

พจนานุกรมแบบควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทคโนโลยีฟอน์เดชันฟิลด์บัส  
TEMPERATURE CONTROL PLANT MODEL  
USING FOUNDATION FIELDBUS TECHNOLOGY



ปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคัตโนเมต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปีการศึกษา 2556

พลาเน็ตโมเดลการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทคโนโลยีฟาว์เดชันฟิลด์บัส

TEMPERATURE CONTROL PLANT MODEL

USING FOUNDATION FIELDBUS TECHNOLOGY



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TEMPERATURE CONTROL PLANT MODEL  
USING FOUNDATION FIELDBUS TECHNOLOGY



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ พลาตันโมเดลการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทคโนโลยีฟาวนด์ชันฟิลด์บัส  
Temperature Control Plant Model Using Foundation Fieldbus  
Technology

นักศึกษาผู้จัดทำ นายปรเมธ เตชุปกรณ์ รหัสนักศึกษา 53010921  
นางสาวภักจิรา อัมพริ้ง รหัสนักศึกษา 53011202  
นายภัทรชนน มะลิแก้ว รหัสนักศึกษา 53011209  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมอัตโนมัติ  
ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร. อัมพวัน จุลเสวีวงศ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	พลานต์โมเดลการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส Temperature Control Plant Model Using Foundation Fieldbus Technology		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายปรเมธ	เตชุปกรณ์	รหัสนักศึกษา 53010921
	นางสาวภคจิรา	อิมพริง	รหัสนักศึกษา 53011202
	นายภัทรชนน	มะลิแก้ว	รหัสนักศึกษา 53011209
อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. อัมพวัน จุลเสรีวงศ์ 2556		

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและการสร้างพลานต์โมเดลการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส โครงสร้างระบบที่นำเสนออาศัยความสามารถการทำงานของอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 ในการสร้างรูปแบบการควบคุมที่เรียกว่า “Control in the Field” อุปกรณ์หลักที่ติดตั้งในพลานต์โมเดล ได้แก่ ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น 3144P อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302 และอุปกรณ์คงค่ากำลังไฟฟารุ่น SCR-1A030 เพื่อเป็นการตรวจสอบความสามารถการทำงานของระบบที่นำเสนอ โฮสต์แบบตั้งโต๊ะและโฮสต์แบบระบบดีซีเอสถูกนำมาใช้ในการกำหนดตั้งค่าตัวอุปกรณ์ การกำหนดตั้งค่างานรูปแบบการควบคุม การคอมมิชชันนิ่งตัวอุปกรณ์ การแก้ปัญหา และการทำงานของเซกเมนต์ ผลการทดลองในการควบคุมอุณหภูมิอยู่ในช่วง 40-60 °C โดยใช้ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิและอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแสในการตัดสินใจการควบคุมได้ถูกรวมเข้าเอาไว้ในเนื้อหาปริญญานิพนธ์นี้ด้วยเช่นกัน

Thesis Title	Temperature Control Plant Model Using Foundation Fieldbus Technology
Authors	Mr. Porameth Taychupakorn Miss Pakjira Impring Mr. Patchanon Malikaew
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Amphawan Julsereewong
Year	2013

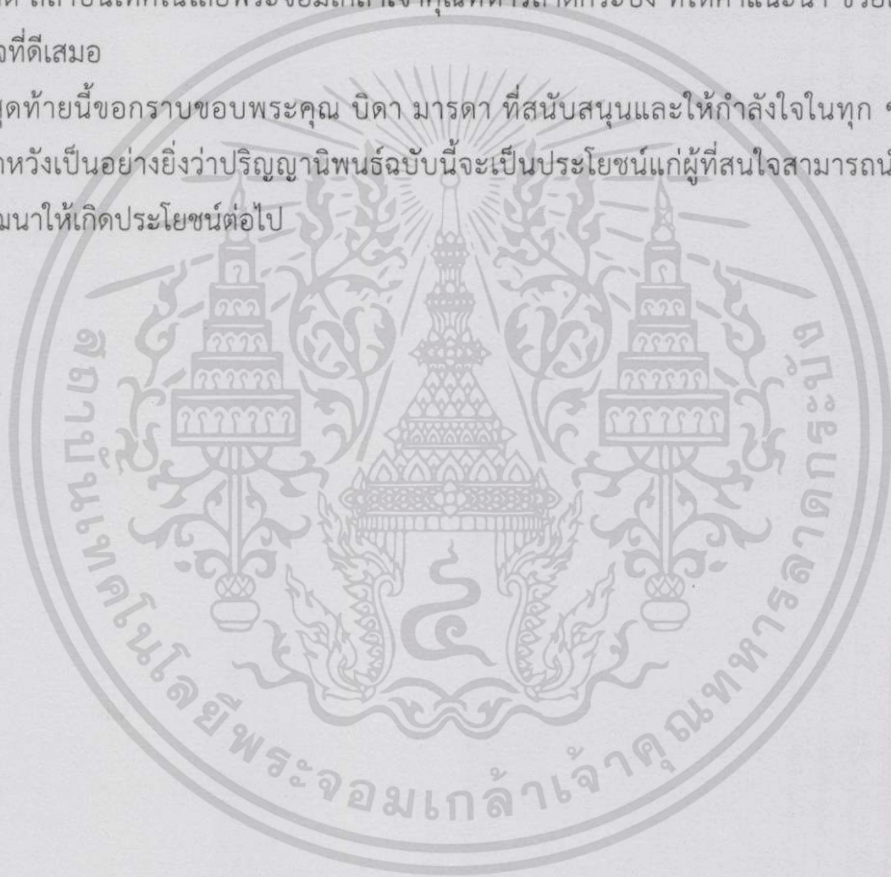
### ABSTRACT

This thesis presents a design and implementation of temperature control plant model using Foundation Fieldbus Technology. The proposed architecture is based on a powerful capability of Foundation Fieldbus H1 instruments for building "Control in the Field" strategy. Main devices installed in the plant model are a 3144P temperature transmitter, a FI302 Fieldbus-to-current (FI) converter, and a SCR-1A030 Power Regulator. In order to verify the workability of the proposed system, the bench host and integrated DCS host are used for device configuration, control strategy configuration, device commissioning, troubleshooting, and segment operation. Experimental results of temperature control in the range of 40-60 °C by using the temperature transmitter and FI converter for control decision are also included.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความอนุเคราะห์จากผู้สนับสนุนหลายฝ่ายทางคณะผู้จัดทำขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้ให้ประสบการณ์ในการเรียนรู้ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับ รศ.ดร.อัมพวัน จุลเสรีวงศ์ รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์ รศ.ดร.ไสวพงศ์ สวัสดิ์ ดร.ธีรวัฒน์ เทพมณี ดร.อภิษฎ์ ฤกษ์รัตน์ และอาจารย์ท่านอื่น ๆ ในการให้คำปรึกษาแก่คณะผู้จัดทำตลอดมา อีกทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ห้องทำโครงการและเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ภายในสาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ และให้กำลังใจที่ตีเสมอ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่สนับสนุนและให้กำลังใจในทุก ๆ เรื่อง คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจสามารถนำไปใช้ศึกษาและพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่อไป



คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปริญญาานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์.....	3
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์.....	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 หลักการควบคุมอัตโนมัติแบบป้อนกลับ.....	5
2.3 การสร้างลูปควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส.....	7
2.3.1 การใช้งานร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ.....	7
2.3.2 การใช้งานร่วมกับโฮสต์ระบบดีซีเอส.....	8
2.3.3 การติดตั้งอุปกรณ์.....	9
2.4 รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้.....	14
2.4.1 ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Rosemount : 3144P.....	14
2.4.2 ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Yokogawa : YTA320.....	17
2.4.3 อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแสรุ่น FI302.....	18
2.4.4 อุปกรณ์คงค่ากำลังไฟฟ้ารุ่น SCR-1A030.....	22
2.4.5 หลอดไฟรุ่น Superlux.....	26
2.4.6 อุปกรณ์เชื่อมต่อสำหรับอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส รุ่น NI USB-8486.....	28

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.7 Arduino Uno R3.....	30
2.5 การทดสอบอุปกรณ์คงค่ากำลังไฟฟารุ่น SCR-1A030 เพื่อหาช่วงอุณหภูมิใน การควบคุม.....	33
2.6 การควบคุมเปิด-ปิดพัดลมโดยใช้ Arduino.....	37
2.7 การสร้างรูปควบคุมแบบพีโอดีโดยใช้เทคโนโลยีฟาวนด์เชนฟิลด์.....	42
2.7.1 รายละเอียดของฟังก์ชันบล็อก.....	42
2.7.1.1 AI (Analog Input).....	42
2.7.1.2 AO (Analog Output).....	44
2.7.1.3 PID (Proportional-Integral-Derivative).....	46
2.7.2 ฟังก์ชันบล็อกไออะแกรมสำหรับรูปควบคุม PID.....	50
<b>บทที่ 3 การใช้งานร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ.....</b>	<b>52</b>
3.1 กล่าวนำ.....	52
3.2 วิธีการเชื่อมต่อกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ.....	52
3.3 ขั้นตอนการกำหนดค่าเตรียมโปรแกรมต่าง ๆ สำหรับงานวิศวกรรม.....	54
3.3.1 โปรแกรม LabVIEW 2012.....	54
3.3.2 โปรแกรม NI-FBUS Configurator 4.1.1.....	56
3.3.3 โปรแกรม Arduino 1.0.5.....	57
3.3.4 National Instruments VISA.....	58
3.4 ขั้นตอนการกำหนดค่าโปรแกรมต่าง ๆ สำหรับงานวิศวกรรม.....	58
3.4.1 การสร้าง New Field Device.....	58
3.4.2 การเพิ่มลิงค์ หรืออินเตอร์เฟส (Interface) ลงในโปรแกรม NI-FBUS Configurator.....	59
3.4.3 การเพิ่ม DD File หรือ CFF File ลงในโปรแกรม NI-FBUS Configurator.....	61
3.4.4 การสร้าง New Project ในโปรแกรม NI-FBUS Configurator.....	63
3.4.5 การกำหนดการตั้งค่าในฟังก์ชันบล็อก.....	69
3.4.5.1 ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ.....	69
3.4.5.2 อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302.....	70

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5 การออกแบบส่วนผู้ติดต่อใช้งาน.....	72
3.5.1 ส่วนTrend.....	72
3.5.2 ส่วนกราฟิก.....	73
3.5.3 การกำหนดตัวแปรในโปรแกรม Tag Editor.....	76
<b>บทที่ 4 การใช้งานร่วมกับโฮสต์ระบบดีซีเอส.....</b>	<b>82</b>
4.1 กล่าวนำ.....	82
4.2 วิธีการเชื่อมต่อกับโฮสต์ระบบดีซีเอส.....	82
4.3 ขั้นตอนการกำหนดค่าโปรแกรมต่าง ๆ สำหรับงานวิศวกรรม.....	83
4.3.1 การสร้าง New Field Device.....	83
4.3.2 การสร้างรูปควบคุม.....	84
4.3.3 การกำหนดตั้งค่าในฟังก์ชันบล็อก.....	92
4.3.3.1 ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ.....	92
4.3.3.2 อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302.....	93
4.3.4 การคอมมิชชันนิ่ง.....	95
4.4 กราฟิกที่ใช้งานในการทำการทดลอง.....	99
4.4.1 หน้ากราฟิก.....	99
4.4.2 โครงหน้าต่างที่ออกแบบ.....	100
4.4.3 หน้าต่างกราฟิกใช้บล็อก PID ที่ TIT_501 และ DIY_501.....	100
4.4.4 หน้าต่างกราฟิกใช้บล็อก PID ที่ TIT_502 และ DIY_501.....	102
<b>บทที่ 5 ผลการทดลอง.....</b>	<b>104</b>
5.1 กล่าวนำ.....	104
5.2 การทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม.....	104
5.2.1 การหาค่า Kc (Proportional Gain).....	106
5.2.2 การหาค่า Ti (Integral Time).....	107
5.2.3 การหาค่า Td (Derivative Time).....	107
5.2.4 ทดลองใส่ค่า PID ที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี.....	108
5.3 การทดลองการควบคุมอุณหภูมิ.....	108

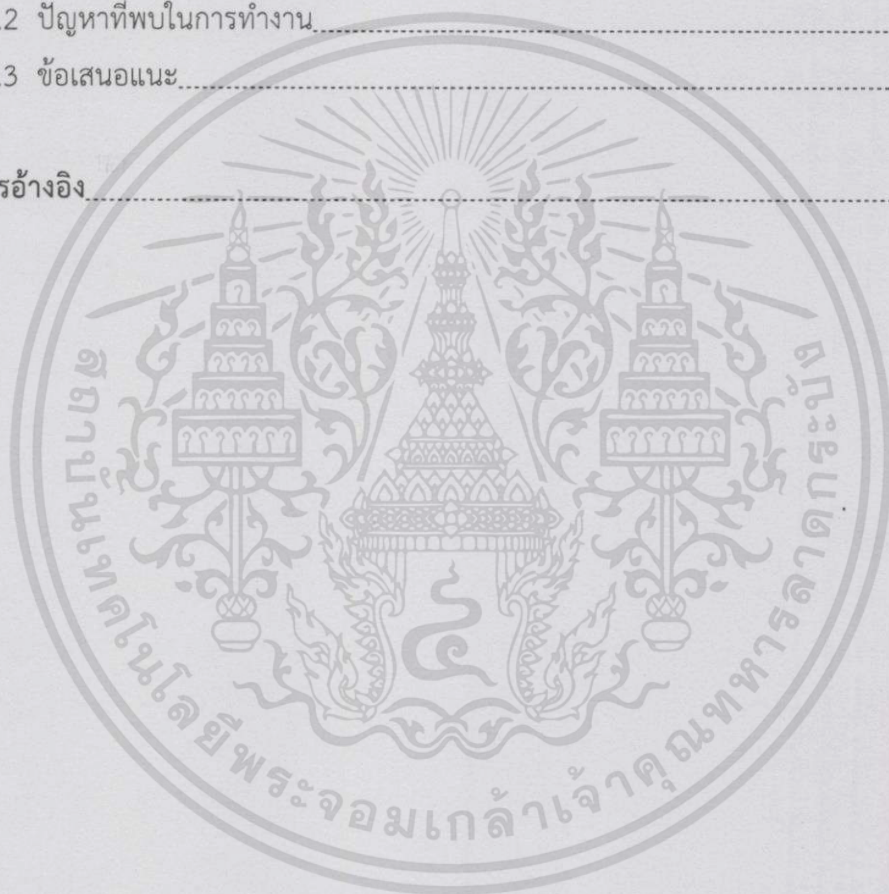
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.3.1 ขั้นตอนการทดลอง.....	109
5.3.2 การทดลองด้วยโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ.....	114
5.3.2.1 ผลการทดลองจากเงื่อนไขในตารางที่ 5.5.....	114
5.3.2.2 ผลการทดลองจากเงื่อนไขในตารางที่ 5.6.....	130
5.3.3 การทดลองด้วยโฮสต์ระบบดีซีเอส.....	114
5.3.3.1 ผลการทดลองจากเงื่อนไขในตารางที่ 5.7.....	146
5.3.3.2 ผลการทดลองจากเงื่อนไขในตารางที่ 5.8.....	154
<b>บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>164</b>
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	164
6.1.1 สรุปผลการทดลองด้วยโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ.....	164
6.1.1.1 การทดลองโดยใช้ TIT_501 บล็อก PID ที่ TIT_501 ในกรณีเปิดพัดลม (Auto Mode).....	164
6.1.1.2 การทดลองโดยใช้ TIT_501 บล็อก PID ที่ DIY_501 ในกรณีเปิดพัดลม (Auto Mode).....	164
6.1.1.3 การทดลองโดยใช้ TIT_501 บล็อก PID ที่ TIT_501 ในกรณีปิดพัดลม (Off Mode).....	165
6.1.1.4 การทดลองโดยใช้ TIT_501 บล็อก PID ที่ DIY_501 ในกรณีปิดพัดลม (Off Mode).....	166
6.1.1.5 การทดลองโดยใช้ TIT_502 บล็อก PID ที่ TIT_502 ในกรณีเปิดพัดลม (Auto Mode).....	166
6.1.1.6 การทดลองโดยใช้ TIT_502 บล็อก PID ที่ DIY_501 ในกรณีเปิดพัดลม (Auto Mode).....	167
6.1.1.7 การทดลองโดยใช้ TIT_502 บล็อก PID ที่ TIT_502 ในกรณีปิดพัดลม (Off Mode).....	168
6.1.1.8 การทดลองโดยใช้ TIT_502 บล็อก PID ที่ DIY_501 ในกรณีปิดพัดลม (Off Mode).....	168

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
6.1.2 สรุปผลการทดลองด้วยโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ.....	169
6.1.2.1 การทดลองโดยใช้ TIT_501 นลิ้อก PID ที่ TIT_501.....	169
6.1.2.2 การทดลองโดยใช้ TIT_501 นลิ้อก PID ที่ DIY_501.....	170
6.1.2.3 การทดลองโดยใช้ TIT_502 นลิ้อก PID ที่ TIT_502.....	170
6.1.2.4 การทดลองโดยใช้ TIT_502 นลิ้อก PID ที่ DIY_501.....	171
6.2 ปัญหาที่พบในการทำงาน.....	172
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	173
เอกสารอ้างอิง.....	174



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายละเอียดข้อมูลอุปกรณ์ในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่ใช้โฮสต์แบบตั้งโต๊ะดังรูปที่ 2.1	8
2.2 อุปกรณ์ต่าง ๆ ในพลานต์โมเดล	10
2.3 บล็อกการทำงานของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ Rosemount : 3144P	15
2.4 บล็อกการทำงานของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ รุ่น Yokogawa : YTA320	18
2.5 บล็อกการทำงานของอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302	19
2.6 คุณสมบัติอุปกรณ์เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสที่ใช้	21
2.7 ช่วงเวลา Execution Time ของ AI Block แต่ละยี่ห้อ	21
2.8 ช่วงเวลา Execution Time ของ PID Block แต่ละยี่ห้อ	22
2.9 ช่วงเวลา Execution Time ของ AO Block แต่ละยี่ห้อ	22
2.10 การคำนวณค่าผลต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอดไฟ	28
2.11 คุณสมบัติของ NI USB-8486	29
2.12 คุณสมบัติเบื้องต้น Arduino Uno R3	32
2.13 ผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิครั้งที่ 1	34
2.14 ผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิครั้งที่ 2	34
2.15 ผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิครั้งที่ 3	34
2.16 การกำหนดช่วงของค่าเป้าหมาย	35
2.17 ผลการทดลองหาค่าเวลาในการ Cool Down ครั้งที่ 1	35
2.18 ผลการทดลองหาค่าเวลาในการ Cool Down ครั้งที่ 2	36
2.19 ผลการทดลองหาค่าเวลาในการ Cool Down ครั้งที่ 3	36
2.20 ค่าเฉลี่ยเวลาในการ Cool Down	36
3.1 ความต้องการของระบบขั้นต่ำ	54
3.2 สรุปคุณสมบัติอุปกรณ์เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส	58
3.3 พารามิเตอร์ในบล็อก AI ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ	69
3.4 พารามิเตอร์ในบล็อก PID ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ	70
3.5 พารามิเตอร์ในบล็อก PID ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302	71
3.6 พารามิเตอร์ในบล็อก AO ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ	72

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.7 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อ้างอิงในการสร้างข้อมูลหน้าต่างกราฟิกที่ใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ รุ่น Rosemount : 3144P เป็นบล็อก PID.....	79
3.8 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อ้างอิงในการสร้างข้อมูลหน้าต่างกราฟิกที่ใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น SMAR FI302 เป็นบล็อก PID.....	80
4.1 สรุปคุณสมบัติอุปกรณ์เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส.....	83
4.2 พารามิเตอร์ในบล็อก AI ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ.....	92
4.3 พารามิเตอร์ในบล็อก PID ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ.....	93
4.4 พารามิเตอร์ในบล็อก PID ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้อุปกรณ์แปลง-สัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302.....	94
4.5 พารามิเตอร์ในบล็อก AO ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้งานทรานสมิตเตอร์-อุณหภูมิ.....	94
4.6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อ้างอิงในการสร้างข้อมูลหน้าต่างกราฟิกที่ใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ รุ่น Rosemount : 3144P เป็นบล็อก PID.....	101
4.7 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อ้างอิงในการสร้างข้อมูลหน้าต่างกราฟิกที่ใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302 เป็นบล็อก PID.....	101
4.8 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อ้างอิงในการสร้างข้อมูลหน้าต่างกราฟิกที่ใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ รุ่น Yokogawa : YTA320 เป็นบล็อก PID.....	102
4.9 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อ้างอิงในการสร้างข้อมูลหน้าต่างกราฟิกที่ใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302 เป็นบล็อก PID.....	103
5.1 สูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Ultimate Method.....	105
5.2 ค่าอุณหภูมิในช่วง 0 – 100 %.....	105
5.3 ทำการทดลองโดยจับเวลาช่วงละ 10 นาที.....	106
5.4 ค่าพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันบล็อก PID.....	108
5.5 การทดลองใช้ฟลานต์โมเดลร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะในกรณีที่ใช้ TIT_501.....	110
5.6 การทดลองใช้ฟลานต์โมเดลร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะในกรณีที่ใช้ TIT_502.....	111
5.7 การทดลองใช้ฟลานต์โมเดลร่วมกับโฮสต์แบบระบบดีซีเอสในกรณีที่ใช้ TIT_501.....	112
5.8 การทดลองใช้ฟลานต์โมเดลร่วมกับโฮสต์แบบระบบดีซีเอสในกรณีที่ใช้ TIT_502.....	113
6.1 สรุปผลการทดลองในกรณี 1-4 ตามตารางที่ 5.1.....	164
6.2 สรุปผลการทดลองในกรณี 5-8 ตามตารางที่ 5.1.....	164
6.3 สรุปผลการทดลองในกรณี 9-12 ตามตารางที่ 5.1.....	164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.4 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 13-16 ตามตารางที่ 5.1.....	165
6.5 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 17-20 ตามตารางที่ 5.1.....	165
6.6 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 21-24 ตามตารางที่ 5.1.....	165
6.7 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 25-28 ตามตารางที่ 5.1.....	166
6.8 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 29-32 ตามตารางที่ 5.1.....	166
6.9 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 1-4 ตามตารางที่ 5.2.....	166
6.10 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 5-8 ตามตารางที่ 5.2.....	167
6.11 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 9-12 ตามตารางที่ 5.2.....	167
6.12 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 13-16 ตามตารางที่ 5.2.....	167
6.13 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 17-20 ตามตารางที่ 5.2.....	168
6.14 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 21-24 ตามตารางที่ 5.2.....	168
6.15 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 25-28 ตามตารางที่ 5.2.....	168
6.16 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 29-32 ตามตารางที่ 5.2.....	169
6.17 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 1-4 ตามตารางที่ 5.3.....	169
6.18 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 5-8 ตามตารางที่ 5.3.....	169
6.19 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 9-12 ตามตารางที่ 5.3.....	170
6.20 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 13-16 ตามตารางที่ 5.3.....	170
6.21 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 1-4 ตามตารางที่ 5.4.....	170
6.22 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 5-8 ตามตารางที่ 5.4.....	171
6.23 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 9-12 ตามตารางที่ 5.4.....	171
6.24 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 13-16 ตามตารางที่ 5.4.....	171

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
1.1	พลานต์โมเดลการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสที่นำเสนอ.....	2
2.1	ส่วนประกอบของระบบควบคุมอัตโนมัติแบบป้อนกลับ.....	5
2.2	แผนภาพพีแอนด์ไอดีของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่ใช้โฮสต์แบบตั้งโต๊ะ.....	8
2.3	แผนภาพพีแอนด์ไอดีของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิกับโฮสต์ระบบดีซีไอเอส.....	9
2.4	แบบการติดตั้งอุปกรณ์ในพลานต์โมเดล.....	10
2.5	แบบการต่อสายในส่วนของอุปกรณ์ระดับฟิลด์ H1 และอุปกรณ์เชื่อมต่อ H1/HSE.....	11
2.6	แบบการต่อสายในส่วนของอุปกรณ์คงค่ากำลังไฟฟ้า SCR-1A030 และอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302.....	12
2.7	แบบการต่อสายในส่วนของกล่องวงจรควบคุมการเปิด-ปิดพัดลม.....	13
2.8	พลานต์โมเดลที่นำเสนอ.....	13
2.9	ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ รุ่น Rosemount : 3144P.....	14
2.10	ลักษณะการต่อใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Rosemount : 3144P.....	14
2.11	ลักษณะทางกายภาพของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ Rosemount : 3144P.....	16
2.12	ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ รุ่น Yokogawa : YTA320.....	17
2.13	ลักษณะการต่อใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ รุ่น Yokogawa : YTA320.....	17
2.13	ลักษณะการต่อใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ รุ่น Yokogawa : YTA320.....	17
2.14	อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302.....	18
2.15	ลักษณะการต่อใช้งานอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302.....	19
2.16	ลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302.....	21
2.17	อุปกรณ์คงค่ากำลังไฟฟ้า รุ่น Sangi Electric : SCR-1A030.....	22
2.18	สัญลักษณ์ของ SCR.....	23
2.19	แสดงการจุดชนวนให้เอสซีอาร์นำกระแส.....	23
2.20	การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสโดยวิธี Anode Current Interruption.....	24
2.21	การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสโดยวิธี Forced Commutation.....	24
2.22	Phase Control Thyristor.....	25
2.23	วงจรพื้นฐานและรูปคลื่นการทำงานของ Single.Phase Push - Pull Inverter.....	26
2.24	หลอดไส้อินแคนเดสเซนต์ขนาด 100 W รุ่น Philips : Superlux.....	26
2.25	1-Port Foundation Fieldbus Interface for USB รุ่น NI USB-8486.....	29
2.26	Arduino Uno R3.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการ XII เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.27 การสื่อสารอนุกรมแบบ Synchronous.....	31
2.28 การรับส่งข้อมูลแบบ Asynchronous.....	31
2.29 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของบอร์ด Arduino Uno R3.....	32
2.30 การปรับแรงดันไฟ แบบระบบควบคุมด้วยมือ.....	33
2.31 การเชื่อมต่อวงจรควบคุมพัลสมโดย MOSFET.....	37
2.32 สัญญาณของ Pulse Width Modulation ในแต่ละช่วง.....	38
2.33 ค่าแรงดันเฉลี่ยที่ได้จากการใช้ Pulse Width Modulation.....	38
2.34 แสดงความยาวของคาบ และความถี่ที่ใช้ในการศึกษา.....	39
2.35 ค่าสัญญาณ PWM ที่ 20 % ดิวตี้ไซเคิล.....	39
2.36 ค่าสัญญาณ PWM ที่ 40 % ดิวตี้ไซเคิล.....	40
2.37 ค่าสัญญาณ PWM ที่ 60 % ดิวตี้ไซเคิล.....	40
2.38 ค่าสัญญาณ PWM ที่ 80 % ดิวตี้ไซเคิล.....	41
2.39 ค่าสัญญาณ PWM ที่ 100 % ดิวตี้ไซเคิล.....	41
2.40 การเชื่อมต่อฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมสำหรับลูปควบคุม PID.....	42
2.41 ฟังก์ชันบล็อก AI.....	42
2.42 โครงสร้างภายในฟังก์ชันบล็อก AI.....	43
2.43 ฟังก์ชันบล็อก AO.....	44
2.44 โครงสร้างภายในฟังก์ชันบล็อก AO.....	45
2.45 ฟังก์ชันบล็อก PID.....	46
2.46 โครงสร้างภายในฟังก์ชันบล็อก PID.....	47
2.46 โครงสร้างภายในฟังก์ชันบล็อก PID.....	47
2.47 หลักการของการเลือกและกำหนดขอบเขตของค่า SP.....	48
2.48 การเชื่อมต่อฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมสำหรับลูปควบคุม PID.....	50
2.49 การใช้ฟังก์ชันบล็อก PID ของอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันบล็อก AI.....	51
2.50 การใช้ฟังก์ชันบล็อก PID ของอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันบล็อก AO.....	51
3.1 Network Architecture การเชื่อมต่อกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ.....	52
3.2 แผนภาพการทำงานของการทำงานการควบคุมพัลสม.....	53
3.3 หน้าต่างโปรแกรม LabVIEW 2012.....	54
3.4 หน้าต่างโปรแกรม NI – FBUS Configurator 4.1.1.....	56

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 หน้าต่างโปรแกรม Arduino 1.0.5.....	57
3.6 หน้าต่าง LabVIEW Interface For Arduino.....	57
3.7 หน้าต่างโปรแกรม NI-FBUS Configurator.....	59
3.8 หน้าต่างการ Add Interface.....	60
3.9 หน้าต่างเลือก Interface Type.....	60
3.10 การ Add offline board.....	60
3.11 การตั้งชื่อ Interface Name.....	61
3.12 การ Import DD/CFF.....	61
3.13 การเลือกที่อยู่ของ DD/CFF File.....	62
3.14 การยืนยันที่อยู่ของ DD/CFF File.....	62
3.15 หน้าต่างแสดงข้อความยืนยันว่าทำการเพิ่ม DD/CFF สำเร็จ.....	62
3.16 หน้าต่างโปรแกรมเริ่มต้นของ NI-FBUS Configurator.....	63
3.17 การเพิ่มโปรเจค.....	63
3.18 หน้าต่างแสดงข้อความยืนยันเพื่อรันโปรแกรม.....	64
3.19 การรันโปรแกรม.....	64
3.20 การเลือกทำงานในโหมดออนไลน์.....	64
3.21 ข้อความยืนยันการออนไลน์.....	65
3.22 การ Assign Device.....	65
3.23 การยืนยันการดาวน์โหลด.....	65
3.24 แสดงการ Download Configurator.....	66
3.25 การยืนยันการเซฟโปรเจค.....	66
3.26 การตั้งชื่อไฟล์งานที่เซฟไว้.....	66
3.27 หน้าต่างโปรเจคใหม่.....	67
3.28 บล็อกที่ใช้ในการทดลอง.....	67
3.29 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ภายในบล็อกของอุปกรณ์.....	68
3.30 การ Monitoring.....	68
3.31 การออกแบบหน้ากราฟิกส่วน Trend.....	74
3.32 หน้ากราฟิกส่วน Trend.....	75
3.33 การออกแบบหน้ากราฟิกส่วนกราฟิก.....	75

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.34 หน้ากราฟิกส่วนกราฟิกที่ใช้ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Rosemount : 3144P และอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302.....	76
3.35 หน้าต่างโปรแกรม Tag Editor.....	76
3.36 การกดปุ่ม Interface1-0.....	77
3.37 การเชื่อมต่อของ Fieldbus Network.....	77
3.38 อุปกรณ์ทั้งหมดที่อยู่ในกระบวนการ.....	77
3.39 ค่าพารามิเตอร์ภายในบล็อก.....	78
3.40 การเพิ่มค่าพารามิเตอร์.....	78
3.41 ค่าพารามิเตอร์ที่ถูกเลือกไว้.....	78
4.1 การเชื่อมต่อในพลานต์โมเดลร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ.....	82
4.2 การสร้าง Control Module ในการทดลอง.....	84
4.3 การเข้าโปรแกรม Control Studio.....	85
4.4 หน้าต่างโปรแกรม Control Studio.....	86
4.5 บล็อกที่ใช้ในการทดลอง.....	86
4.6 การกำหนด Assign to Fieldbus ที่ใช้ในการทดลอง.....	87
4.7 การเลือกอุปกรณ์และเชื่อมต่อกับบล็อก.....	88
4.8 การสร้างค่าอุณหภูมิที่ใช้แสดงผลของกระบวนการวัดอุณหภูมิ.....	89
4.9 แสดงบล็อกการควบคุม.....	90
4.10 เลือกอุปกรณ์ที่จะ Download ในกระบวนการทดลอง.....	90
4.11 การแสดงค่าขณะออนไลน์ระบบ Feedback Control.....	91
4.12 การเชื่อมต่อ Block Wiring Diagram โฮสต์ระบบดีซีโฮสต์ที่ใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Rosemount : 3144P เป็นบล็อก PID.....	92
4.13 การเปิดโปรแกรม Delta V Explorer.....	95
4.14 หน้าต่างโปรแกรม Delta V Explorer.....	95
4.15 การกำหนดอุปกรณ์ในการทดลอง.....	96
4.16 ตัวอย่างการกำหนดรายละเอียดของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Rosemount : 3144P.....	97
4.17 อุปกรณ์ที่อยู่ในหมวด Decommissioning.....	98
4.18 ทำการ Commissioning Wizard ให้แก่อุปกรณ์เทคโนโลยีฟาว์เดชันฟิลด์บัส.....	98

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 การออกแบบหน้ากราฟิก.....	100
4.20 หน้ากราฟิกที่ใช้ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Rosemount : 3144P.....	100
4.21 หน้ากราฟิกที่ใช้ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Yokogawa : YTA320.....	102
5.1 ผลตอบสนองที่แกว่งอย่างต่อเนื่อง เมื่อปรับโดยวิธี Ultimate Method.....	104
5.2 แสดงการตอบสนองของค่า PV เมื่อมีการแกว่งอย่างต่อเนื่อง.....	106
5.3 แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในการหาค่า TI.....	107
5.4 แสดงกราฟิกโดยใช้ค่าพารามอเตอร์ควบคุมที่ได้จากทฤษฎี.....	108
5.5 แสดงแนวโน้มของกราฟที่ควรเป็นไปได้ในการทดลอง.....	109
5.6 ผลการทดลองกรณีที่ 1 จากตารางที่ 5.5.....	114
5.7 ผลการทดลองกรณีที่ 2 จากตารางที่ 5.5.....	114
5.8 ผลการทดลองกรณีที่ 3 จากตารางที่ 5.5.....	115
5.9 ผลการทดลองกรณีที่ 4 จากตารางที่ 5.5.....	115
5.10 ผลการทดลองกรณีที่ 5 จากตารางที่ 5.5.....	116
5.11 ผลการทดลองกรณีที่ 6 จากตารางที่ 5.5.....	116
5.12 ผลการทดลองกรณีที่ 7 จากตารางที่ 5.5.....	117
5.13 ผลการทดลองกรณีที่ 8 จากตารางที่ 5.5.....	117
5.14 ผลการทดลองกรณีที่ 9 จากตารางที่ 5.5.....	118
5.15 ผลการทดลองกรณีที่ 10 จากตารางที่ 5.5.....	118
5.16 ผลการทดลองกรณีที่ 11 จากตารางที่ 5.5.....	119
5.17 ผลการทดลองกรณีที่ 12 จากตารางที่ 5.5.....	119
5.18 ผลการทดลองกรณีที่ 13 จากตารางที่ 5.5.....	120
5.19 ผลการทดลองกรณีที่ 14 จากตารางที่ 5.5.....	120
5.20 ผลการทดลองกรณีที่ 15 จากตารางที่ 5.5.....	121
5.21 ผลการทดลองกรณีที่ 16 จากตารางที่ 5.5.....	121
5.22 ผลการทดลองกรณีที่ 17 จากตารางที่ 5.5.....	122
5.23 ผลการทดลองกรณีที่ 18 จากตารางที่ 5.5.....	122
5.24 ผลการทดลองกรณีที่ 19 จากตารางที่ 5.5.....	123
5.25 ผลการทดลองกรณีที่ 20 จากตารางที่ 5.5.....	123
5.26 ผลการทดลองกรณีที่ 21 จากตารางที่ 5.5.....	124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.27 ผลการทดลองกรณีที่ 22 จากตารางที่ 5.5.....	124
5.28 ผลการทดลองกรณีที่ 23 จากตารางที่ 5.5.....	125
5.29 ผลการทดลองกรณีที่ 24 จากตารางที่ 5.5.....	125
5.30 ผลการทดลองกรณีที่ 25 จากตารางที่ 5.5.....	126
5.31 ผลการทดลองกรณีที่ 26 จากตารางที่ 5.5.....	126
5.32 ผลการทดลองกรณีที่ 27 จากตารางที่ 5.5.....	127
5.33 ผลการทดลองกรณีที่ 28 จากตารางที่ 5.5.....	127
5.34 ผลการทดลองกรณีที่ 29 จากตารางที่ 5.5.....	128
5.35 ผลการทดลองกรณีที่ 30 จากตารางที่ 5.5.....	128
5.36 ผลการทดลองกรณีที่ 31 จากตารางที่ 5.5.....	129
5.37 ผลการทดลองกรณีที่ 32 จากตารางที่ 5.5.....	129
5.38 ผลการทดลองกรณีที่ 1 จากตารางที่ 5.6.....	130
5.39 ผลการทดลองกรณีที่ 2 จากตารางที่ 5.6.....	130
5.40 ผลการทดลองกรณีที่ 3 จากตารางที่ 5.6.....	131
5.41 ผลการทดลองกรณีที่ 4 จากตารางที่ 5.6.....	131
5.42 ผลการทดลองกรณีที่ 5 จากตารางที่ 5.6.....	132
5.43 ผลการทดลองกรณีที่ 6 จากตารางที่ 5.6.....	132
5.44 ผลการทดลองกรณีที่ 7 จากตารางที่ 5.6.....	133
5.45 ผลการทดลองกรณีที่ 8 จากตารางที่ 5.6.....	133
5.46 ผลการทดลองกรณีที่ 9 จากตารางที่ 5.6.....	134
5.47 ผลการทดลองกรณีที่ 10 จากตารางที่ 5.6.....	134
5.48 ผลการทดลองกรณีที่ 11 จากตารางที่ 5.6.....	135
5.49 ผลการทดลองกรณีที่ 12 จากตารางที่ 5.6.....	135
5.50 ผลการทดลองกรณีที่ 13 จากตารางที่ 5.6.....	136
5.51 ผลการทดลองกรณีที่ 14 จากตารางที่ 5.6.....	136
5.52 ผลการทดลองกรณีที่ 15 จากตารางที่ 5.6.....	137
5.53 ผลการทดลองกรณีที่ 16 จากตารางที่ 5.6.....	137
5.54 ผลการทดลองกรณีที่ 17 จากตารางที่ 5.6.....	138
5.55 ผลการทดลองกรณีที่ 18 จากตารางที่ 5.6.....	138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการXVIIเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.55 ผลการทดลองกรณีที่ 18 จากตารางที่ 5.6.....	138
5.56 ผลการทดลองกรณีที่ 19 จากตารางที่ 5.6.....	139
5.57 ผลการทดลองกรณีที่ 20 จากตารางที่ 5.6.....	139
5.58 ผลการทดลองกรณีที่ 21 จากตารางที่ 5.6.....	140
5.59 ผลการทดลองกรณีที่ 22 จากตารางที่ 5.6.....	140
5.60 ผลการทดลองกรณีที่ 23 จากตารางที่ 5.6.....	141
5.61 ผลการทดลองกรณีที่ 24 จากตารางที่ 5.6.....	141
5.62 ผลการทดลองกรณีที่ 25 จากตารางที่ 5.6.....	142
5.63 ผลการทดลองกรณีที่ 26 จากตารางที่ 5.6.....	142
5.64 ผลการทดลองกรณีที่ 27 จากตารางที่ 5.6.....	143
5.65 ผลการทดลองกรณีที่ 28 จากตารางที่ 5.6.....	143
5.66 ผลการทดลองกรณีที่ 29 จากตารางที่ 5.6.....	144
5.67 ผลการทดลองกรณีที่ 30 จากตารางที่ 5.6.....	144
5.68 ผลการทดลองกรณีที่ 31 จากตารางที่ 5.6.....	145
5.69 ผลการทดลองกรณีที่ 32 จากตารางที่ 5.6.....	145
5.70 ผลการทดลองกรณีที่ 1 จากตารางที่ 5.7.....	146
5.71 ผลการทดลองกรณีที่ 2 จากตารางที่ 5.7.....	146
5.72 ผลการทดลองกรณีที่ 3 จากตารางที่ 5.7.....	147
5.73 ผลการทดลองกรณีที่ 4 จากตารางที่ 5.7.....	147
5.74 ผลการทดลองกรณีที่ 5 จากตารางที่ 5.7.....	148
5.75 ผลการทดลองกรณีที่ 6 จากตารางที่ 5.7.....	148
5.76 ผลการทดลองกรณีที่ 7 จากตารางที่ 5.7.....	149
5.77 ผลการทดลองกรณีที่ 8 จากตารางที่ 5.7.....	149
5.78 ผลการทดลองกรณีที่ 9 จากตารางที่ 5.7.....	150
5.79 ผลการทดลองกรณีที่ 10 จากตารางที่ 5.7.....	150
5.80 ผลการทดลองกรณีที่ 11 จากตารางที่ 5.7.....	151
5.81 ผลการทดลองกรณีที่ 12 จากตารางที่ 5.7.....	151
5.82 ผลการทดลองกรณีที่ 13 จากตารางที่ 5.7.....	152
5.83 ผลการทดลองกรณีที่ 14 จากตารางที่ 5.7.....	152

