การออกแบบระบบควบคุมกระบวนการถังน้ำที่มีการหน่วงเวลาจากระบบ WIRELESSHART

MODELING AND CONTROL OF INDUSTRIAL TANK PROCESS SUBJECTED TO WIRELESSHART INDUCED DELAYS

ธนกร นันทพงศ์

คำกอดแก้ว วงษ์บัณฑิตย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การออกแบบระบบควบคุมกระบวนการถังน้ำที่มีการหน่วงเวลาจากระบบ WIRELESSHART

MODELING AND CONTROL OF INDUSTRIAL TANK PROCESS SUBJECTED TO WIRELESSHART INDUCED DELAYS

ธนกร คำกอดแก้ว
นันทพงศ์ วงษ์บัณฑิตย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODELING AND CONTROL OF INDUSTRIAL TANK PROCESS SUBJECTED TO WIRELESSHART INDUCED DELAYS

TANAKORN KAMKODKEAW
NANTAPONG WONGBANDITH

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 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 25560

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบระบบควบคุมกระบวนการถังน้ำที่มีการหน่วงเวลาจาก จาก ระบบ Wireless HART

นักศึกษาผู้จัดทำ	นายธนกร	คำกอดแก้ว	**รหัสนักศึกษา**	57010528
	นายนันทพงศ์	วงษ์บัญฑิตย์	**รหัสนักศึกษา**	57010677
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต			
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม			
ปีการศึกษา	2560			

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เชื้อ นกอยู่ ดร.นภศูล วงษ์วานิช	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบระบบควบคุมกระบวนการถังน้ำที่มีการหน่วงเวลาจากระบบ Wireless HART

นักศึกษาผู้จัดทำ นายธนกร คำกอดแก้ว รหัสนักศึกษา 57010528
นายนันทพงศ์ วงษ์บัญฑิตย์ รหัสนักศึกษา 57010677

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เชื้อ นกอยู่
ดร.นภศูล วงษ์วานิช

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการออกแบบระบบควบคุมชั้นสูงสำหรับควบคุมระดับของถังน้ำสองถังนี้เป็นการศึกษาสมการทาง คณิตศาสตร์ของกระบวนการถัง และออกแบบระบบควบคุมให้กระบวนการถังน้ำ ได้ประสิทธิสูงสุดและลดปัญหาการหน่วงเวลาของระบบ Wireless HART โดยการคำนวณหาสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมจาก การเจาะจงระบบ (System Identification) บนโปรแกรม (MATLAB) จากนั้นนำค่าที่ได้จากสมการมาออกแบบจำลองระบบควบคุม โดยใช้ตัวควบคุมแบบ PID/LQR แล้วนำระบบที่ได้มาเปรียบเทียบกับระบบปฏิบัติการจริง เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพ และปรับแต่งค่าตัวแปรที่มีผลต่อระบบให้มีประสิทธิภาพตาม เป้าหมายที่เราต้องการโดยยึดตามระบบปฏิบัติการจริงเป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	MODELING AND CONTROL OF INDUSTRIAL TANK PROCESS SUBJECTED TO WIRELESS HART INDUCED DELAYS
Authors	Mr. Tanakorn Kammaokeaw Mr .Nantapong Wongbandith
Thesis Advisor	Asst. Prof. Chuae Kokyoo Dr. Napasool Wongvanich
Year	2017

ABSTRACT

This project investigates the development of the system identification base on method to control the couple system subjected to WirelessHART delays. The method first uses the system identification to quantify the effects of The Wireless-HART delays on the parameters of the systems. A PID/LQR controller was designed base on the identified parameters. Results show the developed model and method gave a 300% reduction in the setting time, a 375% reduction in the rise time response, and a 30% reduction in the rise time response, compared to the auto tuning facility offered by the DCS system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความเมตตาจาก ผศ.เชื้อ นกอยู่และดร.นภศูล วงษ์วานิช อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำมาโดยตลอดผู้จัดทำรู้สึกทราบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ คุณสมพล บุษบรรณ Senior Area Sale Manager บริษัท EMERSON ที่ได้ให้คำแนะนำอีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณ ณัทวุฒิ ปิ่นทอง Project Engineer และทีมงาน AIT ที่ได้ให้คำปรึกษาและเสียสละเวลาช่วยเหลือ ให้การทำวิจัยสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำต่างๆและคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุน คอยให้กำลังใจและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์เสมอมา คุณความดีที่พึงมีจากการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแก่ คณาจารย์รวมทั้งผู้สนับสนุนทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 คำสำคัญของปริญญานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 1

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน 2

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีการวัดและการสื่อสารของอุปกรณ์ 3

2.1 การวัดระดับ 3

2.2 การวัดอัตราการไหล 5

2.2.1 อุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหล Rosemount 3051SF DP Flow meter 5

2.2.2 อุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหล แผ่นออริฟิส 5

2.3 การสื่อสาร 8

2.3.1 เทคโนโลยี WirelessHART 8

2.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสาร The Smart Wireless THUM 9

2.4 การควบคุมอัตราการไหล 9

2.4.1 Control Valve 10

2.4.2 DCS (Distributed Control System) 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2.1 DCS Serve 11
2.4.2.2 DCS Stations 12
2.4.2.3 DCS Controller 12
2.4.2.4 Networks/LAN (Fault Tolerant Ethernet) 13
2.5 ซอฟแวร์โปรแกรม 13
2.5.1 Microsoft Excel 13
2.5.2 MATLAB 14
2.6 Mathematical Model 14
2.7 วิธีคำนวณค่า PID ที่เหมาะสม 15
2.7.1 การหาค่าพารามิเตอร์ด้วย System Identification แบบ PID 15
2.7.2 การหาค่าพารามิเตอร์ด้วย System Identification แบบ LQR 16

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานและการใช้งานอุปกรณ์ 24
3.1 การออกแบบ P&ID ใน LOOP ที่ต้องการควบคุมกระบวนการ 25
3.2 ออกแบบ Block Diagram และ Math Model 26
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 ซอฟท์แวร์ Delta V version 12 39
3.4.2 การเขียนโปรแกรมระบบควบคุม DCS DeltaV 40

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 52
4.1 วัตถุประสงค์ 52
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 52
4.3 วิธีการทดลอง 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.1 การทดลองที่ 1 53
4.3.2 การทดลองที่ 2 56
4.3.3 การทดลองที่ 3 58

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 62
5.1 สรุปผลการทดลอง. 62
5.2 ข้อเสนอแนะ 62

บรรณานุกรม 63

ภาคผนวก 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1 ตารางการหาค่าการหาค่าพารามิเตอร์วิธีZiegler–Nicho 18
4.1 แสดงสรุปผลการทดลองทั้ง 5 ครั้ง..... 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับประเภทNon-contactingRadar 3
2.2 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดระดับแบบเรดาร์. 4
2.3 อุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหลประเภท DP Flow 5
2.4 ตัวแปรพื้นฐานที่ใช้ใน Bernoulli's Equation 6
2.5 แผ่นออริฟิส (ก) แบบ Concentric (ข) แบบ Eccentric และ (ค) แบบ Segmented 7
2.6 การติดตั้งแผ่นออริฟิสและเครื่องมือวัดความดันแตกต่างชนิดมาโนมิเตอร์รูปตัวยู 7
2.7 การสื่อสารของเทคโนโลยี WirelessHART 8
2.8 อุปกรณ์ The Smart Wireless THUM 9
2.9 การควบคุมอัตราการไหลโดย Control Valves คือ Final Element 9
2.10 Fisher GX Control Valve 10
2.11 Controller ที่อยู่ในส่วนของ DCS(Distributed Control System) 10
2.12 ส่วนประกอบต่างๆของ DCS ที่ควบคุมกระบวนการแบบ WirelessHART 11
2.13 DeltaV™ S-series SX Controller 12
2.14 โปรแกรม Microsoft Excel 13
2.15 โปรแกรม MATLAB 13
2.16. แสดง P&ID ของกระบวนการถังน้ำ 14
2.17 รูปแบบการจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกระบวนการ 15
2.18 แสดงการใช้MATLABวิเคราะห์Tranfer function 18
2.19 แสดงการเปรียบเทียบกราฟ ของ Math model กับ ค่าของ I/P DATA 18
2.20 แสดง PID Controller C(s) 19
2.21 แสดงการใช้ MATLAB วิเคราะห์ Tranferfunction ของ LQR 22
3.1 แผนผังการดำเนินงานก่อนเริ่มท้าการทดลองจนถึงบันทึกผลการทดลอง 24
3.2 แสดง P&ID ใน LOOP TANK และอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง 25
3.3 แสดงการออกแบบ Block Diagram Cascade Loop Control (WirelessHART) 26
3.4 แสดงการออกแบบ Block Diagram Single Loop Level Control (WirelessHART) 27
3.5 แสดงการออกแบบBlock Diagram Single Loop Flow Control (WirelessHART) 27
3.6 แสดง Block Diagram cascade จากการใส่โมเดลคณิตศาสตร์ 27
3.7 แสดง รูปแบบสมการ transfer fuction ของ FOPDT 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.8 แสดงโค้ดที่อยู่ในโปรแกรม MatLAB คำนวณหาค่า K (FOPDT) 28
3.9 แสดง Block Diagram cascade จากการใส่โมเดลคณิตศาสตร์และ LQR 30
3.10 โค้ดที่ใส่ลงในโปรแกรม MATLAB ในรูปแบบของฟังก์ชันของLQR 30
3.11 แสดงอุปกรณ์ HART 475 31
3.12 แสดงการเชื่อมต่อ Transmitter ที่ต้องการ Configuration กับ HART 475 31
3.13 แสดงการเลือกอุปกรณ์ 32
3.14 เลือก Protocol ที่ใช้การสื่อสาร 33
3.15 แสดงถึงตัวเลือกที่ต้องการเข้าถึง 33
3.16 แสดงตัวเลือกสำหรับการเข้าไปแก้ไขอุปกรณ์ 33
3.17 แสดงตัวเลือกในโปรแกรมของ Manual Setup 34
3.18 แสดงการตั้งค่า Network ของ THUM Adapter 34
3.19 แสดงการเลือก Join Device to network 35
3.20 แสดงการ Configuration เลือก part 1 of 4 ให้เป็น 00000000 35
3.21 แสดงถึง WIOC Properties ในโปรแกรม Exploring DeltaV 36
3.22 แสดงการ Configuration เลือก part 2 of 4 ให้เป็น 00000000 36
3.23 แสดงการ Configuration เลือก part 3 of 4 ให้เป็น 00000000 37
3.24 แสดงการ Configuration เลือก part 4 of 4 ให้เป็น 00000000 37
3.25 แสดงหน้าจอยืนยันของระบบ 38
3.26 แสดงผลการตั้งค่าของ THUM Adapter 38
3.27 DeltaV Distributed Control Systems (DCS) Version 12 39
3.28 สร้าง New Wireless Device ใน Control Strategies 40
3.29 แสดงการ Commission New Wireless Device ไปยัง LTW-201 41
3.30 แสดงจำนวนอุปกรณ์และข้อมูลของอุปกรณ์ ที่มีการรับส่งค่าแบบ Wireless 42
3.31 แสดงผลของการ Commission 42
3.32 แสดงถึงวิธีการนำ Wireless Device เข้า Controller 43
3.33 แสดงการ Download Wireless Device 44
3.34 แสดงการเลือกโมดูล AI_120 จาก Library 45
3.35 แสดงการ Convert to Classless โมดูล AI_120 เพื่อไปยัง Control Module 45
3.36 แสดงการเปลี่ยนชื่อ Module จาก AI_120 เป็น LTW-20146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.37 แสดงการเข้า Control Studio ของ Module LTW-201 46
3.38 แสดงการเชื่อม I/O ระหว่าง Module กับ LTW-302 (WIOC1) 47
3.39 แสดงถึง IO_IN Properties 47
3.40 แสดงถึงการค้นหาอุปกรณ์ที่จะส่งค่าไปยัง Module AI 48
3.41 แสดงถึงการ Configuration เลือก LTW-201 48
3.42 แสดงถึงการ Configuration เลือก Parameterเป็น HART_PV 49
3.43 แสดงถึงวิธีการ Download Control Studio 49
3.44 แสดงถึงตัวเลือกของการ Download 50
3.45 แสดงถึงการ Download Control Studio 50
3.46 แสดงถึง Launch DeltaV Operate Configure 51
3.47 แสดงกราฟฟิกแสดงค่าการทำงานของระบบDCS 51
4.1 แสดง Block Diagram ของ Cascade control Loop (WirelessHART) 54
4.2 แสดงกราฟผลการทดลอง Cascade Loop Control (WirelessHART) 55
4.3 แสดง Block Diagram ของ Cascade control Loop (WirelessHART) 56
4.4 แสดงกราฟผลการทดลอง Cascade Loop Control (WirelessHART) 57
4.5 แสดง Block Diagram ของ Cascade control Loop (WirelessHART) 58
4.6 แสดงกราฟผลการทดลอง ของ Cascade control Loop (WirelessHART) 59
4.7 แสดงกราฟเปรียบเทียบผลการทดลอง 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

การออกแบบระบบควบคุมกระบวนการของถังน้ำที่มีการหน่วงเวลาจากระบบ Wireless - HART ปริญญานิพนธ์นี้ศึกษาอัลกอริทึมจากการเก็บข้อมูลของกระบวนการควบคุมถังน้ำที่มีการหน่วงเวลาของ Wireless HART เนื่องจาก ระบบ Wireless HART นั้น เกิดการหน่วงเวลา เพื่อนำมาออกแบบระบบควบคุม ทำให้ลดหรือกำจัดการหน่วงเวลาดังกล่าวเพื่อการควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นและยังเป็น Methodology ของนักศึกษาในการออกแบบระบบควบคุม และเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาในการทำงานภายภาคหน้าต่อไป

เนื่องจากปริญญานิพนธ์ของนักศึกษาปี 2559 ที่ศึกษาการควบคุมกระบวนการถังน้ำโดยใช้การสื่อสารแบบ Wireless HART เกิดปัญหาเรื่องการหน่วงเวลาการส่งข้อมูลของกระบวกการขึ้น ดังนั้นทางกลุ่มจึงเล็งเห็นความสำคัญของปัญหาการหน่วงเวลานี้จึงคิดริเริ่มการออกแบบระบบควบคุมจากอัลกอริทึมที่เก็บข้อมูลจากกระบวนการถังน้ำที่มีการควบคุมโดยใช้ระบบ Delta V (DCS) เพื่อเก็บข้อมูล ทางกลุ่มพยายามเก็บข้อมูล ศึกษา และออกแบบอัลกอริทึม จากโปรแกรม MathLAB เพื่อทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์(Mathematical MODEL) จากนั้นนำ Mathematical MODEL ที่ได้มาใช้ร่วมกับ DCS (Delta V) มาควบคุมเพื่อลดการหน่วงเวลาที่ใช้ร่วมกับ Wireless HART

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อออกแบบระบบควบคุมที่สามารถติดต่อกับ WirelessHART Relay โดยให้มีผลตอบสนองออกมาที่ใกล้เคียงกับสภาวะปกติที่สุด
2. เพื่อศึกษาการออกแบบกระบวนการควบคุมระดับน้ำ
3. มีระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

1.3 ขอบเขตปริญญานิพนธ์

1. มีตัวควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการควบคุมระบบถังน้ำ
2. ได้รับความรู้เรื่องการควบคุมกระบวนการผ่าน Wireless HART
3. ในการใช้งาน DCS (Delta V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความรู้ของ ชนิด ประเภท Field Instruments ที่ใช้อยู่ในกระบวนการรวมถึงการทำงานและการใช้งาน
5. ได้ความรู้ Mathematical Modeling , System ID
6. การออกแบบตัวควบคุม

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการการทำงานของกระบวนการถัง
2. ศึกษาโปรแกรม MATLAB
3. Simulator ในโปรแกรม MATLAB โดยสมมุติสมการ
4. เก็บข้อมูลจากPlant โดยใช้ DCS (DeltaV)
5. นำสมการที่ได้จาก Simulator และ Plant มาเปรียบเทียบปรับแต่งสมการ เพื่อให้ควบคุมกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ
6. รายงานและนำเสนอ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีตัวควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการควบคุมระบบถังน้ำ
2. ได้รับความรู้เรื่องการควบคุมกระบวนการผ่าน Wireless HART
3. ในการใช้งาน DCS (Delta V)
4. ความรู้ของ ชนิด ประเภท field instruments ที่ใช้อยู่ใน plant รวมถึงการทำงานและการทำงาน
5. ได้ความรู้ Mathematical modeling , System ID
6. การออกแบบตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการพื้นฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการวัดระดับของน้ำในถังผ่านกระบวนการสื่อสารแบบ HART , WirelessHART ซึ่งจะกล่าวถึงพื้นฐานเบื้องต้นของแต่ละอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำซึ่งในปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวัดระดับน้ำ การวัดอัตราการไหลของน้ำ เทคโนโลยี WirelessHART และพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการควบคุมกระบวนการวัดระดับของน้ำซึ่งจะมีรายละเอียดแสดงดังนี้

2.1 การวัดระดับ (Level Measurement)

การวัดระดับ เป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งในงานอุตสาหกรรม เนื่องจากค่าของระดับจะส่งผลกระทบต่อพารามิเตอร์อื่น ได้แก่ ความดันและอัตราการไหล เป็นต้น

การวัดระดับ แบ่งออกเป็นการวัดระดับทางตรงและทางอ้อมซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะการใช้งานบทนี้จะกล่าวถึงการวัดระดับทางอ้อมซึ่งได้แก่ อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ ROSEMOUNT 5402 Non-contacting Radar ซึ่งรายละเอียดจะแสดงให้เห็นดังนี้

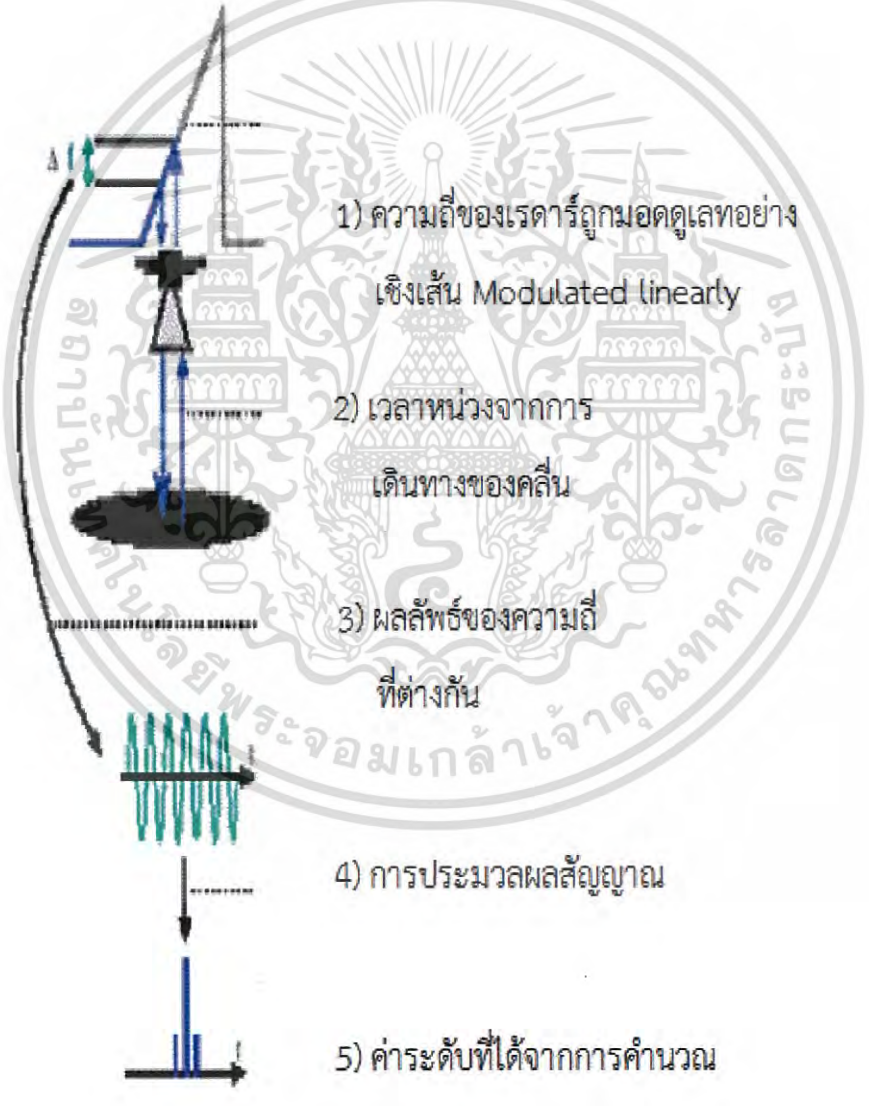
อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ ROSEMOUNT 5402 Non-contacting Radar

รูปที่ 2.1 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ ROSEMOUNT 5402 Non-contacting Radar [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการวัดระดับของอุปกรณ์การวัดระดับ ROSEMOUNT 5402 Non-contacting Radar อุปกรณ์วัดระดับด้วย Radar Level เหมาะกับการวัด ที่มีสภาพที่มีฝุ่นไอ , ความดันสูง , อุณหภูมิสูงที่ถังบรรจุ , มีสิ่งกีดขวางภายในถังและลักษณะของถังบรรจุเอียง

สัญญาณเรดาร์ที่ส่งออกมาจากเสาอากาศจะไปสะท้อนกับพื้นผิวของผลิตภัณฑ์และสะท้อนกลับมายังตัวรับอีกครั้งเป็นช่วงระยะเวลา(t) ระดับและปริมาตรของของเหลวที่บรรจุภายในถังสามารถคำนวณได้จากช่วงระยะเวลา (t) และระยะเวลาการเดินทางของคลื่นไมโครเวฟในอากาศ / ก๊าซที่ทราบค่า เสาอากาศซึ่งติดตั้งอยู่ด้านบนของถังบรรจุต้องเป็นไปตามเกณฑ์การออกแบบที่ถูกต้องตามหลักสุขลักษณะ โดยต้องหลีกเลี่ยงการออกแบบรูปทรงที่เป็นโดม จุดอับ ช่องว่าง หรือร่องในพื้นที่ของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของเครื่องมือวัดระดับแบบเรดาร์ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การวัดอัตราการไหล

อัตราการไหล (Volume Flow rate) คือปริมาตรของของไหลซึ่งไหลผ่านท่อหรือช่องการไหลใดๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา หรืออีกนัยหนึ่งก็คือของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดในแนวตั้งฉากด้วยความเร็วค่าหนึ่ง ซึ่งรายละเอียดทฤษฎีพื้นฐานจะแสดงให้เห็นดังนี้

2.2.1 อุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหล Rosemount 3051SF DP Flow meters

รูปที่ 2.3 อุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหลประเภท DF Flow [3]

เซ็นเซอร์สำหรับวัดอัตราการไหลโดยอาศัยผลต่างของค่าความดันที่เกิดขึ้น หรือ จะเรียกกลุ่มเครื่องมือวัดแบบนี้ว่า Differential Pressure Flow Meter ก็ได้ โดย Flow Meter ในกลุ่มนี้มีหลากหลายชนิด แต่ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึง Flow Meter ที่ใช้ Orifice Plates ในการหาค่า Differential Pressure โดยมีวิธีการหาอัตราการไหลดังต่อไปนี้ [5]

$$Q = V_1 \times A_1 = V_2 \times A_2 \tag{2.1}$$

โดยที่

Q = ปริมาตรที่ไหลผ่าน Flow Mete

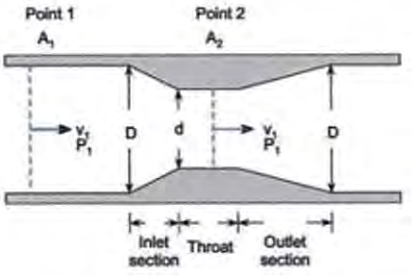
V_1 = อัตราเร็วของไหล ณ จุดพื้นที่หน้าตัด 1

V_2 = อัตราเร็วของไหล ณ จุดพื้นที่หน้าตัด 2

A_1 = พื้นที่หน้าตัด 1

A_2 = พื้นที่หน้าตัด 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ตัวแปรพื้นฐานที่ใช้ใน Bernoulli's Equation [10]

ในส่วนของ Bernoulli's Equation หรือ สมการแบร์นูลลี นั้นสามารถสรุปใจความได้ว่า ผลรวมของความดัน หรือพลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรและพลังงานศักย์ตามแรงโน้มถ่วงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ณ ตำแหน่งใดๆ ภายในท่อที่มีของไหลไหลผ่าน มีค่าคงตัวเสมอ ดังนั้นจากสมการของแบร์นูลลี ถ้าระดับคงตัวเมื่อของไหลมีอัตราเร็วเพิ่ม ความดันของของไหลจะลด และเมื่อของไหลมีอัตราเร็วลดลง ความดันของของไหลจะเพิ่มขึ้น สามารถใช้สมการนี้ในการหาค่าอัตราการไหลของมวลได้ดังนี้ รูปที่เกี่ยวข้อง รูปที่ 2.4 [5]

$$m = \rho A_2 V_2 = A_2 \left[\frac{2\rho\Delta P}{1-\beta^4}\right]^{1/2} \tag{2.2}$$

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

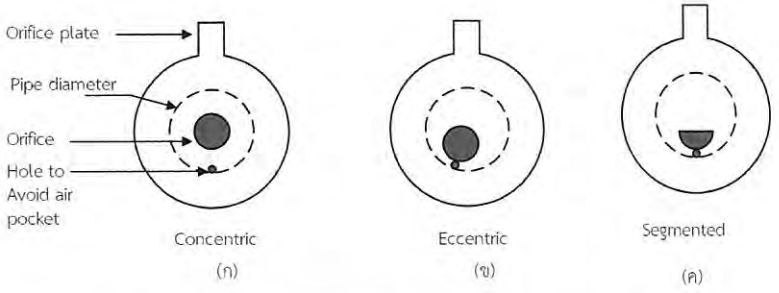
เมื่อเราเข้าใจถึงการหาค่าอัตราการไหลโดยใช้หลักการของ Differential Pressure และอาศัยสมการ The Equation of Continuity และ Bernoulli's Equation ในการคำนวณหาค่าอัตราการไหลแล้ว ต่อไปขอแนะนำอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ใช้หลักการเหล่านี้

