในสภาวะสมดุล เมื่อ RTD ( $R_t$ ) อยู่ที่ 0 °C แล้วทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ เมื่ออุณหภูมิที่  $R_t$  สูงขึ้น ค่า  $R_t$  จะเพิ่มขึ้นทำให้ วงจร Bridge ไม่สมดุลและมีกระแสไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ เมื่ออุณหภูมิที่  $R_t$  สูงขึ้น ค่า  $R_t$  จะเพิ่มขึ้นทำให้ วงจร Bridge ไม่สมดุลและมีกระแสไหลผ่านกัลวานอมิเตอร์ อย่างไรก็ตาม RTD 2 สายเหมาะกับงานที่ RTD อยู่ใกล้กับวงจรเท่านั้น ไม่เหมาะกับงานที่ต้องลากสายยาว ๆ เนื่องจากจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นจากค่าความต้านทานสะสมของสายตัวนำ ทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดเพี้ยนไป RTD 2 สายจึงเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูง

RTD 3 สาย เป็นที่นิยมใช้ที่สุดในอุตสาหกรรม โดยสายทั้ง 3 เป็นแบบที่นิยมใช้ที่สุดในอุตสาหกรรมโดยสายทั้ง 3 ที่อยู่ระหว่างจุดที่วัดกับวงจร จะต้องมีความยาวเท่ากัน และอยู่ในอุณหภูมิเดียวกันตลอดเพื่อให้ค่าความต้านทาน  $R_1$ ,  $R_2$  และ  $R_3$  เปลี่ยนไปในทิศทางเดียวกันด้วยขนาดที่เท่ากัน ดังสมการ 2.11

$$\frac{R_t + r_3}{R_3} = \frac{R_1 + r_1}{R_2}$$

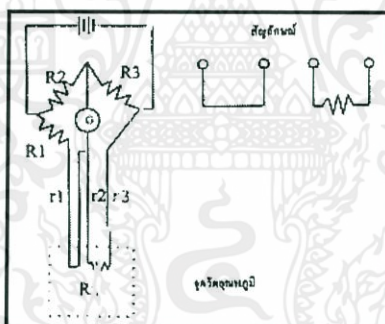
2.11

เนื่องจาก  $r_1$  เท่ากับ  $r_3$  เพราะฉะนั้นอุณหภูมิที่วัดจึงขึ้นอยู่กับ  $R_t$  เพียงตัวเดียว ทำให้ RTD 3 สายมีความถูกต้องสูงกว่า RTD แบบ 2 สาย ดังที่แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดง RTD 3 สาย

RTD 4 สาย เป็นแบบที่มีความถูกต้องสูงที่สุด เนื่องจากเส้นจุดต่อของ Bridge ออกไปอยู่ภายนอกทั้ง 4 จุด มีการชดเชยความต้านทานของสายตัวนำได้ทั้งหมด โดยสายทั้ง 4 ต้องมีขนาด, ความยาวเท่ากัน และอยู่ในอุณหภูมิเดียวกันตลอดเหมือนกับ RTD 3 สาย ดังที่แสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดง RTD 4 สาย

#### ข้อควรจำในการวัดอุณหภูมิโดยใช้ RTD

- (1) ต้องมีการชิลด์สายและเดินสายบิดเกลียวเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน
- (2) RTD มีความเปราะบาง จึงต้องป้องกันและระวังการใช้งาน
- (3) เนื่องจากที่ RTD ไม่สามารถกำเนิดพลังได้เหมือนกับเทอร์โมคัปเปิลทำให้มีกระแสไหลผ่านและเกิดผลของความร้อนจูล ( $I^2R$ ) กับตัวมันเอง

#### 2.5.8 NI USB-8486

NI USB-8486 ดังที่แสดงในรูปที่ 2.5 เป็นอินเตอร์เฟซหนึ่งพอร์ตสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ FOUNDATION Fieldbus ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ในอุตสาหกรรมและไนต์บูค แต่ละอินเตอร์เฟซที่มาพร้อมกับ NI-Fbus ซอฟต์แวร์จัดการการสื่อสารสำหรับระบบปฏิบัติการวินโดวส์ เพื่อให้ติดต่อระดับสูงไปยังอุปกรณ์ FOUNDATION Fieldbus โดยไม่ต้องมีความรู้ในเชิงลึกของระดับ

ต่ำกว่าโปรโตคอล Fieldbus การใช้งานอินเตอร์เฟซระหว่างมนุษย์และเครื่องจักร (HMI) และระบบควบคุมการกระจาย (DCS) สามารถใช้ NI-Fbus ผู้จัดการฝ่ายสื่อสารการเก็บรวบรวมข้อมูลและการควบคุมบน Fieldbus

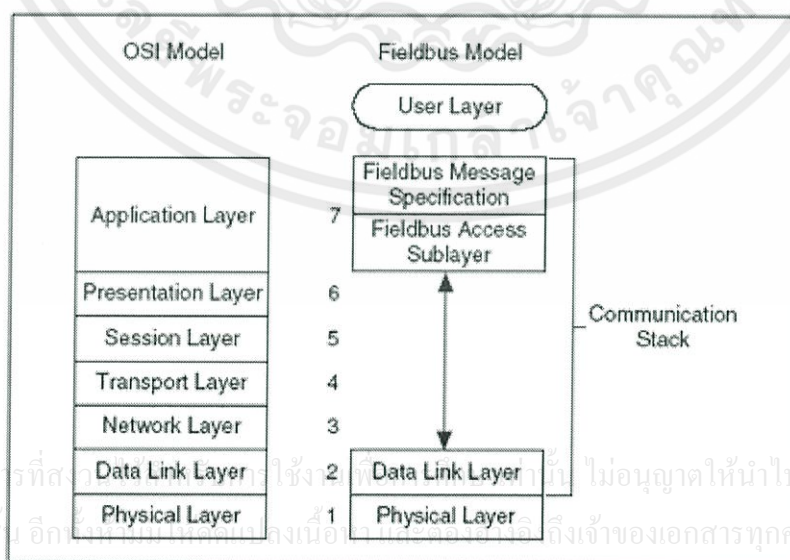
USB-8486 ยังทำงานร่วมกับการเขียนโปรแกรม LabVIEW NI กราฟิก NI-Fbus Configurator และ NI-Fbus Monitor NI-Fbus Configurator คุณสมบัติที่ใช้งานง่ายอินเตอร์เฟซ multiwindow เพื่อให้เครื่องมือสำหรับการเขียนโปรแกรมที่สมบูรณ์การตั้งค่าและตารางการดำเนินการของกลุ่ม FOUNDATION Fieldbus NI-Fbus Monitor เป็นโปรแกรมแบบ Stand Alone ที่ใช้ในการตรวจสอบการแก้ปัญหาและวิเคราะห์ข้อมูลแพ็คเกจ Fieldbus



รูปที่ 2.5 NI USB-8486

## 2.6 FOUNDATION FIELDBUS

จะสื่อสารโดยใช้โปรโตคอล (Protocol) ที่กำหนดขึ้นโดย OSI (Open System Interconnect) เป็นโมเดลในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่างๆที่อยู่บนระบบโดยโปรโตคอลจะประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้ Physical Layer, Communication Stack และ User Application ในระบบ ฟาวนด์ชันฟิลด์บัส มีบางชั้น (Layer) ที่กำหนดโดย OSI ไม่ได้นำไปใช้งานและมีบางชั้น ถูกกำหนดเพิ่มเติมขึ้น ดังรูปที่ 2.6

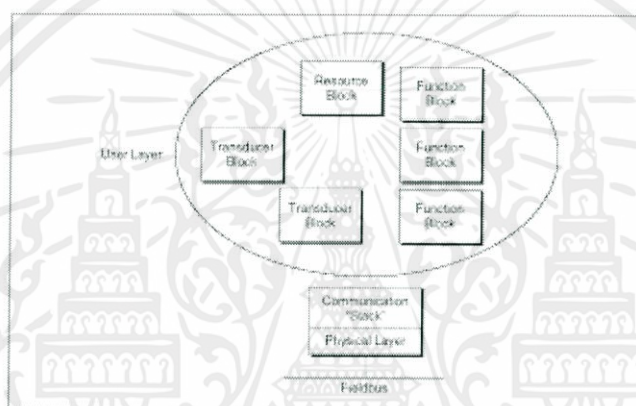


รูปที่ 2.6 แสดงโปรโตคอลของฟาวนด์ชันฟิลด์บัส เทียบกับโมเดลของ OSI

พิจารณาจากรูปที่ 2.6 จะพบว่าโปรโตคอลในชั้นที่ 3 - 6 จะไม่ได้ถูกใช้งานในระบบ ฟาวน์เดชั่นฟิลด์บัส และจะมีส่วนสำหรับติดต่อกับผู้ใช้งาน (User application) เพิ่มขึ้นมาในระบบ ฟาวน์เดชั่นฟิลด์บัส และตั้งแต่ชั้น 2-7 จะรวมกันเรียกว่า Communication stack ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของแต่ละชั้นได้ดังนี้

### 2.6.1 User layer

เป็นส่วนที่จัดเตรียมการสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกับระบบ ฟาวน์เดชั่นฟิลด์บัส โดยลักษณะของการสื่อสารใน User layer นี้ในระบบของ ฟาวน์เดชั่นฟิลด์บัส ได้มีการจัดเตรียมรูปแบบของการสื่อสารในรูปแบบของ Block ซึ่งจะประกอบด้วย Resource Block, Transducer Block, Function Block ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดง User Layer

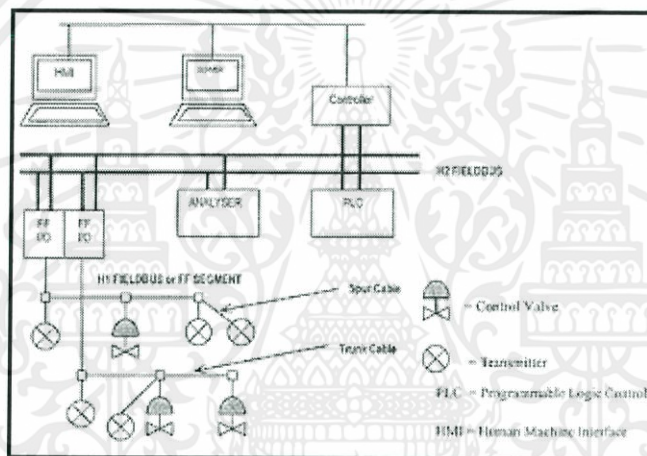
- (1) Resource Block เป็นส่วนหนึ่งของ DD File มีหน้าที่ในการ Identify ตัวอุปกรณ์ว่าเป็น Brand อะไร Model เป็นอะไรเป็นส่วนที่อธิบายข้อมูลโดยทั่วไปของอุปกรณ์วัดและควบคุม ตัวนั้น ๆ
- (2) Transducer Block เป็นส่วนที่บอกถึง Model ของตัวเซนเซอร์ ที่อยู่ภายในอุปกรณ์เป็นหน้าที่ในการทำหน้าที่ในการวัดการประมวลผลข้อมูลก่อนที่จะส่งหรือรับข้อมูลจากส่วนของ Function Block นอกจากนี้ในส่วนของ Transducer Block ยังทำหน้าที่ในการ Calibration และ การ Permit ให้อุปกรณ์อยู่ในสถานะที่ทำงานได้หรือสถานะหยุดการทำงาน (Out off Service)
- (3) Function Block เป็นส่วนที่ใช้ในเรื่องของการควบคุม โดยในระบบ FOUNDATION FIELDBUS จะเตรียม Function Block ออกมา 2 รูปแบบด้วยกันคือ Standard Function-Block และ Application Function Block ในส่วนของ Standard Function Block จะเป็นรูปแบบของ Block ที่ใช้งานโดยทั่วไป เช่นใน Transmitter ทุกตัวจะต้องมี AO Block เพื่อที่จะได้สามารถส่งค่าสัญญาณที่ได้จากการวัดมาสู่ Host ได้หรือใน Valve จะต้องมี AI,AO and PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท อุตสาหกรรมไทย จำกัด การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

Block ไม่ว่าจะ Valve นั้นจะเป็น Brand ใดก็ตามเพื่อที่ตัว Valve จะได้สามารถรับ คำสัญญาณที่สั่งจาก Host เข้ามาทำการเปิดปิดตัว Valve ได้ส่วน Application Function Block จะเป็น Block ที่ทางผู้ผลิต อุปกรณ์วัดและควบคุม เป็นผู้ใส่ เพิ่มเข้ามาเป็นลักษณะของ Option ให้กับทาง Owner

## 2.6.2 Physical Layer

ในชั้นนี้จะเป็นโครงสร้างของระบบ พาวนด์เดชั่นฟิลด์บัส และใช้เป็นส่วนเชื่อมต่อ ระหว่างอุปกรณ์ทุกตัวในระบบเข้าด้วยกันเพื่อใช้เป็นเส้นทางเดินของสัญญาณ โดยทั่วไปจะใช้สายไฟ แบบปกติเหมือนกับระบบควบคุมทั่วไปซึ่งจะถูกกำหนดโดย IEC และ ISA โครงสร้างของระบบ พาวนด์ เดชั่นฟิลด์บัส ยังจะถูกแบ่งออกเป็นระดับตามความเร็วในการสื่อสารข้อมูลซึ่งเรียกว่า H1 Fieldbus และ HSE Fieldbus ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของระบบ FOUNDATION FIELDBUS

## 2.6.3 Communication Stack

จะเป็นส่วนที่ใช้ในการสื่อสารระหว่าง ชั้นโครงสร้างกับผู้ใช้งาน โดยจะประกอบด้วย ส่วนสำคัญ 3 ส่วนดังนี้ Data Link Layer, Fieldbus Access Sublayer และ Fieldbus Message Sublayer Data Link Layer (DLL) จะเป็นชั้นที่ใช้ในการควบคุมการรับส่งข้อความในระบบ FOUNDATION FIELDBUS โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าตัวควบคุมตารางเวลา (Link Active Scheduler หรือ LAS) ในชั้นนี้ยังประกอบไปด้วยส่วนต่างๆดังนี้

- (1) Data Link Layer (DLL) Device Type จะเป็นตัวกำหนดใน DLL ว่าอุปกรณ์แต่ละตัวในระบบมีคุณสมบัติประจำตัวเป็นแบบใดโดยสามารถแบ่งคุณสมบัติของ

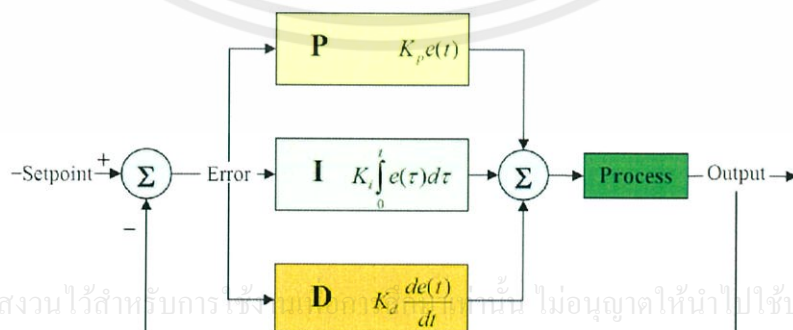
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Basic Device เป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีคุณสมบัติที่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมตารางเวลาการทำงาน (LAS) ของระบบได้

- Link Master เป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติที่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมตารางเวลาการทำงาน (LAS) ของระบบได้
  - Bridges เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขยายโครงข่ายของระบบ
- (2) Schedule Communication จะเป็นตัวกำหนดให้ข้อมูลต่างๆ ที่จะรับส่งในระบบมีเวลาในการรับส่งที่แน่นอน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วข้อมูลเหล่านี้จะเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการทำงานของระบบเช่น ตัวแปรทางกระบวนการผลิต ตัวแปรในการควบคุมกระบวนการผลิตจากผู้ใช้งาน สัญญาณเตือนจากกระบวนการผลิตที่สำคัญ หรืออาจทำให้กระบวนการผลิตหยุดทำงาน เป็นต้น
- (3) Unschedule Communication จะเป็นตัวกำหนดให้ข้อมูลต่างๆ ที่จะรับส่งในระบบมีเวลาในการรับส่งที่ไม่แน่นอน โดยจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของข้อมูลที่รับส่งไปในระบบ ถ้าความหนาแน่นของการรับส่งข้อมูลในระบบว่างลง ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งออกมาในระบบ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วข้อมูลเหล่านี้จะเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการทำงานของระบบน้อยเช่น ตัวแปรต่างๆ ของอุปกรณ์การวัด สัญญาณเตือนจากกระบวนการผลิตที่ไม่สำคัญ เป็นต้น
- (4) Link Active Scheduler (LAS) จะเป็นตัวควบคุมตารางเวลาสำหรับการสื่อสารข้อมูลในระบบว่าเมื่อใด ข้อมูลใด จะถูกส่งออกไป
- (5) Fieldbus Access Sublayer เป็นการกำหนดรายละเอียดของข้อความโดยอาศัยคุณสมบัติของการรับส่งว่าข้อมูลที่จะทำการรับส่งเป็นแบบใด
- (6) Fieldbus Message Sublayer เป็นตัวที่ใช้กำหนดคุณสมบัติต่างๆ ของข้อความเพื่อทำให้ผู้ใช้งานสามารถส่งข้อความต่างๆ ผ่านระบบไปยังอุปกรณ์ต่างๆ