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.84 ผลการทดลองกรณีที่ 15 จากตารางที่ 5.7.....	153
5.85 ผลการทดลองกรณีที่ 16 จากตารางที่ 5.7.....	153
5.86 ผลการทดลองกรณีที่ 1 จากตารางที่ 5.8.....	154
5.87 ผลการทดลองกรณีที่ 2 จากตารางที่ 5.8.....	154
5.88 ผลการทดลองกรณีที่ 3 จากตารางที่ 5.8.....	155
5.89 ผลการทดลองกรณีที่ 4 จากตารางที่ 5.8.....	155
5.90 ผลการทดลองกรณีที่ 5 จากตารางที่ 5.8.....	156
5.91 ผลการทดลองกรณีที่ 6 จากตารางที่ 5.8.....	156
5.92 ผลการทดลองกรณีที่ 7 จากตารางที่ 5.8.....	157
5.93 ผลการทดลองกรณีที่ 8 จากตารางที่ 5.8.....	157
5.94 ผลการทดลองกรณีที่ 9 จากตารางที่ 5.8.....	158
5.95 ผลการทดลองกรณีที่ 10 จากตารางที่ 5.8.....	158
5.96 ผลการทดลองกรณีที่ 11 จากตารางที่ 5.8.....	159
5.97 ผลการทดลองกรณีที่ 12 จากตารางที่ 5.8.....	159
5.98 ผลการทดลองกรณีที่ 13 จากตารางที่ 5.8.....	160
5.99 ผลการทดลองกรณีที่ 14 จากตารางที่ 5.8.....	160
5.100 ผลการทดลองกรณีที่ 15 จากตารางที่ 5.8.....	161
5.101 ผลการทดลองกรณีที่ 16 จากตารางที่ 5.8.....	162
6.1 แนวคิดในการควบคุมพลาเน็ตโมเดลมีการเก็บค่าข้อมูลไปที่ Database ของพลาเน็ต โมเดลที่นำเสนอ.....	173

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปริญญานิพนธ์

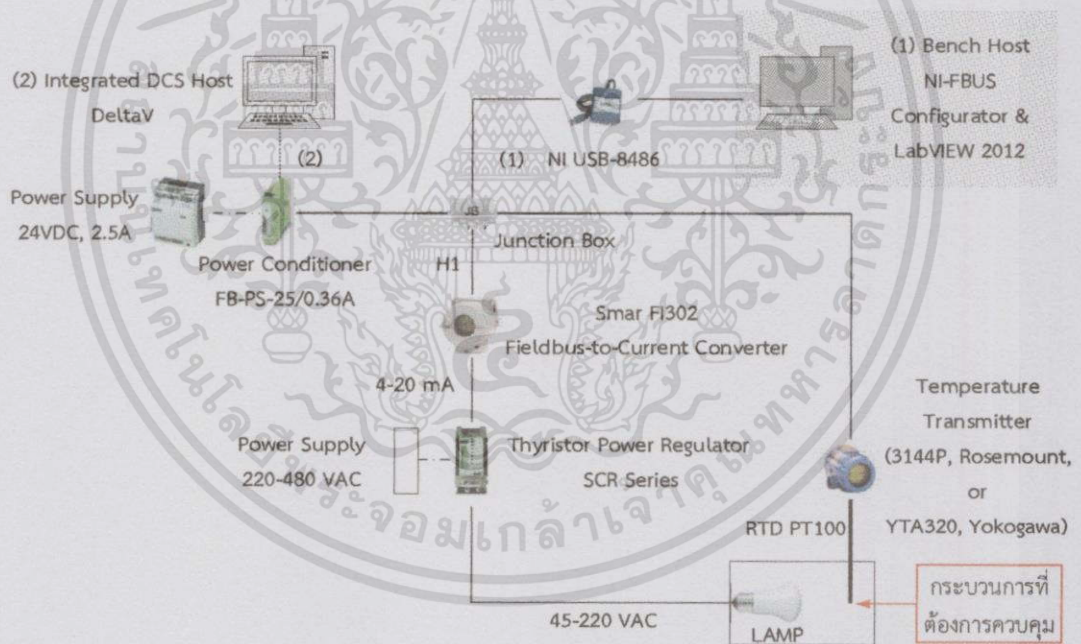
เนื่องจากในปัจจุบันระบบเครื่องมือวัดและการควบคุมสำหรับอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตมีการพัฒนากันอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการจากผู้ใช้งานทั้งในด้านจำนวนข้อมูล ความเชื่อถือได้ของระบบควบคุม และสมรรถนะการทำงานที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงทำให้ระบบการสื่อสารหรือการส่งสัญญาณระหว่างเครื่องมือวัดและระบบควบคุมที่เป็นสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 mA หรือแรงดันมาตรฐาน 0-5 VDC จึงไม่สามารถรองรับขีดความสามารถที่เพิ่มขึ้นของเครื่องมือวัดต่าง ๆ เหล่านี้ได้ เพื่อให้การแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างเครื่องมือวัดและระบบควบคุมมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และเพื่อให้ตัวแปรต่าง ๆ ที่อยู่ภายในเครื่องมือวัดสามารถส่งค่าตัวแปรต่าง ๆ ทั้งจากค่าที่วัดได้จากกระบวนการผลิตและค่าการวินิจฉัยความผิดปกติต่าง ๆ ไปแสดงค่าบนระบบควบคุม เพื่อแจ้งเตือนไปยังผู้ปฏิบัติงาน จึงมีความจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบการสื่อสารเพื่อให้มีปริมาณการรับส่งข้อมูลได้มากขึ้น การสื่อสารข้อมูลดิจิทัลแบบฟิลด์บัส (Fieldbus) จึงเป็นเทคโนโลยีที่ได้มีการนำมาใช้ทดแทนการสื่อสารแบบเดิมที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกด้วยสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 mA หรือแรงดันมาตรฐาน 0-5 VDC และเมื่อมีการนำระบบการสื่อสารแบบนี้ไปใช้งานแล้วยังเป็นการลดสายไฟที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องมือวัดกับระบบควบคุมได้อีกด้วย [1]

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้มุ่งเน้นเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างพลานต์โมเดลการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้อุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสซึ่งเป็นระบบดิจิทัล โดยใช้หลักการควบคุมจากตัวอุปกรณ์ระดับฟิลด์โดยตรง ที่เรียกว่า “Control in the Field” นอกจากนี้ภายในตัวอุปกรณ์ที่มีการสื่อสารด้วยเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสได้ถูกผลิตให้มีฟังก์ชันที่สามารถใช้ในการควบคุมแบบพีไอดี (Proportional-Integral-Derivative : PID) ได้โดยไม่ต้องใช้ตัวควบคุมที่ระบบดีซีเอส (Distributed Control System : DCS) นอกจากนี้ตัวอุปกรณ์ยังสามารถวินิจฉัยได้ด้วยตัวเอง (Diagnostic) ถึงสถานะการทำงานและสภาพของตัวอุปกรณ์อีกด้วย [2]

จากรูปที่ 1.1 แสดงพลานต์โมเดลการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสที่นำเสนอในปริญญานิพนธ์นี้ โดยมีอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่มีการสื่อสารข้อมูลด้วยเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส 2 ตัว คือ ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ (Temperature Transmitter) รุ่น 3144P ของ Rosemount และอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (Fieldbus-to-Current Converter) รุ่น FI302 ของ Smar สัญญาณกระแส 4-20 mA ที่เป็นสัญญาณเอาต์พุตของ FI302 นำไปใช้เป็นสัญญาณควบคุมการทำงานของอุปกรณ์คงค่ากำลังไฟฟารุ่น SCR-1A030 ของ Sangi เพื่อสร้างสัญญาณแรงดัน 45-220 VAC โดยสัญญาณแรงดันเอซีนี้นำไปจ่ายให้แก่หลอดไฟ (Lamp) อุณหภูมิที่เกิดจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของหลอดไฟนี้ถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรควบคุมสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ (Controlled Variable) ในช่วง 40-60 °C และใช้ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิที่มีเซ็นเซอร์อาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector : RTD) แบบ PT100 ในการตรวจวัดค่าอุณหภูมิของกระบวนการ พลานต์โมเดลที่ได้ออกแบบสามารถนำไปใช้ร่วมกับโฮสต์ได้ทั้ง 2 แบบ คือ โฮสต์แบบตั้งโต๊ะ (Bench Host) และโฮสต์แบบระบบดีซีเอส (Integrated DCS Host) เพื่อใช้ในการกำหนดตั้งค่าอุปกรณ์ การกำหนดตั้งค่ารูปแบบการควบคุม การคอมมิชชันนิ่งตัวอุปกรณ์ การแก้ปัญหาและการทำงานของเซกเมนต์สำหรับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะในปริญญาโทฉบับนี้เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กที่ติดตั้งซอฟต์แวร์ NI-FBUS Configurator เพื่อใช้งานในส่วนวิศวกรรม (Engineering) และซอฟต์แวร์ LabVIEW ที่ใช้ในการพัฒนาในส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (Human Machine Interface : HMI) ส่วนโฮสต์แบบระบบดีซีเอสได้ใช้ระบบ DeltaV ของ Emerson Process Management นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนตัวทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิจากรุ่น 3144P ไปเป็นรุ่น YTA320 ของ Yokogawa เพื่อเป็นการทดสอบความสามารถการทำงานของพลานต์โมเดลที่นำเสนอในการใช้งานร่วมกับเครื่องมือวัดจากหลายผู้ผลิต



รูปที่ 1.1 พลานต์โมเดลการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท

1. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส และการควบคุมกระบวนการในระดับฟิลด์ (Control in the Field) ซึ่งเป็นจุดเด่นของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส
2. เพื่อออกแบบและสร้างพลาเน็ตโมเดลการควบคุมอุณหภูมิ ที่สามารถนำไปต่อร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะและโฮสต์แบบระบบดีซีเอสได้
3. เพื่อสร้างในส่วน HMI โดยใช้ LabVIEW เพื่อใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์ NI-FBUS Configurator ในกรณีทำงานเป็นโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ
4. เพื่อสร้างฟังก์ชันการควบคุมเปิด-ปิดพัลลัม เพื่อนำไปใช้การระบายความร้อนที่เกิดจากหลอดไฟ สำหรับการควบคุมที่ต้องการปรับลดค่าเป้าหมาย (Set Point : SP) ให้น้อยกว่าค่าตัวแปรกระบวนการ (Process Value : PV)

## 1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

พลาเน็ตโมเดลการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัสที่สร้างขึ้นมา มีความสามารถทำงานดังนี้

1. สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง 40-60 °C โดยใช้หลักการ Control in the Field
2. สามารถนำไปใช้งานร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กที่ติดตั้งซอฟต์แวร์ NI-FBUS Configurator และ LabVIEW โดย NI-FBUS Configurator นำไปใช้ในส่วนการกำหนดตั้งค่าอุปกรณ์ กำหนดตั้งค่ารูปแบบการควบคุม การแก้ปัญหา และการคอมมิชชันนิ่ง ส่วนการดำเนินงานการควบคุมอุณหภูมิ สามารถทำได้โดยใช้ส่วน HMI ที่พัฒนาขึ้นมาจากซอฟต์แวร์ LabVIEW ได้ อีกทั้งยังมีฟังก์ชันเสริมในการระบายความร้อนด้วยพัลลัมที่ควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วย LabVIEW
3. สามารถนำไปใช้งานร่วมกับระบบดีซีเอส DeltaV ได้
4. สามารถใช้ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ รุ่น 3144P หรือ รุ่น YTA320 ในการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ และใช้ในการตัดสินใจในการควบคุมได้
5. สามารถใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแสรุ่น FI302 ในการตัดสินใจการควบคุมได้
6. การควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการมีค่าความผิดพลาดในช่วงที่ยอมรับได้  $\pm 2\%$
7. สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นสื่อการสอนในการฝึกอบรมหรือการสอนในชั้นเรียนที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

จากกรณีศึกษาในปริญญาานิพนธ์นี้ คาดว่าจะได้รับพลาเน็ตโมเดลสำหรับการควบคุมอุณหภูมิ ในช่วง 40-60 °C โดยใช้หลักการ Control in the Field ซึ่งสามารถนำมาใช้งานร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กที่ติดตั้งซอฟต์แวร์ NI-FBUS Configurator และ LabVIEW โดย NI-FBUS Configurator นำไปใช้ในส่วนการกำหนดตั้งค่าอุปกรณ์ กำหนดตั้งค่ารูปแบบการควบคุม การแก้ปัญหา และการคอมมิชชันนิ่ง ส่วนการดำเนินงานการควบคุมอุณหภูมิ สามารถทำได้โดยใช้ส่วน HMI ที่พัฒนาขึ้นมาจากซอฟต์แวร์ LabVIEW อีกทั้งยังมีฟังก์ชันเสริมในการระบายความร้อนด้วยพัดลมที่ควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วย LabVIEW นอกจากนี้ พลาเน็ตโมเดลที่นำเสนอสามารถใช้งานร่วมกับระบบดีซีเอส DeltaV ได้ พลาเน็ตโมเดลที่ถูกออกแบบมีการใช้ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ รุ่น 3144P หรือ รุ่น YTA320 ในการตรวจวัดค่าอุณหภูมิ สำหรับฟังก์ชันการควบคุมแบบพีไอดีในการตัดสินใจการควบคุมสามารถเลือกกำหนดได้ระหว่างทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ หรือ อุปกรณ์แปลงสัญญาณรุ่น FI302 โดยกำหนดค่าความผิดพลาดในช่วงที่ยอมรับได้  $\pm 2\%$  ยิ่งกว่านั้น พลาเน็ตโมเดลที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นสื่อการสอนในการฝึกอบรมหรือการสอนในชั้นเรียนที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส

## 1.5 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์

ในปริญญาานิพนธ์นี้มีเนื้อหา 6 บท โดยแต่ละบทมีเนื้อหาโดยย่อดังนี้

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึง ความสำคัญและที่มาของปริญญาานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์ ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์ ผลที่คาดว่าจะได้รับ และรายละเอียดของปริญญาานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง หลักการควบคุมอัตโนมัติแบบป้อนกลับ การสร้างลูบควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส รวมถึงการหาช่วงอุณหภูมิในการควบคุม และรายละเอียดของฟังก์ชันบล็อก

บทที่ 3 การใช้งานร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ วิธีการเชื่อมต่อกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ ขั้นตอนการกำหนดค่าเตรียมโปรแกรม และ การกำหนดค่าโปรแกรมของโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ

บทที่ 4 การใช้งานร่วมกับโฮสต์ระบบดีซีเอส วิธีการเชื่อมต่อกับโฮสต์ระบบดีซีเอส ขั้นตอนการกำหนดค่าโปรแกรมต่าง และการกำหนดค่าโปรแกรมของโฮสต์ระบบดีซีเอส

บทที่ 5 ผลการทดลอง เป็นการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม การทดลองด้วยโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ และการทดลองด้วยโฮสต์ระบบดีซีเอส

บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ ด้วยโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ โฮสต์ระบบดีซีเอส ปัญหาที่พบในการทำงาน และข้อเสนอแนะ

## บทที่ 2

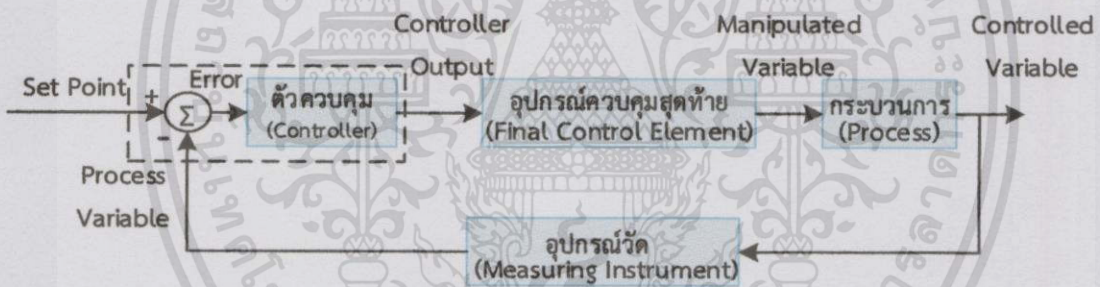
# การออกแบบพลานต์โมเดลการควบคุมอุณหภูมิ

### 2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็นการอธิบายหลักการการทำงานของระบบ โดยใช้อุปกรณ์ระดับฟิลต์ที่มีการสื่อสารข้อมูลด้วยเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลต์บัส การออกแบบพลานต์โมเดลที่นำเสนอ รายละเอียดของอุปกรณ์และการสร้างรูปควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลต์บัส

### 2.2 หลักการควบคุมอัตโนมัติแบบป้อนกลับ [3]

ในปัจจุบันระบบควบคุมแบบป้อนกลับถูกนำไปใช้สำหรับการควบคุมแบบต่อเนื่องในกระบวนการอัตโนมัติซึ่งเป็นหลักการควบคุมที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย โดยเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการผลิตต่าง ๆ เช่น ระบบควบคุมอุณหภูมิ ระบบควบคุมความดัน หรือระบบควบคุมระดับของเหลว เป็นต้น ระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไปมีส่วนประกอบดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบควบคุมอัตโนมัติแบบป้อนกลับ

จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุม (Controller) อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) กระบวนการ (Process) และอุปกรณ์วัด (Measuring Instrument) รวมกันเป็นส่วนเดียวกันเรียกว่าพลานต์ (Plant) โดยหน้าที่หลักของตัวควบคุมคือ สร้างสัญญาณควบคุม (Controller Output) ที่เหมาะสมตามกฎการควบคุม (Control Law) ที่ผู้ปฏิบัติงานได้กำหนดไว้ล่วงหน้า ขณะที่อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายทำหน้าที่ปรับสถานะของกระบวนการด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับกระบวนการ MV (Manipulated Variable) ตามคำสั่งที่ได้รับจากตัวควบคุม โดยตัวแปรที่ใช้ในการควบคุม ได้แก่

- PV (Process Variable) คือ ค่าตัวแปรกระบวนการที่เกิดจากผลการทำงานของระบบ
- SP (Set Point) คือ ค่าที่ตั้งหรือค่าเป้าหมายที่ต้องการในกระบวนการ
- E (Error) คือ ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากสมการ  $(SP - PV)$  หรือ  $(PV - SP)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- MV (Manipulated Variable) คือ ค่าตัวแปรปรับกระบวนการหรือคำสั่งการ
- CV (Controlled Variable) คือ ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุม

โดยมีหลักการทำงานคือเมื่อตั้งค่า SP ไว้และนำมาเปรียบเทียบกับค่า PV เพื่อให้ได้ค่า Error แล้วตัวควบคุมจะนำค่า Error นั้นมาทำการปรับแต่งค่าเอาต์พุต MV เพื่อลดค่า Error ให้ได้ค่าต่ำที่สุด ซึ่งในระบบควบคุมแบบป้อนกลับนั้นจะมีองค์ประกอบพื้นฐานอยู่ 4 ส่วนด้วยกันคือ ตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย กระบวนการ และอุปกรณ์วัดที่เชื่อมต่อกันเป็นระบบเพื่อควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ของกระบวนการให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากที่สุด โดยองค์ประกอบแต่ละส่วน มีรายละเอียดโดยย่อดังนี้

1. ตัวควบคุม (Controller) เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุม เพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้ระบบหรือกระบวนการที่ต้องการควบคุมให้มีผลตอบสนองหรือสัญญาณเอาต์พุตเป็นไปตามต้องการ โดยตัวควบคุมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายแบบด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ ตัวควบคุมแบบ PID

2. อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสภาวะของกระบวนการด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับกระบวนการ (MV) ตามคำสั่งหรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับจากตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายมีอยู่หลายชนิดด้วยกันเช่น วาล์วควบคุม เครื่องแปลงแรงดันไฟฟ้าจากกระแสตรงให้เป็นกระแสสลับหรืออินเวอร์เตอร์ (Inverter) และตัวกระทำ (Actuator) เป็นต้น แต่ที่มักพบเห็นกันมากในอุตสาหกรรมได้แก่ วาล์วควบคุม

3. กระบวนการ (Plant or Process) คือ ระบบหรือกระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการควบคุมให้มีสถานะเป็นไปตามต้องการ เช่น กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมระดับของเหลว หรือกระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น โดยสถานะของกระบวนการสามารถแสดงได้ด้วยตัวแปรกระบวนการ (PV)

4. อุปกรณ์วัด (Measuring Instrument) หมายถึงอุปกรณ์จำพวกเซนเซอร์ (Sensor) ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) อุปกรณ์ส่งสัญญาณหรือทรานสมิตเตอร์ หรือเครื่องวัดสัญญาณอื่น ๆ ในกระบวนการเพื่อนำสัญญาณที่วัดได้ไปใช้เป็นตัวแปรในการควบคุม โดยสัญญาณเอาต์พุตของอุปกรณ์วัดโดยทั่วไปจะเป็นสัญญาณมาตรฐานทางอุตสาหกรรม เช่น สัญญาณแรงดันไฟฟ้า 1-5 VDC สัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 mA สัญญาณลมขนาด 3-15 psig หรือโดยเฉพาะปัจจุบันนี้ได้ใช้สัญญาณดิจิตอลแล้ว เป็นต้น

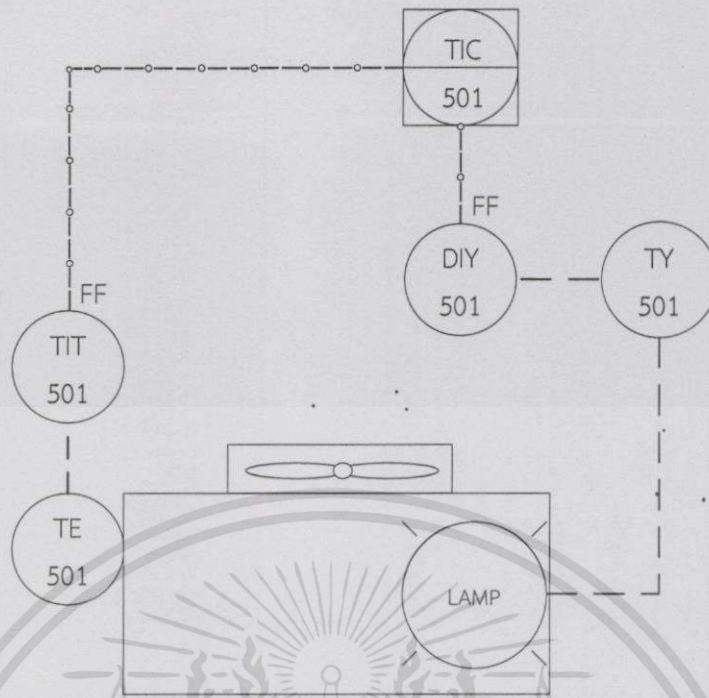
## 2.3 พลาเน็ตโมเดลที่นำเสนอ

ในปฏิญานินพนธ์นี้มุ่งเน้นศึกษาการกำหนดค่าต่าง ๆ ในการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ในระดับฟิลด์ที่เป็นสัญญาณดิจิทัลฟิลด์บัส เพื่อควบคุมอุณหภูมิโดยเลือกใช้อุปกรณ์ดิจิทัลฟิลด์บัสที่พัฒนาด้วยเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส

### 2.3.1 การใช้งานร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ

การออกแบบในส่วนฮาร์ดแวร์โดยมีแผนภาพพีแอนด์ไอดี (Piping & Instrument Diagram : P&ID) ดังรูปที่ 2.2 โดยกำหนดให้ TE (Temperature Element) แทนตัวเซนเซอร์อุณหภูมิชนิด Resistance Temperature Detector (RTD) ที่ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะ เชื่อมต่อกับ TIT (Temperature Indicator Transmitter) แทนทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิแบบดิจิทัลฟิลด์บัสที่ถูกออกแบบด้วยเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส ซึ่งสามารถแสดงผลค่าอุณหภูมิทางหน้าจอ LCD ได้ เนื่องจากทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิเป็นอุปกรณ์ระดับฟิลด์ H1 จึงต้องใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อในการเดินสายในที่นี้แทนด้วย JB (Junction Box) เพื่อส่งผ่านค่าอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้หรือค่า PV ไปใช้ในลูปควบคุม TIC (Temperature Indicator Control) เพื่อนำไปแสดงค่าควบคุมต่างๆ ผ่านซอฟต์แวร์ NI – FBUS Configurator และ LabVIEW ซึ่งมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อกำหนดค่าเป้าหมาย หรือค่า SP ของกระบวนการและส่งค่าตัวแปรในการควบคุมที่เป็นรูปแบบสัญญาณควบคุม หรือค่า MV ไปยังอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302 ซึ่งแปลงสัญญาณจากฟิลด์บัส H1 เป็นสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA คือ DIY (Fieldbus Indicator Converter) และ TY แทนอุปกรณ์คงค่ากำลังไฟฟารุ่น SCR-1A030 ซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย เป็นแรงดันกระแสสลับ 45-220 VAC เพื่อจ่ายแรงดันเอซีนี้ให้แก่หลอดไฟ โดยพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นที่หลอดไฟจะเปลี่ยนแปลงไปตามเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ ค่าอุณหภูมิที่เกิดจากความร้อนของหลอดไฟจะถูกตรวจวัดด้วยทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิเพื่อนำไปเปรียบเทียบค่าเป้าหมายต่อไป นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชันการควบคุมเปิด-ปิดพัดลม SC (Speed Control) ในกรณีที่เปิดพัดลมในโหมด AUTO สามารถควบคุมความเร็วของพัดลมได้อย่างอัตโนมัติเป็นการประมวลผลผ่านโปรแกรม LabVIEW และส่งค่าส่งข้อมูลไปยังบอร์ด Arduino (SY) สำหรับสร้างสัญญาณ PWM เพื่อใช้ในการลดความร้อนในช่วงขาลง

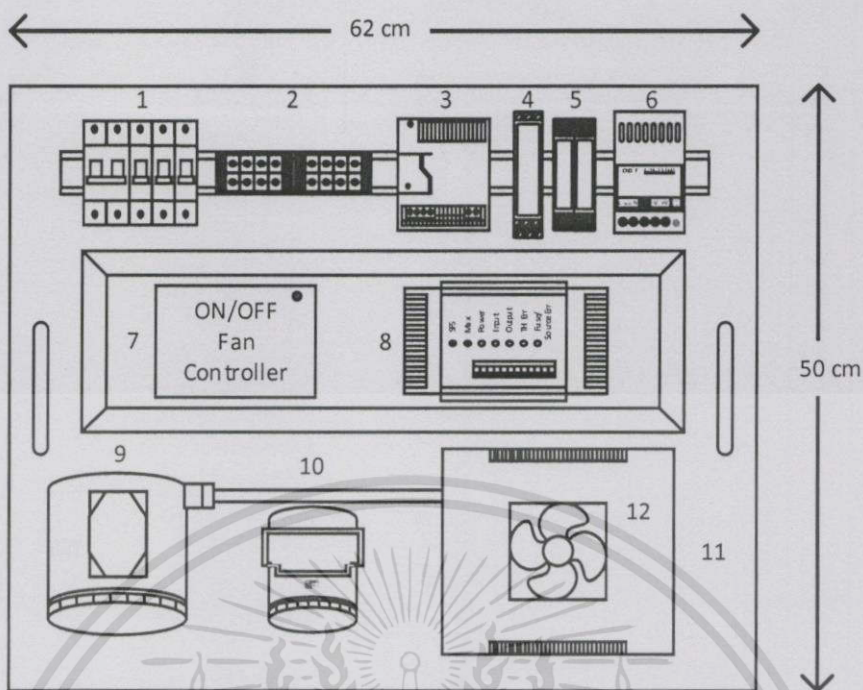




รูปที่ 2.3 แผนภาพพีแอนด์ไอของกระบวนการควบคุมอุณหภูมิกับไฮสตรระบบดีซีเอส

### 2.3.3 การติดตั้งอุปกรณ์

อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการสร้างพลาเน็ตโมเดลที่นำเสนอ สรุปลงได้ดังตารางที่ 2.2 โดยมีรูปแบบการติดตั้งแสดงในรูปที่ 2.4 สำหรับแบบการต่อสาย (Wiring Diagram) ในส่วนของอุปกรณ์ระดับฟิลด์ H1 และอุปกรณ์เชื่อมต่อ H1/HSE (หรือ H1/HSE Linking Device) แสดงในรูปที่ 2.5, 2.6 และ 2.7 แสดงแบบการต่อสายของอุปกรณ์คงค่ากำลังไฟฟ้ารุ่น SCR-1A030 และอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302 และแบบการต่อสายภายในกล่องวงจรควบคุมเปิด-ปิดพัดลม (ON-OFF Fan Controller) ตามลำดับ ในรูปที่ 2.8 แสดงรูปถ่ายของพลาเน็ตโมเดลที่ออกแบบและสร้างขึ้น

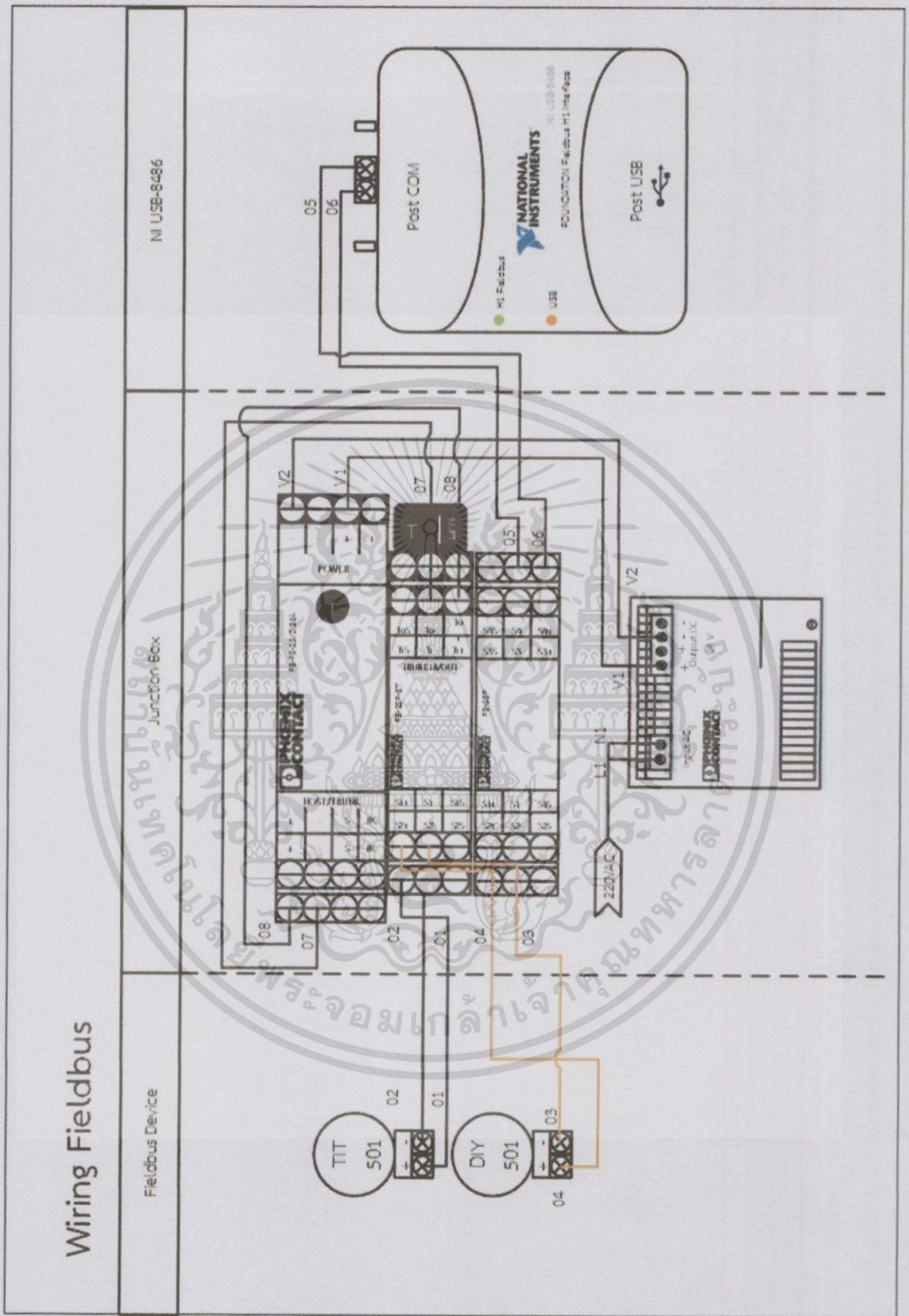


รูปที่ 2.4 แบบการติดตั้งอุปกรณ์ในพลาเน็ตโมเดล

ตารางที่ 2.2 อุปกรณ์ต่าง ๆ ในพลาเน็ตโมเดล

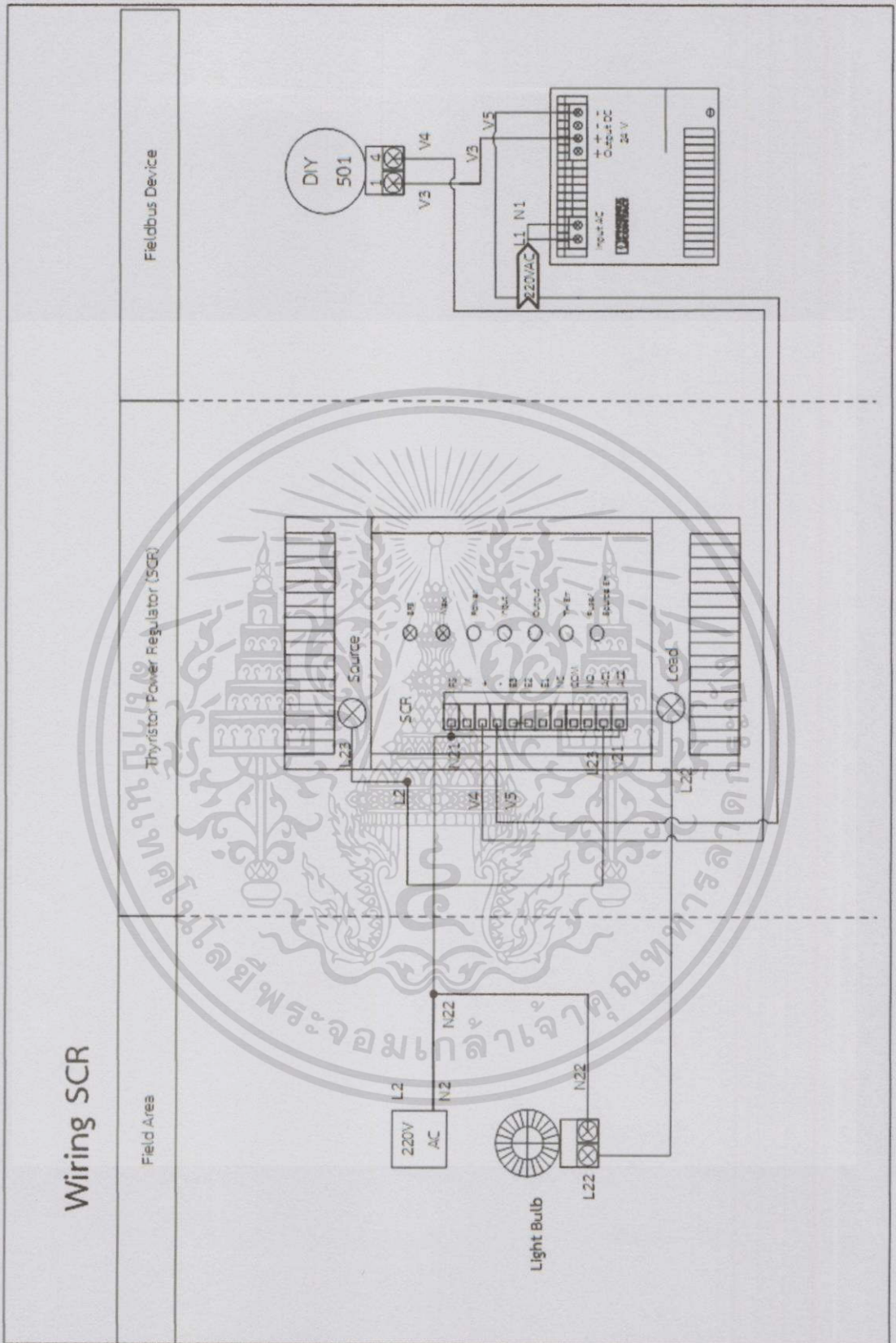
ลำดับเลขอุปกรณ์	อุปกรณ์
1	เบรกเกอร์
2	จุดต่อรวมแรงดันไฟฟ้า 220 VAC
3	แหล่งจ่ายไฟ 24 VDC รุ่น STEP-PS/1AC/24DC/2.5 ของ Phoenix Contact
4	Power Conditioner รุ่น FP-PS-25 ของ Phoenix Contact
5	Junction Box รุ่น FB-4SP ของ Phoenix Contact
6	แหล่งจ่ายไฟ 12 VDC
7	กล่องวงจรควบคุมพัลลัม (Arduino)
8	อุปกรณ์คงค่ากำลังไฟฟ้า รุ่น SCR-1A030 ของ Sangi Electric
9	ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ รุ่น 3144P ของ Rosemount
10	อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302 ของ Smar
11	กล่องจำลองกระบวนการ
12	พัลลัมขนาด 12 VDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



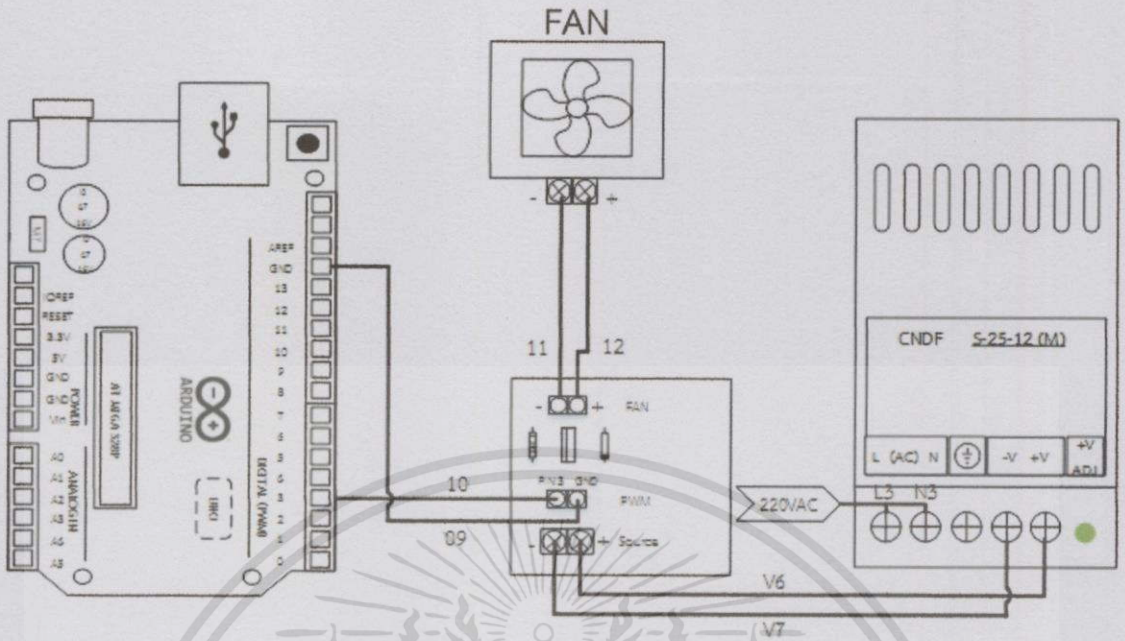
รูปที่ 2.5 แบบการต่อสายในส่วนของอุปกรณ์ระดับฟิลด์ H1 และอุปกรณ์เชื่อมต่อ H1/HSE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

