

กระบวนการควบคุมระดับน้ำผ่านการสื่อสารแบบ WIRELESSHART
PROCESS CONTROL OF WATER'S LEVEL USING
WIRELESSHART COMMUNICATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

กระบวนการควบคุมระดับน้ำผ่านการสื่อสารแบบ WIRELESSHART
PROCESS CONTROL OF WATER'S LEVEL USING
WIRELESSHART COMMUNICATION



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCESS CONTROL OF WATER'S LEVEL USING
WIRELESSHART COMMUNICATION



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


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2559
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การควบคุมการวัดระดับน้ำผ่านการสื่อสารแบบ WIRELESSHART
PROCESS CONTROL OF WATER'S LEVEL USING
WIRELESSHART COMMUNICATION

นักศึกษาผู้จัดทำ นายวรทัศน์ สมงาม รหัสนักศึกษา 56011052
นายวันอรุณ วันอรุณวงศ์ รหัสนักศึกษา 56011114
นายอนุรักษ์ อำไพรัตน์ รหัสนักศึกษา 56011403

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ อาจินต์ น่วมสำราญ	

หัวข้อวิทยานิพนธ์	กระบวนการควบคุมระดับน้ำผ่านการสื่อสารแบบ WIRELESSHART PROCESS CONTROL OF WATER'S LEVEL USING WIRELESSHART COMMUNICATION		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายวรทัศน์	สมงาม	รหัสนักศึกษา 56011052
	นายวันอรุณ	วันอรุณวงศ์	รหัสนักศึกษา 56011114
	นายอนุรักษ์	อำไพรัตน์	รหัสนักศึกษา 56011403
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ อาจินต์ น่วมสำราญ		
ปีการศึกษา	2559		

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษากระบวนการควบคุมระดับน้ำแบบไร้สายซึ่งเป็นการสื่อสารรูปแบบหนึ่งเพื่อควบคุมหรือแสดงค่าที่วัดได้จากทรานสมิตเตอร์ โดยอุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราการไหลคือ Rosemount 3051s DP Flowmeter และอุปกรณ์วัดระดับคือ Rosemount 3051 DP Balance System ซึ่งเป็นการจำลองการควบคุมกระบวนการวัดระดับน้ำและการสื่อสารแบบไร้สายด้วยการควบคุมแบบ Cascade (Master-Slave) รวมถึงการคำนวณค่าของ PID เพื่อใช้ควบคุมกระบวนการแบบ Cascade และใช้โปรแกรม DeltaV Operate เขียนหน้าจอกกราฟฟิกเพื่อใช้ควบคุมกระบวนการทั้งระบบ ซึ่งจากการทดลองสามารถควบคุมการวัดระดับน้ำแบบ Wireless ได้ โดยที่ใช้ระยะเวลา มากกว่าการควบคุมแบบ Wired เพียง 30 วินาที ถึง 2 นาที เพียงเท่านั้นและสามารถจัดทำเป็นเอกสารการเรียนรู้เพื่อให้นักศึกษาในปีต่อไปเห็นภาพและเข้าใจหลักการการควบคุมกระบวนการวัดระดับน้ำมากยิ่งขึ้นจากแบบจำลองการควบคุมกระบวนการวัดระดับน้ำ

Thesis Title	PROCESS CONTROL OF WATER'S LEVEL USING WIRELESSHART COMMUNICATION
Authors	Mr.Vorathat Somngam Mr.Wanarun Wanarunwong Mr.Anurak Aumphirat
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Arjin Numsomran
Year	2016

ABSTRACT

This thesis is made for the study of process control of water's level using WirelessHART communication. This communication is one of the used for control or show values measurement from the transmitter. The instrument that is used for the flow rates is Rosemount 3051s DP Flowmeter and the instrument for measuring level is Rosemount 3051 DP Balance System. The simulation for process control of water's level using WirelessHART communication which contain the control Cascade (Master-Slave) model. In addition the calculation of PID for control process Cascade model and use DeltaV Operate program writing graphic screen is used for control process the whole systems. From the experiment, it can control measurement water's level with Wireless. It takes more time only 30 seconds to 2 minutes than the control with wired.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความเมตตาจาก รศ.อาจันต์ น่วมสำราญ และ รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ที่ให้คำปรึกษาแนะนำโดยตลอดผู้จัดทำรู้สึกทราบบซึ่งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ คุณสมพล บุษบรรณ Senior Area Sale Manager บริษัท EMERSON ที่ได้ให้คำแนะนำอีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆและคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุน คอยให้กำลังใจและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญาโทเสมอมา คุณความดีที่พึงมีจากการทำปริญญาโทฉบับนี้ ผู้จัดทำขอบอกแก่ คณาจารย์รวมทั้งผู้สนับสนุนทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 คำสำคัญของปริญญาานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีการวัดและการสื่อสารของอุปกรณ์.....	3
2.1 การวัดระดับ.....	3
2.1.1 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ 3051 DP Balance System.....	3
2.1.2 อุปกรณ์วัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter).....	6
2.1.3 ข้อดีของอุปกรณ์การวัดความดันแตกต่าง.....	6
2.1.4 ข้อเสียของอุปกรณ์การวัดความดันแตกต่าง.....	7
2.2 การวัดอัตราการไหล.....	7
2.2.1 อุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหล Rosemount 3051SF DP Flowmeters.....	7
2.3 การสื่อสาร.....	10
2.3.1 เทคโนโลยี WirelessHART.....	10
2.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสาร.....	11
2.3.2.1 The Smart Wireless THUM.....	11
2.3.2.2 Smart Wireless Gateway.....	12
2.4 การควบคุมอัตราการไหล.....	12
2.4.1 Control Valve.....	13
2.4.2 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล Fisher GX Control Valve.....	14
2.4.3 DCS (Distributed Control System).....	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2.1 DCS Server.....	16
2.4.2.2 DCS Stations.....	17
2.4.2.3 DCS Controller.....	17
2.4.2.4 Networks/LAN (Fault Tolerant Ethernet).....	17
2.5 วิธีคำนวณค่า PID ที่เหมาะสม.....	18
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานและการใช้งานอุปกรณ์.....	25
3.1 การออกแบบ P&ID ใน LOOP ที่ต้องการควบคุมกระบวนการ.....	26
3.2 ออกแบบ Block Diagram และ Math Model.....	27
3.3 Configuration HART475.....	30
3.3.1 การต่อใช้งาน HART 475 เพื่อ Configuration ทรานสมิตเตอร์.....	31
3.3.2 ขั้นตอนการ Configuration ทรานสมิตเตอร์ ด้วยอุปกรณ์ HART 475.....	31
3.4 DCS Program.....	39
3.4.1 ซอฟต์แวร์ Delta V version 12.....	39
3.4.2 การเขียนโปรแกรมระบบควบคุม DCS DeltaV.....	40
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	62
4.1 วัตถุประสงค์.....	62
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	62
4.3 วิธีการทดลอง.....	62
4.3.1 การทดลองที่ 1 (กรณีที่ 1).....	63
4.3.2 การทดลองที่ 2 (กรณีที่ 1).....	65
4.3.3 การทดลองที่ 3 (กรณีที่ 2).....	67
4.3.4 การทดลองที่ 4 (กรณีที่ 2).....	69
4.3.5 การทดลองที่ 5 (กรณีที่ 3 TUNED PID).....	71
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	75
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	75
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	75

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	76
ภาคผนวก.....	78



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางการหาค่า PID แบบ Open-Loop.....	19
2.2 การหาค่า PID แบบ Close-Loop.....	20
2.3 แสดงผลของการปรับค่าพารามิเตอร์แต่ละตัว.....	21
2.4 แสดงการคำนวณหลังพล็อตกราฟ โดยเลือกใช้วิธี Ziegler-Nichols.....	22
2.5 แสดงค่าที่ได้จากกราฟมาคำนวณด้วยวิธี Ziegler-Nichols Close Loop Tuning ของSingleLoop Level.....	23
2.6 แสดงค่าที่ได้จากกราฟมาคำนวณด้วยวิธี Ziegler-Nichols Close Loop Tuning ของSingleLoop Flow.....	23
4.1 แสดงสรุปผลการทดลองทั้ง 5 ครั้ง.....	73



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับประเภท Balanced System.....	3
2.2 การคำนวณหาความดัน.....	4
2.3 อุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหลประเภท DP Flow.....	7
2.4 ตัวแปรพื้นฐานที่ใช้ใน Bernoulli's Equation.....	7
2.5 แผ่นออริฟิส (ก) แบบ Concentric (ข) แบบ Eccentric และ (ค) แบบ Segmented.....	9
2.6 การติดตั้งแผ่นออริฟิสและเครื่องมือวัดความดันแตกต่างชนิดมาโนมิเตอร์รูปตัวยู.....	9
2.7 การสื่อสารของเทคโนโลยี WirelessHART.....	10
2.8 อุปกรณ์ The Smart Wireless THUM.....	11
2.9 แผนการเดินสายไฟของอุปกรณ์ THUM Adapter ที่ต่อแบบ 2 สาย.....	11
2.10 แผนการเดินสายไฟของอุปกรณ์ THUM Adapter ที่ต่อแบบ 4 สาย.....	11
2.11 อุปกรณ์ Smart Wireless Gateway และลักษณะการส่งสัญญาณของอุปกรณ์ฮาร์ท.....	12
2.12 การควบคุมอัตราการไหลโดย Control Valves คือ Final Element.....	12
2.13 ส่วนประกอบต่างๆใน Control Valves.....	13
2.14 Fisher GX Control Valve.....	14
2.15 Controller ที่อยู่ในส่วนของ DCS(Distributed Control System).....	15
2.16 ส่วนประกอบต่างๆของ DCS ที่ควบคุมกระบวนการแบบ WirelessHART.....	16
2.17 DeltaV™ S-series SX Controller.....	17
2.18 ขั้นตอนการ Plot กราฟ ที่ใช้สำหรับหาค่า PID.....	18
2.19 ตัวอย่างการ Plot กราฟ กับ 3 ตัวแปร.....	18
2.20 แสดงตัวอย่างการปรับค่า Kp จนเกิด Oscillation แบบแอมปริจูดคงที่.....	20
3.1 แผนผังการดำเนินงานก่อนเริ่มทำการทดลองจนถึงบันทึกผลการทดลอง.....	25
3.2 แสดง P&ID ใน LOOP TANK 1และอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง.....	26
3.3 แสดงการออกแบบ Block Diagram Single Loop Level Control (WirelessHART).....	26
3.4 แสดงการออกแบบ Block Diagram Single Loop Flow Control (WirelessHART).....	27
3.5 แสดงการออกแบบ Block Diagram Cascade Loop Control (WirelessHART).....	28
3.6 แสดง Math Model Single Loop Level ของ Ziegler-Nichols.....	29
3.7 แสดง Block Diagram ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ของ Single Loop Flow.....	29
3.8 แสดง Block Diagram ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ของ Cascade Loop Control.....	30
3.9 แสดงอุปกรณ์ HART 475.....	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 แสดงการเชื่อมต่อ Transmitter ที่ต้องการ Configuration กับ HART 475.....	31
3.11 แสดงการเลือกอุปกรณ์.....	32
3.12 เลือก Protocol ที่ใช้การสื่อสาร.....	32
3.13 แสดงถึงตัวเลือกที่ต้องการเข้าถึง.....	33
3.14 แสดงตัวเลือกสำหรับการเข้าไปแก้ไขอุปกรณ์.....	33
3.15 แสดงตัวเลือกในโปรแกรมของ Manual Setup.....	34
3.16 แสดงการตั้งค่า Network ของ THUM Adapter.....	34
3.17 แสดงการเลือก Join Device to network.....	35
3.18 แสดงการ Configuration เลือก part 1 of 4 ให้เป็น 00000000.....	35
3.19 แสดงถึง WIOC Properties ในโปรแกรม Exploring DeltaV.....	36
3.20 แสดงการ Configuration เลือก part 2 of 4 ให้เป็น 00000000.....	36
3.21 แสดงการ Configuration เลือก part 3 of 4 ให้เป็น 00000000.....	37
3.22 แสดงการ Configuration เลือก part 4 of 4 ให้เป็น 00000000.....	37
3.23 แสดงหน้าจอยืนยันของระบบ.....	38
3.24 แสดงผลการตั้งค่าของ THUM Adapter.....	38
3.25 DeltaV Distributed Control Systems (DCS) Version 12.....	39
3.26 สร้าง New Wireless Device ใน Control Strategies.....	40
3.27 แสดงการ Commission New Wireless Device ไปยัง LTW-302.....	41
3.28 แสดงจำนวนอุปกรณ์และข้อมูลของอุปกรณ์ ที่มีการรับส่งค่าแบบ Wireless.....	42
3.29 แสดงผลของการ Commission.....	42
3.30 แสดงถึงวิธีการนำ Wireless Device เข้า Controller.....	43
3.31 แสดงการ Download Wireless Device.....	44
3.32 แสดงการเลือกโมดูล AI_120 จาก Library.....	45
3.33 แสดงการ Convert to Classless โมดูล AI_120 เพื่อไปยัง Control Module.....	45
3.34 แสดงการเปลี่ยนชื่อ Module จาก AI_120 เป็น LTW-302.....	46
3.35 แสดงการเข้า Control Studio ของ Module LTW-302.....	46
3.36 แสดงการเชื่อมต่อ I/O ระหว่าง Module กับ LTW-302 (WIOC1).....	47
3.37 แสดงถึง IO_IN Properties.....	47
3.38 แสดงถึงการค้นหาอุปกรณ์ที่จะส่งค่าไปยัง Module AI.....	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.39 แสดงถึงการ Configuration เลือก LTW-302.....	48
3.40 แสดงถึงการ Configuration เลือก Parameterเป็น HART_PV.....	49
3.41 แสดงถึงวิธีการ Download Control Studio.....	59
3.42 แสดงถึงตัวเลือกของการ Download.....	50
3.43 แสดงถึงการ Download Control Studio.....	50
3.44 แสดงถึง Launch DeltaV Operate Configure.....	51
3.45 แสดงถึงการสร้างไฟล์หน้าจอกกราฟฟิก DeltaV Operate Configure.....	51
3.46 แสดงถึงการสร้างรูปแบบของหน้าจอกกราฟฟิก.....	52
3.47 แสดงภาพกราฟฟิกหลังจากการ Upload.....	52
3.48 แสดงถึงตัวเลือกของตัวแสดงผล.....	53
3.49 แสดงตัวเลือกของ PCSD_Coventional_120.....	53
3.50 แสดงถึง Level Bargraph.....	54
3.51 แสดงถึง Experssion Builder.....	54
3.52 แสดงถึงการค้นหา Module ที่รับค่าเพื่อแสดงค่าผ่านทาง Bargraph.....	55
3.53 แสดงถึง Browse DeltaV Control Parameters.....	55
3.54 แสดงถึง Browse DeltaV Control Parameters.....	56
3.55 แสดงถึงข้อมูลที่ได้เชื่อมต่อไปยัง Bargraph.....	56
3.56 แสดงหน้าจอปรับแก้ Level Bargraph.....	57
3.57 แสดง Level Bargraph ในรูป กราฟฟิกที่เราเลือกไว้.....	57
3.58 แสดงการเลือก Datalink Stamper.....	58
3.59 แสดง Experssion Builder	58
3.60 แสดงถึง Datalink	59
3.61 แสดงถึงกราฟฟิกค่าที่เป็น ####.##.....	59
3.62 แสดงถึงการเปลี่ยนสีค่าแสดงระดับที่วัดได้จาก LTW-302.....	60
3.63 แสดงถึงการเปลี่ยนสีค่าแสดงระดับที่วัดได้จาก LTW-302 เลือกดำ.....	60
3.64 กราฟฟิกที่สมบูรณ์พร้อมเริ่มกระบวนการ.....	61
4.1 แสดง Block Diagram ของ Single Loop Level Control (HART).....	64
4.2 กราฟแสดงผลการทดลอง Single Loop Level Control (HART).....	64
4.3 แสดง Block Diagram ของ Single Loop control (WirelessHART).....	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 กราฟแสดงผลการทดลอง Single Loop Control (WirelessHART) โดยใช้ค่าพารามิเตอร์.....	66
4.5 แสดง Block Diagram ของ Cascade control Loop (HART).....	68
4.6 แสดงกราฟผลการทดลอง Cascade Loop Control (HART).....	68
4.7 แสดง Block Diagram ของ Cascade control Loop (WirelessHART).....	70
4.8 แสดงกราฟผลการทดลอง Cascade Loop Control (WirelessHART).....	70
4.9 แสดงกราฟผลการทดลอง Cascade Control (WirelessHART แบบTuned PID).....	72



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญาโท

การวัดระดับภายในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภทถือได้ว่าเป็นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพราะเนื่องจากระดับจะเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการควบคุมแล้วยังเป็นปัจจัยในการวางแผนการทำงานภายในอนาคตได้ การวัดระดับจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่เราจะรู้ระดับที่แท้จริงที่เราควบคุมหรือต้องการทราบเพื่อวางแผนต่อไป สิ่งที่เป็นอุปสรรคในการวัดระดับหรือสิ่งที่ทำให้การวัดระดับเกิดการผิดพลาดมีหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่ส่งผลให้ถังบรรจุเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาด ทั้งนี้ในปริญญาโทฉบับนี้มุ่งเน้นไปทางอุปกรณ์การวัดระดับและอัตราการไหลทางอ้อมโดยใช้หลักการความกดดันของน้ำและอาศัยหลักการการวัดความดันแตกต่าง

ปริญญาโทฉบับนี้ได้ศึกษาอุปกรณ์การวัดระดับและควบคุมอัตราการไหล ได้แก่ 3051 DP Balance System และ DP Flow Meter และอุปกรณ์ทั้งสองชนิดนี้ได้จัดอยู่ในเซ็นเซอร์ชนิดความดันซึ่งจัดอยู่ในอุปกรณ์ประเภทที่ใช้การวัดทางอ้อมโดยใช้หลักการความกดดันของน้ำและหลักการการวัดความดันแตกต่างและการศึกษาการควบคุมระดับผ่านอุปกรณ์ WirelessHART, ออกแบบกระบวนการควบคุม (Process Control) การวัดระดับและศึกษาการปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมระดับซึ่งจะกล่าวในปริญญาโทเป็นลำดับต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการการทำงานของอุปกรณ์การวัดทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ 3051 DP Balance System และ DP Flow Meter
2. เพื่อศึกษาการควบคุมอุปกรณ์การวัดระดับผ่านอุปกรณ์ WirelessHART
3. เพื่อศึกษาการออกแบบกระบวนการควบคุมระดับน้ำ
4. เพื่อศึกษาการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อควบคุมระดับให้เป็นไปตามที่ต้องการและใช้ระยะเวลา น้อยที่สุด

1.3 ขอบเขตปริญญาโท

1. เรียนรู้ทฤษฎีและหลักการการทำงาน รวมถึงส่วนประกอบโครงสร้างของอุปกรณ์การวัดระดับ ในปริญญาโทฉบับนี้เลือกใช้อุปกรณ์การวัดระดับและอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล ได้แก่ อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ 3051 DP Balance System และอุปกรณ์วัดอัตราการไหล DP Flow Meter

2. เรียนรู้การควบคุมอุปกรณ์การวัดระดับผ่านอุปกรณ์ WirelessHART
3. เรียนรู้การออกแบบกระบวนการควบคุมระดับ (Process Control)
4. เรียนรู้การปรับค่าพารามิเตอร์ด้วยโปรแกรม DeltaV

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาการทำงานของระบบจำลอง (Plant Model)
2. ศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของอุปกรณ์การวัดทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ 3051 DP Balance System และ DP Flow Meter
3. ศึกษาการควบคุมอุปกรณ์การวัดระดับทั้ง 2 ชนิด ผ่านอุปกรณ์ WirelessHART
4. ทดลองควบคุมระดับในระบบจำลองด้วยอุปกรณ์การวัดทั้ง 2 ชนิด คืออุปกรณ์การวัดอัตราการไหลและอุปกรณ์การวัดระดับผ่านการสื่อสารแบบ WirelessHART
5. ออกแบบกระบวนการควบคุมการวัดระดับในระบบจำลอง
6. ศึกษาการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อควบคุมระดับผ่านโปรแกรม DeltaV
7. ทดลองปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อควบคุมระดับ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจวิธีการเขียนโปรแกรม DCS DeltaV
2. เข้าใจทฤษฎีและหลักการทำงานของอุปกรณ์การวัดระดับมากยิ่งขึ้นเนื่องจากได้ทำงานกับอุปกรณ์ของจริง
3. สามารถออกแบบกระบวนการการควบคุมและการวัดระดับได้ในอนาคต
4. เข้าใจหลักการส่งข้อมูลด้วยการสื่อสารแบบ WirelessHART

บทที่ 2

ทฤษฎีการวัดและการสื่อสารของอุปกรณ์

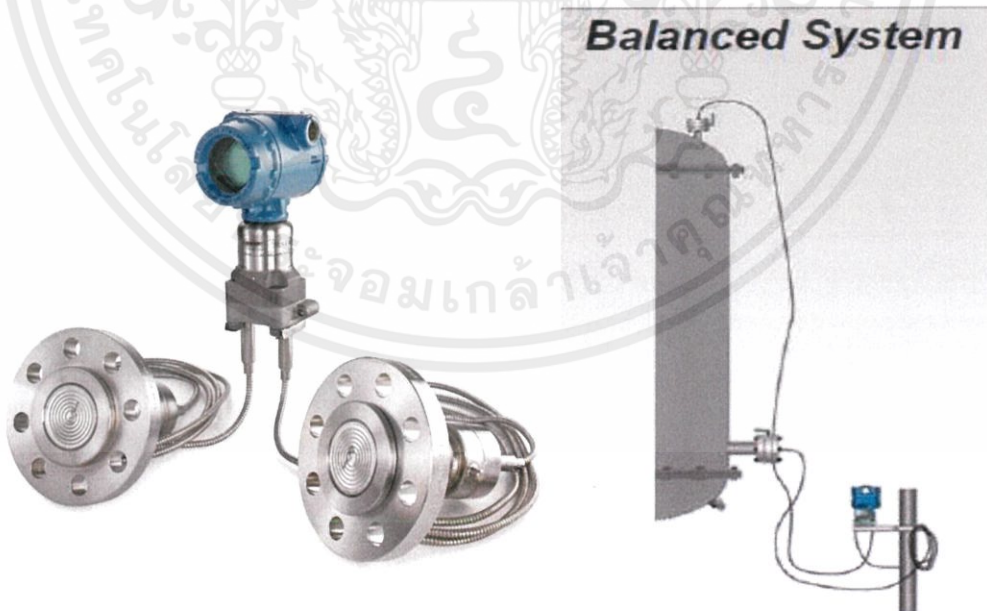
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการวัดระดับของน้ำในถังผ่านกระบวนการสื่อสารแบบ WirelessHART ซึ่งจะกล่าวถึงพื้นฐานเบื้องต้นของแต่ละอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำซึ่งในปฏิยานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวัดระดับน้ำ การวัดอัตราการไหลของน้ำ เทคโนโลยี WirelessHART และพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการควบคุมกระบวนการวัดระดับของน้ำซึ่งจะมีรายละเอียดแสดงดังนี้

2.1 การวัดระดับ (Level Measurement)

การวัดระดับ เป็นสิ่งสำคัญประการหนึ่งในงานอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท เนื่องจากค่าของระดับจะส่งผลกระทบต่อพารามิเตอร์อื่น ได้แก่ ความดันและอัตราการไหล เป็นต้น

สำหรับวิธีการวัดระดับมี 2 ลักษณะ คือ การวัดระดับทางตรงและการวัดระดับทางอ้อมในบทนี้จะกล่าวถึงการวัดระดับทางอ้อมซึ่งได้แก่ อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ 3051 DP Balance System ซึ่งรายละเอียดจะแสดงให้เห็นดังนี้

2.1.1 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ 3051 DP Balance System

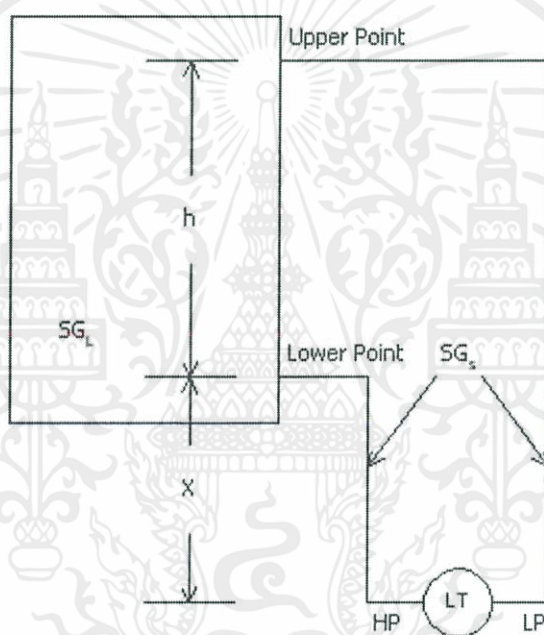


รูปที่ 2.1 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับประเภท 3051 Balanced System [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการวัดระดับของ DP Balanced System นี้จะอยู่บนพื้นฐานของหลักการวัดความดัน คือ การวัดแรงกดจากความสูงของของเหลว แรงกดนี้จะมีพื้นฐานมาจากความสูงของเหลวและความถ่วงจำเพาะของเหลว (Specific Gravity: S.G.) การวัดระดับของเหลวด้วยวิธีนี้จะถูกอ้างอิงไปถึงความสูงของน้ำ และจะถูกปรับเทียบเป็นความดันในหน่วยของนิ้วน้ำ (Inchs of Water Column: InWC) หรือ มิลลิเมตรน้ำ (Millimeter of Water Column: mmWC) เมื่อค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำที่สภาวะมาตรฐาน (Standard Condition) มีค่าเท่ากับ 1

การคำนวณหาค่าความดันเพื่อนำไปใช้ในการปรับเทียบอุปกรณ์การวัด (Calibration) สำหรับนำไปใช้วัดระดับความสูงของเหลวทำได้โดยการคูณความสูงของเหลวด้วยค่าความถ่วงจำเพาะ ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การคำนวณหาความดัน[2]

จากรูปที่ 2.2 เมื่อระดับความสูงของเหลวในถังอยู่ที่ตำแหน่ง Lower Point สามารถหาค่าความดันที่ด้าน HP ได้เป็นดังนี้ ความดันด้าน HP = $X \times SG_S$ (2.1)

$$\text{ความดันด้าน LP} = (h + X) \times SG_S \quad (2.2)$$

ความดันแตกต่างที่อุปกรณ์วัดระดับ (Level Transmitter) เมื่อของเหลวในถังอยู่ที่ตำแหน่ง Lower Point จะเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความดันแตกต่างที่ตำแหน่ง Lower Point} &= (X \times SG_S) - ((h+X) \times SG_S) \\ &= -(h \times SG_S) \end{aligned} \quad (2.3)$$

เมื่อระดับความสูงของเหลวในถังอยู่ที่ตำแหน่ง Upper Point สามารถหาค่าความดันที่ด้าน HP เป็นดังนี้

$$\text{ความดันด้าน HP} = (X \times SG_S) + (h \times SG_L) \quad (2.4)$$

$$\text{ความดันด้าน LP} = (h+X) \times SG_S \quad (2.5)$$

ความดันแตกต่างที่อุปกรณ์วัดระดับ เมื่อของเหลวในถังอยู่ที่ตำแหน่ง Upper Point จะเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความดันแตกต่างที่ตำแหน่ง Upper Point} &= ((X \times SG_S) + (h \times SG_L)) - ((h+X) \times SG_S) \\ &= (h \times SG_L) - (h \times SG_S) \end{aligned} \quad (2.6)$$

ดังนั้นช่วงการวัด (Span) ของอุปกรณ์วัดความดันแตกต่างที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะเป็นดังนี้

$$\text{ช่วงการวัด} = [\text{Lower Point}] - [\text{Upper Point}] = 0 \quad \text{to} \quad [(h \times SG_L)] \quad (2.7)$$

และ ย่านการวัด (Range) = [Lower Point] to [Upper Point]

$$= - (h \times SG_S) \quad \text{ถึง} \quad (h \times SG_L) - (h \times SG_S) \quad (2.8)$$

เมื่อ SG_S = ความถ่วงจำเพาะของเหลวในท่อ (SG of Filling Liquid)

SG_L = ความถ่วงจำเพาะของเหลวในถัง (SG of Measuring Liquid)

h = ระยะความสูงของเหลวที่ต้องการวัด

X = ระยะระหว่างตัวอุปกรณ์กับจุดต่อด้านล่าง

ความดันที่เกิดขึ้นเนื่องจากระดับความสูงของเหลวจะมีการเปลี่ยนแปลงที่มีลักษณะเป็นเชิงเส้นกับมวล (Mass) ของเหลวนั้น สำหรับในกรณีที่ต้องการวัดระดับความสูงที่เป็นแนวตั้งตรง การอ่านค่าระดับของเหลวจากอุปกรณ์การวัดระดับจะมีค่าที่ถูกต้องในทุก ๆ ค่าของความถ่วงจำเพาะที่เปลี่ยนแปลงไป ถ้ามีการเปรียบเทียบให้มีการอ่านค่าระดับของเหลวในรูปของมวล [2] แต่การอ่านค่าระดับของเหลวจากอุปกรณ์การวัดระดับจะมีค่าไม่ถูกต้อง ถ้ามีการเปรียบเทียบให้มีการอ่านค่าในรูปของปริมาณ ถ้าค่าความถ่วงจำเพาะของเหลวมีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากการเปรียบเทียบ ซึ่งของเหลวจะมีค่าความถ่วงจำเพาะที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ

ดังนั้นการอ่านค่าระดับของเหลวที่มีค่าผิดพลาดเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วงจำเพาะ จะต้องมีการพิจารณาให้ละเอียดในการออกแบบการวัดระดับของถังที่ต้องมีการกำหนดจุดสัญญาณเตือน (Alarm Point) ที่ระดับต่าง ๆ และของเหลวที่ล้นออกมาจากถังมีผลกระทบต่อสิ่งต่าง ๆ ภายนอก โดยทั่วไปมีการแก้ไขได้หลายวิธีดังนี้ [2]

1) ไม่ควรกำหนดให้ค่าสัญญาณเตือนมีค่าใกล้กับค่าระดับที่ 0% และ 100% ในการคำนวณหาค่ากำหนดจุดสัญญาณเตือน ควรจะต้องมีการตรวจสอบจุดเตือนในค่าความถ่วงจำเพาะสภาวะที่แย่สุด ถ้าจุดเตือนที่ต้องการนั้นมีค่าสูงกว่า 90% หรือ ต่ำกว่า 10% ของช่วงการวัดระดับ

2) ติดตั้งอุปกรณ์วัดระดับตัวที่สองที่ไม่มีความผิดพลาดเนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะ ไว้สำหรับทำสัญญาณเตือน

ถ้ามีการนำอุปกรณ์วัดระดับของเหลวไปใช้งานกับของเหลวที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาการทำงาน และในการใช้งานสภาวะปกติจะไม่ยินยอมให้มีของเหลวไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ล้นออกมาจากถัง ในการวัดระดับจะต้องมีการชดเชยค่าความถ่วงจำเพาะที่เปลี่ยนแปลงไปหรือพิจารณาเปลี่ยนไปใช้อุปกรณ์วัดระดับชนิดอื่น

ถ้ามีการเปรียบเทียบให้อุปกรณ์วัดระดับของเหลวมีการอ่านค่าในรูปของมวลของเหลว อุปกรณ์วัดระดับต้องถูกปรับเทียบกับค่าความถ่วงจำเพาะต่ำสุดที่อาจเกิดขึ้น เพื่อป้องกันของเหลวล้นออกมาจากถัง ถ้าค่าระดับของเหลวมีความต้องการสำหรับปั๊มด้านขาเข้า (Suction) ต้องทำการปรับเทียบกับค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดที่อาจเกิดขึ้น [2]

ถ้ามีการเปรียบเทียบให้อุปกรณ์การวัดระดับของเหลวมีการอ่านค่าในรูปปริมาณของเหลว อุปกรณ์วัดระดับควรมีการปรับเทียบกับค่าความถ่วงจำเพาะในสภาวะการทำงานปกติ เพื่อความถูกต้องที่สุดในการอ่านค่าในขณะที่ทำงานตามปกติ [2]

2.1.2 อุปกรณ์วัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter)

อุปกรณ์วัดความดันแตกต่างมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในการวัดระดับของเหลวในถัง โดยจะอ่านค่าได้จากความสูงของเหลวที่ทำการวัด โดยทั่วไปด้าน HP (High Pressure) ของอุปกรณ์จะถูกต่ออยู่กับจุดต่อด้านต่ำสุดของถัง (Lower Nozzle) และด้าน LP (Low Pressure) หรือด้านที่มีความดันคงที่ จะถูกต่ออยู่กับจุดต่อด้านสูงสุดของถัง (Upper Nozzle) โดยด้าน LP จะใช้เป็นจุดอ้างอิง ดังนั้นความดันที่เกิดขึ้นที่ด้าน LP จะต้องมีค่าความดันที่คงที่อยู่ตลอดเวลา การทำให้ความดันด้าน LP ให้มีค่าคงที่ อาจทำได้หลายวิธีการดังนี้