## 2.7 ระบบควบคุมพีไอดี

ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (PID controller) เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบพีไอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีคำนวณของ PID ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน, ปริพันธ์ และ อนุพันธ์ ค่าสัดส่วน กำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน, ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งพ่วงผ่านไป, และค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการ

โดยการปรับค่าคงที่ใน PID ตัวควบคุมสามารถปรับรูปแบบการควบคุมให้เหมาะสมกับที่กระบวนการต้องการได้ การตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุมจนถึงค่าความผิดพลาด ค่าโอเวอร์ชูต (overshoots) และ ค่าแกว่งของระบบ (oscillation) วิธี PID ไม่รับประกันได้ว่าจะจะเป็นระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุดหรือสามารถทำให้กระบวนการมีความเสถียรแน่นอน

การประยุกต์ใช้งานบางครั้งอาจใช้เพียงหนึ่งถึงสองรูปแบบ ขึ้นอยู่กับกระบวนการเป็นสำคัญ พิธีใดบ้างครั้งจะถูกเรียกว่าการควบคุมแบบ PI, PD, P หรือ I ขึ้นอยู่กับว่าใช้รูปแบบใดบ้าง

### 2.7.1 ทฤษฎี

การควบคุมแบบ PID ได้ชื่อตามการรวมกันของเทอมของตัวแปรทั้งสาม ดังสมการ 2.12

$$MV(t) = P_{out} + I_{out} + D_{out} \quad 2.12$$

เมื่อ  $P_{out}$ ,  $I_{out}$  และ  $D_{out}$  เป็นผลของสัญญาณขาออกจากระบบควบคุม PID จากแต่ละเทอมซึ่งนิยามตามรายละเอียดด้านล่าง

### 2.7.2 สัดส่วน (Proportional)

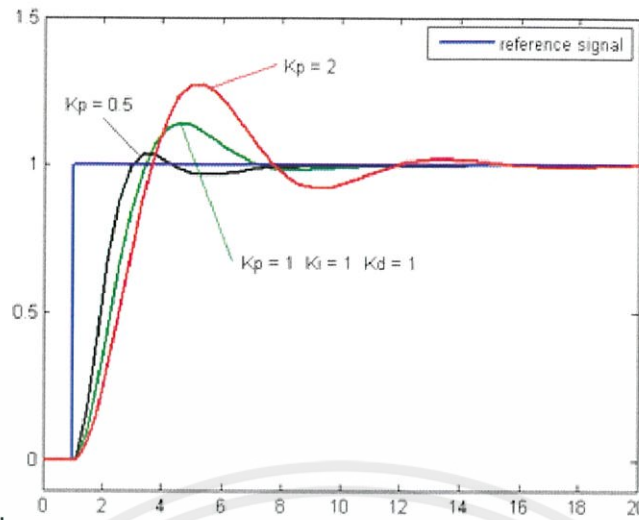
เทอมของสัดส่วน (บางครั้งเรียก อัตราขยาย) จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาด การตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่  $K_p$  หรือที่เรียกว่าอัตราขยายสัดส่วนเทอมของสัดส่วนจะเป็นไป ดังสมการ 2.13

$$P_{out} = K_p e(t) \quad 2.13$$

เมื่อ  $P_{out}$  คือ สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน  
 $K_p$  คือ อัตราขยายสัดส่วน, ตัวแปรปรับค่าได้  
 $e$  คือ ค่าความผิดพลาด =  $SP - PV$   
 $t$  คือ เวลา

ผลอัตราขยายสัดส่วนที่สูงค่าความผิดพลาดก็จะเปลี่ยนแปลงมากเช่นกัน แต่ถ้าสูงเกินไประบบจะไม่เสถียรได้ ในทางตรงกันข้าม ผลอัตราขยายสัดส่วนที่ต่ำ ระบบควบคุมจะมีผลตอบสนองต่อกระบวนการน้อยตามไปด้วย ดังรูปที่ 2.10

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 กราฟ PV ต่อเวลา,  $K_p$  กำหนดเป็น 3 ค่า ( $K_i$  และ  $K_d$  คงที่)

### 2.7.3 ปริพันธ์ (Integral)

ผลจากเทอมปริพันธ์ (บางครั้งเรียก reset) เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด) จะให้ออฟเซตสะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้า ความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์  $K_i$  เทอมปริพันธ์จะเป็นไป ดังสมการ 2.14

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad 2.14$$

เมื่อ

$I_{out}$  คือ สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

$K_i$  คือ อัตราขยายปริพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

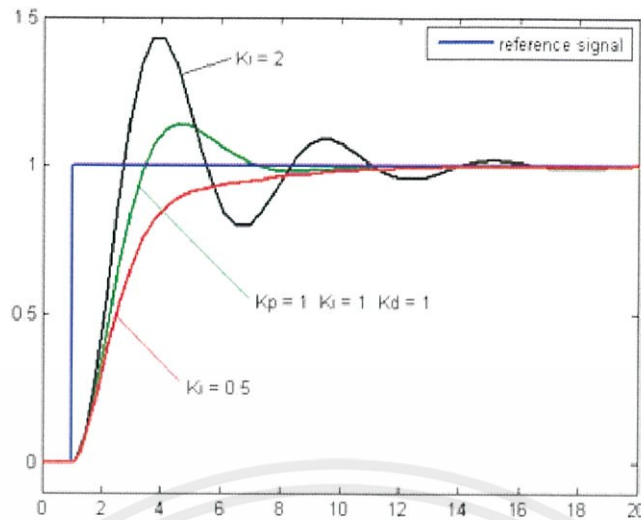
$e$  คือ ความผิดพลาด =  $SP - PV$

$t$  คือ เวลา

$\tau$  คือ ตัวแปรปริพันธ์หุ่น

เทอมปริพันธ์ (เมื่อรวมกับเทอมสัดส่วน) จะเร่งกระบวนการให้เข้าสู่จุดที่ต้องการและขจัดความผิดพลาดที่เหลืออยู่ที่เกิดจากการใช้เพียงเทอมสัดส่วน แต่อย่างไรก็ตาม เทอมปริพันธ์เป็นการตอบสนองต่อความผิดพลาดสะสมในอดีต จึงสามารถทำให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ (ข้ามจุดที่ต้องการและเกิดการหันเหไปทางทิศทางอื่น) ดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 กราฟ PV ต่อเวลา,  $K_i$  กำหนดเป็น 3 ค่า ( $K_p$  และ  $K_d$  คงที่)

#### 2.7.4 อนุพันธ์ (Derivative)

อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดจากกระบวนการนั้นคำนวณหาจากความชันของความผิดพลาดทุกๆเวลา (นั่นคือ เป็นอนุพันธ์อันดับหนึ่งสัมพันธ์กับเวลา) และคูณด้วยอัตราขยายอนุพันธ์  $K_d$  ขนาดของผลของเทอมอนุพันธ์ (บางครั้งเรียก อัตรา) ขึ้นกับ อัตราขยายอนุพันธ์  $K_d$  เทอมอนุพันธ์เป็นไป ดังสมการ 2.15

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad 2.15$$

เมื่อ

$D_{out}$  คือ สัญญาณขาออกของเทอมอนุพันธ์

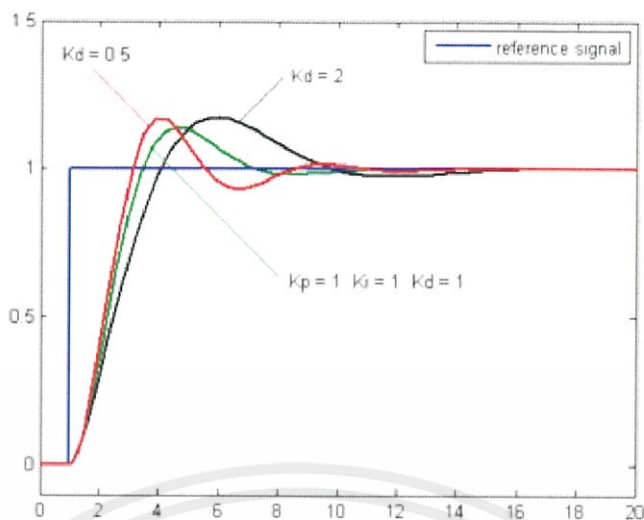
$K_d$  คือ อัตราขยายอนุพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้

$e$  คือ ความผิดพลาด =  $SP - PV$

$t$  คือ เวลา

เทอมอนุพันธ์จะชะลออัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกของระบบควบคุม และด้วยผลนี้จะช่วยให้ระบบควบคุมเข้าสู่จุดที่ต้องการ ดังนั้นเทอมอนุพันธ์จะใช้ในการลดขนาดของโอเวอร์ชูตที่เกิดจาเทอมปริพันธ์และทำให้เสถียรภาพของการรวมกันของระบบควบคุมดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของสัญญาณรบกวนที่ถูกขยายในระบบควบคุมจะไวมากต่อการรบกวนในเทอมของความผิดพลาดและสามารถทำให้กระบวนการไม่เสถียรได้ถ้าสัญญาณรบกวนและอัตราขยายอนุพันธ์มีขนาดใหญ่เพียงพอ ดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 กราฟ PV ต่อเวลา, สำหรับ  $K_d$  3 ค่า ( $K_p$  และ  $K_i$  คงที่)

### 2.7.5 ผลรวม

เทอมสัดส่วน, ปริพันธ์, และอนุพันธ์ จะนำมารวมกันเป็นสัญญาณขาออกของการควบคุมแบบ PID กำหนดให้  $u(t)$  เป็นสัญญาณขาออก เป็นวิธี PID สุดท้าย ดังสมการ 2.16

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad 2.16$$

### 2.7.6 การปรับจูนด้วยมือ

ถ้าระบบยังคงทำงานขึ้นแรกให้ตั้งค่า  $K_i$  และ  $K_d$  เป็นศูนย์ เพิ่มค่า  $K_p$  จนกระทั่งสัญญาณขาออกเกิดการแกว่ง (oscillate) แล้วตั้งค่า  $K_p$  ให้เหลือครึ่งหนึ่งของค่าที่ทำให้เกิดการแกว่ง สำหรับการตอบสนองชนิด "quarter amplitude decay" แล้วเพิ่ม  $K_i$  จนกระทั่งออฟเซตถูกต้องในเวลาที่พอเพียงของกระบวนการ แต่ถ้า  $K_i$  มากไปจะทำให้ไม่เสถียร สุดท้ายถ้าต้องการ ให้เพิ่มค่า  $K_d$  จนกระทั่งลูปอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่ถ้า  $K_d$  มากเกินไปจะเป็นเหตุให้การตอบสนองและโอเวอร์ชูตเกินยอมรับได้ ปกติการปรับจูน PID ถ้าเกิดโอเวอร์ชูตเล็กน้อยจะช่วยให้เข้าสู่จุดที่ต้องการเร็วขึ้น แต่ในบางระบบไม่สามารถยอมให้เกิดโอเวอร์ชูตได้ และถ้าค่า  $K_p$  น้อยเกินไปก็จะทำให้เกิดการแกว่ง ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ

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

### 2.7.7 วิธีการ Ziegler–Nichols

วิธีการนี้นำเสนอโดย John G. Ziegler และ Nathaniel B. Nichols ในคริสต์ทศวรรษที่ 1940 ชั้นแรกให้ตั้งค่า  $K_i$  และ  $K_d$  เป็นศูนย์ เพิ่มอัตราขยาย  $P$  สูงที่สุด  $K_u$  จนกระทั่งเริ่มเกิดการแกว่ง นำค่า  $K_u$  และค่าช่วงการแกว่ง  $P_u$  มาหาค่าตัวแปรที่เหลือ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 Ziegler–Nichols method

Control Type	$K_p$	$K_i$	$K_d$
$P$	$0.50K_u$	-	-
$PI$	$0.45K_u$	$1.2K_p/P_u$	-
$PID$	$0.60K_u$	$2K_p/P_u$	$K_p P_u/8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 การดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์

##### 3.1.1 ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์

- (1) ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบเวอร์เทค ยี่ห้อ Endress+Hauser รุ่น Prowirl 72W15 ขนาด DN15 (1/2 นิ้ว) ลักษณะการติดตั้งแบบ Wafer Type ระยะทางท่อตรงก่อนจะเข้าอุปกรณ์ จะต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 20 เท่าของขนาดท่อ ระยะทางท่อตรงที่ออกไปยังวาล์วควบคุมจะต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 50 เท่าของขนาดท่อ (Tag : FT2)
- (2) ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้ายี่ห้อ Endress+Hauser รุ่น Promag 53P15 ขนาด DN15 1/2 นิ้ว ภายในเคลือบด้วย PTFE ลักษณะการติดตั้งแบบหน้าแปลน Class 150 lb ระยะทางท่อตรงก่อนจะเข้าอุปกรณ์ จะต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 20 เท่าของขนาดท่อ และระยะทางท่อตรงที่ออกไปยังวาล์วควบคุมจะต้องมีระยะไม่น้อยกว่า 50 เท่าของขนาดท่อ (Tag : FT1)
- (3) ทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยความดันแตกต่าง ยี่ห้อ Endress+Hauser รุ่น Deltabar S PMD70 ย่านการวัดความดันแตกต่างสูงสุดที่ 3 บาร์ ลักษณะการติดตั้งแบบเกลียว NPT1/4-18 (Tag : DP1 และ DP2)
- (4) ทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยคลื่นความถี่ ยี่ห้อ Endress+Hauser รุ่น Levelflex M FMP40 ขนาดของก้านวัด 16 มม. ความยาวของก้านวัด 1005 มม. ลักษณะการติดตั้งแบบเกลียว G1-1/2 นิ้ว (Tag : LT2)
- (5) ทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยคลื่นความถี่ ยี่ห้อ Magnetrol รุ่น Eclipse® Enhanced 705 ความยาวของก้านวัด 903 มม. ลักษณะการติดตั้งแบบ NPT 3/4 นิ้ว (Tag : LT1)
- (6) ทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยความดัน ยี่ห้อ Endress+Hauser รุ่น Cerabar S PMC71 ย่านการวัดความดัน 10 บาร์ ทดความดันสูงสุดที่ 40 บาร์ ลักษณะการติดตั้งแบบเกลียว NPT1/2 นิ้ว (Tag : PT1)
- (7) ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ Endress+Hauser รุ่น iTEMP® TMT162 รับอินพุตได้ 2 เซนแนล (Tag : TT1)
- (8) วาล์วควบคุม ยี่ห้อ SAMSON ชนิด Globe Valve ขนาด 1 นิ้ว ติดตั้งพร้อมด้วย Positioners รุ่น 3730-3 (HART) รับอินพุตเป็นสัญญาณกระแส 4-20 mA (Tag : CV1)
- (9) วาล์วควบคุม ยี่ห้อ SAMSON ชนิด Globe Valve ขนาด 1/2 นิ้ว ติดตั้งพร้อมด้วย Positioners รุ่น 3787 รับอินพุตเป็นสัญญาณ Foundation Fieldbus (Tag : CV2 และ CV3)

- (10) มัลติสเตรปป์มียี่ห้อ Calpeda รุ่น MXV 40-805 ความเร็ว 2900 รอบต่อนาที ขนาด 3 แรงม้า (2.2 กิโลวัตต์)
- (11) อินเวอร์เตอร์เอซีไดรฟ์ยี่ห้อ ABB รุ่น ACS355 ขนาด 3 เฟส เอาต์พุตขนาด 3 แรงม้า (2.2 กิโลวัตต์)
- (12) โซลิดสเตตรีเลย์ยี่ห้อ Carlo Gavazzi รุ่น RM1E23AA25 เอาต์พุตเป็นแบบ AC ย่านการควบคุมแรงดันเอาต์พุต 90VAC - 280VAC
- (13) อุปกรณ์แปลงสัญญาณ Foundation Fieldbus เป็นสัญญาณกระแส 4-20 mA ยี่ห้อ Microcyber รุ่น NCS-FI105 เอาต์พุตจำนวน 4 ช่องสัญญาณ (Tag : NCS-FI105)
- (14) FieldBarrier ยี่ห้อ Pepperl+Fuchs รุ่น RDO-FB-Ex4 เอาต์พุต 4 ช่องสัญญาณ
- (15) Resistance Temperature Detector (RTD) ชนิดแพลทตินัม 100 โอห์ม
- (16) ฮีทเตอร์ขนาด 25x40 มม เอาต์พุต 3000 วัตต์ (Tag : HT1)
- (17) พาวเวอร์ซัพพลาย เอาต์พุตขนาด DC 12 และ DC 24 โวลต์
- (18) Fieldbus Power Conditioner ยี่ห้อ Pepperl+Fuchs

### 3.1.2 ขั้นตอนการออกแบบและติดตั้ง

ออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์ จากแบบพีแอนดีไอที ไดอะแกรม (Piping & Instrument Diagram) ดังที่แสดงในรูปที่ 3.1 โดยทั้งหมดจะประกอบไปด้วยกระบวนการควบคุม ความดัน ความคุมอัตราการไหล ความคุมระดับ และความคุมอุณหภูมิ โดยโครงสร้างที่รองรับอุปกรณ์ จะแบ่งออกเป็น 4 เฟรมดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.2 คือ