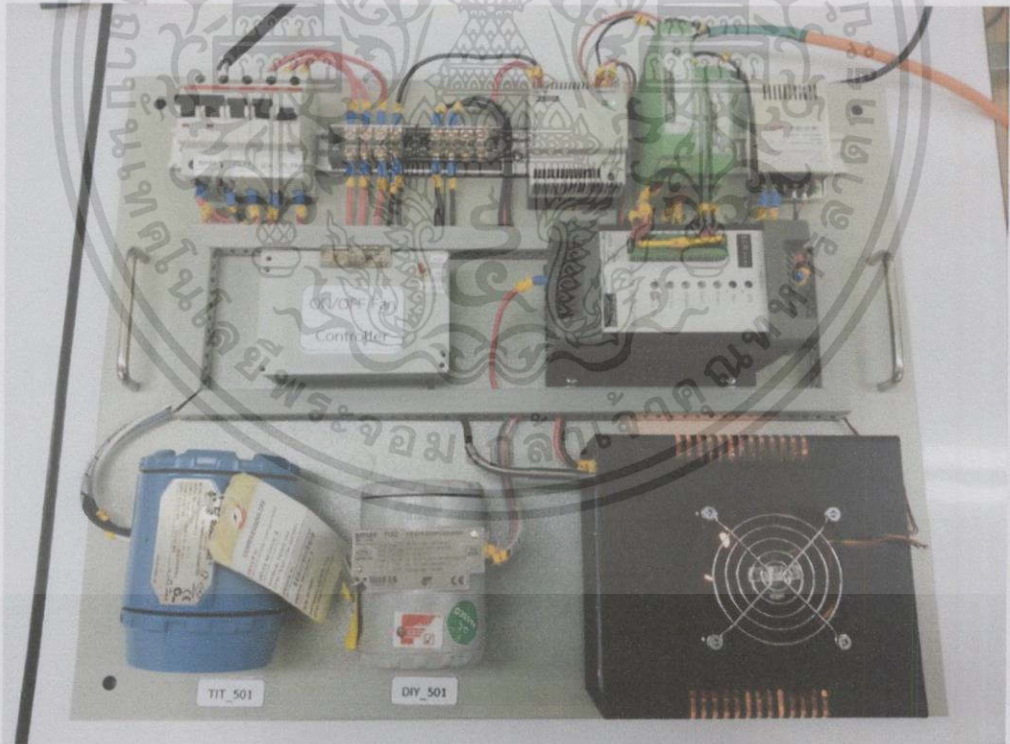


รูปที่ 2.6 แบบการต่อสายในส่วนของอุปกรณ์คั่งค่ากำลังไฟฟ้า SCR-1A030 และอุปกรณ์แปลง  
สัญญาณฟิวต์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แบบการต่อสายในส่วนของกล่องวงจรควบคุมการเปิด-ปิดพัดลม



รูปที่ 2.8 พลาเน็ตโมเดลที่น่าเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้

### 2.4.1 ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Rosemount : 3144P

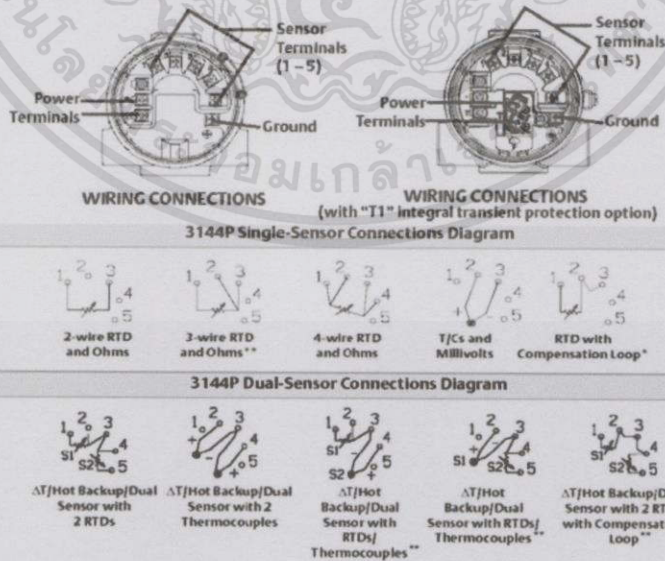
ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิที่ใช้ในกรณีศึกษาคือ ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Rosemount : 3144P ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Emerson Process Management [4] ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ รุ่น Rosemount : 3144P

ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Rosemount 3144P เป็นอุปกรณ์เทคโนโลยีฟาร์วันเดชันฟิลด์บัส ที่นำมาใช้ในการวัดอุณหภูมิ ซึ่งในอุตสาหกรรมชั้นนำทั่วไปได้ให้การยอมรับว่าเป็นนวัตกรรมใหม่ สำหรับอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่ใช้ในระบบการวัด โดยทรานสมิตเตอร์อุณหภูมินี้มีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้

1. มีความแม่นยำและเที่ยงตรงในการวัดค่าอุณหภูมิ ย่านการวัดค่าอุณหภูมิสูง การทำงานของ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิสามารถเป็นได้ทั้งเซนเซอร์เดี่ยวและคู่ตามหลักสากล โดยเซนเซอร์ที่ใช้ในการรับ ค่าอินพุตจะเป็นแบบอาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector : RTD) และเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple : T/C) เลือกใช้งานตามคุณสมบัติทางไฟฟ้าของกระบวนการ โดยแสดงลักษณะ การต่อใช้งานของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะการต่อใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Rosemount : 3144P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ส่วนบล็อกที่ใช้เชื่อมต่อการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ระดับฟิลด์ของ เทคโนโลยีฟาว์นเดชัน-ฟิลด์บัส H1 หรือร่วมกับ Host ที่ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ Rosemount : 3144P รองรับสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 บล็อกการทำงานของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ Rosemount : 3144P

Block	จำนวน Block
Resource Block (RB)	1
Analog Input (AI)	3
Proportional/Integral/Derivative (PID)	2
Input Selector (IS)	1
Signal Characterizer (SC)	1
Arithmetic (AR)	1
Sensor Transducer Block (STB)	1
LCD Transducer Block (LCD TB)	1
Advanced Diagnostics Block (ADB)	1
Output Splitter (OS)	1

จากตารางที่ 2.3 สามารถอธิบายโดยสรุปถึงการทำงานของบล็อกต่าง ๆ ได้ดังนี้

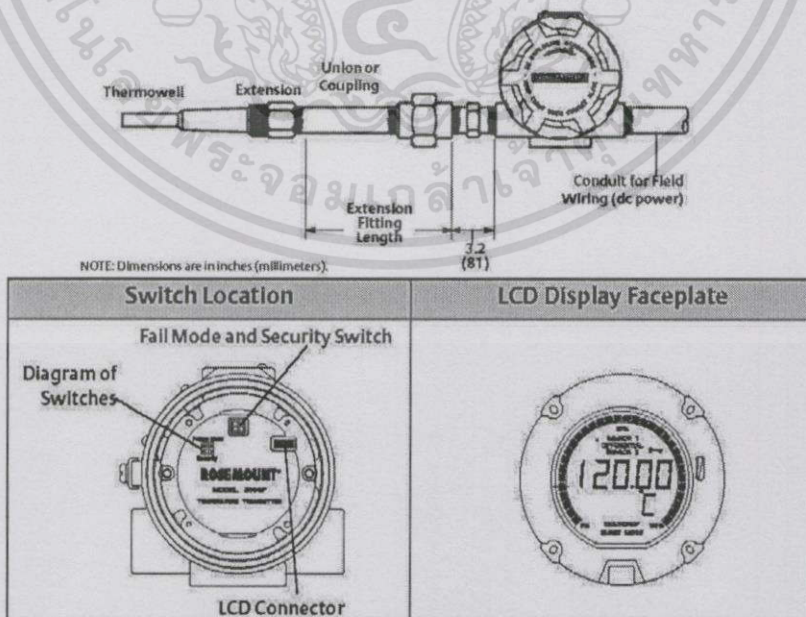
- Resource Block (RB) คือส่วนที่บ่งบอกข้อมูลของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ
- Analog Input (AI) คือส่วนที่รับค่าอุณหภูมิจากเซนเซอร์แล้วส่งเอาต์พุตออกตาม Engineering Unit และแสดงสถานะ (Status) ที่บ่งบอกคุณภาพของการวัดเพื่อนำไปปรับค่ากระบวนการ
- Proportional/Integral/Derivative (PID) คือส่วนที่ใช้ในการประมวลผลของกระบวนการควบคุมต่าง ๆ จากสมการทางคณิตศาสตร์ในการควบคุมแบบ PID
- Input Selector (IS) คือบล็อกที่ใช้ในการเลือกรับสัญญาณโดยสามารถเลือกรับได้มากกว่าสี่อินพุต ส่วนเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับการตั้งค่าการกระทำ โดยบล็อกนี้รับค่าอินพุตจากบล็อก AI ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบข้อมูล maximum/minimum/middle/average และ first good
- Signal Characterizer (SC) คือบล็อกที่ใช้ในการกำหนดคุณสมบัติทางเดินของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต
- Arithmetic (AR) คือบล็อกที่ออกแบบมาสำหรับการใช้งานฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sensor Transducer Block (STB) คือบล็อกที่ใช้ในการประมวลผลในการวัดอุณหภูมิจากการเลือกใช้งานชนิดของเซนเซอร์ และใช้ในการบ่งบอกสถานะของการวัดอุณหภูมิ
- LCD Transducer Block (LCD TB) คือบล็อกที่ใช้ในการตั้งค่าการแสดงผลของหน้าจอ LCD
- Advanced Diagnostics Block (ADB) คือบล็อกที่ใช้ในการแสดงผลและวินิจฉัยข้อผิดพลาดของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ
- Output Splitter (OS) คือบล็อกที่ใช้ในการควบคุมค่าเอาต์พุตที่ออกเป็นสองทางจากค่าอินพุตเดียว

3. เป็นทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิที่มีความครอบคลุมในการใช้งาน และสามารถใช้ในการวินิจฉัยกระบวนการได้ รองรับมาตรฐานความปลอดภัย IEC61508 (Safety Instrumented Systems : SIS) สามารถใช้งานในพื้นที่ปลอดภัยและพื้นที่อันตรายตามมาตรฐาน I.S. (Intrinsic Safety) รวมถึงรองรับระบบจำกัดพลังงาน FISCO (Fieldbus Intrinsically Safe Concept)

4. มีคุณสมบัติในการวินิจฉัยสถานะและสภาพการทำงานของอุปกรณ์ สามารถแจ้งเตือนความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการได้ รวมไปถึงมีจอแสดงผล LCD ขนาดใหญ่ในการแสดงค่าอุณหภูมิและสถานะต่าง ๆ สามารถติดตั้งได้ง่าย นอกจากนี้ยังรองรับเทคโนโลยีโปรโตคอล HART Revision (5 and 7) และเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส โดยลักษณะทางกายภาพของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.11 จากลักษณะของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิในปฏิญญานิพนธ์นี้ได้เลือกชนิดของเซนเซอร์ในการวัดอุณหภูมิเป็นแบบอาร์ทีดี 3-wire ย่านอุณหภูมิที่สามารถวัดได้คือ -200 ถึง 850 °C โดยติดต่อสื่อสารด้วยเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส



รูปที่ 2.11 ลักษณะทางกายภาพของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ Rosemount : 3144P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Yokogawa : YTA320

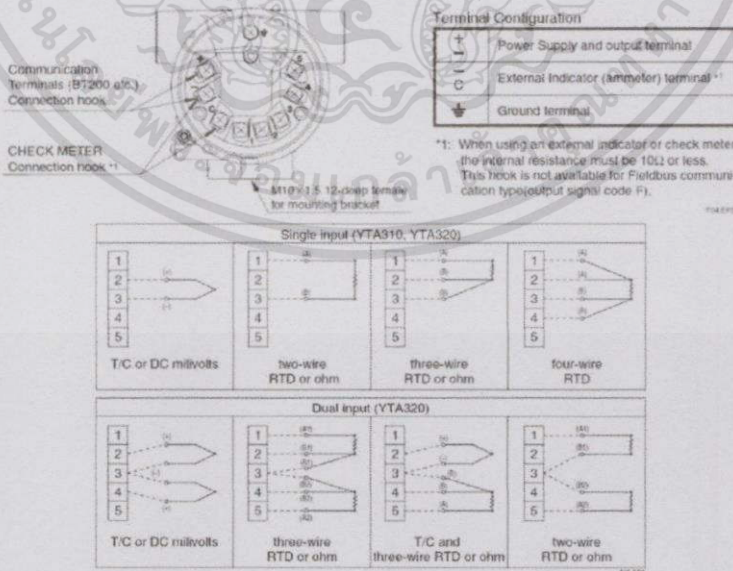
ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิที่ใช้ในกรณีศึกษาคือ ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Yokogawa : YTA320 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Yokogawa Electric Corporation [5] ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ รุ่น Yokogawa : YTA320

ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Yokogawa : YTA320 เป็นอุปกรณ์เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสที่นำมาใช้ในการวัดอุณหภูมิ โดยทรานสมิตเตอร์อุณหภูมินี้มีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้

1. มีความแม่นยำและเที่ยงตรงในการวัดค่าอุณหภูมิ ย่านการวัดค่าอุณหภูมิสูง การทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิสามารถเป็นได้ทั้งเซนเซอร์เดี่ยวและคู่ตามหลักสากล โดยเซนเซอร์ที่ใช้ในการรับค่าอินพุตจะเป็นแบบอาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector: RTD) และเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple: T/C) เลือกใช้งานตามคุณสมบัติทางไฟฟ้าของกระบวนการ โดยแสดงลักษณะการต่อใช้งานของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ลักษณะการต่อใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ รุ่น Yokogawa : YTA320

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ส่วนบล็อกที่ใช้เชื่อมต่อการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ระดับฟิลด์ของเทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส H1 หรือร่วมกับ Host ที่ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ รุ่น Yokogawa :YTA320 รองรับสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 บล็อกการทำงานของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ รุ่น Yokogawa : YTA320

Block	จำนวน Block
Resource Block (RB)	1
Analog Input (AI)	4
Digital Input (AI)	4
Proportional/Integral/Derivative (PID)	2

จากตารางที่ 2.4 สามารถอธิบายโดยสรุปถึงการทำงานของบล็อกต่าง ๆ ได้ดังนี้

- Resource Block (RB) คือส่วนที่บ่งบอกข้อมูลของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ
- Analog Input (AI) คือส่วนที่รับค่าอุณหภูมิจากเซนเซอร์แล้วส่งเอาต์พุตออกตาม engineering unit และแสดงสถานะ (Status) ที่บ่งบอกคุณภาพของการวัดเพื่อนำไปปรับค่ากระบวนการ
- Proportional/Integral/Derivative (PID) คือส่วนที่ใช้ในการประมวลผลของกระบวนการควบคุมต่าง ๆ จากสมการทางคณิตศาสตร์ในการควบคุมแบบ PID

#### 2.4.3 อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแสรุ่น FI302

อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (Fieldbus to current converter) เป็นสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA ที่ใช้ในกรณีศึกษา คือ อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแสรุ่น SMAR : FI302 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท SMAR Equipment's Industrials [6] ดังรูปที่ 2.14

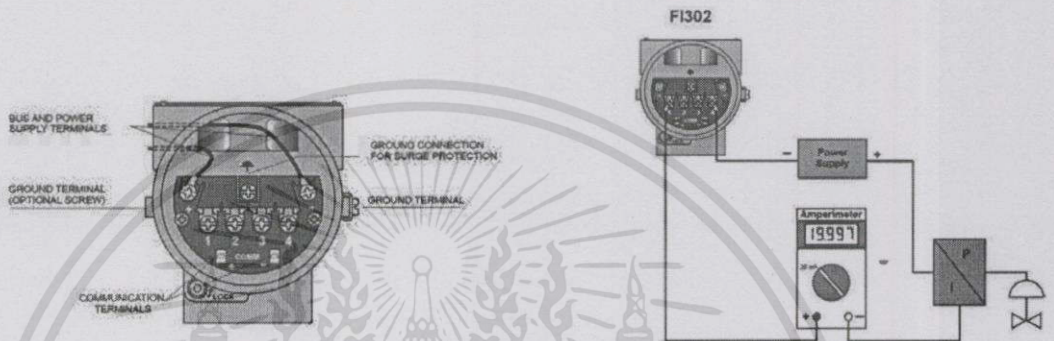


รูปที่ 2.14 อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (Fieldbus to current converter) รุ่น SMAR : FI302 เป็นอุปกรณ์เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสที่นำมาใช้ในการแปลงสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA สำหรับอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่ใช้ในกระบวนการควบคุม โดยอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส นี้มีคุณสมบัติทั่วไปดังนี้

1. สามารถแปลงสัญญาณจากฟิลด์บัส H1 เป็นสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA จำนวน 3 ช่อง โดยมีลักษณะการต่อใช้งานของอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (Fieldbus to current converter) ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ลักษณะการต่อใช้งานอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302

2. ส่วนบล็อกที่ใช้เชื่อมต่อการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ระดับฟิลด์ของเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์-บัส H1 หรือร่วมกับ Host ที่อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 บล็อกการทำงานของอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302

Block	จำนวน Block
Resource Block (RB)	1
Diagnostics Transducer (DIAG)	3
Display Transducer (DSP)	2
PID Control (PID)	1
Enhanced PID Control (EPID)	1
Arithmetic (AR)	1
Sensor Transducer Block (STB)	1
LCD Transducer Block (LCD TB)	1
Advanced Diagnostics Block (ADB)	1
Output Splitter (OS)	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

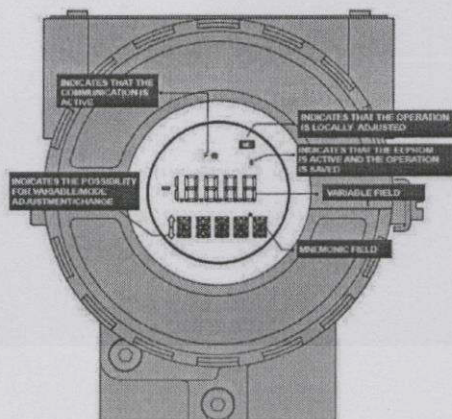
จากตารางที่ 2.5 สามารถอธิบายโดยสรุปถึงการทำงานของบล็อกต่าง ๆ ได้ดังนี้

- Resource Block (RB) คือส่วนที่บ่งบอกข้อมูลอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI)
- Transducer Block (TB) คือบล็อกที่ใช้ในการส่งสัญญาณจาก AO Block ให้เป็นสัญญาณมาตรฐาน 4-20 mA
- Display Transducer (DSP) คือใช้ในการแสดงผลบน LCD ที่เป็นสถานะต่างๆ ของอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI)
- Diagnostic Transducer Block (DIAG) คือใช้ในการตรวจสอบการเชื่อมต่อระหว่างบล็อกต่างๆ ที่ทำการออนไลน์อยู่
- Proportional/Integral/Derivative (PID) คือส่วนที่ใช้ในการประมวลผลของกระบวนการควบคุมต่าง ๆ จากสมการทางคณิตศาสตร์ในการควบคุมแบบ PID
- Analog Out (AO) คือส่วนที่ส่งสัญญาณจากอุปกรณ์ควบคุม ซึ่งได้รับสัญญาณจากบล็อกก่อนหน้าและส่งต่อไปยัง Transducer Block
- Arithmetic (ARTH) คือบล็อกการคำนวณของสมการ เช่นการชดเชยอัตราการไหล , HTG , Ratio control
- Splitter (SPLT) คือบล็อกที่ส่งตัวแปรออกไปได้หลายตัวที่ใช้งานเป็นจำนวนสองงานจากบล็อก PID แยกเป็นการทำงานแบบผันแปรหรือลำดับขั้น ลำดับจากตัวสำหรับงานที่มีตัวแปรสองตัว
- Signal Characterizer (CHAR) คือสัญญาณที่มาสองส่วน แต่ละสัญญาณที่ออกมาจะไม่เป็นสัญญาณเส้นตรงของแต่ละสัญญาณที่เข้ามา
- Integrator (INTG) คือเป็นฟังก์ชัน บล็อกที่ผสมตัวแปรในคุณสมบัติเวลา หรือการนับของสัญญาณพัลส์
- Analog Alarm (AA) คือตัวที่แจ้งเตือนของเงื่อนไขการรายงานบน analog output ซึ่งจะประกอบไปด้วย high, high-high, low และ low-low alarms

3. เป็นทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิที่มีความครอบคลุมในการใช้งานและรองรับมาตรฐานความปลอดภัย IEC61508 (Safety Instrumented Systems: SIS) สามารถใช้งานในพื้นที่ปลอดภัยและพื้นที่อันตรายตามมาตรฐาน I.S. (Intrinsic Safety)

4. อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302 อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302 มีคุณสมบัติในการวินิจฉัยสถานะและสภาพการทำงานของอุปกรณ์สามารถแจ้งเตือนความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการได้ รวมไปถึงมีจอแสดงผล LCD ขนาดใหญ่ในการแสดงค่าอุณหภูมิและสถานะต่าง โดยลักษณะทางกายภาพอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ลักษณะทางกายภาพของอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302

### สรุปคุณสมบัติอุปกรณ์เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติอุปกรณ์เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสที่ใช้

PD - Tag	Address	Vendor	Model	Device Function	Device Rev.	DD Rev.
TIT_501	30	Rosemount	3144P	Temperature Transmitter	2	1
TIT_502	31	Yokogawa	YTA320	Temperature Transmitter	2	1
DIY_501	33	SMAR	FI 302	Fieldbus to Current Converter	4	0005

ตารางที่ 2.7 ช่วงเวลา Execution Time ของ AI Block แต่ละยี่ห้อ

Manufacturer & Model	Execution Time
Rosemount : 3144P	60 ms
Yokogawa : YTA320	50 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 ช่วงเวลา Execution Time ของ PID Block แต่ละยี่ห้อ

Manufacturer & Model	Execution Time
Rosemount : 3144P	90 ms
Yokogawa : YTA320	100 ms
SMAR FI302	67 ms

ตารางที่ 2.9 ช่วงเวลา Execution Time ของ AO Block แต่ละยี่ห้อ

Manufacturer & Model	Execution Time
SMAR FI302	50 ms

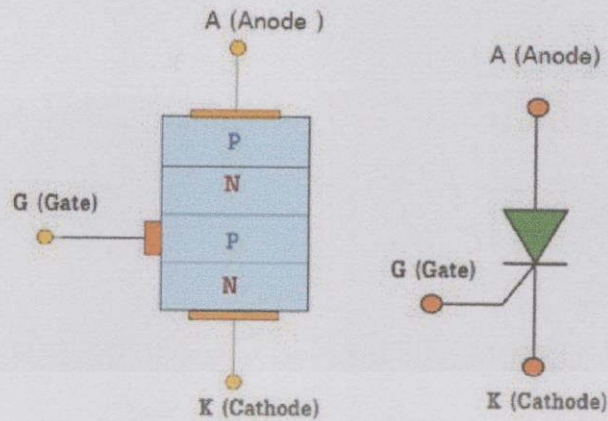
#### 2.4.4 อุปกรณ์คงค่ากำลังไฟฟารุ่น SCR-1A030

ในกรณีศึกษาอุปกรณ์คงค่ากำลังไฟฟ้าของ Sangi Electric รุ่น: SCR-1A030 [7] ดังรูปที่ 2.17 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายของกระบวนการ ทำหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตตามคำสั่งสัญญาณอินพุตที่มาจากตัวควบคุมที่เป็นสัญญาณแอนะล็อก 4-20 mA และส่งสัญญาณเอาต์พุตออกเป็นแรงดัน การแปลงผัน DC เป็น AC โดยอินเวอร์เตอร์ในที่นี้หมายถึงการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ การเปลี่ยนแปลงนี้อาจปรับหรือควบคุมขนาดของแรงดันไฟฟ้าและความถี่วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์รับสัญญาณอินพุตได้หลายชนิดภายในเครื่องได้แก่ 4-20 mA 1-5 VDC, 2-0 VDC, 0-20 mA, 0-5 mA, 0-5 VDC และ 0-10 VDC ซึ่งการปรับแรงดันไฟของอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้จะมีโมดูล SCR (Silicon Controlled Rectifier) เป็นวงจรปรับแรงดันโดยใช้อุปกรณ์ไทรสเตอร์ (Thyristor) ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด - ปิด (On - Off) มีโครงสร้างประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N ต่อชนกันทั้งหมด 4 ตอน เป็นสารชนิด P2 ตอน และสารชนิด N2 ตอน โดยเรียงสลับกัน มีขาต่อออกมาใช้งาน 3 ขา คือ ขาแอนอด (Anode) ขาแคโทด (Cathode) และขาเกต (Gate) โครงสร้างและสัญลักษณ์แสดงดังรูปที่ 2.17



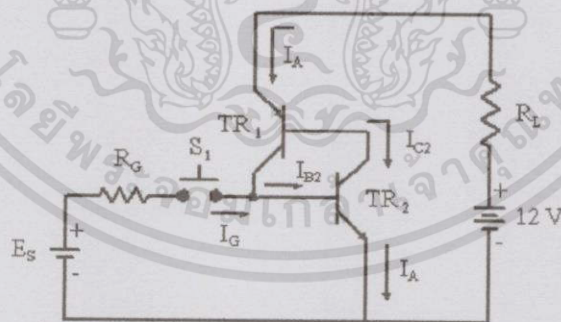
รูปที่ 2.17 อุปกรณ์คงค่ากำลังไฟฟ้า รุ่น Sangi Electric : SCR-1A030

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 สัญลักษณ์ของ SCR

สภาวะนำกระแสของเอสซีอาร์สามารถพิจารณาได้ดังรูปที่ 2.19 การที่จะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสสามารถทำได้โดยจุดชนวน เรียกว่า “ทริกเกอร์” (Trigger) ด้วยกระแสเกต ( $I_G$ ) ให้แก่เอสซีอาร์ (SCR) และที่ขั้วแอโนด (A) และแคโทด (K) ได้รับไบอัสตรงคือที่แอโนดได้แรงดันบวก (+) และที่แคโทดได้รับแรงดันลบ (-) ทำให้เกิดกระแส  $I_{B2}$  ไหลเข้าขาเบส (Base) ของทรานซิสเตอร์  $TR_2$  ทำให้  $TR_2$  อยู่ในสภาวะนำกระแส (ON) จะเกิดกระแสคอลเลคเตอร์ ( $I_{C2}$ ) ไหลผ่าน  $TR_2$  ซึ่งก็คือกระแส  $I_{B1}$  ของทรานซิสเตอร์  $TR_1$  ดังนั้น  $TR_1$  จึงนำกระแสด้วยความต้านทานระหว่างขั้วแอโนด (A) และแคโทด (K) จึงมีค่าต่ำมากเป็นผลให้เกิดกระแสแอโนด ( $I_A$ ) ไหลผ่านอีมิเตอร์ของ  $TR_1$  ไปออกที่อีมิเตอร์ของ  $TR_2$  สภาวะการทำงานของเอสซีอาร์เปรียบเสมือนสวิตช์ปิดวงจร



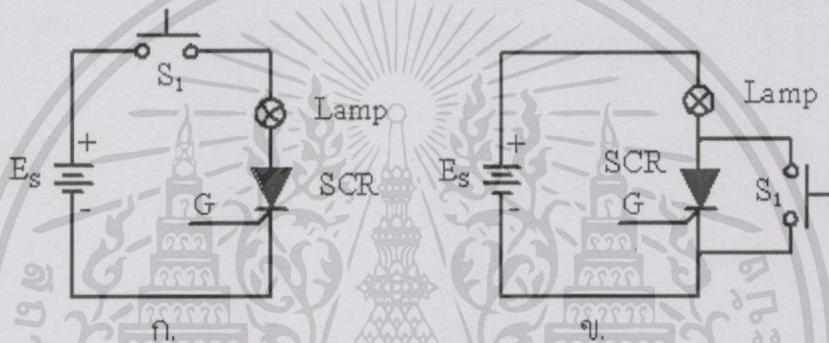
รูปที่ 2.19 แสดงการจุดชนวนให้เอสซีอาร์นำกระแส

เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสแล้วไม่จำเป็นต้องคงค่ากระแสเกต ( $I_G$ ) ไว้ตลอดไป สามารถลดค่ากระแสเกตให้เป็นศูนย์ ( $I_G = 0$ ) หรือปลดกระแสเกตออกได้โดยที่เอสซีอาร์ยังคงนำกระแสต่อไป เพราะ  $I_{B2}$  ที่ไหลเข้าเบสของ  $TR_2$  จะไหลมาจากคอลเลคเตอร์ของ  $TR_1$  ดังนั้นถึงแม้จะไม่มีกระแสเกต เอสซีอาร์ก็ยังคงนำกระแสต่อไปได้ ในสภาวะนำกระแสนี้ถ้าแหล่งจ่ายเป็นไฟกระแสสลับสามารถจะบังคับให้เอสซีอาร์นำกระแสได้มากหรือน้อยได้โดยเลือกมุมจุดชนวนที่เกดให้เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

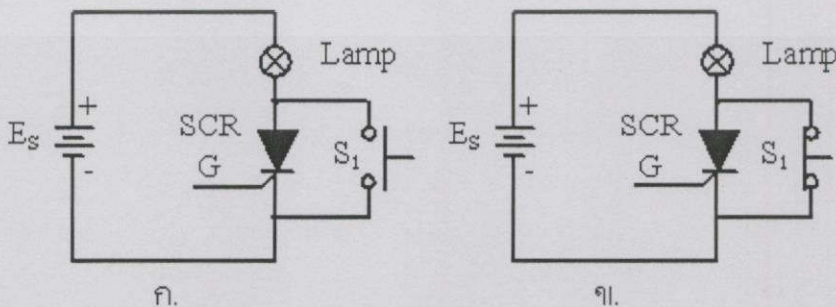
สภาวะหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์ วิธีการทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสมีหลักการคือ ทำให้กระแสแอนโอด ( $I_A$ ) ลดลงจนต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง ( $I_H$  : Holding Current) คือค่ากระแสต่ำสุดที่ทำให้เอสซีอาร์นำกระแส หรือ  $I_A < I_H$  จึงจะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสได้ซึ่งการที่จะทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสมี 2 วิธีคือ

1. แอนโอดเคอร์เรนทอินเทอร์พชัน (Anode Current Interruption) โดยการตัดกระแส  $I_A$  ไม่ให้ไหลผ่านแอนโอดของเอสซีอาร์วิธีง่าย ๆ ดังรูปที่ 2.20ก. โดยต่อสวิตช์อนุกรมแอนโอด (A) ของเอสซีอาร์และเปิดสวิตช์เมื่อต้องการทำให้เอสซีอาร์หยุดทำงาน (Turn - Off) หรืออีกวิธีในรูปที่ 2.20ข. โดยต่อสวิตช์ระหว่างขั้วแอนโอดและแคโทดของเอสซีอาร์เป็นการเปลี่ยนทางเดินของกระแสแอนโอด ( $I_A$ ) ไม่ให้ไหลผ่านเอสซีอาร์



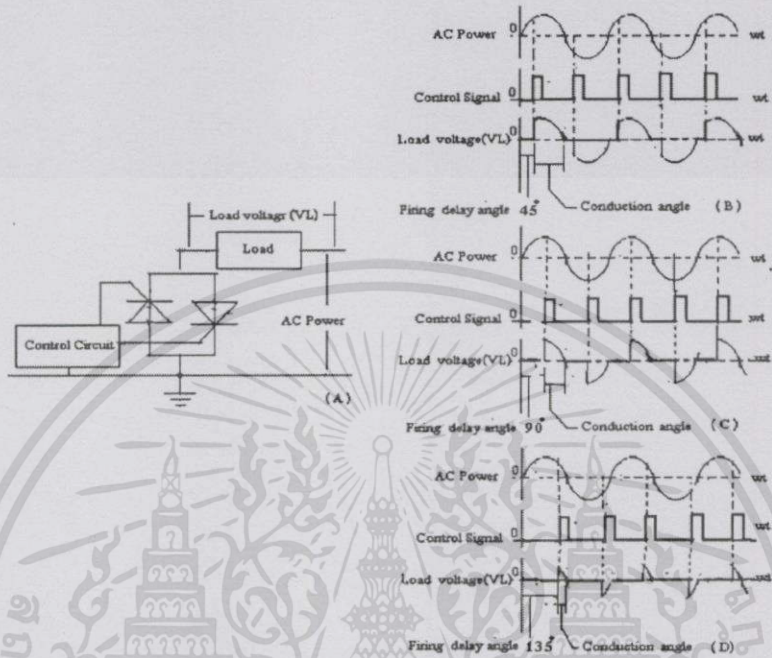
รูปที่ 2.20 การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสโดยวิธี Anode Current Interruption

2. ฟออร์ซคอมมูเทชัน (Forced Commutation) วิธีนี้ทำได้โดยบังคับให้เอสซีอาร์ได้รับไบอัสกลับโดยใช้สวิตช์ขนานกับเอสซีอาร์เป็นตัวควบคุมการหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์ดังรูปที่ 2.19 ถ้าสวิตช์เปิดวงจรเอสซีอาร์ยังคงนำกระแสอยู่ แต่ถ้าสวิตช์ปิดวงจรเอสซีอาร์จะหยุดนำกระแสเนื่องจากได้รับไบอัสกลับตลอดเวลาที่สวิตช์ยังคงปิดอยู่ โดยระยะเวลาในการบังคับให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสโดยให้ไบอัสกลับนี้จะต้องนานกว่าระยะเวลา Turn Off Time ซึ่งระบุไว้ในคู่มือ โดยทั่วไปค่าเวลานี้จะน้อยมาก (ประมาณไมโครวินาที) [8]



รูปที่ 2.21 การทำให้เอสซีอาร์หยุดนำกระแสโดยวิธี Forced Commutation

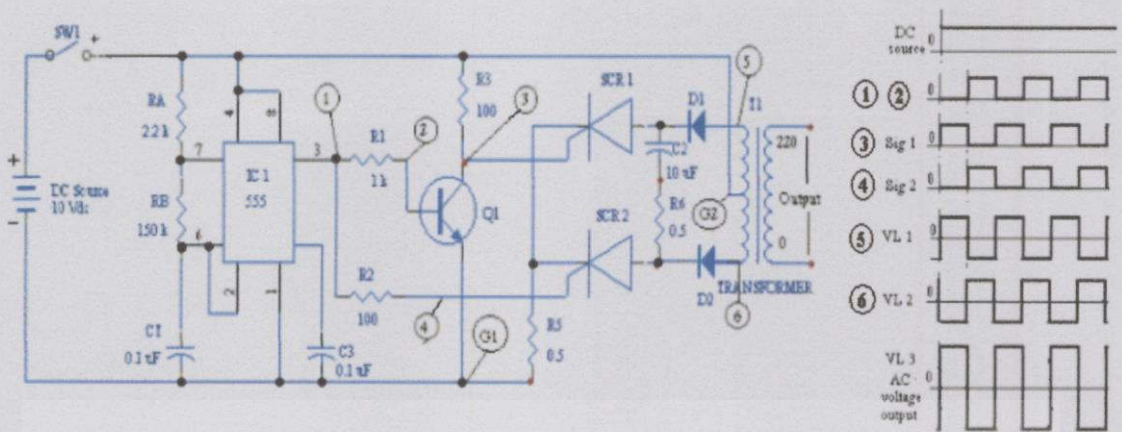
ในการควบคุมไทรสเตอร์โดยการควบคุมเฟส (Phase control Thyristor) การควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยใช้ไทรสเตอร์ หรือเอสซีอาร์ โดยทั่วไปจะใช้วิธีการควบคุมเฟสการทำงาน (Phase Control) ที่วงจรถูกเกต หรือเรียกว่า Phase Control Thyristor ซึ่งเป็นการควบคุมให้ไทรสเตอร์ทำงานที่มุม (Phase) ต่าง ๆ ตามรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 Phase Control Thyristor

จุดชนวน (Firing Delay Angle) 45, 90 และ 135 องศา ตามลำดับ ผลการทำงานของวงจรจะเห็นว่ารูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลด จะมีค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับการควบคุมการทำงานหรือการปรับค่ามุมจุดชนวน โดยเมื่อปรับให้ค่ามุมจุดชนวนที่มากขึ้นจะทำให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยลดต่ำลง

ในรูปที่ 2.23 แสดงตัวอย่างการนำ SCR มาใช้ในการปรับแรงดันไฟฟ้าดีซี/เอซี โดยใช้วงจร Single Phase Push - Pull Inverter แบบใช้ไทรสเตอร์ในการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 วงจรพื้นฐานและรูปคลื่นการทำงานของ Single Phase Push - Pull Inverter

จากวงจรตามรูปที่ 2.23 จะใช้หลักการการทำงานแบบ Phase Control สัญญาณควบคุมให้ SCR Q1, Q2 สลับกันทำงาน และใช้อุปกรณ์ C2, R6 ต่อเป็นวงจรหยุดการทำงานของ SCR Q1, Q2 โดยวิธีบังคับ (Forced commutation turn off SCR) เพื่อให้ปรับแรงดันดีซีให้เป็นเอซีได้

#### 2.4.5 หลอดไฟรุ่น Superlux [9]

หลอดไฟที่ใช้ในพลาสม่าโมเดลสำหรับการศึกษา เป็นหลอดไส้อินแคนเดสเซนต์ (Incandescent Lamp) ขนาด 100 W รุ่น Philips : Superlux ดังแสดงในรูป 2.24 ซึ่งมีไส้หลอดที่ทำจากทังสเตน (Tungsten) บรรจุในแก้วหลอดแก้วปิดสนิท ขั้วหลอดเป็นแบบเกลียว E27 มีอุณหภูมิสีประมาณ 2700 K ให้แสงที่มีความถูกต้องของสีดี จึงให้สีของวัตถุถูกต้องมีความสว่าง 1280 ลูเมน อายุการใช้งาน 1000 ชั่วโมง



รูปที่ 2.24 หลอดไส้อินแคนเดสเซนต์ขนาด 100 W รุ่น Philips : Superlux

การควบคุมอุณหภูมิสำหรับกรณีสึกษาหลอดไฟเป็นแหล่งความร้อนเพื่อให้เกิดอุณหภูมิ ซึ่งเป็นค่าตัวแปรกระบวนการที่เกิดจากผลการทำงานจากระบบ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันที่ป้อนให้แก่ขั้วต่อของหลอดไฟ ( $V_{lamp}$ ) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่หลอดไฟ ( $\Delta T_{lamp}$ ) สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้ [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้า (Power) และ พลังงานความร้อน

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad (2.1)$$

โดย P คือ กำลัง มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

$\Delta W$  คือ ช่วงการเปลี่ยนแปลงพลังงาน มีหน่วยเป็นจูล (J)

$\Delta t$  คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการทำงาน มีหน่วยเป็นวินาที (s)