- 1) บรรจุด้วยของเหลวที่เหมาะสมกับกระบวนการ (Filling Liquid)
 - 2) พิจารณาใช้การควบคุมระยะไกลกับการผนึกด้วยเคมี (Remote with Chemical seal)
- การบรรจุด้วยของเหลวทั้งด้าน HP และ LP ต้องมีการชดเชยโดย Zero Elevation และ Suppression นอกจากนั้นแล้วการเลือกของเหลวที่จะนำไปบรรจุทั้งด้าน HP และ LP ต้องพิจารณาให้มีความเหมาะสม เมื่อมีการรั่วไหล, อุณหภูมิจากกระบวนการ, อุณหภูมิแวดล้อม, ย่านการวัดที่นำไปเปรียบเทียบ, ความเร็วในการตอบสนองจากอุปกรณ์การวัด ในการใช้งานกรณีกับถังที่เป็นสุญญากาศ ตัวอุปกรณ์การวัดต้องติดตั้งให้ต่ำกว่าจุดต่อกับถัง เพื่อป้องกันไอหรือฟองอากาศเข้าไปยังท่อที่ต่อไปยังอุปกรณ์ [2]

2.1.3 ข้อดีของอุปกรณ์การวัดความดันแตกต่าง

อุปกรณ์มีราคาไม่แพง, สะดวกและติดตั้งง่าย, เหมาะกับการใช้งานหลายประเภทและง่ายต่อการตรวจสอบที่บริเวณใช้งาน

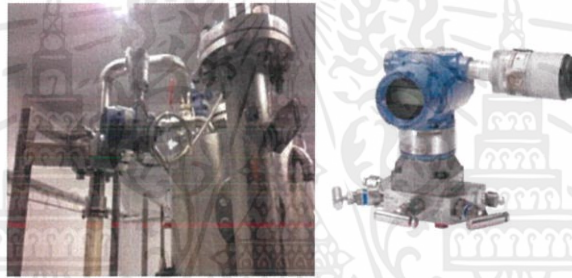
2.1.4 ข้อเสียของอุปกรณ์การวัดความดันแตกต่าง

ไม่สามารถทราบระดับของเหลวที่แท้จริง ถ้าไม่มีการชดเชยการเปลี่ยนแปลงความถ่วงจำเพาะ การกลั่นตัว, การกลายเป็นไอ และการอุดตันในท่อที่ต่อไปยังอุปกรณ์ทำให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านค่าได้

2.2 การวัดอัตราการไหล

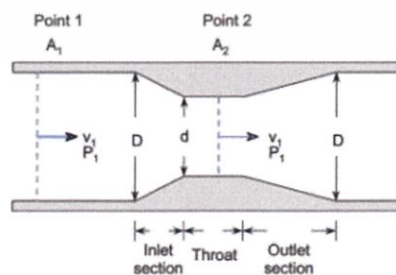
อัตราการไหล (Volume Flowrate) คือปริมาตรของของไหลซึ่งไหลผ่านท่อหรือช่องการไหลใดๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา หรืออีกนัยหนึ่งก็คือของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดในแนวตั้งฉากด้วยความเร็วค่าหนึ่ง ซึ่งรายละเอียดของอุปกรณ์และทฤษฎีพื้นฐานจะแสดงให้เห็นดังนี้

2.2.1 อุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหล Rosemount 3051SF DP Flowmeters



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหลประเภท DP Flow [3]

เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดอัตราการไหลโดยอาศัยผลต่างของค่าความดันที่เกิดขึ้น หรือ จะเรียกกลุ่มเครื่องมือวัดแบบนี้ว่า Differential Pressure Flow Meter ก็ได้ โดย Flow Meter ในกลุ่มนี้มีหลากหลายชนิด แต่ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึง Flow Meter ที่ใช้ Orifice Plates ในการหาค่า Differential Pressure โดยมีวิธีการหาอัตราการไหลดังต่อไปนี้ [4]



รูปที่ 2.4 ตัวแปรพื้นฐานที่ใช้ใน Bernoulli's Equation [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = V_1 \times A_1 = V_2 \times A_2 \quad (2.9)$$

โดยที่

Q = ปริมาตรที่ไหลผ่าน Flow Meter

V_1 = อัตราเร็วของไหล ณ จุดพื้นที่หน้าตัด 1

V_2 = อัตราเร็วของไหล ณ จุดพื้นที่หน้าตัด 2

A_1 = พื้นที่หน้าตัด 1

A_2 = พื้นที่หน้าตัด 2

ในส่วนของ Bernoulli's Equation หรือ สมการแบร์นูลลี นั้นสามารถสรุปใจความได้ว่า ผลรวมของความดัน หรือพลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร และพลังงานศักย์ตามแรงโน้มถ่วงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ณ ตำแหน่งใดๆ ภายในท่อที่มีของไหลไหลผ่าน มีค่าคงตัวเสมอ ดังนั้นจากสมการของแบร์นูลลี ถ้าระดับคงตัวเมื่อของไหลมีอัตราเร็วเพิ่ม ความดันของของไหลจะลด และเมื่อของไหลมีอัตราเร็วลดลง ความดันของของไหลจะเพิ่มขึ้น โดยเราสามารถใชสมการเหล่านี้ในการหาค่าอัตราการไหลของมวลได้ดังนี้

$$m = \rho A_2 V_2 = A_2 \left[\frac{2\rho \Delta P}{1-\beta^4} \right]^{1/2} \quad (2.10)$$

สมการที่ (2.10) คือสมการที่ใช้ในการหาค่า Differential Pressure [4]

โดยที่

ρ = ค่าความหนาแน่นของของไหล

V_2 = อัตราเร็วของของไหล ณ จุดพื้นที่หน้าตัด 2

A_2 = พื้นที่หน้าตัด 2

β = สัดส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ = $\frac{d}{D}$

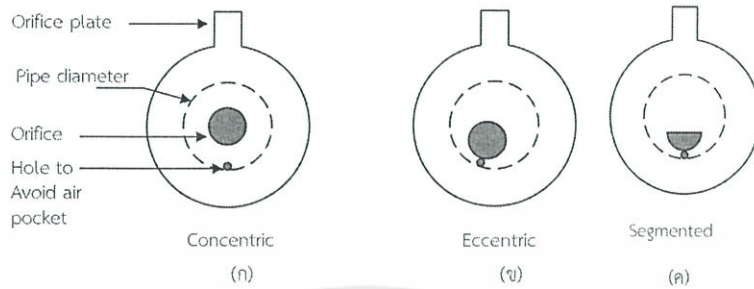
ΔP = ค่าความต่างของแรงดัน Differential Pressure

เมื่อเราเข้าใจถึงการหาค่าอัตราการไหลโดยใช้หลักการของ Differential Pressure และอาศัยสมการ The Equation of Continuity และ Bernoulli's Equation ในการคำนวณหาค่าอัตราการไหลแล้ว ต่อไปขอแนะนำอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ใช้หลักการเหล่านี้

Orifice Plate หรือ แผ่นออริฟิส เป็นอุปกรณ์ส่วนหนึ่งที่ใช้ช่วยในการวัดอัตราการไหลของไหล ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่าย ราคาถูก สะดวกในการติดตั้ง และการบำรุงรักษา แข็งแรงทนทาน และให้ค่าการวัดที่ถูกต้องแม่นยำในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับราคา ซึ่งสามารถวัดการไหลได้ทั้งของเหลวและก๊าซ โดยแผ่นออริฟิสสามารถแบ่งออกเป็น 3

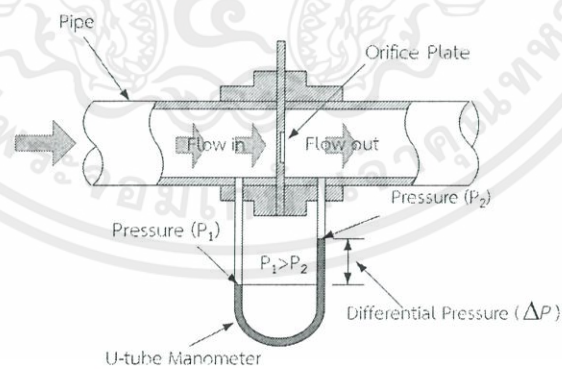
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบ ได้แก่ ออริฟิสแบบจุดศูนย์กลางเดียวกัน Concentric Orifice ออริฟิสแบบเยื้องศูนย์กลาง Eccentric Orifice และออริฟิสชนิดที่มีช่องตรงกลางเป็นส่วนของวงกลม ซึ่งตำแหน่งของรูหรือช่องออริฟิสอาจจะอยู่ด้านบนหรือด้านล่างก็ได้[10]



รูปที่ 2.5 แผ่นออริฟิส (ก) แบบ Concentric (ข) แบบ Eccentric และ (ค) แบบ Segmented [10]

โดยทั่วไปแผ่นออริฟิสทำด้วยโลหะมีช่องเปิดวงกลมอยู่ตรงกลาง โดยช่องออริฟิสทางด้านของไหลไหลเข้าเป็นมุมฉาก และทางด้านขาออกขยายทำมุม 30° ถึง 45° เพื่อลดแรงเสียดทานให้ของไหลสามารถไหลผ่านได้อย่างสะดวก ซึ่งการใช้แผ่นออริฟิสสำหรับวัดอัตราการไหลนี้สามารถวัดการไหลได้เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น โดยติดตั้งภายในท่อในลักษณะขวางทิศทางการไหล และติดตั้งเครื่องมือวัดความดันแตกต่าง (ΔP) ระหว่างความดันบริเวณด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นออริฟิส ซึ่งอาจเลือกใช้เครื่องมือวัดความดันแตกต่างชนิดใดก็ได้ โดยในรูปที่ 2.6 นี้เลือกใช้มาโนมิเตอร์รูปตัวยู (U-Type Manometer) [10]



รูปที่ 2.6 การติดตั้งแผ่นออริฟิสและเครื่องมือวัดความดันแตกต่างชนิดมาโนมิเตอร์รูปตัวยู [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณค่าอัตราการไหลโดยใช้ทฤษฎีของเบอร์นูลลี (Bernoulli's theorem) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันแตกต่าง (ΔP) และอัตราการไหล (Q) ดังสมการ[10]

$$Q = K\sqrt{\Delta P} \quad (2.11)$$

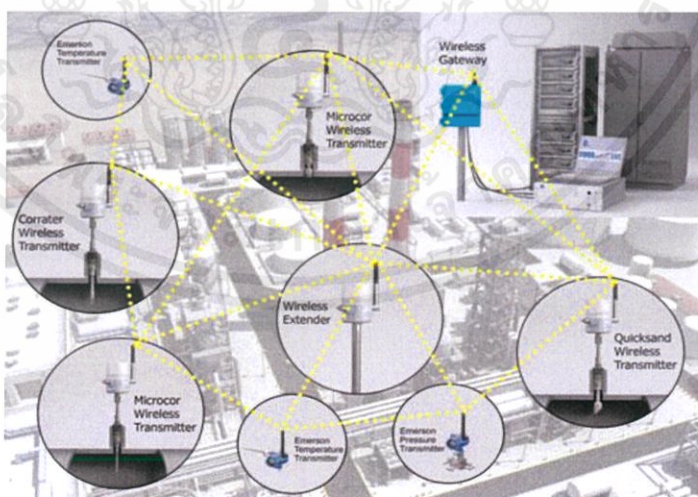
โดยที่ K = ค่าคงที่ของท่อและชนิดของของไหล ($m^3/s / psi$)

ΔP = ค่าความดันแตกต่างระหว่างจุดสองจุดที่ของไหลไหลผ่าน (psi)

2.3 การสื่อสาร

2.3.1 เทคโนโลยี WirelessHART

WirelessHART เป็น Wireless Version ของ Fieldbus-based Protocols ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสำหรับการตรวจจับสัญญาณ (Sensor) แบบ Peer-to-peer โดยใช้เครือข่ายไร้สาย ทำให้สามารถเพิ่มความสามารถสื่อสารแบบไร้สายให้แก่อุปกรณ์และระบบ Highway Addressable Remote Transducer Protocol (HART) ของเดิมเทคโนโลยีนี้วางพื้นฐานอยู่บน ย่านความถี่ที่ไม่ต้องขออนุญาติที่ 2.4 GHz ที่ใช้ในเทคโนโลยีอื่นๆ เช่น WiFi หรือ Bluetooth และรวมทั้ง ZigBee โดยให้ความปลอดภัยและการเชื่อมต่อที่มีการป้องกัน เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลที่ถูส่งทุกๆ แพ็กเกจถูกส่งในเวลาที่มีข้อมูลนั้นเกิดขึ้นจริงแน่นอน Protocols นี้ยังทำให้ผู้ใช้สามารถใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีแบบไร้สายได้เร็วและง่ายขึ้น ขณะเดียวกันยังคงความสอดคล้องและทำงานร่วมกันกับ อุปกรณ์ เครื่องมือ และระบบเดิมที่เป็น HART ที่ใช้อยู่เดิมได้ [5]



รูปที่ 2.7 การสื่อสารของเทคโนโลยี WirelessHART [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสาร

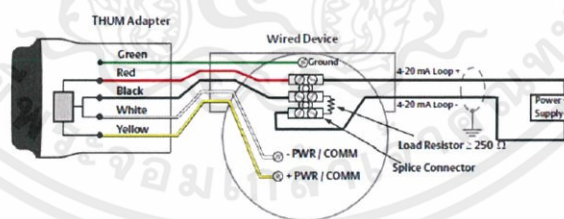


รูปที่ 2.8 อุปกรณ์ The Smart Wireless THUM [6]

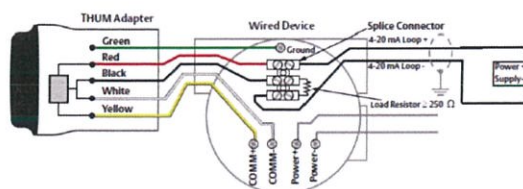
2.3.2.1 The Smart Wireless THUM

The Smart Wireless THUM คือ อุปกรณ์ที่สามารถดัดแปลงอุปกรณ์ที่ผ่าน 2 สาย หรือ 4 สาย และมันช่วยให้การส่งแบบไร้สายทำการวัดและตรวจข้อมูลก่อนหน้าที่ไม่อาจเข้าถึงได้ดีมากกว่า โดยที่มันเป็นวิธีที่ง่ายต่อการเข้าถึงของโรงงานโดยประโยชน์ คือ

1. ขยายการขอบเขตของค่าที่ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากเหตุผลทางเทคนิค
2. ทำให้อุปกรณ์ไร้สาย HART เพื่อเปิดใช้งานในจุดตรวจใหม่ๆได้
3. ได้รับการเข้าถึงการวิเคราะห์เครื่องมือขั้นสูง
4. จัดการอุปกรณ์ระยะไกลและตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์
5. มีข้อมูลที่รวบรวมอย่างมีประสิทธิภาพในหลายตัวแปร



รูปที่ 2.9 แผนการเดินสายไฟของอุปกรณ์ THUM Adapter ที่ต่อแบบ 2 สาย [6]

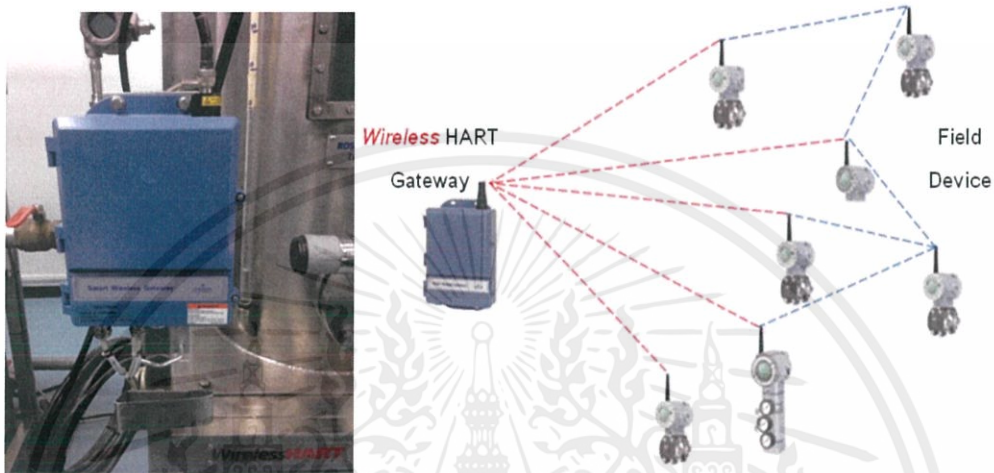


รูปที่ 2.10 แผนการเดินสายไฟของอุปกรณ์ THUM Adapter ที่ต่อแบบ 4 สาย [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 Smart Wireless Gateway

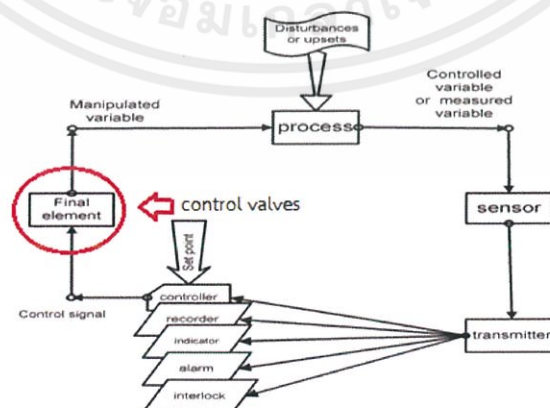
Wireless Gateway คือ จุดต่อเชื่อมของเครือข่ายทำหน้าที่เป็นทางผ่านสู่ระบบเครือข่ายต่างๆ บนอินเทอร์เน็ตที่ใช้เทคโนโลยีของ Wireless HART ในย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งให้เสถียรภาพการสื่อสารระดับสูงด้วย Mesh Topology โดยเครื่องมือวัดแต่ละตัว มีความสามารถในการหาเส้นทางที่ดีที่สุดด้วยตัวเอง จึงเรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Smart Wireless Gateway



รูปที่ 2.11 อุปกรณ์ Smart Wireless Gateway และลักษณะการส่งสัญญาณของอุปกรณ์ฮาร์ท [7]

2.4 การควบคุมอัตราการไหล

ในระบบการควบคุมอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนคือ Final Element ซึ่งรับสัญญาณควบคุมมาจาก Controller และทำหน้าที่ในการปรับแต่ง Process หรือ Manipulated Variable ดังรูป



รูปที่ 2.12 การควบคุมอัตราการไหลโดย Control Valves คือ Final Element [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

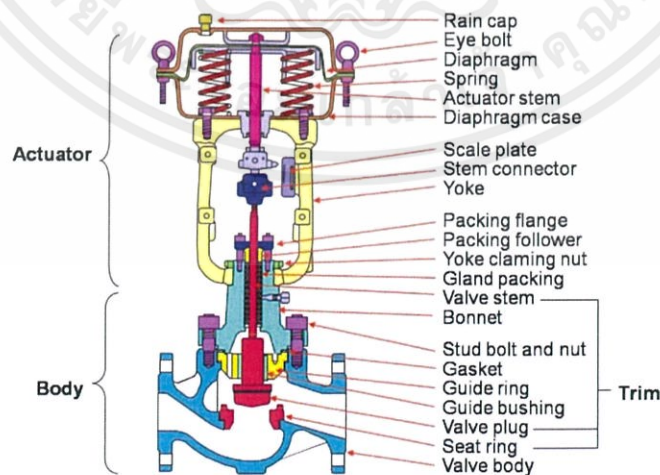
2.4.1 Control Valve

ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ นั้นประกอบไปด้วย Control Loop ต่างๆมากมาย ตั้งแต่หลัก ร้อยจนถึงหลักพันลูป ซึ่งแต่ละลูปก็จะทำงานด้วยกัน เพื่อที่จะผลิตสินค้าได้ตามต้องการ ในแต่ละลูป เหล่านี้ ก็จะรักษาค่าตัวแปรที่สำคัญต่างๆ ไว้ เช่น แรงดัน (Pressure), อัตราการไหล (Flow), ระดับ (Level), อุณหภูมิ (Temperature) และอื่นๆ อีกมากมาย โดยแต่ละ Control Loop จะรับสัญญาณ จากภายนอกและสร้างสัญญาณรบกวนจากตัวอุปกรณ์เอง หรือรับสัญญาณรบกวนมาจากลูปอื่นๆ ก็มีการลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนที่มาจากไหลเหล่านี้ ทั้งเซ็นเซอร์ และ ทรานสมิตเตอร์ จะคอยรวบรวมข้อมูลต่างๆ และส่งสัญญาณไปให้ตัวควบคุม (Controller) เพื่อที่ตัวควบคุมจะ ได้เปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ (Set Point) หลังจากนั้นตัวควบคุมก็จะส่งสัญญาณไปควบคุม Final Control Element เป็นขั้นตอนสุดท้าย เพื่อที่จะรักษาสภาพค่าที่ตั้งไว้ (Set Point) ให้คงที่แม้ว่าจะมี สัญญาณรบกวนเข้ามา

อุปกรณ์ส่วนใหญ่ที่ใช้เป็น Final Control Element ในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นก็คือ วาล์ว ควบคุม หรือ Control Valve นั่นเอง ซึ่งวาล์วควบคุม(Control Valve) จะคอยควบคุมการไหลของ ฟลูอิด เช่น Gas, Steam, Water หรือสารเคมีต่างๆ

เวลาที่เราพูดถึงวาล์ว เราก็มักจะพูดถึงส่วนประกอบต่างๆ ของวาล์ว ซึ่งวาล์วควบคุม ก็ จะประกอบไปด้วย

- 1) ชุด Body
- 2) ชุด Trim Set (Plug Stem Seat Ring)
- 3) Actuator ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้วาล์วควบคุมเคลื่อนที่หรือขยับ
- 4) Accessories ต่างๆ เช่น Limit Switch, Solenoid Valve, Air Set และอื่นๆ



รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบต่างๆใน Control Valves [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล Fisher GX Control Valve

Control Valve เป็นอุปกรณ์หนึ่งใน Final Element โดยมีหน้าที่หลักที่สำคัญคือ ควบคุมอัตราการไหลของของไหล (Fluid Flow Control) หากกล่าวในภาษา Control System คือ ทำหน้าที่ในการปรับแต่ง Manipulated Variable เพื่อให้ได้ค่าตาม Set Point โดยมีการตรวจสอบด้วย Instrument ที่คอยตรวจจับค่าตัวแปรหรือ Measured Variable (Controlled Variable) หรือค่า PV แล้วส่งสัญญาณไปยัง Controller เพื่อเปรียบเทียบค่ากับ Set Point (SP) หากยังมีค่า Offset หรือ Error (SP-PV) เกิดขึ้นอยู่ ตัว Controller ก็จะสั่งการไปยัง Control Valve ให้ทำการปรับแต่ง Process ต่อไปจนกว่าจะได้ค่าที่ต้องการหรือ Error = 0 เป็นการสิ้นสุดขบวนการทำงาน



รูปที่ 2.14 Fisher GX Control Valve[9]

การคำนวณค่า CV ที่จะตัดสินใจหาขนาดของวาล์วควบคุมนั้น (Port Size) เราจำเป็นต้องคำนวณหาค่า CV ของกระบวนการ (Calculated CV) ก่อน โดยการคำนวณหาค่า CV นั้นมีการศึกษามากกว่า 50 ปี ซึ่งมีค่าที่เกี่ยวข้องต่างๆ มากมาย อาทิเช่น ค่าเรโนลด์นัมเบอร์ (Reynolds Number), ค่าอัตราการไหล (Flow), ค่าโซ็ค (Choking), ค่าที่เกี่ยวข้องกับข้อต่อต่างๆ ในท่อ (Fitting) และค่าอื่นๆ อีกมากมาย โดยที่ค่าต่างๆเหล่านี้อ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60534-2-1:1998 (International Electro Technical Commission) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ผู้ผลิตวาล์วส่วนใหญ่นำมาอ้างอิง ซึ่งการคำนวณหาค่า CV ตามมาตรฐาน IEC นั้นมีความซับซ้อนอย่างมาก จึงแนะนำให้ใช้โปรแกรมที่ทางผู้ผลิตวาล์วควบคุมได้จัดเตรียมไว้ให้ แต่เพื่อให้การพิจารณาค่า CV ง่ายขึ้น เราจึงมีสูตรคำนวณค่า CV อย่างง่ายสามารถคำนวณเองได้ ในปฏิญยานิพนธ์ฉบับนี้จำเป็นเป็นการควบคุมระดับน้ำจึงใช้ สมการดังต่อไปนี้

$$CV = 1.17Q_i \times \sqrt{\frac{G_i}{\Delta P}} \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่ (2.12) แสดงสูตรพื้นฐานในการหาค่า CV กรณีที่ใช้ Control Valve กับของเหลว

[13]

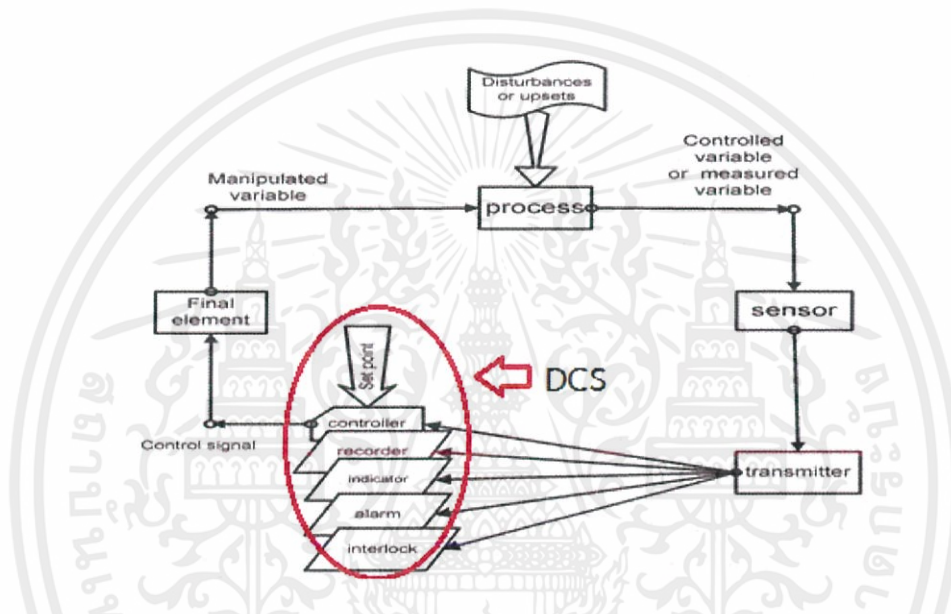
โดยที่

Q_l = Flow rate (m^3/h)

ΔP = Differential pressure (kg/cm^2)

G_l = Specific Gravity (Water = 1)

2.4.3 DCS (Distributed Control System)



รูปที่ 2.15 Controller ที่อยู่ในส่วนของ DCS(Distributed Control System) [8]

รูปที่ 2.15 ในส่วนของวงกลมนั้นแสดงถึงความสามารถต่างๆของ DCS ซึ่งจะรับค่ามาจาก Transmitter ซึ่งจะประกอบไปด้วย การตั้งค่า Set Point, Recorder, Indicator, Alarm, Interlock และการตั้งค่าที่ Controller จะถูกส่งไปที่ Final Element

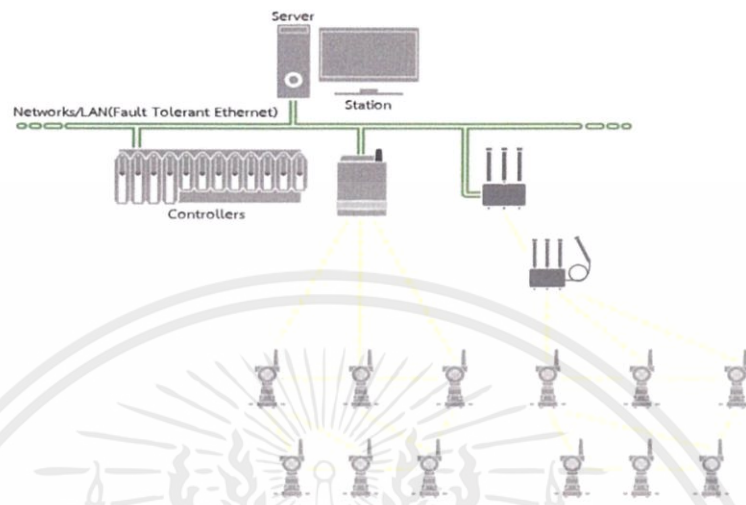
DCS (Distributed Control System) คือระบบควบคุม (Control) และเฝ้าดู (Monitor) ที่ใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับระบบควบคุมทั้งหมดและใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น โรงกลั่นน้ำมัน แท่นขุดเจาะน้ำมันและแก๊ส อุตสาหกรรมปิโตรเคมีและเคมีคอลทั้งหลาย ทั้งนี้ DCS ที่ใช้จะสอดคล้องกับโครงการนี้คือ DeltaV Emerson

ส่วนประกอบหลักของระบบDCSมีอยู่ 4 ส่วนดังต่อไปนี้

1. DCS Servers
2. DCS Stations

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Networks/LAN (Fault Tolerant Ethernet)
4. Controllers



รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบต่างๆของ DCS ที่ควบคุมกระบวนการแบบ WirelessHART [10]

รูปที่ 2.16 แสดงถึงการเชื่อมต่อของ Station, Networks/LAN (Fault Tolerant Ethernet), Server และ Controllers ซึ่ง จะเชื่อมโยงไปถึง อุปกรณ์ Transmittersแต่ละตัวที่เชื่อมต่อกันแบบ WirelessHART

2.4.3.1 DCS Server

ในระบบ DCS สามารถเป็นได้ทั้งแบบเดี่ยว (Single Server) และแบบคู่ (Redundancy Server) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแบบหลังเพราะถ้ามี Server ตัวใดตัวหนึ่งเสียหรือหยุดการทำงาน Server อีกตัวก็จะขึ้นมาทำงานแทนในทันทีและจะทำให้กระบวนการผลิตนั้นไม่หยุดชะงักหรือสร้างความเสียหายให้กับกระบวนการผลิตได้แต่ในโครงการนี้จะเป็นแบบเดี่ยว (Single Server) ซึ่งหน้าที่หลักของ Server จะมีดังต่อไปนี้

- 1) Server เป็นศูนย์กลางการเชื่อมต่อระหว่าง Controller กับ Station
- 2) Server เป็นตัวเก็บฐานข้อมูล (Database) และข้อมูลย้อนหลัง (History)
- 3) Server เป็นศูนย์กลางการออกแบบกระบวนการผลิต (Engineering) ก่อนที่จะส่งต่อ (Download) ไปยัง Controller
- 4) Server ยังเป็นศูนย์กลางการเชื่อมต่อระหว่าง DCS กับระบบอื่นๆเช่น ระบบ SCADA หรือ OPC เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2 DCS Stations

DCS Station คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ (PC) ที่รับข้อมูลจาก Server ให้ผู้ควบคุมดูแลการผลิต (Operator) นั้นใช้ในการเฝ้าดู (Monitoring) และควบคุม (Control) กระบวนการผลิตทั้งหมด ทั้งนี้ DCS Station สามารถมีได้มากกว่า 1 เครื่องขึ้นอยู่กับความเหมาะสม 1 DCS Station มี Accessories ดังนี้

- 1) Display Monitor มีได้ถึง 1-4 Display
- 2) คีย์บอร์ด (Standard PC Keyboard)
- 3) คีย์บอร์ดเฉพาะทาง (Special Operator Keyboard)
- 4) Pointing Device Such As A Mouse, Track ball, Touch Pad, etc.