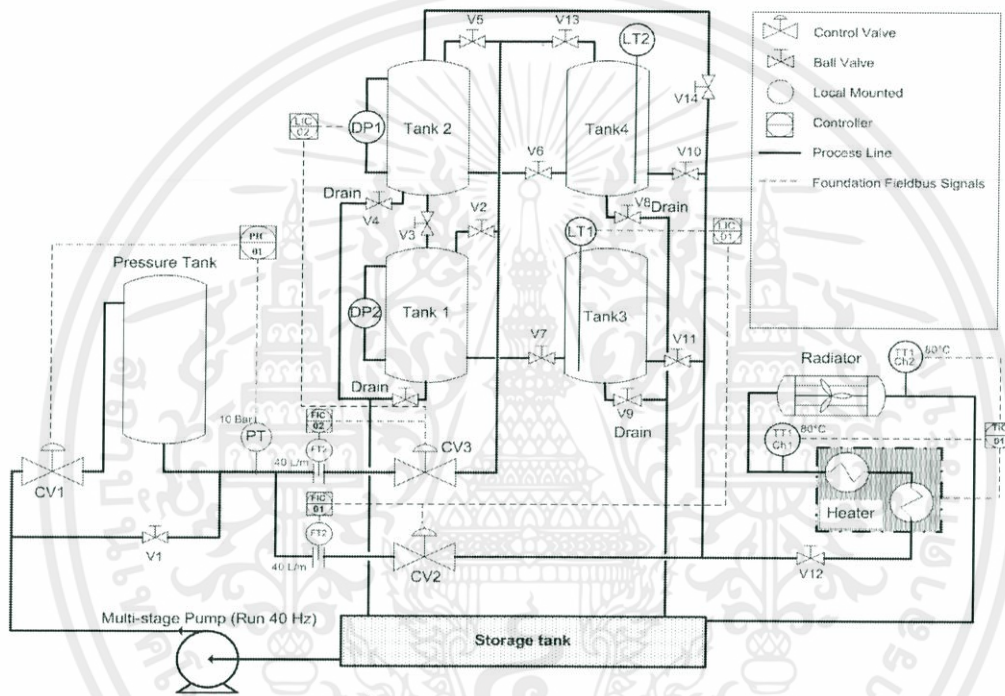
- เฟรมที่ 1 จะเป็นเฟรมที่ประกอบด้วย บั้ม, วาล์วควบคุม 1, แทงค์ความดัน
  - เฟรมที่ 2 จะเป็นเฟรมที่ติดตั้งและรองรับทรานสมิตเตอร์วัดความดัน ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบเวอร์เทค และ วาล์วควบคุม 2
  - เฟรมที่ 3 จะเป็นเฟรมที่ติดตั้ง แทงค์ สำหรับกระบวนการวัดและควบคุมระดับ แทงค์สำหรับเก็บน้ำ ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง และ วาล์วควบคุม 3
  - เฟรมที่ 4 จะเป็นเฟรมที่ติดตั้งฮีทเตอร์และเรดิเอเตอร์ สำหรับกระบวนการวัดและควบคุมอุณหภูมิ
- แต่ละเฟรมจะแบ่งออกเป็น จำนวน 3 เลเยอร์ คือ
- เลเยอร์ 1 สูงจากระดับพื้นขึ้นไป 390 มม. ติดตั้งบั้มและแทงค์สำหรับเก็บน้ำ
  - เลเยอร์ 2 สูงจากระดับพื้น 390 มม. ขึ้นไปถึง 1350 มม. ซึ่งจะติดตั้งแทงค์ความดัน อุปกรณ์การวัด วาล์วควบคุม แทงค์ 2 และแทงค์ 3 ฮีทเตอร์และเรดิเอเตอร์
  - เลเยอร์ 3 สูงจากระดับพื้นตั้งแต่ 1350 มม. ขึ้นไป

ทำการติดตั้งแทงค์และอุปกรณ์ทั้งหมด โดยมีข้อกำหนดหลักๆดังนี้

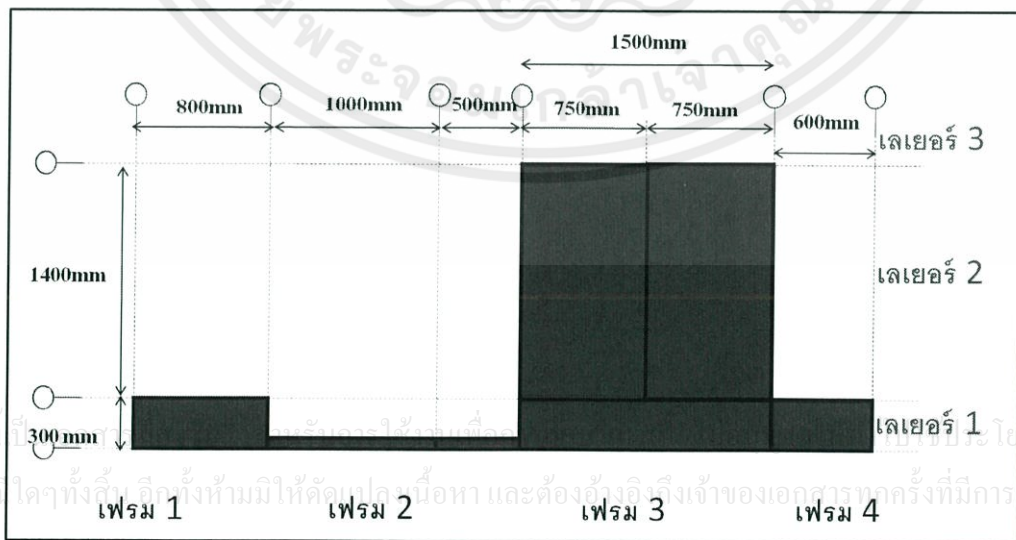
- ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะต้องมียะทางท่อตรง ก่อนจะเข้าอุปกรณ์ จะต้องมียะทางไม่น้อยกว่า 5 เท่าของขนาดท่อ(ขนาดท่อ 1/2") ซึ่ง

ก็คือ 75 มม. และ ระยะทางท่อตรงที่ออกจากอุปกรณ์ จะต้องมียุทธะไม่น้อยกว่า 2 เท่าของขนาดท่อ ซึ่งก็คือ 30 มม.

- ทราบนสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบเวอร์เทคจะต้องมียุทธะทางท่อตรงก่อนจะเข้าอุปกรณ์ จะต้องมียุทธะไม่น้อยกว่า 20 เท่าของขนาดท่อ(ขนาดท่อ 1/2”) ซึ่งก็คือ 300 มม. และ ระยะทางท่อตรงที่ออกไปยังวาล์วควบคุมจะต้องมียุทธะไม่น้อยกว่า 50 เท่าของขนาดท่อ ซึ่งก็คือ 75 มม.
- วาล์วควบคุมจะต้องมียุทธะทางท่อตรงก่อนจะเข้าและออกจากตัววาล์วควบคุมไม่น้อยกว่า 5 เท่าของขนาดท่อซึ่งก็คือ 75 มม. ที่ขนาดท่อ 1/2” และ 125 มม. ที่ขนาดท่อ 1”



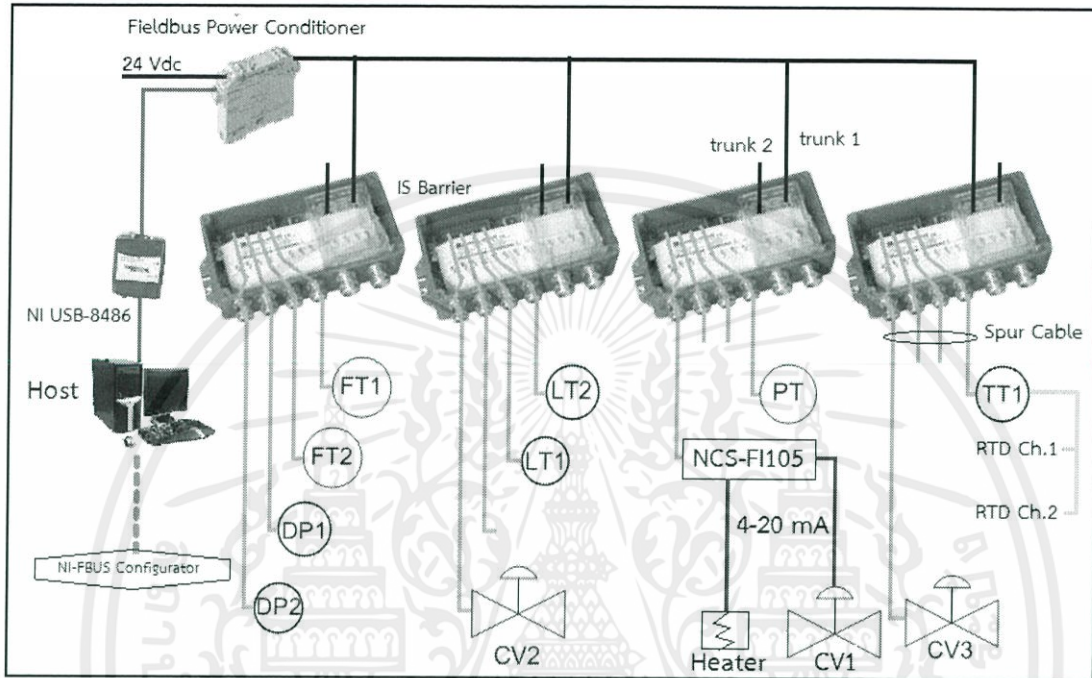
รูปที่ 3.1 พีแอนดีไอดี ไดอะแกรม



รูปที่ 3.2 ขนาดของโครงสร้างที่รองรับอุปกรณ์

### 3.2 การดำเนินงานด้านซอฟต์แวร์

การดำเนินงานด้านซอฟต์แวร์จะเป็นการใช้งานโปรแกรมเซตค่าคอนฟิกของโครงข่าย อุปกรณ์ และตัวควบคุม โดยจะรวมถึงการตั้งค่า ก่อนการใช้งาน การเชื่อมต่อ Host เข้ากับกระบวนการ การตั้งค่าพารามิเตอร์ของทรานสดิวเซอร์บล็อก การพัฒนาโปรแกรมแบบกราฟิกเพื่อสร้างระบบการควบคุม และการเซตค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของฟังก์ชันบล็อก

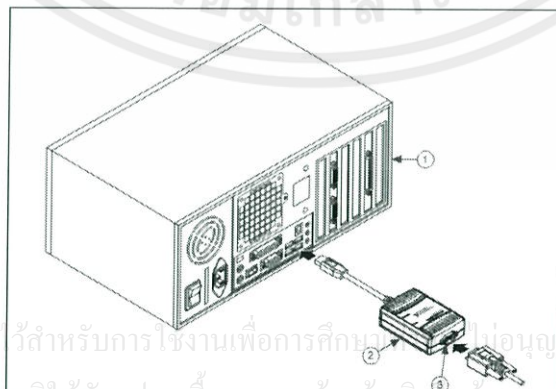


รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่อในเครือข่ายของอุปกรณ์ในระบบ

#### 3.2.1 การเชื่อมต่อ Host เข้ากับกระบวนการ

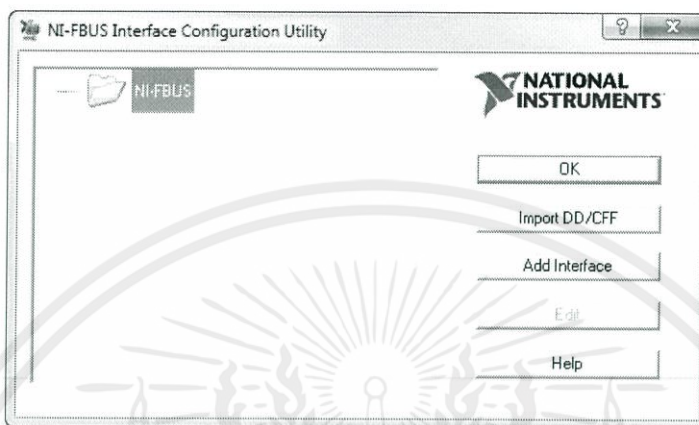
การเชื่อมต่อ Host เข้ากับกระบวนการจะทำการเชื่อมต่อผ่านทาง Field Barrier ดังที่แสดงในรูปที่ 3.3 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ปิดคอมพิวเตอร์เพื่อทำการต่อ USB-8486 เข้ากับพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.4



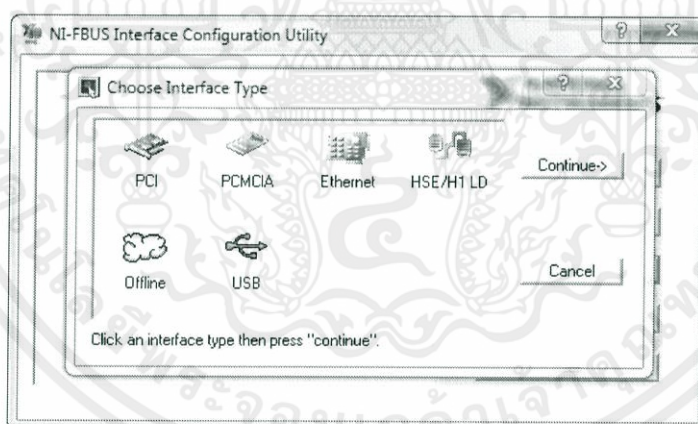
รูปที่ 3.4 เชื่อมต่อ USB-8486 กับคอมพิวเตอร์

2. ต่อปลายสาย DB-9 ของ USB-8486 เข้ากับ Non-intrinsically safe connections (trunk) Port ของ Field Barrier ดังที่แสดงในรูปที่ 3.3
3. เปิดคอมพิวเตอร์แล้วทำการเปิดโปรแกรม Interface Configuration Utility เพื่อทำการตั้งค่าการสื่อสารของตัว USB-8486
4. จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.5 คลิกเลือก Add Interface



รูปที่ 3.5 โปรแกรม Interface Configuration Utility

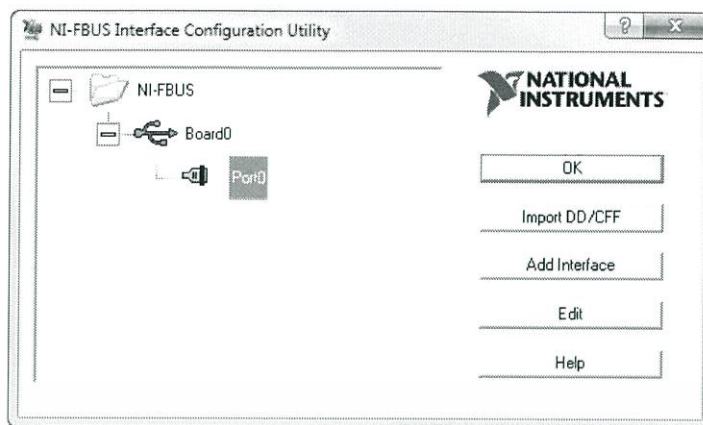
5. จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.6 เลือก Interface แบบ USB แล้วคลิก Continue



รูปที่ 3.6 เลือก Interface ของการเชื่อมต่อ

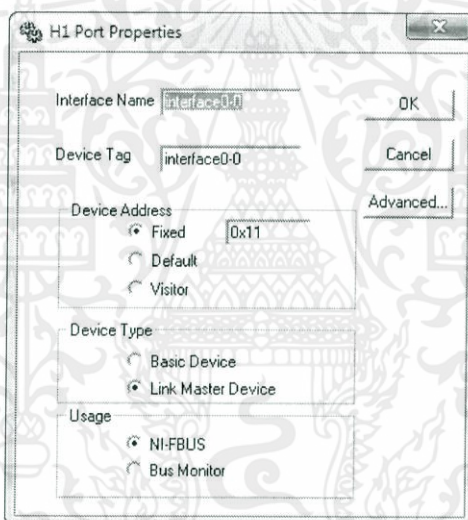
6. จากไดอะล็อกบ็อกซ์ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.7 เลือกที่ Port0 คลิก Edit เพื่อทำการตั้งค่า Address และ Type ของตัว USB-8486

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



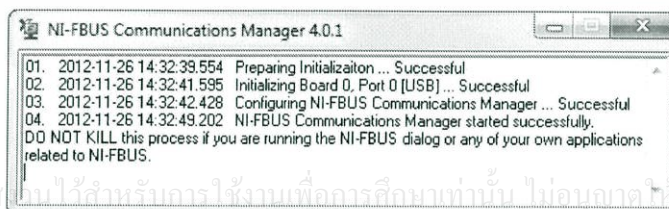
รูปที่ 3.7 เลือก Interface แบบ USB

- จากไดอะล็อกบ็อกซ์ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.8 ตั้งค่า Device Address และเลือก Device Type เป็นแบบ Link Master Device แล้วคลิก OK จากนั้นปิดโปรแกรม Interface Configuration Utility