จากสมการที่ (2.1) เขียนใหม่ได้ว่า

$$\Delta W = P \Delta t \quad (2.2)$$

จากสูตรความจุความร้อน

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad (2.3)$$

โดย C คือ ความจุความร้อน มีหน่วยเป็น จูล/เคลวิน (J/K)

$\Delta Q$  คือ พลังงานความร้อน มีหน่วยเป็นจูล (J)

$\Delta T$  คือ ผลต่างอุณหภูมิ มีหน่วยเป็นเคลวิน (K)

จากสมการที่ (2.3) จะได้ว่า

$$\Delta Q = C \Delta T \quad (2.4)$$

โดยค่าความจุความร้อนของอากาศ 1 g ที่อุณหภูมิ 300 K คือ 1.005 J/K

เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (2.4) จะได้ว่า

$$\Delta Q = 1.005 \times \Delta T \quad (2.5)$$

นำสมการที่ (2.3) และสมการที่ (2.5) มาเท่ากันจะได้

$$P \times \Delta t = 1.005 \times \Delta T \quad (2.6)$$

จากสมการที่ (2.6) ถ้ากำหนดให้  $\Delta T$  ในที่นี้คือ  $\Delta T_{\text{lamp}}$  และค่า P คือค่ากำลังของหลอดไฟจะได้ว่า

$$\Delta T_{\text{lamp}} = \frac{P \times \Delta t}{1.005} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $P = \frac{V_{lamp}^2}{R_{lamp}}$  จะได้ว่า

$$\Delta T_{lamp} = \frac{\frac{V_{lamp}^2}{R_{lamp}} \times \Delta t}{1.005} \quad (2.8)$$

ค่าความต้านทานของหลอดไฟมีค่า  $R_{lamp} = 484 \Omega$  จะได้ว่า

$$\Delta T_{lamp} = \frac{\frac{V_{lamp}^2}{484} \times \Delta t}{1.005} \quad (2.9)$$

จากสมการที่ (2.9) จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงนั้นขึ้นอยู่กับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า คือ เมื่อค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า  $V_{lamp}^2$  มีค่ามากขึ้นจะทำให้  $\Delta T_{lamp}$  มีค่าสูงขึ้นด้วย ดังค่าตัวอย่างในตารางที่ 2.10 ถ้ากำหนดให้  $\Delta t = 1s$  และ  $V_{lamp} = 45 \text{ VAC}$  จะได้  $\Delta T_{lamp} = 4.1631 \text{ K}$  แต่ถ้า  $V_{lamp} = 220 \text{ VAC}$  จะได้  $\Delta T_{lamp} = 99.5025 \text{ K}$

ตารางที่ 2.10 การคำนวณค่าผลต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอดไฟ

$V_{lamp}$ (VAC)	$\Delta T_{lamp}$ (K)
45	4.1631
88.75	16.1929
132.5	36.0928
176.25	63.8623
220	99.5025

#### 2.4.6 อุปกรณ์เชื่อมต่อสำหรับอุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัส รุ่น NI USB-8486 [11]

ในปฏิญานิพนธ์นี้ จะใช้ NI USB - 8486 เป็นตัวเชื่อมต่ออุปกรณ์ฟาวน์เดชันฟิลด์บัสเข้ากับคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นของบริษัท National Instrument ดังรูปที่ 2.25



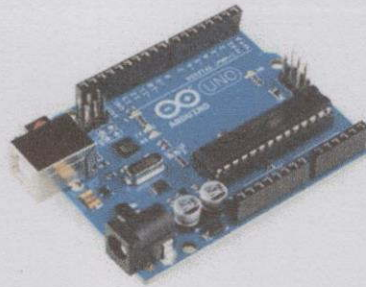
รูปที่ 2.25 1-Port Foundation Fieldbus Interface for USB รุ่น NI USB-8486

ตารางที่ 2.11 คุณสมบัติของ NI USB-8486

General	
Product Name	NI USB-8486
Product Family	Industrial Network Interfaces
Form Factor	USB
Protocol	FOUNDATION Fieldbus
Part Number	781160-01
Operating System/Target	Windows
LabVIEW RT Support	No
Voltage	5 VDC
Current	180 mA
Source	Internally Powered
OEM Available	No
Port Information	
Number of Ports	1
Max Baud Rate	31.25 kbits/s
Physical Specifications	
Length	7.87 cm
Width	6.35 cm
Height	2.54 cm
I/O Connector	9-pin D-Sub (DB-9)
Minimum Operating Temperature	0 °C
Maximum Operating Temperature	55 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.7 Arduino Uno R3 [12]



รูปที่ 2.26 Arduino Uno R3

### ข้อมูลเบื้องต้นของ Arduino Hardware

Arduino Uno R3 เป็น Microcontroller board ที่ใช้ ATmega328 เป็น MCU หลัก ซึ่งตัวนี้จะมีขา Digital 14 ขา อินพุต/เอาต์พุต (สามารถทำเป็น PWM ได้ถึง 6 ขา) และมีขา Analog อินพุตได้อีก 6 ขา, รั้นที่ความถี่ 16 MHz มี USB Connector และ Power Jack DC ซึ่ง Concept ของ Arduino Board นี้ทำมาเพื่อความสะดวก ง่ายในการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ สามารถต่อ USB เข้ากับช่องคอมพิวเตอร์ ก็สามารถ Run โปรแกรมที่ Board ได้ เหมาะสำหรับผู้ที่กำลังเริ่มต้นเข้าสู่วงการอิเล็กทรอนิกส์อย่างแท้จริง

### การติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์

Arduino Uno มีการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ Arduino ตัวอื่น หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ต่าง ๆ ด้วย ATmega328 มีส่วนประกอบที่เป็น UART TTL (5V) ในการติดต่อสื่อสารกัน ซึ่งจะมีช่องดิจิทัล pins 0 (RX) และ 1 (TX) บนแผงวงจรของอุปกรณ์นี้ จะใช้ ATmega16U2 เป็นช่องทางการติดต่อสื่อสารของ USB และยังรับรองการเชื่อมต่อ I2C (TWI) และ SPI อีกด้วย

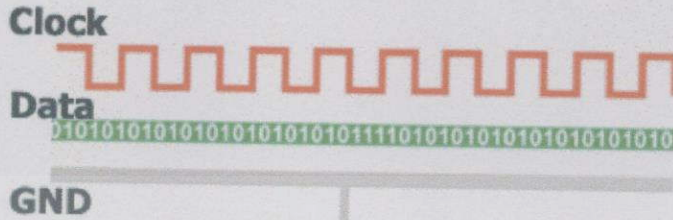
### การทำงานของUART [13]

ย่อมาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการสื่อสารอนุกรม แบบ Asynchronous แท้จริงแล้วการสื่อสารแบบอนุกรมจะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

1. การสื่อสารอนุกรมแบบ Synchronous เป็นรูปแบบที่ใช้วิธีส่งข้อมูล โดยใช้สัญญาณ Clock มาเป็นตัวกำหนดจังหวะ การรับส่งข้อมูล การส่งข้อมูลแบบนี้ เป็นการรับส่งที่ค่อนข้างมีคุณภาพ และส่งได้ด้วยความเร็วสูง มีโอกาสที่ข้อมูลจะสูญหายระหว่างการส่งน้อย ตัวอย่างการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

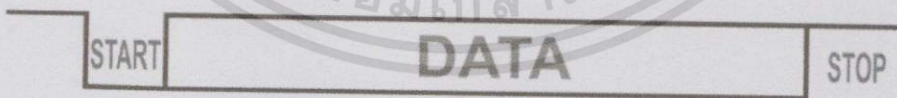
ข้อมูลลักษณะนี้เช่น I2C, I2S และ SPI ข้อเสียของการส่งข้อมูลแบบนี้คือ ต้องใช้สายสัญญาณมาก เพราะว่าต้องส่ง Clock ไปด้วย



รูปที่ 2.27 การสื่อสารอนุกรมแบบ Synchronous

2. การสื่อสารอนุกรมแบบ Asynchronous เป็นการส่งข้อมูลที่ไม่ต้องใช้สัญญาณ Clock มาเป็นตัวกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูล แต่ใช้วิธีกำหนดรูปแบบ Format การรับส่งข้อมูล ขึ้นมาแทน และอาศัยการกำหนดความเร็วของการรับ และ ส่ง ที่เท่ากันทั้งฝั่งรับและฝั่งส่ง ข้อดีของการใช้ Asynchronous คือสามารถสื่อสารแบบ Full Duplex รับ และส่งได้ในเวลาเดียวกัน แต่ Asynchronous มีโอกาสที่ข้อมูลจะสูญหายขณะรับส่งข้อมูล หรือ รับส่งข้อมูลผิดพลาดได้มากกว่าแบบ Synchronous

สรุปกล่าวคือ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) หมายถึงรูปแบบการส่งข้อมูลที่ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้รับส่งข้อมูลแบบ Asynchronous โดยมีรูปแบบดังรูป

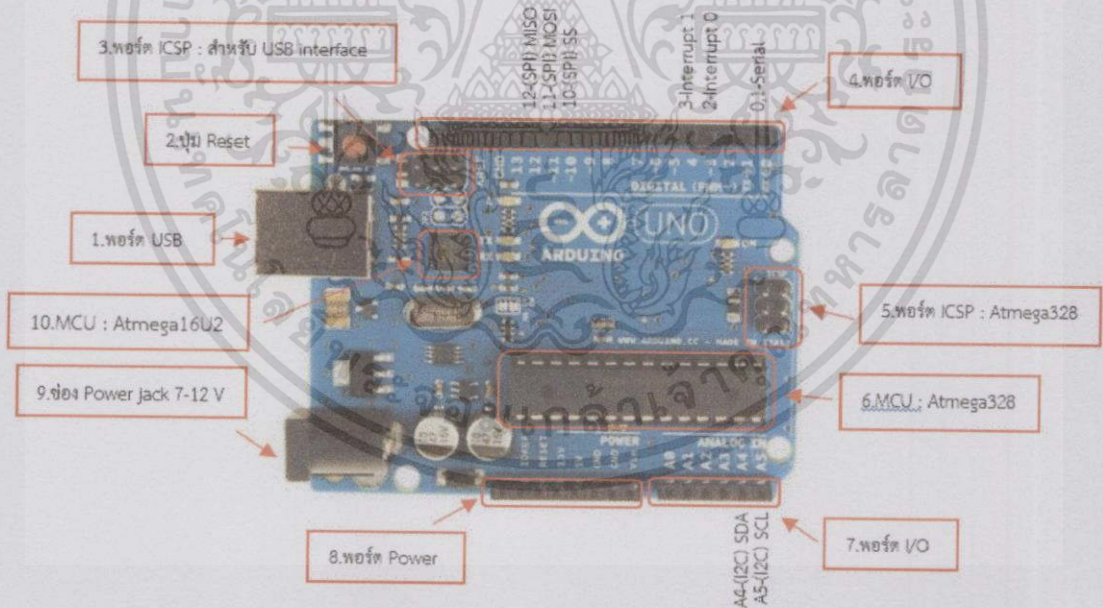


รูปที่ 2.28 การรับส่งข้อมูลแบบ Asynchronous

เริ่มต้นจาก Start Bit เป็น Logic 0 จากนั้นจะตามด้วย Data ที่เราส่งแล้วจะถูกปิดด้วย STOP Bit เป็น Logic 1

ตารางที่ 2.12 คุณสมบัติเบื้องต้น Arduino Uno R3

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz



รูปที่ 2.29 ส่วนประกอบต่างๆ ของบอร์ด Arduino Uno R3

จากรูปที่ 2.29 Layout & Pin out Arduino Board (Model: Arduino UNO R3)

มีดังนี้ [14]

1. USB Port: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button: เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่

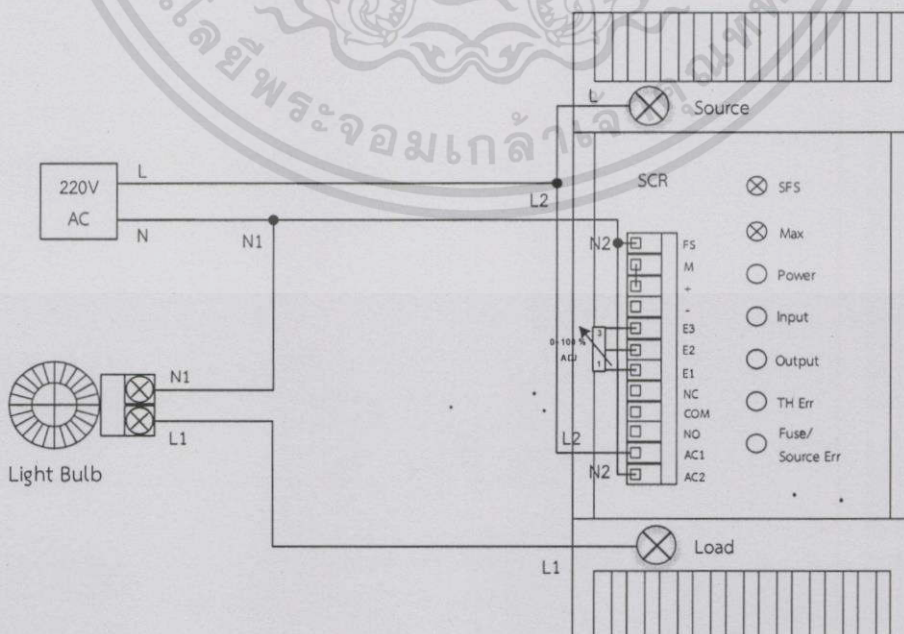
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ICSP Port ของ ATmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
4. I/O Port: Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วยเช่น Pin 0,1 เป็นขา Tx,Rx Serial, Pin 3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5. ICSP Port: ATmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU: Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/O Port: นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
8. Power Port: ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND และ Vin
9. Power Jack: รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
10. MCU ของ ATmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย ATmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน ATmega16U2

## 2.5 การทดสอบอุปกรณ์คงค่ากำลังไฟฟ้ารุ่น SCR-1A030 เพื่อหาช่วงอุณหภูมิในการควบคุม

ทำการทดลองวัดค่าอุณหภูมิในระบบเปิด โดยใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ขนาด 10K เพื่อนำไปใช้ควบคุมค่าแรงดันที่ออกจากตัว SCR เพื่อไปขับหลอดไฟขนาด 100 W โดยอุณหภูมิห้องที่ใช้คือ 29 °C และเวลาที่ใช้ในการหาประมาณ 5 นาที

การ Wiring เครื่องปรับแรงดันไฟ Thyristor Power Regulator แบบระบบควบคุมด้วยมือดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 การปรับแรงดันไฟ แบบระบบควบคุมด้วยมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.13 ผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิครั้งที่ 1

ค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการปรับเพื่อหาอุณหภูมิ				อุณหภูมิ (°C)
Percent (%)	ค่า R ( $\Omega$ )	ค่ากระแส (mA)	ค่าแรงดัน (V)	
0	1.82 k	4	44	39
25	3.41 k	8	88	48
50	4.87 k	12	132	59
75	6.37 k	16	176	70
100	9.60 k	20	220	79

หมายเหตุ : ค่า R คือ ค่าความต้านทาน

ตารางที่ 2.14 ผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิครั้งที่ 2

ค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการปรับเพื่อหาอุณหภูมิ				อุณหภูมิ (°C)
Percent (%)	ค่า R ( $\Omega$ )	ค่ากระแส (mA)	ค่าแรงดัน (V)	
0	1.84 k	4	44	39
25	3.43 k	8	87	49
50	4.84 k	12	131	58
75	6.35 k	16	177	69
100	9.62 k	20	219	80

หมายเหตุ : ค่า R คือ ค่าความต้านทาน

ตารางที่ 2.15 ผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิครั้งที่ 3

ค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการปรับเพื่อหาอุณหภูมิ				อุณหภูมิ (°C)
Percent (%)	ค่า R ( $\Omega$ )	ค่ากระแส (mA)	ค่าแรงดัน (V)	
0	1.81 k	4	44	38
25	3.44 k	8	88	49
50	4.86 k	12	132	60
75	6.38 k	16	177	70
100	9.63 k	20	220	79

หมายเหตุ : ค่า R คือ ค่าความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิทั้ง 3 ครั้ง ได้เลือกใช้ช่วงในการทำงานของการควบคุมอุณหภูมิเป็น

ที่ 0 %            อุณหภูมิ 40 °C

ที่ 100 %        อุณหภูมิ 80 °C

ดังนั้น สามารถกำหนดค่าเป้าหมาย หรือ Set Point ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.16 การกำหนดช่วงของค่าเป้าหมาย

Set Point (%)	อุณหภูมิ (°C)
0	40
25	50
50	60
75	70
100	80

การหาค่าเวลาในการเย็นตัวของอุณหภูมิภายในกล่อง (Cool Down)

ภายในกล่องที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิได้นำพัดลมขนาด 80 mm เพื่อช่วยระบายความร้อนในกล่องให้ลงเร็วขึ้น โดยได้เทียบกับอุณหภูมิ 40 °C ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 2.17 ผลการทดลองหาค่าเวลาในการ Cool Down ครั้งที่ 1

Set Point (%)	อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการ Cool Down (วินาที)
0	40	0
25	50	24
50	60	27
75	70	40
100	80	42

ตารางที่ 2.18 ผลการทดลองหาค่าเวลาในการ Cool Down ครั้งที่ 2

Set Point (%)	อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการ Cool Down (วินาที)
0	40	0
25	50	23
50	60	27
75	70	39
100	80	41

ตารางที่ 2.19 ผลการทดลองหาค่าเวลาในการ Cool Down ครั้งที่ 3

Set Point (%)	อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการ Cool Down (วินาที)
0	40	0
25	50	24
50	60	27
75	70	40
100	80	42

ตารางที่ 2.20 ค่าเฉลี่ยเวลาในการ Cool Down

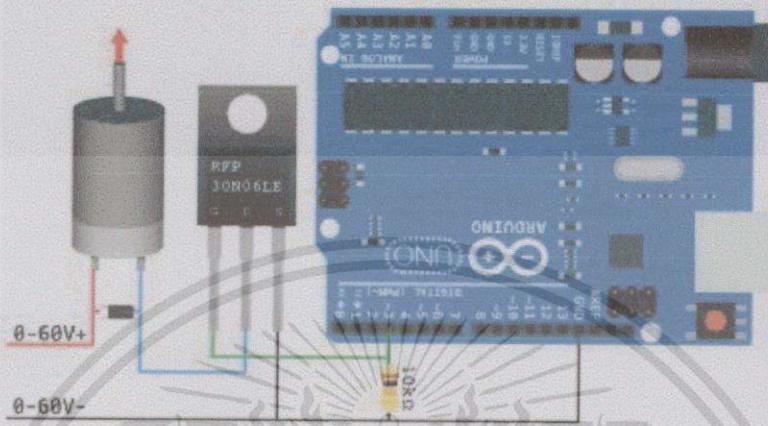
Set Point (%)	อุณหภูมิ (°C)	เวลาในการ Cool Down (วินาที)
0	40	0
25	50	23.67
50	60	27.00
75	70	39.67
100	80	41.67

สรุปผลการหาช่วงของอุณหภูมิที่จะใช้งานจากทดลองหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิทั้งสามครั้งจะได้ช่วงที่เหมาะสมในการใช้งานอยู่ในช่วงคือ 40-60°C เนื่องจาก ถ้ามีการเปิดพัดลมและทำการทดลองในห้องที่เปิดเครื่องปรับอากาศ อาจทำให้ค่าความอุณหภูมิที่เกิดจากความร้อนของหลอดไฟมีค่าน้อยกว่า 80°C ดังนั้น จึงไม่เลือกใช้งานในช่วง 40-80°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 การควบคุมเปิด-ปิดพัลล์มโดยใช้ Arduino

การควบคุมจะใช้สัญญาณ PWM ในการควบคุมพัลล์มมีช่วงตั้งแต่ 0-255 หรือมีค่าของดิวิตีไซเคิล (duty cycle) 0-100 % จะรับค่าการควบคุมจากโปรแกรม LabVIEW 2012



รูปที่ 2.31 การเชื่อมต่อวงจรควบคุมพัลล์มโดย MOSFET [15]

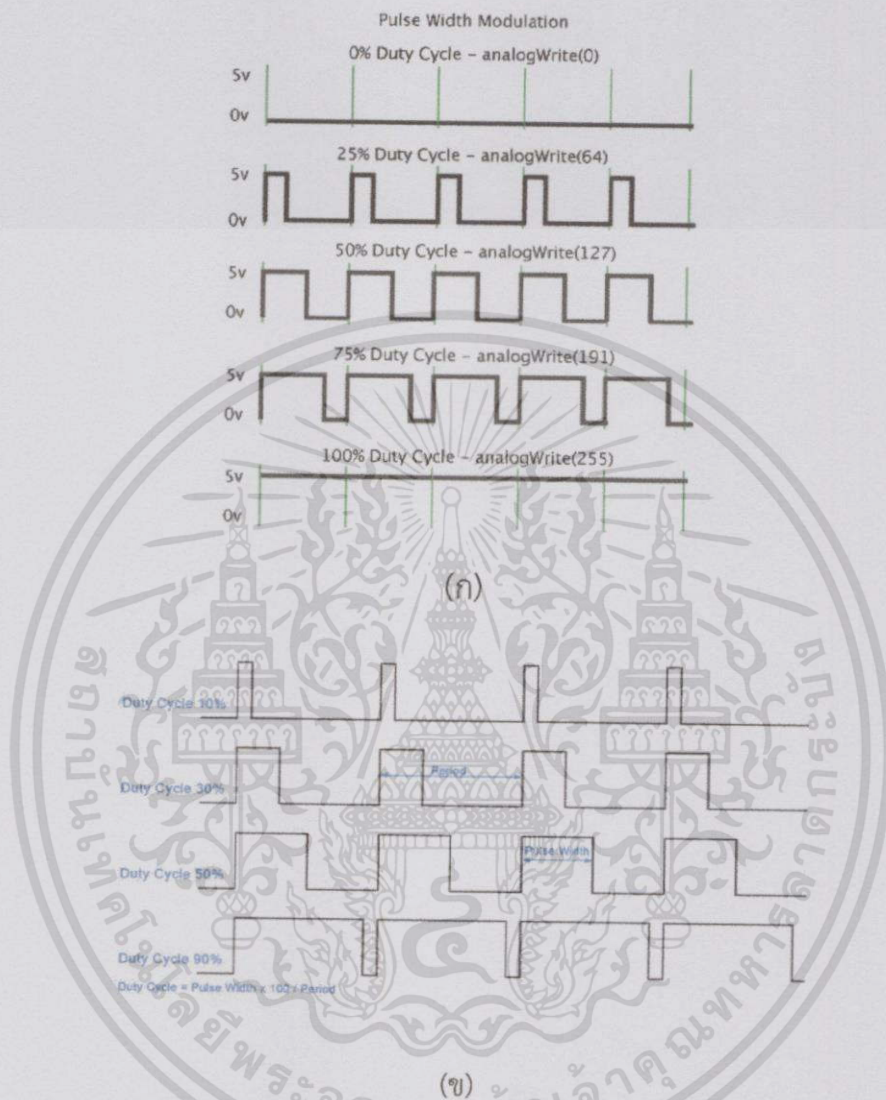
### 2.6.1 หลักการสร้างสัญญาณ PWM

การมอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ PWM (Pulse Width Modulation) จะเป็นการปรับเปลี่ยนที่สัดส่วน และความกว้างของสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์จะไม่มีเปลี่ยนแปลง หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ค่าของดิวิตีไซเคิล (duty cycle) นั้นเอง ซึ่งค่าของดิวิตีไซเคิล คือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์จากความกว้างของพัลส์ทั้งหมด ซึ่งค่าดิวิตีไซเคิลสามารถหาได้จากค่าความสัมพันธ์ดังนี้ [16]

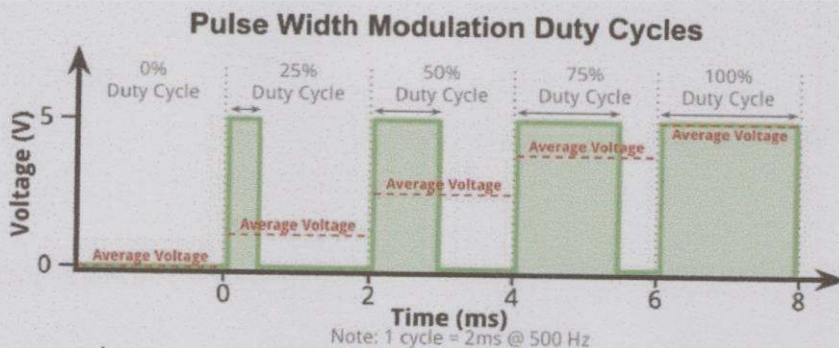
$$\text{ค่าดิวิตีไซเคิล} = (\text{ช่วงของสัญญาณพัลส์} / \text{คาบเวลาทั้งหมดของสัญญาณ}) \times 100\%$$

สัญญาณ square wave ให้เปิด และ ปิด จากการจำลองด้วยแรงดันไฟฟ้าช่วงปิด (0 V) และ เปิด (5 V) โดยเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ระหว่างช่วงเวลาที่เปิด และ ช่วงเวลาที่ปิด เวลาช่วงที่เปิดนี้ จะเรียกว่า Pulse Width นำไปสู่ค่าแอนะล็อก ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้หรือเรียกว่า Modulate จากรูปข้างล่าง เส้นสีเขียวจะหนึ่งคาบ ซึ่งคาบจะผูกผันกับความถี่ของ PWM ซึ่งตัว Arduino จะมีความถี่พาหะประมาณ 500 Hz และเส้นเขียวมีคาบเวลาเท่ากับ 2 ms สามารถเรียกคำสั่งจาก analogWrite() มีช่วงตั้งแต่ 0-255 เช่น analogWrite(255) จะมีค่าดิวิตีไซเคิล เท่ากับ 100% ดิวิตี

ไซเคิล (เปิดตลอด) analogWrite(127) จะมีค่าความถี่ไซเคิล เท่ากับ 50% ความถี่ไซเคิล (เปิดครึ่งหนึ่งของเวลา) ดังรูปที่ 2.32 [17]



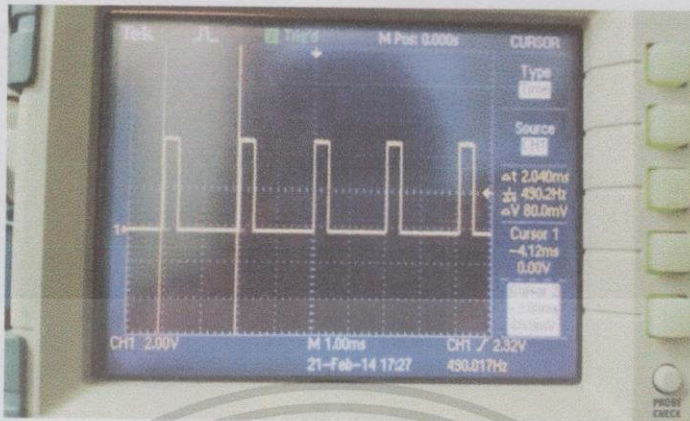
รูปที่ 2.32 สัญญาณของ Pulse Width Modulation ในแต่ละช่วง



รูปที่ 2.33 ค่าแรงดันเฉลี่ยที่ได้จากการใช้ Pulse Width Modulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7.2 ผลการวัดสัญญาณพัลส์จากเครื่องออสซิลโลสโคป



รูปที่ 2.34 แสดงความยาวของคาบ และความถี่ที่ใช้ในการศึกษา

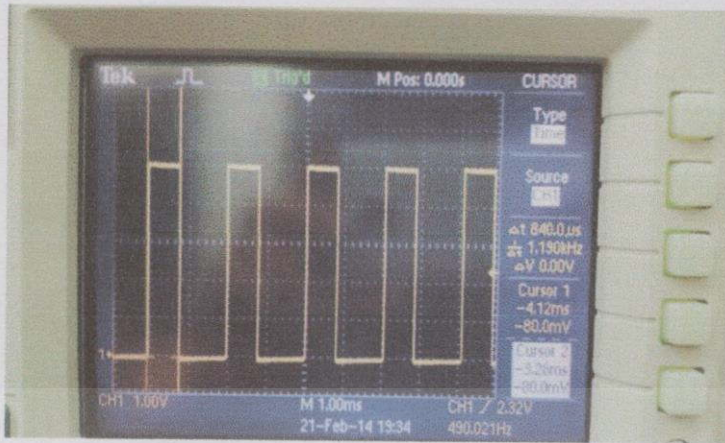
จากรูปที่ 2.34 คาบเวลาเท่ากับ 2.040 ms และมีความถี่พาหะประมาณ 490.2 Hz ในลักษณะสัญญาณ square wave



รูปที่ 2.35 ค่าสัญญาณ PWM ที่ 20 % ดิวตี้ไซเคิล

จากรูปที่ 2.35 จะใช้คำสั่งจาก analogWrite(51) มีคาบเวลาเท่ากับ 2.040 ms ความกว้างของพัลส์ (Pulse Width) เท่ากับ 400  $\mu$ s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 ค่าสัญญาณ PWM ที่ 40 % ดิวตี้ไซเคิล

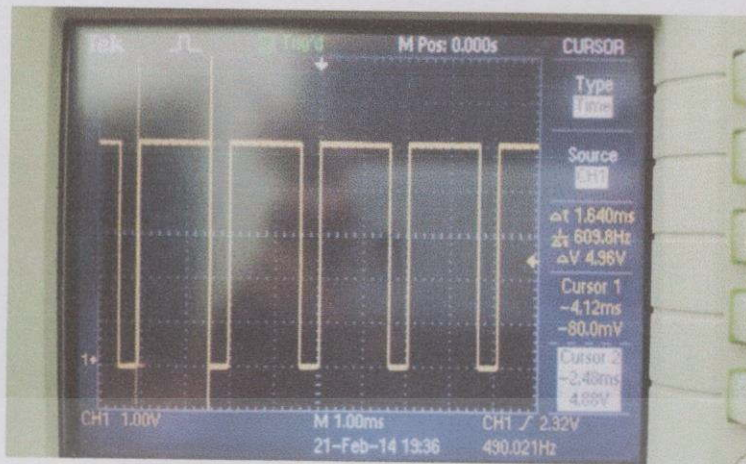
จากรูปที่ 2.36 จะใช้คำสั่งจาก analogWrite(102) มีคาบเวลาเท่ากับ 2.040 ms ความกว้างของพัลส์ (Pulse Width) เท่ากับ 840  $\mu$ s



รูปที่ 2.37 ค่าสัญญาณ PWM ที่ 60% ดิวตี้ไซเคิล

จากรูปที่ 2.37 จะใช้คำสั่งจาก analogWrite(153) มีคาบเวลาเท่ากับ 2.040 ms ความกว้างของพัลส์ (Pulse Width) เท่ากับ 1.240 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 ค่าสัญญาณ PWM ที่ 80 % ดิวตี้ไซเคิล

จากรูปที่ 2.38 จะใช้คำสั่งจาก analogWrite(204) มีคาบเวลาเท่ากับ 2.040 ms ความกว้างของพัลส์ (Pulse Width) เท่ากับ 1.640 ms



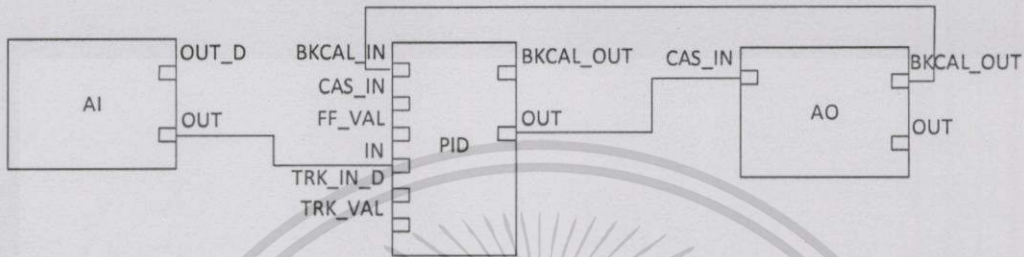
รูปที่ 2.39 ค่าสัญญาณ PWM ที่ 100 % ดิวตี้ไซเคิล

จากรูปที่ 2.39 จะใช้คำสั่งจาก analogWrite(255) มีคาบเวลาเท่ากับ 2.040 ms ความกว้างของพัลส์ (Pulse Width) เท่ากับ 2.040 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 การสร้างรูปควบคุมแบบ PID โดยใช้เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส [18]

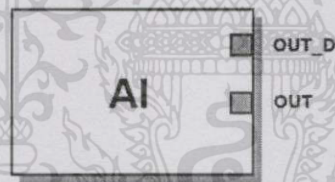
ในเทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส การสร้างรูปควบคุมสามารถทำได้โดยใช้ฟังก์ชันบล็อกหลาย ๆ บล็อกมาเชื่อมต่อกันเป็นรูปควบคุมดังรูปที่ 2.40 เป็นตัวอย่างของรูปควบคุมแบบ PID ซึ่งประกอบด้วยบล็อก AI (Analog Input), PID (Proportional-Integral-Derivative) และบล็อก AO (Analog Output) รายละเอียดโดยสรุปของแต่ละบล็อกอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2.40 การเชื่อมต่อฟังก์ชันบล็อกโดยะแกรมสำหรับรูปควบคุม PID

### 2.7.1 รายละเอียดของฟังก์ชันบล็อก

#### 2.7.1.1 AI (Analog Input)

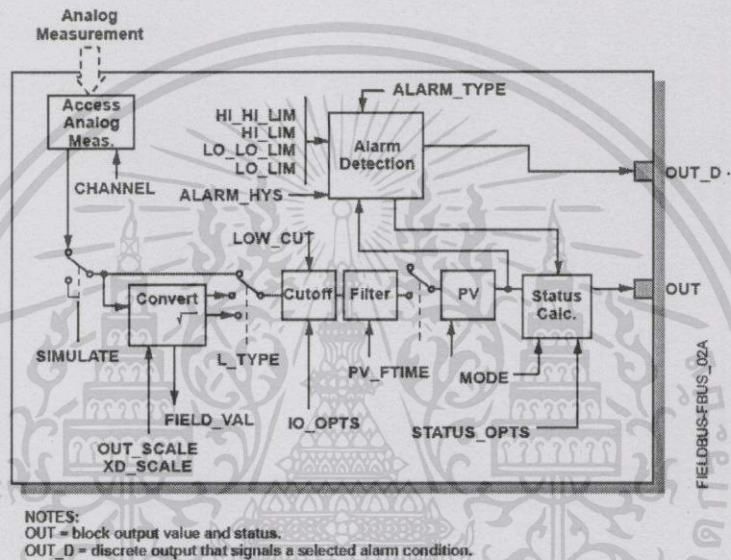


OUT = The block output value and status  
OUT\_D = Discrete output that signals a selected alarm condition

รูปที่ 2.41 ฟังก์ชันบล็อก AI

ฟังก์ชันบล็อก AI ทำหน้าที่เกี่ยวกับการวัดของอุปกรณ์เครื่องมือวัดและทำให้อุปกรณ์นั้นสามารถใช้ได้กับฟังก์ชันบล็อกอื่น ๆ ค่าตัวแปรเอาต์พุตจากฟังก์ชันบล็อก AI จะอยู่ในรูปของหน่วยทางวิศวกรรมและประกอบด้วยสถานะที่ระบุถึงคุณภาพของการวัด อุปกรณ์เครื่องมือวัดมักจะวัดค่าตัวแปรได้หลายค่าหรือได้รับค่าตัวแปรที่สามารถนำมาใช้ได้มาจากช่องทาง (Channel) อื่น ๆ ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดหมายเลขช่องทางของตัวแปรที่จะนำมาใช้ในกระบวนการให้ถูกต้อง

ฟังก์ชันบล็อก AI รองรับฟังก์ชันสัญญาณเตือนต่าง ๆ การปรับสัญญาณ การกรองสัญญาณ การคำนวณสถานะของสัญญาณ โหมดในการควบคุมและการจำลองการทำงาน (Simulation) ในโหมดอัตโนมัติ (Automatic Mode) บล็อกของตัวแปรเอาต์พุต (OUT) จะสะท้อนให้เห็นถึงสถานะของ PV ในโหมดการควบคุมด้วยมือ (Manual Mode) ค่า OUT จะถูกกำหนดโดยผู้ใช้ Manual Mode จะถูกสะท้อนให้เห็นจากสถานะของเอาต์พุต ในบางผู้ผลิตจะมีการเพิ่มฟังก์ชันของค่าเอาต์พุตที่ไม่ต่อเนื่อง (OUT\_D) ซึ่งใช้สำหรับแสดงผลเมื่อเงื่อนไขของระบบแจ้งเตือนต่าง ๆ มีการทำงาน การตรวจจับของระบบแจ้งเตือนจะขึ้นอยู่กับค่า OUT และการกำหนดขอบเขตการแจ้งเตือนของผู้ใช้ รูปที่ 2.42 แสดงตัวอย่างวงจรภายในฟังก์ชัน



รูปที่ 2.42 โครงสร้างภายในฟังก์ชันบล็อก AI

ลักษณะต่าง ๆ ที่สำคัญของฟังก์ชันบล็อก AI ซึ่งจะต้องมีการกำหนดค่าให้ถูกต้องเหมาะสม เพื่อให้การควบคุมกระบวนการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีดังต่อไปนี้

- Direct

การแปลงสัญญาณแบบ Direct จะอนุญาตให้สัญญาณสามารถผ่านไปยังช่องทางของค่าตัวแปรอินพุตได้โดยตรง โดยที่ค่า PV จะมีค่าเท่ากับค่าของช่องสัญญาณนั้น โดยที่

$$PV = \text{Channel Value}$$

- Indirect

การแปลงสัญญาณแบบ Indirect จะทำการเปลี่ยนสัญญาณให้เป็นเชิงเส้นไปยังช่องทางของค่าตัวแปรอินพุต โดยจะเปลี่ยนจากค่าสัญญาณจริงในช่วงที่ตัวอุปกรณ์วัดได้เป็น

สัญญาณที่อยู่ในช่วงและหน่วยของค่าตัวแปรกระบวนการและค่าเอาต์พุต

(OUT\_SCALE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

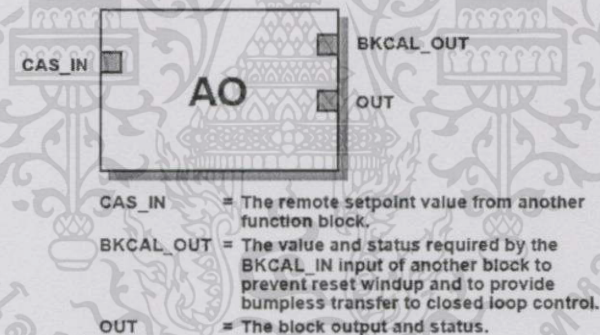
- Modes

แวนะลือกอินพุตฟังก์ชันบล็อกรองรับโหมดการดำเนินการทั้งหมด 3 โหมดเข้าด้วยกัน ซึ่งกำหนดโดยตัวแปร MODE\_BLK ดังนี้

- 1) Manual (Man) ค่า OUT จะถูกกำหนดค่าโดยผู้ใช้งาน
- 2) Automatic (Auto) ค่า OUT เป็นผลมาจากค่าแวนะลือกอินพุตที่ได้จากการวัดหรือค่าที่ได้จากการจำลองเมื่ออยู่ในโหมด Simulation
- 3) Out of Service (OOS) บล็อกจะไม่มีกรดำเนินการ และค่า PV ไม่มีการอัปเดตและสถานะของ OUT ถูกกำหนดเป็น Bad : Out of Service เมื่อตัวแปร BLOCK\_ERR แสดงสถานะ Out of Service ในโหมดนี้ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงการกำหนดค่าต่าง ๆ ของตัวแปรทั้งหมดที่ถูกกำหนดไว้ก่อนหน้านี้ได้