2.4.3.3 DCS Controller

Controller ถือเป็นส่วนสำคัญที่สุดของระบบ DCS เพราะเป็นตัวที่เชื่อมต่อโดยตรงกับเครื่องวัดหรืออุปกรณ์ (Device) ในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ Controller ยังถือเป็นสมองของระบบ DCS เลยก็ว่าได้เพราะมี CPU Processor ที่ทำหน้าที่ Running Programming ที่รับมาจาก Server นั่นเอง Controller นั้นมีมากมายรุ่นและหลายยี่ห้อ การเลือกใช้ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน



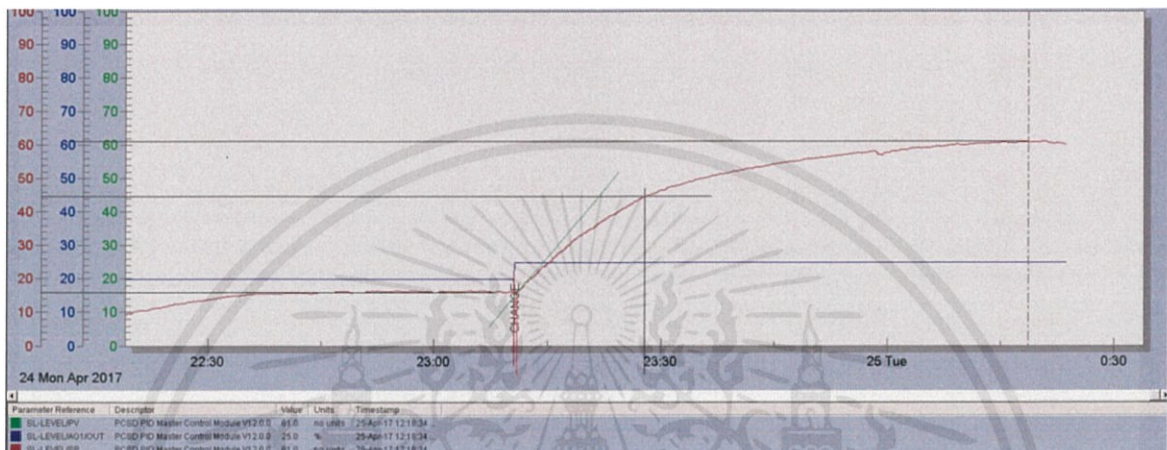
รูปที่ 2.17 DeltaV™ S-series SX Controller [11]

2.4.3.4 Networks/LAN (Fault Tolerant Ethernet)

ระบบการเชื่อมต่อ (Communications networks) จะมีลักษณะเหมือนกับระบบ LAN ทั่วไป (Standard Ethernet) แต่ที่แตกต่างก็คือสาย LAN (LAN Cable) ที่เชื่อมต่อจะมี 2 เส้น (Redundancy) เพื่อป้องกันการ Loss Connection เมื่อมีการขาดหรือชำรุดของสาย LAN เส้นใดเส้นหนึ่ง

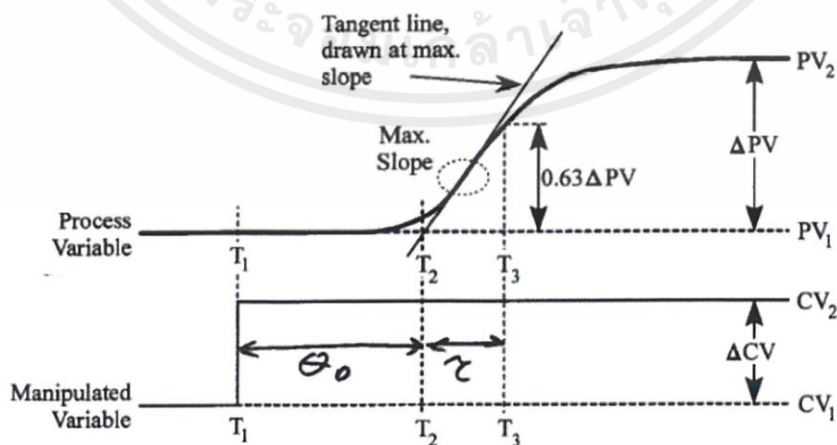
2.5 วิธีคำนวณค่า PID ที่เหมาะสม

2.5.1 การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Open-Loop Tuning



รูปที่ 2.18 ขั้นตอนการ Plot กราฟ ที่ใช้สำหรับหาค่า PID

1. ปรับโหมดควบคุมเป็นแบบ Manual เปิดวาล์วระบายที่ 50% และเปิด Control Valve ที่ค่าใดค่าหนึ่งและรอให้“ระบบคงที่”
2. ปรับ Control Valve เพิ่มขึ้น 5% และรอให้ระบบเข้าสู่ค่าคงที่
3. นำกราฟมาพิจารณาตามรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างการ Plot กราฟ กับ 3 ตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการคำนวณหาค่าต่างๆได้แก่ $K = \frac{\Delta PV}{\Delta CV}$

Time Constant (τ) = $T_3 - T_2$ โดยที่ $T_3 = 63\%$ ของค่า PV และ T_2 คือ จุดตัดของกราฟที่มีความชันมากที่สุด

Dead time (θ_0) = $T_2 - T_1$ และ ค่า Process Controllability (α) = Dead time (θ_0)/Time Constant (τ)

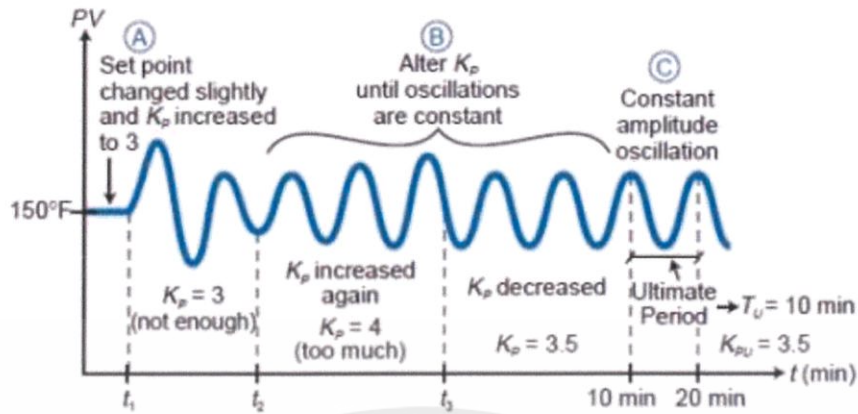
5. จากนั้นนำมาคำนวณตามตาราง

ตารางที่ 2.1 ตารางการหาค่า PID แบบ Open-Loop[12]

Type of Controller	Loop Tuning Constant	Tuning Equation Dependent Ziegler-Nichols	Tuning Equation Dependent Cohen-Coon
Proportional(P)	K_p	$K_p = 1/K\alpha$	$K_p = (1/K)*(0.333+1/\alpha)$
Proportional-Integral(PI)	K_p	$K_p = 0.9/K\alpha$	$K_p = (1/K)*(0.82+0.9/\alpha)$
	K_i	$K_i = 1/3.33 \theta_0$	$K_i = (1+2.2\alpha)*(0.333\alpha+3.33)\theta_0$
Proportional-Integral-Derivative	K_p	$K_p = 1.2/K\alpha$	$K_p = (1/K)*(0.27+1/3.5\alpha)$
	K_i	$K_i = 1.2 / \theta_0$	$K_i = (1+0.6\alpha)/(0.5\alpha+2.5)\theta_0$
	K_d	$K_d = 0.5 \theta_0$	$K_d = \theta_0*0.37/(1+0.2\alpha)$

2.5.2 การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ziegler-Nichols Close-Loop Tuning

หลักการของวิธีนี้คือหาค่า Gain ที่ทำให้ระบบเกิด Oscillation แบบแอมปริจูดคงที่ ซึ่งเรียกว่า Ultimate Proportional Gain (K_{pu}) และคาบการสั่น ซึ่งเรียกว่า Ultimate Period (T_u) จากนั้นนำทั้งสองค่านี้ไปคำนวณหาค่า K_p , K_i และ K_d ตามตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างการปรับค่า K_p จนเกิด Oscillation แบบแอมปริจูดคงที่

ตารางที่ 2.2 การหาค่า PID แบบ Close-Loop

Type of Controller	Loop Tuning Constant	Tuning Equation Dependent Ziegler-Nichols	Tuning Equation Independent
Proportional(P)	K_p	$K_p = 0.5 * K_{pu}$	$K_p = 0.5 * K_{pu}$
Proportional-Integral(PI)	K_p K_i	$K_p = 0.45 * K_{pu}$ $K_i = 1.2 / T_u$	$K_p = 0.45 * K_{pu}$ $K_i = (1.2 * K_p) / T_u$
Proportional-Integral-Derivative	K_p K_i K_d	$K_p = 0.6 * K_{pu}$ $K_i = 2 / T_u$ $K_d = T_u / 8$	$K_p = 0.6 * K_{pu}$ $K_i = (2 * K_p) / T_u$ $K_d = (T_u * K_p) / 8$

ขั้นตอนการ Tuned PID

1. เริ่มพล็อตกราฟของ Process Variable (PV)
2. เซ็ต K_i และ K_d เป็นศูนย์
3. เซ็ต PID Controller ให้อยู่โหมด Auto
4. ปรับค่า K_p เริ่มจากค่าน้อยๆ
5. จดค่า K_p และคาบเวลาที่ทำให้เกิด Oscillation แบบแอมปริจูดคงที่
6. คำนวณค่า K_p , K_i และ K_d จากตารางที่ 2.2

หากผู้ทำการทดลองใช้ทั้ง 2 วิธีนี้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ ผู้ทดลองควรเช็ค Drain Valve และความดันลมที่ใช้ในคอนโทรลลวาล์วให้คงที่ หากเกิดการเปลี่ยนแปลงจะทำให้ค่าต่างๆที่จะนำมาใช้ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางเปลี่ยนไป และหากค่าพารามิเตอร์ที่ได้ออกมายังไม่เป็นที่พึงพอใจ ผู้ทดลองสามารถปรับเพิ่มหรือลดได้โดยสามารถทำความเข้าใจจากตารางด้านล่าง

ตารางที่ 2.3 แสดงผลของการปรับค่าพารามิเตอร์แต่ละตัว

ตัวแปร	ช่วงเวลาขึ้น (Rise Time)	โอเวอร์ชูต (Overshoot)	เวลาสู่สมดุล (Setting 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

โมเดลคณิตศาสตร์สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์

กำหนดให้ $u(t)$ คือสัญญาณควบคุมที่จะส่งให้ตัวระบบ

และ $y(t)$ คือสัญญาณขาออกที่ถูกวัดมาได้

และ $r(t)$ คือสัญญาณอ้างอิง

สัญญาณความคลาดเคลื่อนคือ $e(t) = r(t) - y(t)$ ดังนั้น

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.13)$$

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (2.14)$$

$$G_c(s) = K_p + \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) \quad (2.15)$$

สมการที่ (2.11), (2.12) และ (2.13) แสดงถึงโมเดลคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณค่า PID [12]

ตัวอย่างการหาค่า PID

จากรูปที่ 2.18 เราพล็อตกราฟออกมาจะได้ค่า

$$T_1 = 0 \text{ min}$$

$$T_2 = 0.52 \text{ min}$$

$$T_3 = 17.15 \text{ min}$$

$$\text{Process Time Constant } (\tau) = T_3 - T_2 = 16.63 \text{ min}$$

$$\text{Process Dead Time } (\theta_0) = T_2 - T_1 = 0.52 \text{ min}$$

$$\text{Process Gain } (K) = \frac{\Delta PV}{\Delta CV} = \frac{61-16}{25-20} = 5$$

$$\text{Process Controllability } (\alpha) = \frac{\theta_0}{\tau} = 0.031$$

จากนั้นจึงทำการคำนวณตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.4 แสดงการคำนวณหลังพล็อตกราฟ โดยเลือกใช้วิธี Ziegler-Nichols แบบ Open Loop Tuning

Type of Controller	Loop Tuning Constant	Tuning Equation Dependent Ziegler-Nichols	Tuning Equation Dependent Cohen-Coon
Proportional(P)	K_p	3.6	$K_p = (1/K) * (0.333 + 1/\alpha)$
Proportional-Integral(PI)	K_p K_i	3.225 0.5775	$K_p = (1/K) * (0.082 + 0.9/\alpha)$ $K_i = (1 + 2.2\alpha) * (0.333\alpha + 3.33)\theta_0$
Proportional-Integral-Derivative	K_p K_i K_d	4.3 2.3 0.26	$K_p = (1/K) * (0.27 + 1/3.5\alpha)$ $K_i = (1 + 0.6\alpha) / (0.5\alpha + 2.5)\theta_0$ $K_d = \theta_0 * 0.37 / (1 + 0.2\alpha)$

หลังจากเราคำนวณได้ตามตารางและทดลองควบคุมจะพบว่ากราฟที่ได้เกิด Oscillation จึงยังไม่สามารถควบคุมได้เนื่องจากเป็นการหาแบบ Open-Loop Tuning เราจึงใช้วิธี Ziegler-Nichols Close Loop Tuning ตามที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ 2.5.2 เมื่อเราได้ทดลองตามนั้นแล้ว จะได้ค่า K_{pu} ของ Single Loop level ที่ทำให้แอมปริจูดคงที่ คือ 6.00 และที่ T_u คือ 0.144 min และ Single loop Flow จะได้ค่า $K_{pu} = 6.8$ และ ค่า $T_u = 0.19$ min

นำค่าที่ได้มาคำนวณตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าที่ได้จากกราฟมาคำนวณด้วยวิธี Ziegler-Nichols Close Loop Tuning ของ Single Loop Level Control

Type of Controller	Loop Tuning Constant	Tuning Equation Dependent Ziegler-Nichols	Tuning Equation Independent
Proportional(P)	K_p	3	3
Proportional-Integral(PI)	K_p K_i	2.7 8.33	2.7 22.5
Proportional-Integral-Derivative	K_p K_i K_d	3.6 13.8 0.018	3.6 50 0.0648

โดยที่ Single Loop Level $K_{pu} = 6.0$
 $T_u = 0.144$

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าที่ได้จากกราฟมาคำนวณด้วยวิธี Ziegler-Nichols Close Loop Tuning ของ Single Loop Flow Control

Type of Controller	Loop Tuning Constant	Tuning Equation Dependent	Tuning Equation Independent
Proportional(P)	K_p	3.4	3.4
Proportional-Integral(PI)	K_p K_i	3.10 6.32	3.10 19.5
Proportional-Integral-Derivative	K_p K_i K_d	4.08 10.53 0.024	4.08 42.95 0.0969

โดยที่ Single Loop Flow $K_{pu} = 6.8$
 $T_u = 0.19$

หลังจากได้ค่าตามตารางที่ 2.5 และ 2.6 เราจึงเลือก Control Type ซึ่งใน Single Loop Level เราจะเลือก Control Type ที่มีสมการ PID แบบ Independent เนื่องจากมีการห้วงเวลาของการส่งค่าจาก Level Transmitter และใน Single Loop Flow เราจะเลือก Control Type ที่มีสมการ PI แบบ Independent เนื่องจากไม่มีการห้วงของระบบเกิดขึ้น ต่อมาเมื่อเราต้องการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Cascade โดยให้ Controller Level เป็น Master Loop หรือ Primary Control และ Controller Flow เป็น Slave Loop หรือ Secondary Control

การเลือก Control Type นั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบของกระบวนการว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร โดยพิจารณา ดังนี้

1. ผลตอบสนองที่ได้ไม่มีการพุ่งเกินให้สังเกตว่าระบบมีความผิดพลาดในสภาวะคงตัวหรือไม่ ถ้าไม่มีความผิดพลาดในสภาวะคงตัวให้ใช้ตัวควบคุมแบบ P อย่างเดียว แต่ถ้ามีความผิดพลาดในสภาวะคงตัวให้ใช้ตัวควบคุมแบบ PI

2. ผลตอบสนองที่ได้มีการพุ่งเกินของผลตอบสนองถ้าต้องการลดการพุ่งเกินของผลตอบสนองอย่างเดียว โดยยอมรับค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวได้ ให้ใช้ตัวควบคุมแบบ PID แต่หากต้องการปรับทั้งความเร็วและการพุ่งเกินของผลตอบสนอง รวมไปถึงค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัว ให้ใช้ตัวควบคุมแบบ PID

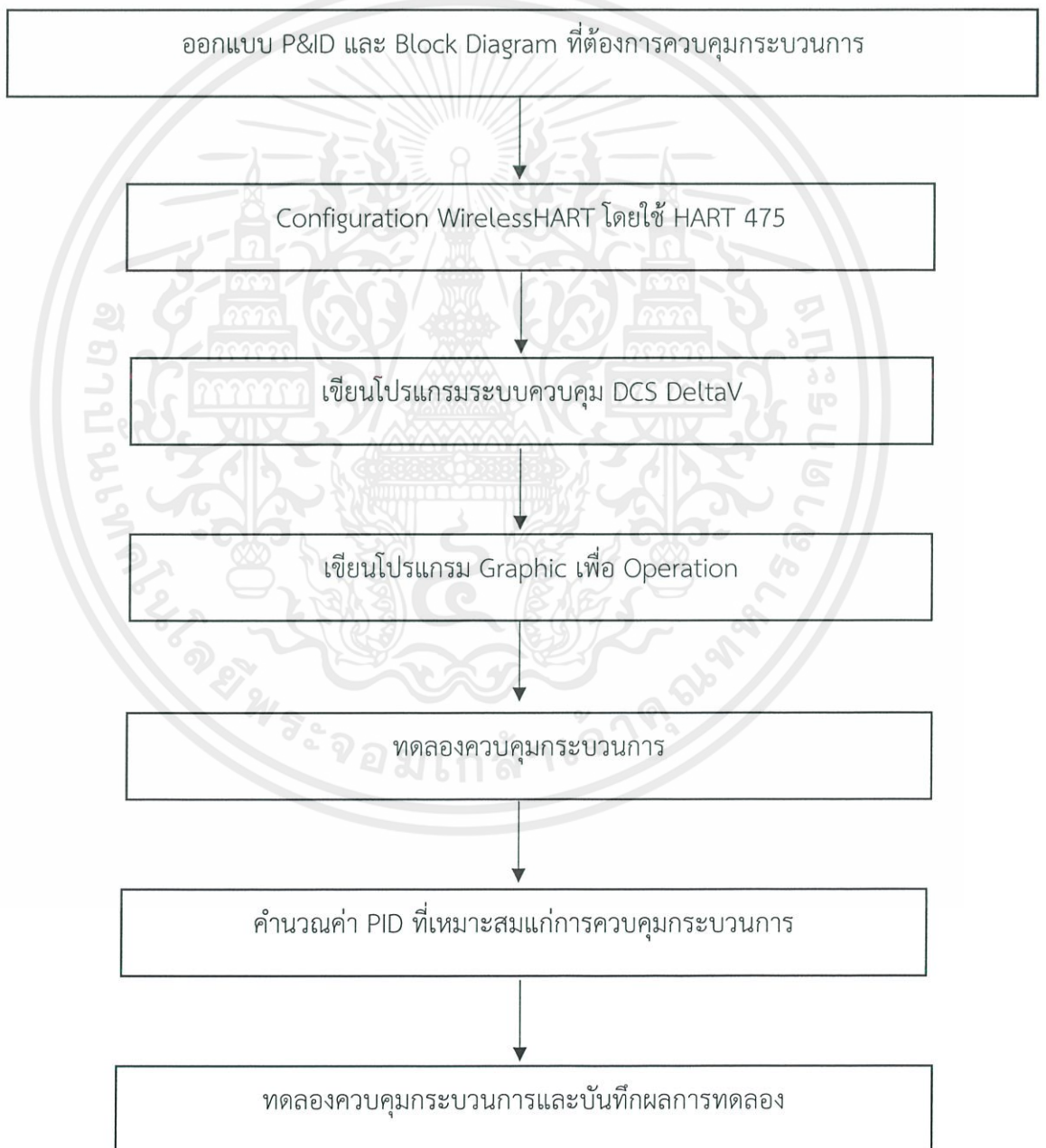
จากนั้นผู้ควบคุมกระบวนการควรพิจารณาว่าต้องการให้กระบวนการเป็นไปในทางไหน โดยสามารถใช้ตารางที่ 2.3 เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกและปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้กระบวนการเป็นไปตามที่ผู้ควบคุมกระบวนการต้องการ และในส่วนของ การเลือก PID Equation แบบ Dependent เมื่อต้องการใช้ Gain รวมเพียงตัวเดียว และแบบ Independent เมื่อต้องการใช้ค่า Gain แยกกัน

การหาค่าพารามิเตอร์ให้ปรับจาก Slave Loop ก่อน Master Loop เมื่อเราได้นำค่าพารามิเตอร์ของ Single Loop Flow ใส่ลงไปยัง Flow Controller ของ Slave Loop และปรับจูนจนกระบวนการไม่มีค่าความผิดพลาดแล้วให้เราคงค่าเดิมนั้นไว้แล้วจึงใส่ค่าพารามิเตอร์ใน Mater Loop ด้วยค่าเดียวกันกับ Single Loop Level และจากค่าที่ได้จากตารางที่ 2.5 จะเห็นว่าค่า K_d นั้นน้อยเกินไปเนื่องจากการหน่วงของระบบส่งผลให้ระบบเข้าสู่ Steady-state ช้า เราจึงเพิ่มค่า K_d จนกระทั่งสามารถชดเชยค่าหน่วงเวลาได้ และนำไปควบคุมกระบวนการ

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานและการใช้งานอุปกรณ์

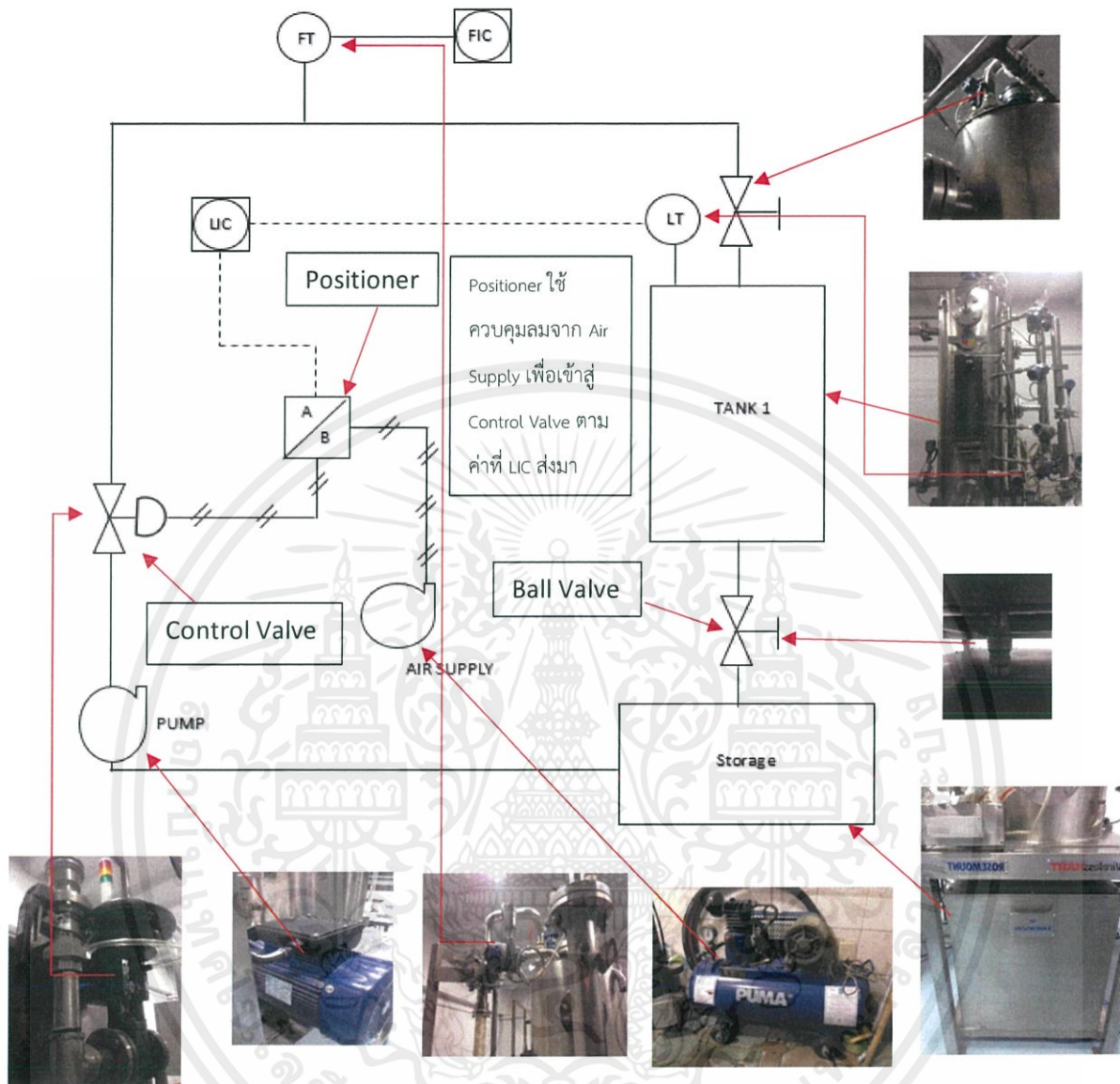
ขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มจากการเลือกอุปกรณ์ที่จะมาใช้ในการควบคุม (Scope of Work) หลังจากนั้นจัดเตรียมอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ต่างๆที่เลือกไว้ เพื่อใช้ในการดำเนินงานโดยหลังจากนั้นจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆแล้วสามารถดำเนินงานตามแผนผังด้านล่างที่ละขั้นตอนตามที่ได้ระบุไว้ด้านล่าง



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานก่อนเริ่มทำการทดลองจนถึงบันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การออกแบบ P&ID ใน LOOP ที่ต้องการควบคุมระดับน้ำ แบบ Cascade Control



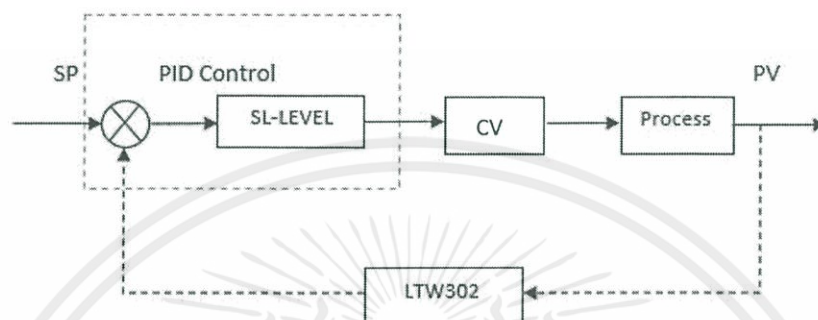
รูปที่ 3.2 แสดง P&ID ใน Loop Tank และอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง

FIC (Flow Indicator Controller) และ LIC (Level Indicator Controller) คือ ตัวที่คอยรับค่ามาจากอุปกรณ์วัดอัตราการไหล, FT (Flow Transmitter) และอุปกรณ์วัดระดับ, LT (Level Transmitter) ตามลำดับ เพื่อนำค่าไปคำนวณและควบคุมระดับน้ำ Tank คือ ถังใส่น้ำที่เราต้องการควบคุมระดับให้เป็นไปตามที่เราต้องการ FT และ LT คือ Flow Transmitter และ Level Transmitter ตามลำดับ Pump คือ ปั้มน้ำและ Air Supply คือถังอัดลมเพื่อป้อนเข้าสู่ Actuator ของ Control Valve เพื่อให้ Control Valve เปิด/ปิด ตามต้องการและในส่วนของ Ball Valve สามารถเปิด/ปิด เพื่อควบคุมการระบายน้ำออกจาก Tank การทำงานจะต่างจาก Control Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรงที่ Ball Valve สามารถควบคุมด้วยโดยไม่ต้องอาศัย Air Supply แต่จะเป็นการใช้แรงจากภายนอกมากระทำเช่น ใช้มือ เปิด/ปิด Ball Valve ได้ตามที่ต้องการ

3.2 ออกแบบ Block Diagram และ Math Model



รูปที่ 3.3 แสดงการออกแบบ Block Diagram Single Loop Level Control (WirelessHART)

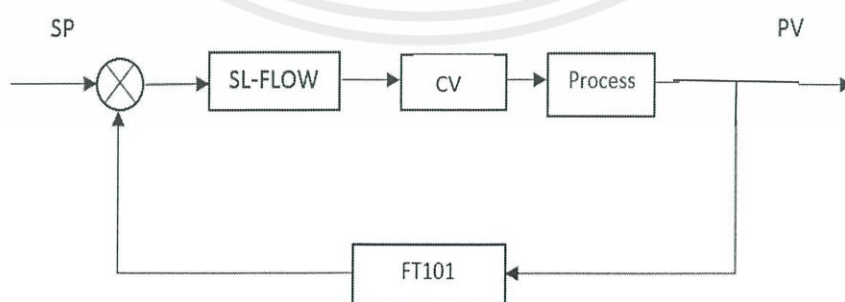
โดยที่ SL-Level คือ การควบคุมระดับแบบ Single Loop โดยใช้ระดับเป็นตัวควบคุม

CV คือ คอนโทรลวาล์ว

Process คือ ระดับน้ำที่เราควบคุม

LTW 302 คือ Wireless Level Transmitter (3051 DP Balance System)

การทำงานของรูปที่ 3.2 เป็นการควบคุมระดับน้ำ โดยการนำค่าที่วัดได้ของระดับน้ำจาก Level Transmitter ณ ขณะนั้น มาคำนวณที่ PID Controller เพื่อกำหนดการเปิดปิดของคอนโทรลวาล์วเพื่อส่งผลให้ระดับน้ำเข้าสู่ค่า Set Point ทั้งนี้มีการ Delay จาก LTW302 ไปยัง PID Controller เป็นเวลา 8 วินาที



รูปที่ 3.4 แสดงการออกแบบ Block Diagram Single Loop Flow Control (WirelessHART)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

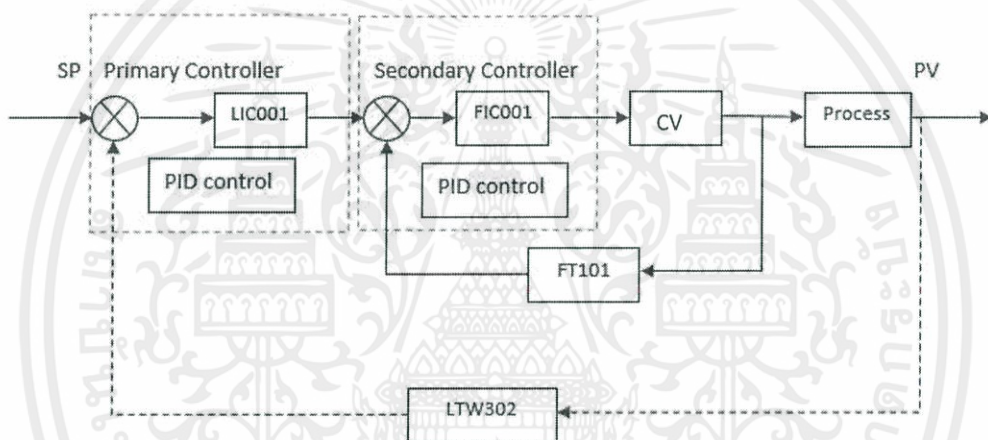
โดยที่ SL-Flow คือ การควบคุมอัตราการไหลแบบ Single Loop โดยใช้อัตราการไหลเป็นตัวควบคุม

CV คือ คอนโทรลวาล์ว

Process คือ อัตราการไหลน้ำที่ควบคุม

FT 101 คือ Flow Transmitter

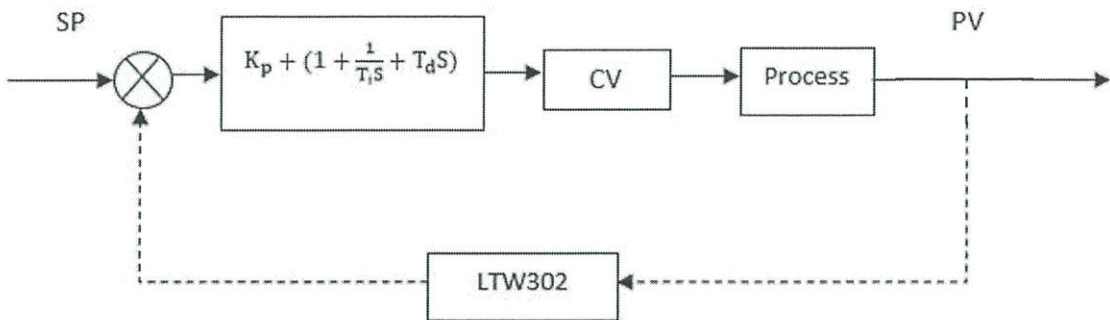
การทำงานของรูปที่ 3.3 คือการควบคุมอัตราการไหลโดยนำค่าที่วัดได้จาก Flow Transmitter ณ ขณะนั้นมาเปรียบเทียบกับค่า Set Point ว่ามากหรือน้อยกว่า หากอัตราการไหล ณ ขณะนั้นมากกว่าค่า Set Point Controller จะส่งคำสั่งให้วาล์วปิดลงหรือหาก อัตราการไหล ณ ขณะนั้นน้อยกว่าค่า Set Point Controller จะส่งคำสั่งให้วาล์วเปิดมากขึ้น จนกระทั่งได้อัตราการไหลเท่ากับค่าที่กำหนด



รูปที่ 3.5 แสดงการออกแบบ Block Diagram Cascade Loop Control (WirelessHART)

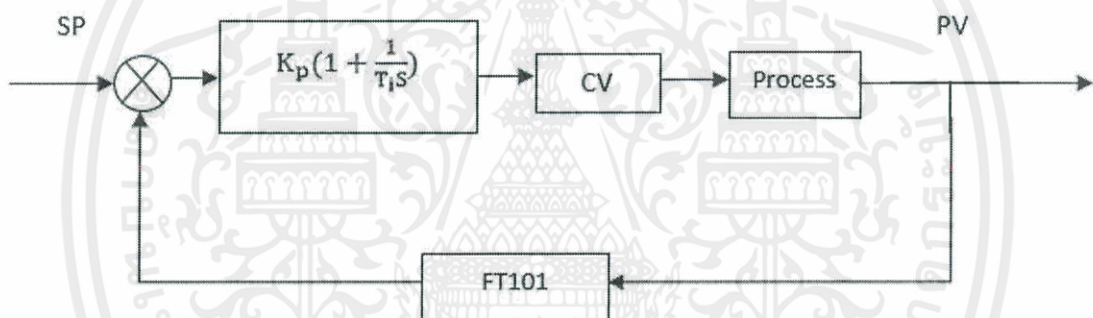
Cascade Loop เกิดจากการนำ Single Loop Level และ Single Loop Flow มารวมเข้าด้วยกัน เพื่อช่วยในการควบคุมกระบวนการได้ดียิ่งขึ้น Block Diagram ดังรูปที่ 3.5 จะแสดงให้เห็นว่า ยังคงใช้ตัวแปรเหมือนกับการออกแบบ Single Loop เพียงแต่นำมารวมเข้าด้วยกัน

จากสมการที่ (2.11), (2.12) และ (2.13) สามารถออกแบบ Math Model ของ Ziegler-Nichols เพื่อใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของ Single Loop Control และนำไปสู่การหาค่าพารามิเตอร์ของ Cascade Loop Control



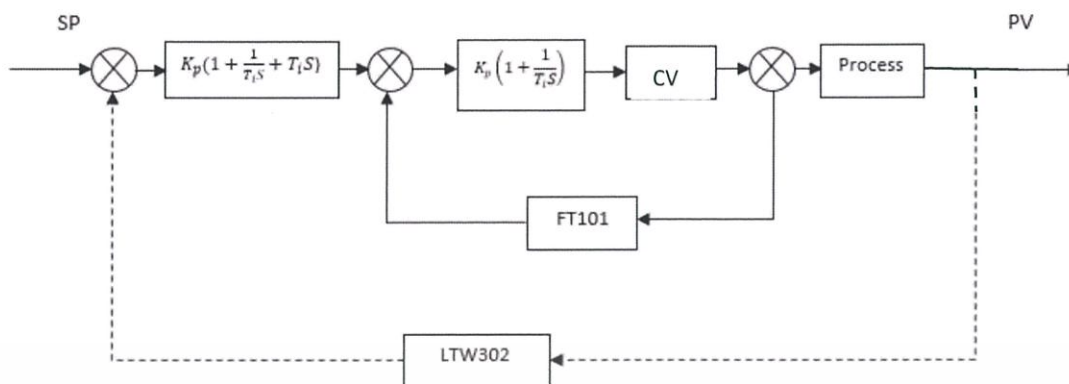
รูปที่ 3.6 แสดง Block Diagram Single Loop Level ของ Ziegler-Nichols