รูปที่ 3.8 ตั้งค่า Device Address และ Device Type

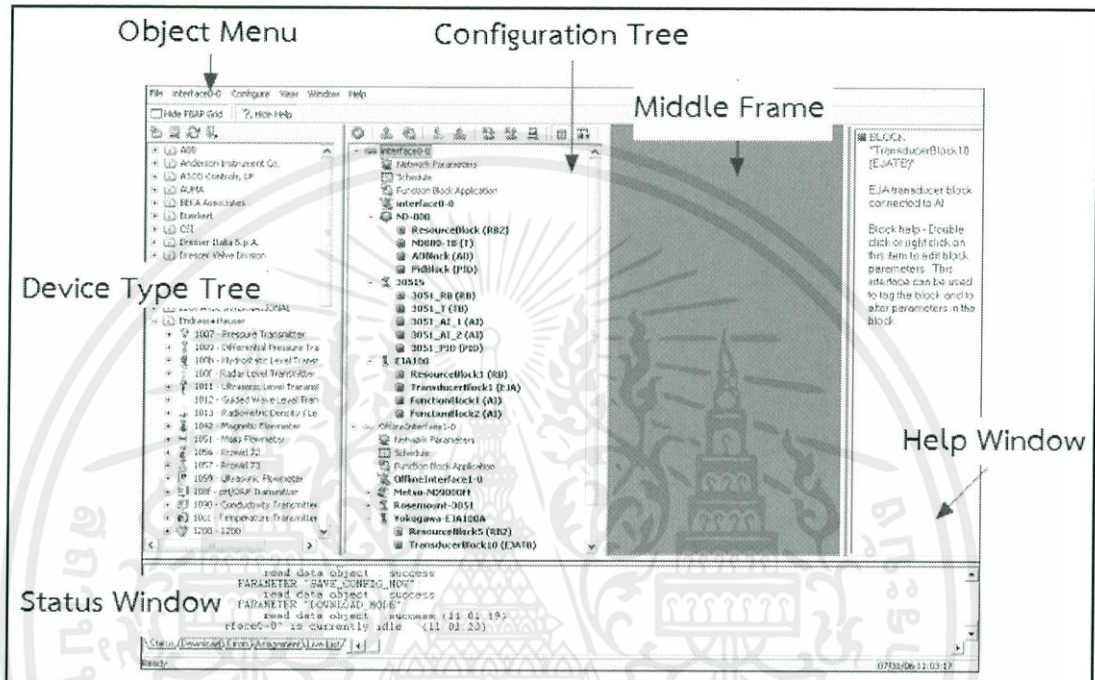
- เปิดโปรแกรม NI-FBUS Communications Manager เพื่อทำการตรวจสอบการเชื่อมต่อระหว่าง Host และกระบวนการ โดยหากการเชื่อมต่อไม่มีข้อผิดพลาดจะขึ้นสถานะ “Successful” ในทุกขั้นตอน ดังที่แสดงในรูปที่ 3.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรอ้างอิงเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ รูปที่ 3.9 ไดอะล็อกบ็อกซ์โปรแกรม NI-FBUS Communications Manager

### 3.2.2 องค์ประกอบของหน้าต่างในโปรแกรม NI-FBUS Configurator

โปรแกรม NI-Fbus Configurator มีหน้าต่างที่ปรับขนาดได้ภายในหน้าต่างหลัก ได้แก่ หน้าต่างกำหนดค่าโครงสร้าง หน้าต่างช่วยเหลือ หน้าต่างสถานะและหน้าต่างชนิดอุปกรณ์ (Configuration Tree) หน้าต่างชนิดพิเศษเพิ่มเติมสามารถเปิดได้ในกรอบการกำหนดค่าการใช้งานของบล็อกการทำงานของพารามิเตอร์ นอกจากนี้ยังสามารถเปิดหน้าต่างที่แยกต่างหากสำหรับบล็อกปรับพารามิเตอร์ด้านบนของหน้าต่างหลัก ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงส่วนต่างๆของหน้าต่างหลัก

- (1) Device Type Tree จะปรากฏที่ด้านซ้ายของโปรแกรม NI-Fbus Configurator จะแสดงอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อเข้ามา ประเภทอุปกรณ์จะถูกจัดกลุ่มตามชื่อผู้ผลิต สามารถคลิกที่สัญลักษณ์ + เพื่อดูประเภทอุปกรณ์ คลิกที่ปุ่ม Hide Device Type Window เพื่อซ่อนหน้าต่างชนิดอุปกรณ์ และสามารถกดที่ Window เลือกที่คำว่า Device Type Window เพื่อที่จะแสดงหน้าต่างชนิดของอุปกรณ์
- (2) Configuration Tree ปรากฏทางด้านซ้ายของกรอบ แสดงวัตถุที่เชื่อมต่อกับ NI-Fbus Configurator เมื่อเลือกวัตถุในการกำหนดค่าคอนฟิก เมนูจะปรากฏเป็นแถบเมนูรายการหลักขึ้นมา โดยสามารถดูรายการบนเมนูนี้โดยคลิกขวาที่วัตถุ การกำหนดค่าหรือดูการตั้งค่าวัตถุ ให้ดับเบิลคลิกที่ไอคอนในการกำหนดค่าคอนฟิกดังนี้






แสดง/ซ่อนอุปกรณ์เพื่อสลับระหว่างการแสดงหรือซ่อนหมายเลขอุปกรณ์



แสดง/ซ่อนปุ่มทรานสดิวเซอร์ เพื่อสลับระหว่างการแสดงหรือซ่อนบล็อกของทรานสดิวเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ ใช้งานด้านการศึกษา  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาในเอกสารฉบับนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

-  สัญลักษณ์นี้จะปรากฏขึ้นเมื่อมีการอ่านหรือเขียนเชื่อมต่อไปยังตัวอุปกรณ์
-  สัญลักษณ์นี้จะปรากฏขึ้นเมื่อ NI-Fbus Configurator ตรวจพบข้อผิดพลาดของวัตถุ
-  สัญลักษณ์นี้จะปรากฏขึ้นเมื่ออุปกรณ์ที่ระบุไม่ตอบสนองต่อการสแกนของโปรแกรม NI-Fbus Configurator

(3) Help Window จะปรากฏที่ด้านขวาของกรอบโปรแกรม จะแสดงข้อมูลช่วยเหลือเพื่อคู่มือ วิธีใช้วัตถุบางอย่างจำเป็นต้องใช้ สามารถคลิกที่วัตถุเพื่อดูวิธีและสลับระหว่างการแสดงหรือซ่อนหน้าต่างช่วยเหลือ

(4) Status Window จะปรากฏอยู่ด้านล่างกรอบ เพื่อแสดงสถานะปัจจุบันของโปรแกรม NI-Fbus Configurator หน้าต่างสถานะจะมีสามแท็บ เพื่อสลับระหว่างการแสดงหรือซ่อนหน้าต่างสถานะดังนี้

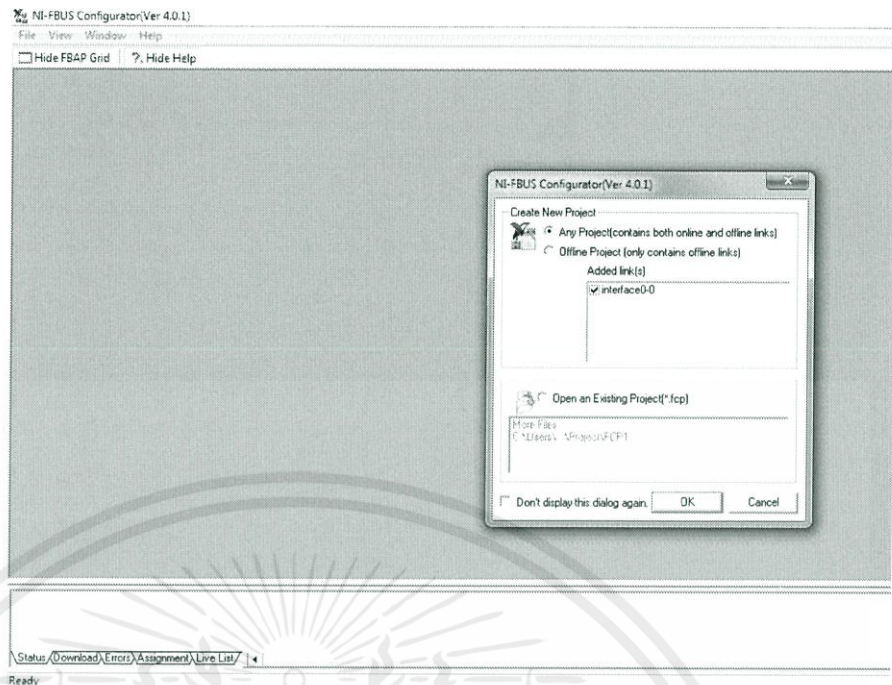
- Status Tab หรือแท็บสถานะ แสดงการกำลังปรับปรุงของโปรแกรม NI-Fbus Configurator แท็บสถานะจะปรากฏขึ้นโดยอัตโนมัติบนเมื่อเริ่มใช้โปรแกรม NI-Fbus Configurator แท็บสถานะจะแสดงขั้นตอนที่โปรแกรม NI-Fbus Configurator ใช้และแสดงเวลาในการอ่าน, เขียน, สแกนหรือดาวน์โหลดข้อมูล
- Download Tab แท็บดาวน์โหลดแสดงข้อมูลของสถานะล่าสุดทั้งหมดของการดาวน์โหลดการตั้งค่า แท็บดาวน์โหลดจะปรากฏขึ้นโดยอัตโนมัติปรากฏอยู่บนเมื่อเริ่มต้นการดาวน์โหลดกำหนดค่า
- Errors Tab แท็บข้อผิดพลาดจะแสดงข้อผิดพลาด I / O ทั้งหมดที่ผ่านมา

### 3.2.3 การใช้งานโปรแกรม NI-FBUS Configurator

โปรแกรม NI-FBUS Configurator เป็นโปรแกรมสำหรับใช้ในการตั้งค่าอุปกรณ์วัตถุและควบคุมที่ใช้การสื่อสารด้วย Foundation Fieldbus การใช้งานโปรแกรม NI-FBUS Configurator มีขั้นตอนดังนี้

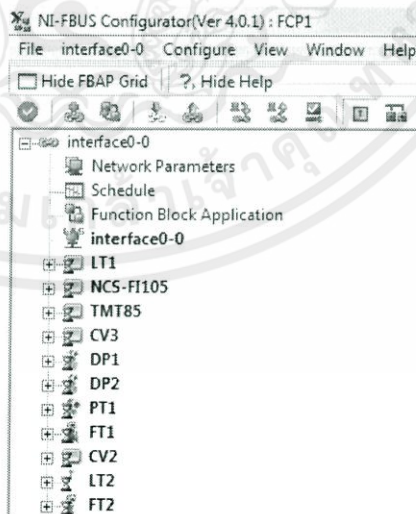
- (1) เมื่อเริ่มต้นเปิดโปรแกรม NI-FBUS Configurator จะพบหน้าต่างของโปรแกรม NI-FBUS Configurator และ ไดอะล็อกบ็อกซ์ Create New Project ทำการเลือก Any Project (Contains Both online and offline links) ดังที่แสดงในรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



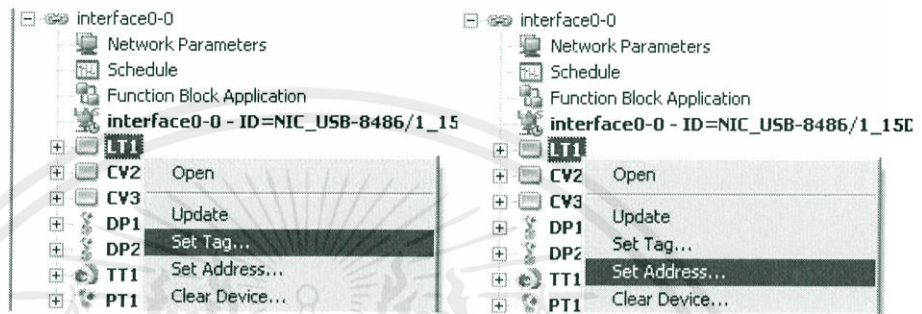
รูปที่ 3.11 โปรแกรม NI-FBUS Configurator

- (2) โปรแกรมจะทำการรับข้อมูลของอุปกรณ์อุปกรณ์วัดและควบคุมที่ทั้งหมดที่อยู่ในกระบวนการ จากส่วน Configuration Tree ดังที่แสดงในรูปที่ 3.12 หากโปรแกรม NI-FBUS Configurator ทำการรับข้อมูลของอุปกรณ์อุปกรณ์วัดและควบคุมได้สมบูรณ์ สัญลักษณ์นาฬิกาทราย จะหายไป และจะไม่มีเครื่องหมายใดๆขึ้น ในกรณีที่เกิดการรับข้อมูลผิดพลาด จะมีสัญลักษณ์เตือนสีเหลืองขึ้นมายังตัวอุปกรณ์หรือบล็อกที่มีเกิดความผิดพลาดในการรับข้อมูล ให้ทำการคลิกขวาที่บล็อกหรือตัวอุปกรณ์ที่มีเครื่องหมายเตือน และเลือก Update



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในส่วนที่วางเครื่องเท่านั้น ไม่อนุญาตให้รับข้อมูลไปเผยแพร่ภายนอก การก้า  
รูปที่ 3.12 ส่วน Configuration Tree ขณะกำลังรับข้อมูลของอุปกรณ์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (3) จากรูปที่ 3.13 ทำการตั้ง Tag ให้กับตัวอุปกรณ์เพื่อความสะดวกในการใช้งาน โดยเลือกส่วน Configuration Tree คลิกขวาที่ตัวอุปกรณ์ตัวที่ต้องการ เลือก Set Tag โดยชื่อ Tag ของอุปกรณ์หรือของบล็อกจะต้องไม่ซ้ำกัน และทำการตั้ง Address ให้กับตัวอุปกรณ์ โดยเลือกส่วน Configuration Tree และคลิกขวาที่ตัวอุปกรณ์ตัวที่ต้องการ เลือก Set Address โดย Address ของอุปกรณ์จะต้องไม่ซ้ำกัน ดังที่แสดงในรูปที่ 3.13 โดย Tag และ Address ที่ทำการตั้งให้กับอุปกรณ์ในกระบวนการ แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 การตั้ง Tag และ Address

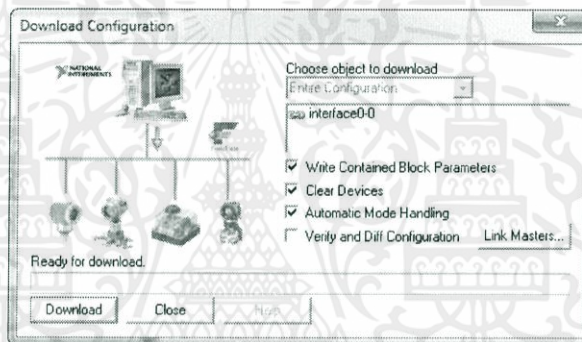
Tag	Address
interface0-0	0x11 (17)
LT1	0x12 (18)
CV2	0x13 (19)
NCS-FI105	0x14 (20)
PT1	0x16 (22)
CV3	0x18 (24)
FT1	0x1a (26)
DP1	0x1d (29)
DP2	0x1f (31)
TT1	0x21 (33)
FT2	0x22 (34)
LT2	0x23 (35)

รูปที่ 3.14 Tag และ Address ของอุปกรณ์ในกระบวนการ

- (4) ตั้งค่าทรานสดีวเซอร์บล็อกของอุปกรณ์วัดและควบคุมให้เหมาะสมกับการใช้งาน ในกระบวนการ รายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 3.2.3 ทรานสดีวเซอร์บล็อก
- (5) เขียนโปรแกรมควบคุมด้วยฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชัน ตามการออกแบบในหัวข้อ 3.3 การออกแบบกระบวนการควบคุม โดยการลากฟังก์ชันบล็อกจากส่วน Configuration Tree มาใช้งาน และทำการเชื่อมต่อฟังก์ชันบล็อกด้วย Wiring Tool
- (6) ทำการโหลดคอนฟิกลงไปยังระบบ โดยทำการเลือกที่เมนู Configuration > Download Configuration จากนั้นจะพบกับไดอะล็อกบ็อกซ์ Download Configuration ดังที่แสดงในรูปที่ 3.15 จากนั้นเลือก Write Contained

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ Block Parameter, Clear Device และ Automatic Mode Handling ถ้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัทฯ

- Write Contained Block Parameter เขียนบล็อกพารามิเตอร์ (พารามิเตอร์ภายในบล็อกฟังก์ชันเช่นการปรับ และการตั้งค่าการเตือนภัยมีจำนวนจำกัด ) จากบล็อกการกำหนดค่าหน้าต่าง จะมีประโยชน์โดยอย่างยิ่ง ถ้ากำลังจะเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในฟังก์ชันบล็อกและประหยัดเวลาในการเขียนบล็อกอุปกรณ์
- Clear Device การใช้คุณลักษณะนี้เพื่อให้แน่ใจว่ามีการเชื่อมโยงในฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชันแก้ไขหน้าต่างเฉพาะในอุปกรณ์ มิฉะนั้น การเชื่อมโยงจากตัวนำไหลตกก่อนหน้านี้อาจยังคงมีอยู่
- Automatic Mode Handling จัดการโหมดอัตโนมัติใช้บล็อกเวลา OOS ได้ตามต้องการระหว่างการดาวน์โหลดและส่งกลับไปยังโหมดปกติในการดำเนินงาน (อ่านว่าจาก MODE\_BLK.NORMAL สำหรับแต่ละบล็อก) หลังจากการที่มีการดาวน์โหลดกำหนดค่า นี้เป็นที่ช่วยประหยัดเวลาและความสะดวกสบาย