โหมดเป้าหมายของบล็อกอาจถูกจำกัดให้เลือกได้เพียงหนึ่งหรือมากกว่าภายในจำนวนโหมดที่รองรับ

### 2.7.1.2 AO (Analog Output)



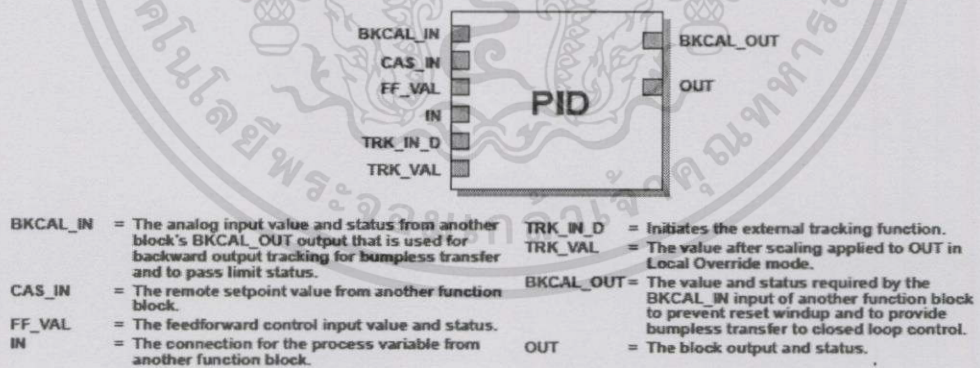
รูปที่ 2.43 ฟังก์ชันบล็อก AO

ฟังก์ชันบล็อก AO ทำหน้าที่กำหนดค่าเอาต์พุตไปยังตัวอุปกรณ์ที่อยู่ในกระบวนการผ่านช่องทาง (Channel) ที่กำหนด ฟังก์ชันบล็อก AO รองรับโหมดการควบคุมหลายแบบ เช่น โหมดการควบคุมด้วยมือ (Manual Mode) โหมดอัตโนมัติ (Automatic Mode) โหมดคาสเคด (Cascade Mode) บล็อกของตัวแปรเอาต์พุต (OUT) การคำนวณสถานะของสัญญาณและการจำลองการทำงาน รูปที่ 2.44 แสดงตัวอย่างวงจรภายในฟังก์ชันบล็อก AO



- 2) Automatic (Auto) ค่า OUT เป็นผลมาจากเป้าหมายของการควบคุมกระบวนการ ซึ่งถูกกำหนดโดยคุณสมบัติของค่า SP
- 3) Cascade (Cas) คุณสมบัติของค่า SP จะถูกกำหนดโดยฟังก์ชันบล็อกอื่นผ่านทาง การเชื่อมต่อไปยัง CAS\_IN ค่า SP จะถูกใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของ OUT โดยอัตโนมัติ
- 4) Remote Cascade (RCas) ค่า SP ของโหมดนี้จะกำหนดโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นโฮสต์ โดยการเขียนข้อมูลไปยังตัวแปร RCAS\_IN ค่า SP จะถูกใช้ในการ กำหนดคุณสมบัติของ OUT โดยอัตโนมัติ
- 5) Out of Service (OOS) หมายถึงบล็อกไม่มีการดำเนินการ ช่องของเอาต์พุตจะคงค่า ของการดำเนินการสุดท้ายเอาไว้และสถานะของ OUT จะถูกกำหนดให้เป็น Bad : Out of Service คุณสมบัติของ BLOCK\_ERR จะแสดงข้อความ Out of Service
- 6) Initialization Manual (IMan) ฟังก์ชันนี้จะถูกแสดงเมื่อเส้นทางเชื่อมต่อไปยัง เอาต์พุตไม่สามารถใช้งานได้และค่าเอาต์พุตและค่าเอาต์พุตจะถูกคงไว้ที่ค่าตำแหน่ง สุดท้าย
- 7) Local Override (LO) เอาต์พุตของบล็อกนี้จะไม่ตอบสนองต่อค่า OUT เนื่องจาก รีเซอร์สบล็อกอยู่ในโหมด LO หรือมีการกระทำที่ผิดไปจากสถานการณ์ใช้งานปกติ โหมดเป้าหมายของบล็อกอาจถูกจำกัดให้เลือกได้เพียงหนึ่งหรือมากกว่าของโหมดดังนี้ Man, Auto, Cas, RCas หรือ OOS

### 2.7.1.3 PID (Proportional-Integral-Derivative)

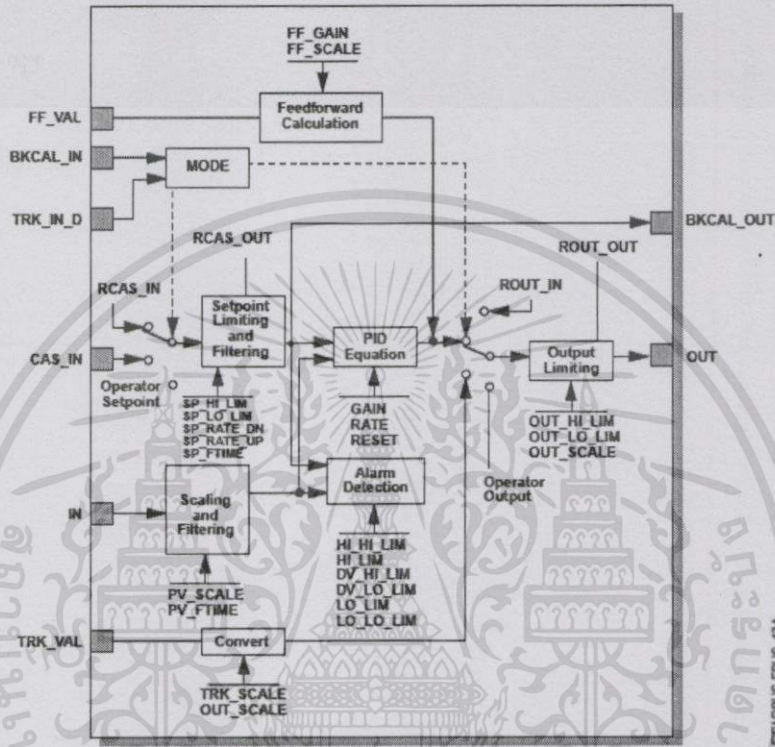


รูปที่ 2.45 ฟังก์ชันบล็อก PID

ฟังก์ชันบล็อก PID ประกอบด้วยตรรกะสำคัญทั้งหมดที่จำเป็นต้องใช้ในการดำเนินการควบคุมแบบ P แบบ I และแบบ D ฟังก์ชันบล็อก PID รองรับโหมดการควบคุม การปรับสัญญาณและการกำหนดขอบเขต การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า การ Override Tracking การตรวจจับการแจ้งเตือนและการแพร่ขยายสถานะของสัญญาณ

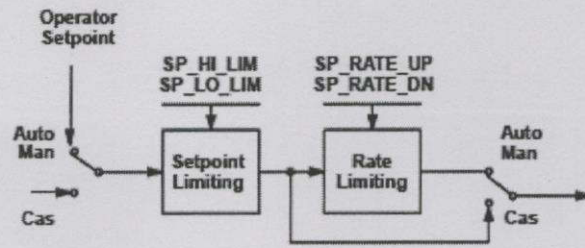
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อปรับแต่งบล็อกให้ตรงกับความต้องการในการใช้งาน ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าการกรอง สัญญาณ ค่าอินพุตของการควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า ค่า tracking input ค่าเป้าหมายและ ขอบเขตของค่าเอาต์พุต โครงสร้างของสมการ PID และการตอบสนองของเอาต์พุตบล็อก รูปที่ 2.46 แสดงตัวอย่างวงจรภายในฟังก์ชันบล็อก PID



รูปที่ 2.46 โครงสร้างภายในฟังก์ชันบล็อก PID

ค่าเป้าหมายของฟังก์ชันบล็อก PID จะถูกกำหนดโดยโหมด ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าตัวแปร SP\_HI\_LIM และ SP\_LO\_LIM เพื่อกำหนดขอบเขตของค่า SP ในโหมดคาสเคดหรือรีโมทคาสเคด ค่า SP จะถูกปรับโดยฟังก์ชันบล็อกอื่นหรือโดยโฮสต์ และค่าเอาต์พุตจะถูกคำนวณโดยขึ้นอยู่กับค่า SP ในโหมดอัตโนมัติ ค่า SP จะถูกกำหนดโดยผู้ใช้งานโดยตรงและค่าเอาต์พุตจะถูกคำนวณโดยขึ้นอยู่กับค่า SP เช่นเดียวกับในสองโหมดแรก ในโหมดนี้ผู้ใช้งานสามารถปรับเปลี่ยนขอบเขตและอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า SP โดยผ่านทางตัวแปร SP\_RATE\_UP และ SP\_RATE\_DN ในโหมดการควบคุมด้วยมือ ค่าเอาต์พุตจะถูกกำหนดโดยการป้อนค่าของผู้ใช้งานและเป็นอิสระจากค่า SP ในโหมดรีโมทเอาต์พุต และค่าเอาต์พุตจะถูกป้อนมาจากโฮสต์และเป็นอิสระจากค่า SP เช่นเดียวกับในโหมด Manual รูป 2.47 แสดงตัวอย่างหลักการของการเลือกและกำหนดขอบเขตของค่า SP



รูป 2.47 หลักการของการเลือกและกำหนดขอบเขตของค่า SP

ลักษณะต่าง ๆ ที่สำคัญของฟังก์ชันบล็อก PID ซึ่งจะต้องมีการกำหนดค่าให้ถูกต้องเหมาะสม เพื่อให้การควบคุมกระบวนการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีดังต่อไปนี้

- Bumpless Transfer and Set Point Tracking

ผู้ใช้สามารถกำหนดการตั้งค่าวิธีการในการ tracking หรือการติดตามค่าเป้าหมายโดยการกำหนดค่าตัวเลือกในการควบคุม (CONTROL\_OPTS) ดังนี้

- 1) SP-PV Track in MAN ฟังก์ชันนี้จะอนุญาตให้ค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงตามค่าตัวแปรกระบวนการ เมื่อโหมดเป้าหมายของบล็อกถูกเซตเป็น Man
- 2) SP-PV Track in LO or IMAN ฟังก์ชันนี้จะถูกอนุญาตให้ค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงตามค่าตัวแปรกระบวนการ เมื่อโหมดของบล็อกในขณะนั้นคือ Local Override (LO) หรือ Initialization Manual (IMAN)

เมื่อหนึ่งในตัวเลือกเหล่านี้ถูกกำหนด ค่าเป้าหมายจะถูกกำหนดไปยังค่าตัวแปรกระบวนการในขณะที่มีการกำหนดโหมด ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกค่าที่อุปกรณ์ควบคุมหลักใช้สำหรับการ tracking ได้โดยการกำหนดให้ใช้ PV ในตัวเลือกการควบคุมแบบ BKCAL\_OUT ซึ่งค่า BKCAL\_OUT นี้จะ ติดตามค่า PV BKCAL\_IN บนตัวควบคุมหลักจะถูกเชื่อมต่อกับ BKCAL\_OUT บนฟังก์ชันบล็อก PID ในการควบคุมแบบคาสเคดจะผลักดันให้ค่า OUT ของมันสอดคล้องกับค่า BKCAL\_IN ดังนั้นการ tracking ค่า PV จากบล็อกควบคุมรองไปยังการเชื่อมต่ออินพุตแบบคาสเคดของตัวมัน (CAS\_IN) ถ้าการใช้ค่า PV ในตัวเลือก BKCAL\_OUT ไม่ถูกกำหนด ค่า SP ในการทำงาน (SP\_WRK) จะถูกใช้สำหรับ BKCAL\_OUT

ผู้ใช้สามารถเลือกรูปแบบการควบคุมได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในโหมด Manual หรือ Out of Service เท่านั้น เมื่อโหมดการทำงานถูกเลือกให้เป็น Auto ค่าเป้าหมายจะคงสถานะสุดท้ายเอาไว้

PID Equation Structure

เป็นการกำหนดค่าตัวแปร STRUCTURE เพื่อเลือกโครงสร้างสมการ PID โดยผู้ใช้สามารถเลือกหนึ่งในตัวเลือกต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) PI Action on Error, D Action on PV
- 2) PID Action on Error
- 3) I Action on Error, PID Action on PV

ผู้ใช้สามารถกำหนดค่า RESET ให้เป็นศูนย์เพื่อที่จะกำหนดให้ฟังก์ชันบล็อก PID ดำเนินการควบคุมเพียงหนึ่งเดียวโดยไม่คำนึงถึงการเลือกตัวแปร STRUCTURE เมื่อตัวแปร RESET ถูกกำหนดให้เป็นศูนย์

- Modes

PID ฟังก์ชันบล็อกรองรับโหมดการทำงานดังต่อไปนี้

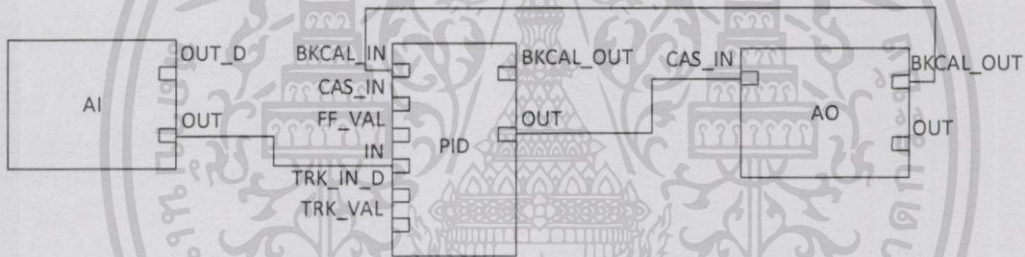
- 1) Manual (MAN) ในโหมดนี้ค่า OUT จะถูกกำหนดโดยผู้ใช้งานเอง
- 2) Automatic (Auto) ในโหมดนี้ค่า SP จะถูกกำหนดโดยผู้ใช้งานและค่าเอาต์พุตจะได้อาจมาจากการคำนวณตามสมการของบล็อก
- 3) Cascade (Cas) ในโหมดนี้ ค่า SP จะถูกคำนวณมาจากบล็อกอื่นและถูกส่งมายัง ฟังก์ชันบล็อก PID ผ่านทางการเชื่อมต่อไปยัง CAS\_IN
- 4) RemoteCascade (RCas) ในโหมดนี้ค่า SP จะถูกกำหนดโดยโฮสต์ซึ่งเขียนคำสั่งไปยังตัวแปรที่ชื่อว่า RCAS\_IN
- 5) RemoteOutput (Rout) ในโหมดนี้ค่าเอาต์พุตจะถูกกำหนดโดยโฮสต์ซึ่งจะเขียนคำสั่งไปยังตัวแปรที่ชื่อว่า ROUT\_IN
- 6) Local Override (LO) ในโหมดนี้ฟังก์ชัน tracking จะมีการทำงาน ค่าเอาต์พุตจะถูกกำหนดโดยตัวแปรที่ชื่อว่า TRK\_VAL และตัวแปรที่ชื่อว่า BLOCK\_ERR จะแสดงข้อความ Local Override
- 7) Initialization Manual (IMan) โหมดนี้แสดงถึงความไม่สมบูรณ์ของเส้นทางเดินของสัญญาณเอาต์พุต ในโหมดนี้ค่าเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงตามตัวแปร BKCAL\_IN
- 8) Out of Service (OOS) คือบล็อกที่ไม่มีการดำเนินการใด ๆ สถานะของเอาต์พุตจะถูกกำหนดให้เป็น Bad: Out of Service และตัวแปรที่ชื่อว่า BLOCK\_ERR จะแสดงข้อความ Out of Service

ผู้ใช้สามารถกำหนดโหมดการทำงานทั้งในแบบ Man, Auto, Cas และ OOS ให้เป็นโหมดที่ได้รับอนุญาตสำหรับการเข้าดำเนินการของ PID ฟังก์ชันบล็อกได้

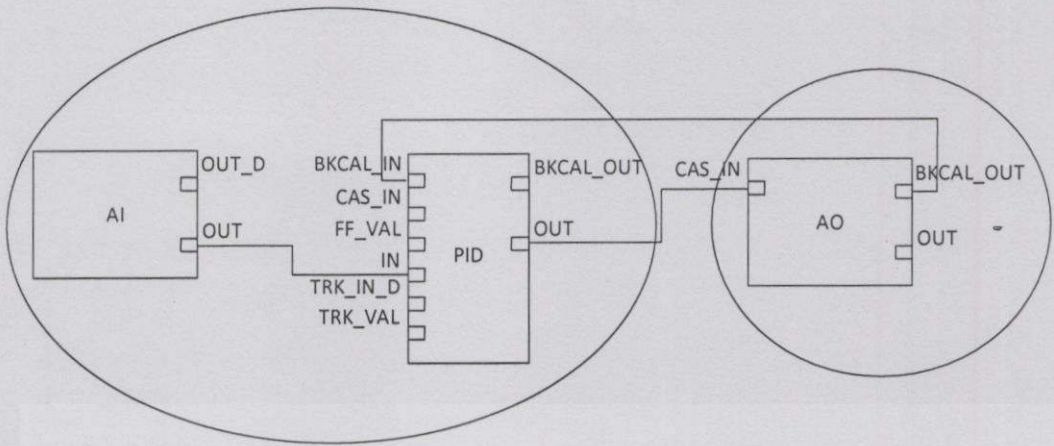
## 2.7.2 ฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมสำหรับลูปควบคุม PID

ฟังก์ชันบล็อกทั้งหมดของอินพุตจะอยู่ทางด้านซ้ายของบล็อกเสมอ และเอาต์พุตจะอยู่ทางด้านขวาของบล็อกเสมอ โปรแกรมฟังก์ชันบล็อกนี้ ข้อมูลจาก AI บล็อก AI จะส่งไปยังบล็อก PID หลังจากทำการคำนวณค่าที่ถูกต้องแล้วจะส่งไปยัง out value บล็อก PID ส่งข้อมูลไปยังบล็อก AO ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย(เช่น วาล์ว,สปีดมอเตอร์) ที่ถูกปรับค่าแก้แล้วตัวบล็อก AO นี้จะส่งค่าสัญญาณ “back calculation” กลับไปยังบล็อก PID เพื่อให้แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายได้รับค่าไปเรียบร้อยแล้ว จากช่องเอาต์ของบล็อก PID ซึ่งเป็นข้อความสำคัญของการกำจัดข้อผิดพลาดที่อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายจากความล้มเหลวของการตอบสนองของสัญญาณเอาต์พุตที่บล็อก PID

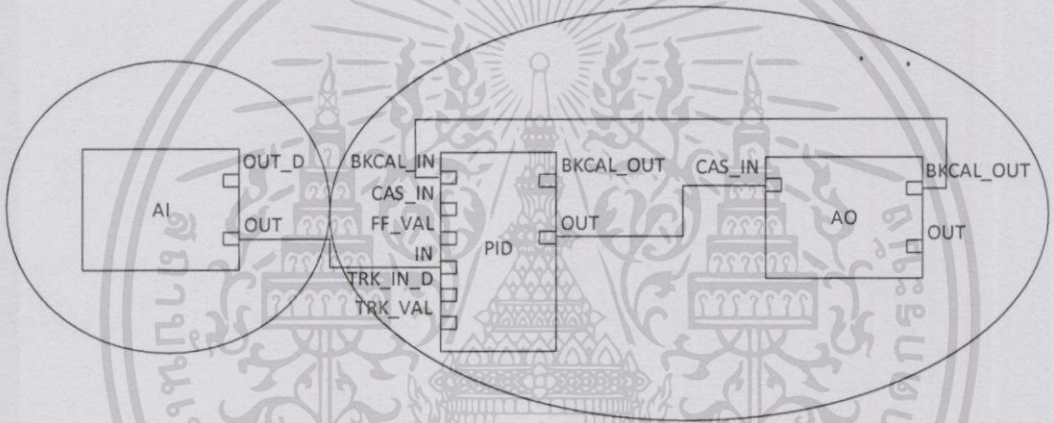
ตามหลักบล็อก AI จะต้องอยู่ที่ทรานสมิตเตอร์ เพราะว่าทรานสมิตเตอร์จะทำการวัดค่าทางกระบวนการ นอกจากนั้นบล็อก AO จะต้องอยู่ที่อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย(เช่น วาล์ว,สปีดมอเตอร์) เท่านั้น ที่สามารถจัดการกระบวนการได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ตัวควบคุมหลัก การตั้งค่าของฟิลด์บัสสามารถเลือกที่ตั้งของบล็อก PID ที่คอนโทรลเลอร์ หรือ ทรานสมิตเตอร์ได้ ทรานสไมต์ที่อุปกรณ์เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสนั้นมีบล็อก PID อยู่ทั้งคู่ก็สามารถตั้งฟังก์ชันบล็อก PID ได้



รูปที่ 2.48 การเชื่อมต่อฟังก์ชันบล็อกไดอะแกรมสำหรับลูปควบคุม PID



รูปที่ 2.49 การใช้ฟังก์ชันบล็อก PID ของอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันบล็อก AI



รูปที่ 2.50 การใช้ฟังก์ชันบล็อก PID ของอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันบล็อก AO

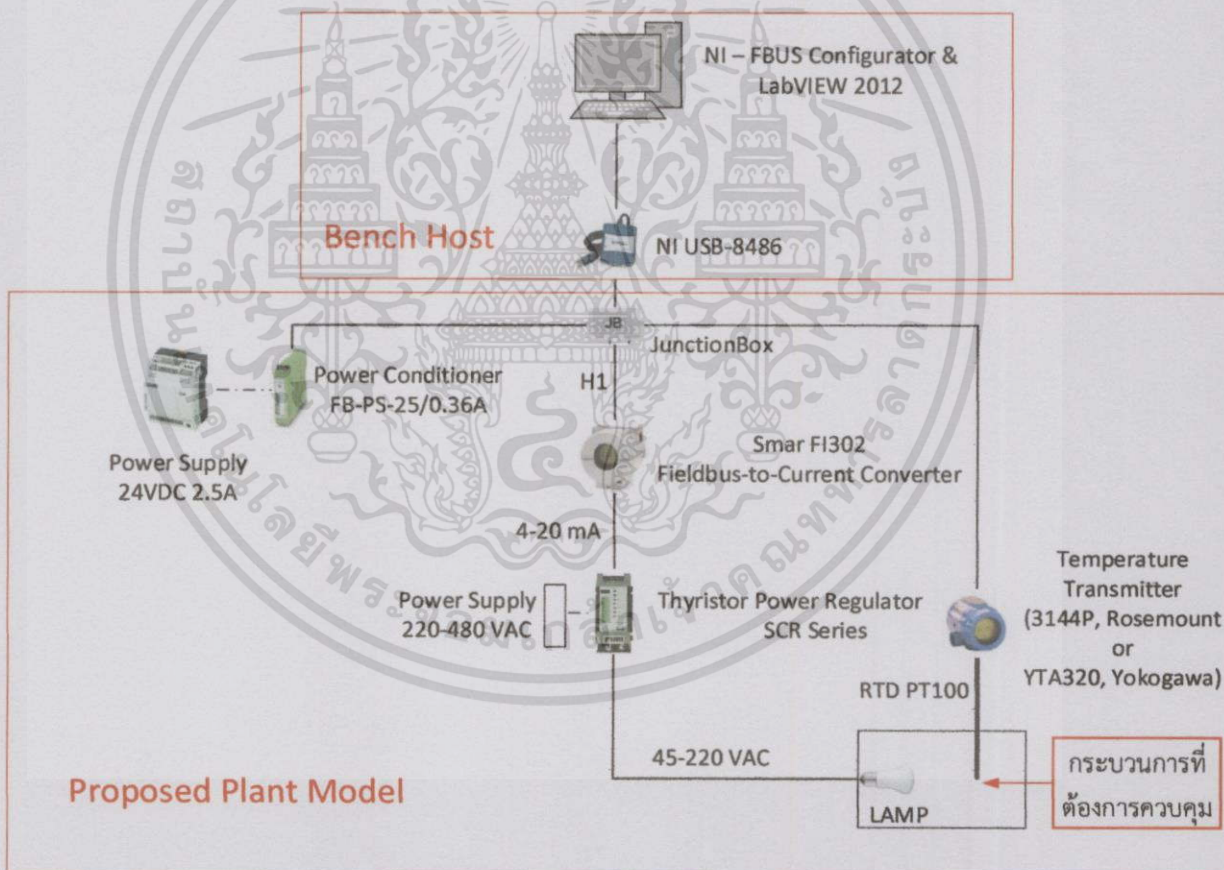
### บทที่ 3

## การใช้งานร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ

### 3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้นำเสนอการเชื่อมต่อของโฮสต์แบบตั้งโต๊ะเข้ากับอุปกรณ์ฟาว์นเดชันฟิลด์บัสขั้นตอนการทำงานของวงจรพัฒนา ขั้นตอนการกำหนดค่าเตรียมโปรแกรมต่าง ๆ และการกำหนดค่าโปรแกรมต่าง ๆ สำหรับงานวิศวกรรม รวมถึงการออกแบบส่วนผู้ติดต่อใช้งานสำหรับการทดลองเพื่อแสดงผลการทำงานของพลาสมาโมเดลการควบคุมอุณหภูมิ

### 3.2 วิธีการเชื่อมต่อกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ

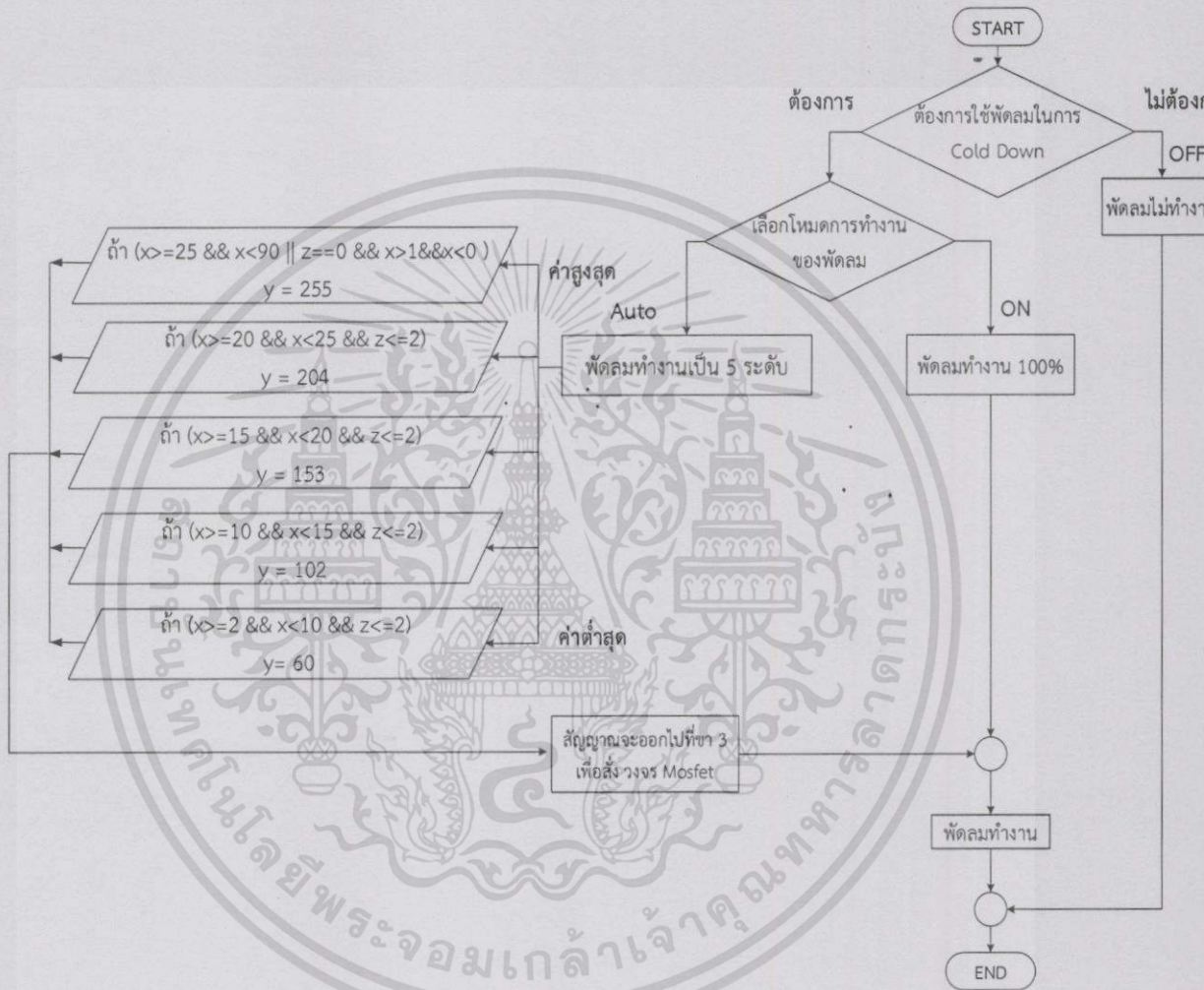


รูปที่ 3.1 Network Architecture การเชื่อมต่อกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ต้องการเชื่อมต่อพลาสม่าโมเดลกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะจะมีการเชื่อมต่อโดยโมเดล NI USB-8486 เชื่อมต่อระหว่างพอร์ต USB ของเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ากับขั้วต่อ (+/-) ของ Junction Box (ดูรูปที่ 2.5 ขั้วหมายเลข 05 และ 06) ดังรูปที่ 3.1

- ขั้นตอนการทำงานของวงจรพัดลม

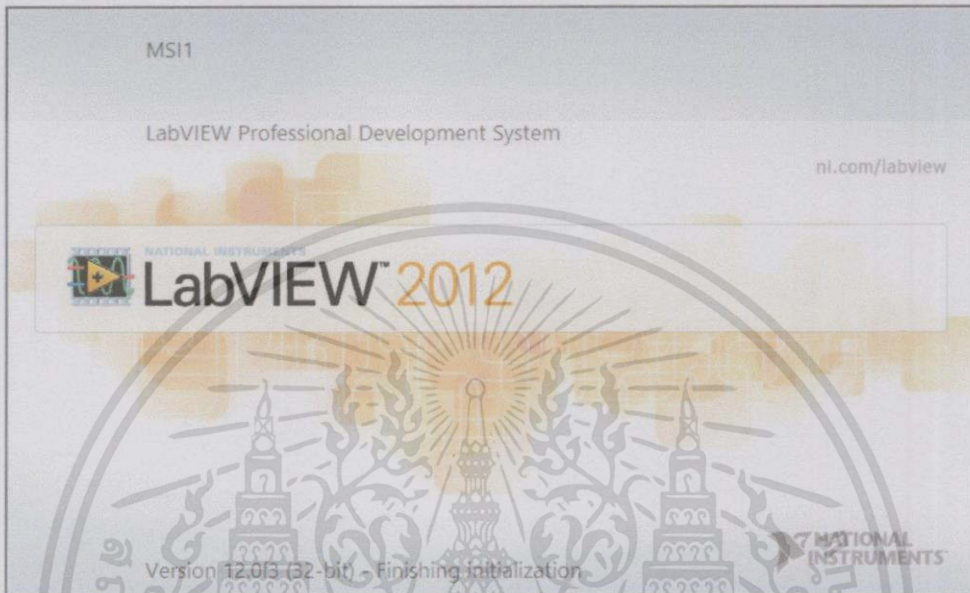


รูปที่ 3.2 แผนภาพการทำงานของวงจรควบคุมพัดลม

### 3.3 ขั้นตอนการกำหนดค่าเตรียมโปรแกรมต่าง ๆ สำหรับงานวิศวกรรม

#### 3.3.1 โปรแกรม LabVIEW 2012

LabVIEW 2012 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแสดงหน้าตาของการควบคุม และแสดงแนวโน้มของอุณหภูมิของกระบวนการ



รูปที่ 3.3 หน้าต่างโปรแกรม LabVIEW 2012

ตารางที่ 3.1 ความต้องการของระบบขั้นต่ำ

Windows	Run-Time Engine	Development Environment
Processor	Pentium III/Celeron 866 MHz or equivalent	Pentium 4M or equivalent
RAM	256 MB	1 GB
Screen Resolution	1024 x 768 Pixels	1024 x 768 Pixels
Operating System	Windows 8/7/Vista (32-bit and 64-bit) Windows XP SP3 (32-bit) Windows Server 2008 R2 (64-bit) Windows Server 2003 R2 (32-bit)	Windows 8/7/Vista (32-bit and 64-bit) Windows XP SP3 (32-bit) Windows Server 2008 R2 (64-bit) Windows Server 2003 R2 (32-bit)

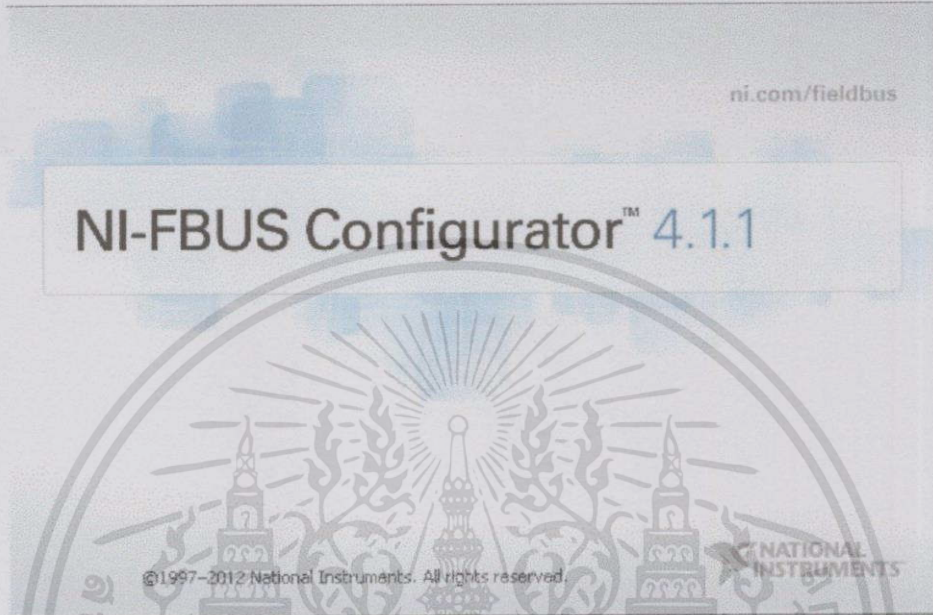
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ความต้องการของระบบขั้นต่ำ

Disk Space	382 MB	3.5 GB (includes default drivers from the NI Device Drivers DVD)
Color Palette	N/A	LabVIEW and the <i>LabVIEW Help</i> contain 16-bit color graphics. LabVIEW requires a minimum color palette setting of 16-bit color.
Temporary Files Directory	N/A	LabVIEW uses a directory for storing temporary files. National Instruments recommends that you have several megabytes of disk space available for this temporary directory.
Adobe Reader	N/A	You must have Adobe Reader installed to search PDF versions of all LabVIEW manuals.
<p><b>Note</b> The following list describes restrictions for using LabVIEW on Windows:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• LabVIEW does not support Windows 2000/NT/Me/98/95 or Windows XP x64.</li> <li>• You cannot access LabVIEW using a Guest account on Windows.</li> </ul>		

### 3.3.2 โปรแกรม NI-FBUS Configurator 4.1.1

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการดาวน์โหลด สร้างฟังก์ชันบล็อก และกำหนดตารางการทำงานของอุปกรณ์ฟาว์นเดชันฟิลด์บัส



รูปที่ 3.4 หน้าต่างโปรแกรม NI – FBUS Configurator 4.1.1

**ความเข้ากันได้และความต้องการของโปรแกรม**  
ระบบปฏิบัติการที่สนับสนุน

- Windows 7
- Windows 7 64-bit
- Windows Server 2003 R2 32-bit
- Windows Server 2008 R2 64-bit
- Windows Vista x64/x86
- Windows XP (SP3) 32-bit

**อุปกรณ์ที่ใช้**

- NI USB-8486

**ซอฟต์แวร์ที่เข้ากันได้**

- ANSI C/C++
- LabVIEW
- Lookout Development/Run-Time Systems
- NI-FBUS Configurator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- NI-FBUS Monitor
- Visual Basic

### 3.3.3 โปรแกรม Arduino 1.0.5

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมพัลลวม ด้วยหลักการ PWM และใช้เชื่อมต่อระหว่างโปรแกรม LabVIEW 2012 ผ่าน NI LabVIEW Interface for Arduino Toolkit

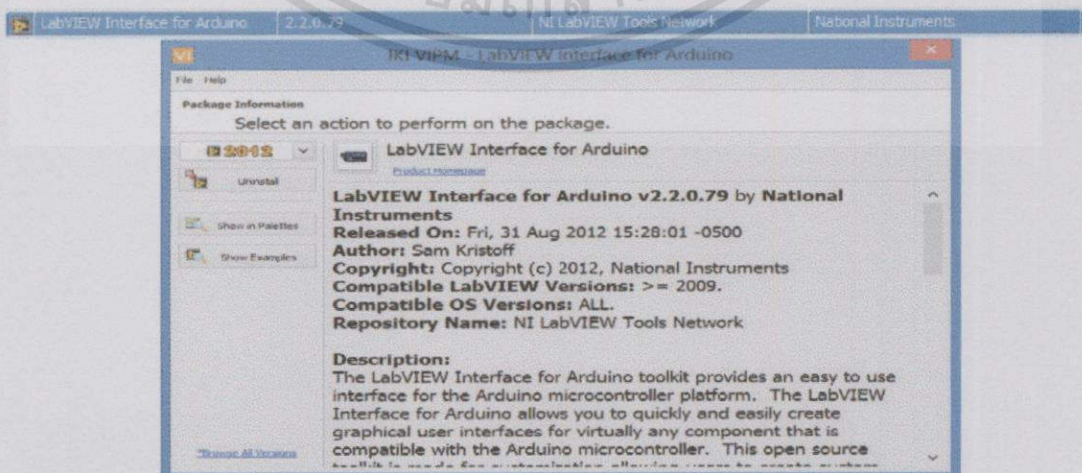


รูปที่ 3.5 หน้าต่างโปรแกรม Arduino 1.0.5

### NI LabVIEW Interface for Arduino Toolkit

Arduino microcontroller จะเชื่อมต่อด้วย LabVIEW Vis ผ่านการเชื่อมต่อแบบอนุกรม ใช้ในการเปิดการทำงาน อ่าน/เขียน ปิดการทำงาน สามารถเข้าถึงสัญญาณ digital, analog, pulse-width-modulated, I2C และ SPI จาก Arduino microcontroller ได้

การเชื่อมต่อจะติดต่อผ่านเครื่องมือของ NI LabVIEW Interface for Arduino Toolkit สามารถดาวน์โหลดผ่านโปรแกรม VI Package Manager ซึ่งมีชื่อว่า LabVIEW Interface for Arduino (LIFA)



รูปที่ 3.6 หน้าต่าง LabVIEW Interface For Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4 National Instruments VISA

The Virtual Instrument Software Architecture (VISA) เป็นมาตรฐานของการตั้งค่าการใช้โปรแกรม และการแก้ไขปัญหาของอุปกรณ์เครื่องมือวัด ที่เป็นระบบ GPIB, VXI, PXI, Serial, Ethernet และ/หรือ USB ซึ่งตัว VISA จะเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์ และ ตัวซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนา เช่น LabVIEW, Lab Windows/CVI and Measurement Studio for Microsoft Visual Studio