2.2.1 อุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหลแผ่นออริฟิส

แผ่นออริฟิส เป็นอุปกรณ์ส่วนหนึ่งที่ใช้ช่วยในการวัดอัตราการไหลของของไหล ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่าย ราคาถูก สะดวกในการติดตั้งและการบำรุงรักษา แข็งแรงทนทาน และให้ค่าการวัดที่ถูกต้องแม่นยำในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับราคา ซึ่งสามารถวัดการไหลได้ทั้งของเหลวและก๊าซ โดยแผ่นออริฟิสสามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

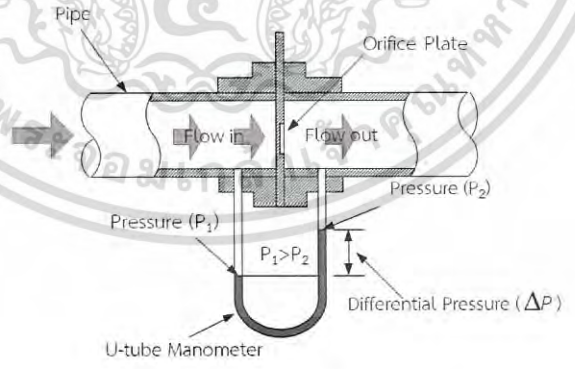
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออริฟิสแบบจุดศูนย์กลางเดียวกัน Concentric Orifice ออริฟิสแบบเยื้องศูนย์ Eccentric Orifice และออริฟิสชนิดที่มีช่องตรงกลางเป็นส่วนของวงกลม ซึ่งตำแหน่งของรูหรือช่องออริฟิสอาจจะอยู่ด้านบนหรือด้านล่างก็ได้ [10]



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

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



รูปที่ 2.6 การติดตั้งแผ่นออริฟิสและเครื่องมือวัดความดันแตกต่างชนิดมาโนมิเตอร์รูปตัวยู [10]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = K\sqrt{\Delta P} \tag{2.3}$$

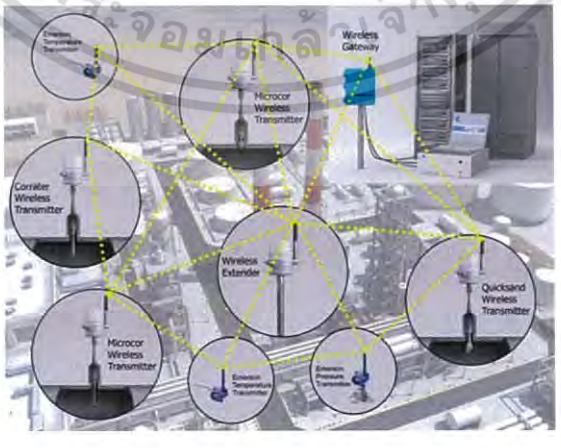
โดยที่ K = ค่าคงที่ของท่อและชนิดของของไหล (m^3/s / psi)

ΔP = ค่าความดันแตกต่างระหว่างจุดสองจุดที่ของไหลไหลผ่าน (psi)

2.3 การสื่อสาร

2.3.1 เทคโนโลยี WirelessHART

WirelessHART Protocols เป็นมาตรฐานแบบเปิดที่ถูกออกแบบมาสำหรับอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณที่เชื่อมต่อที่ 4-20mA analogue loop และให้อัตราการส่งข้อมูลที่ความเร็ว 250kbps เป็นมาตรฐานที่มีการสอดคล้องทางเวลา (time-synchronized) มีการจัดการตัวเอง และรักษาตัวเองได้ (self-healing) และคุณสมบัติอื่นๆ อีกที่รวมกันทำให้เทคโนโลยีนี้มีความมั่นคงถึง 99.9% สำหรับการเชื่อมต่อแบบ end-to-end ในทุกๆ สภาพแวดล้อมทางอุตสาหกรรม มี Channel hopping เพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวนและทำให้สามารถทำงานร่วมกับเครือข่ายไร้สายอื่นๆ ที่อยู่ด้วยกันได้ ประสิทธิภาพ WirelessHART เป็น Wireless Version ของ Fieldbus-based Protocols ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสำหรับการตรวจจับสัญญาณ (Sensor) แบบ Peer-to-peer โดยใช้เครือข่ายไร้สายทำให้สามารถเพิ่มความสามารถสื่อสารแบบไร้สายให้แก่อุปกรณ์และระบบ Highway Addressable Remote Transducer Protocol (HART) ของเดิมเทคโนโลยีนี้วางพื้นฐานอยู่บน ย่านความถี่ที่ไม่ต้องขออนุญาตที่ 2.4 GHz ที่ใช้ในเทคโนโลยีอื่นๆ เช่น Wi-Fi หรือ Bluetooth และรวมทั้ง ZigBee โดยให้ความปลอดภัยและการเชื่อมต่อที่มีการป้องกัน เพื่อให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลที่ถูกส่งทุกๆ แพ็กเกจถูกส่งในเวลาที่ข้อมูลนั้นเกิดขึ้นจริงแน่นอน Protocols นี้ยังทำให้ผู้ใช้สามารถใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีแบบไร้สายได้เร็วและง่ายขึ้น ขณะเดียวกันยังคงความสอดคล้องและทำงานร่วมกันกับอุปกรณ์ เครื่องมือ และระบบเดิมที่เป็น HART ที่ใช้อยู่เดิมได้ [6]



รูปที่ 2.7 การสื่อสารของเทคโนโลยี WirelessHART [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสาร

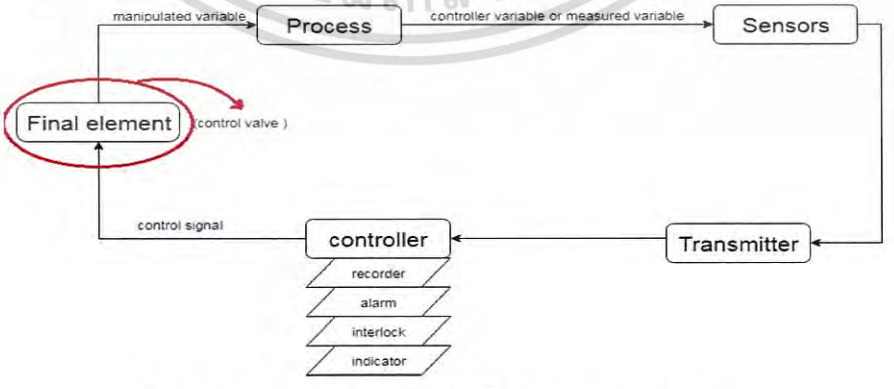
รูปที่ 2.8 อุปกรณ์ The Smart Wireless THUM [6]

The Smart Wireless THUM อุปกรณ์ที่สามารถดัดแปลงอุปกรณ์ที่ผ่าน 2 สาย หรือ 4 สาย ช่วยให้การส่งแบบไร้สายทำการวัดและตรวจข้อมูล โดยที่มันเป็นวิธีที่ง่ายต่อการเข้าถึงของโรงงานโดยประโยชน์ [5] คือ

1. สามารถขยายขอบเขตของค่าที่ไม่สามารถวัดได้เนื่องจากเหตุผลทางทางเทคนิค
2. ทำให้อุปกรณ์ที่เป็นระบบ HART เปิดใช้งานในจุดตรวจวัดใหม่ได้
3. ได้รับการเข้าถึงการวิเคราะห์เครื่องมือขั้นสูง
4. สามารถจัดการอุปกรณ์ระยะไกลและตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์
5. มีข้อมูลที่รวบรวมอย่างมีประสิทธิภาพในหลายตัวแปร

2.4 การควบคุมอัตราการไหล

ระบบการควบคุมอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนคือ Final Element ซึ่งรับสัญญาณควบคุมมาจาก Controller และทำหน้าที่ในการปรับแต่ง Process หรือ Manipulated Variable ดังรูป



รูปที่ 2.9 การควบคุมอัตราการไหลโดย Control Valves

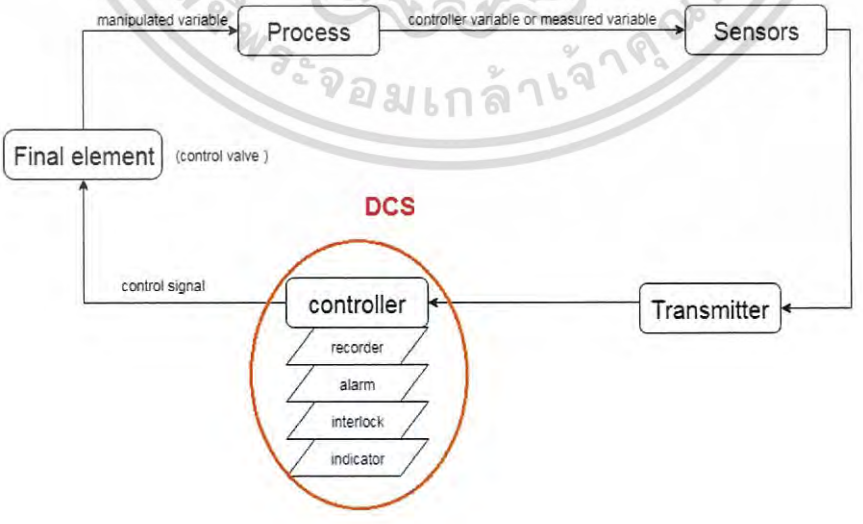
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 Control Valve อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล Fisher GX Control Valve

Control Valve โดยมีหน้าที่หลักที่สำคัญคือเปิด-ปิด ควบคุมอัตราการไหลของของไหล (Fluid Flow Control) ในส่วนของ 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 2.10 Fisher GX Control Valve [9]

2.4.2 Distributed Control System (DCS)



รูปที่ 2.11 Controller ที่อยู่ในส่วนของ DCS(Distributed Control System)

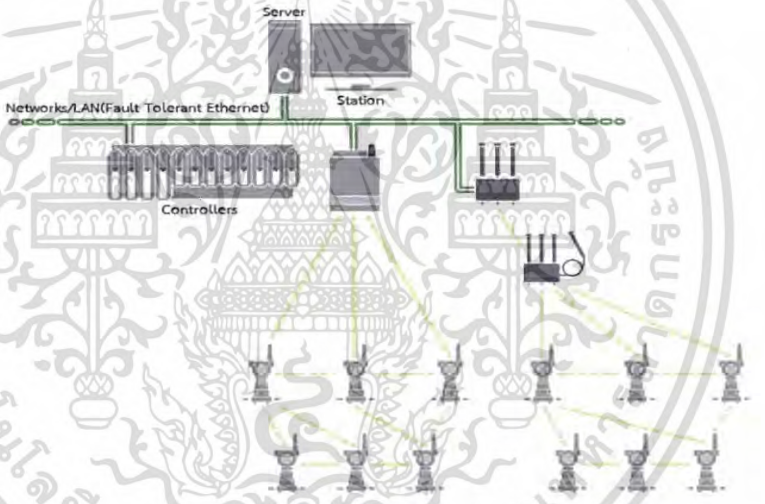
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 ในส่วนของวงกลมนั้นแสดงถึงความสามารถต่างๆของ DCS สิ่งเหล่านี้ซึ่งจะรับค่ามาจาก Transmitter ซึ่งจะประกอบไปด้วย Set Point, Recorder, Alarm, Interlock , Indicator และการตั้งค่าที่ Controller แล้วจะส่ง Control signal ไปที่ Final Element ก็คือตัว Control valve

DCS (Distributed Control System) คือระบบควบคุม (Control) และเฝ้าดู (Monitor) ที่ใหญ่ที่สุดเมื่อเทียบกับระบบควบคุมทั้งหมดและใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ทั้งนี้ DCS ที่ใช้จะสอดคล้องกับโครงงานนี้คือ DeltaV Emerson

ส่วนประกอบหลักของระบบDCSมีอยู่ 4 ส่วนดังต่อไปนี้

1. DCS Servers
2. DCS Stations
3. Networks/LAN (Fault Tolerant Ethernet)
4. Controllers



รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบต่างๆของ DCS ที่ควบคุมกระบวนการแบบ WirelessHART [10]

รูปที่ 2.12 แสดงถึงการเชื่อมต่อของ Station, Networks/LAN (Fault Tolerant Ethernet), Server และ Controllers ซึ่ง จะเชื่อมโยงไปถึง อุปกรณ์ Transmittersแต่ละตัวที่เชื่อมต่อกันแบบ WirelessHART

2.4.2.1 DCS Server

ในระบบ DCS สามารถเป็นได้ทั้งแบบเดี่ยว (Single Server) และแบบคู่ (Redundancy Server) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแบบหลังเพราะถ้ามี Server ตัวใดตัวหนึ่งเสียหรือหยุดการทำงาน Server อีกตัวก็จะขึ้นมาทำงานแทนในทันทีและจะทำให้กระบวนการผลิตนั้นไม่หยุดชะงัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือสร้างความเสียหายให้กับกระบวนการผลิตได้แต่ในโครงงานนี้จะเป็นแบบเดี่ยว (Single Server) ซึ่งหน้าที่หลักของ Server จะมีดังต่อไปนี้

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

2.4.2.2 DCS Stations

DCS Station คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ (PC) ที่รับข้อมูลจาก Server ให้ผู้ควบคุมดูแลการผลิต(Operator) นั้นใช้ในการเฝ้าดู (Monitoring) และควบคุม (Control) กระบวนการผลิตทั้งหมด ทั้งนี้ DCS Station สามารถมีได้มากกว่า1เครื่องขึ้นอยู่กับความเหมาะสม 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.

2.4.2.3 DCS Controller

เป็นตัวที่เชื่อมต่อโดยตรงกับหรืออุปกรณ์การวัด (Device) ในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ Controller มี CPU Processor ที่ทำหน้า Running Programming ที่ได้รับมาจาก Server นั่นเอง Controller นั้นมีมากมาหลายรุ่นและหลายยี่ห้อ การเลือกใช้ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน

รูปที่ 2.13 DeltaV™ S-series SX Controller [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.4 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 ซอฟแวร์โปรแกรม

2.5.1 Microsoft Excel

รูปที่ 2.14 โปรแกรม Microsoft Excel [13]

Microsoft Excel เป็นโปรแกรมประเภท สเปรดชีต (Spreadsheet) หรือโปรแกรมตารางงาน ซึ่งจะเก็บข้อมูลต่าง ๆ ลงบนแผ่นตารางงานใช้สำหรับเก็บข้อมูลในลักษณะของตาราง ที่มีความสามารถในการคำนวณและสร้างกราฟจากข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ปัจจุบันได้พัฒนามาถึงรุ่นที่มีชื่อเรียกว่า Microsoft Excel 2010 ที่พัฒนารูปลักษณ์ของหน้าตาและการใช้งานโปรแกรมให้ดูง่าย โดยมีส่วนติดต่อผู้ใช้ที่มีการรวบรวมไว้เป็นหมวดหมู่ให้สามารถใช้งานได้ง่ายและเป็นระบบมาก ใช้โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อทำการบันทึกข้อมูลจากกระบวนการมาใช่ร่วมกับโปรแกรม MATLAB เพื่อใช่วิเคราะห์ คำนวณ

2.5.2 MATLAB

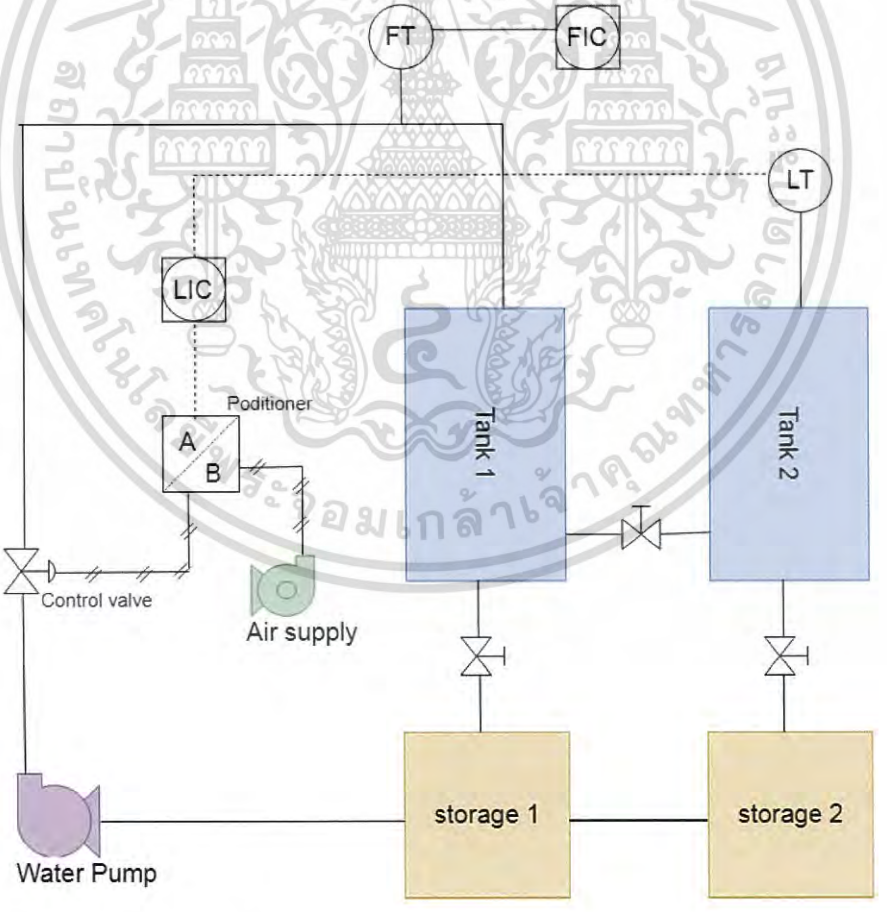
รูปที่ 2.15 โปรแกรม MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่ใช้สำหรับคำนวณเชิงตัวเลข Numerical Computing แสดงผลกราฟฟิก และเขียนแอพพลิเคชั่น ทำให้เราสามารถคำนวณผลลัพธ์ พัฒนาอัลกอลิทึ่ม สร้างแบบจำลอง และแอพพลิเคชั่นได้ง่ายและรวดเร็วมาก ภายในตัว MATLAB ประกอบด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ Toolbox (ทูลบอ็กซ์) กลุ่มฟังก์ชันสำเร็จรูปในแต่ละสาขาวิชา และฟังก์ชันพื้นฐานจำนวนมาก ทำให้การวิเคราะห์ทำได้หลากหลายวิธี พร้อมกับคำตอบที่รวดเร็วนำมาใช่คำนวณสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช่วิเคราะห์ฟังกชั่น ต่างๆ

2.6 Mathematical Model

Mathematical Modeling คือการนำ โมเดลเชิงคณิตศาสตร์มาใช้ในการ จำลอง อธิบาย หรือเปรียบเทียบเหตุการณ์ต่างๆ เป็นกิจกรรมที่แปลงปัญหาที่เกิดขึ้นจริงให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ วิจัย และการดำเนินงานในภายหลัง ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์จะถูกสร้างขึ้นมาหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการ และคำอธิบายที่เกี่ยวข้องกับตัวแบบนี้จะแสดงให้เห็นถึงข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อปัญหาที่ต้องการแก้ไข เช่น



รูปที่ 2.16 แสดง P&ID ของกระบวนการถังน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการที่แสดงต่อไปนี้คือรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการถังน้ำในรูปที่2.16

$$\frac{dH_1}{dt} = Q_i - (Q_1 - Q_{01}) = Q_i - \left(\frac{H_1}{R_1} - \frac{H_1}{R_{01}}\right) = Q_i - \frac{H_1}{R} \quad (2.4)$$

$$\frac{dH_2}{dt} = \frac{H_1}{R_1} - \frac{H_2}{R_{02}} \quad (2.5)$$

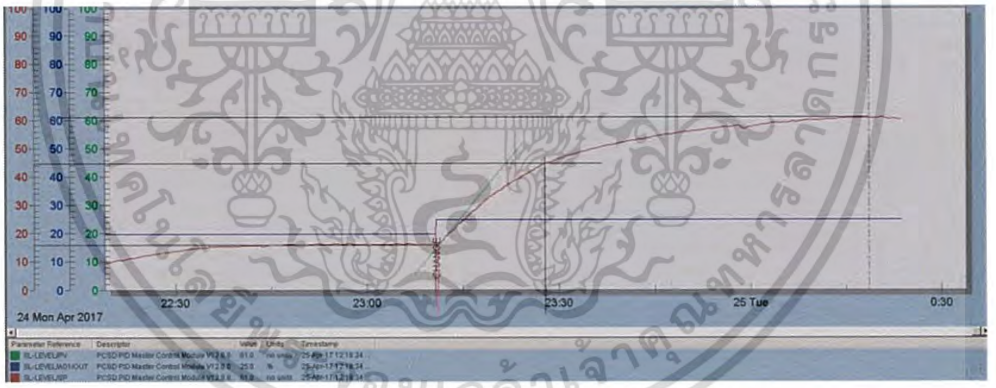
ดังนั้นสมการทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการถังน้ำเป็นดังนี้

$$\frac{dH}{dt} = Q_i - \frac{H_1}{R} \quad (2.6)$$

$$\frac{dH_2}{dt} = \frac{H_1}{R_1} - \frac{H_2}{R_{02}} \quad (2.7)$$

2.7 วิธีคำนวณค่า PID ที่เหมาะสม

2.7.1 การหาค่าพารามิเตอร์ด้วย System Identification แบบ PID วิธีการ Open loop tuning ของสมการที่ 2.4

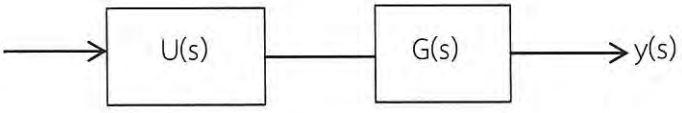


รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการ Plot กราฟ ที่ใช้สำหรับหาค่า PID

1. ปรับโหมดควบคุมเป็นแบบ Manual เปิดวาล์วระบายที่ 50% และเปิด Control Valve ที่ค่าใดค่าหนึ่งและรอให้“ระบบคงที่”
2. รอให้ระบบเข้าสู่ค่าคงที่ที่ค่าหนึ่ง
3. นำกราฟมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการ System Identification ร่วมกับแบบจำลองจากกฎอนุรักษ์พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย FOPDT (First Order With Dead Time) จากแผนภาพแบบจำลอง FOPDT ในรูแบบของ Open Loop Test ให้ U(s) เป็น step input



$$G(s) = \frac{ke^{-LS}}{ST+1} \tag{2.8}$$

$$y(s) = G(s)U(s)$$

$$y(s) = \frac{ke^{-LS}}{ST+1} \cdot \frac{1}{s} \tag{2.9}$$

จากสมการ 2.9 จะได้

$$(\tau s + 1)y(s) = Ke^{-LS}/S$$

$$\tau s y(s) + y(s) = Ke^{-LS}/S \tag{2.10}$$

ขั้นตอนต่อไปทำการ Laplace Transform ทั้งสองสมการ

$$\tau\frac{dy(t)}{dt} + y(t) = Ku(t-L)$$

$$y'(t) + \frac{1}{\tau}y(t) = \frac{K}{\tau}u(t-L) \tag{2.11}$$

ทำการ Integrals ทั้งสองสมการ

$$y(t) - y(o) + \frac{1}{2}\int y(t) = \frac{K}{\tau}\int u(t-L) \tag{2.12}$$

โดย $y(0)$ คือ Initial condition

$$y(t) = y(o) - \frac{1}{2}\int y(t) + \frac{K}{\tau}\int u(t-L) \tag{2.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปของ Time – Domain ทำการจัดรูปให้สามารถทำตามวิธีการในโปรแกรม MATLAB เพื่อคำนวณ วิเคราะห์ได้ต่อไป

โดยให้ $A2 = [u(t-L)\ y(0)]$

$$B2 = y_{data} + \frac{1}{\tau}\int y(t)$$

โดย $y(t) = y_{data}$ คือ ค่า PV ข้อมูลที่เก็บจากกระบวนการที่แต่ละ Set Point

ทำการคำนวณ วิเคราะห์ในโปรแกรม MATLAB เพื่อหาค่า พารามิเตอร์เพื่อใช่ในการเปรียบเทียบกับแบบจำลอง FOPDT จะได้ค่า Process Gain , Time Delay และ Time Constant ของกระบวนการจากสมการ 2.9 จะได้

$$(\tau s^2 + s)\frac{dy(s)}{ds} + (2\tau s + 1)y(s) = -LKe^{-Ls} \qquad (2.14)$$

จัดให้อยู่ในรูปของ Time – Domain จะได้

$$y(s) = \frac{1}{L}\left(t \cdot y(t)\right) + \frac{1}{LT}\left(\int t \cdot y(t) - \iint y(t)\right) - \left(\frac{2+L}{LT}\right) - \int y(t) \qquad (2.15)$$

โดยให้ $A1 = [\ t \times y(t) \quad \int ty(t) - \iint y(t) \quad \int y(t)\ ]$

$$B2 = y_{data}$$

โดยวิธการ Linear Least Square คือการพยายามนำ ค่าความผิดพลาด Error ของข้อมูลต่างๆในระนาบให้อยู่ในรูปเชิงเส้นมากที่สุด

$\|Ax - b\| = 0$; ขนาดของสมการ คือ ค่าความผิดพลาด Error

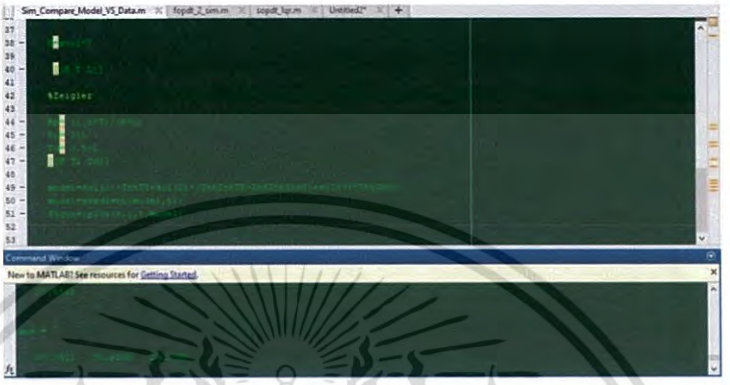
ถ้า $Ax = b$ คือ $\|Ax - b\| = \|0\| = 0$

$$X = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} \quad \text{โดย} \quad X = A/b = A^T A\, X = Ab \qquad (2.16)$$