จากรูปที่ 3.6 เรานำโมเดลคณิตศาสตร์มาใส่ในบล็อกของ LIC เพื่อแสดงให้เห็นว่าการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมนั้นต้องการทราบตัวแปรที่มีผลกระทบต่อกระบวนการ



รูปที่ 3.7 แสดง Block Diagram ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ของ Single Loop Flow

จากรูปที่ 3.7 แสดงให้เห็นถึงการนำโมเดลคณิตศาสตร์ของ Ziegler-Nichols มาใช้ ซึ่งจะเห็นได้ว่า Control Type ที่นำมาใช้นั้นคือ PI สาเหตุเพราะผลตอบสนองที่ได้ไม่มีการพุ่งเกินแต่ยังคงเกิดความผิดพลาดที่สถานะคงตัว จึงมีความจำเป็นต้องปรับค่า I และไม่มีความจำเป็นต้องปรับค่า D



รูปที่ 3.8 แสดง Block Diagram ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ของ Cascade Loop Control

จากรูปที่ 3.8 แสดงให้เห็นว่า Cascade Loop Control เกิดจากการนำ Single Loop Level และ Single Loop Flow มารวมกัน โดยที่เรากำหนดให้ Level เป็น Primary Control หรือ Master หรือหมายความว่า Cascade Loop Control นี้ต้องการควบคุม Level เป็นหลักและใช้ Flow Control ในการช่วยควบคุมการเปิดปิดของ Control Valve เพื่อให้การควบคุมกระบวนการใช้เวลาน้อยลงและความผิดพลาดน้อยลง การหาค่าพารามิเตอร์นั้น จะเริ่มจาก Single Loop Flow ก่อน เมื่อได้ค่าที่ต้องการแล้วจึงหาค่าพารามิเตอร์ของ Single Loop Level จากนั้นจึงนำมารวมกัน ให้เป็น Cascade Loop

3.3 Configuration HART475

ขั้นตอนการ Configuration WirelessHART โดยใช้อุปกรณ์ HART 475

Hand Held รุ่น HART 475 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกับ Transmitters ที่มี Protocol HART ซึ่งใช้ในการกำหนดค่าของอุปกรณ์

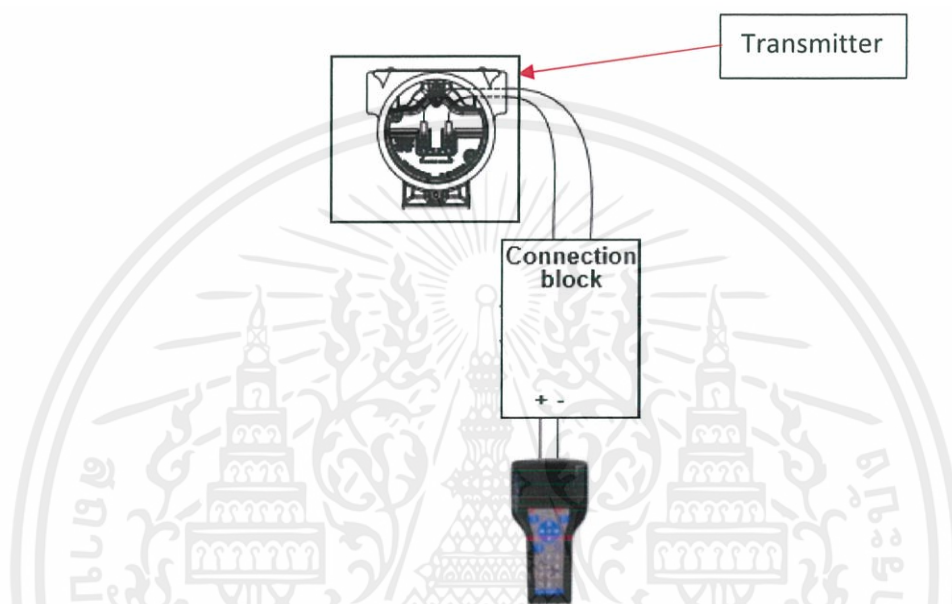


รูปที่ 3.9 แสดงอุปกรณ์ HART 475

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การต่อใช้งาน HART 475 เพื่อ Configuration ทรานสมิตเตอร์

Hand Held รุ่น HART 475 จะมีสาย 2 สายซึ่งใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ทรานสมิตเตอร์ สายแรกเป็นสายสีแดง ขั้ว (+) และสายที่สองเป็นสายสีดำ ขั้ว (-) ซึ่งการต่อใช้งานจะนำสายของ HART 475 สีแดง ขั้ว (+) มาต่อกับ ขั้ว (+) ของทรานสมิตเตอร์และนำสายของ HART 475 สีดำ ขั้ว (-) มาต่อกับ ขั้ว (-) ของทรานสมิตเตอร์ ดังรูปที่ 3.10 เพียงเท่านี้ก็ยังสามารถ Configuration ของทรานสมิตเตอร์ได้



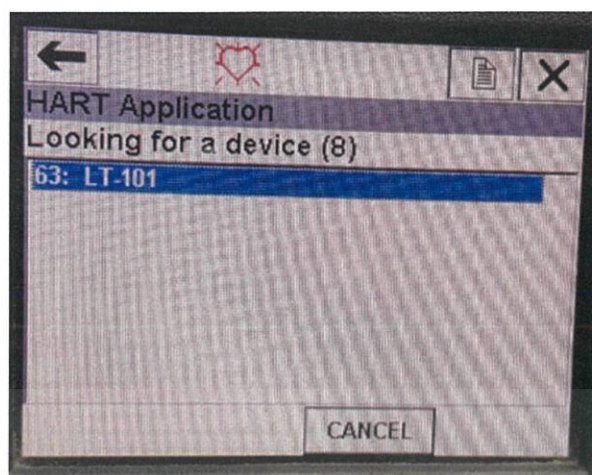
รูปที่ 3.10 แสดงการเชื่อมต่อ Transmitter ที่ต้องการ Configuration กับ HART 475

3.3.2 ขั้นตอนการ Configuration ทรานสมิตเตอร์ ด้วยอุปกรณ์ HART 475

การ Configuration ทำเพื่อให้ Controller ของ Wireless (WIOC) รับค่าหรือสื่อสารกับ The Smart Wireless THUM ที่ติดตั้งบนตัวอุปกรณ์ ในปฏิญญาพันธนี้หมายถึงการ Configuration The Smart Wireless THUM ให้เชื่อมต่อกับ WIOC เพียงอย่างเดียวเท่านั้น

ขั้นตอนการ Configuration

1. หลังจากที่เราระบายสายระหว่าง HART 475 กับทรานสมิตเตอร์ ถ้าถูกต้องจะพบตัวเลือก ดังรูปที่ 3.11 ในที่นี้เลือก 63: LT-101 เพื่อเชื่อมต่อกับตัวรับส่งค่าแบบ Wireless (THUM) ใน Transmitter LT-101



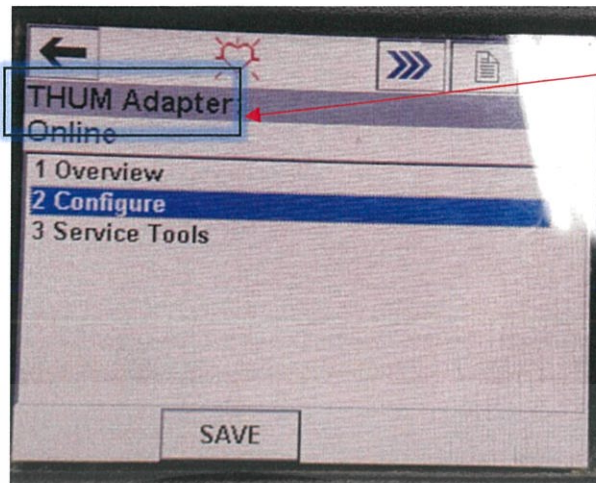
รูปที่ 3.11 แสดงการเลือกอุปกรณ์

2. เลือกฟังก์ชันการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ ในที่นี้ติดต่อกับ Transmitter ชนิด HART Protocol จึงเลือก HART ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 เลือก Protocol ที่ใช้การสื่อสาร

3. หลังจากเลือกการเชื่อมต่อแบบ HART Protocol แล้ว จะพบหน้าจอตัวเลือกของอุปกรณ์ที่ต้องการเลือกดู, ตั้งค่าหรือซ่อมบำรุง ถ้าเลือก Overview จะเป็นการเลือกดูสถานะของอุปกรณ์และค่าที่รับเข้ามาจากอุปกรณ์ ซึ่งถ้าเลือก Service Tools จะเข้าโหมดการ Maintenance การ Calibration การ Simulate ค่าต่างๆ ในที่นี้เลือก Configure เพื่อเข้าไปแก้ไขข้อมูล หรือ ปรับแก้ค่า ดังรูปที่ 3.13

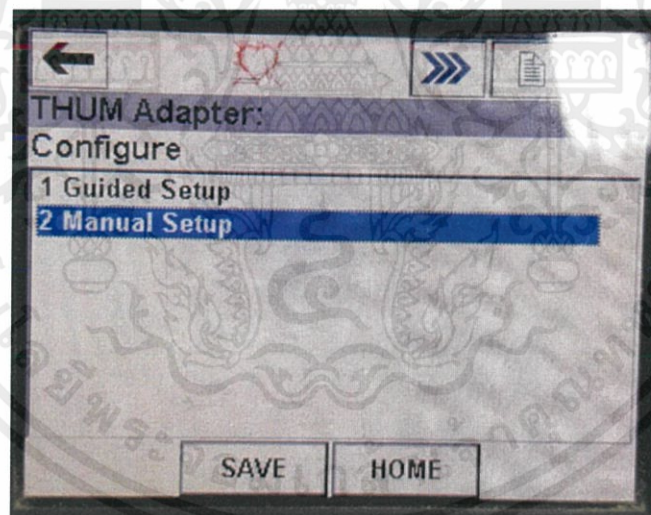


*หมายเหตุ

การ Configuration THUM Adapter ต้องเลือกเลขที่ 63 : ถ้าเป็นตัวเลขอื่นหมายถึง Configuration ในตัว Transmitter เพียงอย่างเดียวไม่เกี่ยวข้องกับ THUM Adapter

รูปที่ 3.13 แสดงถึงตัวเลือกที่ต้องการเข้าถึง

4. หลังจากที่เราเข้าหัวข้อ Configure จะพบตัวเลือกสำหรับการเข้าไปแก้ไขของอุปกรณ์ ในที่นี้เลือก Manual Setup เพื่อเลือกหัวข้อที่ต้องการปรับแต่งเอง ดังรูปที่ 3.14 หรือจะเลือก Guide Setup เพื่อเข้าไปปรับแต่งตามที่ระบบกำหนดก็ได้



รูปที่ 3.14 แสดงตัวเลือกสำหรับการเข้าไปแก้ไขอุปกรณ์

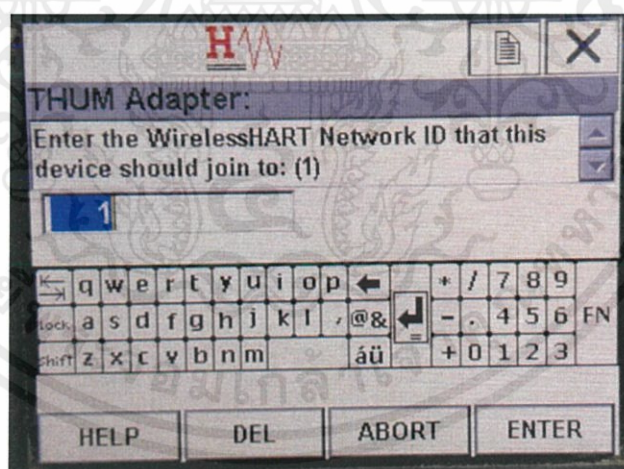
5. ขั้นตอนนี้เป็นทางเลือกการแก้ไขหัวข้อโดยละเอียด โดยจะเลือกหัวข้อ Wired Device เมื่อต้องการปรับแก้ค่าของระบบอุปกรณ์ที่ใช้สาย, ถ้าเลือก Electronics Temperature เพื่อดูค่าอุณหภูมิของอุปกรณ์, ถ้าเลือก THUM Information เพื่อดูสถานะและข้อมูลของตัวส่ง Wireless ในที่นี้เลือก Wireless เพื่อตั้ง ค่าของ Wireless ให้อยู่ใน Network เดียวกัน ดังรูปที่ 3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



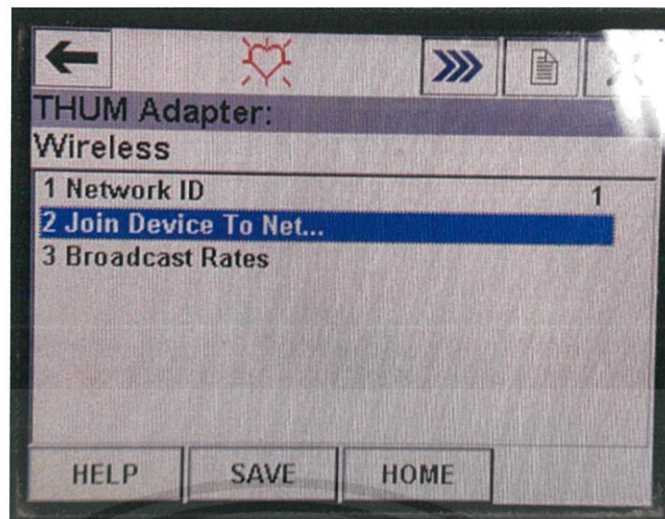
รูปที่ 3.15 แสดงตัวเลือกในโปรแกรมของ Manual Setup

6. เมื่อเราเลือกการปรับแต่งของ Wireless ระบบจะให้กำหนด WirelessHART Network ID เพื่อให้อุปกรณ์ที่อยู่ในเครือข่ายการสื่อสารของ WirelessHART Network ID เดียวกัน จะสามารถติดต่อกันได้ เนื่องจากอยู่ในเครือข่าย Network เดียวกัน ในที่นี้เลือก Network ID ให้เป็น 1 เป็นการกำหนด Network เพื่อให้อุปกรณ์ที่ใช้สามารถสื่อสารถึงกันได้ภายในเครือข่ายเดียวกัน ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงการตั้งค่า Network ของ THUM Adapter

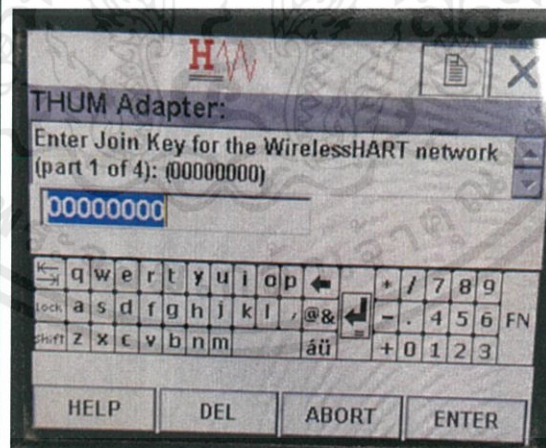
7. หลังจากที่ทำกรตั้งค่า Network ID ระบบจะไปสู่หน้าจอ ดังรูปที่ 3.16 เพื่อตั้งค่า Join Key ของอุปกรณ์ เพื่อเข้าไปที่ Network ซึ่งทำให้อุปกรณ์ที่มี Join Key เหมือนกัน ใน Network เดียวกันติดต่อสื่อสารข้อมูลกันได้



รูปที่ 3.17 แสดงการเลือก Join Device to network

8. หลังจากที่เราเลือก Join Device To Network จะเป็นขั้นตอนการกำหนด Join Key ให้กับอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.18, 3.20, 3.21 และ 3.22 ซึ่งการกำหนดค่า Join Key เป็นการตั้งค่าระบบย่อยใน Network เพื่อให้อุปกรณ์ที่มี Network และ Join Key เหมือนกัน ในที่นี้ตั้งค่าเป็น 00000000 ทั้ง 4 Part ของ Join Key เพื่อให้เหมือนกับ Join Key ใน Controller ที่รับส่งค่าแบบ Wireless (WIOC) ซึ่งถ้ามีอุปกรณ์อื่นที่ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์นี้ก็ต้องตั้งค่า 00000000 ทั้ง 4 Part เช่นกัน ถ้ามี Part ใด Part หนึ่ง ที่ค่าไม่เหมือนกัน ก็จะไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้

อุปกรณ์ที่เราตั้งค่า Network ID และ Join Key มีเพียง THUM Adapter ของ LTW302 (DP Balance System) เท่านั้นซึ่งถ้าผู้ทดลองต้องการรับค่าจาก THUM Adapter ของ Transmitter ตัวอื่นก็สามารถตั้งค่าได้เช่นกัน

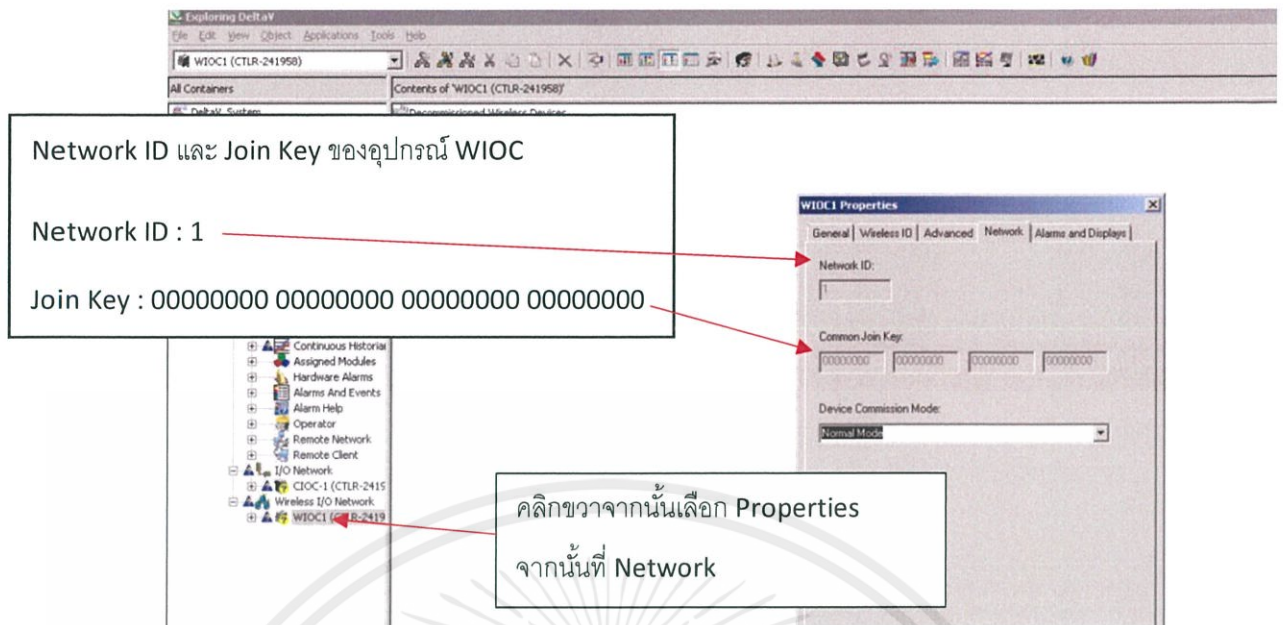


เครื่องมือ 1 ตัวนั้นมี Join Key 4 ชุดซึ่งในที่นี้เราตั้งค่าให้เป็น 00000000 ทั้ง 4 ชุดเพื่อความสะดวกในการตั้งค่า Join Key ให้ตรงกันทั้งหมด

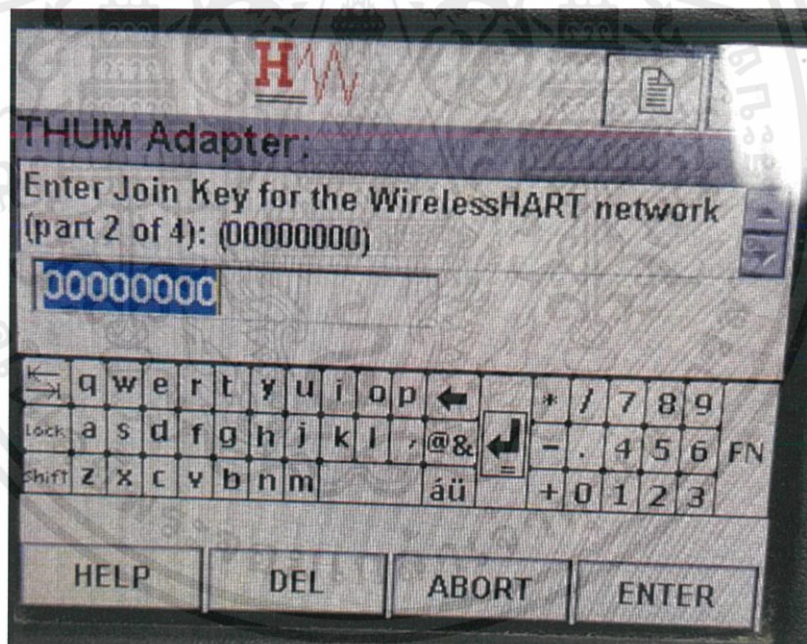
รูปที่ 3.18 แสดงการ Configuration เลือก part 1 of 4 ให้เป็น 00000000

การ Configuration THUM Adapter ให้ Network ID เป็น 1 และ Join Key เป็น 00000000 ทั้ง 4 part เพื่อให้ตรงกับ Network ID และ Join Key ของ WIOC นั้นสามารถตรวจสอบได้ในโปรแกรม Exploring DeltaV ดังรูปที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

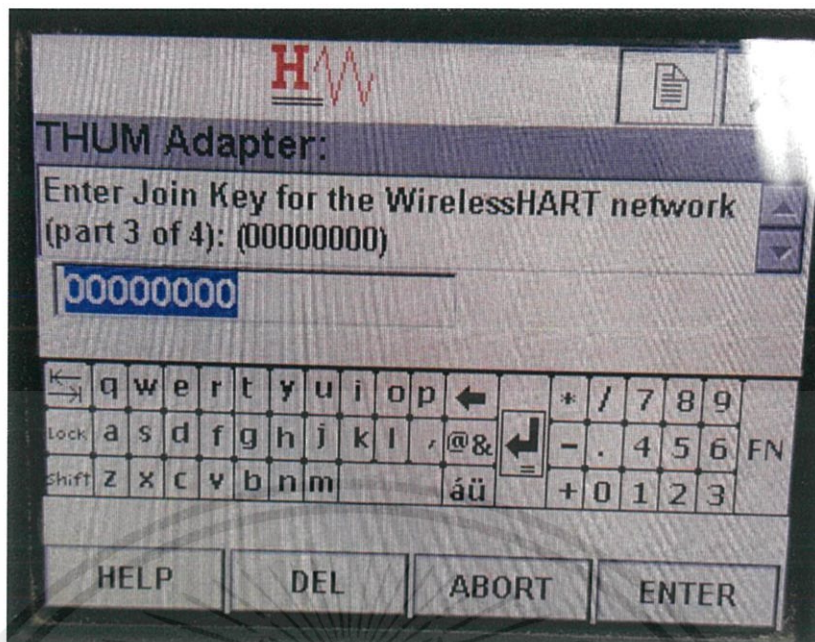


รูปที่ 3.19 แสดงถึง WIOC Properties ในโปรแกรม Exploring DeltaV

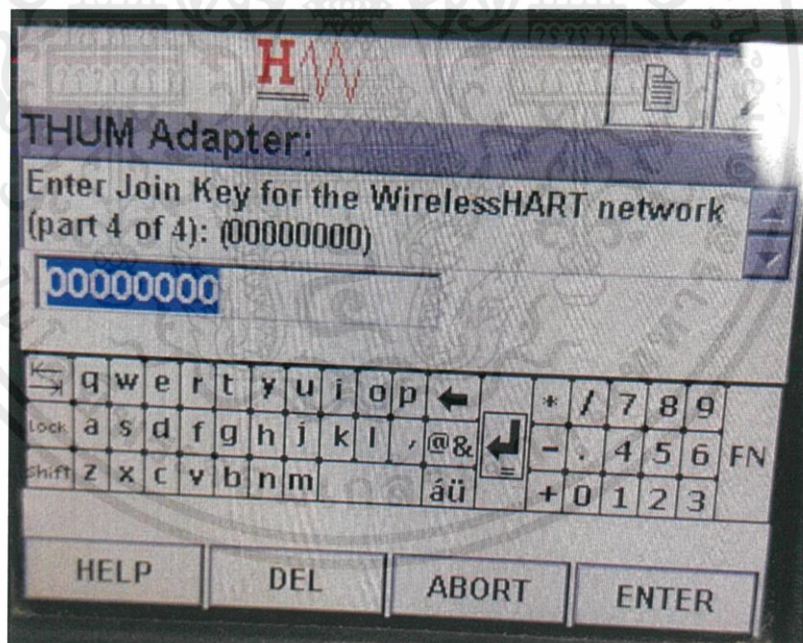


รูปที่ 3.20 แสดงการ Configuration เลือก part 2 of 4 ให้เป็น 00000000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



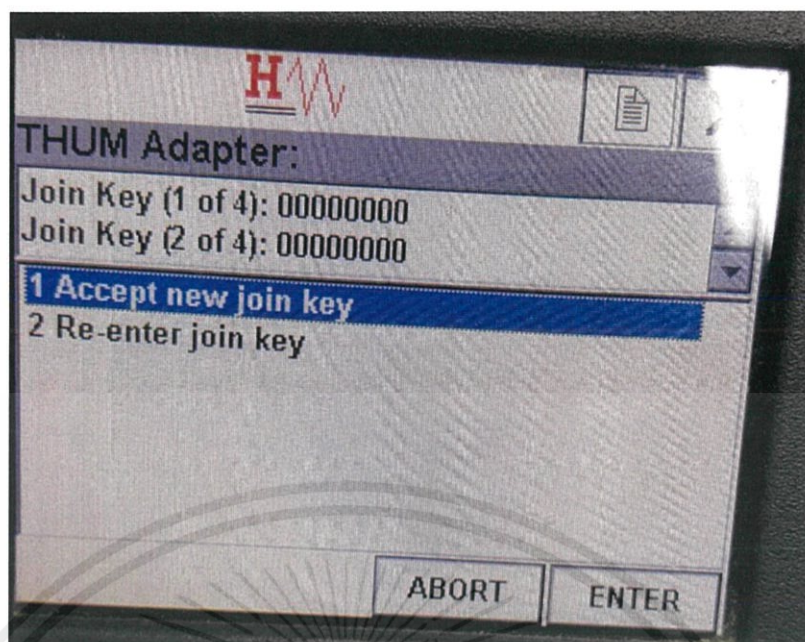
รูปที่ 3.21 แสดงการ Configuration เลือก part 3 of 4 ให้เป็น 00000000



รูปที่ 3.22 แสดงการ Configuration เลือก part 4 of 4 ให้เป็น 00000000

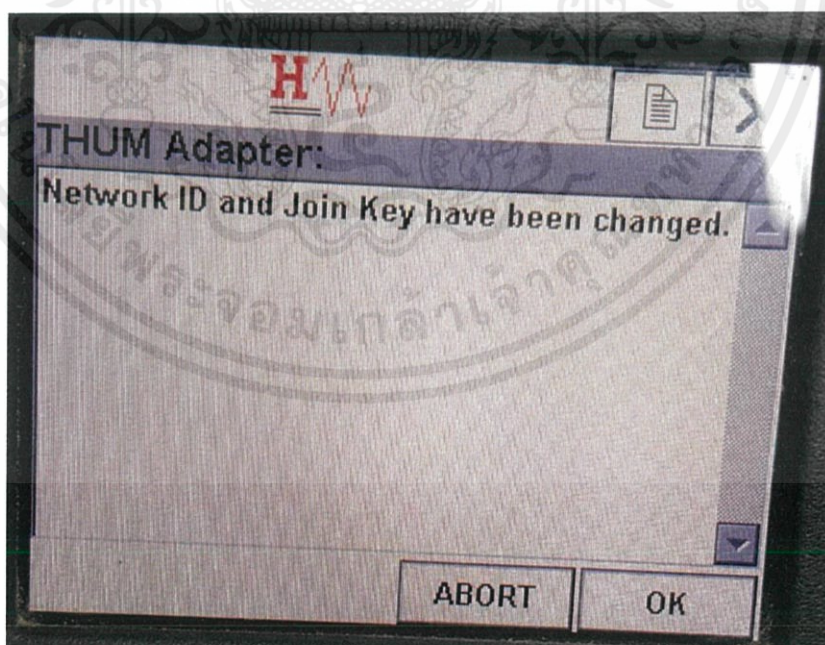
9. หลังจากกรอกค่า Join Key เรียบร้อยทั้ง 4 Part ระบบจะขึ้นหน้าจอมาสอบถามการยืนยันค่า Join Key ทั้ง 4 Part ในที่นี้เลือก Accept new join key เพื่อยอมรับ Join Key ตามที่กรอกค่าไปล่าสุด ดังรูปที่ 3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แสดงหน้าจอยืนยันของระบบ

10. ระบบได้แจ้งว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่า Network ID และ Join Key ซึ่งเป็นการเสร็จสิ้นขั้นตอนการ Configuration ของอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 แสดงผลการตั้งค่าของ THUM Adapter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 DCS Program

โปรแกรม DeltaV Distributed Control Systems (DCS) เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการแบบกระจายส่วน

3.4.1 ซอฟต์แวร์ DeltaV Version 12



รูปที่ 3.25 DeltaV Distributed Control Systems (DCS) Version 12

ระบบ DeltaV ทำให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อข้อมูลในภาคสนาม ในระดับอุปกรณ์ระบบ DeltaV ให้ความสามารถในการ Plug and Play สำหรับรับรีโมทและการวินิจฉัยในความหลากหลายของโปรโตคอล มาตรฐาน Wireless HART, HART, Foundation Fieldbus, DeviceNet และ Profibus DP DeltaV SIS แม้ว่าสถาปัตยกรรมที่แยกจากกันบูรณาการร่วมกับระบบ DeltaV เพื่อให้ความปลอดภัยในกระบวนการที่มีการจัดการจากที่เดียวกัน

ระบบ DeltaV ทำให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อกับธุรกิจขององค์กร มาตรฐานอุตสาหกรรม OPC พร้อมกับบริการเว็บ SOA ได้ถูกสร้างขึ้นในที่จะให้การเชื่อมต่อกับ MES ของ Emerson และระบบอื่นๆที่ได้ก็ได้ในเครือข่าย

บูรณาการข้อมูลกับระบบ DeltaV ให้ข้อมูลระหว่างข้อมูลธุรกิจและระบบที่มีเวลาการติดตั้งน้อยที่สุด ผู้มีอำนาจตัดสินใจในทุกระดับในโรงงานจากวิศวกรรมกรรมการดำเนินงานและการผลิตจะได้รับข้อมูลที่สำคัญที่ต้องการความน่าเชื่อถือปลอดภัยและเป็นแบบเรียลไทม์

3.4.2 การเขียนโปรแกรมระบบควบคุม DCS DeltaV

เมื่อ Configuration ตัว THUM Adapter แล้ว ต่อไปเป็นขั้นตอนการเขียนโปรแกรมสั่งการควบคุมหรือรับส่งค่าจากอุปกรณ์ ในโปรแกรม Exploring DeltaV ซึ่งเป็นการสร้าง Block เพื่อเขียนคำสั่งการรับค่า/ส่งค่า จากตัวทรานสมิตเตอร์ด้วยการสื่อสารแบบ Wireless หลังจากนั้นก็จะนำ Block ที่เขียนไว้ใน Module ไปควบคุมการทำงานผ่าน DeltaV Operate

ขั้นตอนในการเขียนโปรแกรม DCS DeltaV

1. สร้าง Module เพื่อรับค่า Wireless จากอุปกรณ์ที่ Configuration ซึ่งอุปกรณ์ที่จะพบ ก็จะเป็นอุปกรณ์ที่ตั้งค่า Network เท่ากับ 1 และ Join Key เดียวกัน ก็คือ 00000000 ทั้ง 4 Part ตามที่ได้ Configuration ไว้ในส่วนขั้นตอนการ Configuration ทรานสมิตเตอร์ ด้วยอุปกรณ์ HART 475 ซึ่งวิธีการสร้าง ดังรูปที่ 3.24

Name	Type	Description	Needs Do...	HART Manufacturer	HART Device Type
FT-101-1 (CTLR-241958)	HART Device		No	Rosemount Inc..	3051
FW-101	HART Device		No	Rosemount Inc..	THUM Adapter H7
LT-2002 (CTLR-241958)	HART Device		No	Rosemount Inc..	3051
LTW-202	HART Device		No	Rosemount Inc..	THUM Adapter H7
THUM302	HART Device		No	Rosemount Inc..	THUM Adapter H7