## 3.4 ขั้นตอนการกำหนดค่าโปรแกรมต่าง ๆ สำหรับงานวิศวกรรม

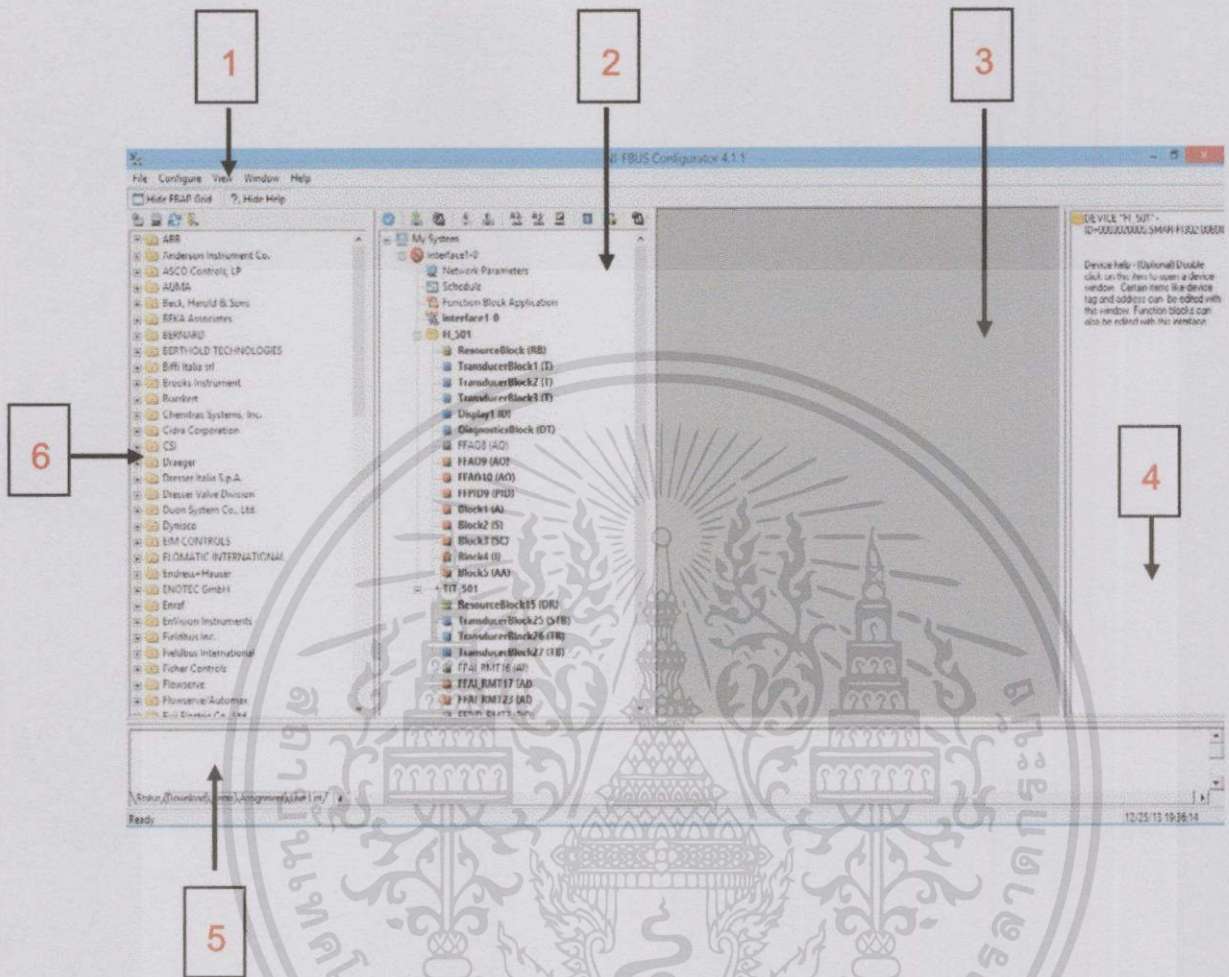
### 3.4.1 การสร้าง New Field Device

ตารางที่ 3.2 สรุปคุณสมบัติอุปกรณ์เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส

PD - Tag	Address	Vendor	Model	Device Function	Device Rev.	DD Rev.
TIT_501	30	Rosemount	3144P	Temperature Transmitter	2	1
TIT_502	31	Yokogawa	YTA320	Temperature Transmitter	2	1
DIY_501	33	Smar	FI302	Fieldbus-to-Current Converter	4	0005

### 3.4.2 การเพิ่มลิงค์ หรืออินเตอร์เฟซ (Interface) ลงในโปรแกรม NI-FBUS

#### Configurator [4]



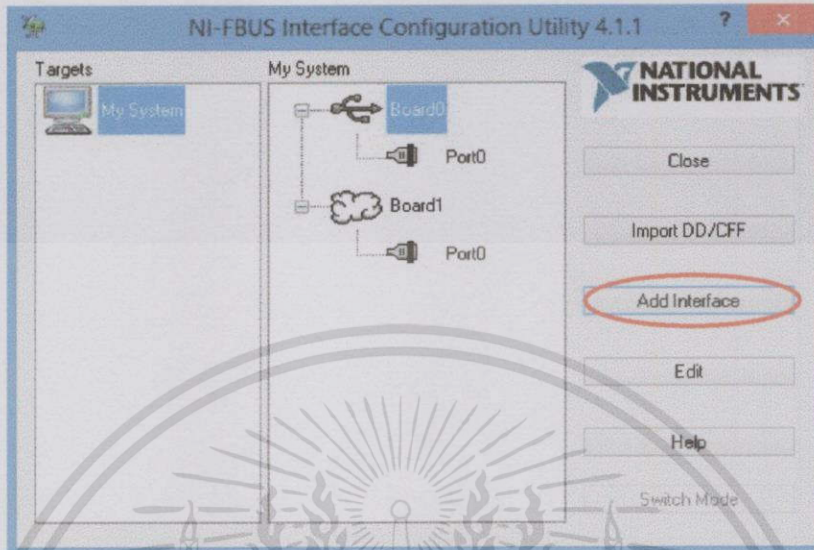
รูปที่ 3.7 หน้าต่างโปรแกรม NI-FBUS Configurator

1. Object Menu (based on object selected in configuration tree)
2. Configuration Tree : เป็นส่วนที่แสดงการเชื่อมต่อของตัวอุปกรณ์กับโปรแกรม NI-FBUS Configurator
3. Middle Frame
4. Help Window : เป็นส่วนที่แสดงข้อมูลเกี่ยวกับการช่วยเหลือ
5. Status Window : เป็นส่วนที่แสดงสถานะต่าง ๆ ของโปรแกรม NI-FBUS Configurator
6. Device Type Tree : เป็นส่วนที่แสดงชนิดของตัวอุปกรณ์ที่ถูกนำเข้ามาในโปรแกรม NI-FBUS Configurator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

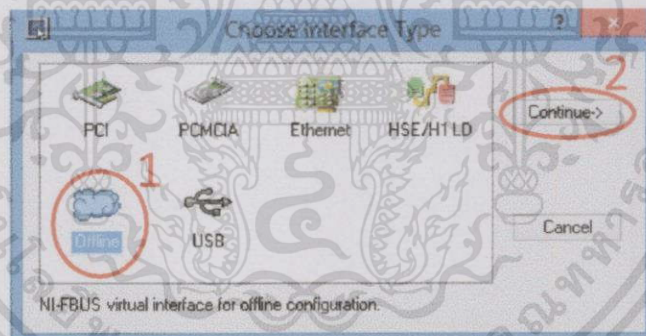
เมื่อเริ่มต้นใช้โปรแกรมครั้งแรกต้องทำการเพิ่มลิงค์ หรืออินเทอร์เฟซ (Interface) ก่อนโดยการ

1. เปิดโปรแกรม NI-FBUS Interface Configuration Utility และกดปุ่ม “Add Interface”



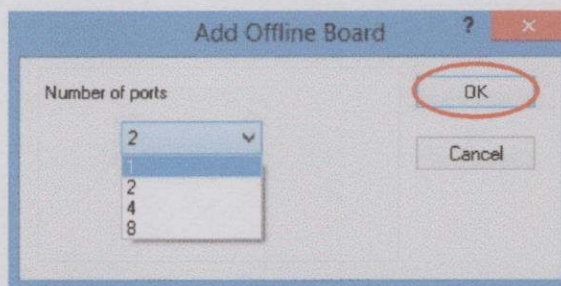
รูปที่ 3.8 หน้าต่างการ Add Interface

2. เลือก “Offline” จากนั้นกดปุ่ม “Continue->”



รูปที่ 3.9 หน้าต่างเลือก Interface Type

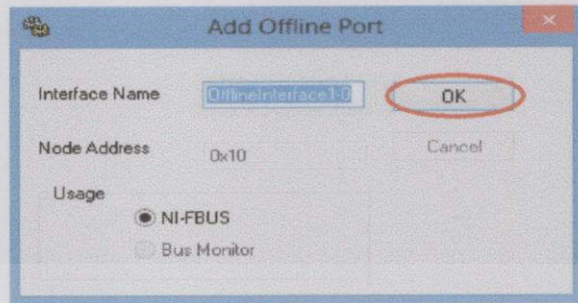
3. เลือกจำนวน Port จากนั้นกดปุ่ม “OK”



รูปที่ 3.10 การ Add offline board

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 ตั้งชื่อ Interface name จากนั้นกดปุ่ม “OK” เป็นอันเสร็จสิ้นการเพิ่มลิงค์ หรือ อินเทอร์เฟซ (Interface)



รูปที่ 3.11 การตั้งชื่อ Interface Name

### 3.4.3 การเพิ่ม DD File หรือ CFF File ลงในโปรแกรม NI-FBUS Configurator

ใช้สำหรับต้องการเพิ่ม DD File หรือ CFF File ลงไปโปรแกรม NI-FBUS Configurator นอกเหนือจากที่โปรแกรมมี โดยมีขั้นตอนการทำดังนี้

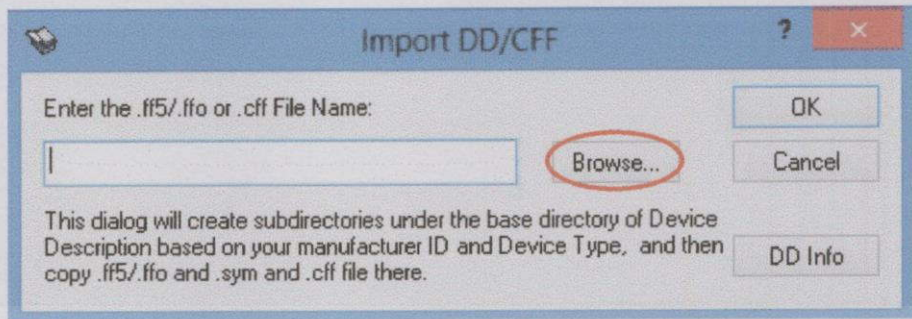
1. เปิดโปรแกรม NI-FBUS Interface Configuration Utility และกดปุ่ม “Import DD/CFF”



รูปที่ 3.12 การ Import DD/CFF

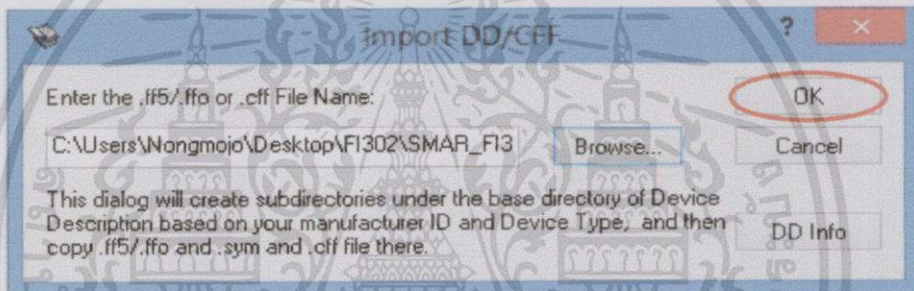
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คลิกที่ปุ่ม “Browse” เพื่อเลือกที่อยู่ของไฟล์ DD/CFF ที่ต้องการ



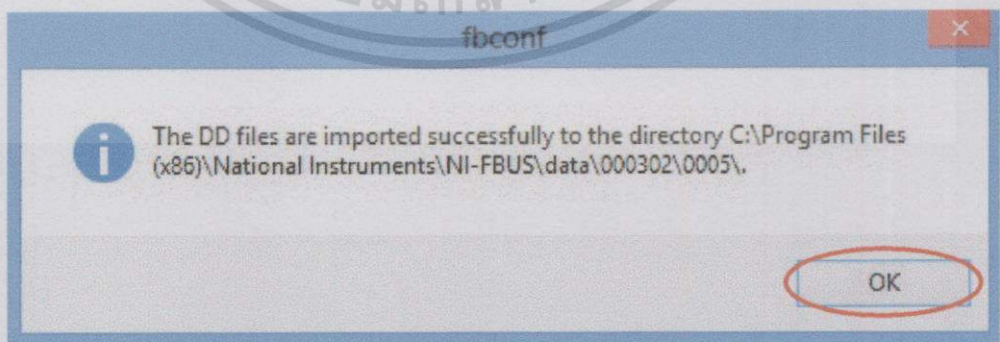
รูปที่ 3.13 การเลือกที่อยู่ของ DD/CFF File

3. กดปุ่ม “OK”



รูปที่ 3.14 การยืนยันที่อยู่ของ DD/CFF File

4. โปรแกรมจะแสดงข้อความว่าทำการเพิ่ม DD/CFF ได้สำเร็จ จากนั้นกดปุ่ม “OK” เป็นอันเสร็จสิ้นการเพิ่ม DD File หรือ CFF File



รูปที่ 3.15 หน้าต่างแสดงข้อความยืนยันว่าทำการเพิ่ม DD/CFF สำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

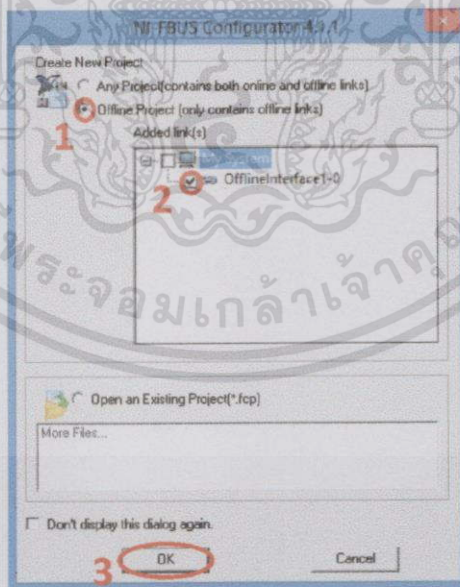
### 3.4.4 การสร้าง New Project ในโปรแกรม NI-FBUS Configurator

#### 1. เปิดโปรแกรม NI-FBUS Configurator



รูปที่ 3.16 หน้าต่างโปรแกรมเริ่มต้นของ NI-FBUS Configurator

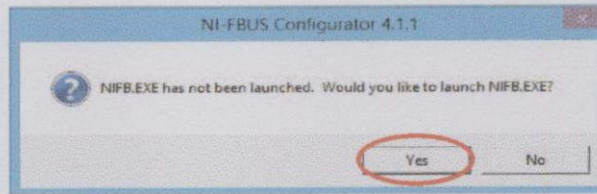
#### 2. คลิกปุ่ม “Offline Project” และทำการเพิ่มลิงค์ โดยเลือกที่ “OfflineInterface1-0” จากนั้นกดปุ่ม “OK”



รูปที่ 3.17 การเพิ่มโปรเจค

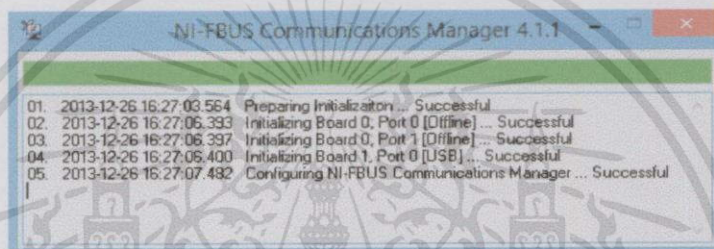
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โปรแกรมจะแสดงข้อความให้รันโปรแกรม NIFB.exe (NI-FBUS Communications Manager) เพื่อทำการเชื่อมต่อ จากนั้นกดปุ่ม “Yes”



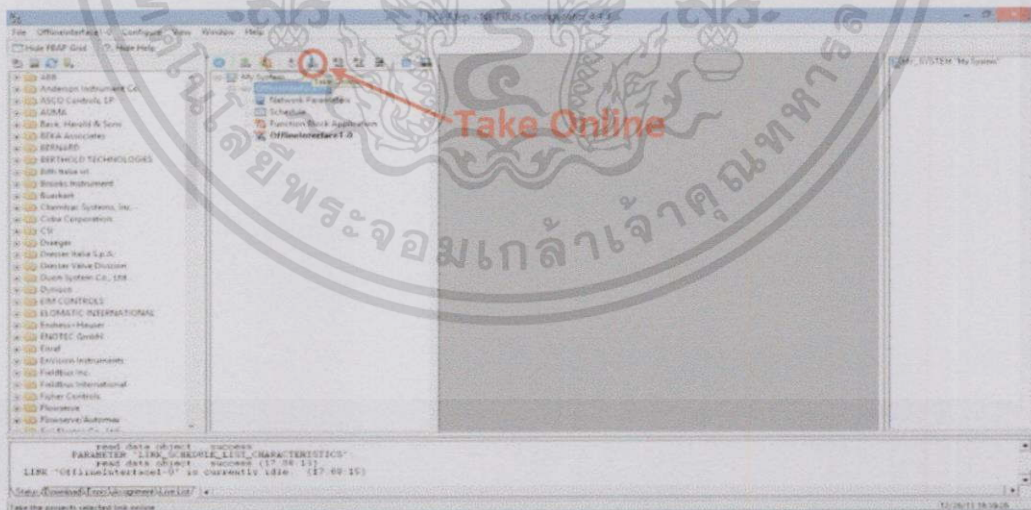
รูปที่ 3.18 หน้าต่างแสดงข้อความยืนยันเพื่อรันโปรแกรม

4. โปรแกรม NI-FBUS Communications Manager จะถูกรันขึ้นมา



รูปที่ 3.19 การรันโปรแกรม

5. จะได้หน้าต่างการทำงานดังรูป จากนั้นกดปุ่ม “Take Online” (เพื่อทำการ Online)

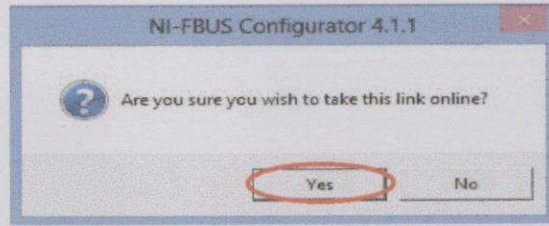


รูปที่ 3.20 การเลือกทำงานในโหมดออนไลน์

หมายเหตุ ในกรณีศึกษาไม่ได้ใช้การทำ Offline Configurator แต่ทำการ Online เพื่อดึงบล็อกและค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวอุปกรณ์ออกมาใช้งานได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. โปรแกรมจะแสดงข้อความว่า ต้องการทำการออนไลน์หรือไม่ ให้คลิกปุ่ม “Yes”



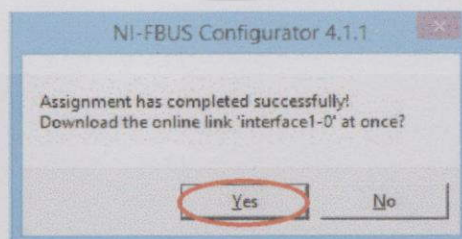
รูปที่ 3.21 ข้อความยืนยันการออนไลน์

7. เลือกออนไลน์ลิงค์ โดยในกรณีศึกษาหมายถึงตัว USB-8486 ซึ่งก็คือ interface1-0 ในโปรแกรม NI-FBUS Configurator จากนั้นกดปุ่ม “Assign”



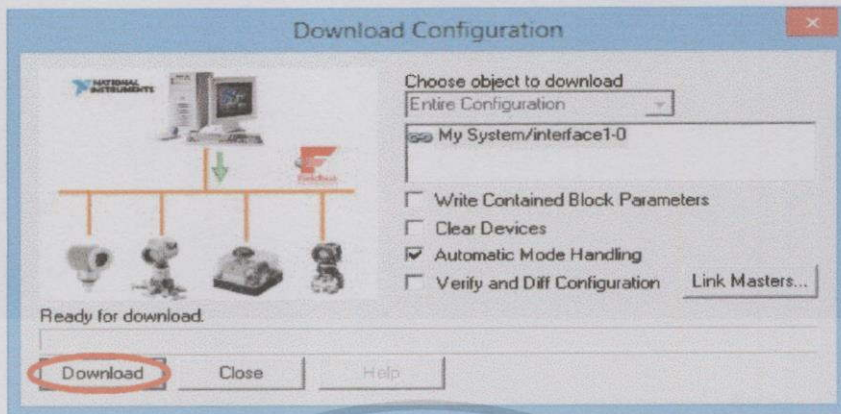
รูปที่ 3.22 การ Assign Device

8. เมื่อโปรแกรม Assign งานเสร็จจะมีข้อความแสดงขึ้นมาว่าให้ดาวน์โหลดลงไปหรือไม่ ให้คลิกปุ่ม “Yes”



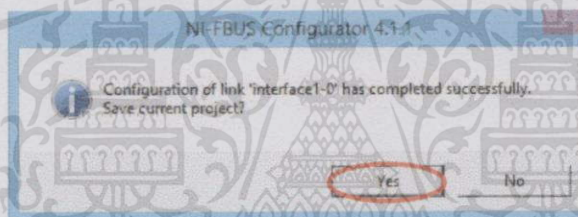
รูปที่ 3.23 การยืนยันการดาวน์โหลด

9. โปรแกรมจะแสดงหน้าต่าง Download Configuration ขึ้นมา คลิกปุ่ม “Download”



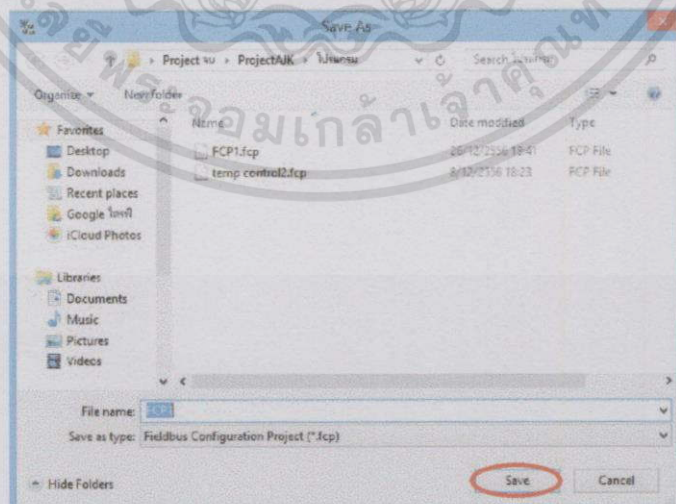
รูปที่ 3.24 แสดงการ Download Configurator

10. เมื่อทำการดาวน์โหลดเสร็จ โปรแกรมจะแสดงข้อความว่าต้องการเซฟโปรเจกต์หรือไม่ ให้คลิกปุ่ม “Yes”



รูปที่ 3.25 การยืนยันการเซฟโปรเจกต์

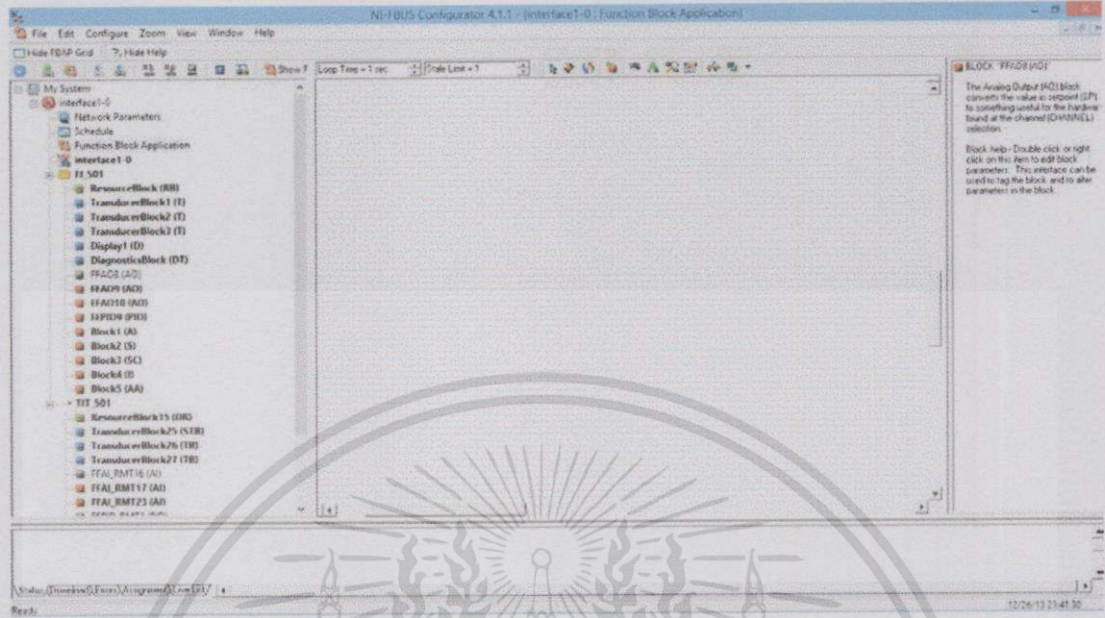
11. เลือกที่อยู่ในการเก็บโปรเจกต์ และตั้งชื่อโปรเจกต์ จากนั้นคลิกปุ่ม “Save”



รูปที่ 3.26 การตั้งชื่อไฟล์งานที่เซฟไว้

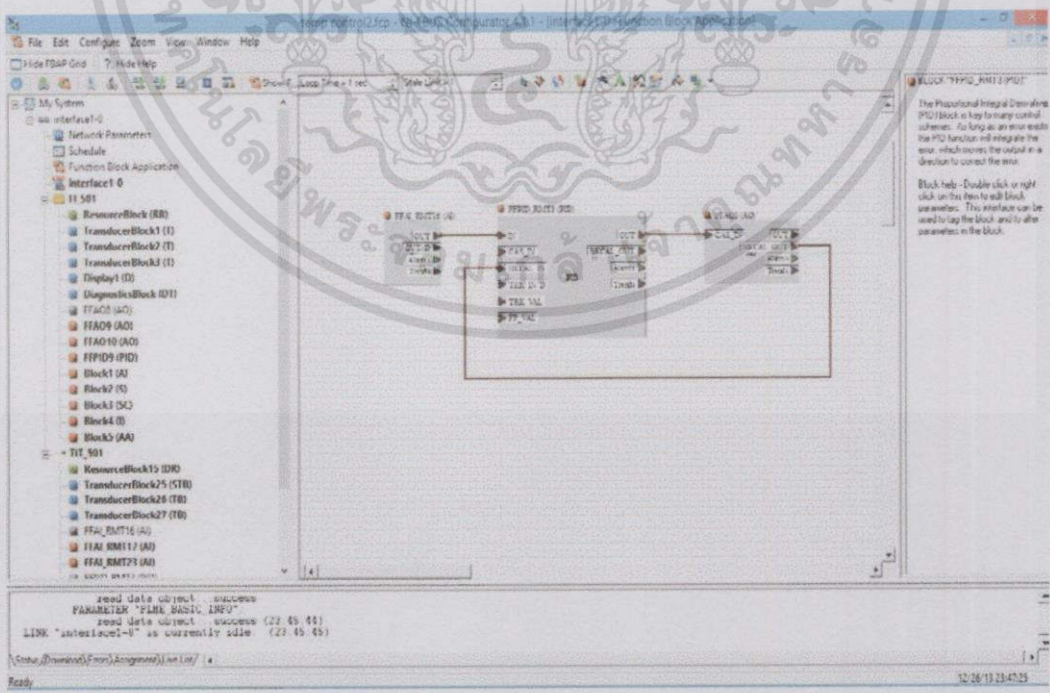
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. จะได้หน้าต่างโปรเจกใหม่ (ในกรณีศึกษานี้จะเห็นว่าโปรแกรมจะดึงข้อมูลอุปกรณ์มาจากตัวอุปกรณ์โดยตรงเลย ไม่ได้เอามาจาก DD/CFF ที่โหลดมา)



รูปที่ 3.27 หน้าต่างโปรเจกใหม่

13. นำบล็อกที่ต้องการมา และทำการลากสายเชื่อมต่อกันให้เรียบร้อย

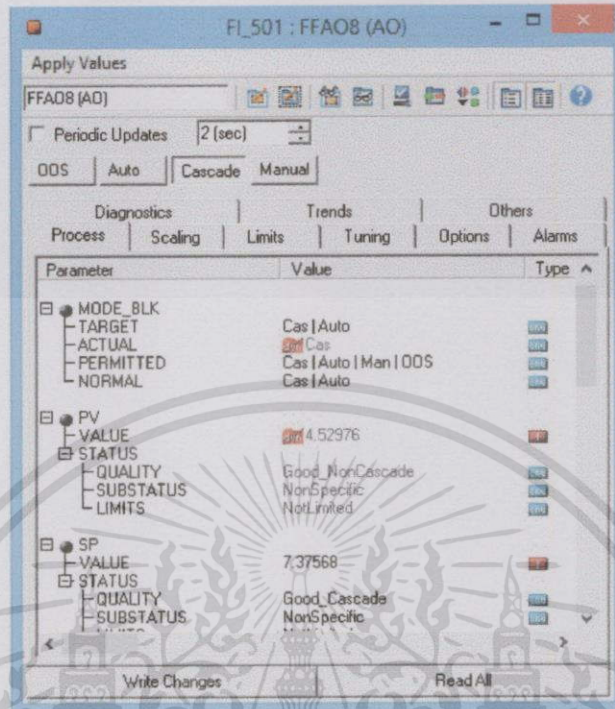


รูปที่ 3.28 บล็อกที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

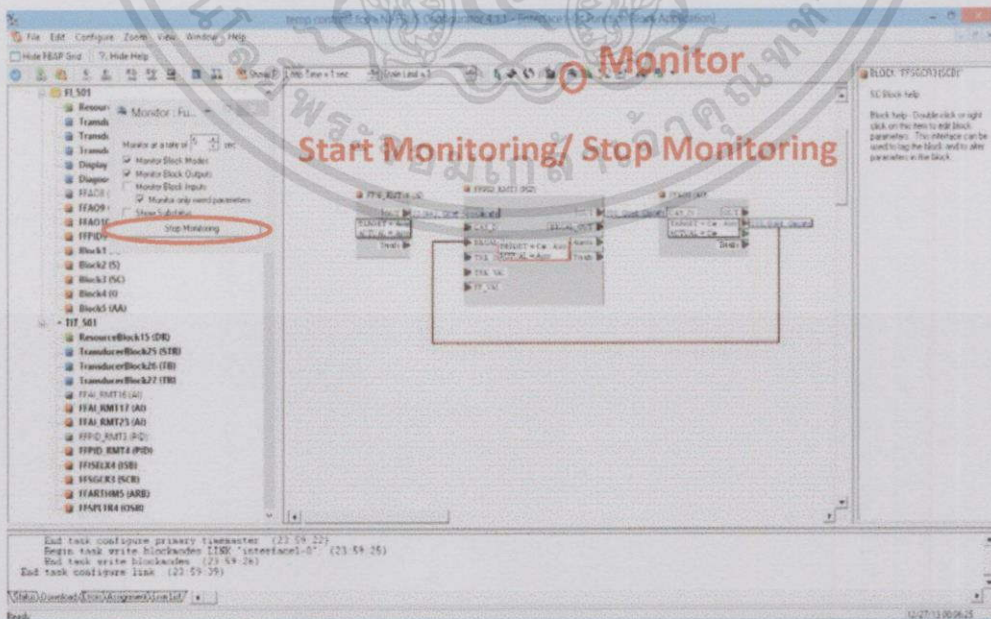
14. ทำการตั้งค่าต่าง ๆ ของอุปกรณ์แต่ละตัว โดยค่าพารามิเตอร์ที่ตั้งค่าไว้เป็นไปตามตารางที่

3.3 ถึง 3.6



รูปที่ 3.29 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ภายในบล็อกของอุปกรณ์

15. เมื่อทำการตั้งค่าเสร็จเรียบร้อยแล้ว ระบบพร้อมทำงานได้ เราสามารถดูสถานะต่าง ๆ ของบล็อกต่าง ๆ ได้โดยการกดปุ่ม "Monitor" และ "Start Monitoring"



รูปที่ 3.30 การ Monitoring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.5 การกำหนดการตั้งค่าในฟังก์ชันบล็อก

#### 3.4.5.1 ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ

ในกรณีศึกษานี้ได้มีการใช้ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ 2 ยี่ห้อ คือ Rosemount รุ่น 3144P (TIT\_501) และ Yokogawa รุ่น YTA320 (TIT\_502) โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการใช้งานในบล็อก AI และบล็อก PID ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ในบล็อก AI ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ

Parameter	TIT_501_AI1	TIT_502_AI1
Channel	1	1
XD_Scale		
EU_100	60	60
EU_0	40	40
Units_Index	°C	°C
Decimal	2	2
Out_Scale		
EU_100	100	100
EU_0	0	0
Units_Index	%	%
Decimal	2	2
Mode_BLK_Target	Auto	Auto
Mode_BLK_Normal	Auto	Auto
L_Type	Indirect	Indirect

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ในบล็อก PID ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้งานทรานสมิตเตอร์-อุณหภูมิ

Parameter	TIT_501_PID1	TIT_502_PID1
Channel	1	1
XD_Scale		
EU_100	100	100
EU_0	0	0
Units_Index	%	%
Decimal	2	2
Out_Scale		
EU_100	100	100
EU_0	0	0
Units_Index	%	%
Decimal	2	2
Mode_BLK_Target	Auto	Auto
Mode_BLK_Normal	Auto	Auto
Tuning		
Gain	1.4	1.43
Reset	99.2	115
Rate	18.5	5.6

### 3.4.5.2 อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลต์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302

ในกรณีศึกษาได้มีการใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลต์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302 เป็นทั้งตัวควบคุม (บล็อกPID) และตัวเปลี่ยนสัญญาณฟิลต์บัสเป็นสัญญาณแอนะล็อกกระแสมาตรฐาน 4-20 mA (บล็อก AO) โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการใช้งานในบล็อก PID และบล็อก AO ดังแสดงในตารางที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์ในบล็อก PID ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์-บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302

Parameter	DIY_501_PID (กรณีใช้ร่วมกับ TIT_501)	DIY_501_PID (กรณีใช้ร่วมกับ TIT_502)
Channel	1	1
XD_Scale		
EU_100	100	100
EU_0	0	0
Units_Index	%	%
Decimal	2	2
Out_Scale		
EU_100	100	100
EU_0	0	0
Units_Index	%	%
Decimal	2	2
Mode_BLK_Target	Auto	Auto
Mode_BLK_Normal	Auto	Auto
Tuning		
Gain	1.4	1.43
Reset	99.2	115
Rate	18.5	5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 พารามิเตอร์ในบล็อก AO ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้งานทรานสมิตเตอร์-อุณหภูมิ

Parameter	DIY_501_AO1
Channel	1
PV_Scale	
EU_100	100
EU_0	0
Units_Index	%
Decimal	2
XD_Scale	
EU_100	20
EU_0	4
Units_Index	mA
Decimal	2
Mode_BLK_Target	Cascade
Mode_BLK_Normal	Cascade
L_Type	Indirect

### 3.5 การออกแบบส่วนผู้ติดต่อใช้งาน

ในการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานสำหรับเวิร์คสเตชันสำหรับผู้ปฏิบัติงาน ซอฟต์แวร์ของ LabVIEW 2012 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างกราฟิกเพื่อการควบคุม และแสดงผลสำหรับพลาเน็ต-โมเดลที่นำเสนอในปริญญาโทฉบับนี้ โดยมีการออกแบบและพัฒนากราฟิกจำนวน 1 หน้า แต่แบ่งตรงกลางหน้าออกเป็น 2 ส่วนคือ หน้าเทรนที่นำเสนอ และหน้ากราฟิก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.5.1 ส่วนTrend

ส่วนเทรน เป็นหน้าที่แสดงข้อมูลแบบ Trend (เส้นกราฟ) ในช่วงเวลา 20 นาที และแถบแสดงค่าของข้อมูลในกราฟ ซึ่งข้อมูลภายในกราฟจะประกอบด้วยค่า 3 ค่าคือ Process Value (PV), Setpoint (SP) และ Manipulated Variable (MV)

#### 3.5.2 ส่วนกราฟิก

ส่วนกราฟิก เป็นหน้าจำลองการทำงานของกระบวนการจริง โดยมีรูปจำลองของ ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ โดยมีการแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้ พร้อมกับแสดงสถานะการทำงาน และ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมดของบล็อก AI ภายในทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ, อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302 โดยมีการแสดงค่าเอาต์พุตที่ส่งออกมา พร้อมกับแสดงสถานะการทำงาน และโหมดของบล็อก AO ภายในอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302, อุปกรณ์คงค่ากำลังไฟฟ้ารุ่น SCR-1A030 และกล่องใส่หลอดไฟ 100 W/220 VAC นอกจากนี้ยังมีการแสดงความเร็วรอบของพัดลมในหน่วยของรอบต่อนาที (RPM)

โดยส่วนตรงฝั่งขวาของหน้าจะมีแถบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Monitoring และ Control ในส่วนของ Monitoring จะมี Display แสดงค่า Process Value ซึ่งมีทั้งค่าที่เป็นหน่วยเปอร์เซ็นต์ และค่าที่เป็นหน่วยอุณหภูมิที่วัดได้ของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ, Manipulated Variable (MV) และค่าความผิดพลาด (Error) ส่วนของ Control ผู้ใช้สามารถใส่ค่า Set Point และจูนค่า Gain (P), Reset (I) และ Rate (D) ได้ และมีสถานะของ Alarm ซึ่งจะคอยเตือนในกรณีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 40°C หรือมากกว่า 60 °C

ส่วนตรงฝั่งซ้ายของหน้าจะมีปุ่มให้เลือกโหมดการทำงานเป็นโหมด Auto, Manual และ OOS ปุ่มเลือกรูปแบบการจัดเก็บค่าข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งมีทั้งโหมด open คือจะเก็บค่าข้อมูลไปเรื่อย ๆ เมื่อโปรแกรมทำงาน โดยบนสุดของตารางจะแสดงค่าข้อมูลล่าสุด และโหมด replace จะเป็นโหมดที่เก็บค่าข้อมูลล่าสุดที่โปรแกรมรันไว้ โดยจะเก็บข้อมูลทับข้อมูลเก่า นอกจากนี้ยังมีปุ่มเลือกที่อยู่ในการเก็บข้อมูล และปุ่มเลือกที่อยู่ของ Tag parameter ที่ใช้ในกระบวนการ

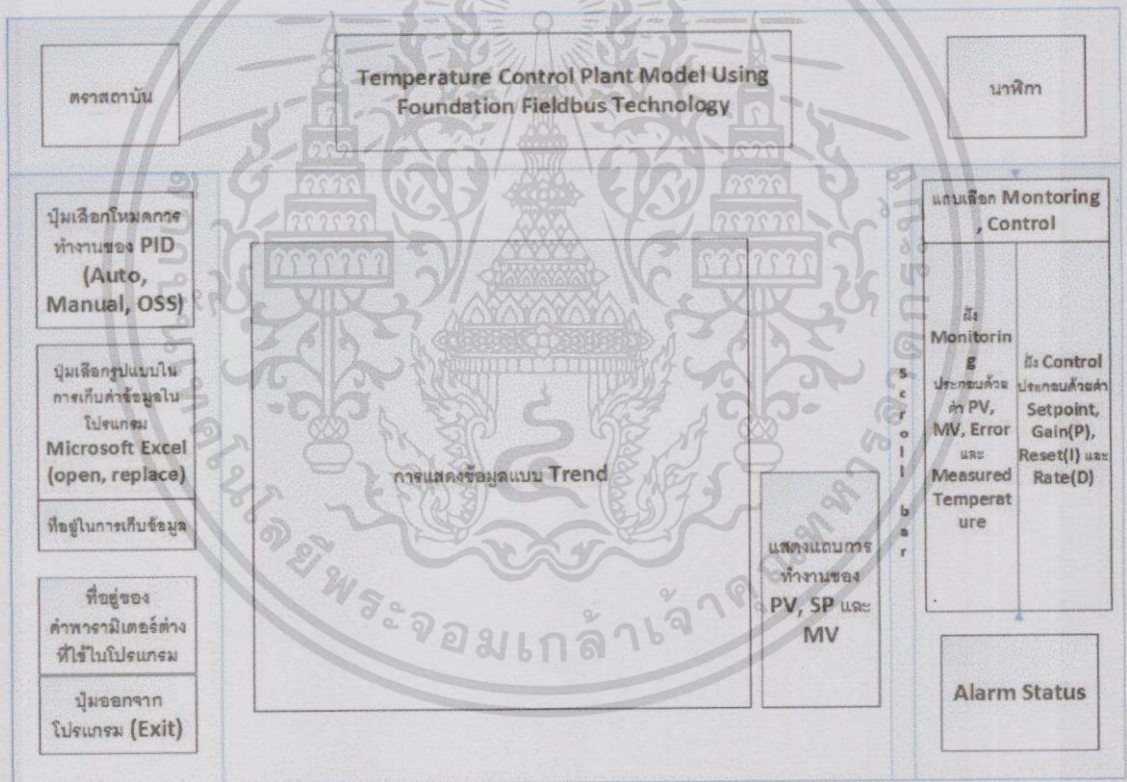
รายละเอียดของหน้านี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