รูปที่ 3.15 การโหลดคอนฟิกลงไปยังระบบ

### 3.2.3 ทรานสดิวเซอร์บล็อก

ตารางที่ 3.1 – 3.7 แสดงให้เห็นการตั้งค่าทรานสดิวเซอร์บล็อกของทรานสมิตเตอร์ต่างๆทั้งหมด การตั้งค่าทรานสดิวเซอร์บล็อกจะเป็นขั้นตอนในการตั้งค่าอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น การเลือกชนิดของโหมดการวัดหรือตัวแปรที่วัด การตั้งย่านของการวัด โดยการตั้งค่าทรานสดิวเซอร์บล็อกจะต้องทำการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชัน โดยค่าพารามิเตอร์ของการทดลองที่ได้ทำการปรับตั้งสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ก

ตารางที่ 3.1 ทรานสดิวเซอร์บล็อกของทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยความดันแตกต่าง

(Tag : DP1 และ DP2)

Primary Value Type พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุโหมดการวัดและตัวแปรที่วัด โดยวิธีการของ

พารามิเตอร์นี้และพารามิเตอร์ Linearization มีตัวเลือกดังนี้

- Differential pressure วัดความดันแตกต่าง
- Gauge pressure วัดความดันเกจ
- Absolute pressure วัดความดันสัมบูรณ์

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Level วัดระดับ</li> <li>- Volume วัดปริมาตร</li> <li>- Mass วัดมวล</li> <li>- Flow (only Deltabar S) วัดอัตราการไหล</li> <li>- Tank content (PV) in % ความจุของแทงค์ในหน่วยเปอร์เซ็นต์</li> </ul>								
Linearization	<p>พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุโหมดการวัดและตัวแปรที่วัดโดยวิธีการของพารามิเตอร์นี้ และพารามิเตอร์ Primary Value Type มีตัวเลือกดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- No linearization (โหมดการวัด ความดัน หรือ ระดับ )</li> <li>- Level linearized (โหมดการวัดระดับ)</li> <li>- Level combined (โหมดการวัดระดับ)</li> <li>- % level combined ("โหมดการวัดระดับ)</li> <li>- Flow square root (โหมดการวัดอัตราการไหล)</li> </ul>								
Scale In	<table border="0"> <tr> <td>EU at 100%</td> <td>ระดับสูงสุดสำหรับค่าความดันของ Block Transducer</td> </tr> <tr> <td>EU at 0%</td> <td>ระดับต่ำสุดสำหรับค่าความดันของ Block Transducer</td> </tr> <tr> <td>Units Index</td> <td>เลือกหน่วยสำหรับ input scaling</td> </tr> <tr> <td>Decimal</td> <td>จำนวนจุดทศนิยม</td> </tr> </table>	EU at 100%	ระดับสูงสุดสำหรับค่าความดันของ Block Transducer	EU at 0%	ระดับต่ำสุดสำหรับค่าความดันของ Block Transducer	Units Index	เลือกหน่วยสำหรับ input scaling	Decimal	จำนวนจุดทศนิยม
EU at 100%	ระดับสูงสุดสำหรับค่าความดันของ Block Transducer								
EU at 0%	ระดับต่ำสุดสำหรับค่าความดันของ Block Transducer								
Units Index	เลือกหน่วยสำหรับ input scaling								
Decimal	จำนวนจุดทศนิยม								
Calib. Offset	<p>เนื่องจากแนวการวางอุปกรณ์อาจจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าที่วัดได้ พารามิเตอร์นี้จะเป็นการปรับชดเชยค่าความดันความแตกต่างระหว่างค่าศูนย์ (จุดเซตพอยต์) และค่าความดันที่วัดได้</p>								
Level Mode	<p>พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุโหมดในการวัดระดับ มีตัวเลือกดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Linear ตัวแปรที่วัด (ระดับ ปริมาณ มวล หรือ %) อยู่ในสัดส่วนโดยตรงกับความดันที่วัดได้</li> <li>- Pressure linearized ตัวแปรที่วัด (ปริมาณ มวล หรือ %) ไม่ได้อยู่ในสัดส่วนโดยตรงกับค่าความดันที่วัดได้ เช่น กรณีของภาชนะบรรจุที่มีทางออกรูปทรงกรวย</li> <li>- Height linearized เลือกโหมดการวัดระดับ ถ้าต้องการวัดสองตัวแปร</li> </ul>								
Lin. Measurand	<p>พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุตัวแปรของการวัด มีตัวเลือกดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Level (ระดับ)</li> <li>- Volume (ปริมาณ)</li> <li>- Mass (มวล)</li> <li>- % [level] (ระดับเป็นเปอร์เซ็นต์)</li> </ul>								
Height Unit	<p>พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุหน่วยของการวัดระดับ มีตัวเลือกดังนี้ mm dm cm m inch ft</p>								

### ตารางที่ 3.2 ทราานสดีวเซอร์บล็อกของทรานสมิตเตอร์วัดความดัน (Tag : PT1)

Primary Value Type พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุโหมดการวัดและตัวแปรที่วัด โดยวิธีการของพารามิเตอร์นี้และพารามิเตอร์ Linearization มีตัวเลือกดังนี้

- Differential pressure วัดความดันแตกต่าง

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gauge pressure วัดความดันเกจ</li> <li>- Absolute pressure วัดความดันสัมบูรณ์</li> <li>- Level วัดระดับ</li> <li>- Volume วัดปริมาตร</li> <li>- Mass วัดมวล</li> <li>- Flow (only Deltabar S) วัดอัตราการไหล</li> <li>- Tank content (PV) in % ความจุของแทงค์ในหน่วยเปอร์เซ็นต์</li> </ul>
<p>Linearization พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุโหมดการวัดและตัวแปรที่วัดโดยวิธีการของพารามิเตอร์นี้ และพารามิเตอร์ Primary Value Type มีตัวเลือกดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- No linearization (โหมดการวัด ความดัน หรือ ระดับ )</li> <li>- Level linearized (โหมดการวัดระดับ)</li> <li>- Level combined (โหมดการวัดระดับ)</li> <li>- % level combined ("โหมดการวัดระดับ)</li> <li>- Flow square root (โหมดการวัดอัตราการไหล)</li> </ul>

**ตารางที่ 3.3** ทรานสดิวเซอร์บล็อกของทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Tag : FT1)

System Unit-Volume Flow พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุหน่วยสำหรับการไหลเชิงปริมาตร (ปริมาตรต่อเวลา)
System Unit -Mass Flow พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุหน่วยสำหรับการไหลเชิงมวล (มวลต่อเวลา)

**ตารางที่ 3.4** ทรานสดิวเซอร์บล็อกของทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบเวอร์เทค

System Unit-Volume Flow เลือกหน่วยสำหรับการไหลเชิงปริมาตร (ปริมาตรต่อเวลา)
System Unit -Mass Flow เลือกหน่วยสำหรับการไหลเชิงมวล (มวลต่อเวลา)
Process Param.-Application พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุชนิดของของไหลที่ทำการวัด มีตัวเลือกคือ Gas/Steam หรือ Liquid
Process Param.-Operating Density พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุค่าความหนาแน่นของตัวกลางในกระบวนการ

**ตารางที่ 3.5** ทรานสดิวเซอร์บล็อกของทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยคลื่นความถี่ (Tag : LT1)

Probe Level Unit พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุหน่วยความยาวของก้านวัด
Sensor Unit พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุหน่วยของการวัดระดับของเซนเซอร์
Probe Level Lo พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุค่าเซตพอยต์ที่ 0% โดยอ้างอิงจากหน่วยความยาวของก้านวัด
Probe Level Hi พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุค่าเซตพอยต์ที่ 100% โดยอ้างอิงจากหน่วยความยาวของก้านวัด
Measurement Type ลักษณะรูปแบบของการวัด มีตัวเลือกดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากพบข้อผิดพลาดหรือข้อสงสัย กรุณาแจ้งให้เราทราบ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

<ul style="list-style-type: none"> <li>- LEVEL ONLY</li> <li>- LEVEL AND VOLUME</li> <li>- INTERFACE</li> <li>- INTERFACE AND VOLUME</li> </ul>
Probe Length พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุความยาวของก้านวัด
LEVEL_OFFSET พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุค่าระยะของการวัดที่ระดับ 0% โดยอ้างอิงจากหน่วยความยาวของก้านวัด

### ตารางที่ 3.6 ทราานสตีวเซอร์บ์สติกของทราานสมิตเตอร์วัด ระดับด้วยคลื่นความถี่ (Tag : LT2)

<p>tank properties ระบุค่าคุณสมบัติของแทงค์ มีตัวเลือกดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- standard</li> <li>- aluminium tank</li> <li>- plastic tank</li> <li>- bypass / pipe</li> <li>- coax probe</li> <li>- concrete wall</li> </ul>
<p>process propert. พารามิเตอร์นี้เป็นการปรับให้อุปกรณ์มีการตอบสนองต่อความเร็วของตัวกลางที่เติมเข้ามา มีตัวเลือกดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- standard</li> <li>- fast change</li> <li>- slow change</li> <li>- test:no filter</li> </ul>
<p>end of prob พารามิเตอร์นี้เป็นการเลือกลักษณะการสิ้นสุดของสัญญาณปลายก้านวัด ถ้าก้านวัดเปลือยหรือมีฉนวนหุ้ม สัญญาณจากก้านวัดจะเป็นลบ สัญญาณจากปลายของก้านวัดเป็นบวกถ้าสัมผัสกับกราวด์ มีตัวเลือกดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- free</li> <li>- tie down isol</li> <li>- tie down gnd</li> </ul>
<p>probe length พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุความยาวของก้านวัด</p>
<p>linearisation พารามิเตอร์นี้เป็นการกำหนดสัดส่วนของระดับกับปริมาณของภาชนะบรรจุ มีตัวเลือกดังนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- linear</li> <li>- horizontal cyl</li> <li>- manual</li> <li>- semi-automatic</li> <li>- table on</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- clear table
customer unit พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุหน่วยของการวัดระดับ

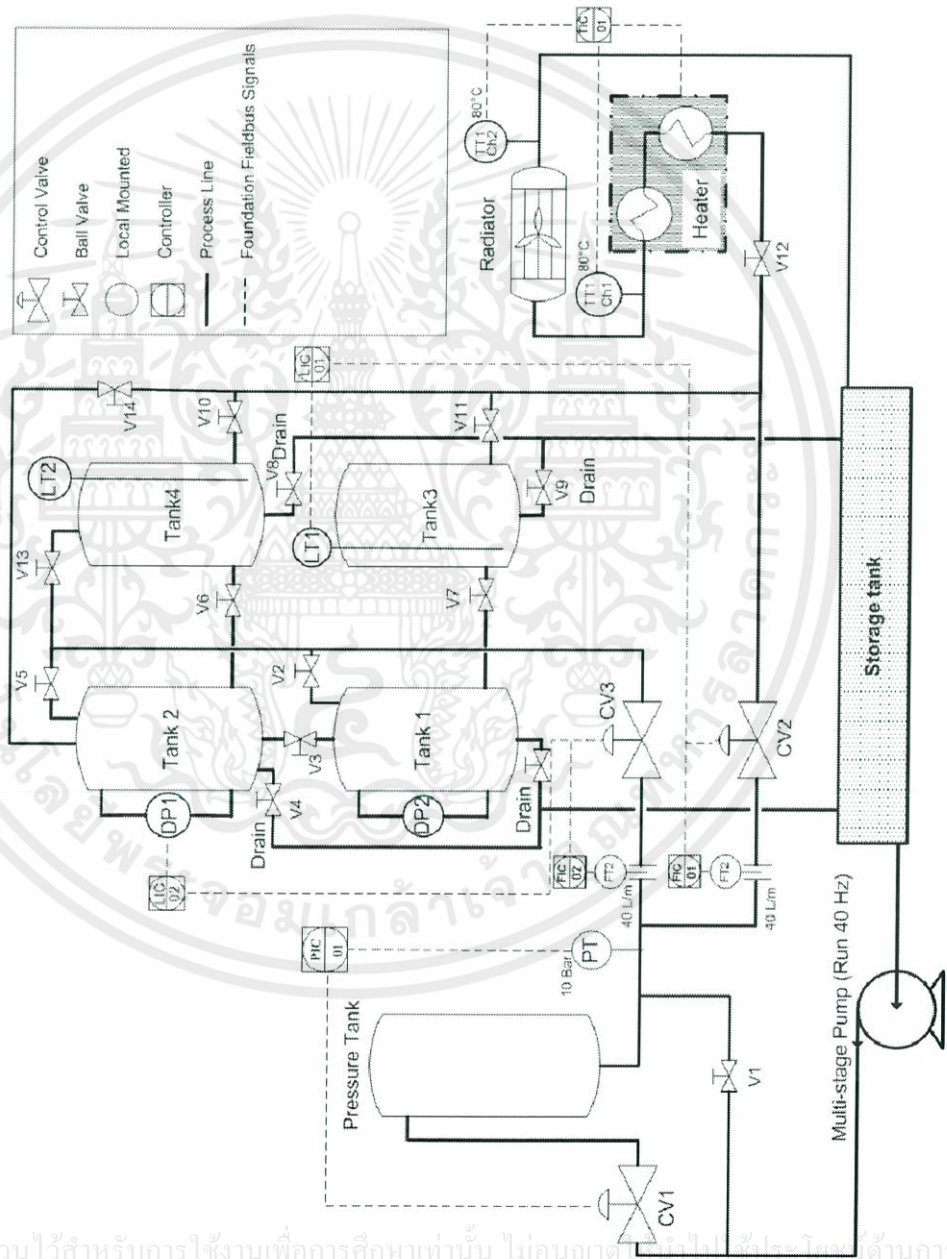
### ตารางที่ 3.7 ทรานสดิวเซอร์บล็อกของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ (Tag : TT1)

primary value unit พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุหน่วยอุณหภูมิ ของ PRIMARY_VALUE
Cell-v . Dusen Coeff.A พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุ
Primary Value Type พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุการประมวลผลค่าอุณหภูมิสำหรับ PRIMARY_VALUE
Sensor Type พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุชนิดของเซนเซอร์ Sensor Transducer 1 จะเสตค่าสำหรับ input 1 และ Sensor Transducer จะเสตค่าสำหรับ input 2
Sensor connection พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุลักษณะการเชื่อมต่อเซนเซอร์
Sensor range พารามิเตอร์นี้เป็นการระบุย่านการวัดของเซนเซอร์
EU at 100% ระดับสูงสุดย่านการวัดของเซนเซอร์
EU at 0% ระดับต่ำสุดย่านการวัดของเซนเซอร์
Sensor unit หน่วยการวัดอุณหภูมิของเซนเซอร์
Decimal จำนวนจุดทศนิยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

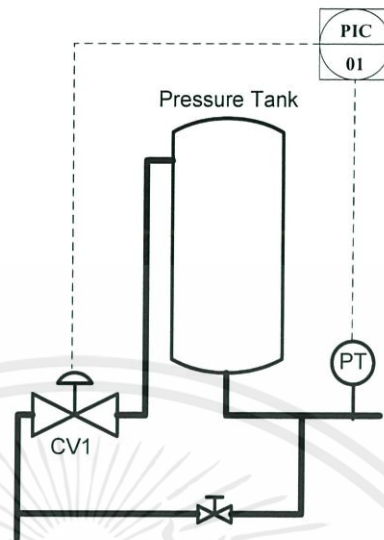
### 3.3 การออกแบบกระบวนการควบคุม

แผนผังแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับกระบวนการ และมีอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ หรือ พีแอนดีไอที ไดอะแกรม คือ แผนภาพที่แสดงกระบวนการของระบบควบคุมและแสดงอุปกรณ์วัดหรืออุปกรณ์ในระบบ เพื่อใช้ในการทำความเข้าใจและวิเคราะห์ กระบวนการ สำหรับโครงการนี้จะเป็นการอธิบายกระบวนการของการวัดและควบคุมความดัน อัตราการไหล ระดับ และอุณหภูมิของน้ำ โดยใช้การระบบควบคุมแบบโครงข่ายที่มีการสื่อสารแบบฟาว์นเดชันฟิลด์บัส โดยใช้พีแอนดีไอที ไดอะแกรม ดังที่แสดงในรูปที่ 3.16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.16 พีแอนดีไอที ไดอะแกรม  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1 กระบวนการวัดและควบคุมความดัน