วิธีเข้าสู่หน้าจอที่สร้าง Module รับค่าจาก Wireless

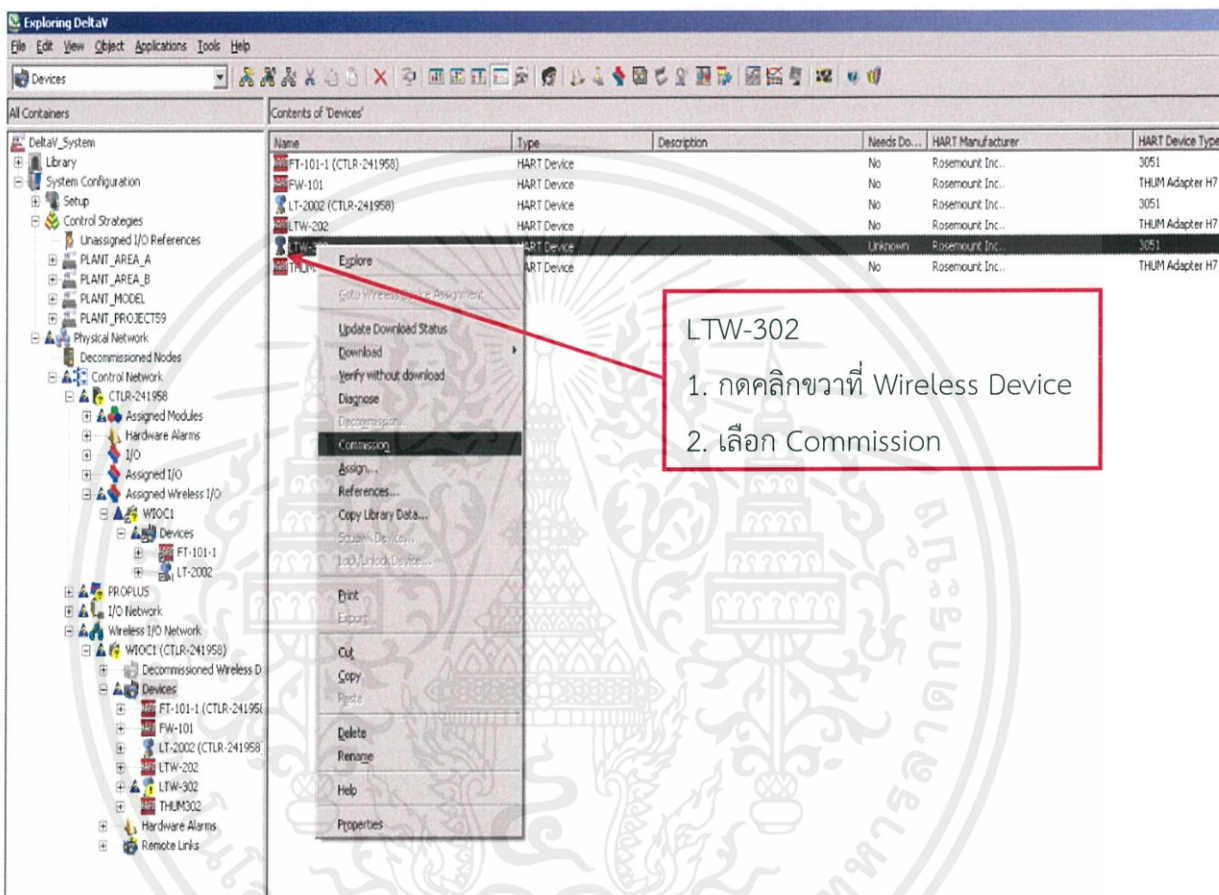
1. กดคลิกซ้าย 2 ครั้งที่ Wireless I/O Network
2. กดคลิกซ้าย 2 ครั้งที่ WIOC
3. กดคลิกซ้ายที่ Devices
4. กดคลิกขวาที่ช่องว่าง และเลือก New Wireless Device

รูปที่ 3.26 สร้าง New Wireless Device ใน Control Strategies

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

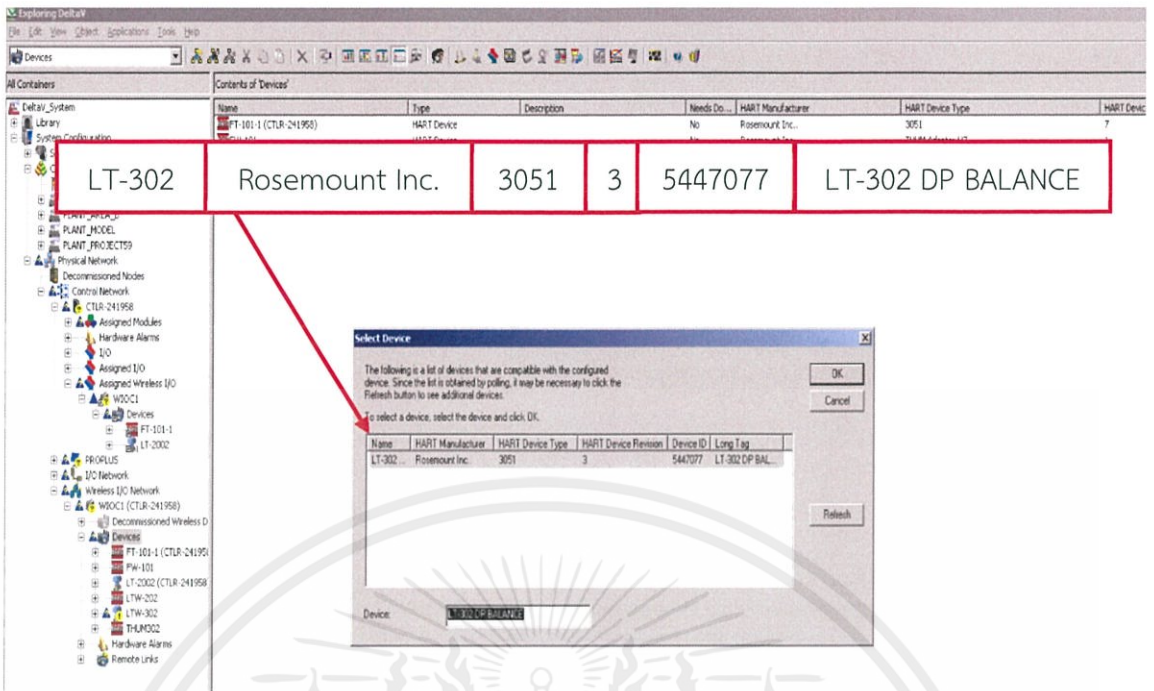
2. หลังจากที่เราสร้าง Module แล้ว ก็ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่รับส่งค่าแบบ Wireless เพื่อนำค่าที่อุปกรณ์รับส่งแบบ Wireless ไปเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ ซึ่งขั้นตอนการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับส่งค่าแบบ Wireless จะแสดงไว้ ดังรูปที่ 3.25, 3.26 และ 3.27

จากนั้น คลิกขวาที่ LTW-302 หรือ Wireless Device ที่ต้องการเลือก หลังจากนั้นเลือก Commission ดังรูปที่ 3.27



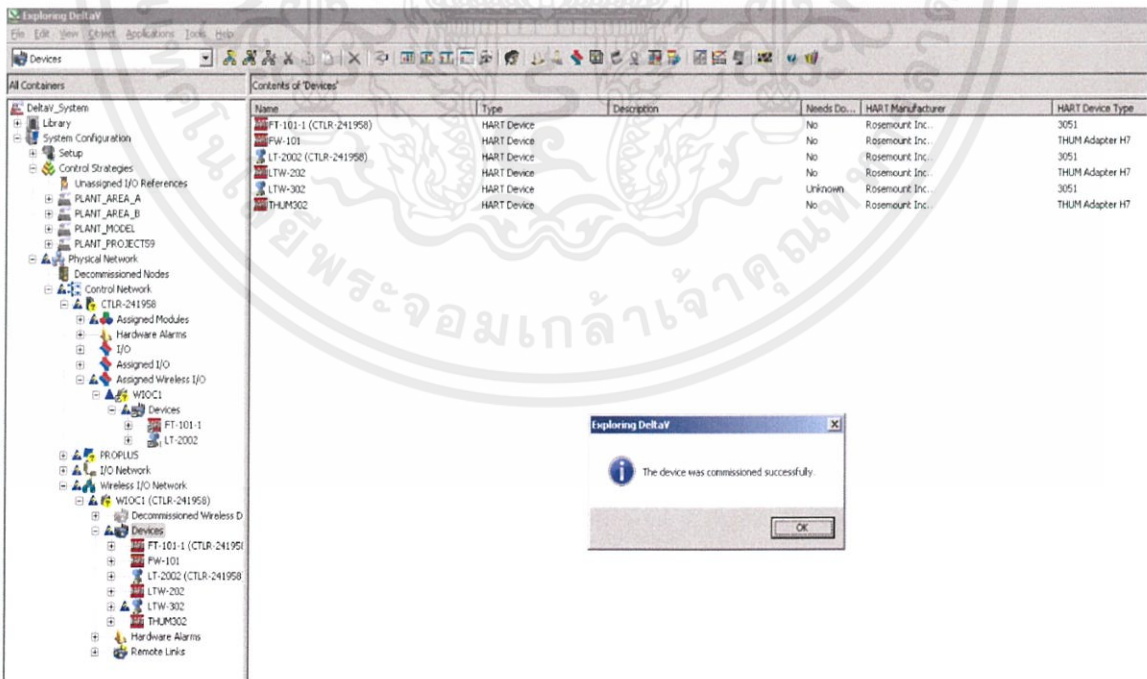
รูปที่ 3.27 แสดงการ Commission New Wireless Device ไปยัง LTW-302

หลังจากที่กด Commission ระบบจะแสดงจำนวนอุปกรณ์และข้อมูลอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อกับ Module Wireless Device ที่เพิ่งสร้างได้ แสดงตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.28 กด OK เพื่อยืนยันการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับ Module Wireless Device



รูปที่ 3.28 แสดงจำนวนอุปกรณ์และข้อมูลของอุปกรณ์ ที่มีการรับส่งค่าแบบ Wireless

หลังจากที่กด OK เพื่อยืนยันการเชื่อมต่อแล้ว ระบบจะส่งข้อความมาแจ้งผลของการเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 3.29 ระบบแจ้งว่า Commissioned Successfully

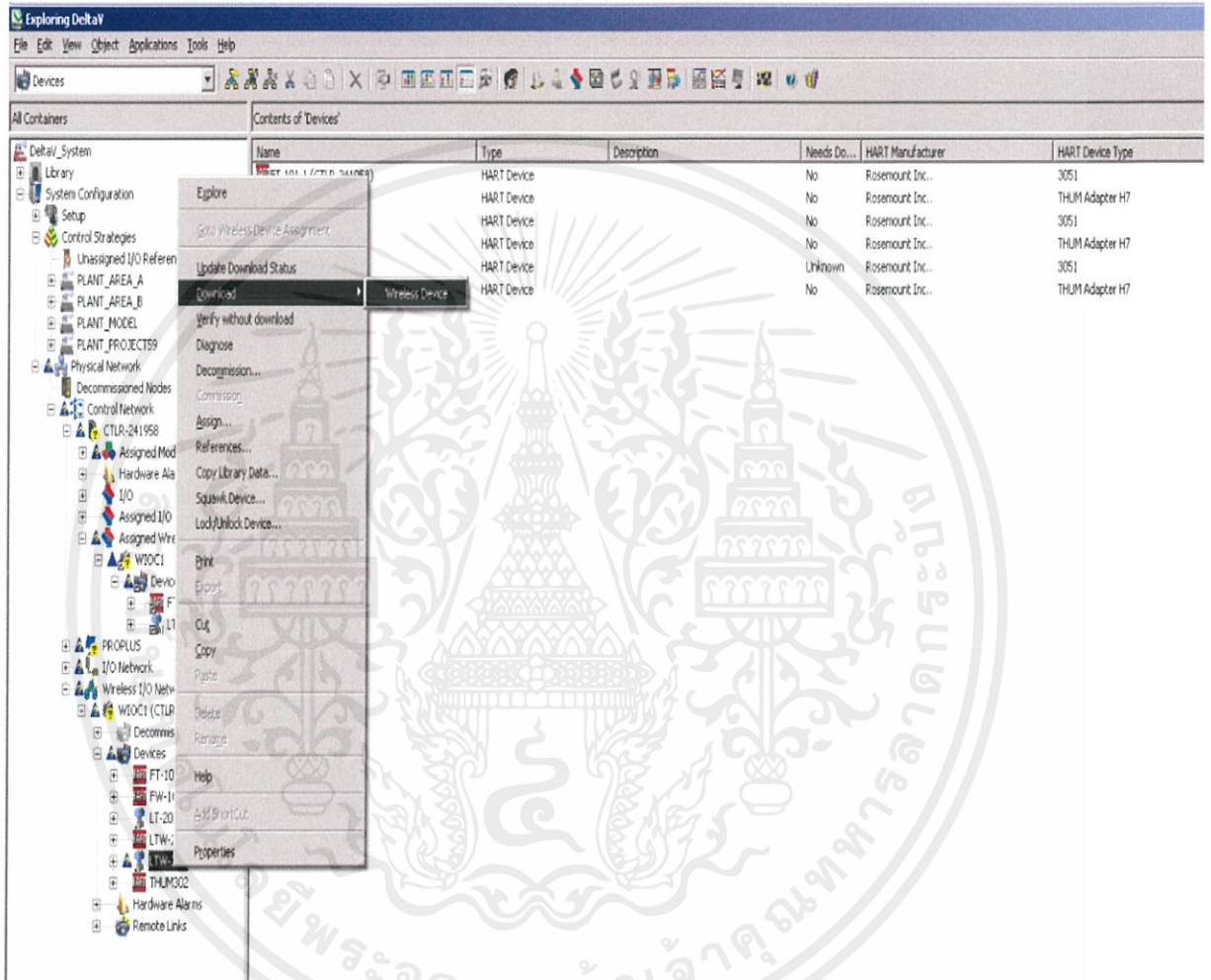


รูปที่ 3.29 แสดงผลของการ Commission

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

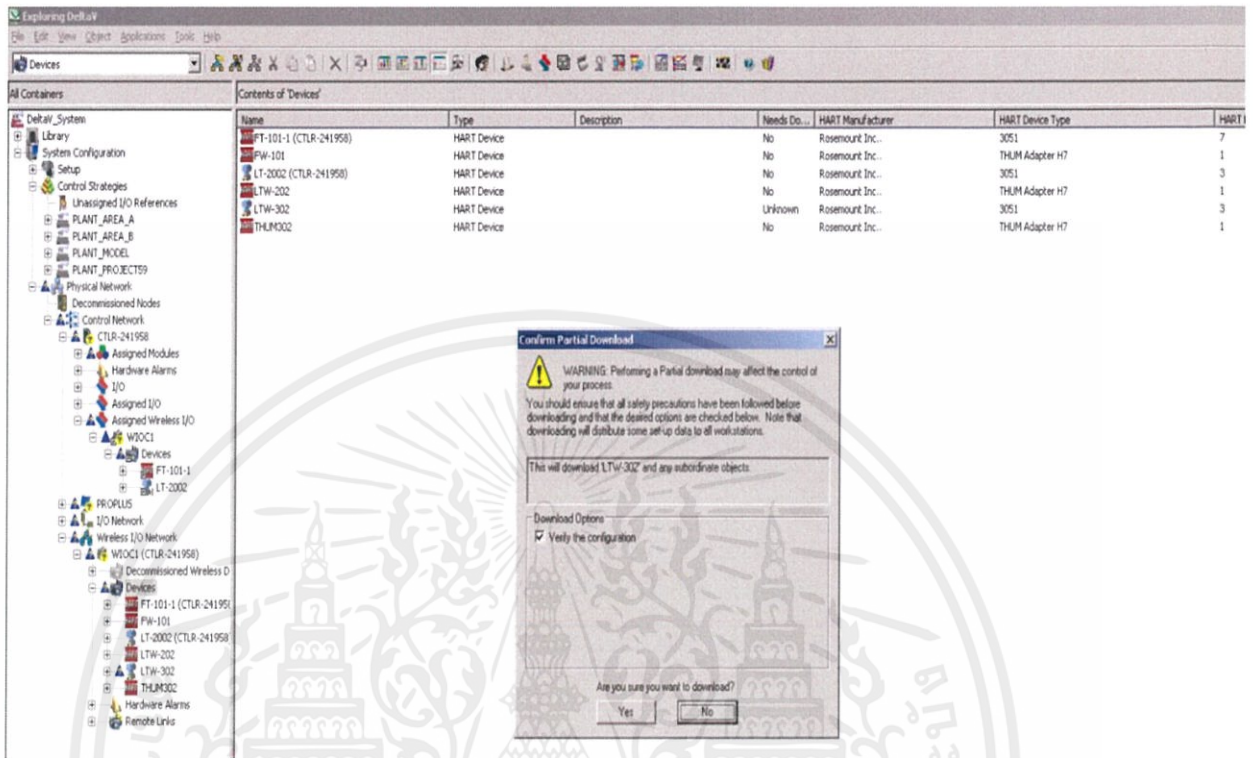
3. ขั้นตอนต่อไปเป็นขั้นตอนการนำ Module ที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่รับส่งค่าแบบ Wireless แล้วเข้าไปที่ Controller เพื่อสามารถสั่งการหรือควบคุมได้ ถ้าไม่นำ Module เข้า Controller จะไม่สามารถควบคุมอุปกรณ์ตัวนั้นๆ ได้ ซึ่งขั้นตอนเป็นดังรูปที่ 3.30, 3.31 และ 3.32

กดคลิกขวาอุปกรณ์ที่ชื่อ LTW-302 หลังจากนั้นกดคลิกขวา เลือก Download Wireless Device เพื่อเข้า Download เข้า WIOC1 ดังรูปที่ 3.30



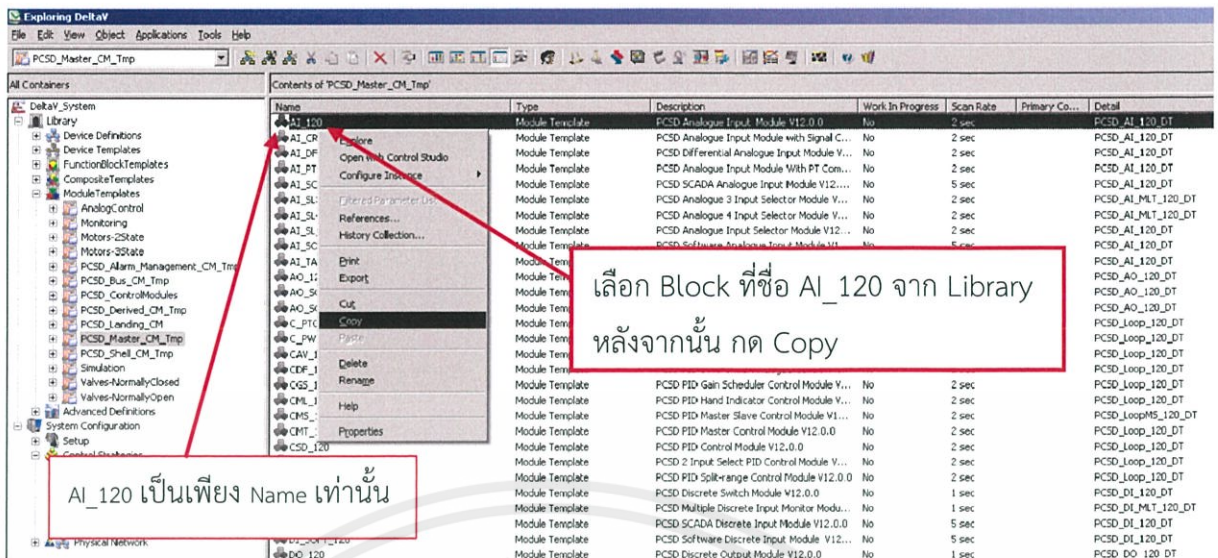
รูปที่ 3.30 แสดงถึงวิธีการนำ Wireless Device เข้า Controller

ระบบสอบถามการยืนยันการ Download Wireless Device นี้ จะ Controller ถ้าต้องการคลิกที่ Yes แต่ถ้าไม่ต้องการ คลิกที่ No ดังรูปที่ 3.31



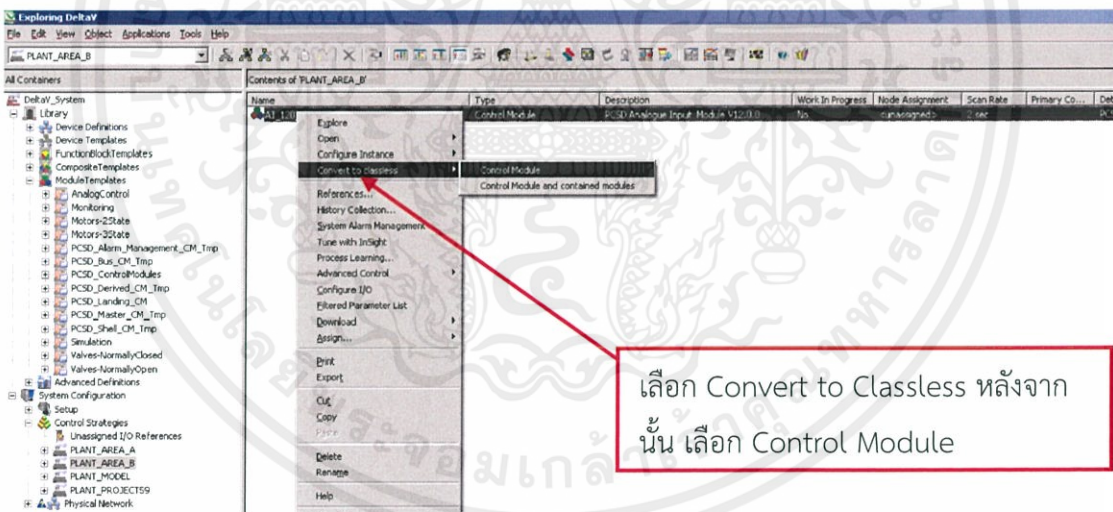
รูปที่ 3.31 แสดงการ Download Wireless Device

4. ขั้นตอนต่อไป เป็นการเขียนคำสั่งลง Controller ซึ่งตัวอย่างข้างล่างนี้ จะเขียนเพื่อรับค่าข้อมูลจาก Wireless ซึ่งการสร้าง Module ควบคุม สามารถเลือกใช้ Module จาก Library ให้เหมาะสมเพื่อเป็นตัวรับส่งค่าต่างๆจาก Wireless ในที่นี้เลือกไปยัง Library เลือก Module Templates หลังจากนั้น เลือก PCSD_Master_CM_Tmp เลือก AI_120 คลิกขวา กด Copy เพื่อนำ Module AI_120 ไปใช้ในการเขียนโปรแกรม ดังรูปที่ 3.32



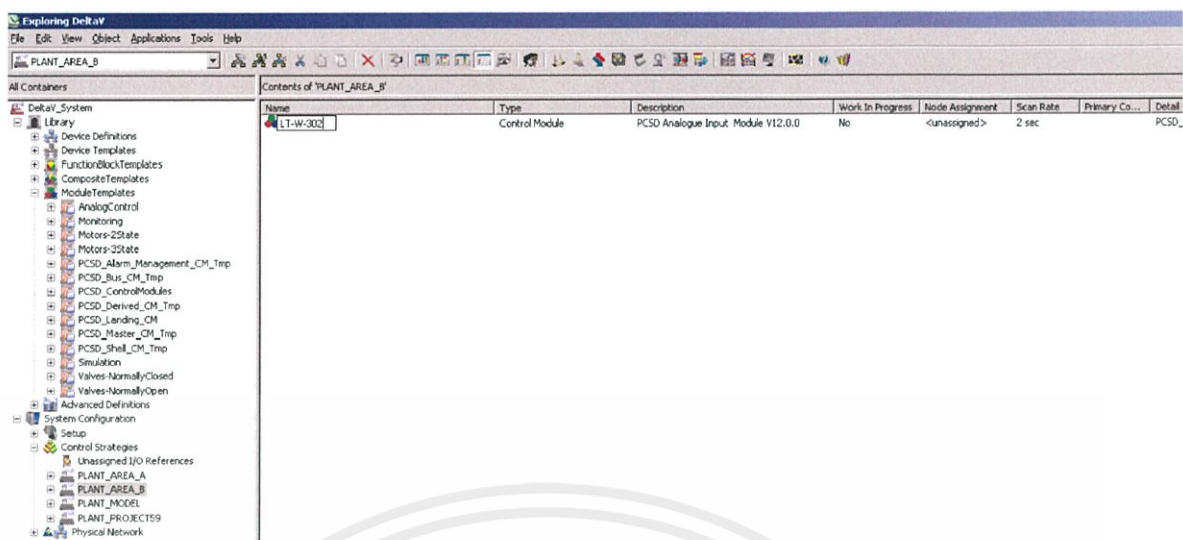
รูปที่ 3.32 แสดงการเลือกโมดูล AI_120 จาก Library

5. หลังจากนั้น จะทำการ Convert to Classless ดังรูปที่ 3.33 เพื่อแก้ไขข้อมูลใน Block สำเร็จรูปได้ ถ้าไม่ Convert to Classless จะไม่สามารถแก้ไข Block จาก Library ได้



รูปที่ 3.33 แสดงการ Convert to Classless โมดูล AI_120 เพื่อไปยัง Control Module

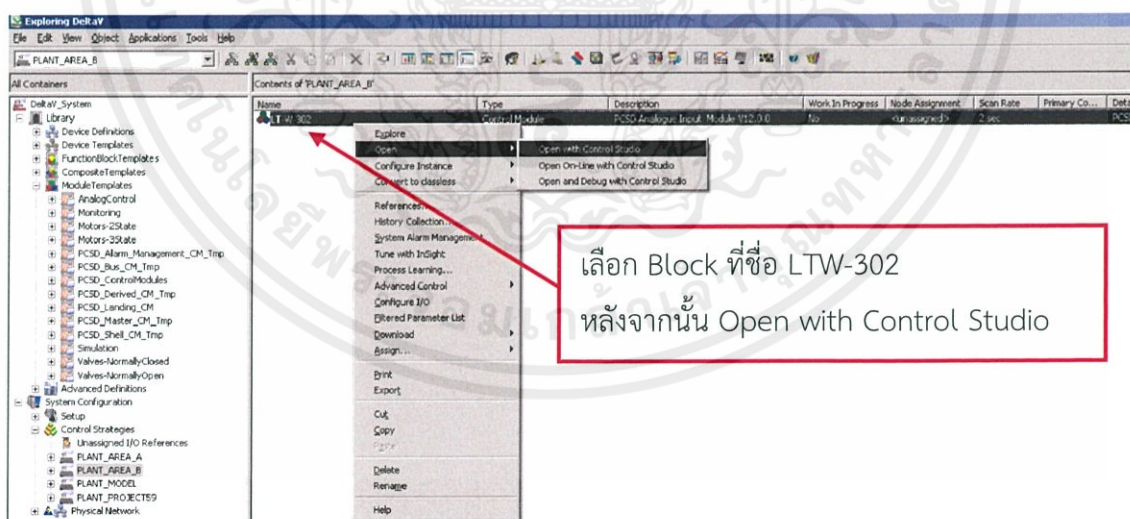
6. หลังจากนั้น ก็ทำการเปลี่ยนชื่อเพื่อให้ทราบว่า Module นี้ เป็น Module ที่ไว้ควบคุม LT-302 แบบ Wireless ดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 แสดงการเปลี่ยนชื่อ Module จาก AI_120 เป็น LTW-302

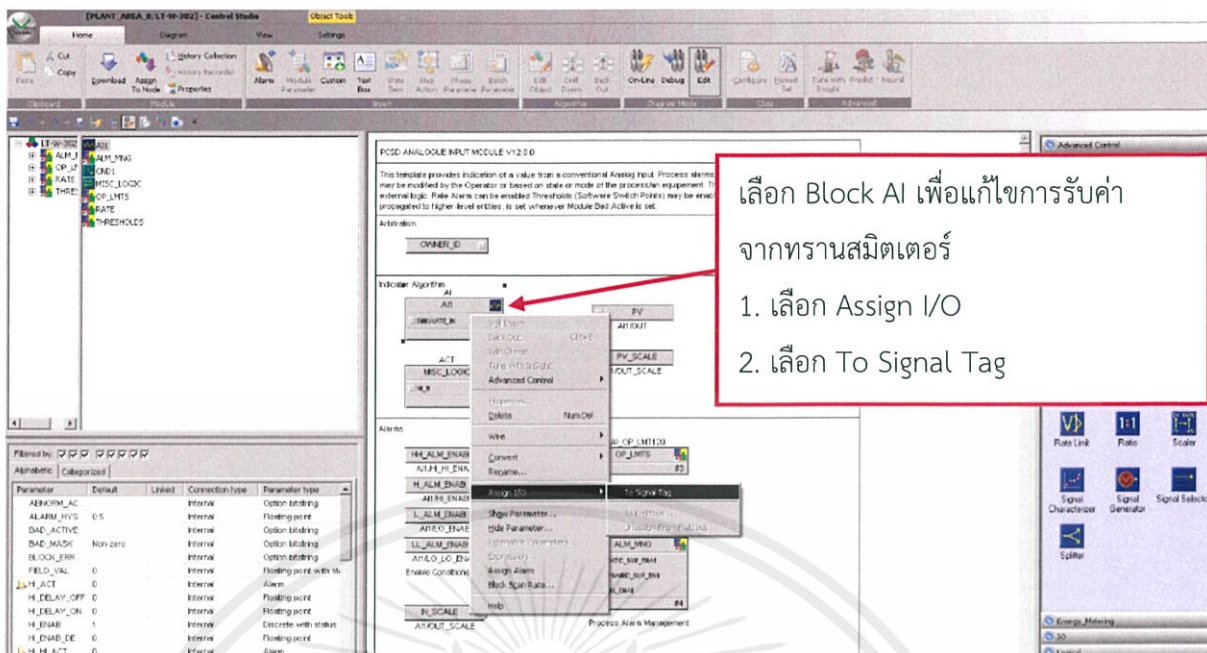
7. หลังจากเปลี่ยนชื่อแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการเขียนคำสั่งรับส่งค่าจากทรานสมิตเตอร์เพื่อนำไปใช้ในโปรแกรม DeltaV Operate เพื่อดูค่าหรือควบคุมค่าจากหน้าจอกราฟฟิก ดังรูปที่ 3.35 ถึง 3.36

คลิกขวาที่ Module LTW-302 เลือก Open ไปที่ Open with Control Studio เพื่อเข้าไปดูหรือแก้ไขคำสั่งของ Module LTW-302 ดังรูปที่ 3.34



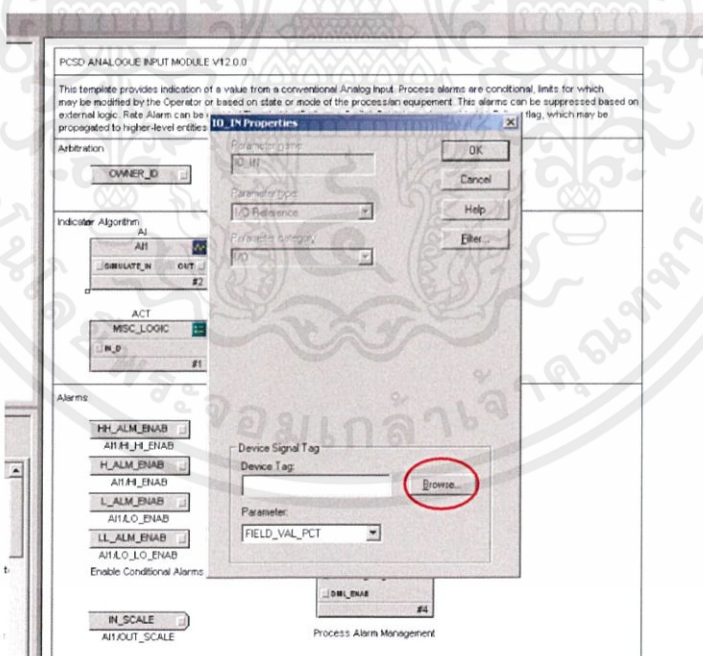
รูปที่ 3.35 แสดงการเข้า Control Studio ของ Module LTW-302

คลิกขวาที่ AI1 หลังจากนั้นเลือก Assign I/O แล้วเลือก To Signal Tag เพื่อเข้าไปดึงค่าจากทรานสมิตเตอร์มาแสดงค่าใน Block AI1 ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 แสดงการเชื่อม I/O ระหว่าง Module กับ LTW-302 (WIOC1)

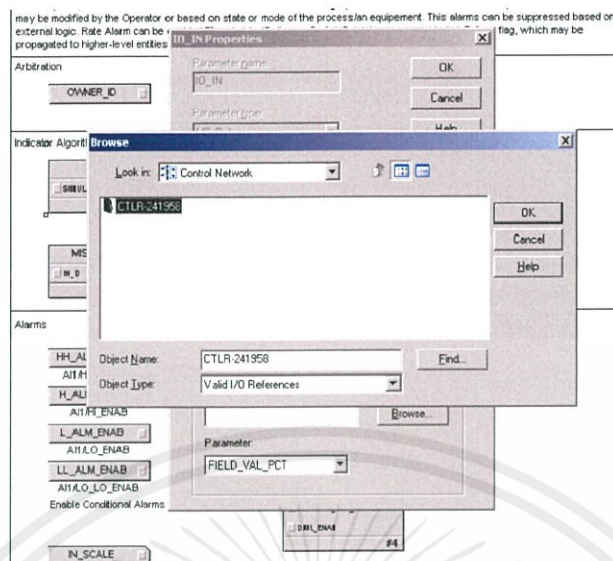
หลังจากนั้นเลือก Browse เพื่อค้นหา อุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ Wireless ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.37 แสดงถึง IO_IN Properties