เพื่อหาค่า พารามิเตอร์ ต่างๆโดยให้ $y(t) = y_{measure}(t)$ ที่ $y(t) = y_{measure}(t)$ คือ ค่าที่เราได้จาก Open Loop Tuning ในสมการที่ 2.13 และ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อได้ Mathematical model ของกระบวนการนำมาเขียนในรูป Transfer - function จากสมการ 1 ที่สามารถทราบค่า [K T L] ค่า Process Gain , Time Delay และ Time Constant ของกระบวนการ ทำการหาค่า K_p , K_i และ K_d จากทฤษฎี Zeigler – Nichol จากตาราง 2.1



รูปที่ 2.18 แสดงการใช้ MATLAB วิเคราะห์ Transfer function

รูปที่ 2.19 แสดงการเปรียบเทียบกราฟ ของ Math model กับ ค่าของ I/P DATA

ตาราง 2.1 การหาค่าพารามิเตอร์ วิธี Ziegler – Nichol

Control TYPE	K_P	K_i	K_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2\frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 การหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี System Identification แบบ LQR (Linear - Quadratic Regulator) โดย Open loop tuning

โดยควบคุมแบบ LQR เป็นการใช้ Optimal Control เข้ามาช่วยในการออกแบบระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับ โดยการวิเคราะห์ที่ state จากพลวัตของกระบวนการ โดยสามารถกำหนดผลตอบสนองความต้องการที่คาดหวังแทนการลองผิดลองถูกจากค่าความผิดพลาดที่สภาพของตัวระบบควบคุมแทนการวิเคราะห์จากความผิดพลาดระหว่างค่าที่ตั้งไว้และค่าจากกระบวนการ โดยกระบวนการ LQR จะมีการวิเคราะห์สมการในรูปเมทริกซ์ หรือ เรียกว่า state ในการใช่ทฤษฎี LQR นั้นมาใช้ในการออกแบบ PID การนิยามตัวแปร State

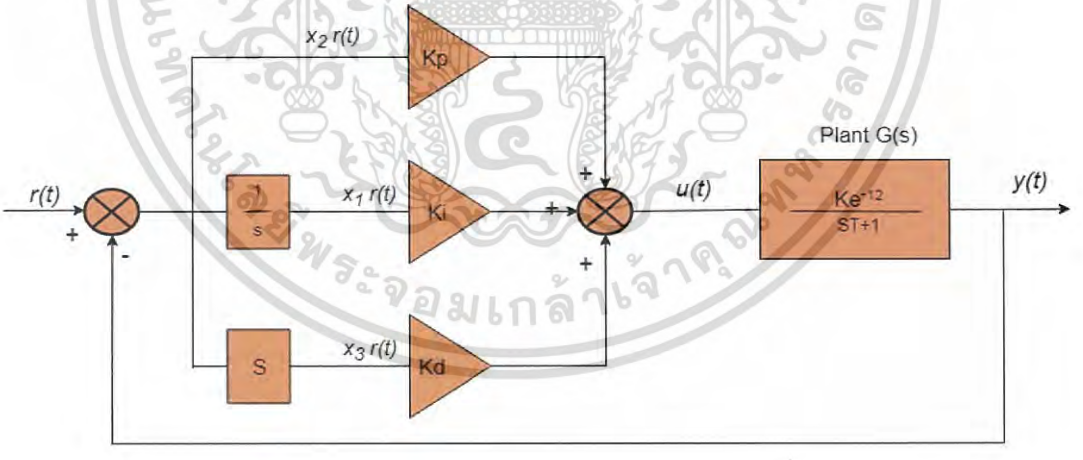
ดังนั้น

$$x_1 = \int e(t) \ , \ x_2 = e(t) \ , \ x_3 = \frac{de}{dt} \tag{2.17}$$

รูปแบบ Transfer function

$$G(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{ke^{-LS}}{ST+1} = \frac{-E(s)}{U(s)} \tag{2.18}$$

จาก PID Controller



รูปที่ 2.20 แสดง PID Controller C(s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ State space ดังนี้

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -b & -a \end{bmatrix} \quad \text{และ} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -K \end{bmatrix} \tag{2.19}$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -b & -a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -k \end{bmatrix} \tag{2.20}$$

เมื่อ a = 0.0142 $\equiv$ ค่าจาก System Identification

b = 1.0142 $\equiv$ System Identification

ทำการกำหนดผลตอบสนองที่ต้องการ Desired response คือ t_r และ t_s

ทำการคำนวณค่า ζ_{cl} และ w_{cl}

โดยสมการ $p_3 = w_{cl}\zeta_{cl}$ (2.21)

จะได้สมการ $\zeta_{cl} = \frac{p_3}{w_{cl}}$ และ $w_{cl} = \frac{p_3}{\zeta_{cl}}$ (2.22)

Characteristics Polynomials ของ Desired response คือ

$$|sI - A_c| = \begin{vmatrix} S & -1 & 0 \\ 0 & S & -1 \\ \eta p_{13} & b + \eta p_{23} & s + a + \eta p_{33} \end{vmatrix} \tag{2.23}$$

เมื่อ $\eta = r^{-1}K^2$

จากสมการที่ (2.11) สามารถเขียน Characteristics Polynomials ได้ดังนี้

$$s^3 + (a + \eta p_{33})s^2 + (b + \eta p_{23})s + \eta p_{13}$$

จะได้เท่ากับ

$$s^3\big((s+m)\zeta_{cl}w_{cl}\big)s^2 + \left(w_{cl}{}^2 + 2m\zeta_{cl}{}^2 w_{cl}{}^2\right)s + m\zeta_{cl}w_{cl}{}^3 \tag{2.24}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบ Overshoot, Rise Time, Setting TIme ที่ต้องการ เมทริกซ์ต่างๆของทฤษฎี LQR สามารถคำนวณได้จากทำการเทียบ Coefficients ของสมการ (2.14) และ (2.15) จะได้

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 \end{bmatrix}, R = [r], P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{21} & p_{31} \\ p_{12} & p_{22} & p_{32} \\ p_{13} & p_{23} & p_{33} \end{bmatrix}$$

$$p_{11} = \frac{m\zeta_d\omega_d{}^5(1+2m\zeta_d{}^2)}{\eta} \qquad p_{12} = \frac{(2+m)m\zeta_d{}^2\omega_d{}^4}{\eta}$$

$$p_{13} = \frac{m\zeta_d\omega^3 d}{\eta} \qquad p_{23} = \frac{\omega_d^2+2m\zeta_d^2-b}{\eta}$$

$$p_{22} = \frac{2\omega^3 d(\zeta_d+2m\zeta^3{}_d)-ab}{\eta} \qquad p_{33} = \frac{(2+m)\omega_d\zeta_d-a}{\eta} \qquad (2.25)$$

ดังนั้นเมทริกซ์ K สามารถคำนวณได้จากทฤษฎีของ LQR (Linear Quadratic Regulator)

$$K = r^{-1}B^TP \qquad (2.26)$$

โดย $r^{-1}B^TP$ เป็นอัตราขยาย (Gain , K)

K คือ ค่า gain ของ LQR

B คือ เมตริกซ์ของK ที่ได้จากplant

P คือ เมตริกซ์ที่สามารถกำหนด Overshoot, Setting Time, Rise Tim

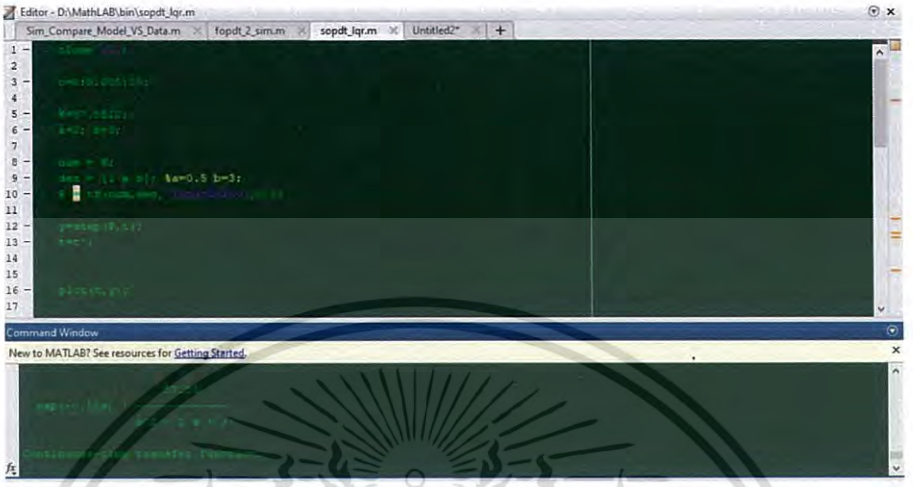
r คือ เมตริกซ์ที่สามารถกำหนดได้

จากนั้นทำการหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี System Identification แบบ LQR (Linear -Quadratic Regulator) โดย Open loop tuning

1. ปรับโหมดควบคุมเป็นแบบ Manual เปิดวาล์วระบายที่ 50% และเปิด Control Valve ที่ค่าใด ค่าหนึ่งและรอให้“ระบบคงที่”
2. รอให้ระบบเข้าสู่ค่าคงที่ที่ค่าหนึ่ง
3. นำกราฟมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการ System Identification ร่วมกับแบบจำลองจากกฎอนุรักษ์พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำ mathematical model ของกระบวนการ มาวิเคราะห์ด้วย Optimal control โดยการแปลง S - Domain ให้อยู่ในรูปแบบ Matrix โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในกาวิเคราะห์ ดังรูป



รูปที่2.21 แสดงการใช้ MATLAB วิเคราะห์ Transfer function ของ LQR

หลังจากได้ค่า เราจึงเลือก Control Type ซึ่งใน Single Loop Level เราจะเลือก Control Type ที่มีสมการ PID แบบ Independent เนื่องจากมีการหน่วงเวลาของการส่งค่าจาก Level Transmitter และใน Single Loop Flow เราจะเลือก Control Type ที่มีสมการ PI แบบ Independent เนื่องจากไม่มีการหน่วงของระบบเกิดขึ้น ต่อมาเมื่อเราต้องการควบคุมแบบ Cascade โดยให้ Controller Level เป็น Master Loop หรือ Primary Control และ Controller Flow เป็น Slave Loop หรือ Secondary Control

การเลือก Control Type นั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบของกระบวนการว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร โดยพิจารณาดังนี้

1. ผลตอบสนองที่ได้ไม่มีการพุ่งเกินให้สังเกตว่าระบบมีความผิดพลาดในสภาวะคงตัวหรือไม่ ถ้าไม่มีความผิดพลาดในสภาวะคงตัวให้ใช้ตัวควบคุมแบบ P อย่างเดียว แต่ถ้ามีความผิดพลาดในสภาวะคงตัวให้ใช้ตัวควบควบคุมแบบ PI
2. ผลตอบสนองที่ได้มีการพุ่งเกินของผลตอบสนองถ้าต้องการลดการพุ่งเกินของผลตอบสนองอย่างเดียว โดยยอมรับค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวได้ ให้ใช้ตัวควบคุมแบบPID แต่หากต้องการปรับทั้งความเร็วและการพุ่งเกินของผลตอบสนองรวมไปถึงค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัว ให้ใช้ตัวควบคุมแบบ PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

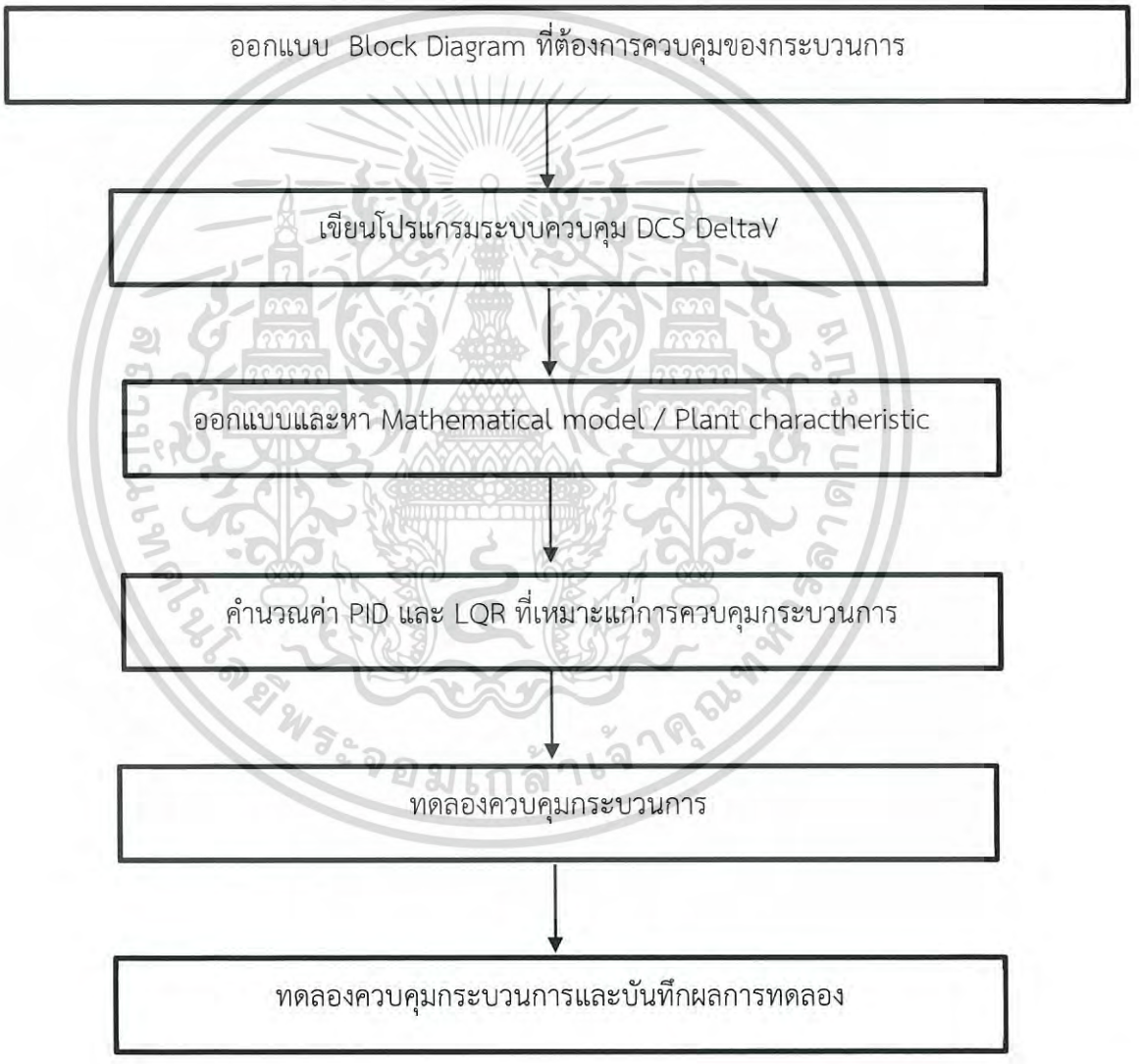
จากนั้นผู้ควบคุมกระบวนการควรพิจารณาว่าต้องการให้กระบวนการเป็นไปในทางไหน โดยสามารถใช้ตารางที่ 2.1 เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกและปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้กระบวนการเป็นไปตามที่ผู้ควบคุมกระบวนการต้องการ และในส่วนของการเลือก PID Equation แบบ Dependent เมื่อต้องการใช้ Gain รวมเพียงตัวเดียว และแบบ Independent 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 จะเห็นว่าค่า *Kd* นั้นน้อยเกินไปเนื่องจากการหน่วงของระบบส่งผลให้ระบบเข้าสู่ Steady-state ช้า เราจึงเพิ่มค่า *Kd* จนกระทั่งสามารถชดเชยค่าหน่วงเวลาได้ และนำไปควบคุมกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3
ขั้นตอนการดำเนินงานและการใช้งานอุปกรณ์

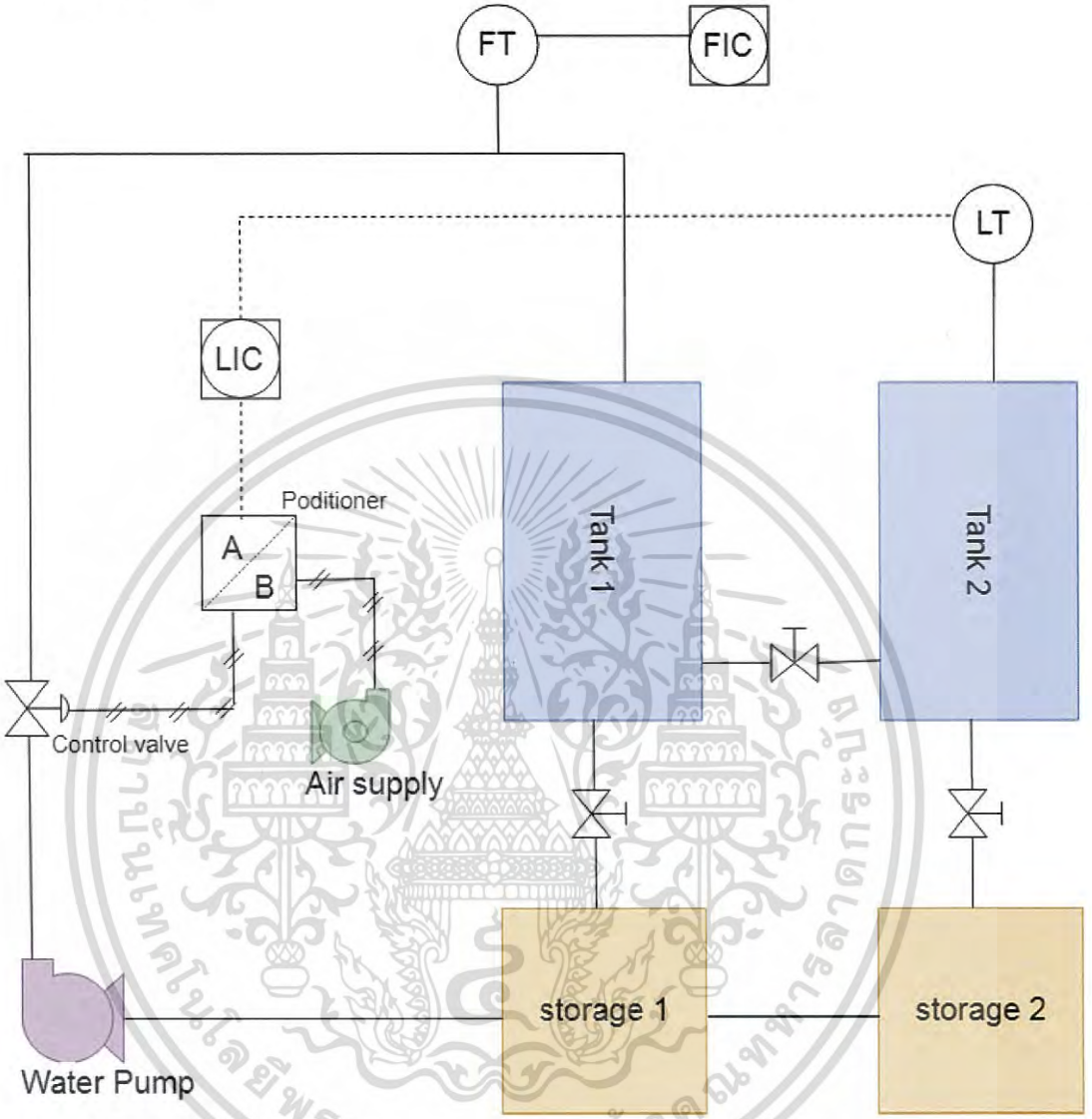
ขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มจากการเลือกอุปกรณ์ที่จะมาใช้ในการควบคุม (Scope of Work) หลังจากนั้นจัดเตรียมอุปกรณ์และซอฟแวร์ต่างๆที่เลือกไว้ เพื่อใช้ในการดำเนินงานโดยหลังจากนั้นจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆแล้วสามารถดำเนินงานตามแผนผังด้านล่างทีละขั้นตอนตามที่ได้ระบุไว้ด้านล่าง



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานก่อนเริ่มทำการทดลองจนถึงบันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การออกแบบ P&ID ใน LOOP ที่ต้องการควบคุมระดับน้ำ แบบ Cascade Control



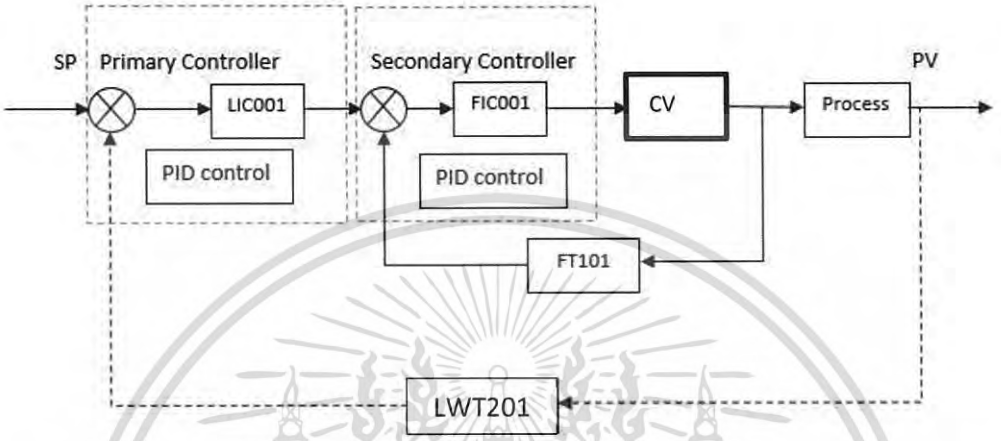
รูปที่ 3.2 แสดง P&ID ใน Loop Tank และอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง

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 ปั๊มน้ำและ Air Supply คือถังอัดลมเพื่อป้อนเข้าสู้ Actuator ของ Control Valve เพื่อให้ Control Valve เปิด/ปิด ตามต้องการและในส่วนของ Ball Valve สามารถเปิด/ปิด เพื่อควบคุมการระบายน้ำออกจาก Tank การทำงานจะต่างจาก Control Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ 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 Cascade Control (WirelessHART)

โดยที่ การควบคุมระดับแบบ cascade โดยใช้ระดับเป็นตัวควบคุม

LIC คือ level indicator controller

FIC คือ flow indicator controller

CV คือ คอนโทรลวาล์ว

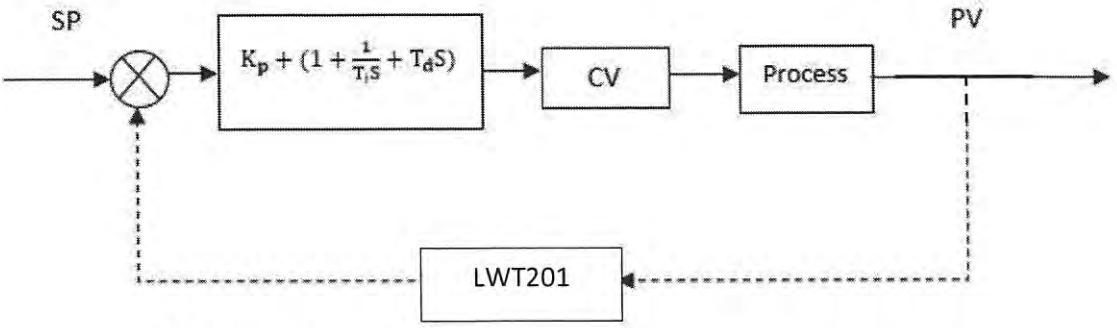
Process คือ ระดับน้ำที่เราควบคุม

LTW 201 คือ Wireless Level Transmitter (5402 Non-contacting Radar)

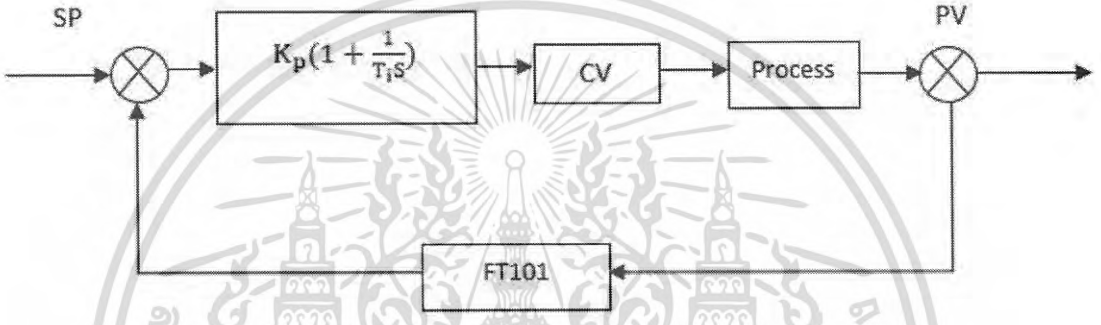
Cascade Loop เกิดจากการนำ Single Loop Level และ Single Loop Flow มารวมเข้าด้วยกัน เพื่อช่วยในการควบคุมกระบวนการได้ดียิ่งขึ้น Block Diagram ดังรูปที่ 3.3 จะแสดงให้เห็นว่ายังคงใช้ตัวแปรเหมือนกับการออกแบบ Single Loop เพียงแต่นำมารวมเข้าด้วยกัน

จากสมการที่ (2.7) และตารางที่2.1 สามารถออกแบบ Math Model ของ ของ Ziegler-Nichols เพื่อใช้ในการค่าพารามิเตอร์ของ Single Loop Control และนำไปสู่การหาค่าพารามิเตอร์ของ Cascade Loop Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