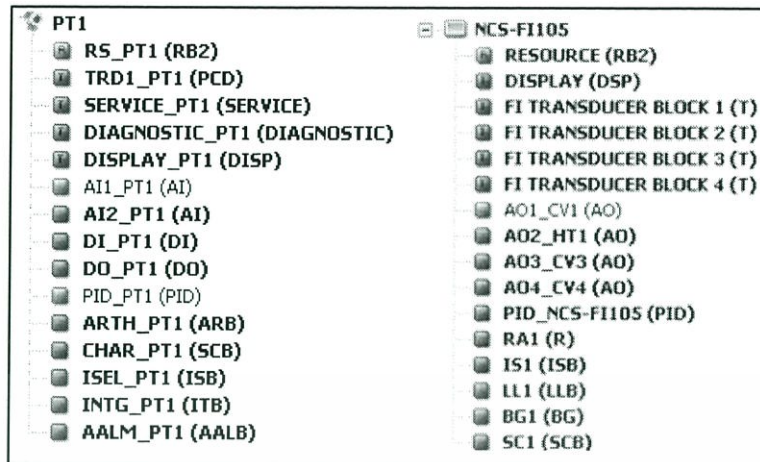
รูปที่ 3.17 พีเอนต์ไอดี กระบวนการวัดและควบคุมความดัน

จากรูปที่ 3.17 กระบวนการวัดและควบคุมความดันจะประกอบด้วย

- (1) วาล์วควบคุม (Tag : CV1) ควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่จะเข้าไปยังแท่งความดันโดย Positioners ของวาล์วควบคุมจะรับค่าสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณกระแส 4-20 mA ซึ่งสัญญาณ Foundation Fieldbus ที่ใช้ควบคุมวาล์วจะผ่านเข้าไปยังตัวแปลงสัญญาณ Foundation Fieldbus เป็น สัญญาณกระแส 4-20 mA (Tag : NCS-FI105)
- (2) แท่งความดันทำหน้าที่เป็นบัพเฟอร์ความดัน
- (3) ทรานสมิตเตอร์วัดความดัน (Tag : PT1)

การควบคุมความดันจะใช้การควบคุมป้อนกลับแบบพีเอนต์ไอดี โดยรับค่าความดันจากทรานสมิตเตอร์วัดความดัน (Tag : PT1) จากนั้นส่งค่าให้กับ พีเอนต์คอนโทรลเลอร์ (PID Controller) เพื่อทำการประมวลผล และส่งค่าเอาต์พุตไปยังตัวแปลงสัญญาณ NCS-FI105 เพื่อแปลงสัญญาณและส่งต่อไปยังวาล์วควบคุม (Tag : CV1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



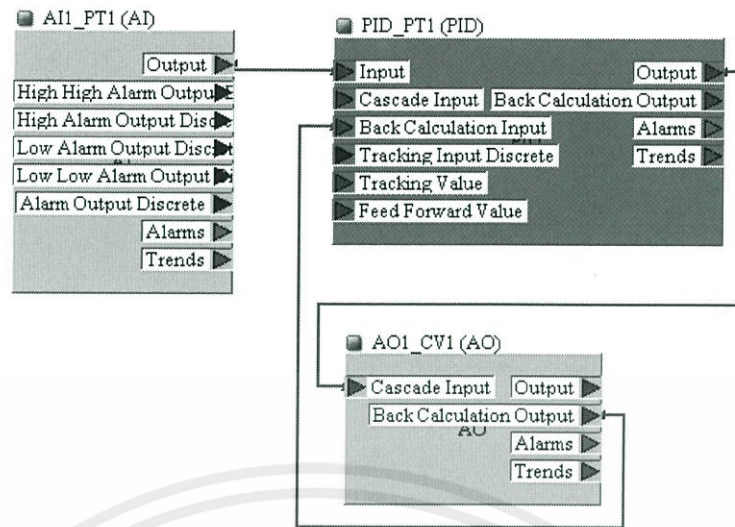
รูปที่ 3.18 ส่วน Configuration Tree ของทรานสมิตเตอร์วัดความดัน (Tag : PT1) และตัวแปลงสัญญาณ (Tag : NCS-FI105)

การสร้างโปรแกรมเพื่อควบคุมกระบวนการโดยใช้โปรแกรม NI-FBUS Configurator จากรูปที่ 3.18 จากส่วน Configuration Tree ของทรานสมิตเตอร์วัดความดัน (Tag : PT1) และตัวแปลงสัญญาณ (Tag : NCS-FI105) ทำการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชัน เลือกใช้ฟังก์ชันบล็อก AI\_PT1 (AI) เพื่อทำการรับค่าอินพุต ใช้ฟังก์ชันบล็อก PID\_PT1 (PID) ของทรานสมิตเตอร์วัดความดันเป็นตัวประมวลผลและใช้ฟังก์ชันบล็อก AO1\_CV1 (AO) ของตัวแปลงสัญญาณ (Tag : NCS-FI105) เป็นเอาต์พุต แล้วทำการเชื่อมต่อฟังก์ชันบล็อกด้วย Wiring Tool ดังที่แสดงในรูปที่ 3.19 ดังนี้

- (1) Output ของฟังก์ชันบล็อก AI\_PT1 (AI) เชื่อมต่อกับ Input ของฟังก์ชันบล็อก PID\_PT1 (PID)
- (2) Output ของฟังก์ชันบล็อก PID\_PT1 (PID) เชื่อมต่อกับ Cascade Input ของฟังก์ชันบล็อก AO1\_CV1 (AO)
- (3) Back Calculation Output ของฟังก์ชันบล็อก AO1\_CV1 (AO) ) เชื่อมต่อกับ Back Calculation Input ของฟังก์ชันบล็อก PID\_PT1 (PID)

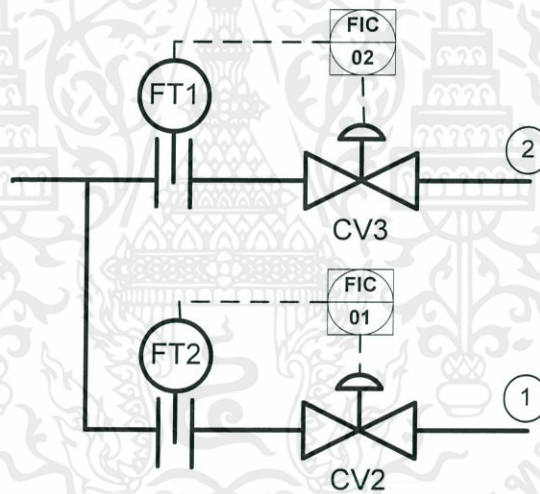
ทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อกตามตารางในภาคผนวก ก. แล้วทำการโหลดคอนฟิกลงไปยังตัวอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชันของกระบวนการวัดและควบคุมความดัน

### 3.3.2 กระบวนการวัดและควบคุมอัตราการไหล



รูปที่ 3.20 พีแอนด์ไอดีของกระบวนการวัดและควบคุมอัตราการไหล

จากรูปที่ 3.20 กระบวนการวัดและควบคุมอัตราการไหลจะประกอบด้วยแนวท่อจำนวน 2 เส้นทาง เส้นทางที่ 1 วัดและควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่จะไหลเข้าแทงค์ที่ 1, 3, 4 และน้ำที่ไหลผ่านฮีตเตอร์ เส้นทางที่ 2 วัดและควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่จะไหลเข้าแทงค์ที่ 1, 2, 3 มีอุปกรณ์การวัดและควบคุมดังนี้

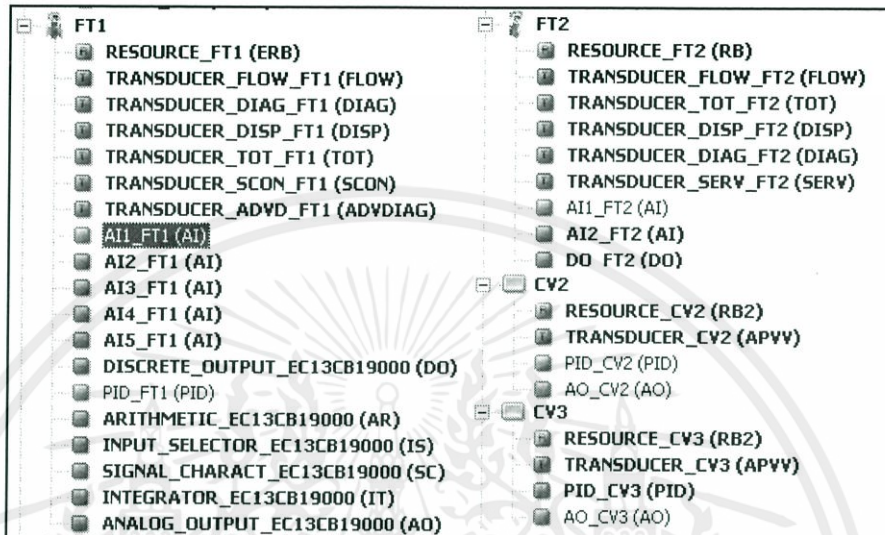
(1) วาล์วควบคุม จำนวน 2 ตัว (Tag : CV2 และ CV3)

(2) ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบเวอร์เทค (Tag : FT2)

(3) ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Tag : FT1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมอัตราการไหลจะใช้การควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี จะรับค่าอัตราการไหล (PV) จาก ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหล (Tag : FT1 และ FT2) จากนั้นส่งค่าให้กับ พีไอดี คอนโทรลเลอร์ (PID Controller) เพื่อทำการประมวลผล และส่งค่าเอาต์พุต (MV) ไปยังวาล์วควบคุม



รูปที่ 3.21 ส่วน Configuration Tree ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบเวอร์เทค (Tag : FT1) ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Tag : FT2) และวาล์วควบคุม (Tag : CV2 และ CV3)

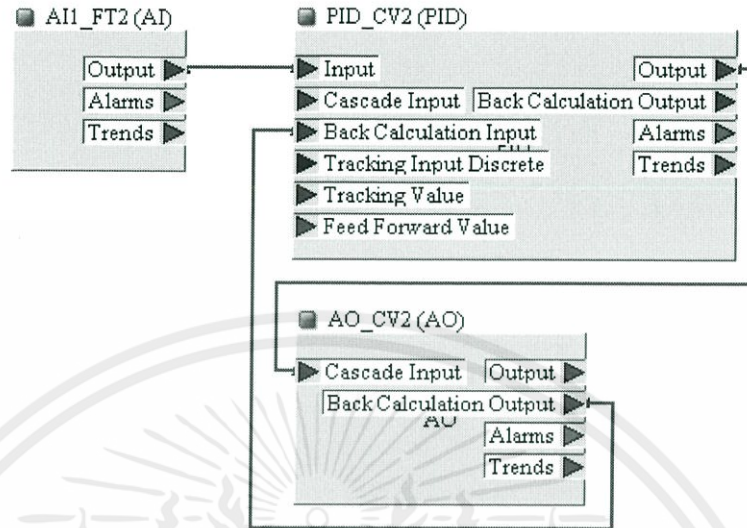
การสร้างโปรแกรมเพื่อควบคุมกระบวนการโดยใช้โปรแกรม NI-FBUS Configurator จากรูปที่ 3.21 จากส่วน Configuration Tree ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบเวอร์เทค (Tag : FT1) ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Tag : FT2) และวาล์วควบคุม (Tag : CV2 และ CV3)

จากรูปที่ 3.20 สำหรับแนวท่อเส้นทางที่ 1 ทำการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชัน เลือกใช้ฟังก์ชันบล็อก AI1\_FT2 (AI) เพื่อทำการรับค่าอินพุตจากทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบเวอร์เทค ใช้ฟังก์ชันบล็อก PID\_CV2 (PID) เป็นตัวประมวลผล เนื่องจากทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบเวอร์เทคไม่มีฟังก์ชันบล็อกการควบคุมแบบพีไอดีมาให้ และใช้ฟังก์ชันบล็อก AO\_CV2 (AO) ของตัววาล์วควบคุม (Tag : CV2) เป็นเอาต์พุตแล้วทำการเชื่อมต่อฟังก์ชันบล็อกด้วย Wiring Tool ดังที่แสดงในรูปที่ 3.22 ดังนี้

(1) Output ของฟังก์ชันบล็อก AI1\_FT2 (AI) เชื่อมต่อกับ Input ของฟังก์ชันบล็อก PID\_CV2 (PID)

(2) Output ของฟังก์ชันบล็อก PID\_CV2 (PID) เชื่อมต่อกับ Cascade Input ของฟังก์ชันบล็อก AO\_CV2 (AO)

- 3) Back Calculation Output ของฟังก์ชันบล็อก AO\_CV2 (AO) ) เชื่อมต่อกับ Back Calculation Input ของฟังก์ชันบล็อก PID\_CV2 (PID)



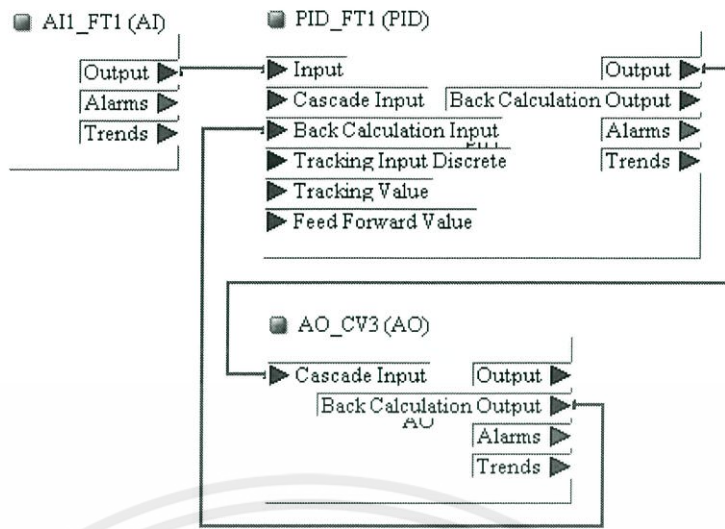
รูปที่ 3.22 ฟังก์ชันบล็อกแอฟพลิเคชันของกระบวนการวัด และควบคุมอัตราการไหล แนวท่อเส้นทางที่ 1

จากรูปที่ 3.20 สำหรับแนวท่อเส้นทางที่ 2 ทำการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยฟังก์ชันบล็อกแอฟพลิเคชัน เลือกใช้ฟังก์ชันบล็อก AI1\_FT1 (AI) เพื่อทำการรับค่าอินพุตจากทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ใช้ฟังก์ชันบล็อก PID\_FT1 (PID) เป็นตัวควบคุมกระบวนการ และใช้ฟังก์ชันบล็อก AO\_CV3 (AO) ของตัววาล์วควบคุม (Tag : CV3) เป็นเอาต์พุตแล้วทำการเชื่อมต่อฟังก์ชันบล็อกด้วย Wiring Tool ดังที่แสดงในรูปที่ 3.23 ดังนี้

- (1) Output ของฟังก์ชันบล็อก AI1\_FT1 (AI) เชื่อมต่อกับ Input ของฟังก์ชันบล็อก PID\_FT1 (PID)
- (2) Output ของฟังก์ชันบล็อก PID\_FT1 (PID) เชื่อมต่อกับ Cascade Input ของฟังก์ชันบล็อก AO\_CV3 (AO)
- (3) Back Calculation Output ของฟังก์ชันบล็อก AO\_CV3 (AO) ) เชื่อมต่อกับ Back Calculation Input ของฟังก์ชันบล็อก PID\_FT1 (PID)

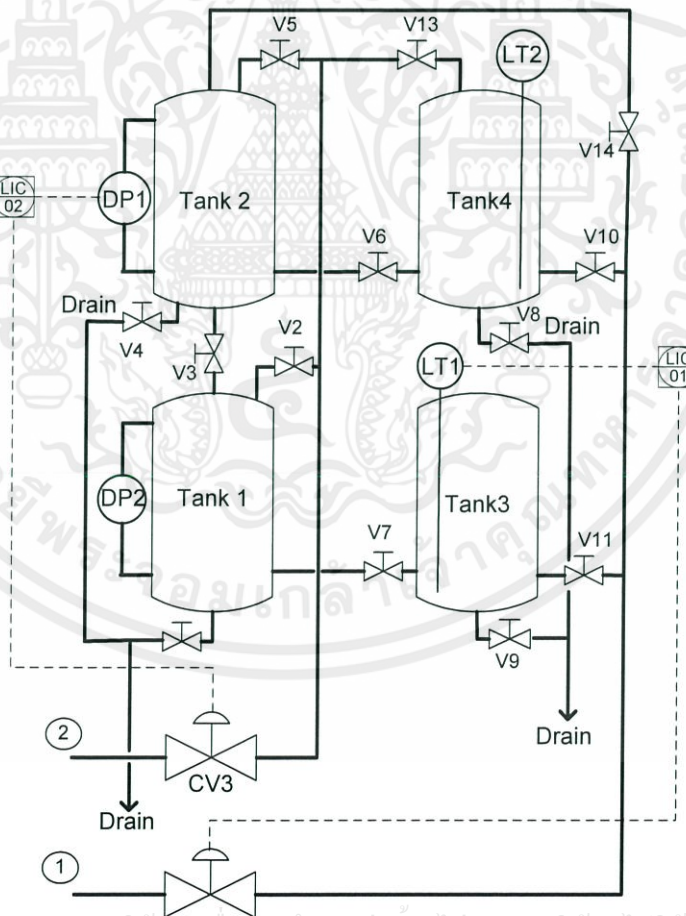
จากนั้นทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อกตามตารางในภาคผนวก ก. แล้วทำการโหลดคอนฟิกลงไปยังตัวอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 ฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชันของกระบวนการวัดและควบคุมอัตราการไหล แนวท่อเส้นทางที่ 2