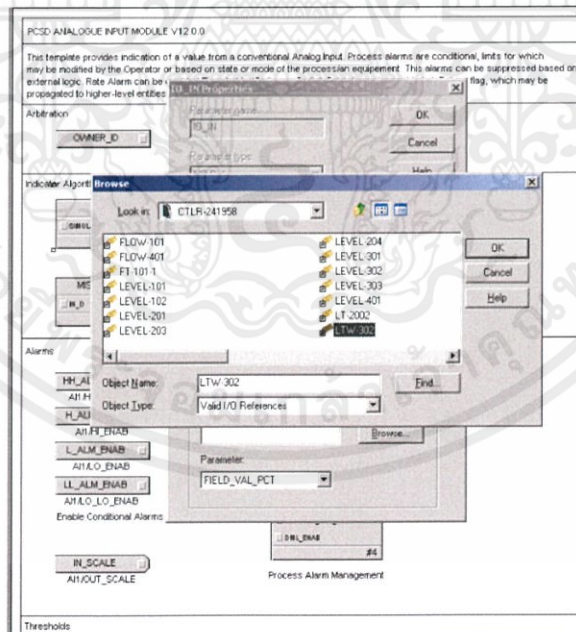
หลังจากนั้นจะไปสู่หน้าจอ Controller ที่ได้ Download Module ไว้ ดังรูปที่ 3.38 ในที่นี้เลือก CTRL-241958 คลิก OK ซึ่ง -241958 เป็นเพียงชื่อของ Controller เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.38 แสดงถึงการค้นหาอุปกรณ์ที่จะส่งค่าไปยัง Module AI

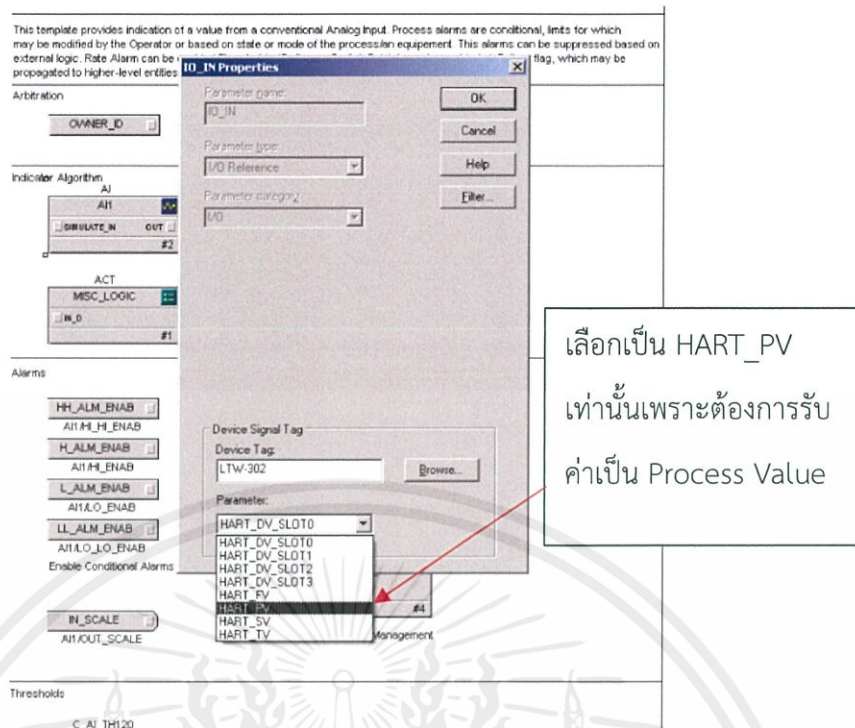
หลังจากนั้นเลือกตัวทรานสมิตเตอร์ที่ต้องการรับค่า ในที่นี้ต้องการรับค่าจาก Transmitter LT-302 แบบ Wireless จึงเลือก LTW-302 ดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 แสดงถึงการ Configuration เลือก LTW-302

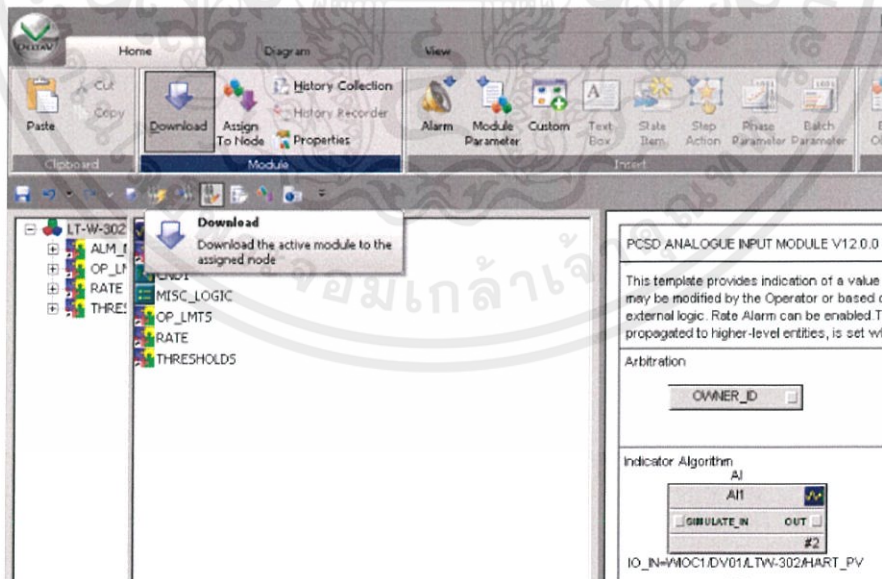
ในที่นี้ต้องการรับค่าเป็นข้อมูลปัจจุบันที่ทรานสมิตเตอร์อ่านค่าได้ จึงเลือกรับค่าเป็น Process Value ดังรูป 3.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.40 แสดงถึงการ Configuration เลือก Parameter เป็น HART_PV

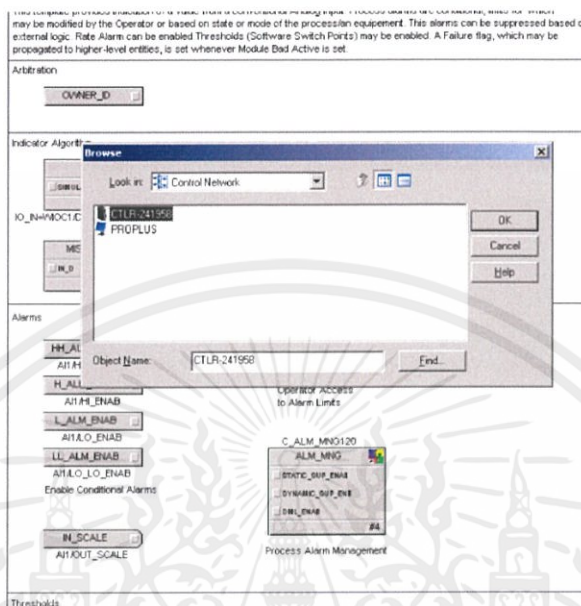
กดคลิกซ้ายที่ Download เพื่อ Download Module LTW-302 เข้าสู่ Controller เพื่อใช้ในการควบคุมผ่านหน้าจอรภาพฟิก



รูปที่ 3.41 แสดงถึงวิธีการ Download Control Studio

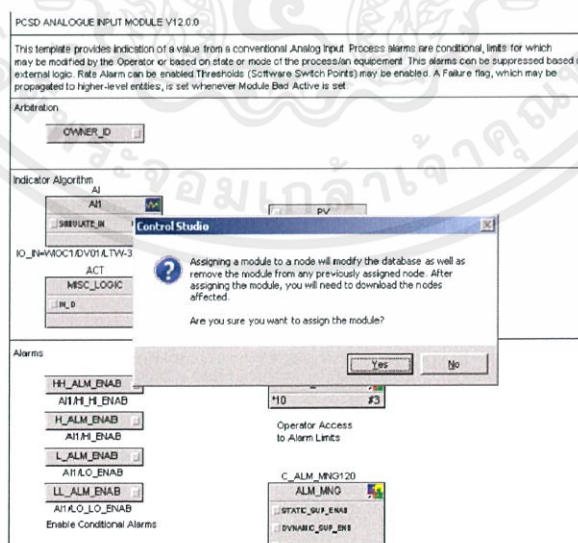
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือก Controller ที่ต้องการ Download Module LTW-302 เข้าไป ในที่นี้เลือก CTRL-241958 ถ้า Download ลง PROPLUS จะเป็นการ Download ลงเครื่อง แต่ถ้า Download ลง CTRL-241958 จะเป็นการ Download ลง Controller ดังรูปที่ 3.42



รูปที่ 3.42 แสดงถึงตัวเลือกของการ Download

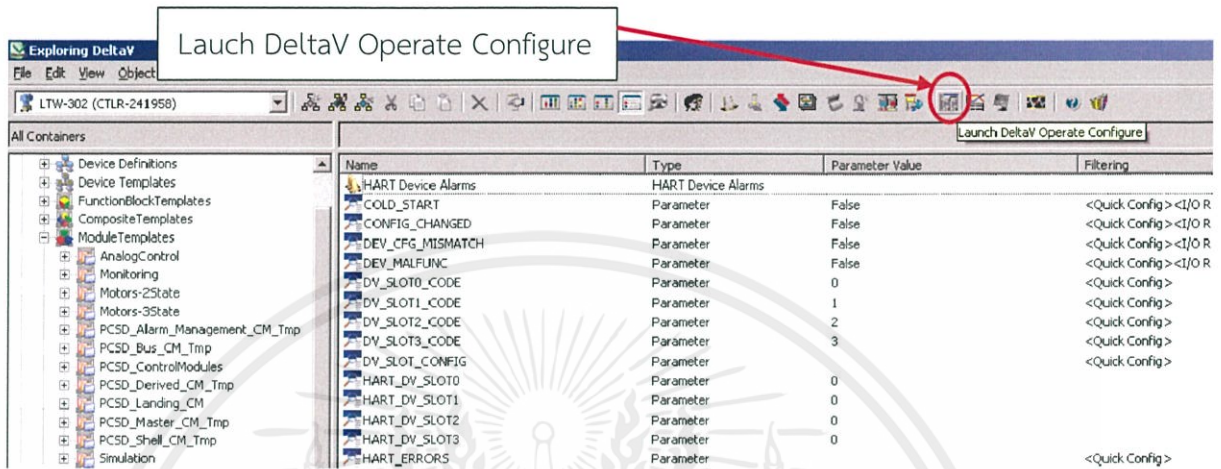
หลังจากนั้นระบบจะสอบถามความต้องการในการ Download Module LTW-302 ถ้าต้องการเลือก Yes เพื่อยืนยัน การ Assign ของ Module LTW-302 ดังรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43 แสดงถึงการ Download Control Studio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

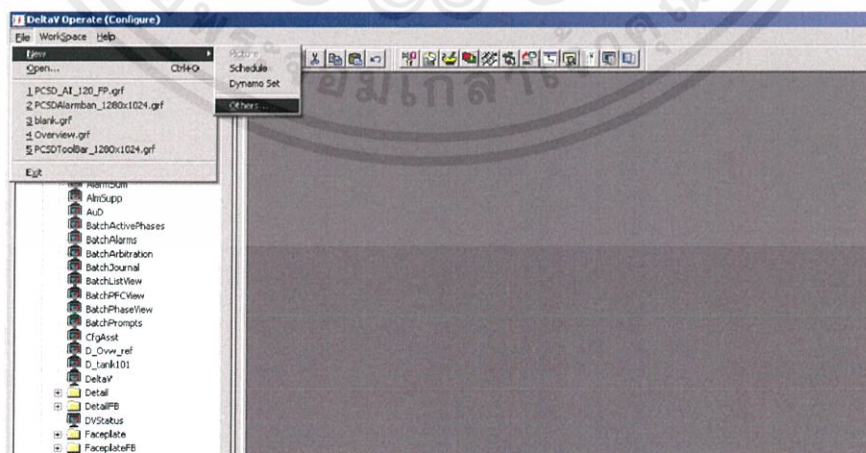
8. หลังจากที่ได้ทำการรับค่าจากทรานสมิตเตอร์ ไปที่ Module LTW-302 แล้ว ขั้นตอนต่อไป เป็นการแสดงค่าที่รับมาจากทรานสมิตเตอร์ไปยังหน้าจอแสดงผล เลือก Launch DeltaV Operate Configure ใน Exploring DeltaV ซึ่งโปรแกรมนี้ เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแสดงค่าต่างๆผ่านกราฟฟิก เพื่อควบคุมกระบวนการต่างๆ ตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.44 แสดงถึง Launch DeltaV Operate Configure

9. โปรแกรม DeltaV Operate (Configure) เป็นโปรแกรมสำหรับการเขียนหน้าจอกราฟฟิก เพื่อใช้ Operate กระบวนการต่างๆ จะมีรูปแบบให้เลือกหลากหลายรูปแบบ รวมถึงตัวอุปกรณ์ไม่ว่าจะเป็น Pump Pipe ต่างๆ รวมถึง ตัวแสดงผลของค่าเป็นรูปแบบของ Bargraph หรือ จะเป็นการแสดงผลเป็นตัวเลข ซึ่งการสร้างหน้าจอกราฟฟิก จะอธิบาย ดังรูปที่ 3.45 ถึง รูปที่ 3.64

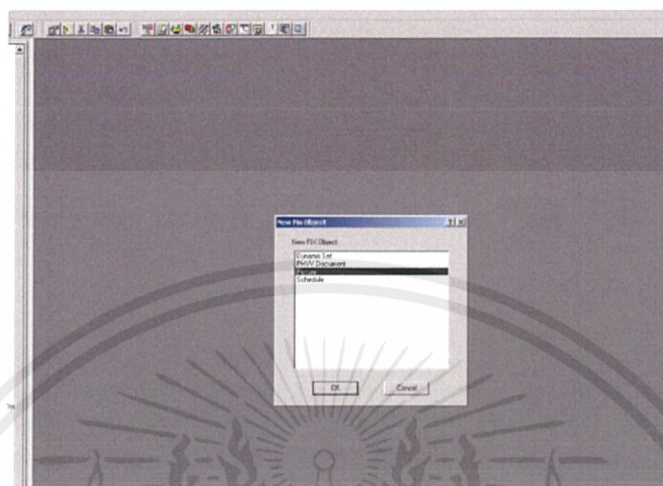
หลังจากเปิดโปรแกรมแล้ว ไปที่ File หลังจากนั้นเลือก New เพื่อสร้างจอกราฟฟิก หลังจากนั้นไปที่ Others เพราะต้องการสร้างกราฟฟิกจากรูปภาพ ดังรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 แสดงถึงการสร้างไฟล์หน้าจอกราฟฟิก DeltaV Operate Configure

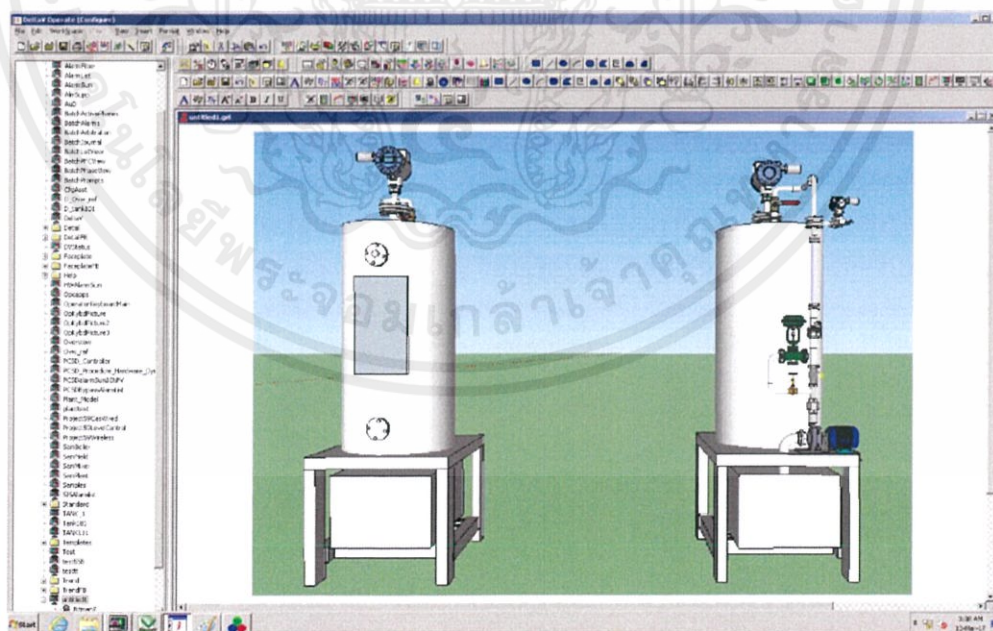
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นเลือก Picture เพื่อทำการ Upload รูปภาพ มาเป็น Background ของจอกราฟฟิก ที่ใช้ในการ Operate ดังรูปที่ 3.46



รูปที่ 3.46 แสดงถึงการสร้างรูปแบบของหน้าจอกกราฟฟิก

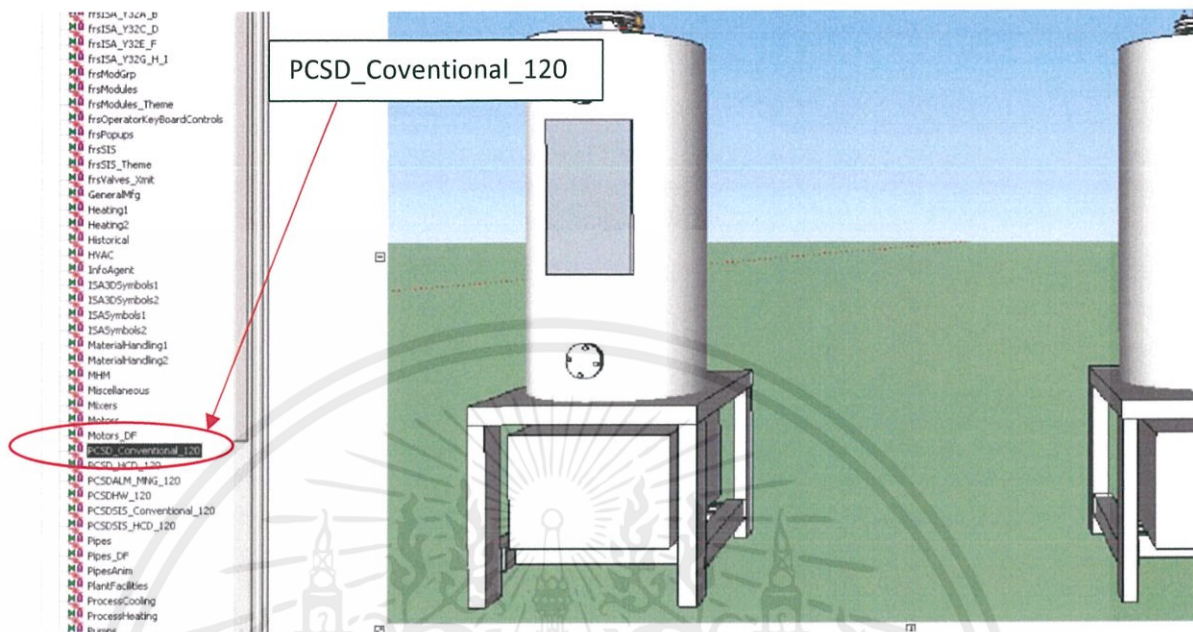
หลังจาก Upload มาแล้ว จะได้ภาพดังรูปที่ 3.47 ซึ่งในตัวอย่างนี้เป็นภาพเสมือน ที่ใช้โปรแกรม SketchUp ในการวาด



รูปที่ 3.47 แสดงภาพกราฟฟิกหลังจากการ Upload

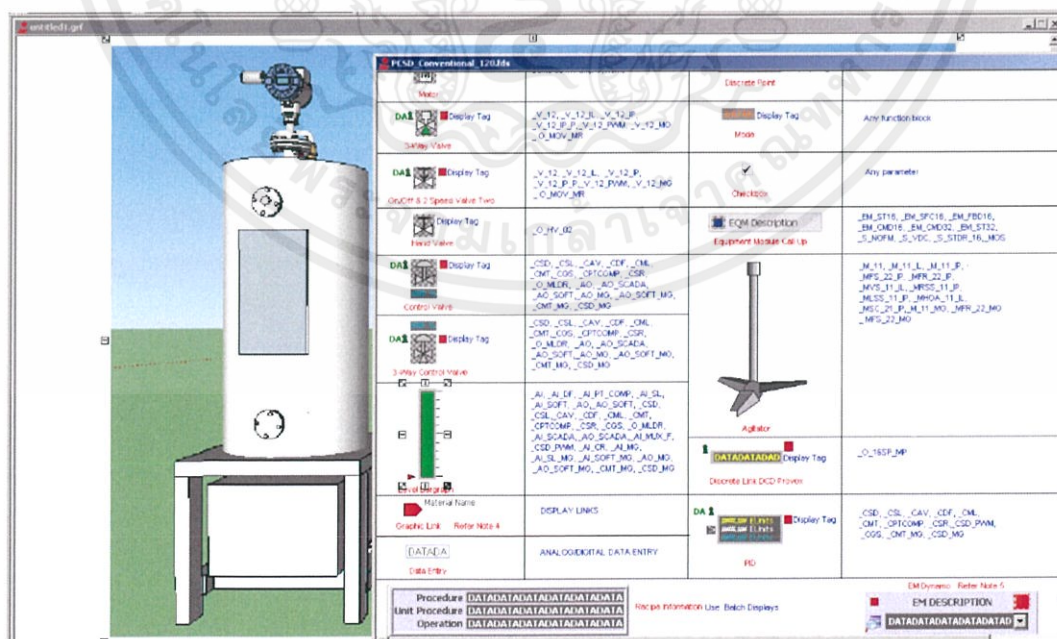
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนต่อไปคือการหาตัวแสดงผลที่แสดงระดับของน้ำตามค่า Process Value ของปัจจุบัน
 ในที่นี้เลือก Picture แล้วเลือก PCSD_Coventional_120 ดังรูป 3.48



รูปที่ 3.48 แสดงถึงตัวเลือกของตัวแสดงผล

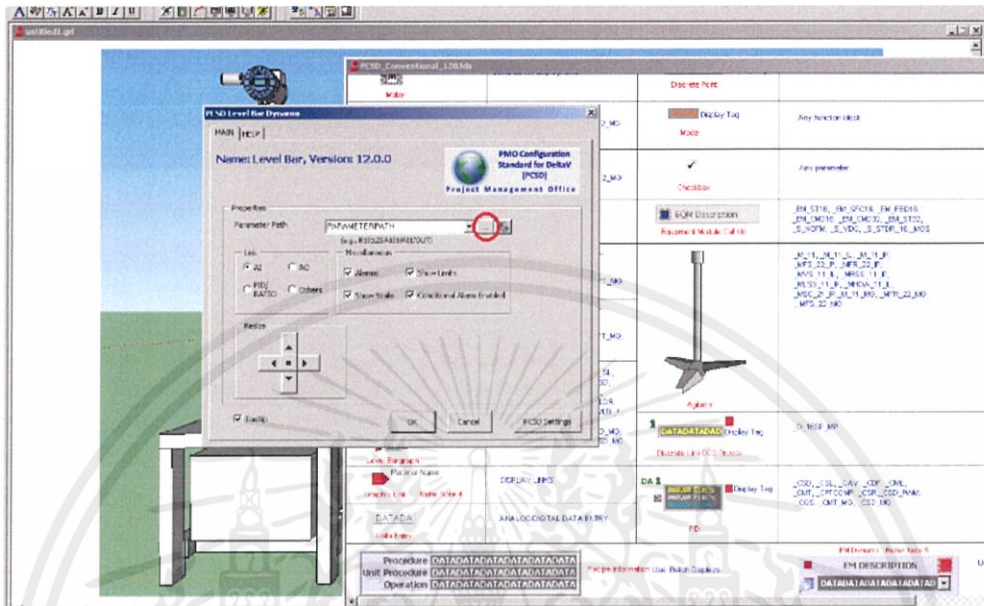
หลังจากนั้น จะมีแถบหน้าต่างดังรูปที่ 3.49 ซึ่งเป็นตัวเลือกการแสดงผลของหน้าจอกราฟฟิก
 ในที่นี้เลือก Level Bargraph เพื่อแสดง Level



รูปที่ 3.49 แสดงตัวเลือกของ PCSD_Coventional_120

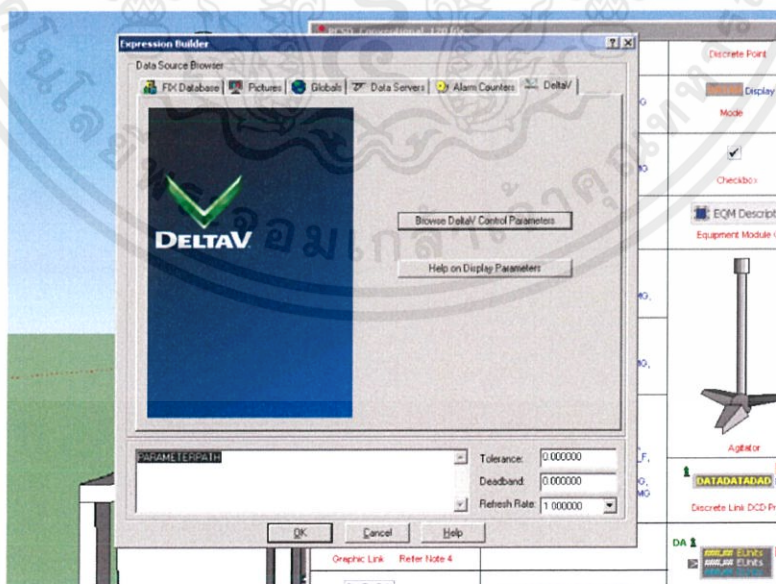
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้น ทำการค้นหาตำแหน่งของ Module ที่จะเชื่อมต่อกับ Level Bargraph ให้มีค่า
 ชนลง ตามระดับน้ำที่วัดได้ของ Transmitter คลิกซ้ายที่วงกลมสีแดง ดังรูปที่ 3.50



รูปที่ 3.50 แสดงถึง Level Bargraph

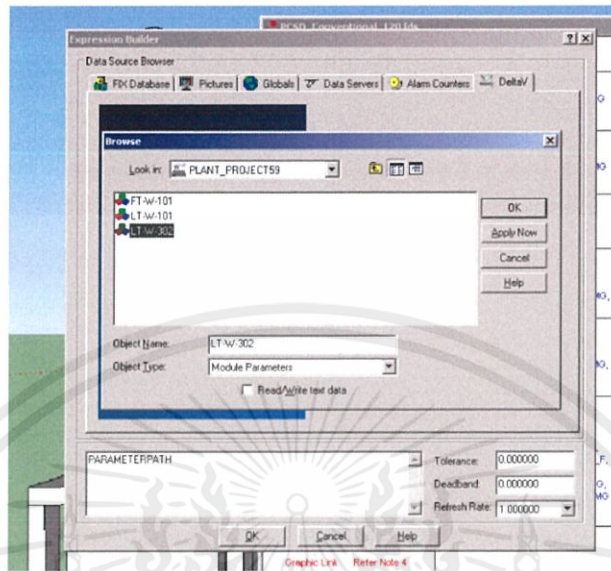
เลือก Browse DeltaV Control Parameters เพื่อค้นหา Module ที่ต้องการจะเชื่อมกับ
 Bargraph ดังรูปที่ 3.51



รูปที่ 3.51 แสดงถึง Expression Builder

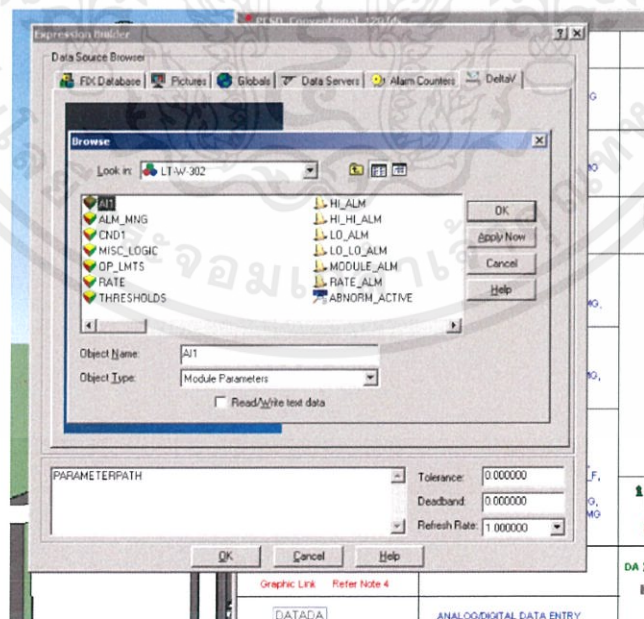
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือก LTW-302 เนื่องจากต้องการแสดงการอ่านค่าระดับน้ำของอุปกรณ์ DP Balanced System (LTW-302) ดังรูป 3.52



รูปที่ 3.52 แสดงถึงการค้นหา Module ที่รับค่าเพื่อแสดงค่าผ่านทาง Bargraph

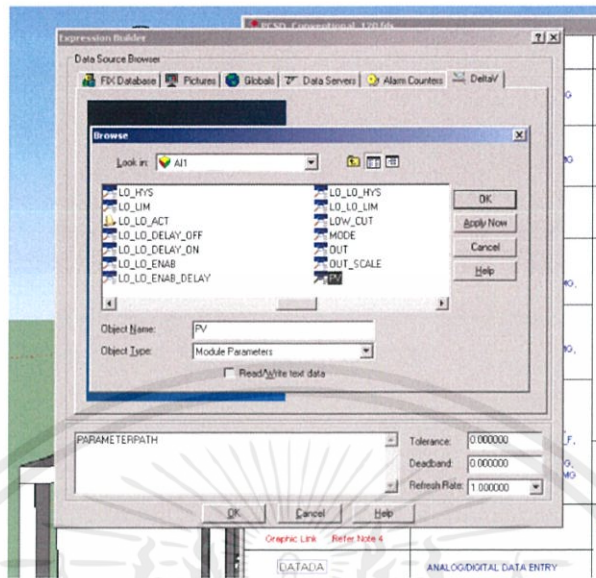
หลังจากนั้นเลือก AI1 เพื่อรับค่าข้อมูลที่อ่านได้จาก Transmitter LT-302 แบบ Wireless ดังรูปที่ 3.53



รูปที่ 3.53 แสดงถึง Browse DeltaV Control Parameters

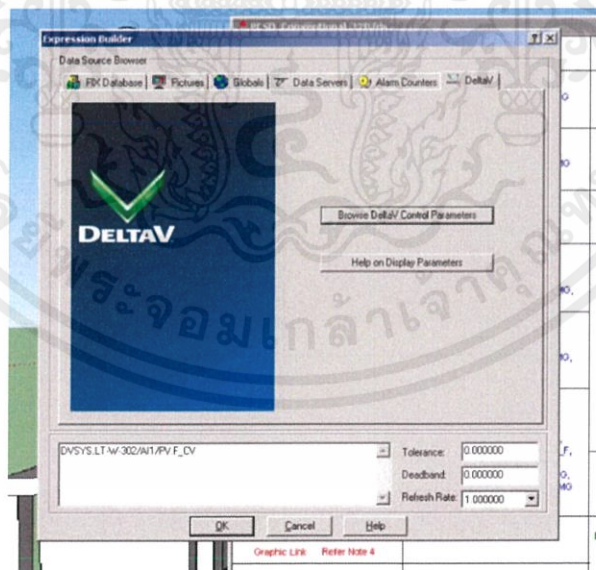
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากต้องการรับค่าปัจจุบันที่ ทรานสมิตเตอร์อ่านค่าได้ จึงเลือก PV



รูปที่ 3.54 แสดงถึง Browse DeltaV Control Parameters

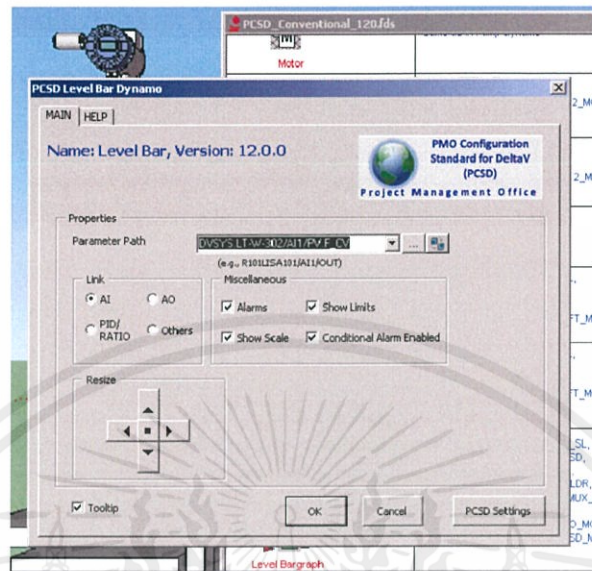
หลังจากเสร็จสิ้นการเลือก จะได้ตำแหน่งของ Module คือ DVSYS.LTW-302/AI1/PV.F_CV เลือก OK เพื่อยืนยันการเชื่อมต่อต่อค่า Module ที่เลือกไว้ ดังรูปที่ 3.55