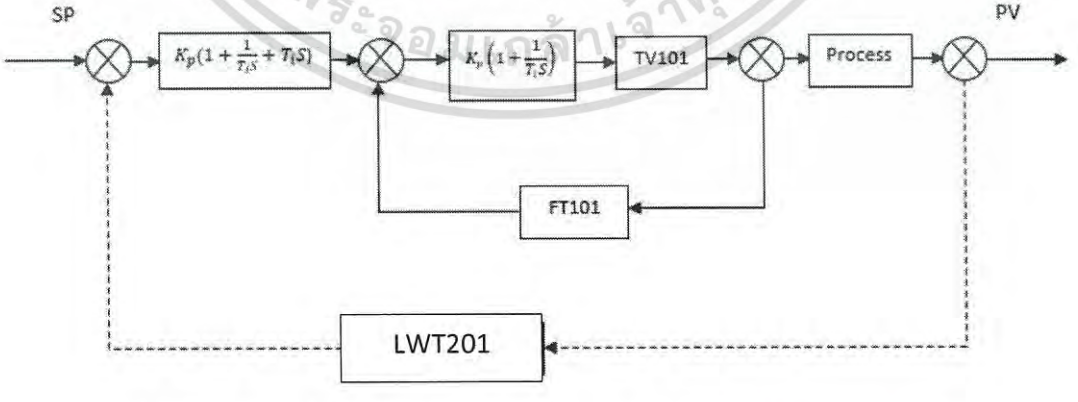


รูปที่ 3.4 แสดง Block Diagram Single Loop Level ของ Ziegler-Nichols



รูปที่ 3.5 แสดง Block Diagram Single Loop flowของ Ziegler-Nichols

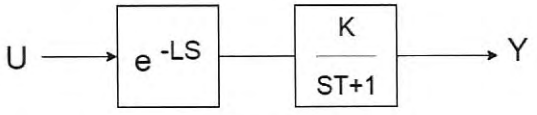
จากรูปที่ 3.4 และ 3.5 เรานำโมเดลคณิตศาสตร์มาใส่ในบล็อคของ LIC และ FIC เพื่อแสดงให้เห็นว่าการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมนั้นต้องการทราบตัวแปรที่มีผลกระทบต่อกระบวนการโดยจะได้ Block Diagram cascade จากการใส่ โมเดลคณิตศาสตร์



รูปที่ 3.6 แสดง Block Diagram cascade จากการใส่โมเดลคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎี FOPDT (First Order Plus Dead Time) เนื่องจากข้อมูลที่เราได้ทำการเก็บข้อมูลของกระบวกการ ถังน้ำ2ถัง กราฟที่ได้ มีลักษณะคล้ายกับ First Order เราจึงเลือกใช้ รูปแบบของ FOPDT (First Order Plus Dead Time)



รูปที่ 3.7 แสดงรูปแบบสมการ transfer function ของ FOPDT

$$y(s) = \frac{ke^{-LS}}{ST+1} \tag{3.1}$$

โดยที่

L คือ Dead Time

S คือ ตัวแปร S-Domain

K คือ ค่าเกนของกระบวนการ

U คือ ค่าอินพุตของกระบวนการ

Y คือ ค่าเอาท์พุตของกระบวนการ

T คือ ค่าคงที่เวลา

เมื่อได้สมการจาก FOPDT (First Order Plus Dead Time) แล้วจากนั้นเราใช้วิธีการ**หา**ค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Ziegler-Nichols ดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 3.8 แสดงโค้ดที่อยู่ในโปรแกรม MATLAB คำนวณหาค่า K ออกมาสมการจาก FOPDT (First Order Plus Dead Time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการหาพารามิเตอร์ ในวิธีการ LQR (Linear Quadratic Regulator)
สมการของ LQR นั้นที่เราคำนวณออกมา จาก รูปที่ 2.20 และ ตามวิธีการคำนวณหาพารามิเตอร์ ในวิธีการของ LQR จากสามาการข้างต้นที่ได้กล่าวไว้ใน หัวข้อง 2.7.2 ใช้สมการ 2.18 , สมการ 2.20

ทำการกำหนดผลตอบสนองที่ต้องการ Desired response คือ t_r และ t_s
โดยให้

$$t_r = 2 \qquad \text{และ} \qquad t_s = 4$$

จากนั้นแทนค่า t_r และ t_s ลงในสมการ 2.22 คือ $\zeta_{cl} = \frac{p_3}{w_{cl}}$ และ $w_{cl} = \frac{p_3}{\zeta_{cl}}$
จะได้

$$\zeta_{cl} = 5 \times \frac{p_3}{w_{cl}} \qquad w_{cl} = 5 \times \frac{p_3}{\zeta_{cl}}$$

ให้ r = 0 เพื่อลดจำนวนตัวแปรในการออกแบบตัวควบคุม และให้ m = 5 เพื่อให้แน่ใจว่า Domain pole อยู่ห่างจากแกน Imagine จากการคำนวณจากสมการที่ 2.23 และ 2.24 จะได้สมการ 2.25

$$p_{11} = \frac{m\zeta_d\omega_d{}^5(1+2m\zeta_d{}^2)}{\eta} \qquad p_{12} = \frac{(2+m)m\zeta_d{}^2\omega_d{}^4}{\eta}$$

$$p_{13} = \frac{m\zeta_d\omega^3 d}{\eta} \qquad p_{23} = \frac{\omega_d^2+2m\zeta_d^2-b}{\eta}$$

$$p_{22} = \frac{2\omega^3 d(\zeta_d+2m\zeta^3{}_d)-ab}{\eta} \qquad p_{33} = \frac{(2+m)\omega_d\zeta_d-a}{\eta}$$

ดังนั้นเมทริกซ์ K สามารถคำนวณได้จากทฤษฎีของ LQR (Linear Quadratic Regulator) $K = r^{-1}BP$ ทั้งนี้การเลิก r เป็น Scalar ซึ่งมีค่าน้อยมากนี้ ทำให้ลดตัวแปรในการคำนวณน้อยลง และเมื่อทำการคำนวณในโปรแกรม MATLAB จะได้

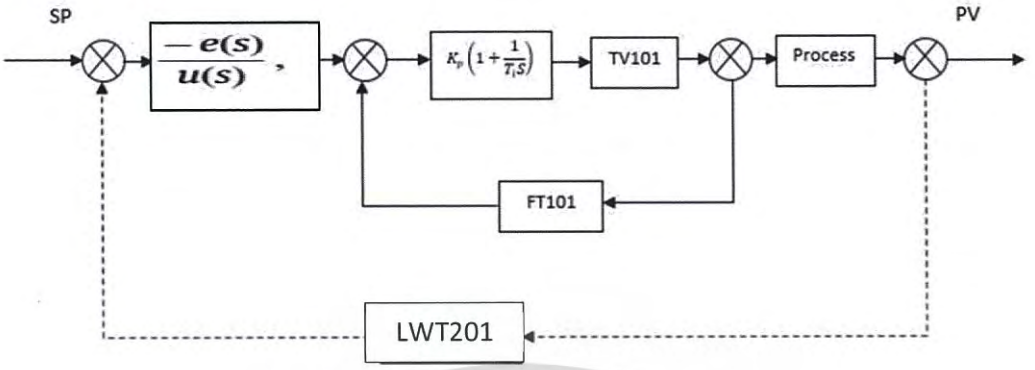
Kp = 3.25

Ki = 234.4

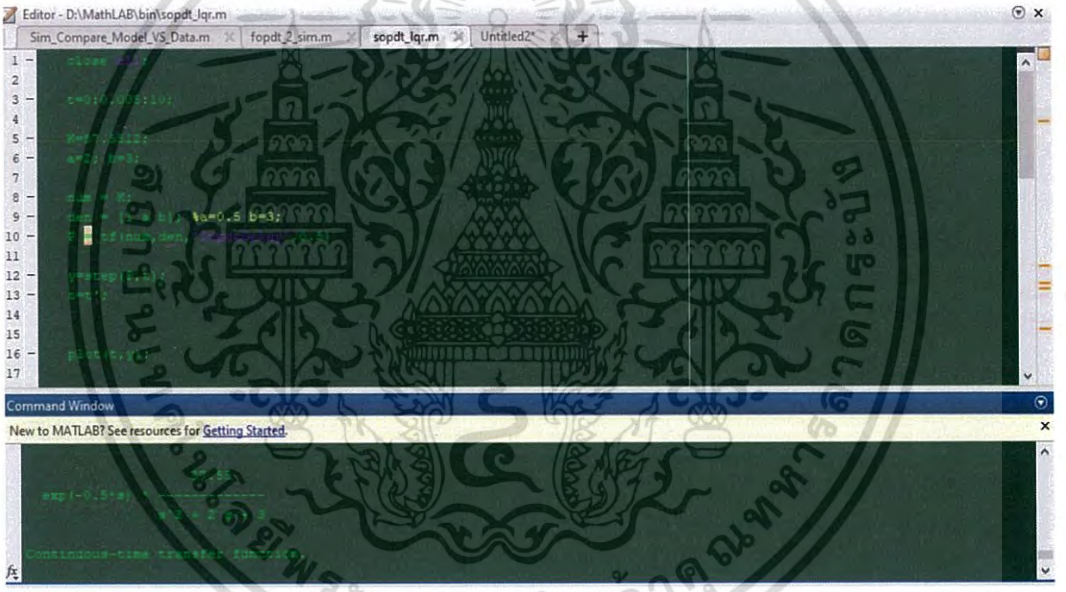
Kd = 28.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำสมการ ของ ที่ได้มา นำมาเข้า block diagram cascade แล้วทำการใช้โปรแกรม MATLAB คำนวณค่าออกมา



รูปที่ 3.9 แสดง Block Diagram cascade จากการใส่โมเดลคณิตศาสตร์และ LQR



รูปที่ 3.10 แสดงโค้ดที่ใส่ลงใน โปรแกรม MATLAB ในรูปแบบของฟังก์ชันของ LQR

3.3 Configuration HART475

ขั้นตอนการ Configuration WirelessHART โดยใช้อุปกรณ์ HART 475

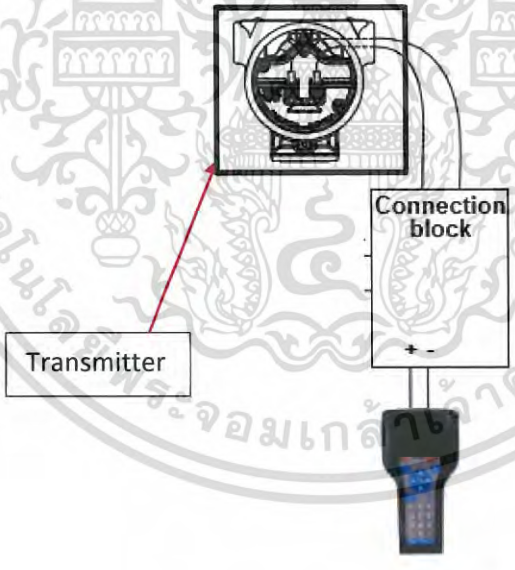
Hand Held รุ่น HART 475 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกับ Transmitters ที่มี โปโตคอล HART ซึ่งใช้ในการกำหนดค่าของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 แสดงอุปกรณ์ HART 475 [5]

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 เพียงเท่านี้ก็จะสามารถ Configuration ของทรานสมิตเตอร์ได้ [5]



รูปที่ 3.12 แสดงการเชื่อมต่อ Transmitter ที่ต้องการ Configuration กับ HART 475 [5]

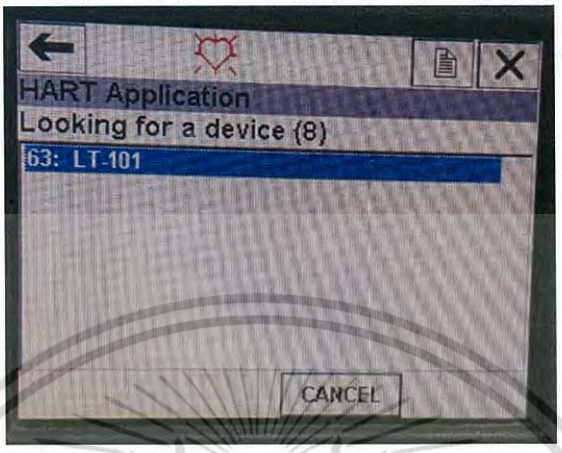
3.3.2 ขั้นตอนการ Configuration ทรานสมิตเตอร์ ด้วยอุปกรณ์ HART 475

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการ Configuration

1. หลังจากที่เราเสียบสายระหว่าง HART 475 กับทรานสมิตเตอร์ ถ้าถูกต้องจะพบตัวเลือก ดังรูปที่ 3.13 ในที่นี้เลือก 63: LT-101 เพื่อเชื่อมต่อกับตัวรับส่งค่าแบบ Wireless (THUM) ใน Transmitter LT-101



รูปที่ 3.13 แสดงการเลือกอุปกรณ์

2. เลือกฟังก์ชันการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ในที่นี้ติดต่อกับ Transmitter ชนิด HART Protocol จึงเลือก HART ดังรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.14 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 3.15

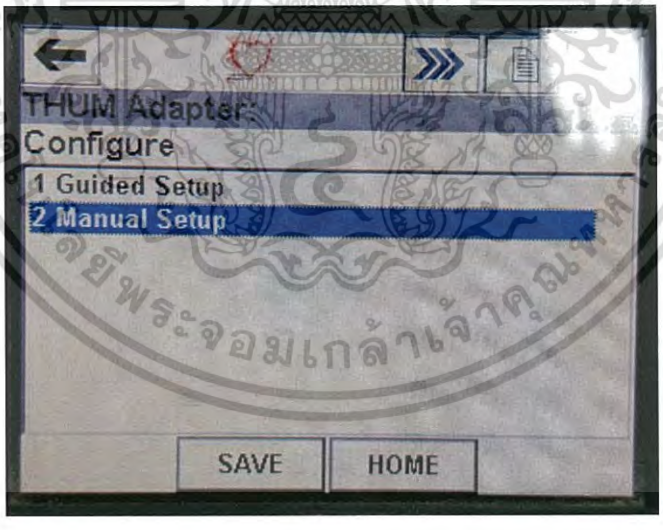
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*หมายเหตุ

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

รูปที่ 3.15 แสดงถึงตัวเลือกที่ต้องการเข้าถึง

4. หลังจากที่เข้าหัวข้อ Configure จะพบตัวเลือกสำหรับการเข้าไปแก้ไขของอุปกรณ์ ในที่นี้เลือก Manual Setup เพื่อเลือกหัวข้อที่ต้องการปรับแต่งเอง ดังรูปที่ 3.16 หรือจะเลือก Guide Setup เพื่อเข้าไปปรับแต่งตามที่ระบบกำหนดก็ได้



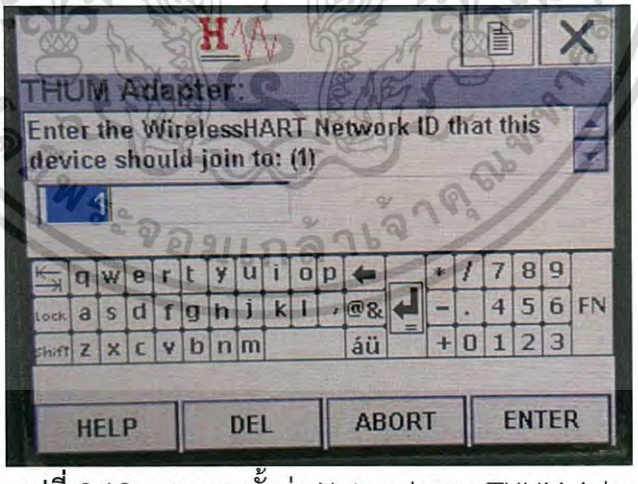
รูปที่ 3.16 แสดงตัวเลือกสำหรับการเข้าไปแก้ไขอุปกรณ์

5. ขั้นตอนนี้เป็นการเลือกการแก้ไขหัวข้อโดยละเอียด โดยจะเลือกหัวข้อ Wired Device เมื่อต้องการปรับแก้ค่าของระบบอุปกรณ์ที่ใช้สาย, ถ้าเลือก Electronics Temperature เพื่อดูค่าอุณหภูมิของอุปกรณ์, ถ้าเลือก THUM Information เพื่อดูสถานะและข้อมูลของตัวส่ง Wireless ในที่นี้เลือก Wireless เพื่อตั้ง ค่าของ Wireless ให้อยู่ใน Network เดียวกัน ดังรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.17 แสดงตัวเลือกในโปรแกรมของ Manual Setup

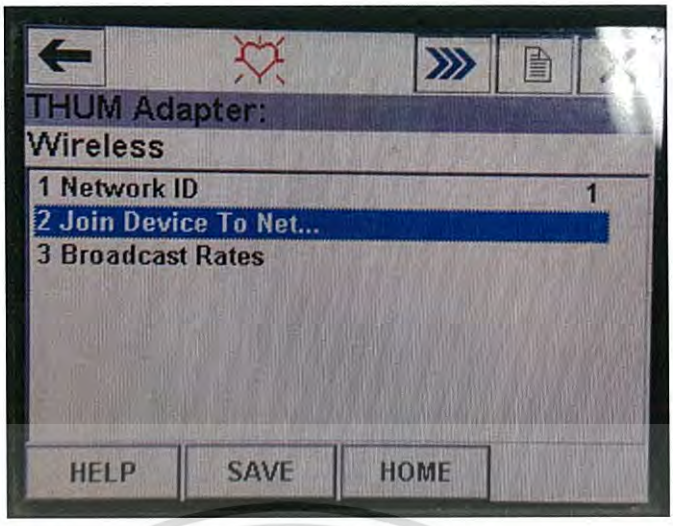
6. เมื่อเราเลือกการปรับแต่งของ Wireless ระบบจะให้กำหนด WirelessHART Network ID เพื่อให้อุปกรณ์ที่อยู่ในเครือข่ายการสื่อสารของ WirelessHART Network ID เดียวกัน จะสามารถติดต่อกันได้ เนื่องจากอยู่ในเครือข่าย Network เดียวกัน ในที่นี้เลือก Network ID ให้เป็น 1 เป็นการกำหนด Network เพื่อให้อุปกรณ์ที่ใช้สามารถสื่อสารถึงกันได้ในเครือข่ายเดียวกัน ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงการตั้งค่า Network ของ THUM Adapter

7. หลังจากที่ทำการตั้งค่า Network ID ระบบจะไปสู่หน้าจอดังรูปที่ 3.19 เพื่อตั้งค่า Join Key ของอุปกรณ์ เพื่อเข้าไปที่ Network ซึ่งทำให้อุปกรณ์ที่มี Join Key เหมือนกัน ใน Network เดียวกันติดต่อสื่อสารข้อมูลกันได้

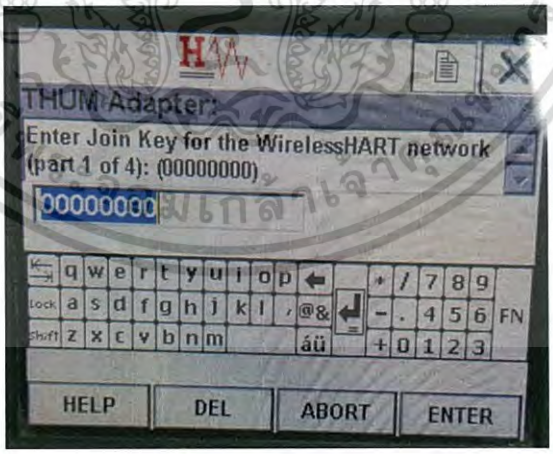
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แสดงการเลือก Join Device to network

8. หลังจากที่เลือก Join Device To Network จะเป็นขั้นตอนการกำหนด Join Key ให้กับอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.20, 3.21, 3.22 และ 3.23 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) ซึ่งถ้ามีอุปกรณ์อื่นที่จะติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์นี้ก็ต้องตั้งค่า 00000000 ทั้ง 4 Part เช่นกัน ถ้ามี Part ใด Part หนึ่ง ที่ค่าไม่เหมือนกัน ก็จะไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้

อุปกรณ์ที่เราตั้งค่า Network ID และ Join Key มีเพียง THUM Adapter ของ LTW201 (DP Balance Sytem) เท่านั้นซึ่งถ้าผู้ทดลองต้องการรับค่าจาก **THUM Adapter** ของ **Transmitter** ตัวอื่นก็สามารถตั้งค่าได้เช่นกัน

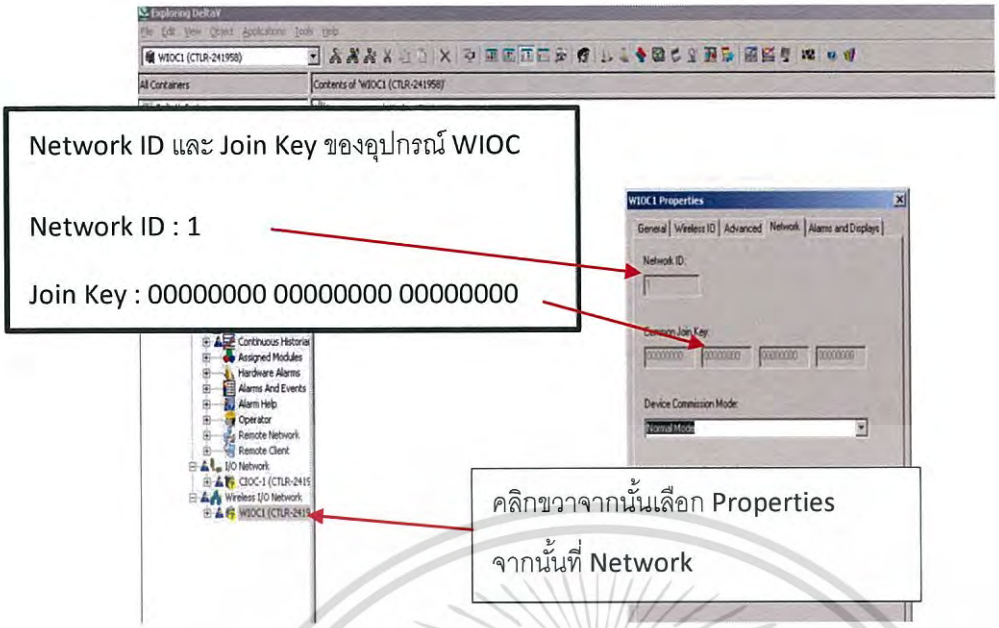


เครื่องมือ 1 ตัวนั้นมี **Join Key** 4 ชุดซึ่งในที่นี้เราตั้งค่าให้เป็น **00000000** ทั้ง 4 ชุด เพื่อความสะดวกในการตั้งค่า **Join Key** ให้ตรงกันทั้งหมด

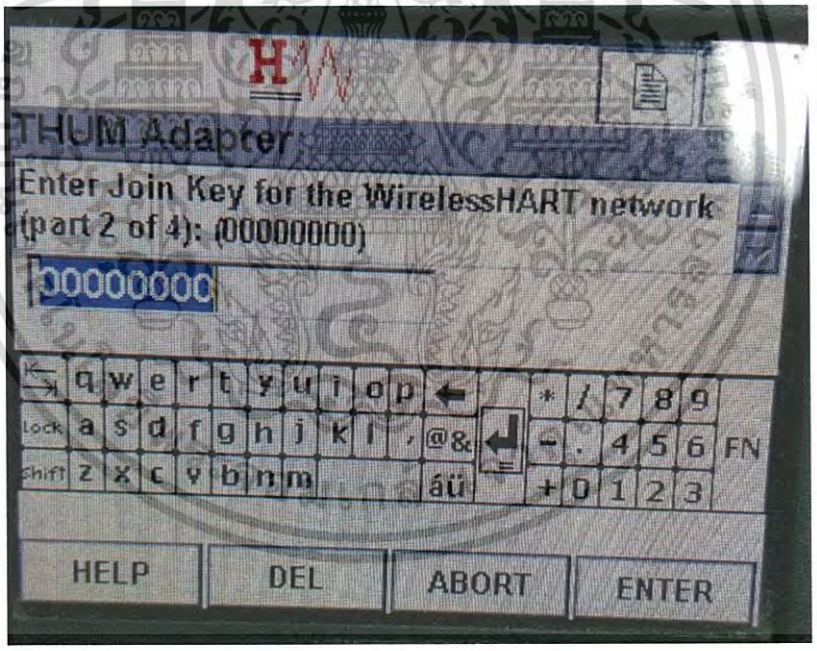
รูปที่ 3.20 แสดงการ Configuration เลือก part 1 of 4 ให้เป็น 00000000

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

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

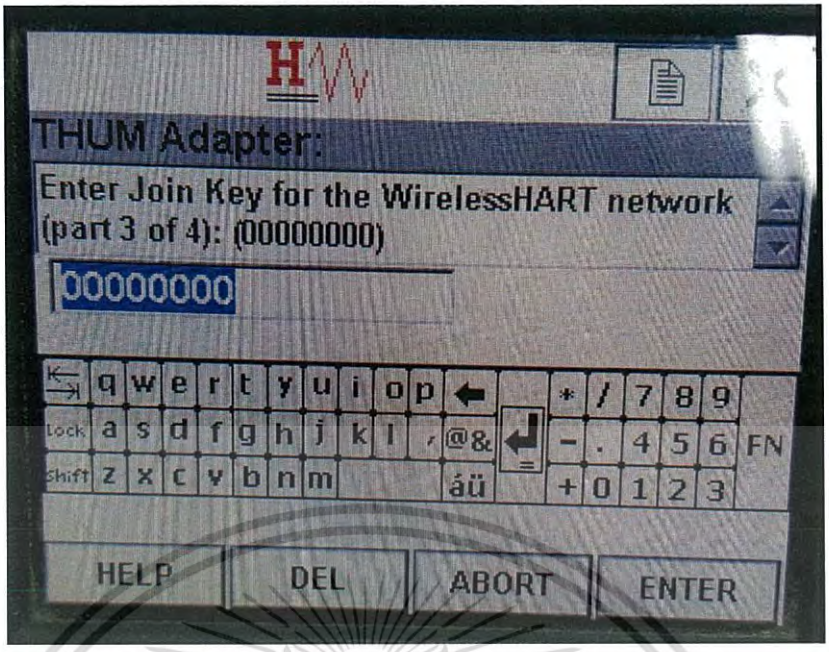


รูปที่ 3.21แสดงถึง WIOC Properties ในโปรแกรม Exploring DeltaV



รูปที่ 3.22แสดงการ Configuration เลือก part 2 of 4 ให้เป็น 00000000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