3.3.2 กระบวนการวัดและควบคุมระดับ

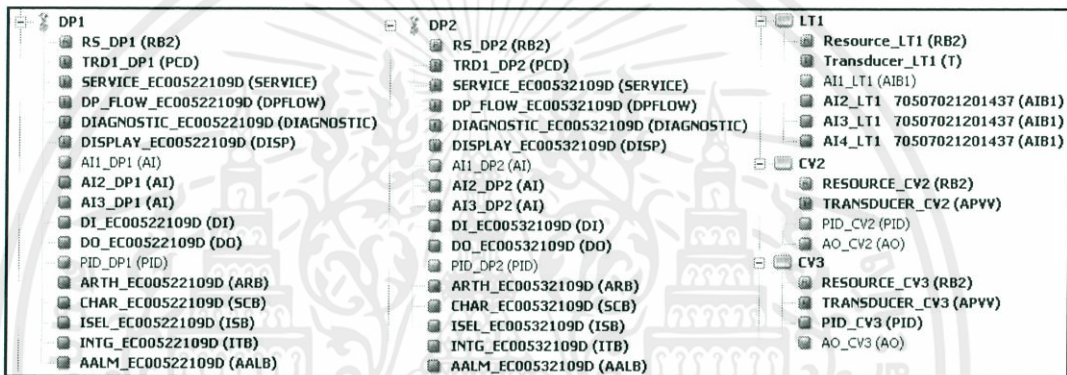


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามรูปที่ 3.24 พีแอนด์ไอดีของกระบวนการวัดและควบคุมระดับที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.24 กระบวนการวัดและควบคุมระดับน้ำประกอบไปด้วยแนวท่อจำนวน 2 เส้นทาง และแท่งน้ำสำหรับวัดระดับจำนวน 4 แท่ง มีอุปกรณ์การวัดและควบคุมดังนี้

- (1) วาล์วควบคุม จำนวน 2 ตัว (Tag : CV2 และ CV3)
- (2) ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างกัน จำนวน 2 ตัว (Tag : DP1 และ DP2)
- (3) ทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยคลื่นความถี่ จำนวน 2 ตัว (Tag : LT1 และ LT2)

การควบคุมระดับน้ำจะใช้การควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี ซึ่งรับค่าความดันจากทรานสมิตเตอร์วัดระดับ จากนั้นส่งค่าให้กับ พีไอดีคอนโทรลเลอร์ (PID Controller) เพื่อทำการประมวลผล และส่งค่าเอาต์พุตไปยังวาล์วควบคุม เนื่องจากมีทรานสมิตเตอร์วัดระดับอยู่ 2 ชนิด ชนิดละ 2 ตัว จึงเลือกใช้เพียงชนิดละ 1 ตัว โดยใช้งานแท่งที่ 2 กับแท่งที่ 3 และเปิดวาล์ว Drain V9 และ V14 ประมาณ 30% เพื่อจำลองให้เป็นภาวะไหลตในการใช้งาน



รูปที่ 3.25 ส่วน Configuration Tree ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างกัน (Tag : DP1)

ทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยคลื่นความถี่ (Tag : LT1) และวาล์วควบคุม (Tag : CV2 และ CV3)

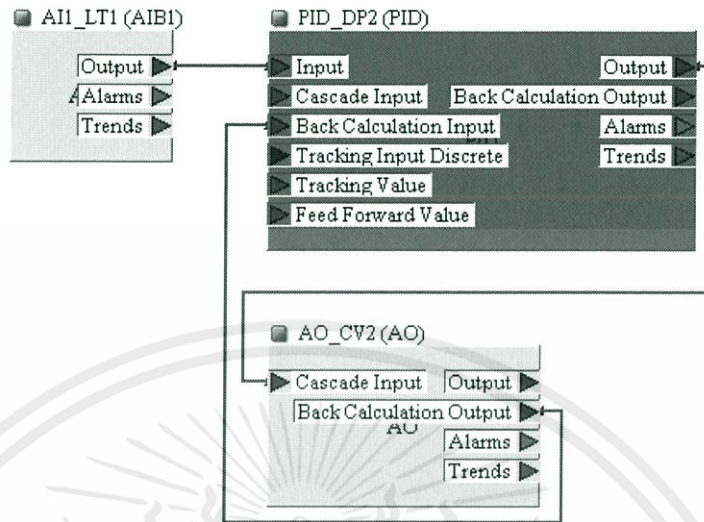
การสร้างโปรแกรมเพื่อควบคุมกระบวนการโดยใช้โปรแกรม NI-FBUS Configurator จากรูปที่ 3.25 จากส่วน Configuration Tree ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างกัน (Tag : DP1) ทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยคลื่นความถี่ (Tag : LT1) และวาล์วควบคุม (Tag : CV2 และ CV3)

จากรูปที่ 3.24 สำหรับการควบคุมระดับแท่งที่ 3 โดยใช้แนวท่อเส้นทางที่ 1 ทำการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชัน เลือกใช้ฟังก์ชันบล็อก AI1\_LT1 (AI) เพื่อทำการรับค่าอินพุตจากทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยคลื่นความถี่ ใช้ฟังก์ชันบล็อก PID\_DP2 (PID) เป็นตัวควบคุมกระบวนการทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยคลื่นความถี่ไม่มีฟังก์ชันบล็อกการควบคุมแบบพีไอดีมาให้ และใช้ฟังก์ชันบล็อก AO\_CV2 (AO) ของตัววาล์วควบคุม (Tag : CV2) เป็นเอาต์พุตแล้วทำการเชื่อมต่อฟังก์ชันบล็อกด้วย Wiring Tool ดังที่แสดงในรูปที่ 3.26 ดังนี้

- (1) Output ของฟังก์ชันบล็อก AI1\_LT1 (AI) เชื่อมต่อกับ Input ของฟังก์ชันบล็อก PID\_DP2 (PID)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกที่ (2) Output ของฟังก์ชันบล็อก PID\_DP2 (PID) เชื่อมต่อกับ Cascade Input ของฟังก์ชันบล็อก AO\_CV2 (AO)

- (3) Back Calculation Output ของฟังก์ชันบล็อก AO\_CV2 (AO) ) เชื่อมต่อกับ Back Calculation Input ของฟังก์ชันบล็อก PID\_DP2 (PID)

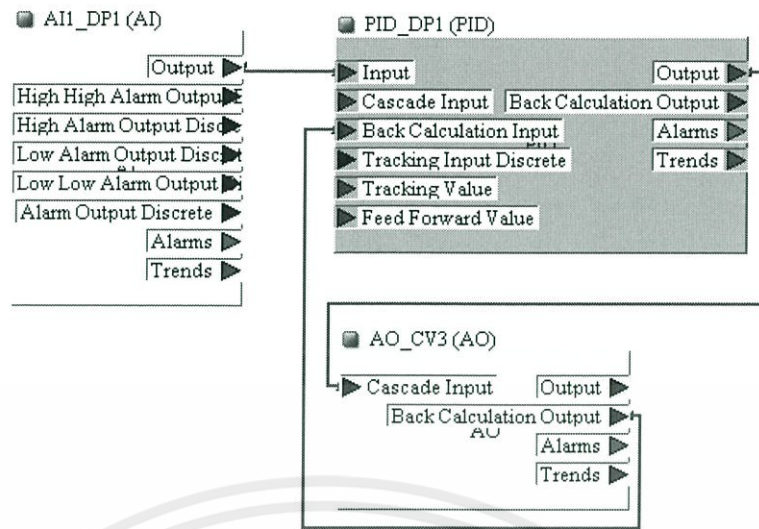


รูปที่ 3.26 ฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชันของกระบวนการวัดและควบคุมระดับแทงค์ที่ 3

จากรูปที่ 3.24 สำหรับการควบคุมระดับแทงค์ที่ 3 โดยใช้แนวท่อเส้นทางที่ 2 ทำการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชัน เลือกใช้ฟังก์ชันบล็อก AI1\_DP1 (AI) เพื่อทำการรับค่าอินพุตทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง ใช้ฟังก์ชันบล็อก PID\_DP1 (PID) เป็นตัวควบคุมกระบวนการ และใช้ฟังก์ชันบล็อก AO\_CV3 (AO) ของตัววาล์วควบคุม (Tag : CV3) เป็นเอาต์พุตแล้วทำการเชื่อมต่อฟังก์ชันบล็อกด้วย Wiring Tool ดังที่แสดงในรูปที่ 3.27 ดังนี้

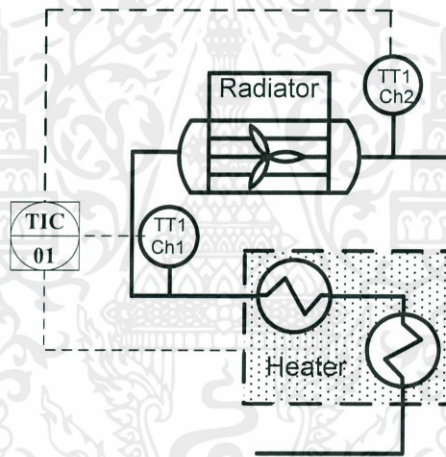
- (1) Output ของฟังก์ชันบล็อก AI1\_DP1 (AI) เชื่อมต่อกับ Input ของฟังก์ชันบล็อก PID\_DP1 (PID)
- (2) Output ของฟังก์ชันบล็อก PID\_DP1 (PID) เชื่อมต่อกับ Cascade Input ของฟังก์ชันบล็อก AO\_CV3 (AO)
- (3) Back Calculation Output ของฟังก์ชันบล็อก AO\_CV3 (AO) ) เชื่อมต่อกับ Back Calculation Input ของฟังก์ชันบล็อก PID\_DP1 (PID)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 ฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชันของกระบวนการวัดและควบคุมระดับแท่งค้ำที่ 2

### 3.3.4 กระบวนการวัดและควบคุมอุณหภูมิ

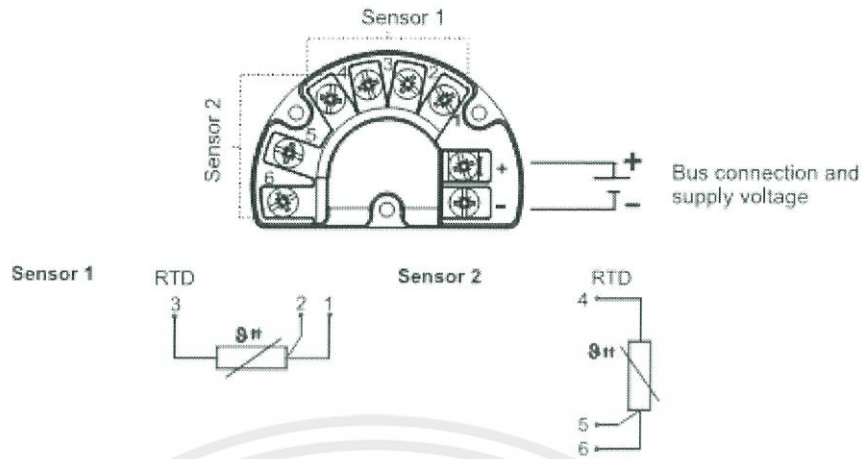


รูปที่ 3.28 พีแอนด์ไอดีของกระบวนการวัดและควบคุมอุณหภูมิ

กระบวนการวัดและควบคุมอุณหภูมิ จากรูปที่ 3.27 จะประกอบด้วย

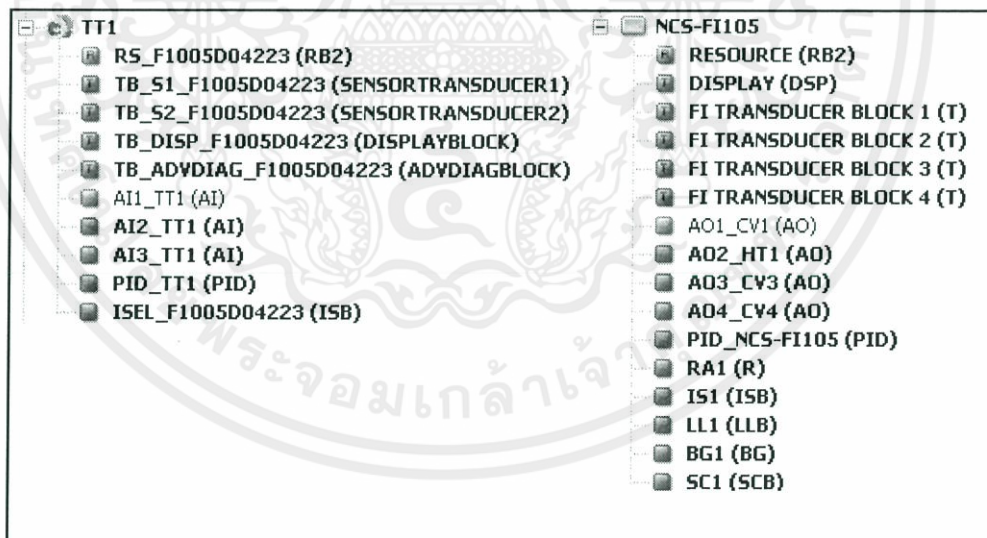
- (1) ฮีตเตอร์ (Tag : HT1) สำหรับเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ไหลผ่าน โดยสัญญาณควบคุมฮีตเตอร์จะผ่านตัวแปลงสัญญาณ Foundation Fieldbus เป็นสัญญาณกระแส 4-20 mA (Tag : NCS-FI105) และส่งไปควบคุมฮีตเตอร์โดยผ่านทางโซลิตสเตตรีเลย์
- (2) เรติเอเตอร์ สำหรับลดอุณหภูมิของน้ำ โดยพัดลมของเรติเอเตอร์เป็นแบบความเร็วรอบคงที่
- (3) ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ (Tag : TT1) โดยใช้เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ RTD (Resistor Temperature Detector) ชนิด PT100 สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำ โดยติดตั้งไว้สองจุดดังที่แสดงในรูปที่ 3.28 คือ แชนแนลที่1 ตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำหลังจากผ่านการเพิ่มอุณหภูมิ และ แชนแนลที่2 ตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำหลังจากผ่านการลดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในวงจำกัดเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต



รูปที่ 3.29 การเชื่อมต่อเซนเซอร์เข้ากับทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ

การควบคุมอุณหภูมิจะใช้การควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี จะรับค่าอุณหภูมิจาก ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ (Tag : TT1) แชนแนลที่1 จากนั้นส่งค่าให้กับพีไอดีคอนโทรลเลอร์ (PID Controller)เพื่อทำการประมวลผล และส่งค่าเอาต์พุตไปตัวแปลงสัญญาณ NCS-FI105 เพื่อแปลงสัญญาณและส่งต่อไปยังโซลิตสเตตรีเลย์เพื่อควบคุมการทำงานของฮีตเตอร์ โดยแชนแนลที่ 2 จะใช้เป็นการวัดประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของเรดิเอเตอร์



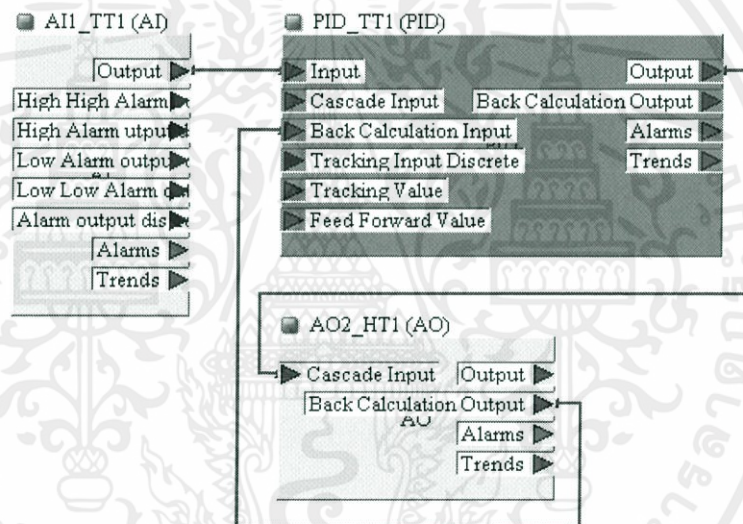
รูปที่ 3.29 ส่วน Configuration Tree ของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ (Tag : TT1) และตัวแปลงสัญญาณ (Tag : NCS-FI105)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการสื่อสารเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดได้  
 การสร้างโปรแกรมเพื่อควบคุมกระบวนการโดยใช้โปรแกรม NI-FBUS Configurator จากรูปที่ 3.30 จากส่วน Configuration Tree ของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ (Tag : TT1) และตัวแปลงสัญญาณ (Tag : NCS-FI105) ทำการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชัน

เลือกใช้ฟังก์ชันบล็อก AI1\_TT1 (AI) เพื่อทำการรับค่าอินพุตจากเซนแนลที่1 ใช้ฟังก์ชันบล็อก AI2\_TT1 (AI) เพื่อทำการรับค่าอินพุตจากเซนแนลที่2 ใช้ฟังก์ชันบล็อก PID\_TT1 (PID) เป็นตัวประมวลผล และใช้ฟังก์ชันบล็อก AO2\_HT1 (AO) ของตัวแปลงสัญญาณ (Tag : NCS-FI105) เป็นเอาต์พุต แล้วทำการเชื่อมต่อฟังก์ชันบล็อกด้วย Wiring Tool ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.31 ดังนี้

- (1) Output ของฟังก์ชันบล็อก AI1\_TT1 (AI) เชื่อมต่อกับ Input ของฟังก์ชันบล็อก PID\_TT1 (PID)
- (2) Output ของฟังก์ชันบล็อก PID\_TT1 (PID) เชื่อมต่อกับ Cascade Input ของฟังก์ชันบล็อก AO2\_HT1 (AO)
- (3) Back Calculation Output ของฟังก์ชันบล็อก AO2\_HT1 (AO) ) เชื่อมต่อกับ Back Calculation Input ของฟังก์ชันบล็อก PID\_TT1 (PID)

จากนั้นทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันบล็อกตามตารางในภาคผนวก ก. แล้วทำการโหลดคอนฟิกลงไปยังตัวอุปกรณ์



รูปที่ 3.31 ฟังก์ชันบล็อกแอปพลิเคชันของกระบวนการวัดและควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 คำนำ

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลอง และผลการทดลองในการใช้ Foundation Fieldbus ในการควบคุมระบบ ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการวัดและควบคุม 4 กระบวนการคือ กระบวนการวัดและควบคุมความดัน กระบวนการวัดและควบคุมอัตราการไหล กระบวนการวัดและควบคุมระดับ และ กระบวนการวัดและควบคุมอุณหภูมิ

#### 4.2 วิธีการทดลอง

การทดลองการทำงานของระบบสามารถแยกออกได้ 4 ส่วนหลัก ดังนี้

- (1) การตั้งค่าซอฟต์แวร์และอุปกรณ์ ก่อนเริ่มการใช้งานโปรแกรม NI-FBUS Configurator
- (2) ออกแบบกระบวนการและการสร้างโปรแกรมเพื่อควบคุมกระบวนการฟังก์ชันบล็อก แอปพลิเคชัน ซึ่งได้กล่าวถึงในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.3
- (3) การตั้งค่าพารามิเตอร์ของทรานสดิวเซอร์บล็อกและฟังก์ชันบล็อก รายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ก
- (4) การใช้งานโปรแกรม Trend Monitor เพื่อทำการบันทึกกราฟผลการตอบสนองของการควบคุมแบบ รายละเอียดเพิ่มเติมในภาคผนวก ข

#### 4.3 ผลการทดลอง

ในการทดลองทั้งหมดจะกำหนดให้ความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วของปั๊มอยู่ที่ 40Hz และเพื่อกำหนดการควบคุมให้เปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไป จะกำหนดค่า Setpoint Step Up & Down Limit 1 PV/Sec และ Control Valve Step Up & Down Limit 5 PV/Sec โดยค่าพีไอดีพารามิเตอร์ที่ได้มานั้น มาจากวิธี Try and Error PID Tuning

##### 4.3.1 กระบวนการวัดและควบคุมความดัน

รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นผลการตอบสนองของตัวควบคุมควบคุมความดัน ที่ค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 1 บาร์ ไปยัง 2.5 บาร์ ใช้เวลาในการเข้าสู่เป้าหมายประมาณ 120 วินาที ซึ่งได้ปรับตั้งค่าพีไอดีพารามิเตอร์ ในแท็บ Tuning ของพีไอดีฟังก์ชันบล็อก ดังนี้

- Process Value Filter Time	2 sec
- Bypass	off
- Gain	3
- Reset	7 sec
- Balance Time	0 sec
- Rate	0.2 sec
- Feed Forward Gain	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการศึกษานี้เท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ผลตอบสนองของตัวควบคุมควบคุมความดัน

#### 4.3.2 กระบวนการวัดและควบคุมอัตราการไหล

รูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นผลการตอบสนองของตัวควบคุมอัตราการไหลของทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 5 ลิตรต่อนาที ไปยัง 25 ลิตรต่อนาที ใช้เวลาในการเข้าสู่ ใช้เวลาในการเข้าสู่เป้าหมายประมาณ 200 วินาที ซึ่งได้ปรับตั้งค่าพีไอดีพารามิเตอร์ ในแท็บ Tuning ของพีไอดีฟังก์ชันบล็อก ดังนี้

- Process Value Filter Time      2 sec
- Bypass                                      off
- Gain                                         2
- Reset                                        10 sec
- Balance Time                            0 sec
- Rate                                         0 sec
- Feed Forward Gain                    0

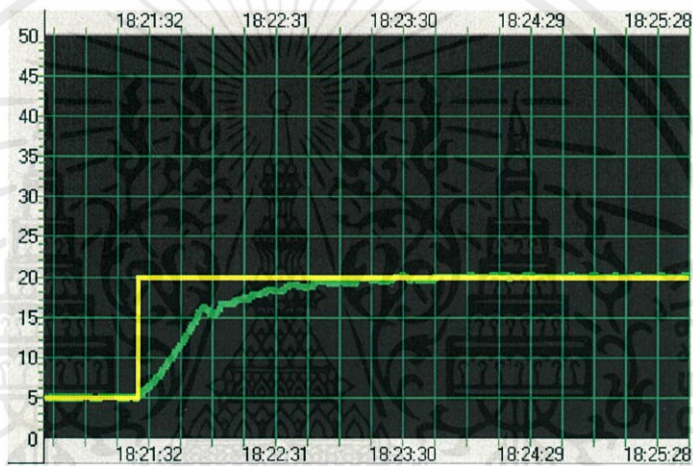


รูปที่ 4.2 ผลตอบสนองของตัวควบคุมควบคุมอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานภายในของโรงเรียน ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นผลการตอบสนองของตัวควบคุมอัตราการใช้ของทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบเวอร์เทค ที่ค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 5 ลิตรต่อนาที ไปยัง 20 ลิตรต่อนาที ใช้เวลาในการเข้าสู่ ใช้เวลาในการเข้าสู่เป้าหมายประมาณ 300 วินาที ซึ่งได้ปรับตั้งค่าพีไอดีพารามิเตอร์ ในแท็บ Tuning ของพีไอดีฟังก์ชันบล็อก ดังนี้

- Process Value Filter Time            2 sec
- Bypass                                        off
- Gain    2
- Reset    20 sec
- Balance Time                                0 sec
- Rate    0 sec
- Feed Forward Gain                        0



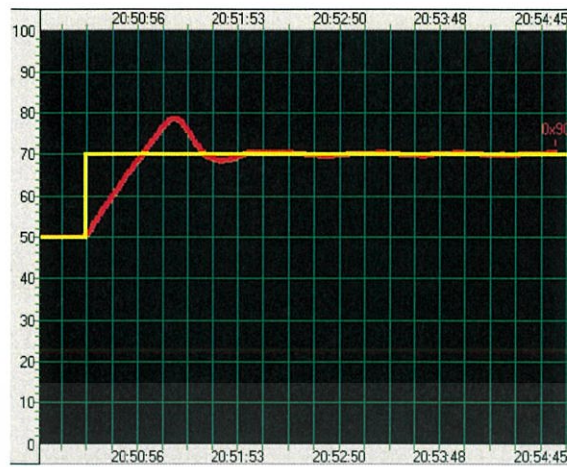
รูปที่ 4.3 ผลตอบสนองของตัวควบคุมควบคุมอัตราการไหลของทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลแบบเวอร์เทค

#### 4.3.3 กระบวนการวัดและควบคุมระดับ

รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นผลการตอบสนองของตัวควบคุมระดับของทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยคลื่นความถี่ ที่ค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจากระดับความสูง 50% ไปยัง 70% ใช้เวลาในการเข้าสู่ ใช้เวลาในการเข้าสู่เป้าหมายประมาณ 120 วินาที ซึ่งได้ปรับตั้งค่าพีไอดีพารามิเตอร์ ในแท็บ Tuning ของพีไอดีฟังก์ชันบล็อก ดังนี้

- Process Value Filter Time            2 sec
- Bypass                                        off
- Gain    3
- Reset    15 sec
- Balance Time                                0 sec
- Rate    0.2 sec
- Feed Forward Gain                        0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองของตัวควบคุมระดับ  
ของทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยคลื่นความถี่ (แท่งค์ที่ 3)

รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นผลการตอบสนองของตัวควบคุมระดับของทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยความดันแตกต่างกัน ที่ค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจากระดับความสูง 30% ไปยัง 70% ใช้เวลาในการเข้าสู่ ใช้เวลาในการเข้าสู่เป้าหมายประมาณ 60 วินาที ซึ่งได้ปรับตั้งค่าพีไอดีพารามิเตอร์ ในแท็บ Tuning ของพีไอดีฟังก์ชันบล็อก ดังนี้

- Process Value Filter Time      2 sec
- Bypass                                off
- Gain                                    3
- Reset                                  30 sec
- Balance Time                        0 sec
- Rate                                    2 sec
- Feed Forward Gain                0



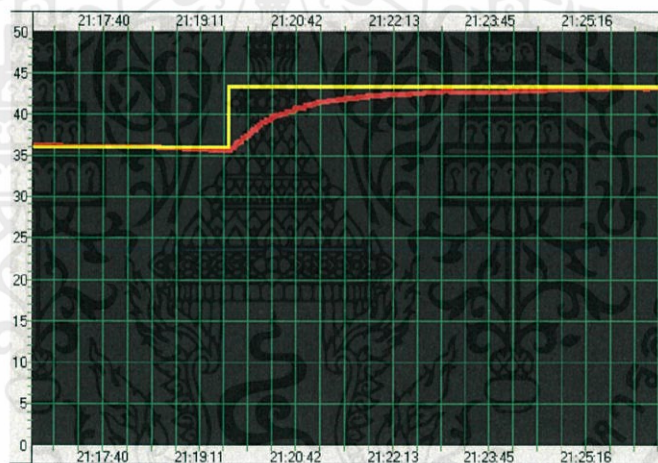
รูปที่ 4.5 ผลตอบสนองของตัวควบคุมระดับ  
ของทรานสมิตเตอร์วัดระดับด้วยความดันแตกต่างกัน (แท่งค์ที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่สามารถนำออกใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.4 กระบวนการวัดและควบคุมอุณหภูมิ

ในการทดลองเพื่อเพิ่มความแม่นยำของผลการทดลอง จะทำการตั้งค่าอัตราการไหล อยู่ที่ 5 ลิตรต่อนาที โดยเรดิเอเตอร์จะทำงานพร้อมกับฮีตเตอร์ตลอดเวลา เพื่อทำการลดอุณหภูมิของ น้ำก่อนที่จะเข้าสู่แท่งเก็บน้ำ โดยรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นผลการตอบสนองของตัวควบคุมอุณหภูมิ ที่ ค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงจาก 36 องศาเซลเซียส ไปยัง 44 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเข้าสู่ ใช้เวลา ในการเข้าสู่เป้าหมายประมาณ 6 นาที โดยความสามารถของเรดิเอเตอร์สามารถลดอุณหภูมิลงได้ ประมาณ 4 องศาเซลเซียส และได้ปรับตั้งค่าพีไอดีพารามิเตอร์ ในแท็บ Tuning ของพีไอดีฟังก์ชัน บล็อก ดังนี้

- Process Value Filter Time            2 sec
- Bypass                                        off
- Gain    20
- Reset    5 sec
- Balance Time                                0 sec
- Rate    0.2 sec
- Feed Forward Gain                        0



รูปที่ 4.6 ผลตอบสนองของตัวควบคุมอุณหภูมิ

#### 4.4 สรุป

จากผลการทดลองการควบคุมกระบวนการ 4 กระบวนการคือ กระบวนการวัดและควบคุม ความดัน กระบวนการวัดและควบคุมอัตราการไหล กระบวนการวัดและควบคุมระดับ และ กระบวนการวัดและควบคุมอุณหภูมิพบว่าตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี มีความสามารถตอบสนอง ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายที่ดี และมีช่วงการใช้งานกว้างเพียงพอ การตอบสนองของ กระบวนการจะใช้ ทั้งนี้การตอบสนองของกระบวนการจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่ได้ทำการตั้งค่าไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปการทดลอง

ปฏิญานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาระบบการวัดและควบคุมกระบวนการบนระบบควบคุมแบบกระจายที่มีการสื่อสารแบบฟาวนด์เนตเวิร์ก โพรแกรมเซตค่าคอนฟิกของกระจาย อุปกรณ์ และตัวควบคุม (Network, Device and Control Configuration Program) การเซตค่าพารามิเตอร์ของทรานสดิวเซอร์บล็อก (Transducer Block) ของอุปกรณ์วัด (Instrument configuration) การเขียนโปรแกรมแบบกราฟิกเพื่อสร้างระบบการควบคุม และการเซตค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของฟังก์ชันบล็อก (Function blocks) โดยข้อดีของการสื่อสารแบบฟาวนด์เนตเวิร์กหลักๆคือ ลดจำนวนของสายสัญญาณที่ต่อจากตัวอุปกรณ์มายัง Host เนื่องจากว่าลักษณะการต่อสายสัญญาณจะเป็นลักษณะการเดินทางจาก Host มาเส้นเดียวสู่ Field และจึงผ่าน Segment เพื่อให้กระจายสายสัญญาณไปแต่ละอุปกรณ์ และข้อมูลที่รับส่งจะมีทั้งค่าสัญญาณจากการวัด การควบคุมแล้วยังมีสัญญาณที่เป็น Diagnostic แสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆได้อีกด้วย และยังสามารถในการเซตค่าพารามิเตอร์ต่างๆของตัวอุปกรณ์ได้จาก Host เนื่องจาก FOUNDATION FIELDBUS เป็นการสื่อสารข้อมูลในลักษณะของสัญญาณดิจิทัลจาก Host สู่ Field อุปกรณ์วัดและควบคุม ดังนั้นอุปกรณ์ใน Field จะต้องมีโปรเซสเซอร์ในการประมวลผลสัญญาณข้อมูลที่ได้รับเข้ามา และสัญญาณที่จะส่งออกไป ดังนั้นผู้พัฒนาระบบ FOUNDATION FIELDBUS จึงใส่ความสามารถในการเซตค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จาก Host สู่ Field โดยไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์พวก Portable

ในส่วนของการทดลองเพื่อควบคุมกระบวนการ จะประกอบด้วย 4 กระบวนการ คือ กระบวนการวัดและควบคุมความดัน กระบวนการวัดและควบคุมอัตราการไหล กระบวนการวัดและควบคุมระดับ และกระบวนการวัดและควบคุมอุณหภูมิ โดยการออกแบบระบบควบคุมและโปรแกรมแบบกราฟิกเพื่อสร้างระบบการควบคุม การเซตค่าพารามิเตอร์ต่างๆ การมอนิเตอร์สังเกตค่าและสถานะของตัวอุปกรณ์และกระบวนการ สามารถทำได้จากตัว Host ด้วยโปรแกรม NI-FBUS Configurator ของบริษัท เนชั่นแนล อินสตรูเมนท์

### 5.2 วิเคราะห์ปัญหาและข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการใช้งานอุปกรณ์วัดและเครื่องมือต่างๆ เชิงอุตสาหกรรมนั้นมีความยุ่งยากและซับซ้อนค่อนข้างมาก อย่างเช่น การตั้งค่าอุปกรณ์วัดและตัวควบคุม การใช้งานโปรแกรม NI-FBUS Configurator จะต้องมีความสัมพันธ์กันเป็นวิศวกรรมเชิงระบบ ตลอดจนการออกแบบวิธีการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมป้อนกลับแบบพีอีดีนั้น เพื่อให้สามารถใช้งานได้จริงตามวัตถุประสงค์ ผู้ออกแบบจำเป็นต้องตั้งค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับระบบ เพื่อให้ได้ผลการตอบสนองที่ดีและมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องใช้ผู้ออกแบบที่มีความชำนาญ โดยทำการทดลองซ้ำๆ ถ้าค่าพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

วิศรุต ศรีรัตน์. 2554. เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ในอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ทวิช ชูเมือง. 2549. การออกแบบระบบเครื่องมือวัดและควบคุมทางอุตสาหกรรม เล่ม 1.  
กรุงเทพฯ  
: ดวงกลมสมัย

National Instruments Corporation. 2010. FOUNDATION™ Fieldbus NI-FBUS  
Configurator User Manual. [CD-ROM]. United States of America : National  
Instruments Corporation

National Instruments Corporation. 2012. National Instruments USB-8486 interface.  
[Online]. Available : <http://sine.ni.com>

Rattanachol 2553. FOUNDATION FIELBUS. [Online].  
Available : <http://insteng.blogspot.com/2010/06/foundation-fieldbus-1>

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2013 ระบบควบคุมพีไอดี. [Online].  
Available : <http://th.wikipedia.org/ระบบควบคุมพีไอดี>

4uengineer. 2012 Magnetic Flow meter. [Online].  
Available : <http://www.4uengineer.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้