รูปที่ 3.55 แสดงถึงข้อมูลที่ได้เชื่อมต่อไปยัง Bargraph

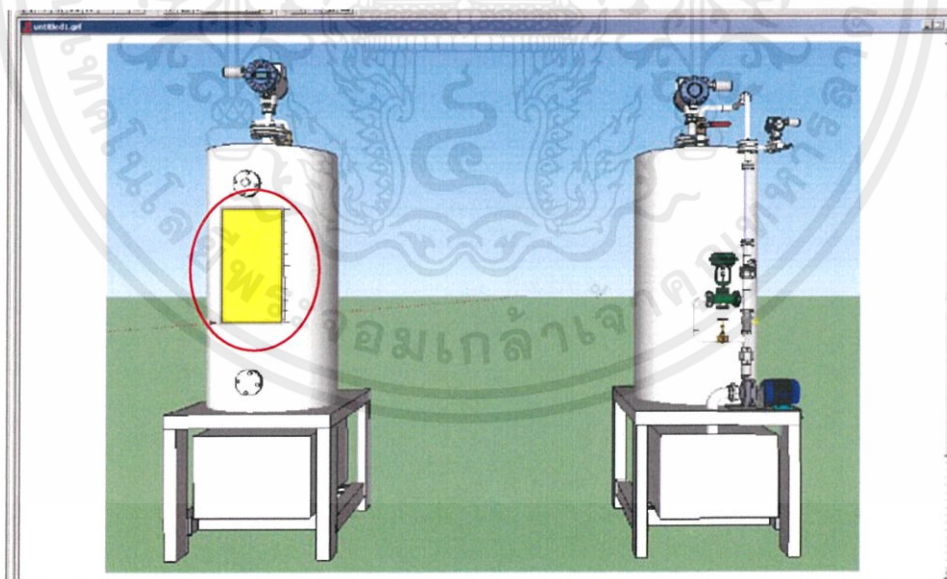
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่เรากดยืนยัน ข้อมูลที่เชื่อมต่อไปยัง Bargraph จะแสดง Parameter Path คือ DVSYSLTW-302/AI1/PCF_CV เลือก OK เพื่อยืนยันการรับค่า ดังรูปที่ 3.56



รูปที่ 3.56 แสดงหน้าจอปรับแก้ Level Bargraph

หลังจากนั้น การรับค่าจากทรานสมิตเตอร์จะแสดงผลผ่าน Bargraph ดังรูปที่ 3.57

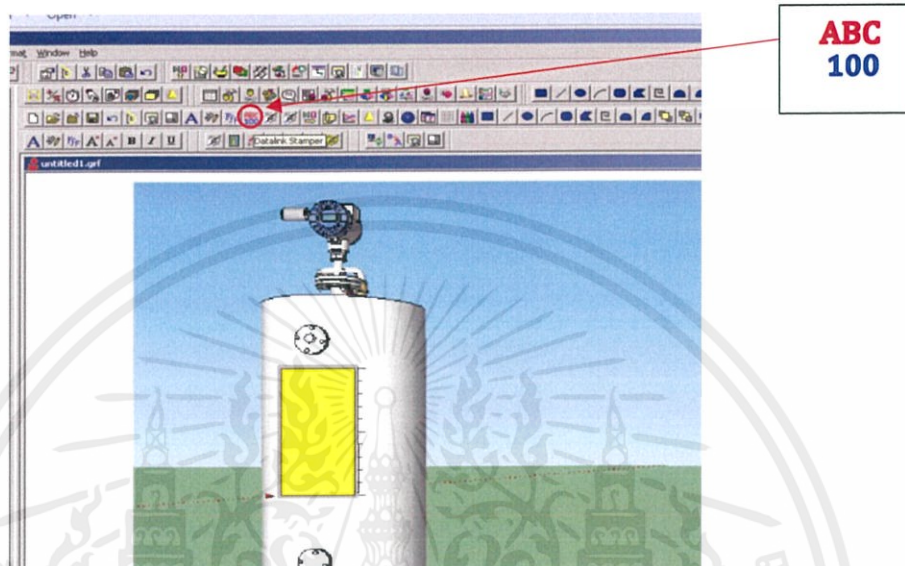


รูปที่ 3.57 แสดง Level Bargraph ในรูป กราฟฟิกที่เราเลือกไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

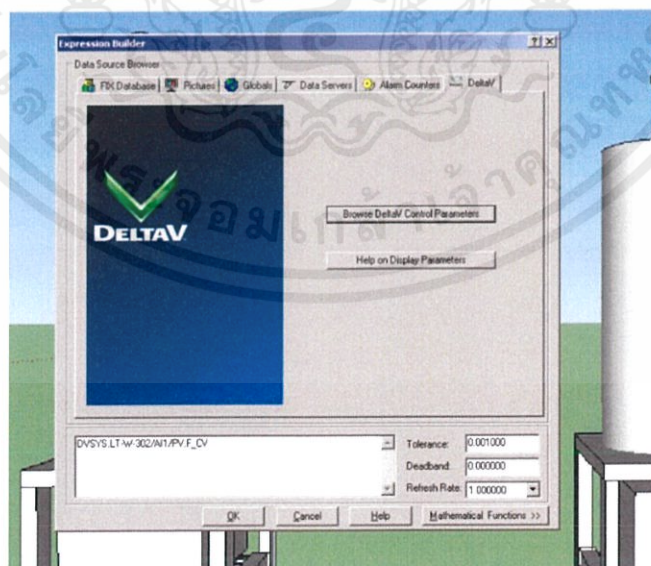
หลังจากที่ได้ Bargraph เป็นตัวเลือกในการแสดงผลรูปแบบหนึ่ง ก็ต้องสร้างตัวแสดงผลเป็นตัวเลขขึ้นมาด้วย เพื่อได้ทราบว่า Bargraph ที่แสดงผลอยู่ มีค่าที่แน่นอนเท่าไร ซึ่งขั้นตอนการสร้างตัวแสดงผลแบบเป็นตัวเลข อธิบายดังรูปที่ 3.58 ถึง รูปที่ 3.61

เลือก **ABC**
100 เพื่อเชื่อมข้อมูลที่ส่งค่ามาเป็นตัวเลข



รูปที่ 3.58 แสดงการเลือก Datalink Stamper

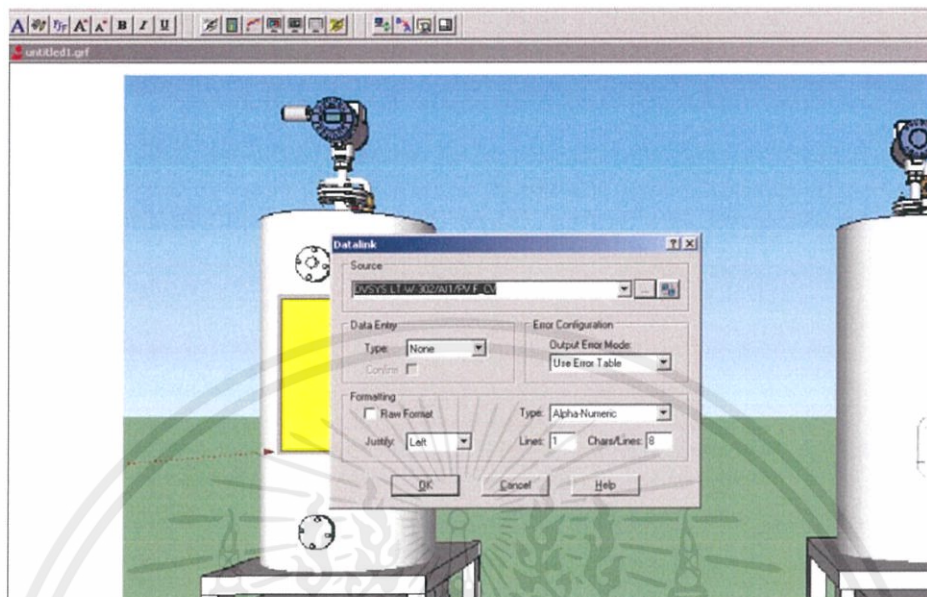
หลังจากนั้นค้นหา Module ที่ต้องการจะเชื่อม ทำเช่นเดียวกันกับการเชื่อมต่อ Module ของ Bargraph ดังรูป 3.59



รูปที่ 3.59 แสดง Expression Builder

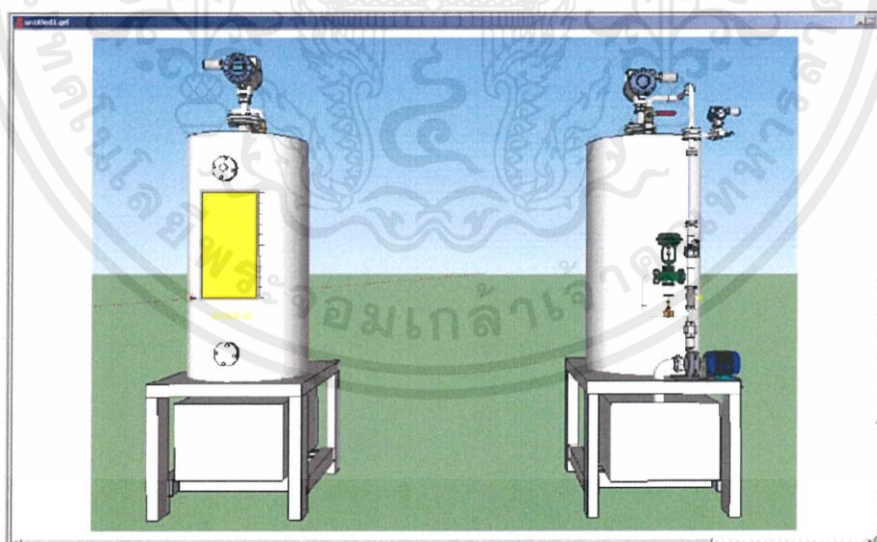
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากเสร็จสิ้นการเลือก จะได้ตำแหน่งของ Module คือ DVSY.S.LTW-302/A1/PV.F_CV
เลือก OK เพื่อยืนยันการเชื่อมต่อต่อค่า Module ที่เลือกไว้ ดังรูปที่ 3.60



รูปที่ 3.60 แสดงถึง Datalink

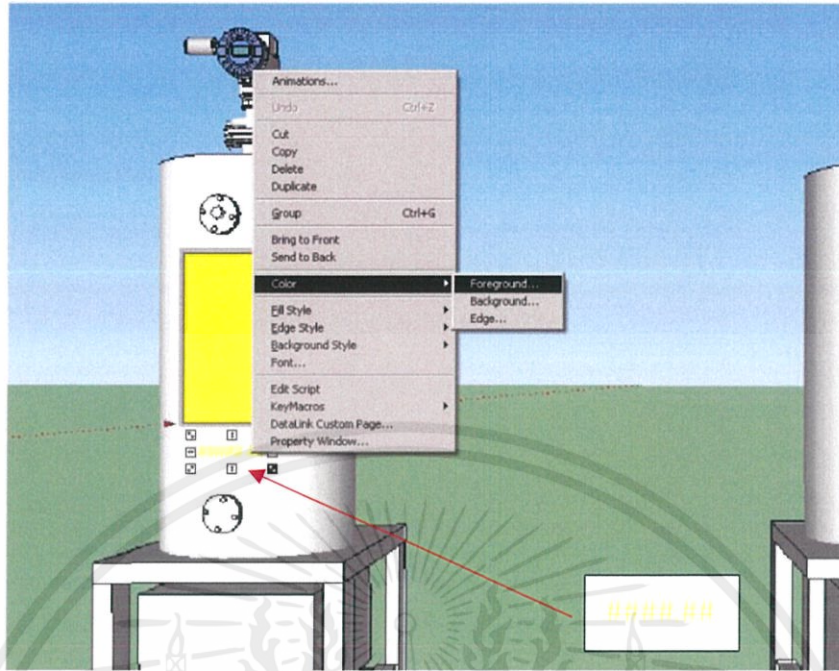
หลังจาก กด OK ค่าที่จะแสดงผลแสดงเป็น ##### ซึ่งเมื่อ RUN กระบวนการ ค่า
จะแสดงผลเป็นตัวเลข ดังรูปที่ 3.61



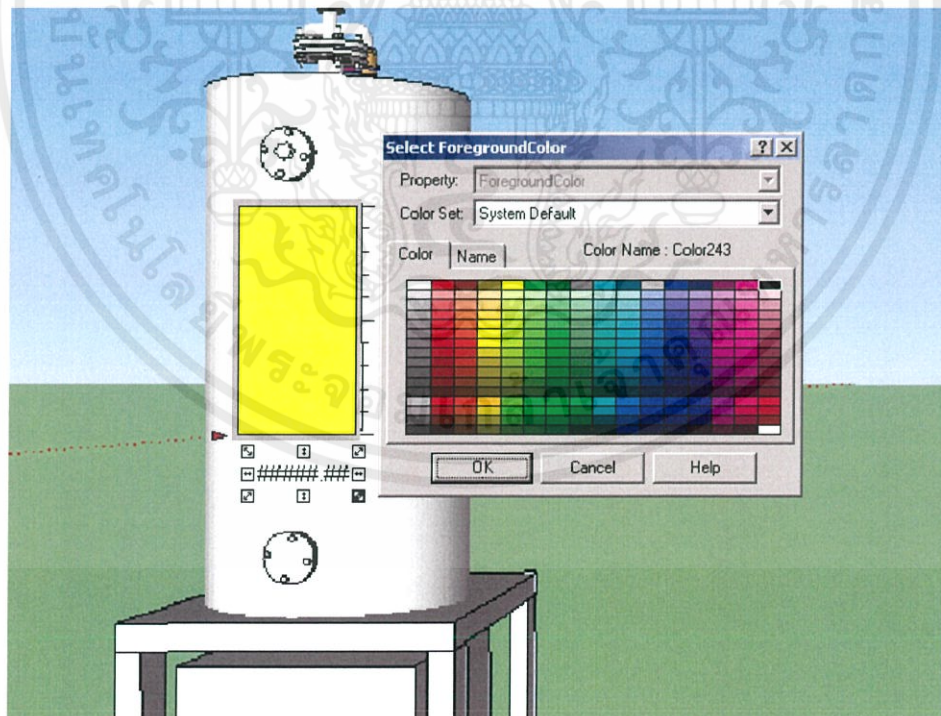
รูปที่ 3.61 แสดงถึงกราฟฟิคค่าที่เป็น #####

ขั้นตอนต่อไปเป็นการเปลี่ยนสีตัวแสดงผลเป็นค่าตัวเลข เพื่อให้เห็นชัด สะดวกต่อการอ่านค่า
เริ่มแรกคลิกขวาที่ ##### เลือก Color และไปที่ Foreground ดังรูป 3.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



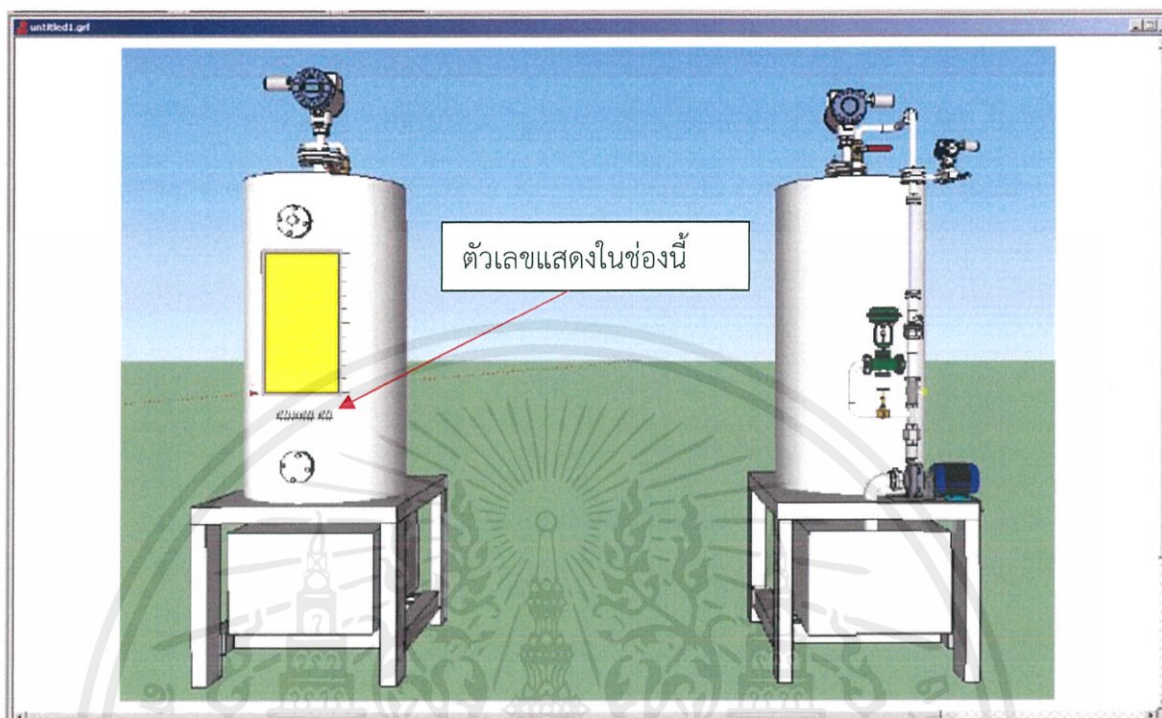
รูปที่ 3.62 แสดงถึงการเปลี่ยนสีค่าแสดงระดับที่วัดได้จาก LTW-302 ตัวเลือกของสีที่สามารถเปลี่ยนไปใช้งานได้ แสดงในตาราง ดังรูป 3.63



รูปที่ 3.63 แสดงถึงการเปลี่ยนสีค่าแสดงระดับที่วัดได้จาก LTW-302 เลือกค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพกราฟฟิกรูปที่สมบูรณ์ ที่พร้อมจะแสดงค่าผ่านทาง Bargraph และมีตัวเลขแสดงค่าของระดับน้ำ ดังรูปที่ 3.64



รูปที่ 3.64 กราฟฟิกรูปที่สมบูรณ์พร้อมเริ่มกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของอุปกรณ์วัดระดับว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่
2. เพื่อศึกษาการควบคุมอุปกรณ์การวัดระดับผ่านอุปกรณ์ HART และ WirelessHART
3. เพื่อศึกษาการออกแบบกระบวนการควบคุม (Process Control)
4. เพื่อศึกษาการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อควบคุมระดับให้เป็นไปตามต้องการและใช้เวลาน้อยที่สุด
5. เพื่อศึกษาว่าการควบคุมกระบวนการวัดระดับน้ำ นั้นสามารถใช้ WirelessHART แทน HART ได้หรือไม่

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ถังบรรจุน้ำ และ Storage
2. อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ 3051 DP Balance System ทั้งแบบ Wireless และ Wire
3. อุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหล Rosemount 3051SF DP Flow meter
4. อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล Fisher GX Control Valve (Final Element in Process)
5. DCS DeltaV

4.3 วิธีการทดลอง แบ่งออกเป็น 3 กรณี

กรณีที่ 1 ทดลองแบบ Single Loop Level คือ การควบคุมระดับน้ำโดยไม่ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหล Rosemount 3051SF DP Flowmeters ใน Control Loop โดยให้อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ 3051 DP Balance System สั่งการไปที่ อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล Fisher GX Control Valves (Final Element in Process) โดยตรง และดูผลการทดลองว่าสามารถควบคุมน้ำให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ภายในเวลาเท่าไรเพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสม แต่สำหรับค่าของ PID Controller (SL-Level) ที่โปรแกรม DCS DeltaV นั้นกำหนดเริ่มแรกคือ $P = 1$, $I = 85$ และ $D = 0$ ซึ่งค่าที่ได้นั้นมาจาก Controller ซึ่งได้มาจากการลองผิดลองถูก

กรณีที่ 2 ทดลองแบบ Cascade Control คือการควบคุมระดับน้ำโดยการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดระดับและอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหลในการ Control Loop โดยให้อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ 3051 DP Balance System เป็น Master และอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหล Rosemount 3051SF DP Flowmeters เป็น Slave เพื่อควบคุม อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล Fisher GX Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Valves (Final Element in Process) และดูผลการทดลองว่าสามารถควบคุมน้ำให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ภายในเวลาเท่าไร เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสม แต่สำหรับค่าของ PID Controller (LIC-001) ที่โปรแกรม DCS DeltaV นั้นกำหนดเริ่มแรกคือ $P=1$, $I=85$ และ $D=0$ และค่าของ PID Controller (FIC-001) คือ $P=3$, $I=85$ $D=0$ ซึ่งค่าที่ได้้นั้นมาจาก Controller ซึ่งได้มาจากการลองผิดลองถูก

กรณีที่ 3 คำนวณค่า PID และทดลองแบบ Cascade Control หลังจากให้นำค่า PID ที่ได้จากการคำนวณ ไปควบคุมกระบวนการ คือ กำหนดให้อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ 3051 DP Balance System เป็น Master และอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหล Rosemount 3051SF DP Flowmeters เป็น Slave เพื่อควบคุม อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล Fisher GX Control Valves (Final Element in Process) และดูผลการทดลองว่าสามารถควบคุมน้ำให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ ภายในเวลาเท่าไร เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสม โดยวิธีการคำนวณหาค่า PID ที่เหมาะสมได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.5 และสามารถทำตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น

หมายเหตุ:- การทดลองในกรณีที่ 1 และ 2 นั้นจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองคือ แบบ HART และแบบ WirelessHART เพื่อสังเกตความแตกต่างระหว่างการควบคุมแบบใช้สายและไร้สาย ว่าผลการทดลองนั้นแตกต่างกันอย่างไร

การทดลองในกรณีที่ 3 ได้ทำการทดลองแบบไร้สายเพียงอย่างเดียวเนื่องจากปริญญานิพนธ์ฉบับได้นี้ทำได้กล่าวถึงการควบคุมแบบไร้สาย

4.3.1 การทดลองที่ 1 (กรณีที่ 1)

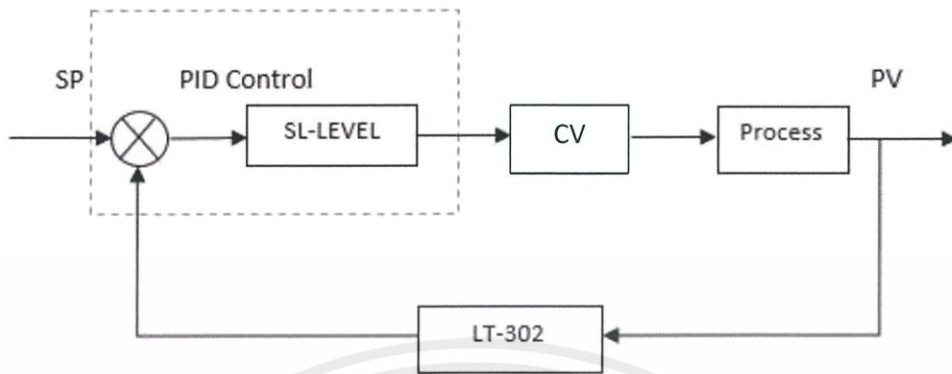
การทดลองนี้กำหนดให้มีการควบคุมระดับโดยใช้ Level-Transmitter แบบมีสาย และค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้เกิดจากการลองผิดลองถูกเพื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกระบวนการ หลังจากปรับจูนค่าพารามิเตอร์ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไรและแบบไหนส่งผลที่ดีและเหมาะสมในการนำไปใช้ควบคุม

ขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนกราฟฟิกเพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการผ่านจอมอนิเตอร์ได้โดยใช้โปรแกรม DCS DeltaV
2. ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเข้ากับกราฟฟิกเพื่อให้อุปกรณ์สามารถรับคำสั่งจากมอนิเตอร์ได้โดยผ่านตัว Controller
3. ตั้งค่า Set Point และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมลงใน Level Controller และ Flow Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

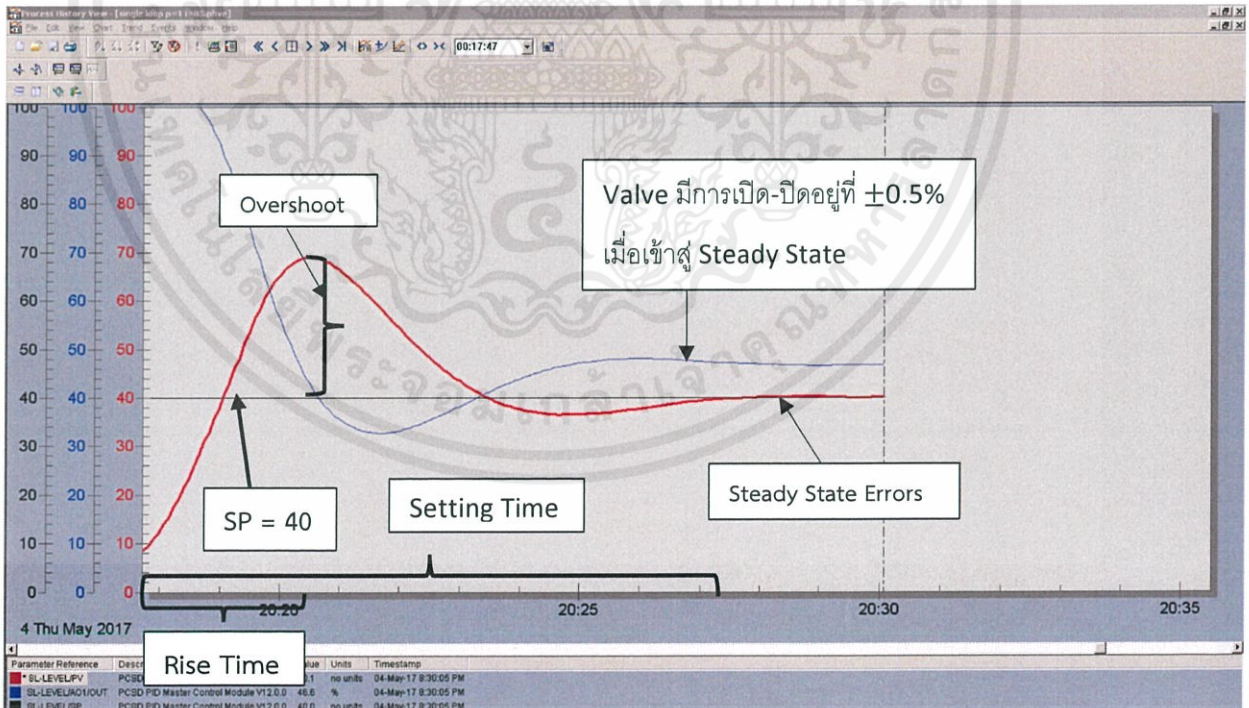
4. สั่งให้ปั๊มน้ำทำงานและรอให้กระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point
5. บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดง Block Diagram ของ Single Loop Level Control (HART)

โดยใช้ Level-Transmitter แบบมีสาย เพื่อแสดงให้เห็นถึงกระบวนการเข้าสู่ Set Point ก่อนปรับค่าพารามิเตอร์

SL-LEVEL (SP=40 ค่า P=1 I=85 D=0) ใช้ค่าพารามิเตอร์นี้จากการลองผิดลองถูก



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดลอง Single Loop Level Control (HART)

โดยใช้ Level-Transmitter แบบมีสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

- สีแดง คือ ค่า PV (Process Value) —
- สีดำ คือ ค่า SP (Set Point) —
- สีฟ้า คือ ค่า CV (Control Value) —

ผลการทดลองจากกราฟ

สรุปได้ว่าใช้เวลา Setting time ประมาณ 13 นาที

ค่าพารามิเตอร์คือ $P=1$ $I=85$ $D=0$

Rise Time ใช้เวลา 4 นาที

Steady State Errors $\pm 0.3\%$

Overshoot 29%

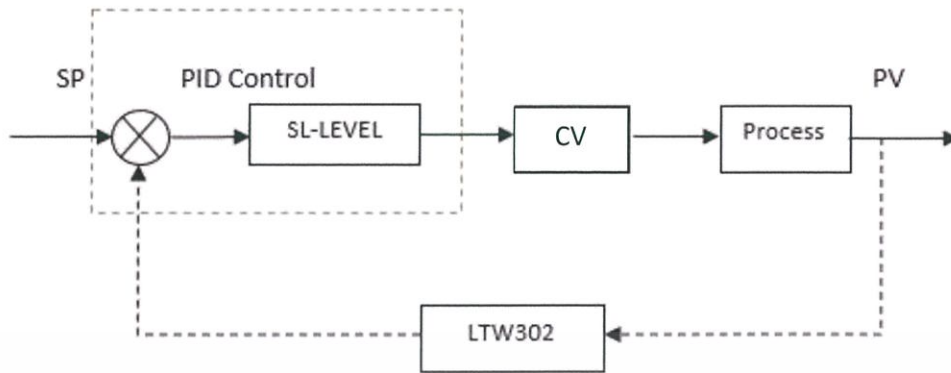
Valve เปิดเมื่อเข้าสู่จุดสมดุลที่ $46\% \pm 0.5\%$ และใช้เวลา 10 นาที ในการเข้าสู่จุดสมดุล

4.3.2 การทดลองที่ 2 (กรณีที่ 1)

การทดลองนี้กำหนดให้มีการควบคุมระดับโดยใช้ Level-Transmitter แบบไร้สาย และค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้เกิดจากการลองผิดลองถูก เพื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกระบวนการหลังจากปรับจูนค่าพารามิเตอร์ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร และแบบไหนส่งผลที่ดีและเหมาะสมในการนำไปใช้ควบคุม

ขั้นตอนการทดลอง

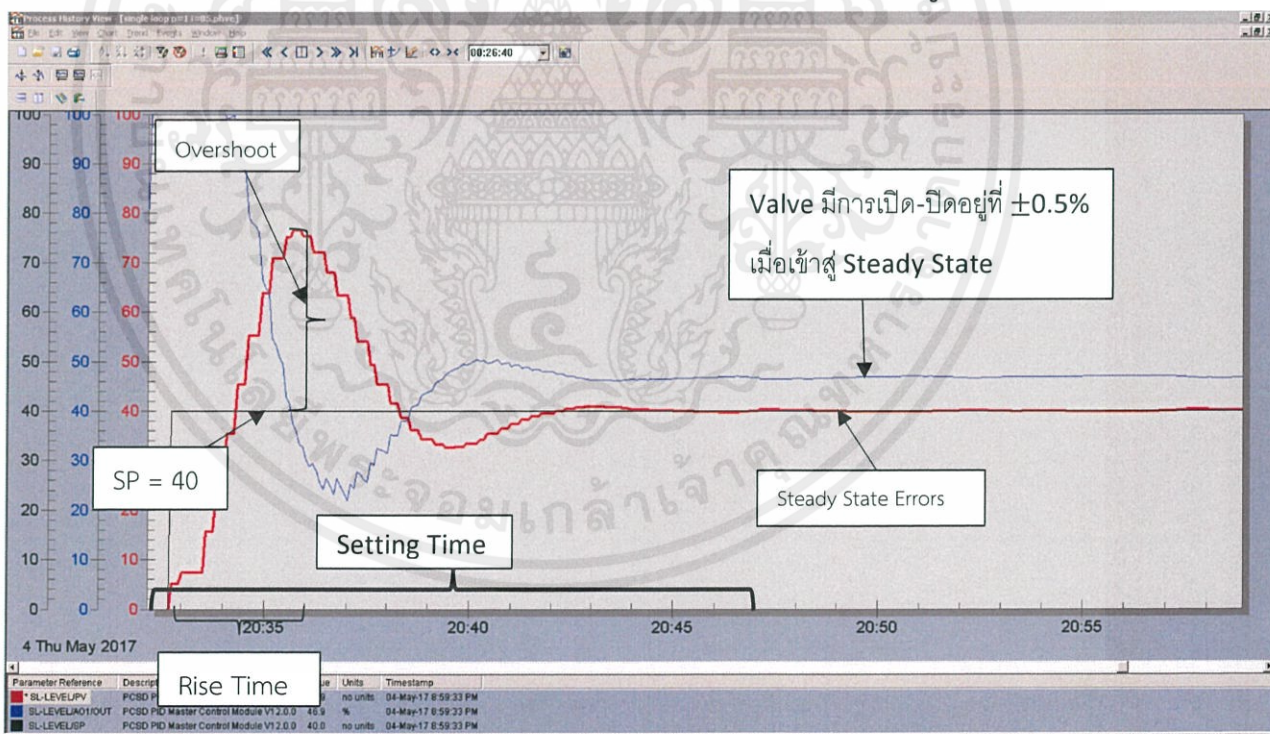
1. เขียนกราฟฟิคเพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการผ่านจอมอนิเตอร์ได้โดยใช้โปรแกรม DCS DeltaV
2. ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเข้ากับกราฟฟิคเพื่อให้อุปกรณ์สามารถรับคำสั่งจากมอนิเตอร์ได้โดยผ่านตัว Controller
3. ตั้งค่า Set Point และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมลงใน Level Controller และ Flow Controller
4. สั่งให้ปั๊มน้ำทำงานและรอให้กระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point
5. บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 4.3 แสดง Block Diagram ของ Single Loop control (WirelessHART)

โดยใช้ Level-Transmitter แบบ ไร้สายเพื่อแสดงให้เห็นกระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point ก่อนการปรับจูนค่าพารามิเตอร์

SL-LEVEL (SP=40 ค่า P=1 I=85 D=0) ใช้ค่าพารามิเตอร์นี้จากการลองผิดลองถูก



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลการทดลอง Single Loop Control (WirelessHART)

โดยใช้ค่าพารามิเตอร์เดียวกันกับแบบ Level-Transmitter แบบมีสาย ซึ่งได้มาจากการลองผิดลองถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

สีแดง	คือ ค่า PV (Process Value)	
สีดำ	คือ ค่า SP (Set Point)	
สีฟ้า	คือ ค่า CV (Control Value)	