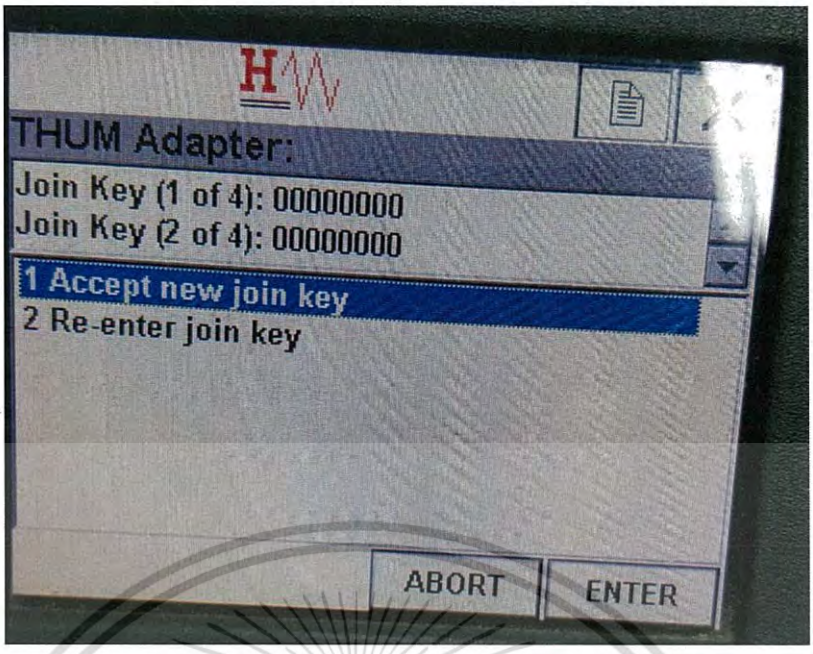


รูปที่ 3.23 แสดงการ Configuration เลือก part 3 of 4 ให้เป็น 00000000

รูปที่ 3.24 แสดงการ Configuration เลือก part 4 of 4 ให้เป็น 00000000

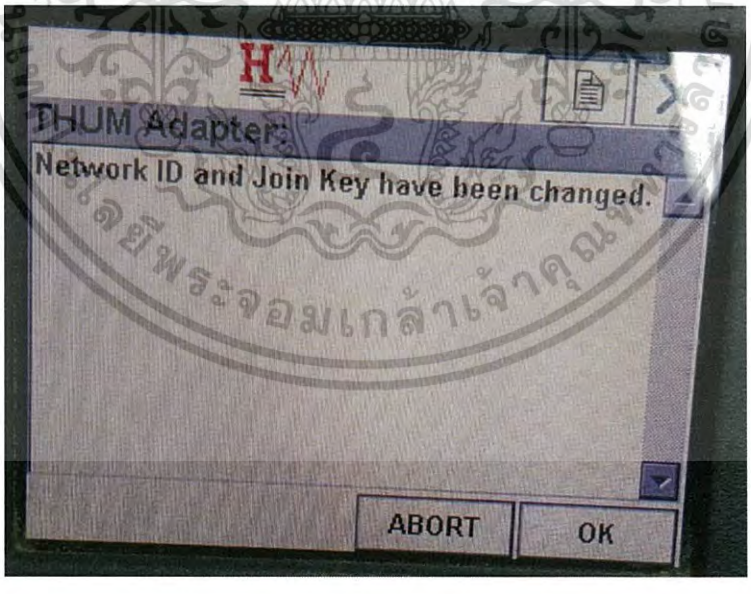
9. หลังจากที่กรอกค่า Join Key เรียบร้อยทั้ง 4 Part ระบบจะขึ้นหน้าจอมาสอบถามการยืนยันค่า Join Key ทั้ง 4 Part ในที่นี้เลือก Accept new join key เพื่อยอมรับ Join Key ตามที่กรอกค่าไปล่าสุด ดังรูปที่ 3.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 แสดงหน้าจอยืนยันของระบบ

10. ระบบได้แจ้งว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่า Network ID และ Join Key ซึ่งเป็นการเสร็จสิ้นขั้นตอนการ Configuration ของอุปกรณ์ ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 แสดงผลการตั้งค่าของ THUM Adapter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 DCS Program

โปรแกรม DeltaV Distributed Control Systems (DCS) ของทางบริษัท EMERSOM เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการแบบกระจายส่วน

3.4.1 ซอฟท์แวร์ DeltaV Version 12

รูปที่ 3.27 DeltaV Distributed Control Systems (DCS) Version 12

ระบบ DeltaV ทำให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อข้อมูลในภาคสนาม ในระดับอุปกรณ์ระบบ DeltaV ให้ความสามารถในการ Plug and Play สำหรับรันไทน์และการวินิจฉัยในความหลากหลายของโปรโตคอล 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 และระบบอื่นๆที่ใดก็ได้ในเครือข่าย

บูรณาการข้อมูลกับระบบ DeltaV ให้ข้อมูลระหว่างข้อมูลธุรกิจและระบบที่มีเวลาการติดตั้งน้อยที่สุด ผู้มีอำนาจตัดสินใจในทุกระดับในโรงงานจากวิศวกรรมการดำเนินงานและการผลิตจะได้รับข้อมูลที่สำคัญที่ต้องการความน่าเชื่อถือปลอดภัยและเป็นแบบเรียลไทม์

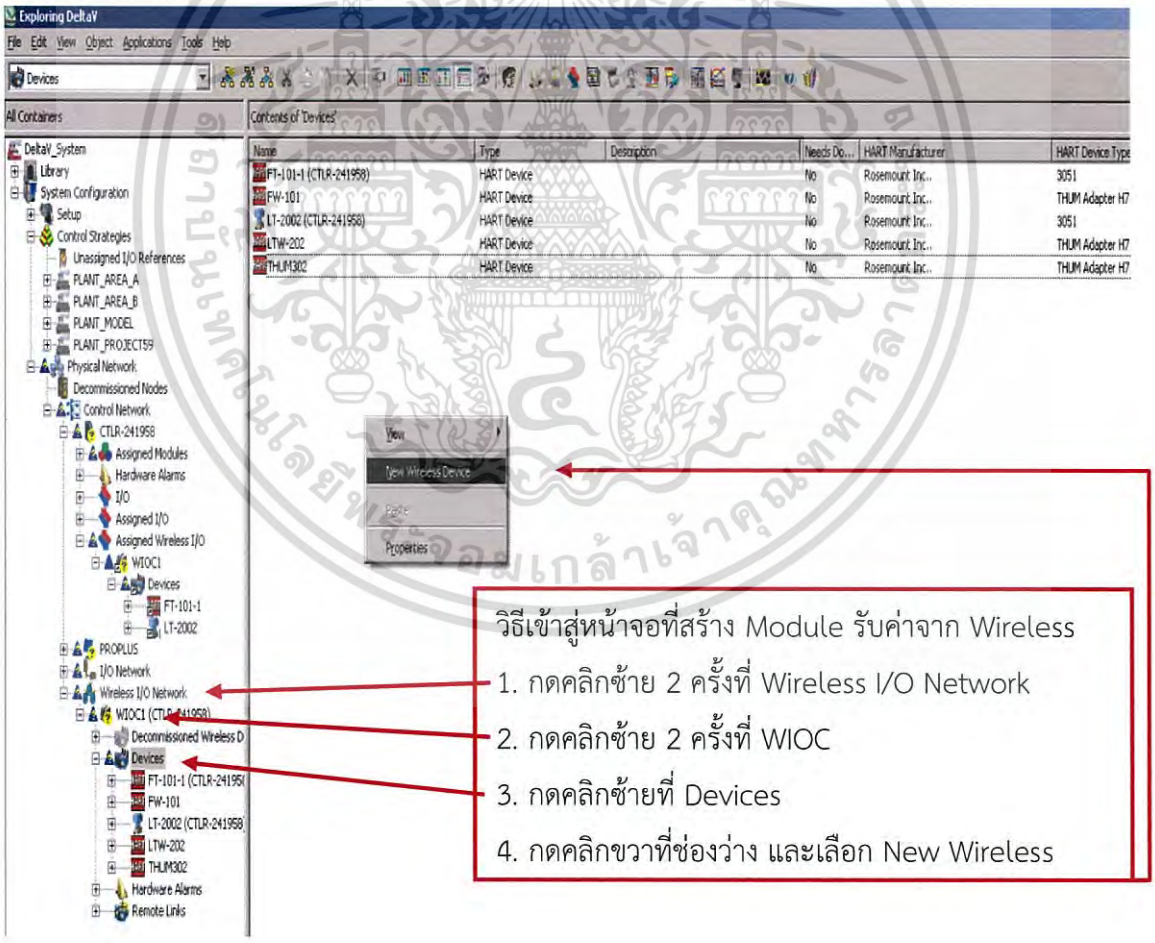
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 3.26

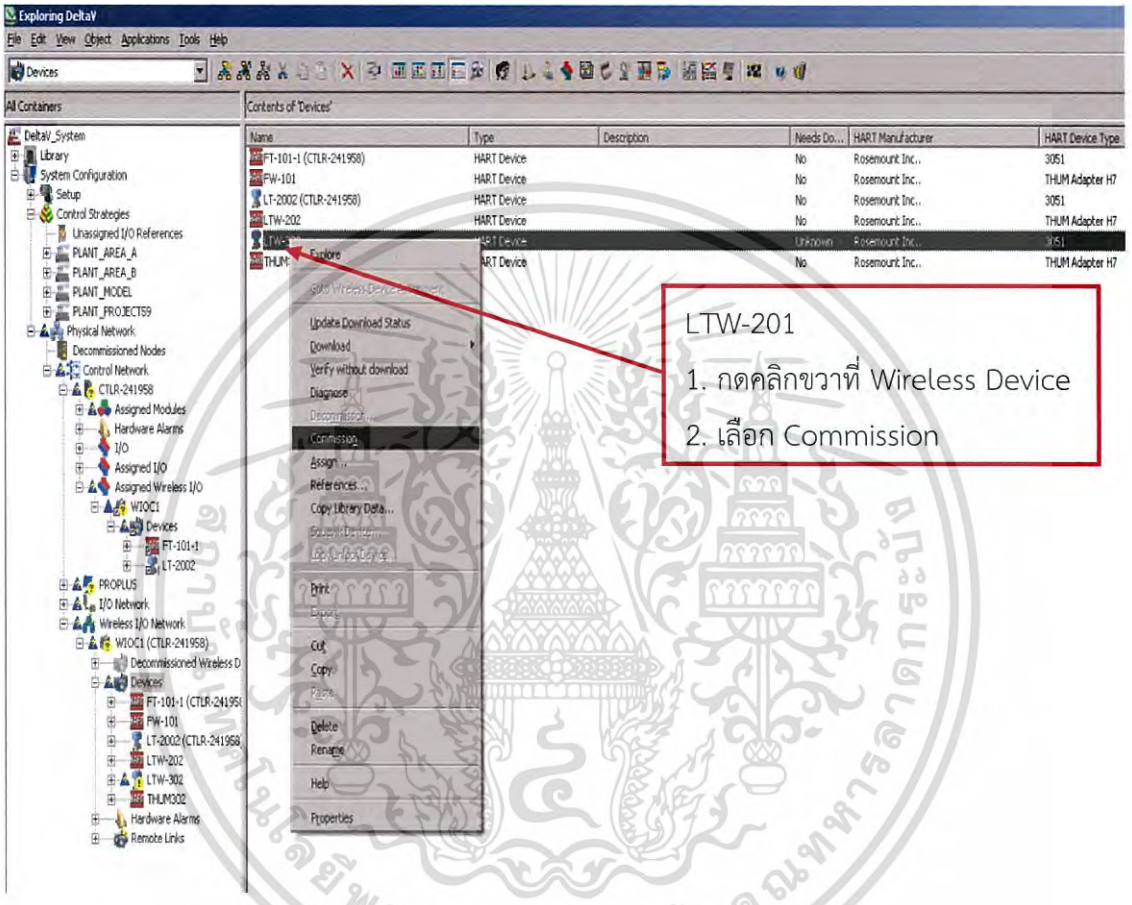


รูปที่ 3.28 สร้าง New Wireless Device ใน Control Strategies

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หลังจากที่สร้าง Module แล้ว ก็ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่รับส่งค่าแบบ Wireless เพื่อนำค่าที่อุปกรณ์รับส่งแบบ Wireless ไปเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ ซึ่งขั้นตอนการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับส่งค่าแบบ Wireless จะแสดงไว้ ดังรูปที่ 3.27, 3.28 และ 3.29

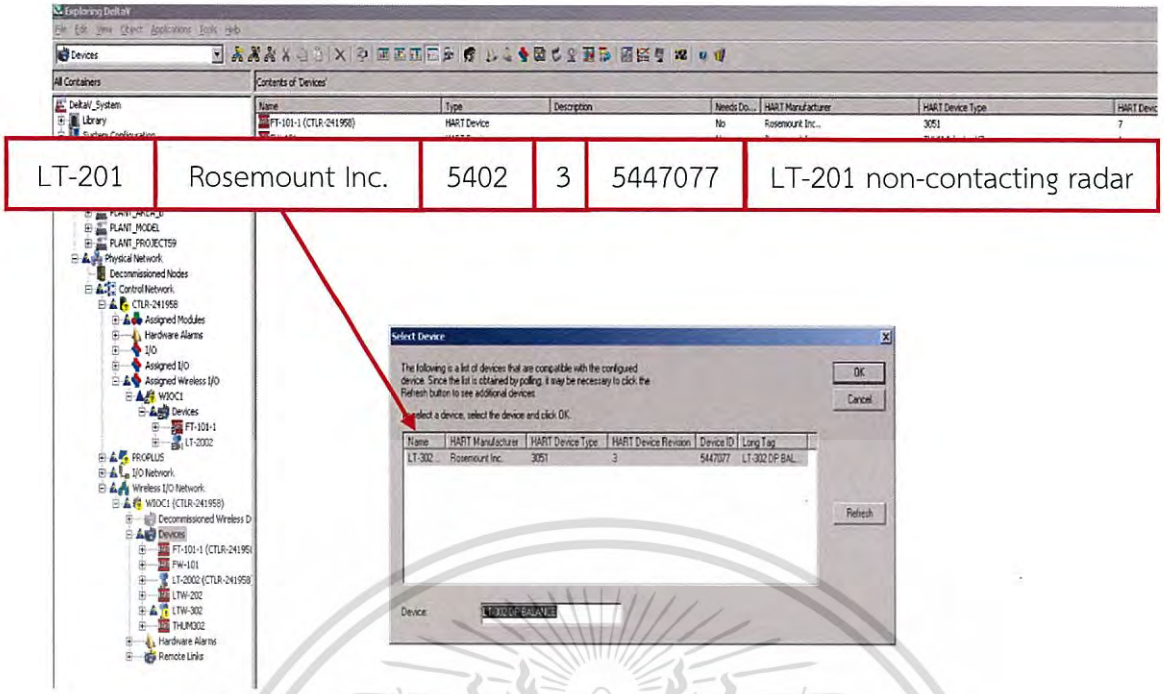
จากนั้น คลิกขวาที่ LTW-201 หรือ Wireless Device ที่ต้องการเลือก หลังจากนั้นเลือก Commission ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 แสดงการ Commission New Wireless Device ไปยัง LTW-201

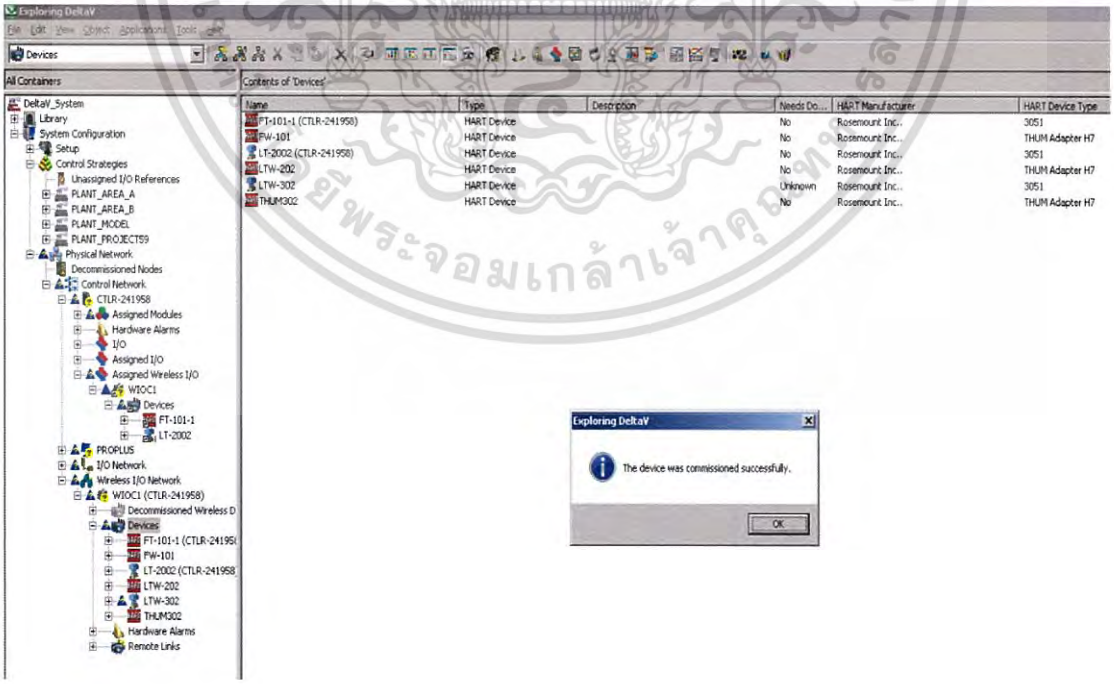
หลังจากที่กด Commission ระบบจะแสดงจำนวนอุปกรณ์และข้อมูลอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อกับ Module Wireless Device ที่เพิ่งสร้างได้ แสดงตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.30 กด OK เพื่อยืนยันการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับ Module Wireless Device

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 แสดงจำนวนอุปกรณ์และข้อมูลของอุปกรณ์ ที่มีการรับส่งค่าแบบ Wireless

หลังจากที่กด OK เพื่อยืนยันการเชื่อมต่อแล้ว ระบบจะส่งข้อความมาแจ้งผลของการเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 3.31 ระบบแจ้งว่า Commissioned Successfully

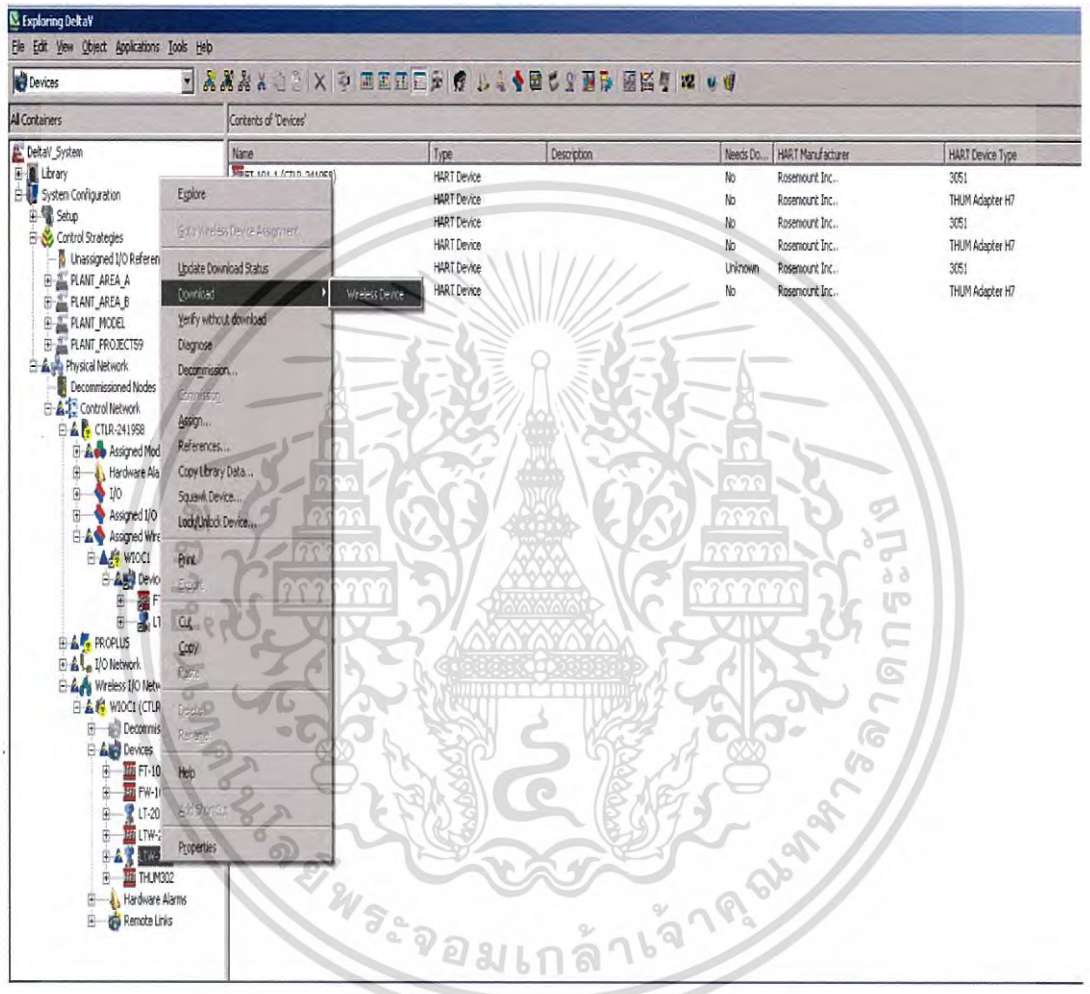


รูปที่ 3.31 แสดงผลของการ Commission

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขั้นตอนต่อไปเป็นขั้นตอนการนำ Module ที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่รับส่งค่าแบบ Wireless แล้วเข้าไปที่ Controller เพื่อสามารถสั่งการหรือควบคุมได้ ถ้าไม่นำ Module เข้า Controller จะไม่สามารถควบคุมอุปกรณ์ตัวนั้นๆ ได้ ซึ่งขั้นตอนเป็นดังรูปที่ 3.32, 3.33 และ 3.34

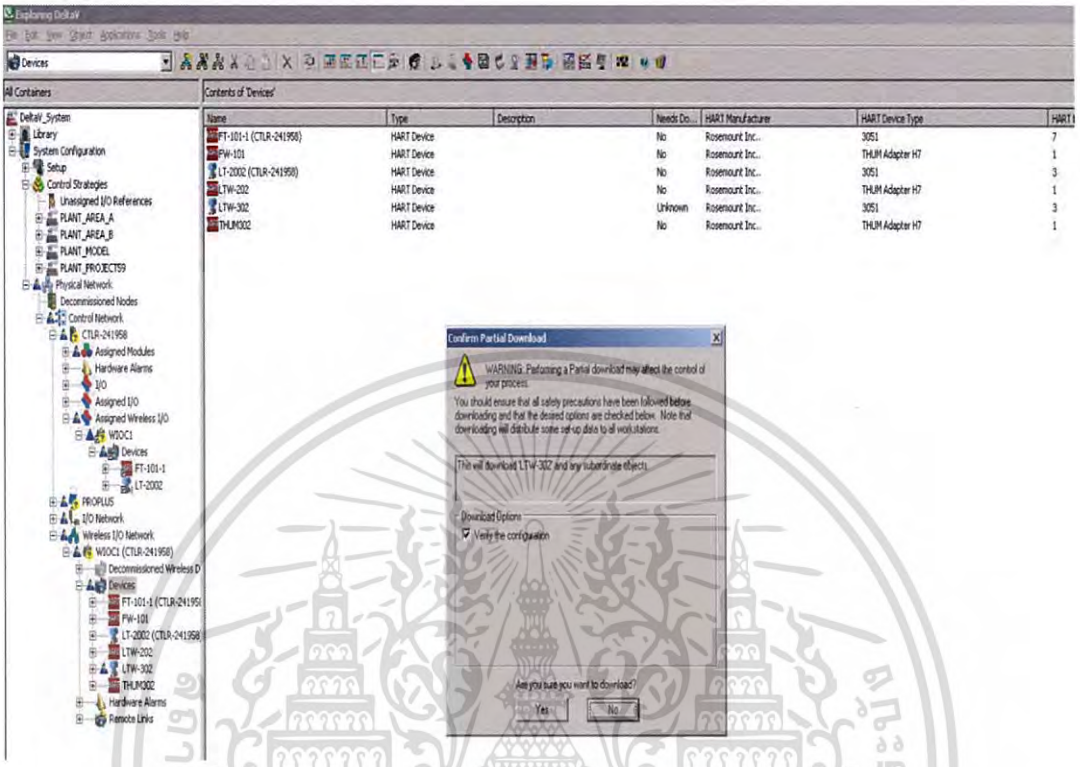
กดคลิกขวาอุปกรณ์ที่ชื่อ LTW-201 หลังจากนั้นกดคลิกขวา เลือก Download Wireless Device เพื่อเข้า Download เข้า WIOC1 ดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 แสดงถึงวิธีการนำ Wireless Device เข้า Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

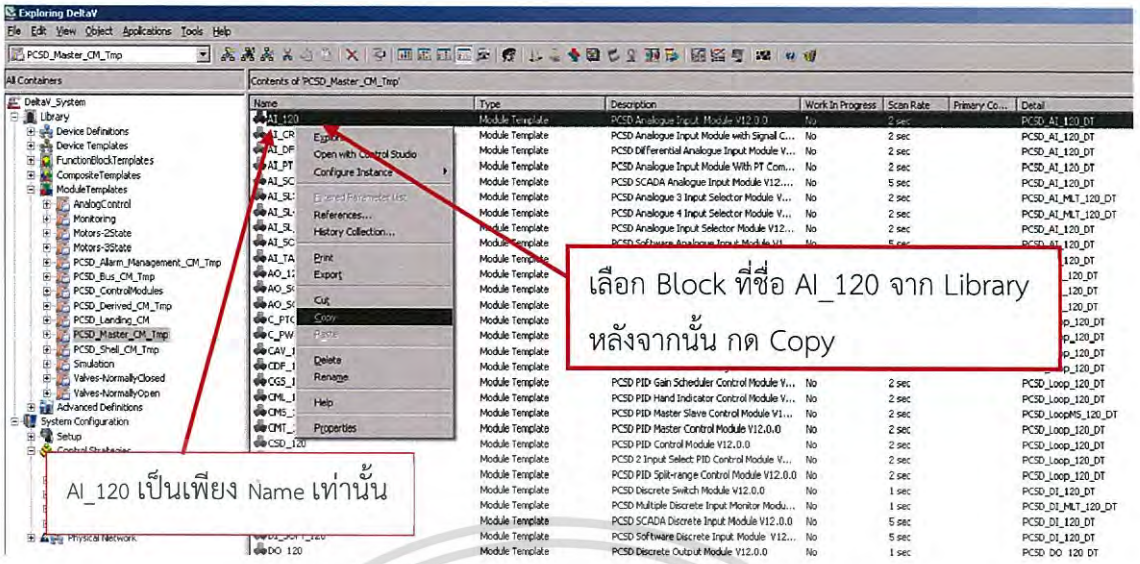
ระบบสอบถามการยืนยันการ Download Wireless Device นี้ เข้า Controller ถ้าต้องการ คลิกที่ Yes แต่ถ้าไม่ต้องการ คลิกที่ No ดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 แสดงการ Download Wireless Device