- Operator
  - ปุ่มเลือกโหมดการทำงาน Auto, Manual และ OOS
  - ปุ่มเลือกรูปแบบการจัดเก็บค่าข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Excel (open และ replace)
  - ปุ่มเลือกที่อยู่ในการเก็บข้อมูล
  - ปุ่มเลือกที่อยู่ของ Tag parameter ที่ใช้ในกระบวนการ
  - Setpoint (SP)
  - จูนค่า Gain(P), Reset(I) และ Rate(D)
- Display
  - ค่า Process Value (PV)
  - ค่า Manipulated Variable (MV)
  - ค่า Error ของกระบวนการโดยที่  $Error = PV - SP$
  - ค่าอุณหภูมิที่วัดได้ของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ
  - ค่า Output ที่ออกมาจากอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

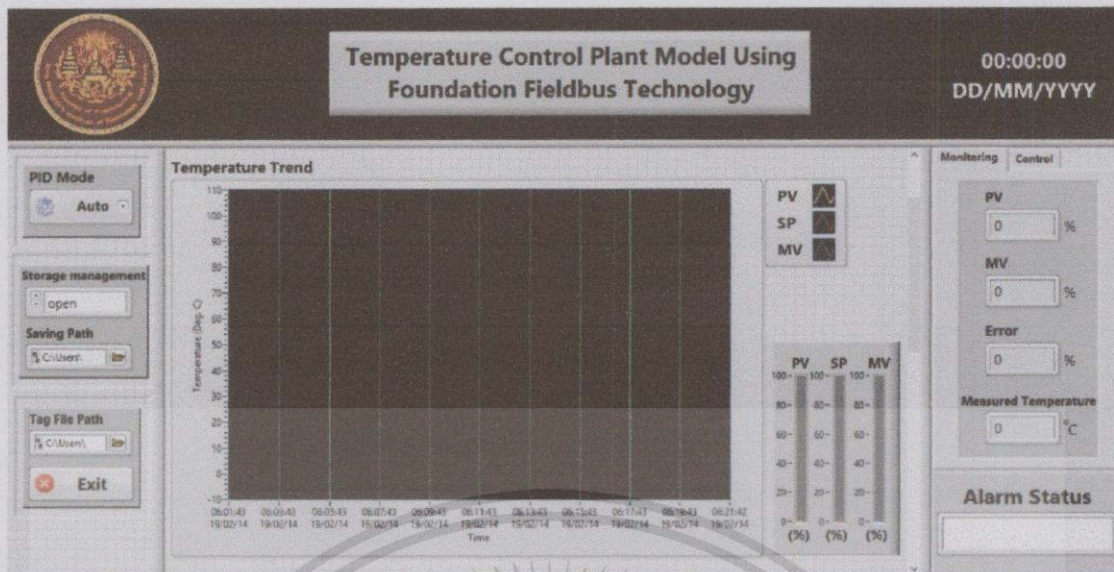
- ค่าความเร็วรอบของพัลลัม
- ค่า Alarm Status
- ค่า Out Status of AI Block
- Actual Mode of AI Block
- Out Status of AO Block
- Actual Mode of AO Block
- กราฟแสดงข้อมูลของ PV, SP และMV
- แถบแสดงข้อมูลของ PV, SP และMV

- รูปจำลอง Process
- ปุ่มออกจากโปรแกรม (Exit)

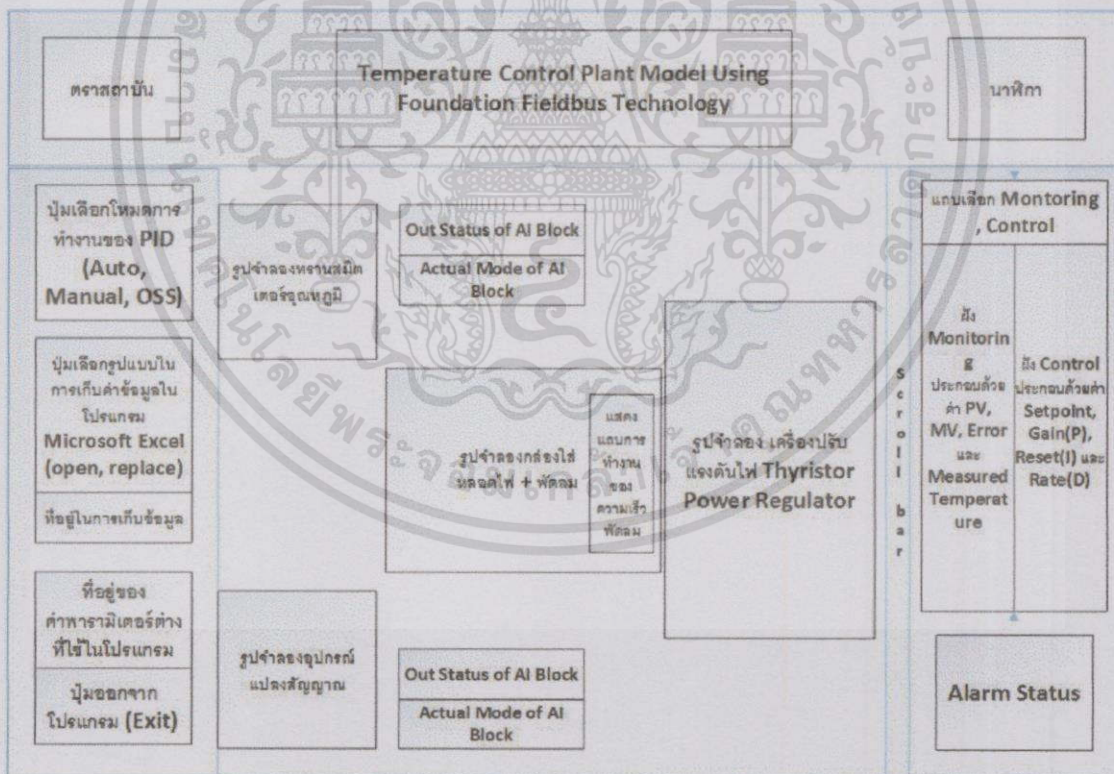


รูปที่ 3.31 การออกแบบหน้ากราฟิกส่วน Trend

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 หน้ากรรฟิกรส่วน Trend

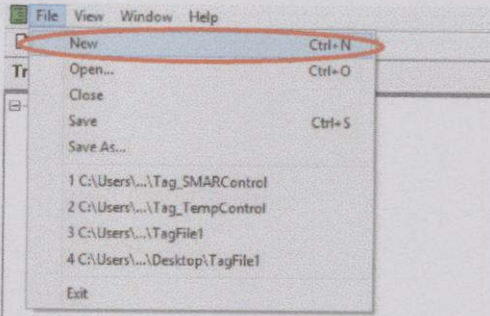


รูปที่ 3.33 การออกแบบหน้ากรรฟิกรส่วนกรรฟิกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

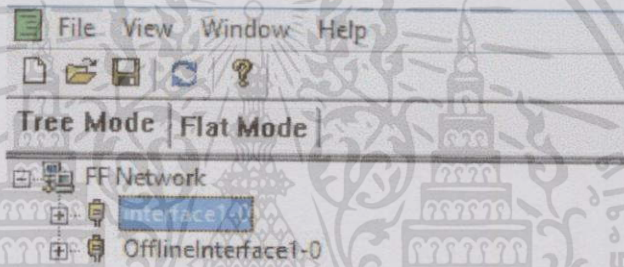


- กด New หรือ



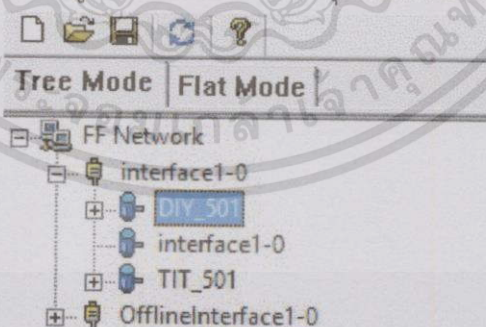
รูปที่ 3.36 การสร้าง New Tag File

- กดปุ่ม Interface1-0



รูปที่ 3.37 การเชื่อมต่อของ Fieldbus Network

- จะแสดงอุปกรณ์ทั้งหมดที่อยู่ในกระบวนการ เลือกอุปกรณ์ที่ต้องการ



รูปที่ 3.38 อุปกรณ์ทั้งหมดที่อยู่ในกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 3.7 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อ้างอิงในการสร้างข้อมูลหน้าต่างกราฟิกที่ใช้งานทรานสมิตเตอร์  
อุณหภูมิรุ่น Rosemount : 3144P เป็นบล็อก PID

Tag	Parameter	Type	ความหมาย	Read/Write
0	FFPID_RMT3.SP.VALUE	float	ค่า SP ในบล็อก PID	Read & Write
1	FFPID_RMT3.PV.VALUE	float	ค่า PV ในบล็อก PID	Read
2	FFPID_RMT3.OUT.VALUE	float	ค่า MV ในบล็อก PID	Read & Write (Manual Mode Only)
5	FFPID_RMT3.GAIN	float	ค่า Gain(P) ในบล็อก PID	Read & Write
6	FFPID_RMT3.RESET	float	ค่า Reset(I) ใน บล็อก PID	Read & Write
7	FFPID_RMT3.RATE	float	ค่า Rate(D) ใน บล็อก PID	Read & Write
9	FFAI_RMT16.HI_ALM.ALAR M_STATE	uint8	สถานะของ Hi Alarm ของบล็อก AI	Read
11	FFAI_RMT16.HI_HI_ALM.AL ARM_STATE	uint8	สถานะของ Hi Hi Alarm ของบล็อก AI	Read
12	FFAI_RMT16.LO_ALM.ALAR M_STATE	uint8	สถานะของ Lo Alarm ของบล็อก AI	Read
13	FFAI_RMT16.LO_LO_ALM.A LARM_STATE	uint8	สถานะของ Lo Lo Alarm ของบล็อก AI	Read
17	FFAI_RMT16.OUT.STATUS	uint8	สถานะของค่าที่ออก จากบล็อก AI	Read
19	FFAO8.OUT.STATUS	uint8	สถานะของค่าที่ออก จากบล็อก AO	Read & Write (Manual Mode Only)
20	FFAI_RMT16.MODE_BLK.AC TUAL	bitstri ng	โหมดแท้จริงของ บล็อก AI	Read
21	FFAO8.MODE_BLK.ACTUAL	bitstri ng	โหมดแท้จริงของ บล็อก AO	Read
22	FFPID_RMT3.MODE_BLK.TA RGET	bitstri ng	โหมดที่ต้องการของ บล็อก PID	Read & Write

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อ้างอิงในการสร้างข้อมูลหน้าต่างกราฟิกที่ใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น SMAR FI302 เป็นบล็อก PID

Tag	Parameter	Type	ความหมาย	Read/Write
17	FFAI_RMT16.OUT.STATUS	uint8	สถานะของค่าที่ออก จากบล็อก AI	Read
19	FFAO8.OUT.STATUS	uint8	สถานะของค่าที่ออก จากบล็อก AO	Read & Write*
20	FFAI_RMT16.MODE_BLK.ACTUAL	bitstring	โหมดแท้จริงของ บล็อก AI	Read
21	FFAO8.MODE_BLK.ACTUAL	bitstring	โหมดแท้จริงของ บล็อก AO	Read
25	FFPID9.GAIN	float	ค่า Gain(P) ในบล็อก PID	Read & Write
26	FFPID9.RESET	float	ค่า Reset(I) ใน บล็อก PID	Read & Write
27	FFPID9.RATE	float	ค่า Rate(D) ใน บล็อก PID	Read & Write
28	FFPID9.SP.VALUE	float	ค่า SP ในบล็อก PID	Read & Write
29	FFPID9.PV.VALUE	float	ค่า PV ในบล็อก PID	Read
30	FFPID9.OUT.VALUE	float	ค่า MV ในบล็อก PID	Read & Write*
31	FFAI_RMT16.HI_ALM.ALARM_STATE	uint8	สถานะของ Hi Alarm ของบล็อก AI	Read
32	FFPID9.MODE_BLK.TARGET	bitstring	โหมดที่ต้องการของ บล็อก PID	Read & Write
33	FFAI_RMT16.HI_HI ALM.ALARM_STATE	uint8	สถานะของ Hi Hi Alarm ของบล็อก AI	Read

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 (ต่อ) ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อ้างอิงในการสร้างข้อมูลหน้าต่างกราฟิกที่ใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น SMAR FI302 เป็นบล็อก PID

Tag	Parameter	Type	ความหมาย	Read/Write
34	FFAI_RMT16.LO ALM.ALARM_STATE	uint8	สถานะของ Low Alarm ของบล็อก AI	Read
35	FFAI_RMT16.LO LO_ALM.ALARM_STATE	uint8	สถานะของ Low Low Alarm ของบล็อก AI	Read

หมายเหตุ \* Read & Write (Manual Mode Only)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

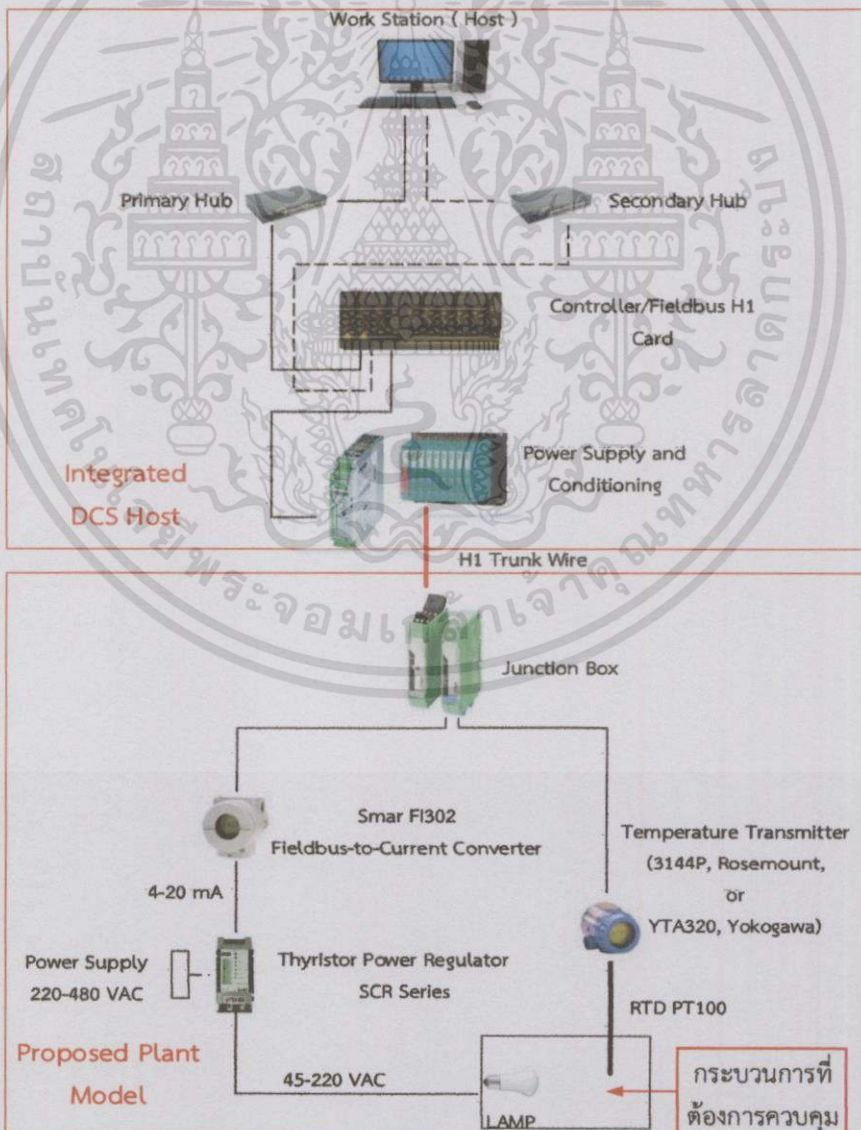
## บทที่ 4

# การใช้งานร่วมกับโฮสต์ระบบดีซีเอส

### 4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้นำเสนอการเชื่อมต่อของโฮสต์แบบระบบดีซีเอสเข้ากับอุปกรณ์ฟาว์นเดชันฟิลด์บัส อีกทั้งการกำหนดค่าโปรแกรมก่อนทำการทดลอง และการสร้างลูปควบคุม การคอมมิชชั่นนิ่งของการใช้งานร่วมกับโฮสต์ระบบดีซีเอสที่ใช้เครื่องดีซีเอสรุ่น DeltaV ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Emerson Process Management [4] รวมถึงการออกแบบหน้าต่างกราฟิกที่ใช้ในการทดลองเพื่อแสดงผลการทำงานของพลานต์โมเดลการควบคุมอุณหภูมิ

### 4.2 วิธีการเชื่อมต่อกับโฮสต์แบบระบบดีซีเอส



รูปที่ 4.1 การเชื่อมต่อในพลานต์โมเดลร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ตัดการเชื่อมต่อพลาเน็ตโมเดลกับโฮสต์แบบระบบดีซีเอส ซึ่งโดยทั่วไประบบดีซีเอสจะมีแหล่งจ่ายไฟและ Power Conditioner ติดตั้งรวมอยู่แล้ว ดังนั้นที่พลาเน็ตโมเดลจะต้องถอด (หมายเลข 3) สายเชื่อมต่อกับชุดแหล่งไฟกับ Power Conditioner (หมายเลข 4) ออกก่อน (ดูรูปที่ 2.5 ถอดสายไฟที่ขั้วหมายเลข 07 และ 08) ในการเชื่อมต่อระหว่างพลาเน็ตโมเดลและโฮสต์แบบดีซีเอส มีการเชื่อมต่อสายไฟ H1 Trunk ต่อเข้ากับ Junction Box (หมายเลข 3) ที่ขั้ว Trunk In (ดูรูปที่ 2.5 ขั้วหมายเลข 07 และ 08)

### 4.3 ขั้นตอนการกำหนดค่าโปรแกรมต่าง ๆ สำหรับงานวิศวกรรม

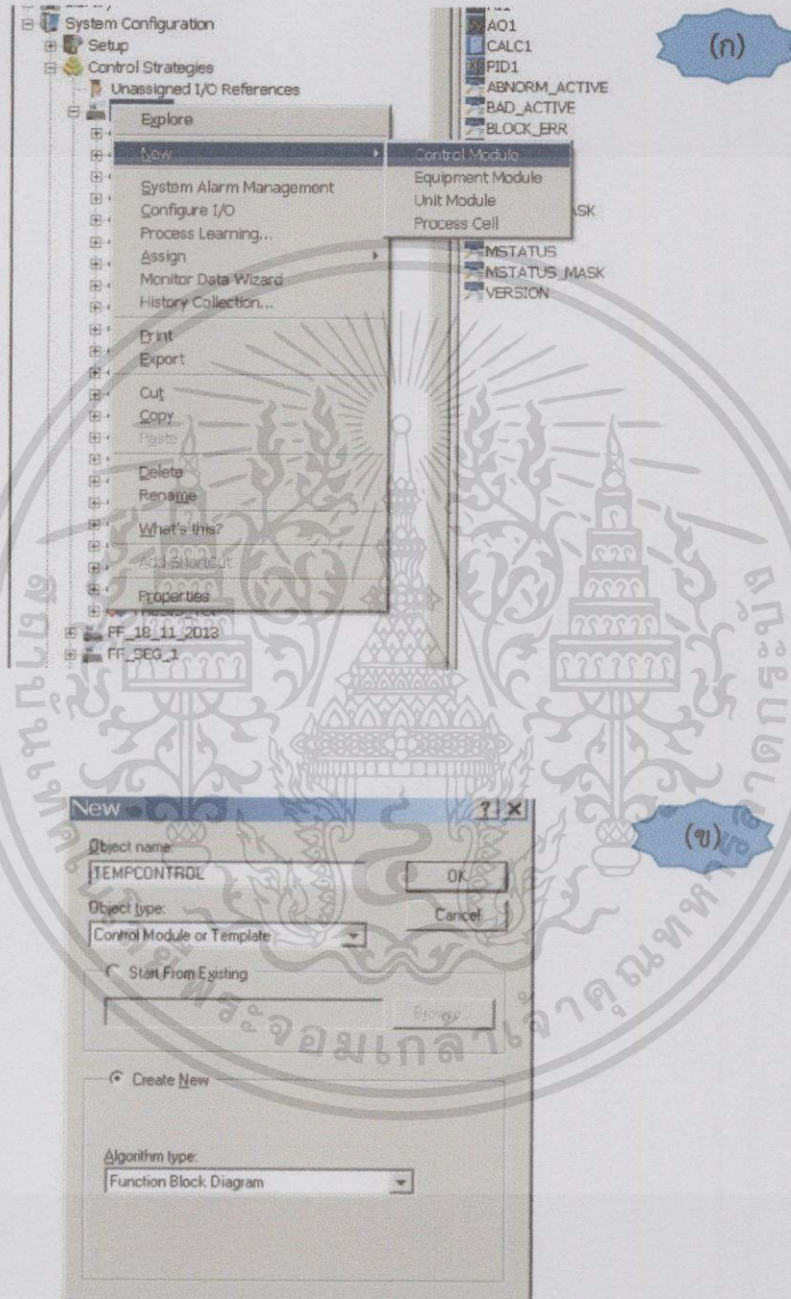
#### 4.3.1 การสร้าง New Field Device

ตารางที่ 4.1 สรุปคุณสมบัติอุปกรณ์เทคโนโลยีฟาวน์เดชันฟิลด์บัส

PD - Tag	Address	Vendor	Model	Device Function	Device Rev.	DD Rev.
TIT_501	30	Rosemount	3144P	Temperature Transmitter	2	1
TIT_502	31	Yokogawa	YTA320	Temperature Transmitter	2	1
DIY_501	33	Smar	FI302	Fieldbus-to-Current Converter	4	0005

### 4.3.2 การสร้างลูปควบคุม

1. สร้างโมดูลฟังก์ชันบล็อกที่ Control Strategies บริเวณ Area ที่ต้องการ โดยกดคลิกขวาที่ Area จากนั้นไปที่ New > Control Module ดังรูปที่ 4.2 โดยตั้งชื่อให้สัมพันธ์กระบวนการทดลอง

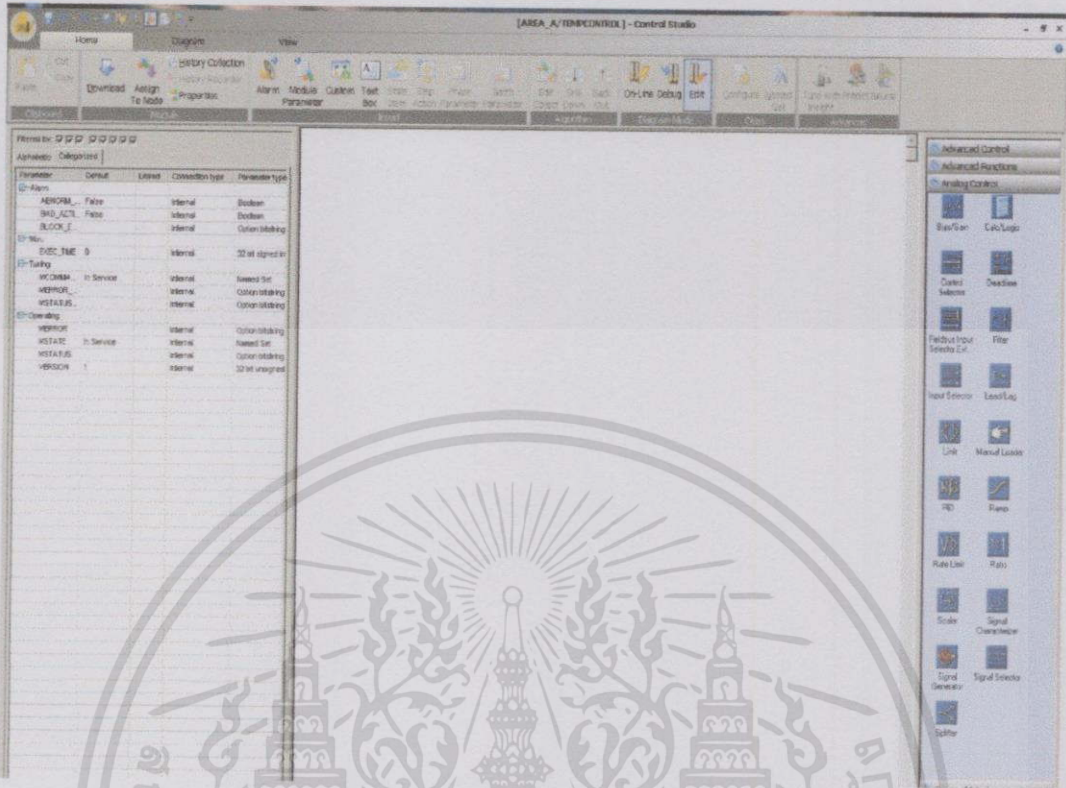


รูปที่ 4.2 การสร้าง Control Module ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

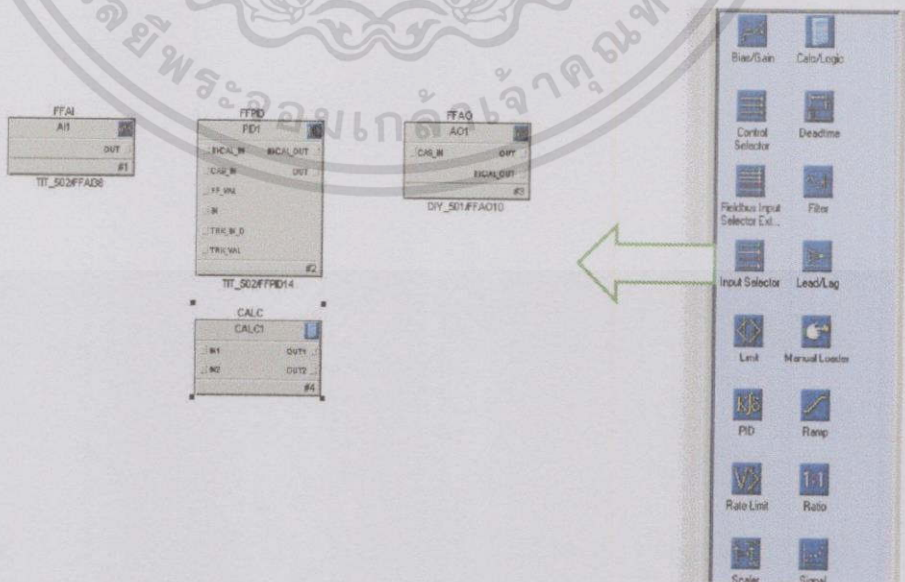


3. เมื่อเข้าโปรแกรม Control Studio แล้ว จะปรากฏขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 หน้าต่างโปรแกรม Control Studio

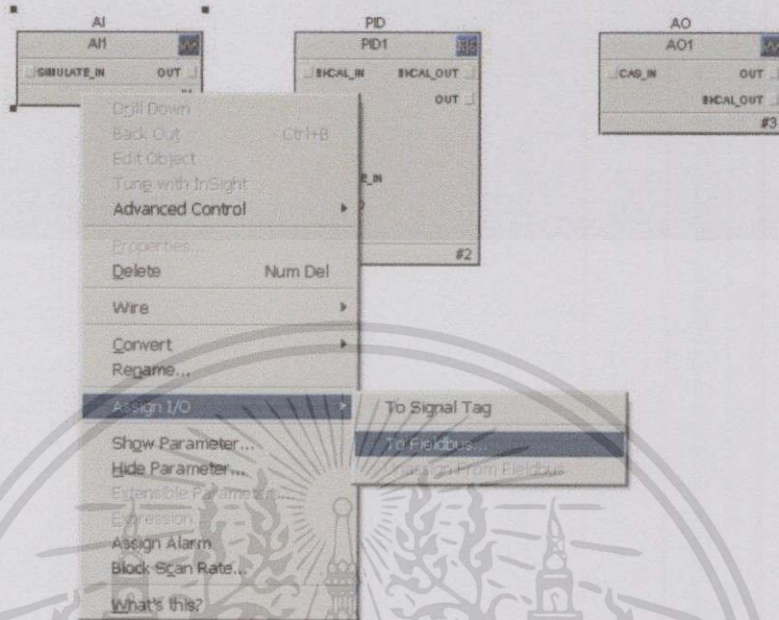
4. กดและลากบล็อกที่ใช้เพื่อสร้างบล็อก Analog Input Analog Output และ PID Block จากทางขวามือ ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 บล็อกที่ใช้ในการทดลอง

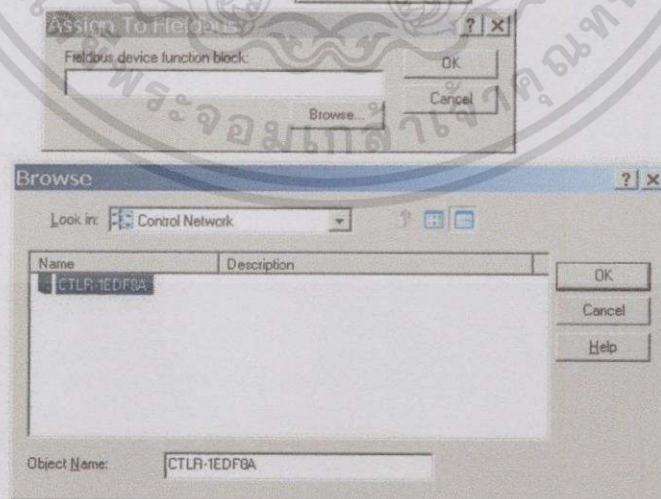
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อเลือกบล็อกที่ต้องการแล้ว ทำการ Assign to Fieldbus เพื่อตั้งค่าบล็อกกับอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.6



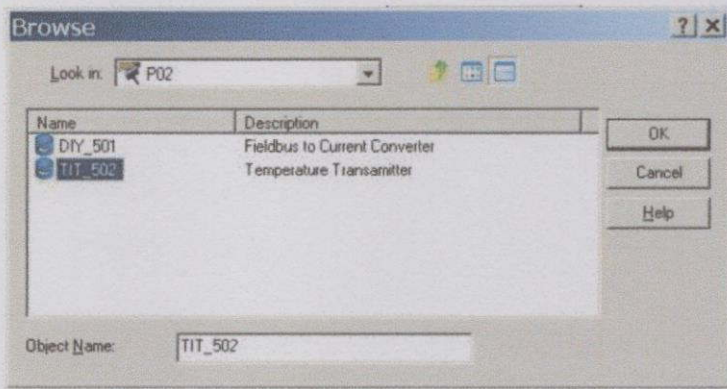
รูปที่ 4.6. การกำหนด Assign to Fieldbus ที่ใช้ในการทดลอง

6. เลือกที่อยู่ของ Block ที่ต้องการใช้การควบคุมการทดลอง ดังรูปที่ 4.7

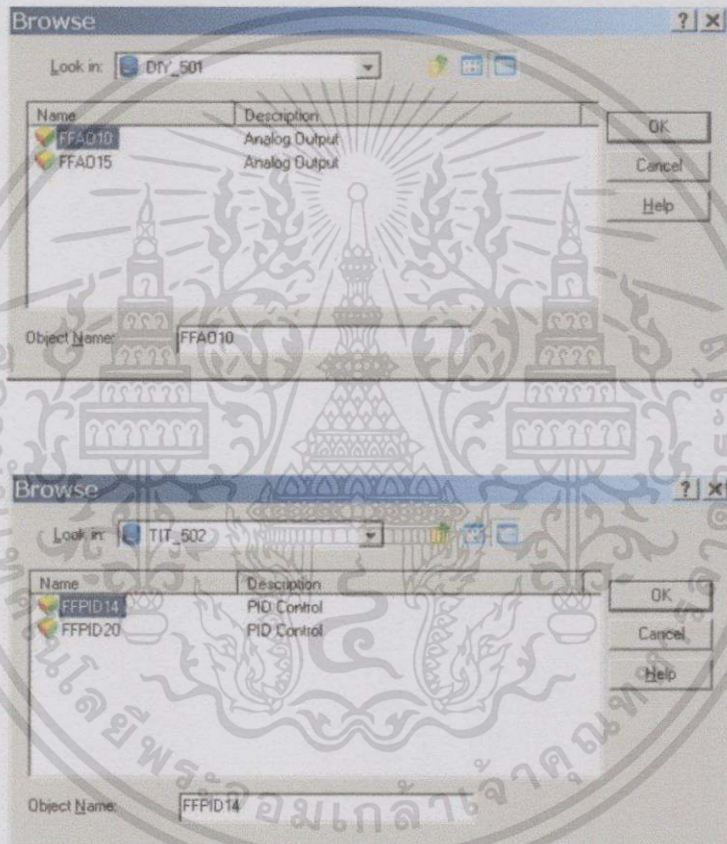


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



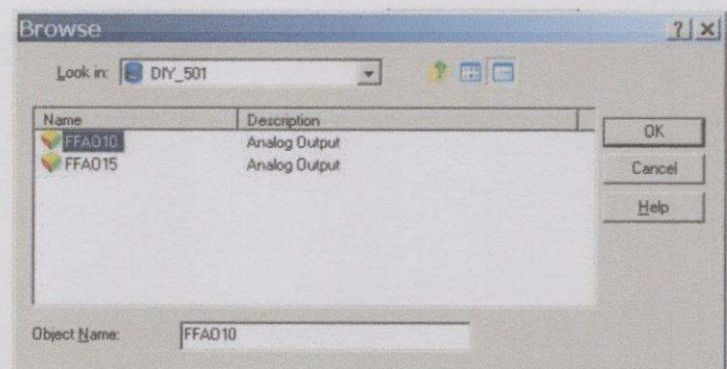
(ข)



(ค)



(ง)



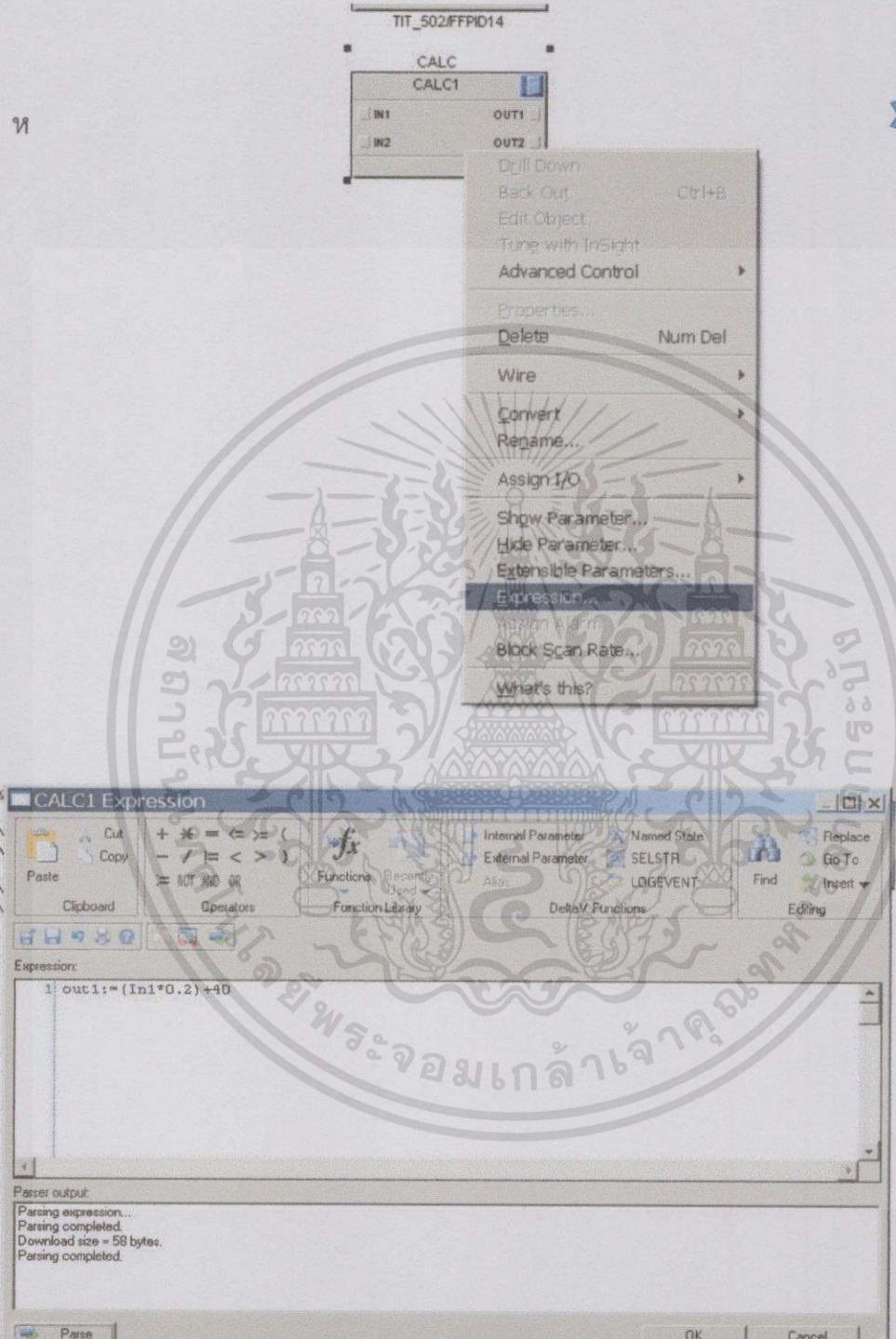
(จ)

#### รูปที่ 4.7 การเลือกอุปกรณ์และเชื่อมต่อกับบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การสร้างค่าอุณหภูมิที่ได้จาก ค่า Out\_Scale มีค่า 0-100 % ให้เป็นค่าอุณหภูมิเท่ากับ 40-60 °C โดยเข้าไปที่ Expression

ท



(ก)

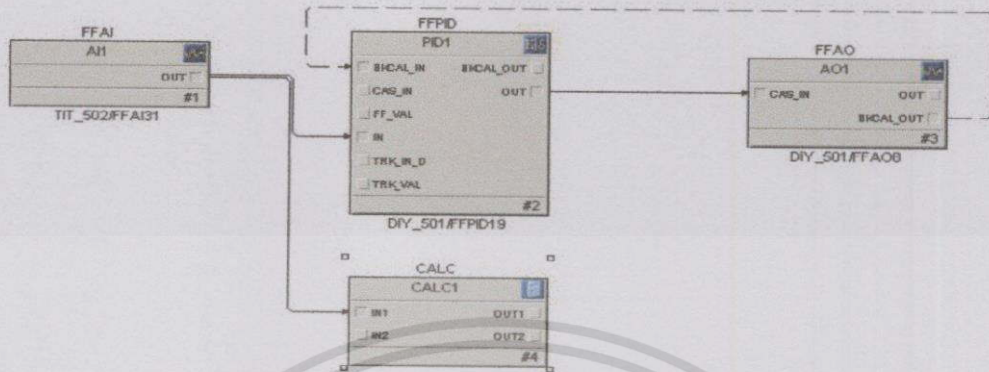
(ข)