ผลการทดลองจากกราฟ

สรุปได้ว่าใช้เวลา Setting time ประมาณ 14 นาที

ค่าพารามิเตอร์คือ P=1 I=85 D=0

Rise time ใช้เวลา 2.30 นาที

Steady State errors $\pm 0.3\%$

Overshoot 36%

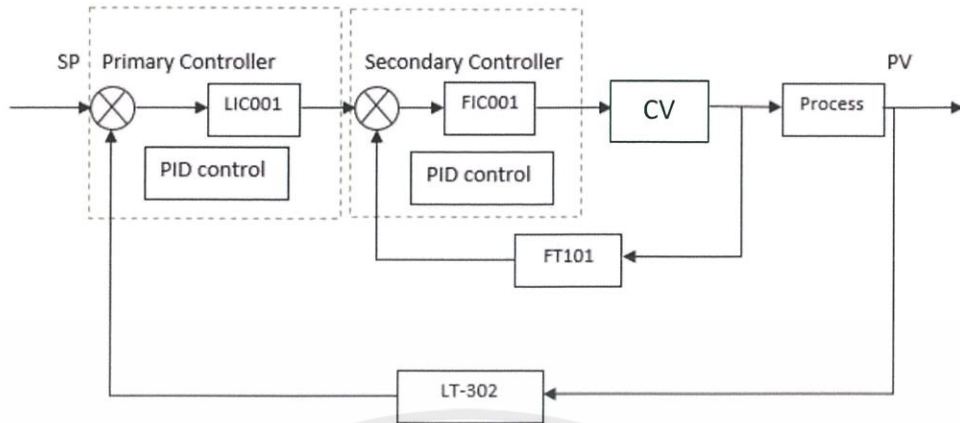
Valve เปิดเมื่อเข้าสู่จุดสมดุลที่ $46.9\% \pm 0.5\%$ และใช้เวลา 14 นาที ในการเข้าสู่จุดสมดุล

4.3.3 การทดลองที่ 3 (กรณีที่ 2)

การทดลองนี้กำหนดให้มีการควบคุมระดับโดยใช้ Level-Transmitter และ Flow-Transmitter แบบมีสายและค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้เกิดจากการลองผิดลองถูก เพื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกระบวนการหลังจากปรับจูนค่าพารามิเตอร์ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร และแบบไหนส่งผลที่ดีและเหมาะสมในการนำไปใช้ควบคุม

ขั้นตอนการทดลอง

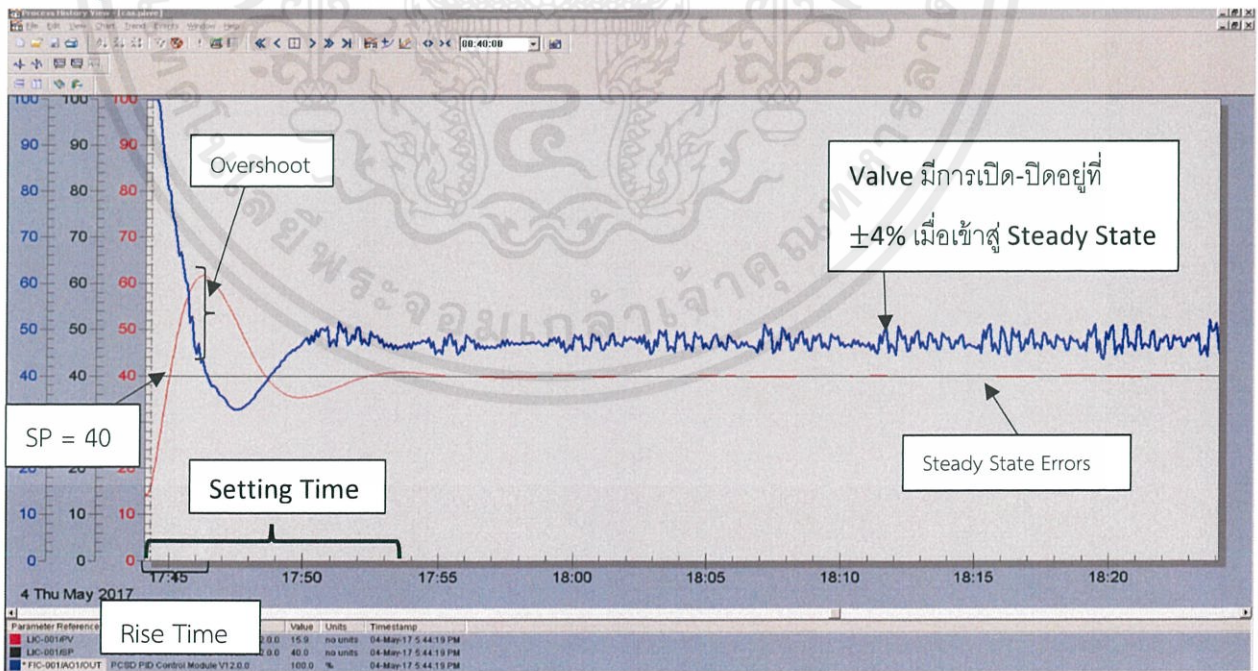
1. เขียนกราฟฟิคเพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการผ่านจอมอนิเตอร์ได้โดยใช้โปรแกรม DCS DeltaV
2. ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเข้ากับกราฟฟิคเพื่อให้อุปกรณ์สามารถรับคำสั่งจากมอนิเตอร์ได้โดยผ่านตัว Controller
3. ตั้งค่า Set Point และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมลงใน Level Controller และ Flow Controller
4. สั่งให้ปั๊มน้ำทำงานและรอให้กระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point
5. บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 4.5 แสดง Block Diagram ของ Cascade control Loop (HART)

โดย Level-Transmitter และ Flow-Transmitter ที่ใช้เป็นแบบใช้สายทั้งคู่ เพื่อต้องการให้เห็นกระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point ก่อนการปรับค่าพารามิเตอร์

SP ที่ 40 LIC-001 (P=1 I=85 D=0) FIC-001 (P=3 I=85 D=0) ใช้ค่าพารามิเตอร์นี้จากการลงผิดลองถูก



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลการทดลอง Cascade Loop Control (HART)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้ Level-Transmitter และ Flow-Transmitter แบบมีสาย

กำหนดให้

สีแดง คือ ค่า PV (Process Value) _____

สีดำ คือ ค่า SP (Set Point) _____

สีฟ้า คือ ค่า CV (Control Value) _____

ผลการทดลองจากกราฟ

สรุปได้ว่าใช้เวลา Setting time ประมาณ 12 นาที

ค่าพารามิเตอร์ของ Level คือ $P=1$ $I=85$ $D=0$ และของ Flow คือ $P=3$ $I=85$ $D=0$

Rise time ใช้เวลา 2 นาที

Steady State errors $\pm 0.1\%$

Overshoot 21%

Valve เปิดเมื่อเข้าสู่จุดสมดุลที่ $46\% \pm 4\%$ และใช้เวลา 11 นาที ในการเข้าสู่จุดสมดุล

และจากผลการทดลองจะเห็นว่ากราฟของคอนโทรลลervalue มีลักษณะยักยักไม่คงที่เนื่องจากค่า P น้อยเกินไปจึงทำให้เกิดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวมาก

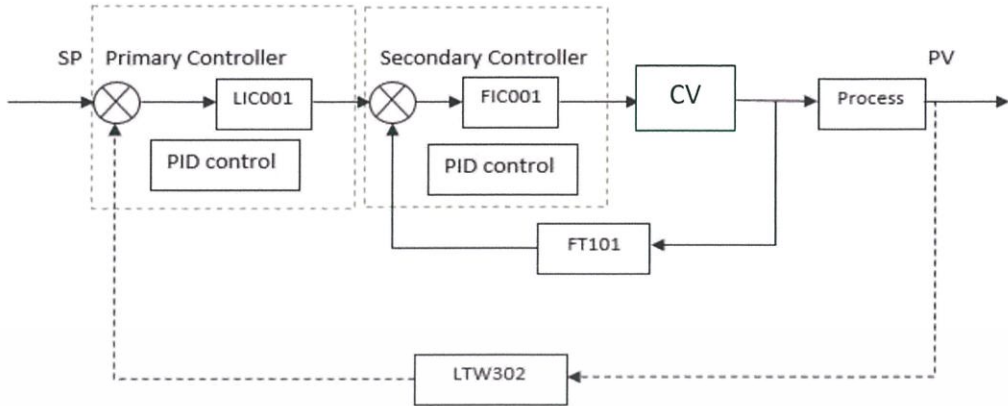
4.3.4 การทดลองที่ 4 (กรณีที่ 2)

การทดลองนี้กำหนดให้มีการควบคุมระดับโดยใช้ Level-Transmitter แบบไร้สาย และ Flow-Transmitter แบบมีสาย และค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้เกิดจากการลองผิดลองถูก เพื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกระบวนการหลังจากปรับจูนค่าพารามิเตอร์ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร และแบบไหนส่งผลที่ดีและเหมาะสมในการนำไปใช้ควบคุม

ขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนกราฟฟิคเพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการผ่านจอมอนิเตอร์ได้โดยใช้โปรแกรม DCS DeltaV
2. ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเข้ากับกราฟฟิคเพื่อให้อุปกรณ์สามารถรับคำสั่งจากมอนิเตอร์ได้โดยผ่านตัว Controller
3. ตั้งค่า Set Point และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมลงใน Level Controller และ Flow Controller
4. สั่งให้ปั๊มน้ำทำงานและรอให้กระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point
5. บันทึกผลการทดลอง

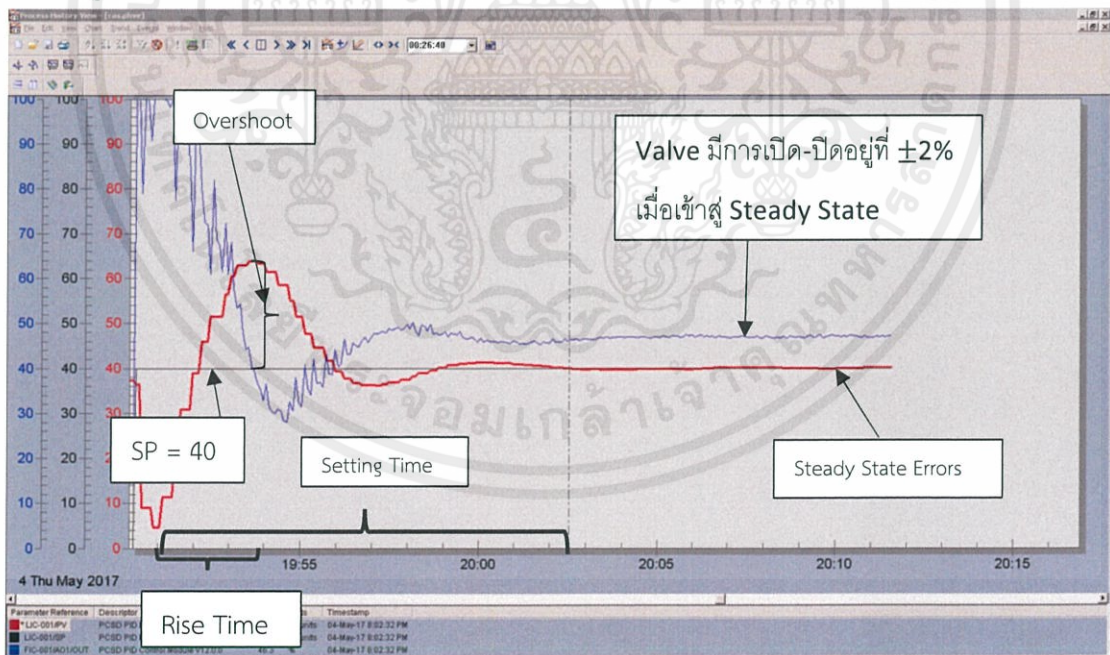
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดง Block Diagram ของ Cascade control Loop (WirelessHART)

โดยใช้ Level-Transmitter แบบไร้สาย และ Flow-Transmitter แบบมีสาย เพื่อแสดงให้เห็นกระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point ก่อนปรับจูนค่าพารามิเตอร์

SP ที่ 40 LIC-001 (P=1 I=85 D=0) FIC-001 (P=3 I=65 D=0) ใช้ค่าพารามิเตอร์นี้จากการลองผิดลองถูก



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลการทดลอง Cascade Loop Control (WirelessHART)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้ Level-Transmitter แบบไร้สาย และ Flow-Transmitter แบบมีสาย เพื่อแสดงให้เห็นกระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point ก่อนปรับจูนค่าพารามิเตอร์

กำหนดให้

สีแดง	คือ ค่า PV (Process Value)	
สีดำ	คือ ค่า SP (Set Point)	
สีฟ้า	คือ ค่า CV (Control Value)	

ผลการทดลองจากกราฟ

สรุปได้ว่าใช้เวลา Setting time ประมาณ 13 นาที

ค่าพารามิเตอร์ใน LIC-001 คือ (P=1 I=85 D=0) และใน FIC-001 คือ (P=3 I=65 D=0)

Rise time ใช้เวลา 2.30 นาที

Steady State errors $\pm 0.1\%$

Overshoot 23%

Valve เปิดเมื่อเข้าสู่จุดสมดุลที่ $46\% \pm 2\%$ และใช้เวลา 12 นาที ในการเข้าสู่จุดสมดุล

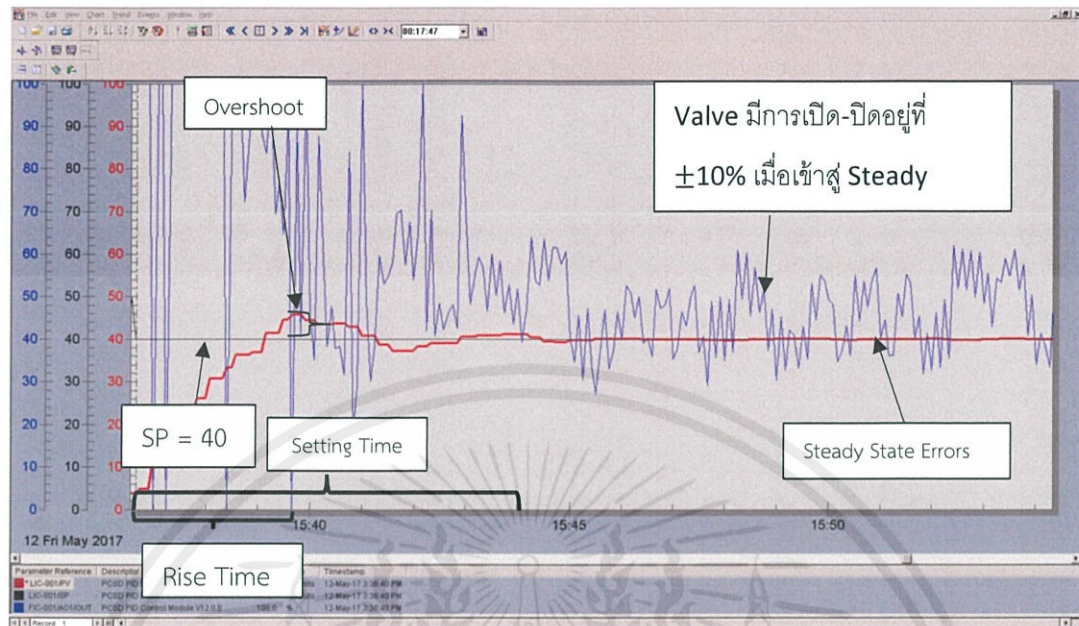
4.3.5 การทดลองที่ 5 (กรณีที่ 3 TUNED PID)

การทดลองนี้กำหนดให้มีการควบคุมระดับโดยใช้ Level-Transmitter แบบไร้สาย และ Flow-Transmitter แบบมีสาย และค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้เกิดจากการปรับจูนตามบทที่ 2 และนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกระบวนการก่อนปรับจูนค่าพารามิเตอร์ในกรณีก่อนหน้า

ขั้นตอนการทดลอง

1. เขียนกราฟพิกเพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการผ่านจอมอนิเตอร์ได้โดยใช้โปรแกรม DCS DeltaV
2. ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเข้ากับกราฟพิกเพื่อให้อุปกรณ์สามารถรับคำสั่งจากมอนิเตอร์ได้โดยผ่านตัว Controller
3. ตั้งค่า Set Point และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมลงใน Level Controller และ Flow Controller
4. สั่งให้ปั๊มน้ำทำงานและรอให้กระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point
5. บันทึกผลการทดลอง

SP ที่ 40 LIC-001 (P=3.61 I=49.9 D=15.1) FIC-001 (P=3.10 I=19.4 D=0) เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับจูนโดยใช้วิธีในบทที่ 2



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลการทดลอง Cascade Control (WirelessHART แบบTuned PID)

โดยใช้ Level-Transmitter แบบไร้สาย และ Flow-Transmitter แบบมีสาย เพื่อแสดงให้เห็นกระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point หลังปรับจูนค่าพารามิเตอร์และนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองก่อนปรับจูนค่าพารามิเตอร์

กำหนดให้

- สีแดง คือ ค่า PV (Process Value) —
- สีดำ คือ ค่า SP (Set Point) —
- สีฟ้า คือ ค่า CV (Control Value) —

ผลการทดลองจากกราฟ

สรุปได้ว่าใช้เวลา Setting time ประมาณ 8 นาที

ค่าพารามิเตอร์ใน LIC-001 คือ (P=3.61 I=49.9 D=15.1) และใน FIC-001 คือ (P=3.10 I=19.4 D=0)

Rise time ใช้เวลา 2.30 นาที

Steady State errors $\pm 0.3\%$

Overshoot 3%

Valve เปิดเมื่อเข้าสู่จุดสมดุลที่ $46\% \pm 10\%$ และใช้เวลา 7 นาที ในการเข้าสู่จุดสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงสรุปผลการทดลองทั้ง 5 ครั้ง

การทดลอง	Setting Time (min)	Rise Time (min)	Steady State Errors \pm (%)	Overshoot (%)	Valve (% \pm %)
Single Loop Level Wired	13 min	4	0.3	29	46 \pm 0.5
Single Loop Level Wireless	14 min	2.30	0.3	36	46.9 \pm 0.5
Cascade Loop Wired	12 min	2	0.3	21	46 \pm 4
Cascade Loop Wireless	13 min	2.30	0.1	23	46 \pm 2
Cascade Loop Wireless (Tuned PID)	8 min	2.30	0.3	3	46 \pm 10

จากตารางสามารถสรุปผลการทดลองได้ว่าระยะเวลา Setting Time (ระยะเวลาที่เข้าสู่ Steady State) นั้น Single Loop Level แบบ Wired เมื่อเทียบ Wireless มีค่าต่างกันเพียง 1 นาที และของ Cascade Loop แบบ Wired เมื่อเทียบ Wireless มีค่าต่างกันเพียง 1 นาที

ระยะเวลา Rise Time ของ Single Loop Level แบบ Wired เมื่อเทียบกับ Wireless ต่างกัน 1.30 นาที แต่ ระยะเวลา Rise Time ของ Cascade Loop แบบ Wired เมื่อเทียบกับ Wireless นั้น ต่างกันเพียงแค่ 30 วินาที

Steady State Errors นั้นมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อยและไม่เปลี่ยนแปลงเลยตลอดการทดลองทั้ง 5 ครั้ง

Overshoot ของ Single Loop Level แบบ Wired และ Wireless เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว ต่างกันเพียง 7% และของ Cascade Loop แบบ Wired และ Wireless ต่างกันเพียง 2% เท่านั้น

Valve ของ Single Loop Level แบบ Wired และ Wireless นั้นต่างกันที่ 0.9 %การปิด-เปิด เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลา Steady State ในกรณี Cascade Loop แบบ Wired และ Wireless เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลา Steady State แล้วจะเห็นได้ว่า แบบ Wired มีการปิด-เปิด Valve อยู่ที่ ± 4 % แต่แบบ Wireless มีการปิด-เปิดอยู่ที่ ± 2 %

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า Wireless สามารถนำมาควบคุมกระบวนการวัดระดับน้ำแทนแบบ Wired ได้เนื่องจากมีผล Setting Time, Rise Time, Steady State Errors, Overshoot และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปิด-ปิดของ Valve นั้นต่างกันน้อยมากและกรณีที่ผู้ทดลองจึงได้ทำการ Tuned PID ที่เหมาะสมแก่การควบคุมกระบวนการวัดระดับน้ำและได้ทำการทดลองจะเห็นได้ว่า การควบคุมกระบวนการวัดระดับน้ำนั้นใช้ระยะเวลาเข้าสู่ Steady State (Setting Time) นั้นไวมากขึ้น Overshoot มีค่าน้อยมาก ๆ มีเพียงค่า Valve เปิด-ปิดที่ระยะเวลา Steady State เท่านั้นที่มีค่าถึง $\pm 10\%$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าโครงการนี้แสดงให้เห็นว่า สามารถควบคุมกระบวนการด้วยการสื่อสารแบบ WirelessHART ซึ่งข้อจำกัดที่ก่อให้เกิดอุปสรรคในการควบคุมคือ การส่งข้อมูลของอุปกรณ์ จะส่งข้อมูลทุก 8 วินาที หมายความว่าระหว่างการทดลอง ค่าที่อ่านได้จากทรานสมิตเตอร์จะส่งข้อมูลที่อ่านได้มาทุกๆ 8 วินาที ซึ่งตอนแรกที่ทำกรทดลอง พบว่ามี Overshoot สูง ไม่เหมาะสำหรับการควบคุม เนื่องจากมี Input มากเกินไป กว่าระบบจะทำการปรับค่า หรือคำนวณค่าปิด/เปิดของวาล์ว จะใช้ระยะเวลาช่วงหนึ่ง ทำให้เกิดการ Overshoot และข้อจำกัดนี้ สามารถแก้ไขได้โดยการลดอัตราการไหลที่ Manual Valve เพื่อให้มี Input ที่เหมาะสมกับการส่งค่าของ Transmitter แบบ Wireless ซึ่งการควบคุมกระบวนการจะใช้เวลาในการเข้าสู่ Set Point หรือเข้าสู่ช่วง Stable ช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับกรควบคุมแบบ Wired การควบคุมแบบ Wireless จะมีการเข้าสู่ Set Point หรือเข้าสู่ช่วง Stable จะใช้ระยะเวลามากกว่า 30 วินาที ถึง 2 นาที

ทั้งนี้เราได้ทดลองออกแบบกระบวนการควบคุมแบบ Single Loop และ Cascade โดยใช้การสื่อสารแบบ WirelessHART

เนื่องจากเราได้ศึกษาการควบคุมกระบวนการด้วยการสื่อสารแบบ WirelessHART 2 รูปแบบคือ Single Loop Control และ Cascade Loop Control จึงส่งผลให้เราต้องศึกษาวิธีการคำนวณค่าพารามิเตอร์ PID เพื่อนำมาใช้ควบคุมกระบวนการ ที่ส่งผลให้กระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point โดยใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรนำ Wireless มาใช้ในการควบคุมกระบวนการ เนื่องจาก Wireless สามารถควบคุมกระบวนการโดยใช้ระยะเวลาที่ใกล้เคียงกับแบบ Wired และยังประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องของการเดินสายไฟอีกด้วย

การคำนวณค่าพารามิเตอร์ควรใช้โปรแกรม Auto Tuning ในการหาค่าพารามิเตอร์ ไม่ควรคำนวณเอง เนื่องจากการใช้ Auto Tuning จะได้ค่าที่ถูกต้องมากกว่าและประหยัดเวลามากกว่า

บรรณานุกรม

- [1] <https://www.emersonprocessxperts.com/2011/05/eliminating-temperature-effects-in-dp-level-measurement> 26 พฤษภาคม 2560
- [2] http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=15706 26 พฤษภาคม 2560
- [3] <http://www.emerson.com/catalog/en-us/rosemount-2051-dp-flow-transmitter> 26 พฤษภาคม 2560
- [4] <https://www.factomart.com/th/factomartblog/type-of-flow-meter/> 26 พฤษภาคม 2560
- [5] <http://www.adslthailand.com/post/WirelessHART> 26 พฤษภาคม 2560
- [6] <http://www2.emersonprocess.com/en-US/plantweb/wireless/products/Pages/SmartWirelessTHUMAdapter.aspx> 26 พฤษภาคม 2560
- [7] <http://www2.emersonprocess.com/en-US/plantweb/wireless/products/Pages/SmartWirelessGateway.aspx> 27 พฤษภาคม 2560
- [8] <http://www.bookclubman.com/process%20control%20sample%20file-1.htm> 27 พฤษภาคม 2560
- [9] http://www2.emersonprocess.com/en-UK/news/pr_UK/Pages/1104-GXControl.aspx 27 พฤษภาคม 2560
- [10] <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/7248/orifice-plate> 27 พฤษภาคม 2560
- [11] <http://www2.emersonprocess.com/en-US/brands/deltav/differentiators/Pages/SystemOverview.aspx> 27 พฤษภาคม 2560
- [12] <http://www.emerson.com/catalog/en-us/deltav-se3007> 27 พฤษภาคม 2560
- [13] https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller 27 พฤษภาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] <https://practicalinstrumentandprocesscontrol.wordpress.com/2011/05/28/control-valve/> 27 พฤษภาคม 2560
- [15] <http://thaicontrolvalve.com> 27 พฤษภาคม 2560
- [16] DeltaV Operate Implementation I (Course 7009) Book
- [17] PID function block execution in Control Studio Help



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

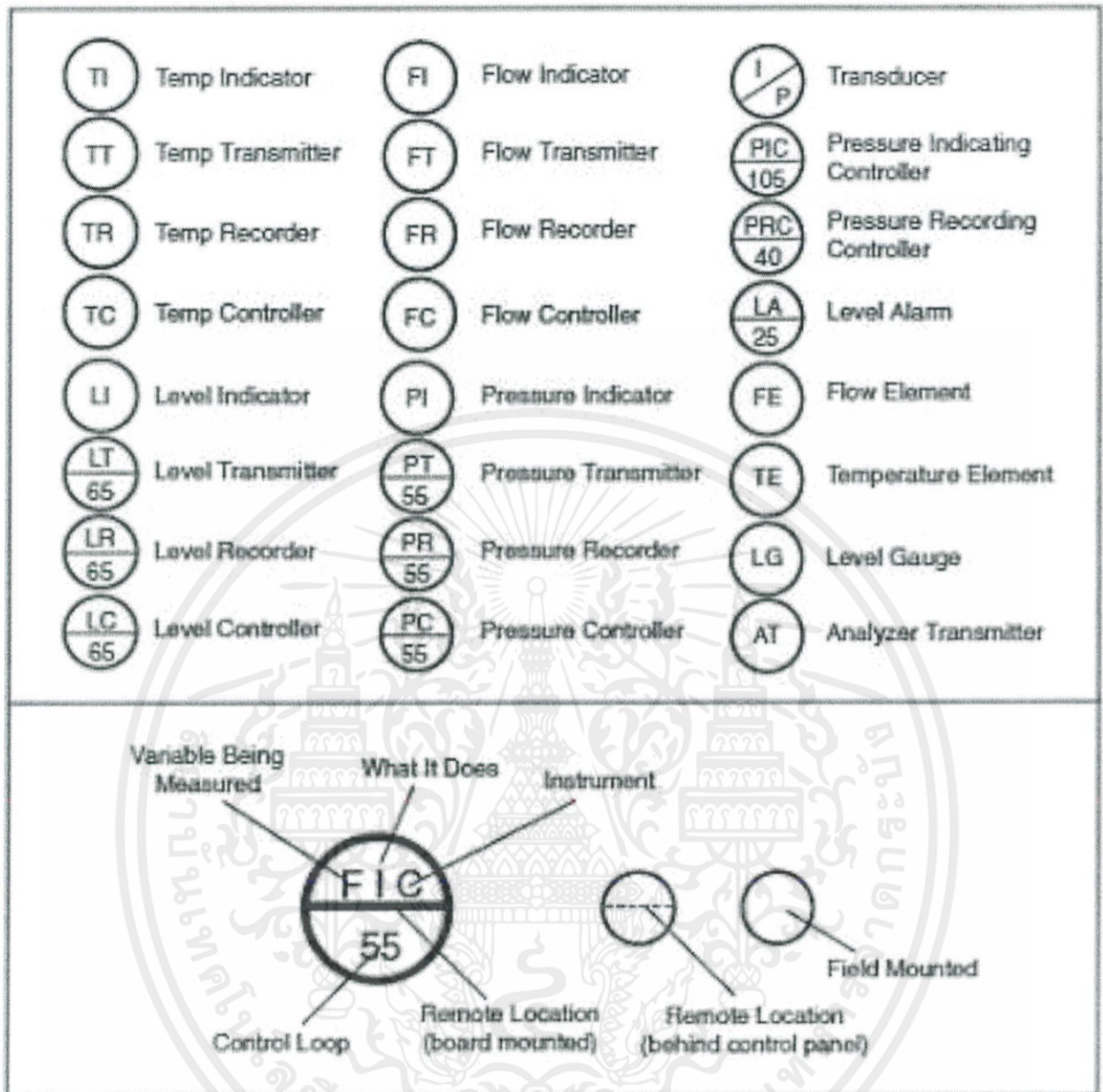
ภาคผนวก ก.

สัญลักษณ์และ P&ID ของ PLANT MODEL

	LOCALLY MOUNTED INSTRUMENT		FLOW ALARM		UNIT SHUT DOWN
	BOARD MOUNTED INSTRUMENT		FLOW ELEMENT		POSITION/ UNIT SWITCH CLOSED
	PRESSURE CONTROLLER		FLOW INDICATOR		SHUT DOWN VALVE RELAY
	PRESSURE INDICATOR		FLOW RECORDER		SHUT DOWN VALVE
	PRESSURE RECORDER		FLOW RECORDING CONTROLLER		POSITION/ LIMIT INDICATOR OPEN
	PRESSURE INDICATING CONTROLLER		TEMPERATURE ALARM		TEMPERATURE RELAY
	PRESSURE RECORDING CONTROLLER		TEMPERATURE INDICATOR		SPECTACLE BLIND OPEN
	PRESSURE SAFETY VALVE		TEMPERATURE RECORDER		SPECTACLE BLIND CLOSED
	RELIEF VALVE		TEMPERATURE RECORDING CONTROLLER		ORIFICE FLANGES
	LEVEL ALARM		TEMPERATURE WELL		PIPING SPECIALITY ITEM
	LEVEL ALARM HIGH		GATE VALVE		INSTRUMENT AIR LINE
	LEVEL ALARM LOW		GLOBE VALVE		INSTRUMENT ELECTRICAL
	LEVEL CONTROLLER		CHECK VALVE		INSTRUMENT CAPILLARY TUBING
	LEVEL GLASS		CONTROL VALVE		PIPE
	LEVEL INDICATOR		PLUG VALVE		TRANSMITTER (OR)
	LEVEL INDICATING CONTROLLER		BALL VALVE		HAND CONTROL VALVE
	LEVEL RECORDING CONTROLLER		BUTTERFLY VALVE		

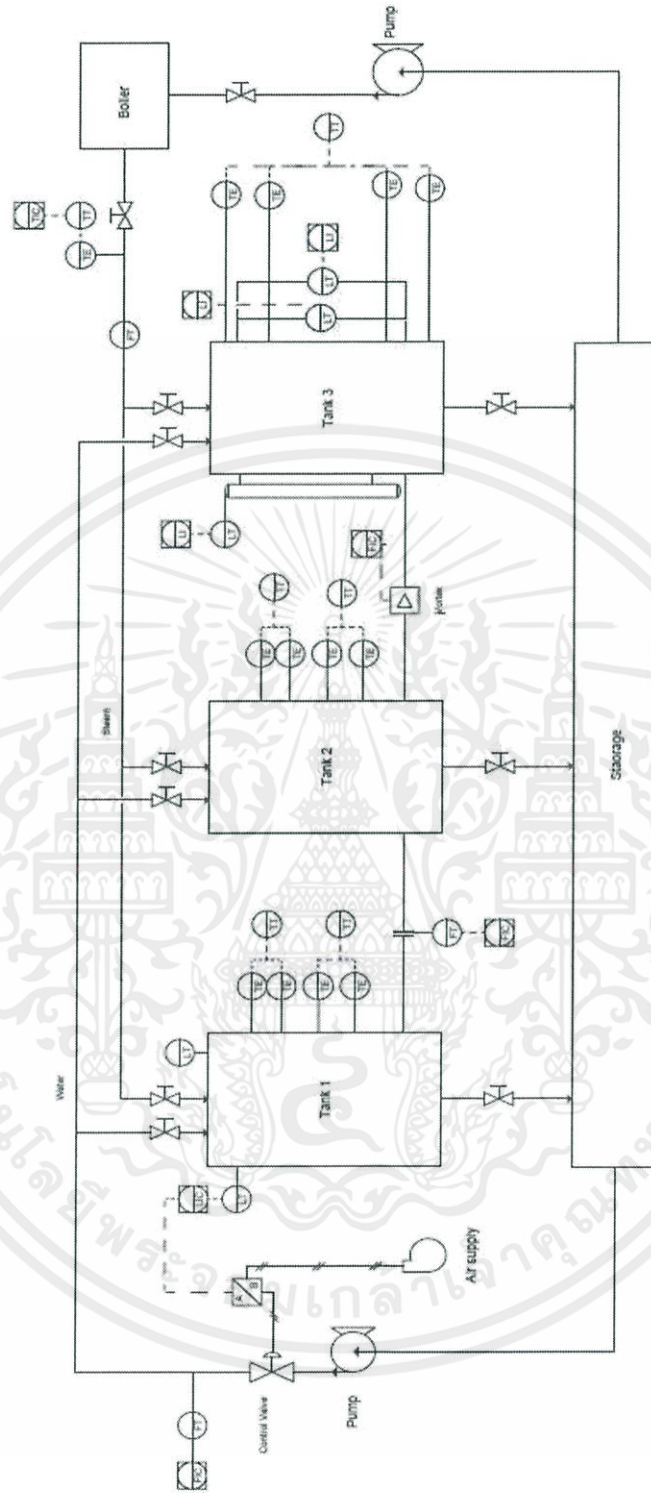
รูปที่ ก.1 สัญลักษณ์ P&ID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 สัญลักษณ์ P&ID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 P&ID ของ Plant Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้