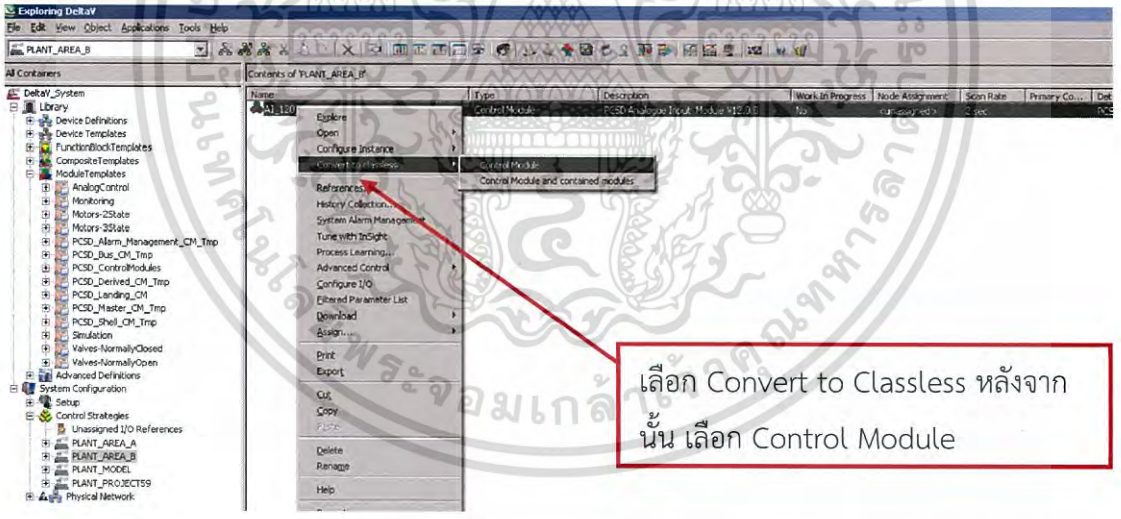
4. ขั้นตอนต่อไป เป็นการเขียนคำสั่งลง Controller ซึ่งตัวอย่างข้างล่างนี้ จะเขียนเพื่อรับค่าข้อมูลจาก Wireless ซึ่งการสร้าง Module ควบคุม สามารถเลือกใช้ Module จาก Library ให้เหมาะสมเพื่อเป็นตัวรับส่งค่าต่างๆจาก Wireless ในที่นี้เลือกไปยัง Library เลือก Module Templates หลังจากนั้น เลือก PCSD_Master_CM_Tmp เลือก AI_120 คลิกขวากด Copy เพื่อนำ Module AI_120 ไปใช้ในการเขียนโปรแกรม ดังรูปที่ 3.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 แสดงการเลือกโมดูล AI_120 จาก Library

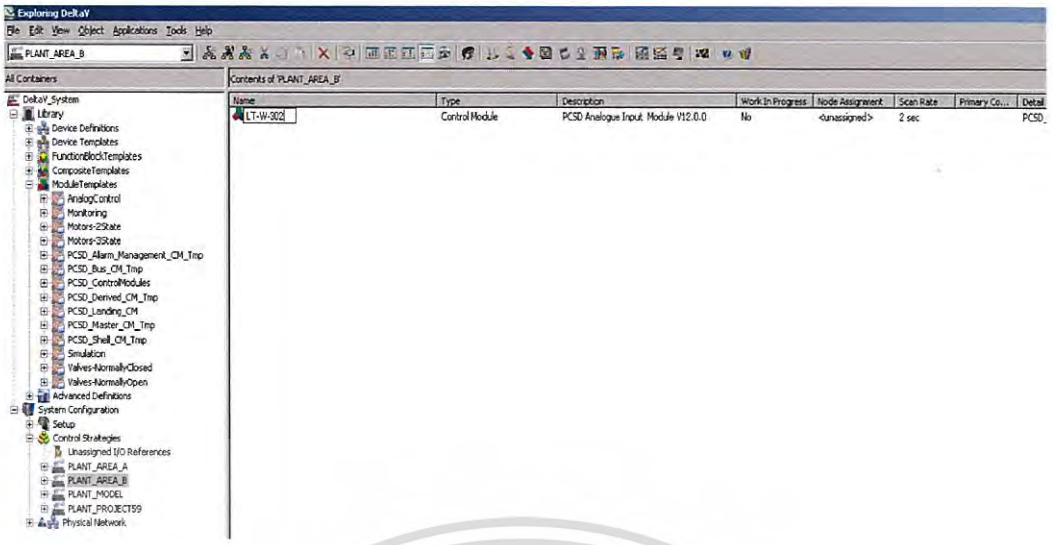
5. หลังจากนั้น จะทำการ Convert to Classless ดังรูปที่ 3.35 เพื่อแก้ไขข้อมูลใน Block สำเร็จรูปได้ ถ้าไม่ Convert to Classless จะไม่สามารถแก้ไข Block จาก Library ได้



รูปที่ 3.35 แสดงการ Convert to Classless โมดูล AI_120 เพื่อไปยัง Control Module

6. หลังจากนั้นก็ทำการเปลี่ยนชื่อเพื่อให้ทราบว่า Module นี้ เป็น Module ที่ไว้ควบคุม LT201 แบบ Wireless ดังรูปที่ 3.36

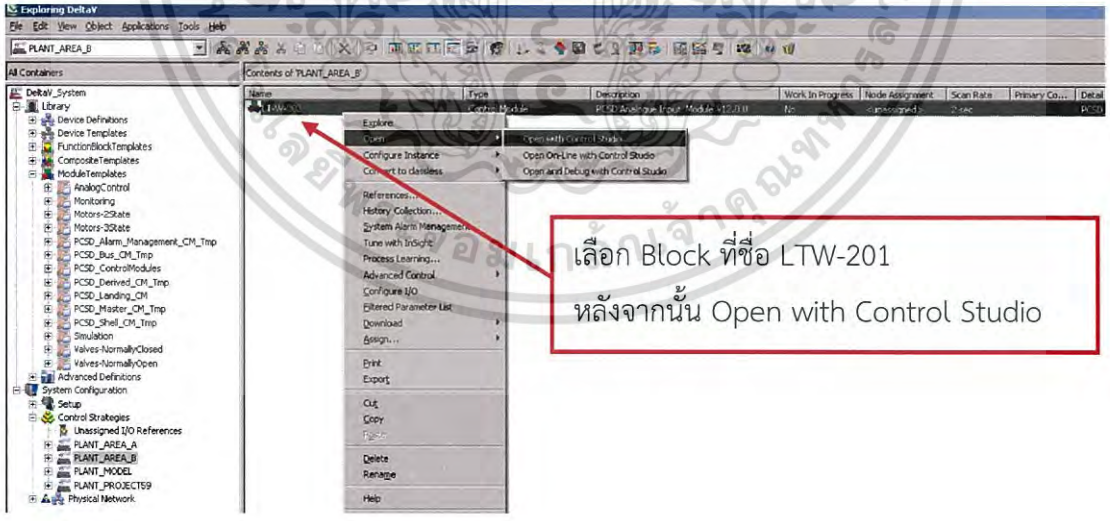
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.36 แสดงการเปลี่ยนชื่อ Module จาก AI_120 เป็น LTW-201

7. หลังจากเปลี่ยนชื่อแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการเขียนคำสั่งรับส่งค่าจากทรานสมิตเตอร์เพื่อนำไปใช้ในโปรแกรม DeltaV Operate เพื่อดูค่าหรือควบคุมค่าจากหน้าจอกราฟฟิก ดังรูปที่ 3.37 ถึง 3.38

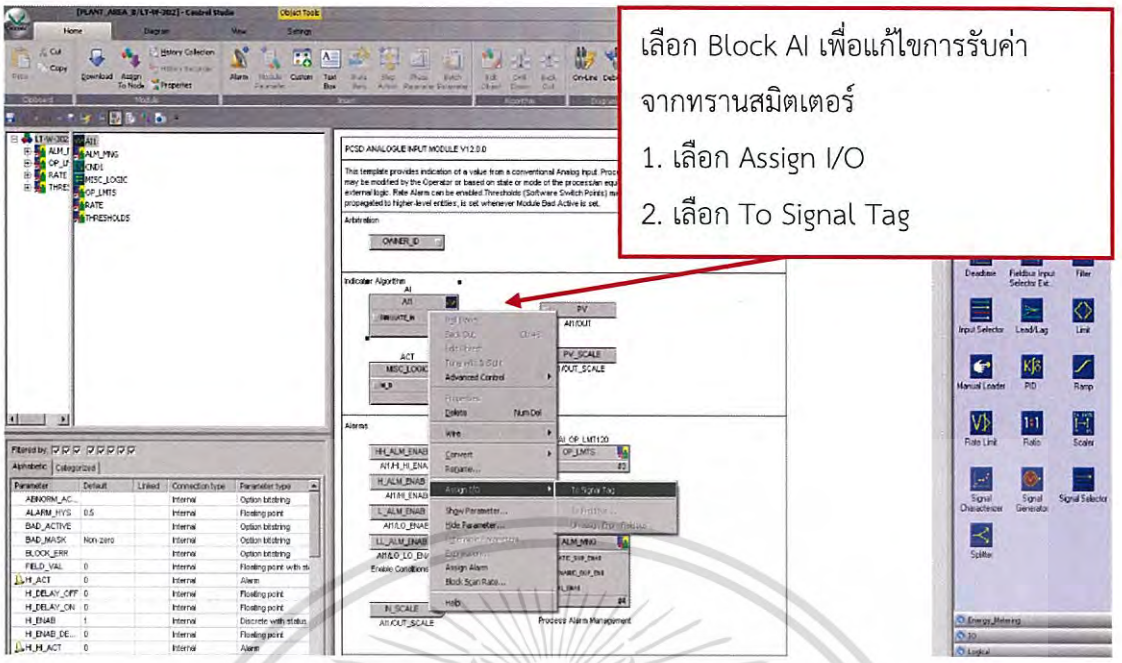
คลิกขวาที่ Module LTW-201 เลือก Open ไปที่ Open with Control Studio เพื่อเข้าไปดูหรือแก้ไขคำสั่งของ Module LTW-201 ดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.37 แสดงการเข้า Control Studio ของ Module LTW-201

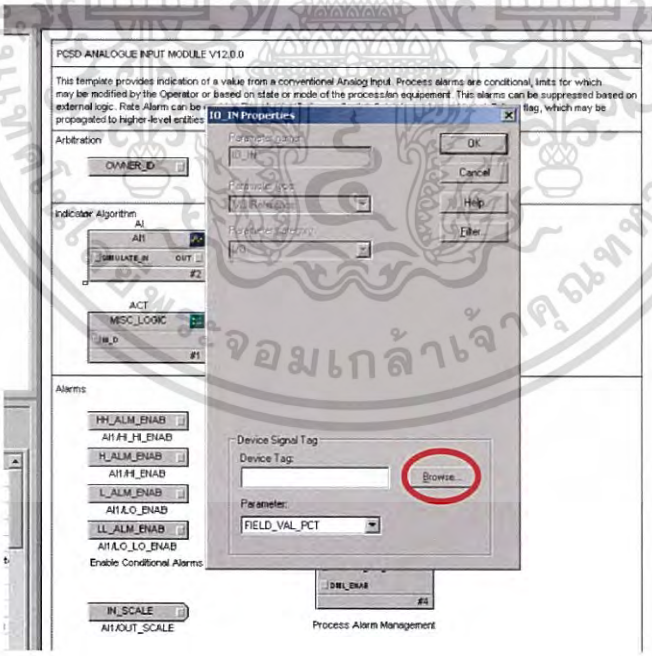
คลิกขวาที่ AI1 หลังจากนั้นเลือก Assign I/O แล้วเลือก To Signal Tag เพื่อเข้าไปดึงค่าจากทรานสมิตเตอร์มาแสดงค่าใน Block AI1 ดังรูปที่ 3.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.38 แสดงการเชื่อม I/O ระหว่าง Module กับ LTW-201 (WIOC1)

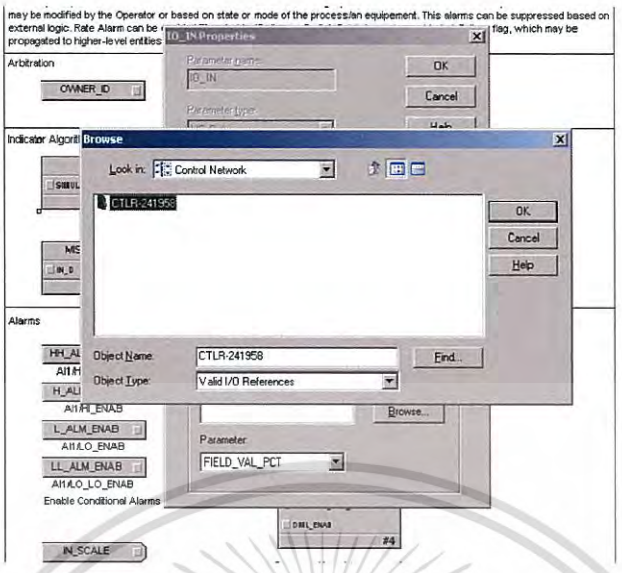
หลังจากนั้นเลือก Browse เพื่อค้นหา อุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบ Wireless ดังรูปที่ 3.38



รูปที่ 3.39 แสดงถึง IO_IN Properties

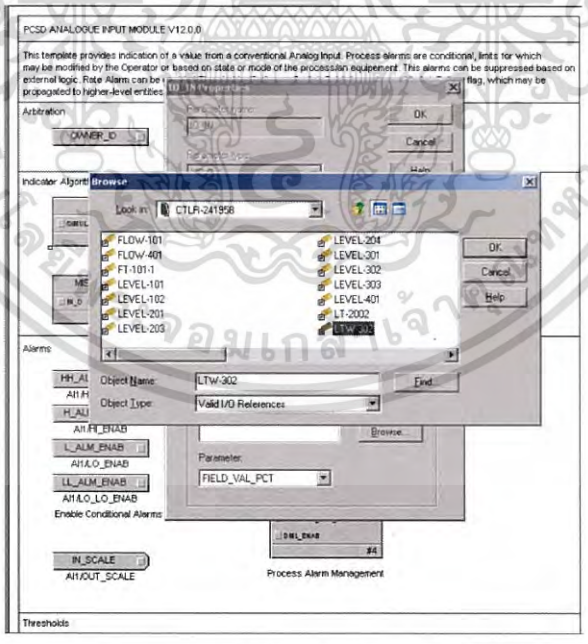
หลังจากนั้นจะไปสู่หน้าจอ Controller ที่ได้ Download Module ไว้ ดังรูปที่ 3.40 ในที่นี้เลือก CTLR-241958 คลิก OK ซึ่ง -241958 เป็นเพียงชื่อของ Controller เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.40 แสดงถึงการค้นหาอุปกรณ์ที่จะส่งค่าไปยัง Module AI

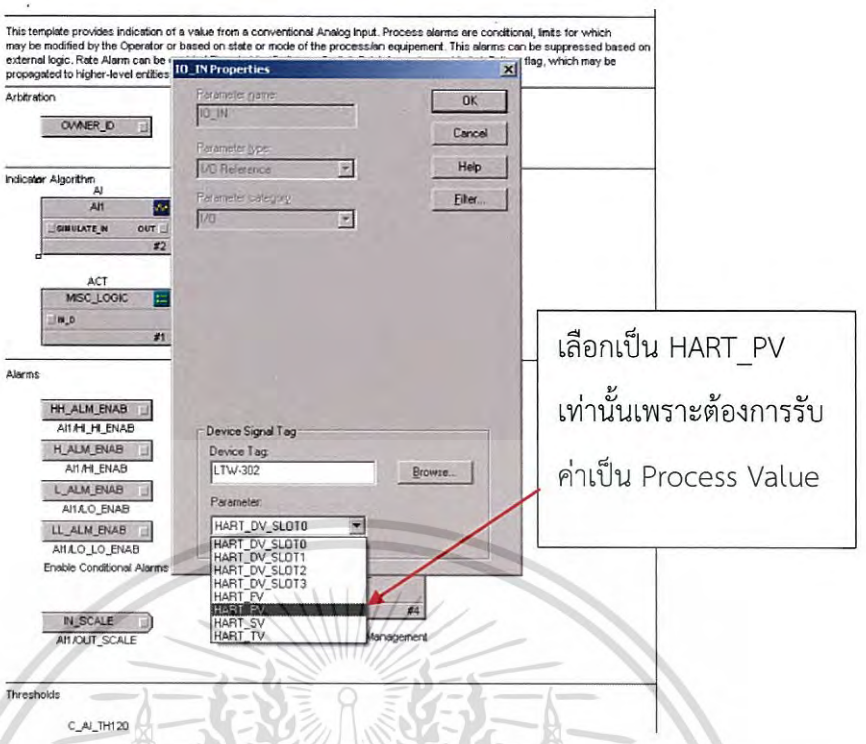
หลังจากนั้นเลือกตัวทรานสมิตเตอร์ที่ต้องการรับค่า ในที่นี้ต้องการรับค่าจาก Transmitter LT-302 แบบ Wireless จึงเลือก LTW-201 ดังรูปที่ 3.41



รูปที่ 3.41 แสดงถึงการ Configuration เลือก LTW-201

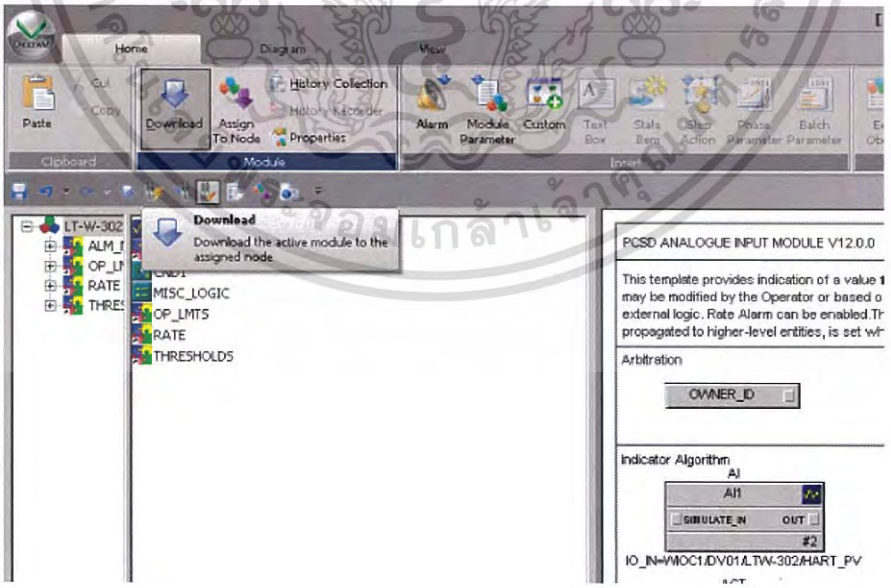
ในที่นี้ต้องการรับค่าเป็นข้อมูลปัจจุบันที่ทรานสมิตเตอร์อ่านค่าได้ จึงเลือกรับค่าเป็น Process Value ดังรูป 3.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.42 แสดงถึงการ Configuration เลือก Parameterเป็น HART_PV

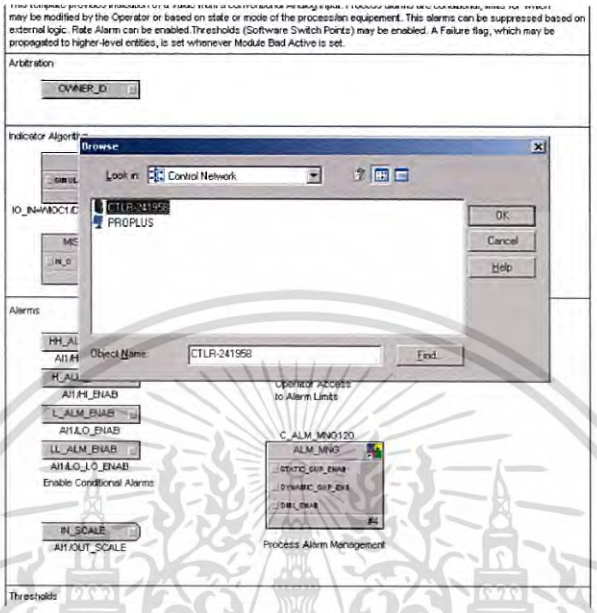
กดคลิกซ้ายที่ Download เพื่อ Download Module LTW-201เข้าสู่ Controller เพื่อใช้ในการควบคุมผ่านหน้าจอกราฟฟิก



รูปที่ 3.43 แสดงถึงวิธีการ Download Control Studio

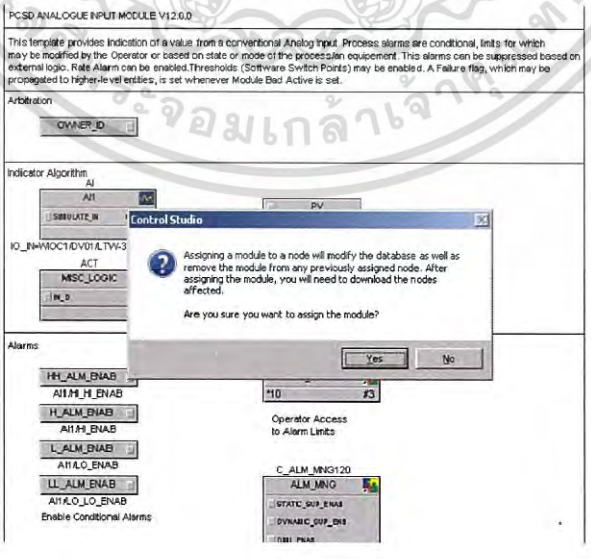
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือก Controller ที่ต้องการ Download Module LTW-201 เข้าไป ในที่นี้เลือก CTRL-241958 ถ้า Download ลง PROPLUS จะเป็นการ Download ลงเครื่อง แต่ถ้า Download ลง CTRL-241958 จะเป็นการ Download ลง Controller ดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 แสดงถึงตัวเลือกของการ Download

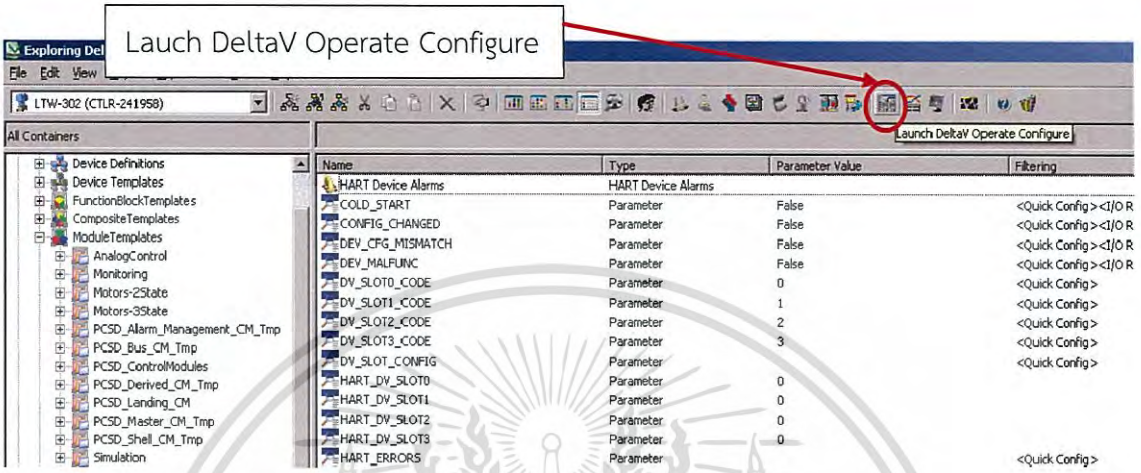
หลังจากนั้นระบบจะสอบถามความต้องการในการ Download Module LTW-201 ถ้าต้องการเลือก Yes เพื่อยืนยัน การ Assign ของ Module LTW-201 ดังรูปที่ 3.45



รูปที่ 3.45 แสดงถึงการ Download Control Studio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

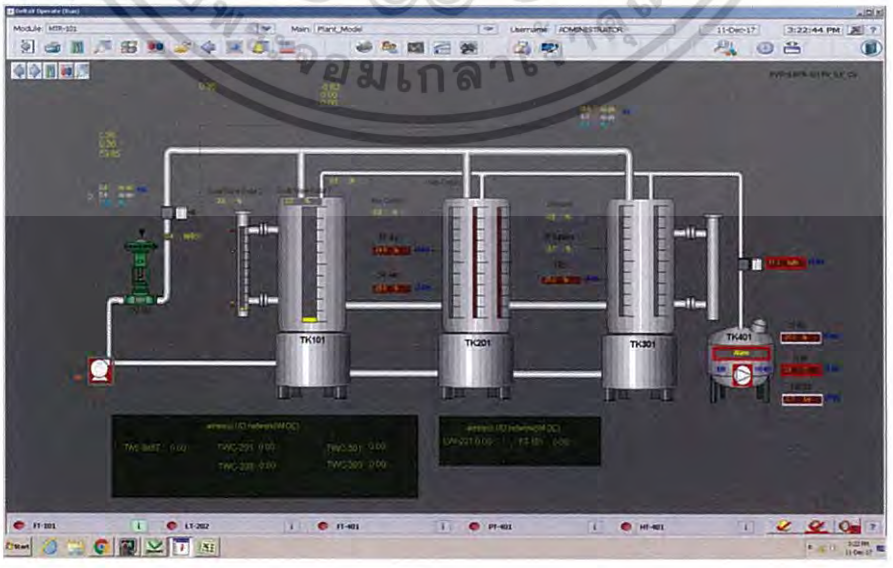
8. หลังจากที่ได้ทำการรับค่าจากทรานสมิตเตอร์ ไปที่ Module LTW-201 แล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการแสดงค่าที่รับมาจากทรานสมิตเตอร์ไปยังหน้าจอแสดงผล เลือก Lauch DeltaV Operate Configure ใน Exploring DeltaV ซึ่งโปรแกรมนี้ เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแสดงค่าต่างๆ ผ่านกราฟฟิก เพื่อควบคุมกระบวนการต่างๆ ตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.46 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

โดยเลือกใช้กราฟฟิกจาก ระบบ DCS มีอยู่ในระบบที่ทำการสร้างกราฟฟิกแสดงค่าไว้เรียบร้อยแล้ว ดังรูป



รูปที่ 3.47 กราฟฟิก แสดงค่าการทำงานของระบบ DCS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการออกแบบกระบวนการควบคุม (Process Control)
2. เพื่อศึกษาการควบคุมอุปกรณ์การวัดระดับผ่านอุปกรณ์ HART และ WirelessHART
3. เพื่อศึกษาการออกแบบกระบวนการควบคุม (Process Control)
4. เพื่อศึกษาการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อควบคุมระดับให้เป็นไปตามต้องการและใช้เวลาน้อยที่สุด
5. เพื่อศึกษาว่าการควบคุมระดับน้ำกระบวนการ Interacting นั้นสามารถใช้ System Identification PID, LQR แทน DCS Controller PID ได้หรือไม่

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ถังบรรจุน้ำสองถังที่มีการ Interacting กัน และ Storage
2. อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ Rosemount 5402 Non-contacting Radar
3. อุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหล Rosemount 3051SF DP Flow meter
4. อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล Fisher GX Control Valve (Final Element in Process)
5. MATLAB
6. DCS DeltaV

4.3 วิธีการทดลอง แบ่งออกเป็น 3 กรณี

กรณีที่ 1 ทดลองแบบ Cascade Control คือการควบคุมระดับน้ำโดยการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดระดับและอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหลในการ Control Loop โดยให้อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ Rosemount 5402 Non-contacting Radar แบบ WirelessHART เป็น Master และอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหล Rosemount 3051SF DP Flowmeters เป็น Slave เพื่อควบคุม อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล Fisher GX Control Valves (Final Element in Process) และดูผลการทดลองว่าสามารถควบคุมน้ำให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ภายในเวลาเท่าไหร่ เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์จากการวิเคราะห์ให้เหมาะสม แต่สำหรับค่าของ PID Controller (LIC-001) ที่โปรแกรม DCS DeltaV นั้นกำหนดเริ่มแรกคือ P=2.38, I=124.0 และ D=6.16 ซึ่งค่าที่ได้นั้นมาจาก Controller ซึ่งได้มาจากการลองผิดลองถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 คำนวณค่า PID และทดลองแบบ Cascade Control หลังจากที่นำค่า PID ที่ได้จากการคำนวณ ไปควบคุมกระบวนการ คือ โดยให้อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ Rosemount 5402 Non-contacting Radar แบบ WirelessHART เป็น Master และอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหล Rosemount 3051SF DP Flowmeters เป็น Slave เพื่อควบคุม อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล Fisher GX Control Valves (Final Element in Process) และดูผลการทดลองว่าสามารถควบคุมน้ำให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ภายในเวลาเท่าไหร่ สำหรับค่าของ PID Controller (LIC-001) ที่คำนวณจากวิธีการ System Identification โดยวิธีการคำนวณหาค่า PID ที่เหมาะสมได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.7.1 และสามารถทำตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น

กรณีที่ 3 คำนวณค่า LQR และทดลองแบบ Cascade Control หลังจากที่นำค่า PID ที่ได้จากการคำนวณ ไปควบคุมกระบวนการ คือ โดยให้อุปกรณ์ตรวจวัดระดับ Rosemount 5402 Non-contacting Radar แบบ WirelessHART เป็น Master และอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหล Rosemount 3051SF DP Flowmeters เป็น Slave เพื่อควบคุม อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหล Fisher GX Control Valves (Final Element in Process) และดูผลการทดลองว่าสามารถควบคุมน้ำให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ภายในเวลาเท่าไหร่ สำหรับค่าของ PID Controller (LIC-001) ที่คำนวณจากวิธีการ System Identification โดยวิธีการคำนวณหาค่า LQR ที่เหมาะสมได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.7.2 และสามารถทำตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น

หมายเหตุ:- *การทดลองในกรณีที่ 1, 2 และ 3 นั้นจะทดลองแบบ Cascade Control โดยกำหนดให้ Masterเป็นการติดต่อชนิด WirelessHART เนื่องจากปริญญานิพนธ์ฉบับได้นี้ทำได้กล่าวถึงการควบคุมแบบไร้สาย*

4.3.1 การทดลองที่ 1

การทดลองนี้กำหนดให้มีการควบคุมระดับโดยใช้ Level-Transmitter และ Flow-Transmitter แบบ WirelessHART และค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้เกิดจากการลองผิดลองถูก เพื่อนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกระบวนการหลังจากปรับจูนค่าพารามิเตอร์ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร และแบบไหนส่งผลที่ดีและเหมาะสมในการนำไปใช้ควบคุม

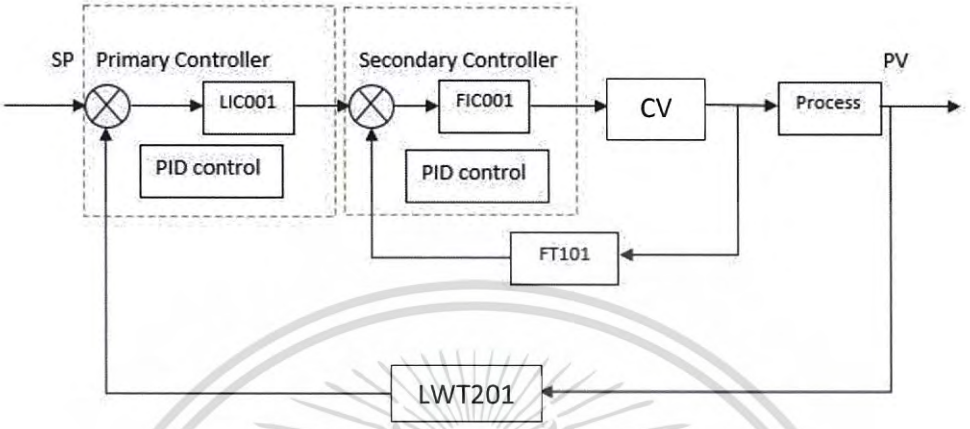
ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเข้ากับกราฟฟิคเพื่อให้อุปกรณ์สามารถรับคำสั่งจากมอนิเตอร์ได้โดยผ่านตัว Controller
2. ตั้งค่า Set Point และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมลงใน Level Controller และ Flow Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สั่งให้ปั๊มน้ำทำงานและรอให้กระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point

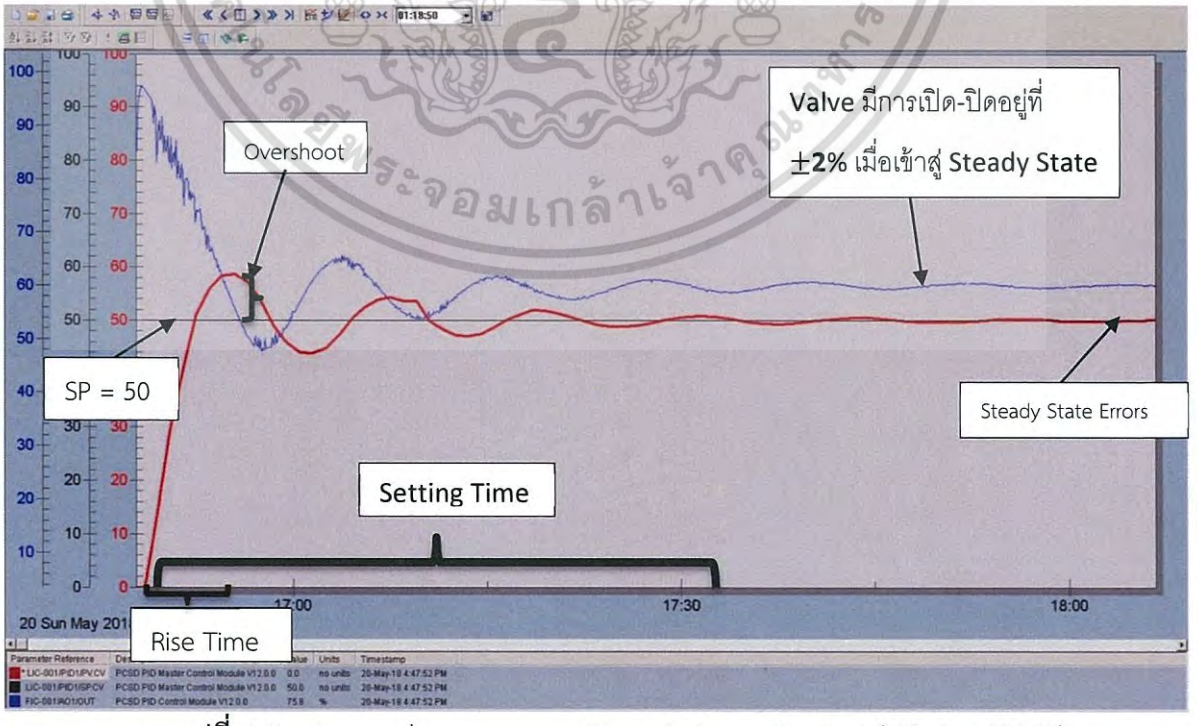
4. บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดง Block Diagram ของ Cascade control Loop (WirelessHART)

โดย Level-Transmitter ใช้เป็นแบบใช้ WirelessHART และ Flow-Transmitter แบบใช้สาย เพื่อต้องการให้เห็นกระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point ก่อนการปรับค่าพารามิเตอร์

SPที่ 50 LIC-001 (P=2.38 TI=124.0 TD=6.16) FIC-001 (P=0.31 TI=48.1 TD=13.51) ใช้ค่าพารามิเตอร์นี้จากการลองผิดลองถูก



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลการทดลอง Cascade Loop Control (WirelessHART)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้ Level-Transmitter แบบไร้สาย 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 43 นาที

ค่าพารามิเตอร์ของ Level คือ P=2.38 TI=124.0 TD=6.16 และของ Flow คือ P=0.31 TI=48.1 TD=13.51

Rise time ใช้เวลา 10 นาที

Steady State errors $\pm$ 2%

Overshoot 7.5%

Valve เปิดเมื่อเข้าสู่จุดสมดุลที่ 35%$\pm$ 2%และใช้เวลา 44 นาที ในการเข้าสู่จุดสมดุล และจากผลการทดลองจะเห็นว่ากราฟของคอนโทรลวาล์วมีลักษณะยึกยักไม่คงที่เนื่องจากค่า P น้อยเกินไปจึงทำให้เกิดค่าความผิดพลาดในสภาวะคงตัวมาก

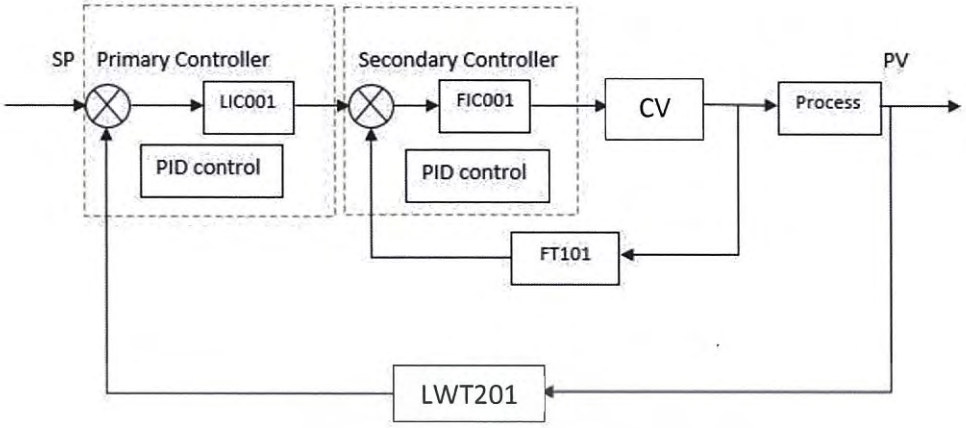
4.3.2 การทดลองที่ 2

การทดลองนี้กำหนดให้มีการควบคุมระดับโดยใช้ Level-Transmitter และ Flow-Transmitter แบบ WirelessHART และและค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้เกิดจากการปรับจูนตามบทที่ 2 และนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกระบวนการก่อนปรับจูนค่าพารามิเตอร์ในกรณีก่อนหน้า

ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเข้ากับกราฟฟิคเพื่อให้อุปกรณ์สามารถรับคำสั่งจาก มอนิเตอร์ได้โดยผ่านตัว Controller
2. ตั้งค่า Set Point และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมลงใน Level Controller และ Flow Controller
3. สั่งให้ปั๊มน้ำทำงานและรอให้กระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point
4. บันทึกผลการทดลอง

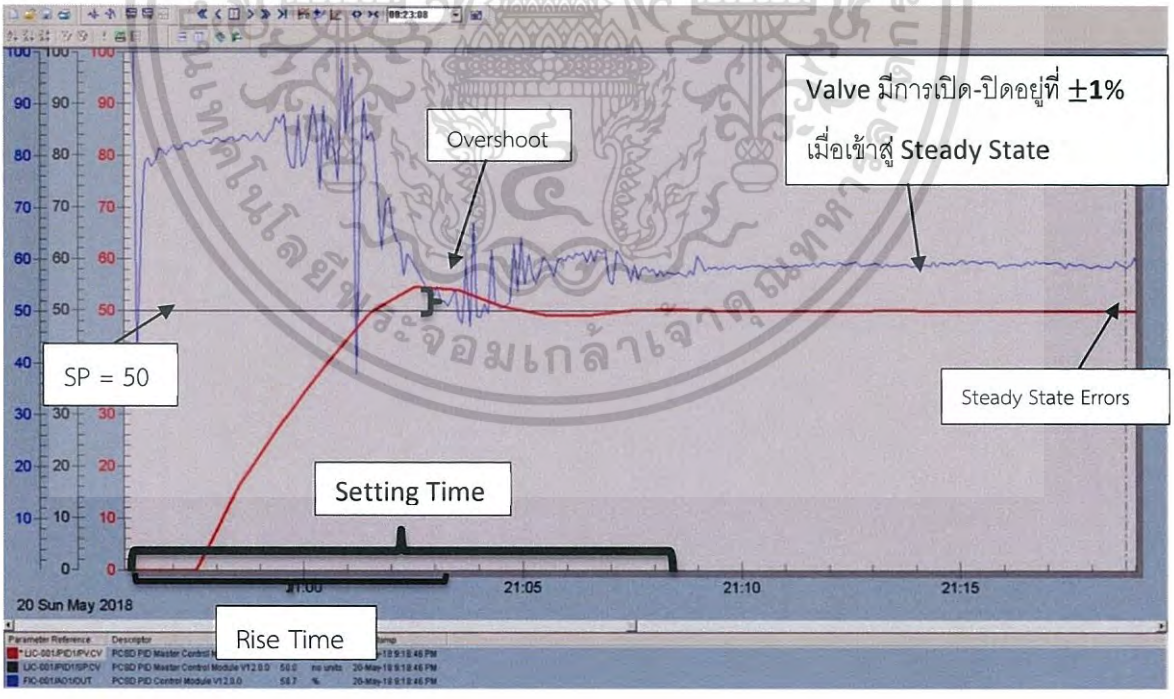
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

โดย Level-Transmitter ใช้เป็นแบบใช้ WirelessHART และ Flow-Transmitter แบบใช้สาย เพื่อต้องการให้เห็นกระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point ก่อนการปรับค่าพารามิเตอร์

SPที่ 50 LIC-001 (P=15.77 TI=94.0 TD=23.50) FIC-001 (P=0.31 TI=48.1 TD=13.51) เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับจูนโดยใช้วิธีในบทที่ 2



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟผลการทดลอง Cascade Loop Control (WirelessHART)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้ Level-Transmitter แบบไร้สาย 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=15.77 TI=94.0 TD=23.50 และของ Flow คือ P=0.31 TI=48.1

TD=13.51

Rise time ใช้เวลา 6 นาที

Steady State errors $\pm$ 0.2%

Overshoot 2%

Valve เปิดเมื่อเข้าสู่จุดสมดุลที่ 34%$\pm$1%และใช้เวลา 13 นาที ในการเข้าสู่จุดสมดุล

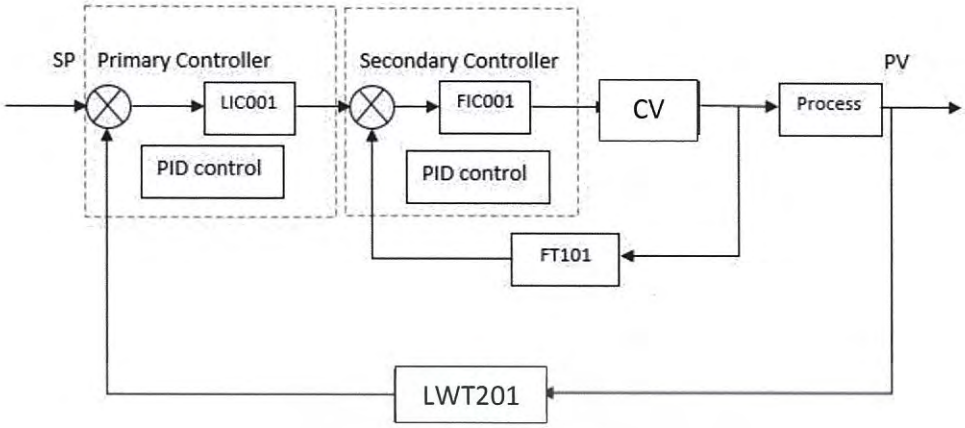
4.3.3 การทดลองที่ 3

การทดลองนี้กำหนดให้มีการควบคุมระดับโดยใช้ Level-Transmitter และ Flow-Transmitter แบบ WirelessHART และและค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้เกิดจากการปรับจูนตามบทที่ 2 และนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับกระบวนการก่อนปรับจูนค่าพารามิเตอร์ในกรณีก่อนหน้า

ขั้นตอนการทดลอง

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

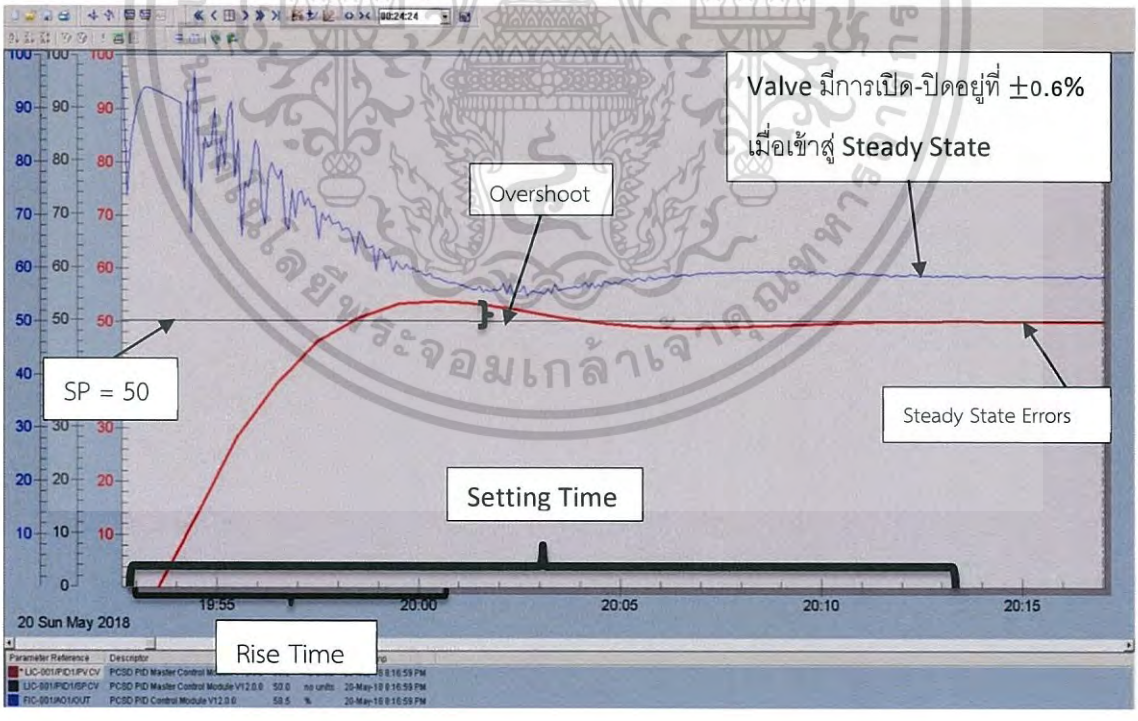
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

โดย Level-Transmitter ใช้เป็นแบบใช้ WirelessHART และ Flow-Transmitter แบบใช้สาย เพื่อต้องการให้เห็นกระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point ก่อนการปรับค่าพารามิเตอร์

SPที่ 50 LIC-001 (P=3.25 TI=234.4 TD=28.99) FIC-001 (P=0.31 TI=48.1 TD=13.51) เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับจูนโดยใช้วิธีในบทที่ 2



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลการทดลอง Cascade Loop Control (WirelessHART)

โดยใช้ Level-Transmitter แบบไร้สาย และ Flow-Transmitter แบบมีสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ 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 16 นาที

ค่าพารามิเตอร์ของ Level คือ P=3.25 TI=234.4 TD=28.99 และของ Flow คือ P=0.31 TI=48.1

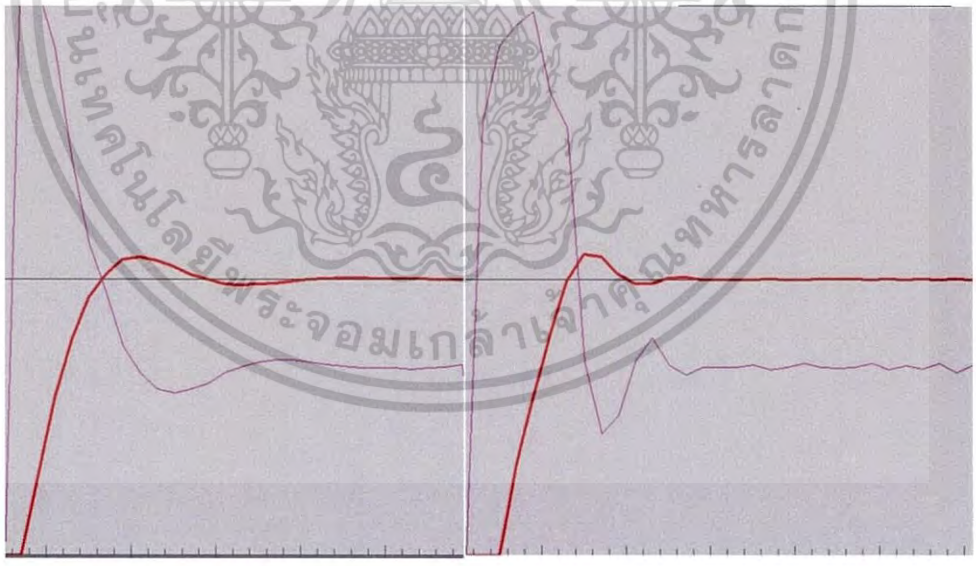
TD=13.51

Rise time ใช้เวลา 7 นาที

Steady State errors $\pm$ 0.1%

Overshoot 1.45%

Valve เปิดเมื่อเข้าสู่จุดสมดุลที่ 34%$\pm$ 0.6%และใช้เวลา 18 นาที ในการเข้าสู่จุดสมดุล



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟเปรียบเทียบผลการทดลอง2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงสรุปผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

การทดลอง	Setting Time (min)	Rise Time (min)	Steady State Errors ± (%)	Overshoot (%)	Valve (%±%)
DCS Controller PID PID	43 min	10	2	7.5	35±2
System Identification PID	14 min	6	0.2	2	34±1
System Identification LQR	16 min	7	0.1	1.45	34±0.6

จากตารางสามารถสรุปผลการทดลองได้ว่าระยะเวลา Setting Time (ระยะเวลาที่เข้าสู่ Steady State) นั้น DCS Controller PID เมื่อเทียบ System Identification PID มีค่าต่างกัน 29 นาที และของ DCS Controller PID เมื่อเทียบ System Identification LQR มีค่าต่างกันเพียง 27 นาที

ระยะเวลา Rise Time ของ DCS Controller PID เมื่อเทียบ System Identification PID มีค่าต่างกัน 4 นาที และของ DCS Controller PID เมื่อเทียบ System Identification LQR มีค่าต่างกันเพียง 3 นาที

Steady State Errors นั้นมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อยและไม่เปลี่ยนแปลงเลยตลอดการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

Overshoot ของ DCS Controller PID เมื่อเทียบ System Identification PID มีค่าต่างกัน 5.5% และของ DCS Controller PID เมื่อเทียบ System Identification LQR มีค่าต่างกันเพียง 6.05%

Valve ของ DCS Controller PID และ System Identification PID นั้นต่างกันที่ 1%การปิด-เปิด เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลา Steady State ในกรณี DCS Controller PID และ System Identification LQR เมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลา Steady State แล้วจะเห็นได้ว่า แบบ DCS Controller PID มีการปิด-เปิด Valve อยู่ที่ ±2 % แต่แบบ System Identification LQR มีการปิด-เปิดอยู่ที่ ±0.6%

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า System Identification ลักษณะนี้สามารถนำมาออกแบบระบบควบคุมกระบวนการวัดระดับน้ำแทนการลองผิดลองถูกของ DCS Controller ได้ดีกว่า เนื่องจากมีผล Setting Time, Rise Time, Steady State Errors, Overshoot และการเปิด-ปิดของ Valve นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า แม้ว่าจะเป็นกระบวนการที่มีการหน่วงเวลาและมีผลของการหน่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาของระบบ WirelessHART และผู้ทดลองได้ทำการ Tuning Controller จากวิธีการ System Identification ที่เหมาะสมแก่การควบคุมระดับน้ำของกระบวนการ Interacting สองถังและได้ทำการทดลองจะเห็นได้ว่า การควบคุมระดับน้ำของกระบวนการ Interacting สองถังนั้นใช้ระยะเวลาเข้าสู่ Steady State (Setting Time) นั้นไวมากขึ้น Overshoot มีค่าน้อยมากๆซึ่งในบางกระบวนการมีเงื่อนไงและปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ต้องการสภาวะของกระบวนการที่มีสเถียรภาพสูง จึงมีค่า Valve เปิด-ปิดและ Steady State Error ที่ระยะเวลา Steady State ที่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าโครงงานนี้แสดงให้เห็นว่า สามารถควบคุมกระบวนการ Interacting สองถังด้วยการสื่อสารแบบ WirelessHART ซึ่งข้อจำกัดที่ก่อให้เกิดอุปสรรคในการควบคุมคือ การหน่วงเวลาของตัวกรับวนการเองและการส่งข้อมูลของอุปกรณ์ จะส่งข้อมูลทุก 8 วินาที หมายความว่าระหว่างการทดลอง กระบวนการจะตอบสนองต่อ Input ได้ช้าแบบ First Order With Delay Time เนื่องจากมีการเชื่อมต่อสองถังแบบ Interactingโดยมีค่า Disturbance ในกระบวนการด้วย และค่าที่อ่านได้จากทรานสมิตเตอร์จะส่งข้อมูลที่อ่านได้มาทุกๆ 8 วินาที ซึ่งตอนแรกที่ทำการทดลอง การควบคุมแบบลองผิดลองถูกของ DCS Controller PID พบว่ามี Overshoot สูง ไม่เหมาะสำหรับการควบคุม เนื่องจากมี Input มากเกินไป กว่าระบบจะทำการปรับค่า หรือคำนวณค่าปิด/เปิดของวาล์ว จะใช้ระยะเวลาช่วงหนึ่ง ทำให้เกิดการ Overshoot และการหน่วงเวลาของกระบวนการนี้ทำให้กระบวนการเข้าสู่ Steady State ช้า โดยข้อจำกัดทั้งสองนี้ สามารถแก้ไขได้โดยการลดอัตราการไหลที่ Manual Valve เพื่อให้มี Input ที่เหมาะสมกับการส่งค่าของ Transmitter แบบ Wireless ซึ่งการควบคุมกระบวนการจะใช้เวลาในการเข้าสู่ Set Point หรือเข้าสู่ช่วง Stable ช่วงระยะเวลาหนึ่ง และการออกแบบระบบควบคุมด้วยวิธีการ System Identification ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบ DCS Controller PID จะมีการเข้าสู่ Set Point หรือเข้าสู่ช่วง Stable จะใช้ระยะเวลามากกว่า 4 นาที ถึง 30 นาที

ทั้งนี้เราได้ทดลองออกแบบกระบวนการควบคุมแบบ System Identification PID และSystem Identification LQR โดยใช้การสื่อสารแบบ WirelessHART

เนื่องจากเราได้ศึกษาการควบคุมกระบวนการ Interacting สองถังด้วยการสื่อสารแบบ WirelessHART รูปแบบ Cascade Loop Control จึงส่งผลให้เราต้องออกแบบระบบควบคุมแบบ System Identification LQRเพื่อคำนวณค่าพารามิเตอร์ และนำมาใช้ควบคุมกระบวนการ ที่ส่งผลให้กระบวนการเข้าสู่ค่า Set Point โดยใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด และกระบวนการมีสเถียรภาพมากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาการออกแบบกระบวนการควบคุม และทำความเข้าใจลักษณะของกระบวนการนั้นต้องการควบคุมเพื่อเป็นทิศทางที่ถูกต้องในการออกแบบระบบควลคุมกระบวนการ

การคำนวณค่าพารามิเตอร์ควรใช้โปรแกรม Auto Tuning ในการหาค่าพารามิเตอร์ ไม่ควรคำนวณเอง เนื่องจากการใช้ Auto Tuning จะได้ค่าที่ถูกต้องมากกว่าและประหยัดเวลามากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] www.emersonprocessxperts.com/2011/05/eliminatingtemperature-effects-in-dp-level-measurement (11 พฤษภาคม 2561)

[2] www.emerson.com/en-us/catalog/rosemount-5402-non-contacting- radar-transmitter (13 พฤษภาคม 2561)

[3] www.emerson.com/catalog/en-us/rosemount-3051-dp-flow-transmitter (13 พฤษภาคม 2561)

[4] www.factomart.com/th/factomartblog/type-of-flow-met (13 พฤษภาคม 2561)

[5] นายวรทัศน์ สมงาม , นายวันอรุณ วันอรุณวงศ์ ,นายอนุรักษ์ อ้าไพรัตน์ "PROCESS CONTROL OF WATER'S LEVEL USING WIRELESSHART COMMUNICATION " ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2559

[6] www.emersonprocess.com/enUS/plantweb/wireless/products/Pages/SmartWirelessTHUMAdapter.aspx (13 พฤษภาคม 2561)

[7] www.emersonprocess.com/enUS/plantweb/wireless/products/Pages/SmartWirelessGateway.aspx (14 พฤษภาคม 2561)

[8] บ้านหอย , www.baonghi.com.vn/san-pham/deltav-wireless-io-card-320.html (14 พฤษภาคม 2561)

[9] www2.emersonprocess.com/en-UK/news/pr_UK (13 พฤษภาคม 2561)

[10] www.foodnetworksolution.com/wiki/word/7248/orifice-plate (14 พฤษภาคม 2561)

[11] EMERSON "DeltaV Operate Implementation I (Course 7009) "Book

[12] EMERSON "PID function block execution in Control Studio Help" (20 พฤษภาคม 2561)

[13] Microsoft Corporation "Microsof Excell" (20 พฤษภาคม 2561)

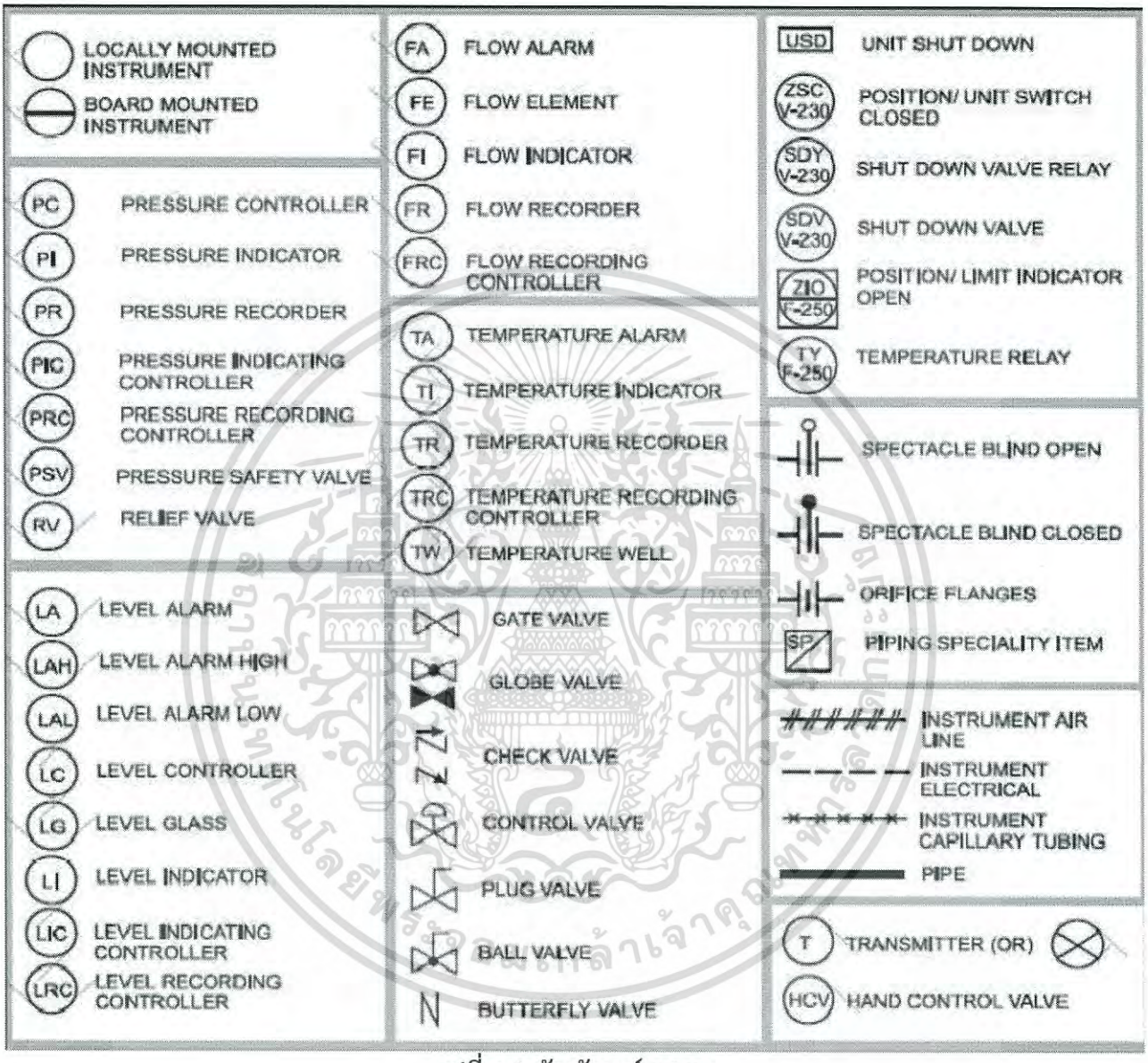
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

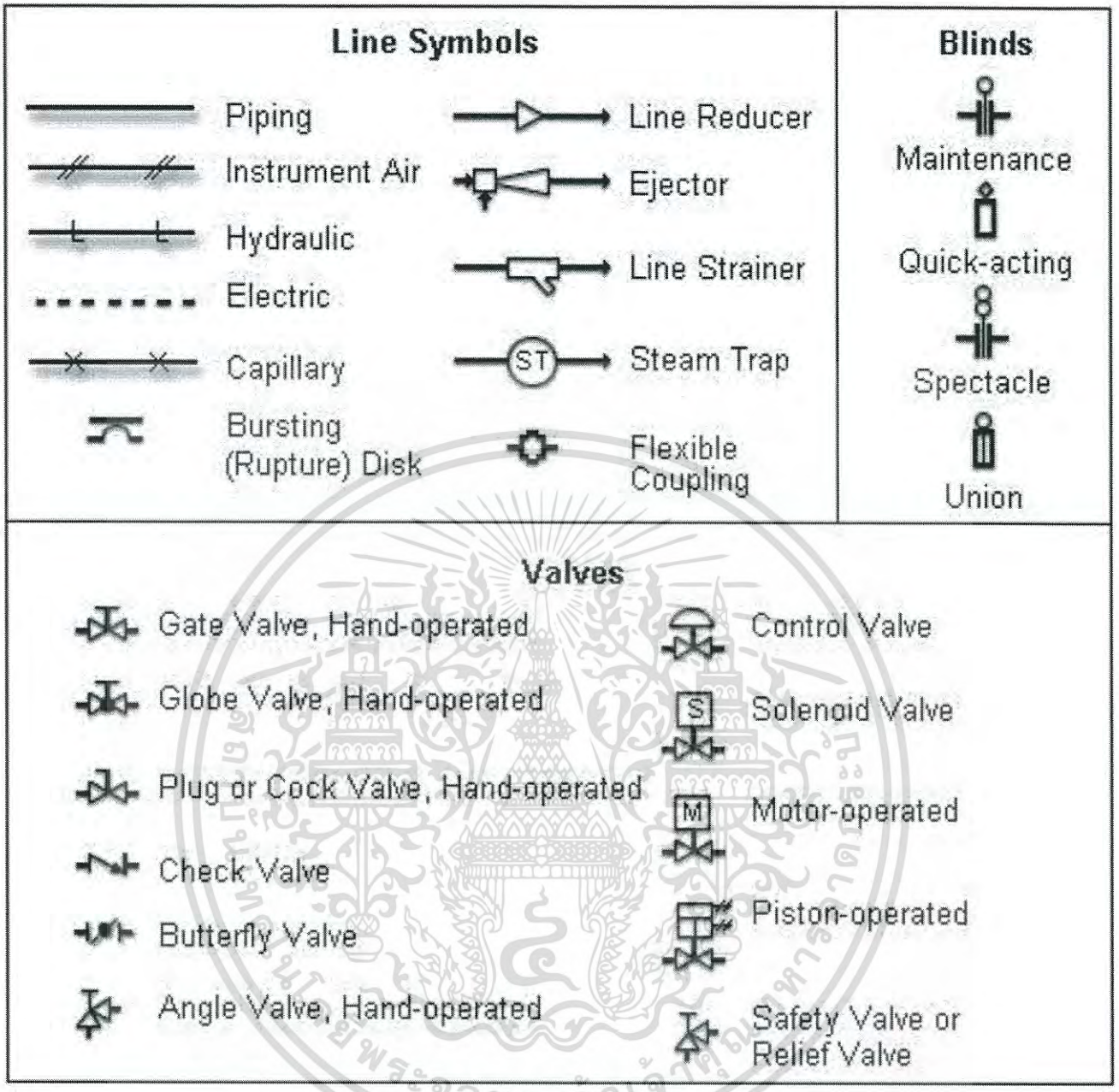
ภาคผนวก ก.

สัญลักษณ์และ P&ID ของ PLANT MODEL



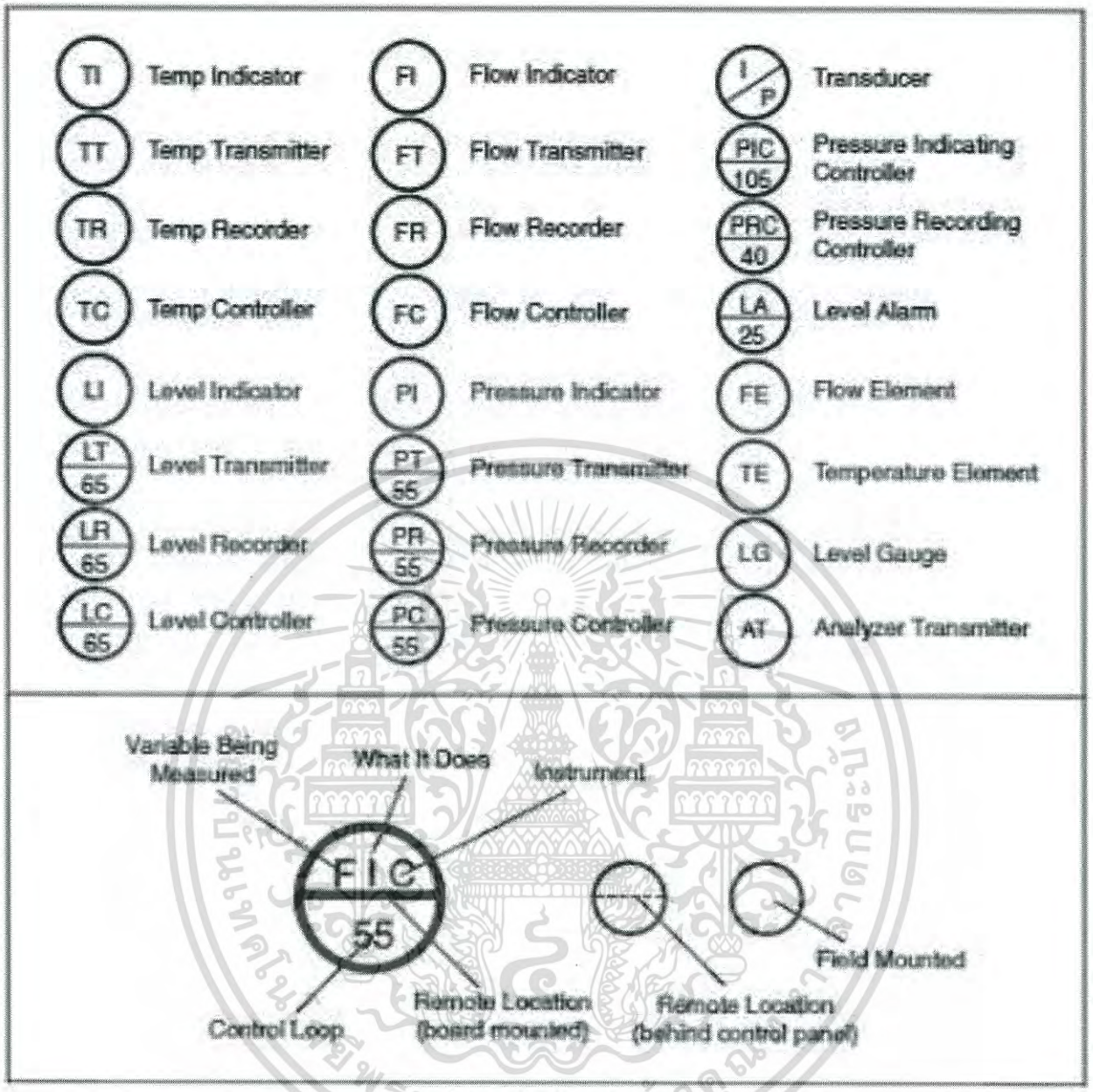
รูปที่ ก.1 สัญลักษณ์ P&ID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



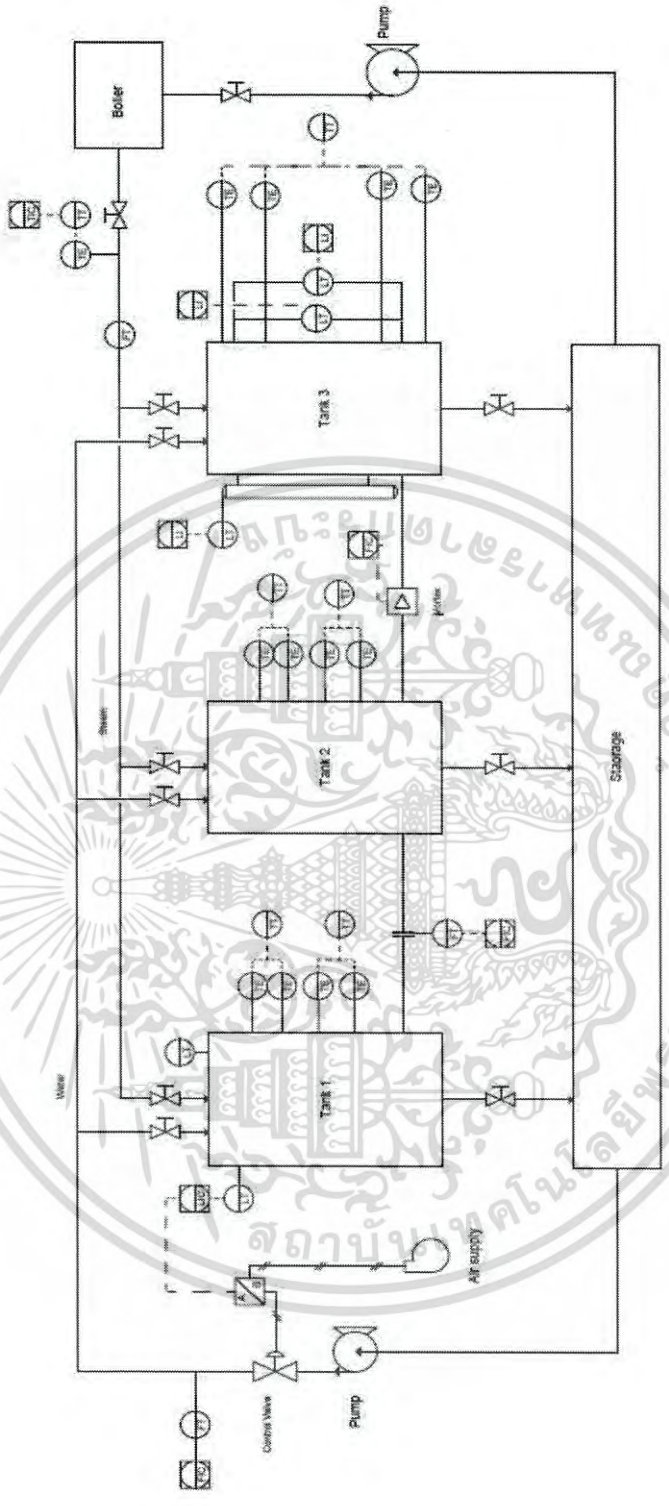
รูปที่ ก.2 สัญลักษณ์ P&ID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

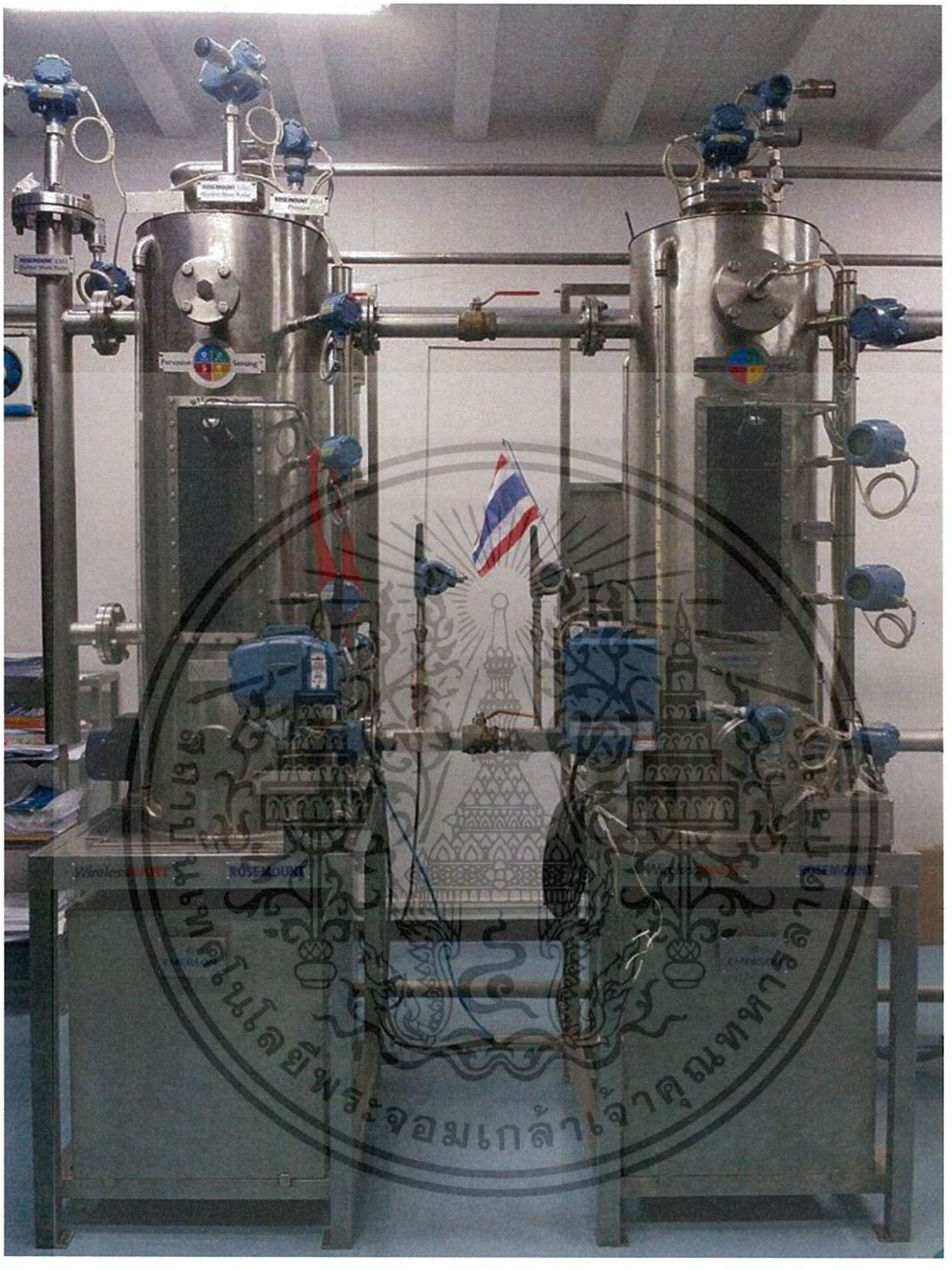


รูปที่ ก.3 สัญลักษณ์ P&ID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

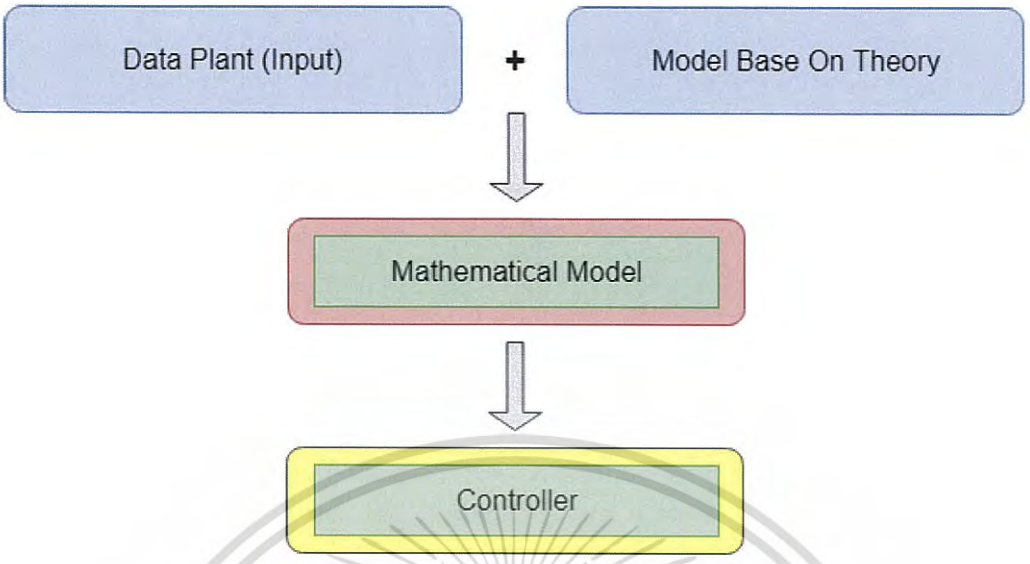


รูปที่ ก.4 P&ID ของ Plant Model



รูปที่ ก.5 Plant Model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.6 System Identification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้