รูปที่ 4.8 การสร้างค่าอุณหภูมิที่ใช้แสดงผลของกระบวนการวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำการลากสายตามหลักการทำให้ของ Feedback Control ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ดัง

รูปที่ 4.9



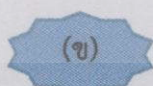
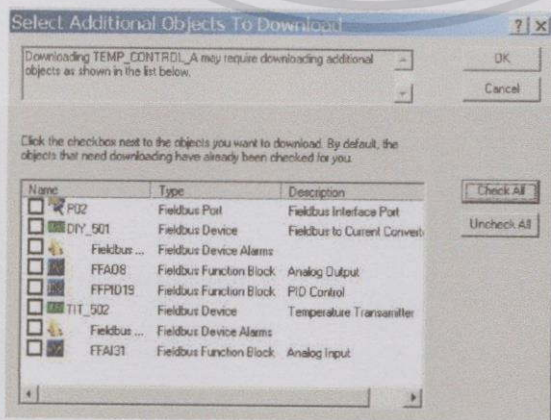
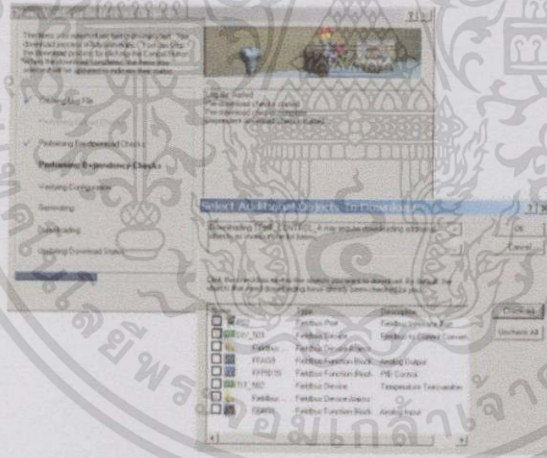
รูปที่ 4.9 แสดงบล็อกการควบคุม

9. กด



Download เพื่อดาวน์โหลดบล็อกที่ตั้งค่าไว้สำหรับ Controller ดังที่แสดงใน

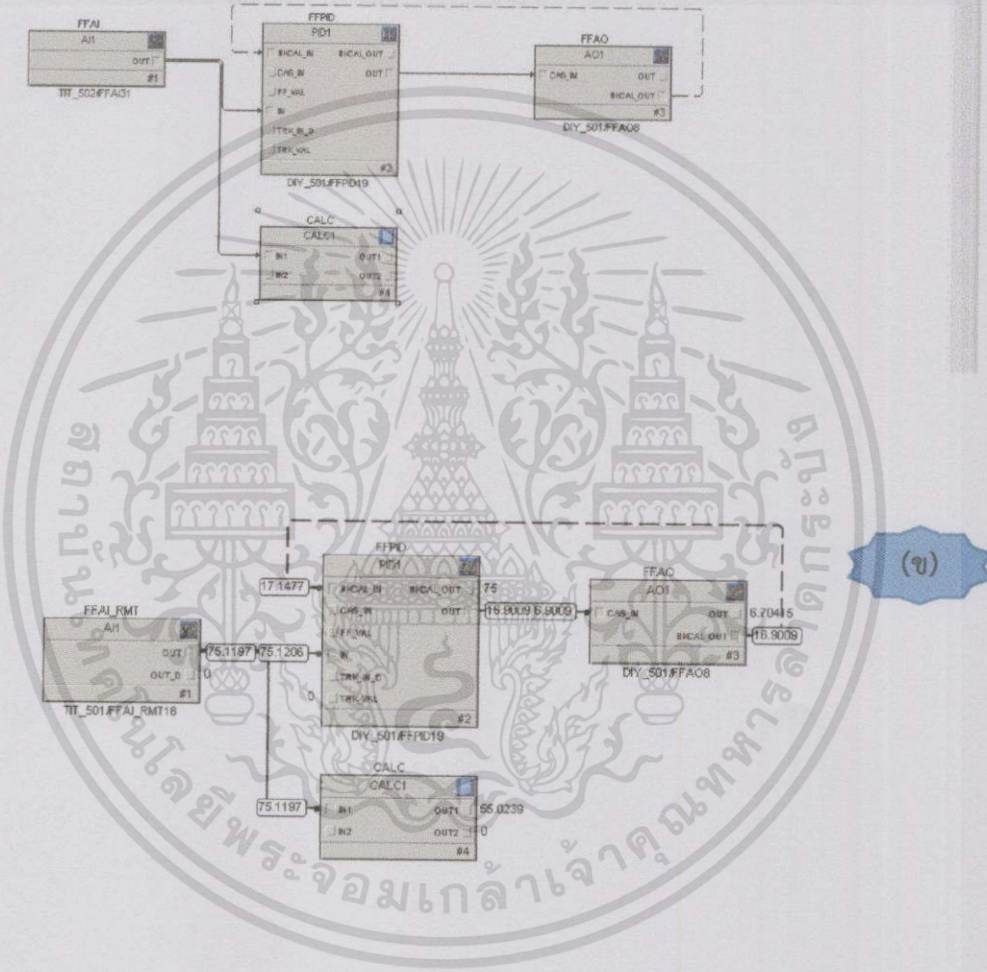
รูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 เลือกอุปกรณ์ที่จะ Download ในกระบวนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

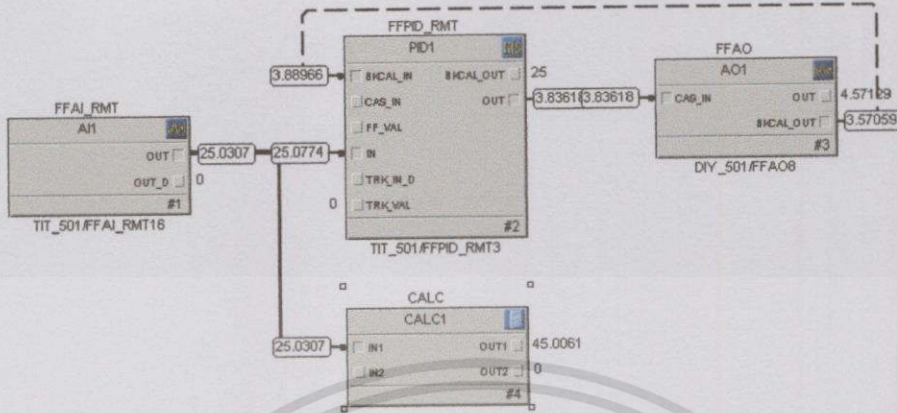
10. กด Online เพื่อแสดงสถานการณ์ออนไลน์



รูปที่ 4.11 การแสดงค่าขณะออนไลน์ระบบ Feedback Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. การเชื่อมต่อ Block Wiring Diagram โยสตร์ระบบดีซีเอส



รูปที่ 4.12 การเชื่อมต่อ Block Wiring Diagram โยสตร์ระบบดีซีเอสที่ใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ รุ่น Rosemount : 3144P เป็นบล็อก PID

4.3.3 การกำหนดตั้งค่าในฟังก์ชันบล็อก

4.3.3.1 ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ

ในกรณีศึกษานี้ได้มีการใช้ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ 2 ยี่ห้อ คือ Rosemount รุ่น 3144P (TIT\_501) และ Yokogawa รุ่น YTA320 (TIT\_502) โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการใช้งานในบล็อก AI และบล็อก PID ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ในบล็อก AI ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ

Parameter	TIT_501_AI1	TIT_502_AI1
I/O		
Channel	1	1
XD_Scale	40-60 °C	40-60 °C
Out_Scale	0 – 100 %	0 – 100 %
Operating		
Mode		
Normal Mode	Auto	Auto
Target Mode	Auto	Auto

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2(ต่อ) พารามิเตอร์ในบล็อก AI ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้งานทรานสมิตเตอร์  
อุณหภูมิ

Parameter	TIT_501_AI1	TIT_502_AI1
Tuning		
L_Type	Indirect	Indirect

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ในบล็อก PID ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้งานทรานสมิตเตอร์-  
อุณหภูมิ

Parameter	TIT_501_PID1	TIT_502_PID1
I/O		
Out_Scale	0 – 100 %	0 – 100 %
Operating Mode		
Normal Mode	Auto	Auto
Target Mode	Auto	Auto
Tuning		
Gain	1.4	1.43
Reset	99.2	115
Rate	18.5	5.6
PV_Scale	0 – 100 %	0 – 100 %

4.3.3.2 อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302

ในกรณีศึกษาได้มีการใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302 เป็นทั้งตัวควบคุม (บล็อกPID) และตัวเปลี่ยนสัญญาณฟิลด์บัสเป็นสัญญาณแอนะล็อกกระแส-มาตรฐาน 4-20 mA (บล็อก AO) โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการใช้งานในบล็อก PID และบล็อก AO ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ในบล็อก PID ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์-บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302

Parameter	DIY_501_PID (กรณีใช้ร่วมกับ TIT_501)	DIY_501_PID (กรณีใช้ร่วมกับ TIT_502)
I/O		
Out_Scale	0 – 100 %	0 – 100 %
Operating Mode		
Normal Mode	Auto	Auto
Target Mode	Auto/Manual	Auto/Manual
Tuning		
Gain	1.4	1.43
Reset	99.2	115
Rate	18.5	5.6
PV_Scale	0 – 100 %	0 – 100 %

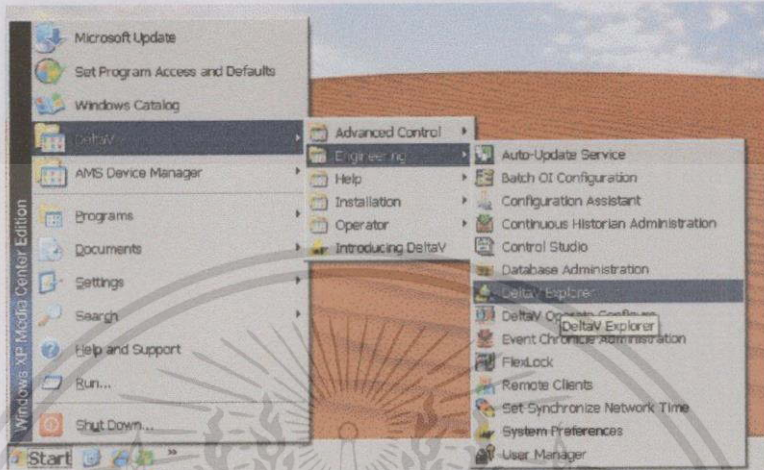
ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ในบล็อก AO ที่จำเป็นต้องกำหนดค่าในการใช้งานทรานสมิตเตอร์-อุณหภูมิ

Parameter	DIY_501_AO1
I/O	
Channel	1
XD_Scale	4 – 20 mA
Tuning	
PV_Scale	0 – 100 %
Operating Mode	
Normal Mode	Cascade
Target Mode	Cascade

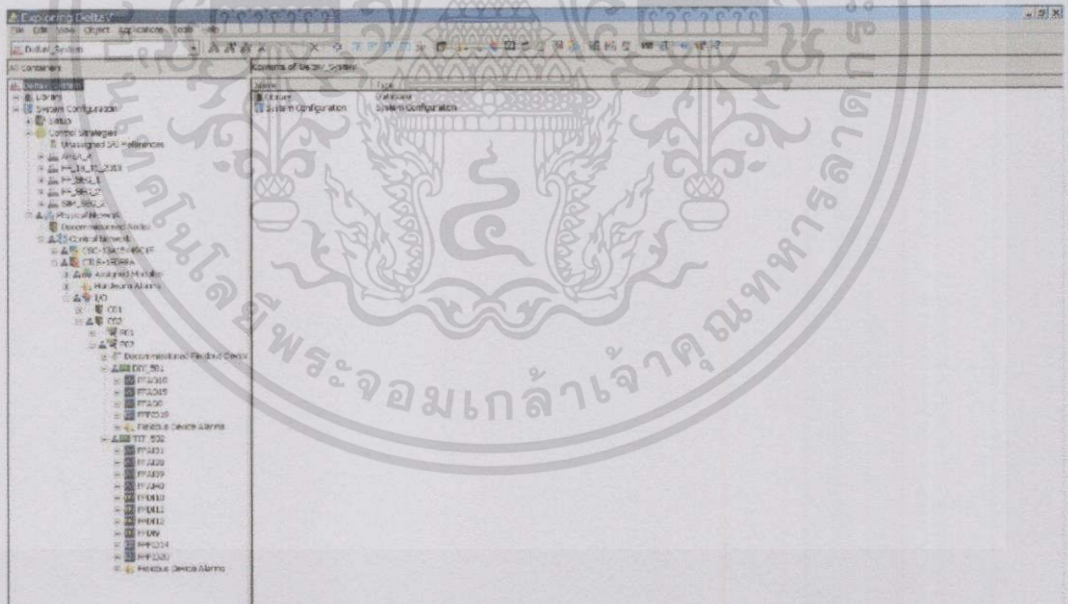
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.4 การคอมมิชชันนิง

1. เปิดโปรแกรม DeltaV Explorer โดยกด Start > DeltaV > Engineering > DeltaV Explorer



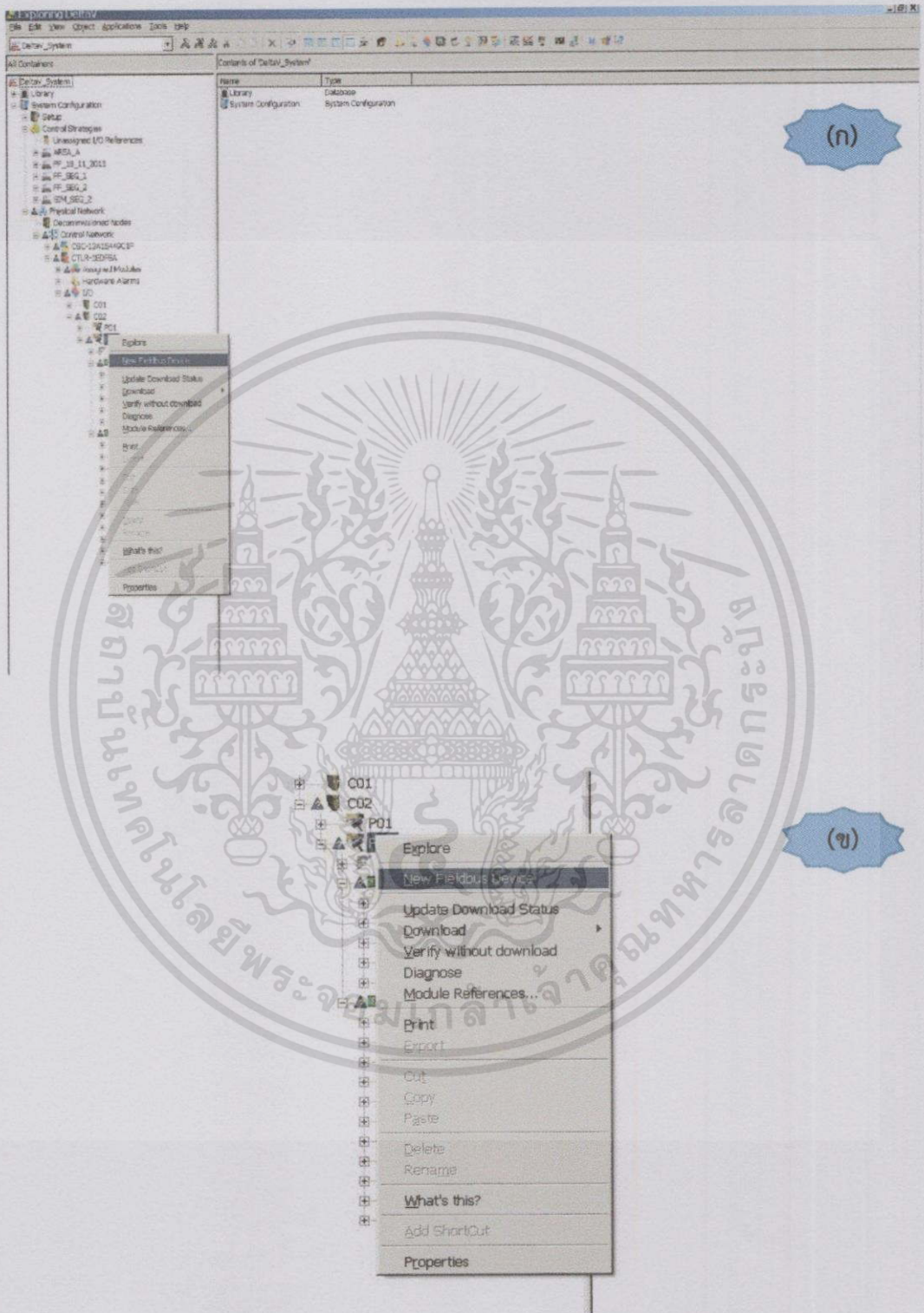
รูปที่ 4.13 การเปิดโปรแกรม DeltaV Explorer



รูปที่ 4.14 หน้าต่างโปรแกรม DeltaV Explorer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

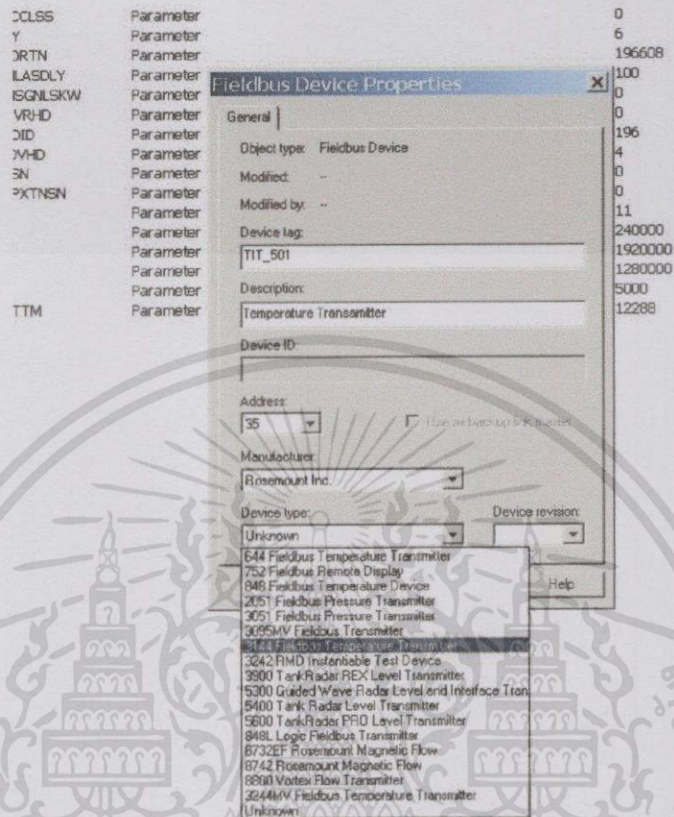
2. การกำหนดอุปกรณ์ภายใน H1 card ที่ใช้ในการทดลอง โดยคลิกขวาที่ P02 > New Fieldbus Device เพื่อสร้างกำหนด Tag ให้แต่ละตัวตามแบบ P&ID ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.15 การกำหนดอุปกรณ์ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใส่รายละเอียดของอุปกรณ์ คือ Device tag, Manufacturer, Device type, Device revision ให้ตรงกับอุปกรณ์ที่เราใช้ในการทดลอง ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.16 ตัวอย่างการกำหนดรายละเอียดของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Rosemount : 3144P

4. ทำการต่อสาย Fieldbus เข้ากับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อทำการ Decommissioned กับ อุปกรณ์ที่กำหนดไว้ใน P02 อุปกรณ์ที่ต่อกับระบบแต่ยังไม่ทำการคอมมิชชันนิ่งจะปรากฏขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ใน Segment 4 จะใช้ Card ที่ 2 และ Port ที่ 2 ซึ่งสามารถเลือก Card และ Port อื่น ๆ ได้โดยการนำสาย H1 ต่อใน Port อื่น ๆ

All Containers		Contents of 'Decommissioned Fieldbus Devices'							
		Name	Type	Mac...	Device ID	Address	Manufacturer	Device Type	Rate
		FI_501	Mismatch Fieldbus Device	Yes	0003020005:SMAR-F302:006004838	33	SMAR	Current Output Transmitter	4
		TIT_501	Mismatch Fieldbus Device	Yes	0011513144:EPM-TEMP-012763008	30	Rosemount Inc.	3144 Fieldbus Temperature ...	2


รูปที่ 4.17 อุปกรณ์ที่อยู่ในหมวด Decommissioning

**Exploring DeltaV**

Device FI\_501 has the same device ID (0003020005:SMAR-F302:006004838) as another device (DIY\_501) already in the database. Commissioning will change the device tag to match the database.

Are you sure you want to commission device FI\_501?

**Device Commissioning Wizard**



You are about to commission the selected device with the parameter values currently in the device.

If you wish to view and/or modify the parameters before commissioning the device, you may want to cancel the Device Commissioning Wizard and open the Configuration dialog for the device.

Alternately, you may want to create and preconfigure a placeholder and commission the device via that placeholder.

After the device is commissioned, a placeholder will be created with the parameter values from the physical device.

Click "Finish" to commission the device.

Click "Cancel" to terminate the device commissioning process and leave the device in the standby state.

รูปที่ 4.18 ทำการ Commissioning Wizard ให้แก่อุปกรณ์เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

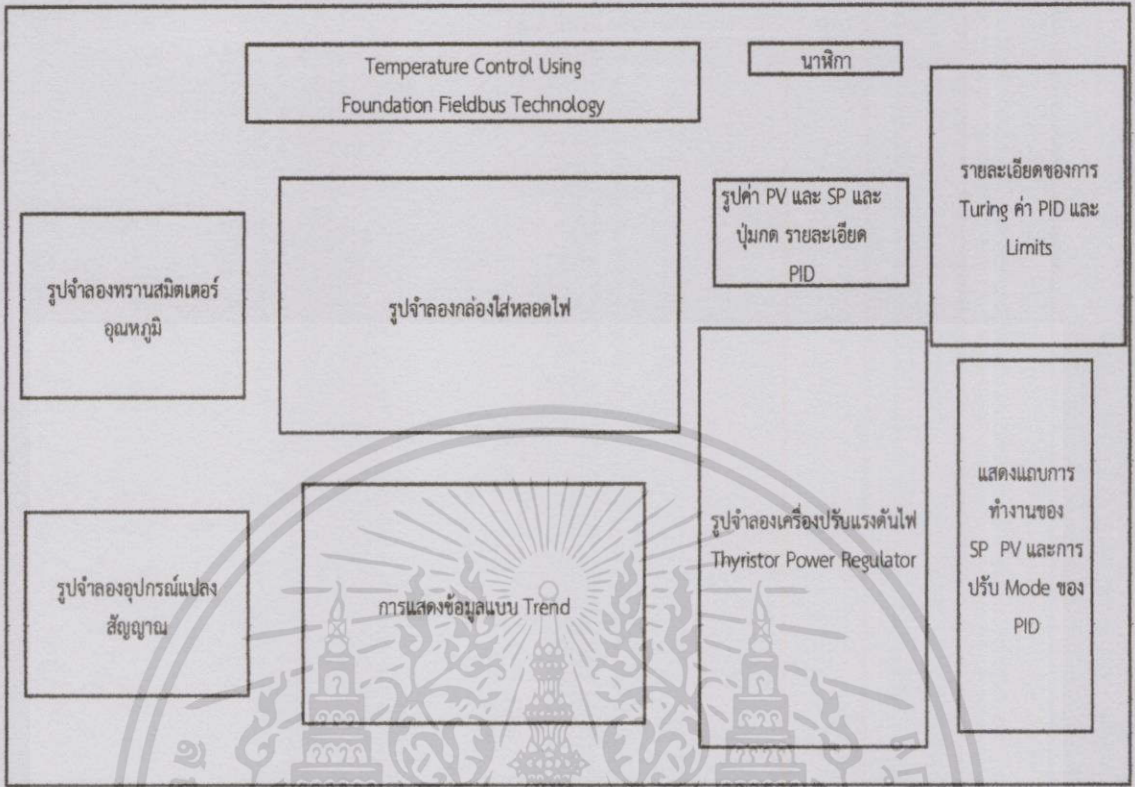
## 4.4 กราฟิกร์ที่ใช้งานในการทำการทดลอง

### 4.4.1 หน้ากรรฟิกร์

หน้ากรรฟิกร์ เป็นหน้าจ้าลองการทำงานของกรรบวนกรรจริง โดยมีรูปจ้าลองของ ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ อุปกรณ์คงค้่าก้่าล้งไฟฟ้่ารู้น SCR-1A030 และกล้องใส่ลลลดไฟ 100 W/220 VAC ผู้ใช้สามารถป้อนค้่า Set Point ผ่านในหน้านี้ได้และมี Display แสดงค้่า Process Value ซึ่งเป็นค้่าอุณหภูมิของทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ ค้่าเอาต์พุตของอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บ้ัสเป็นกรรแส นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถเลือก Mode การทำงานแบบ Auto และ Manual ได้จ้ากหน้านี้ และมี Alarm เตือนในกรรณที่อุณหภูมิต้่ากว่า 40 °C หรือมากกว่า 60 °C มีรายละเอียดของหน้ากรรฟิกร์สรรูปได้ด้ังนี้

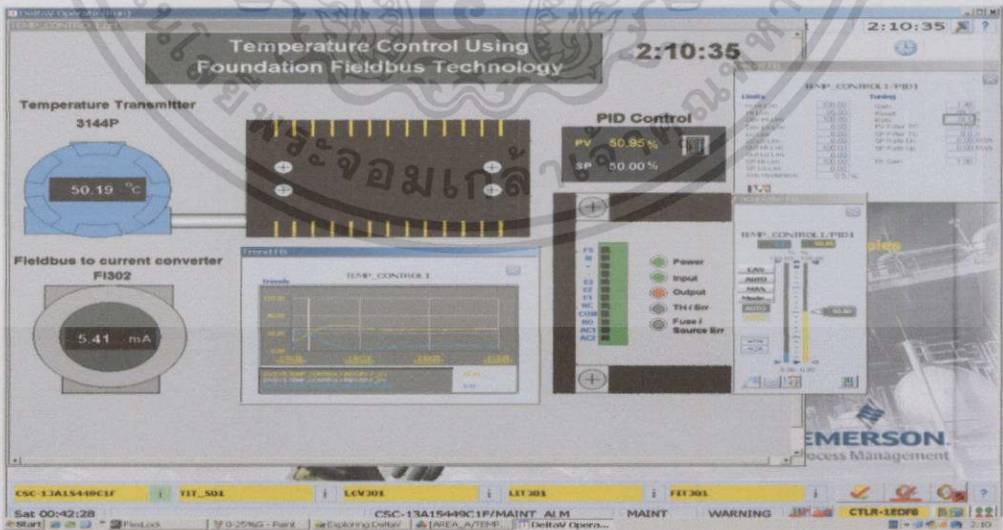
- Operator
  - แสดงแถบการทำงานของ SP PV และการปรับ PID Mode
  - รายละเอียดของการ Turing ค้่า PID และ Limits
- Display
  - ค้่า Process Value (PV)
  - ค้่า Set Point (SP)
  - ค้่า ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ (°C)
  - ค้่า อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บ้ัสเป็นกรรแส (4-20 mA)
  - การแสดงข้อมูลแบบ Trend
- รูปจ้าลอง Process
  - รูปจ้าลองทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ
  - รูปจ้าลองอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บ้ัสเป็นกรรแส
  - รูปจ้าลองกล้องใส่ลลลดไฟ
  - รูปจ้าลองอุปกรณ์คงค้่าก้่าล้งไฟฟ้่ารู้น SCR-1A030
  - รูปค้่า PV และ SP

4.4.2 โครงหน้าต่างที่ออกแบบ



รูปที่ 4.19 การออกแบบหน้ากราฟิก

4.4.3 หน้าต่างกราฟิกใช้บล็อก PID ที่ TIT\_501 และ DIY\_501



รูปที่ 4.20 หน้ากราฟิกที่ใช้ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Rosemount : 3144P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อ้างอิงในการสร้างข้อมูลหน้าต่างกราฟิกที่ใช้งานทรานสมิตเตอร์ อุณหภูมิรุ่น Rosemount : 3144P เป็นบล็อก PID

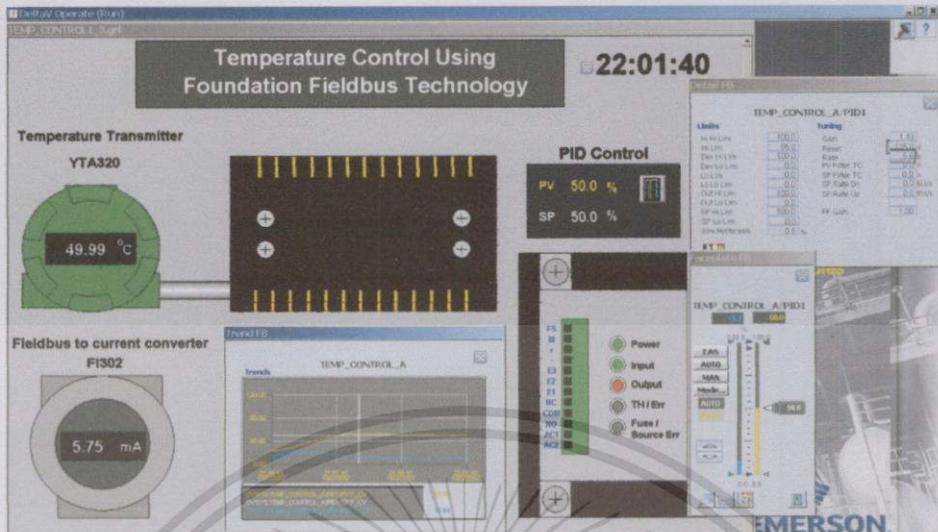
วัตถุประสงค์	Text Label	แหล่งข้อมูลของ Datalink
การแสดงค่าปัจจุบันของ อุณหภูมิ	CALC1/CV	DVSYS.TEMP_CONTROL1/CACL1/OUT1.F _CV
การแสดงค่าปัจจุบันของ อุปกรณ์แปลงสัญญาณ ฟิลด์บัสเป็นกระแส	DIY_501/OUT	DVSYS.TEMP_CONTROL1/AO1/OUT.F_CV
การควบคุม ค่าพารามิเตอร์และโหมด ของ PID	TIT_501/PV TIT_501/SP	DVSYS.TEMP_CONTROL1/PID1

ตารางที่ 4.7 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อ้างอิงในการสร้างข้อมูลหน้าต่างกราฟิกที่ใช้ อุปกรณ์แปลงสัญญาณ ฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302 เป็นบล็อก PID

วัตถุประสงค์	Text Label	แหล่งข้อมูลของ Datalink
การแสดงค่าปัจจุบันของ อุณหภูมิ	CALC1/CV	DVSYS.TEMP_CONTROL1/CACL1/OUT1.F _CV
การแสดงค่าปัจจุบันของ อุปกรณ์แปลงสัญญาณ ฟิลด์บัสเป็นกระแส	DIY_501/OUT	DVSYS.TEMP_CONTROL1/AO1/OUT.F_CV
การควบคุม ค่าพารามิเตอร์และโหมด ของ PID	DIY_501/PV DIY_501/SP	DVSYS.TEMP_CONTROL1/PID1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.4 หน้าต่างกราฟิกใช้บล็อก PID ที่ TIT\_502 และ DIY\_501



รูปที่ 4.21 หน้ากราฟิกที่ใช้ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Yokogawa : YTA320

ตารางที่ 4.8 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อ้างอิงในการสร้างข้อมูลหน้าต่างกราฟิกที่ใช้งานทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Yokogawa : YTA320 เป็นบล็อก PID

วัตถุประสงค์	Text Label	แหล่งข้อมูลของ Datalink
การแสดงค่าปัจจุบันของอุณหภูมิ	CALC1/CV	DVSYS.TEMP_CONTROL2/CACL1/OUT1.F_CV
การแสดงค่าปัจจุบันของอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลต์บัสเป็นกระแส	DIY_501/OUT	DVSYS.TEMP_CONTROL2/AO1/OUT.F_CV
การควบคุมค่าพารามิเตอร์และโหมดของ PID	TIT_502/PV TIT_502/SP	DVSYS.TEMP_CONTROL2/PID1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อ้างอิงในการสร้างข้อมูลหน้าต่างกราฟิกที่ใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) รุ่น FI302 เป็นบล็อก PID

วัตถุประสงค์	Text Label	แหล่งข้อมูลของ Datalink
การแสดงค่าปัจจุบันของอุณหภูมิ	CALC1/CV	DVSYSTEMP_CONTROL2/CACL1/OUT1.F_CV
การแสดงค่าปัจจุบันของอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส	DIY_501/OUT	DVSYSTEMP_CONTROL2/AO1/OUT.F_CV
การควบคุมค่าพารามิเตอร์และโหมดของ PID	DIY_502/PV DIY_502/SP	DVSYSTEMP_CONTROL2/PID1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

#### 5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้นำเสนอผลการควบคุมอุณหภูมิจากปลานต์โมเดลที่นำเสนอ โดยเริ่มต้นจากการปรับค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันการควบคุมแบบ PID โดยต่อปลานต์โมเดลร่วมกับโฮสต์ระบบดีซีเอส DeltaV เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมกระบวนการให้เป็นตามค่าเป้าหมายที่ต้องการ หลังจากได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแล้วจึงทำการทดลองการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ปลานต์โมเดลต่อร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะและโฮสต์ระบบดีซีเอส โดยมีการทดลอง 32 กรณีด้วยกัน

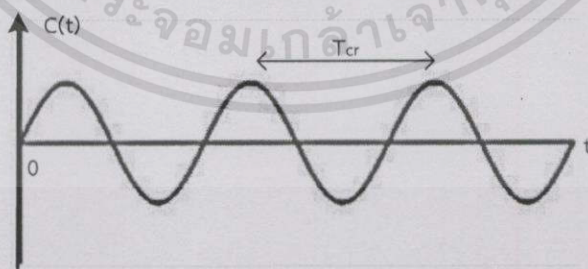
#### 5.2 การทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม

เลือกใช้วิธี Ultimate Method ของ Ziegler – Nichols (Closed Loop) [1]

วิธีนี้เป็นการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลการตอบสนองเวลาของระบบแบบลูปปิด โดยปรับพารามิเตอร์ของ Integral และ Derivative ไม่ให้ทำงานและทำการปรับค่า P (Proportional Gain) ขึ้นเรื่อยๆ ใช้วิธีปรับด้วยมือ (Manual Mode) โดยป้อนค่าตัวแปรในการควบคุม (Controlled Variable) ผลการตอบสนองของค่า PV เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Sustained Oscillations) ดังรูปที่ 5.1 (ถ้าผลตอบสนองเวลาไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง วิธีนี้จะใช้ไม่ได้) จากนั้นหาค่าของ  $K_{cr}$  และ  $T_{cr}$  เพื่อนำไปในการคำนวณดังตารางที่ 5.1 หาค่า  $K_c, T_i$  และ  $T_d$  ต่อไปโดยที่

$K_{cr}$  (Critical Gain) คือ อัตราขยายที่ทำให้ผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

$T_{cr}$  (Oscillation Period) คือ คาบเวลาของการแกว่งอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 5.1 ผลตอบสนองที่แกว่งอย่างต่อเนื่อง เมื่อปรับโดยวิธี Ultimate Method

Ziegler - Nichols ได้กำหนดค่าของ  $K_c, T_i$ , และ  $T_d$  สำหรับตัวควบคุม PID ตามวิธี Ultimate Method ไว้ดังตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 สูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Ultimate Method

Controller Type	Proportional Gain (Kc)	Integral Time (Ti)	Derivative Time (Td)
Proportional Only (P)	$K_{cr}/2$	-	-
Proportional - Integral (PI)	$K_{cr}/2.2$	$T_{cr}/1.2$	-
Proportional-Integral-Derivative (PID)	$K_{cr}/1.7$	$T_{cr}/2$	$T_{cr}/8$

สำหรับการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID โดยวิธีของ Ziegler - Nichols นี้ ไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุดที่จะนำมาใช้งานได้ทันทีเป็นเพียงค่าที่ใกล้เคียงเท่านั้น ดังนั้นผู้ควบคุมจะต้องทำการปรับค่าแบบละเอียด (Fine Tuning) อีกครั้งหนึ่งด้วยวิธีการปรับรายละเอียดเพิ่มเติมถ้าต้องการผลตอบสนองที่เป็นที่พอใจ โดยค่าโอเวอร์ชูตต้องไม่เกิน 10% และค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้มีค่าไม่เกิน  $\pm 2\%$  สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับช่วง 0 - 100% ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าอุณหภูมิในช่วง 0 - 100 %

ช่วงการใช้งาน (%)	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
0	40
25	45
50	50
75	55
100	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.1 การหาค่า Kc (Proportional Gain)

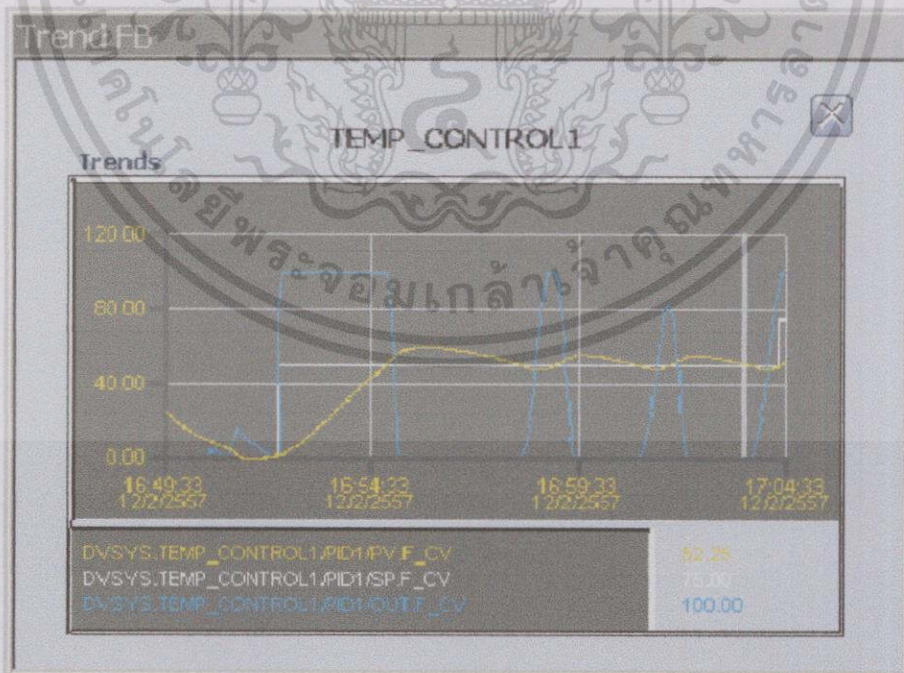
โดยจะปรับโหมดการทำงานของระบบให้อยู่ในโหมด Manual Mode ทำการทดลองโดยใส่ค่า MV เพิ่มขึ้นช่วงละ 25% และสังเกตค่า PV ที่เกิดขึ้น ค่า Proportional Gain (P) หาได้จาก PV/MV ของแต่ละช่วงและนำค่าที่ได้ทุกช่วงมาหาค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 5.3 ทำการทดลองโดยจับเวลาช่วงละ 10 นาที

mv	PV	PV/mv
0%	3%	0
25%	69.60%	2.78
50%	119.80%	2.34
75%	130.10%	1.73
100%	133.00%	1.33

หาค่าเฉลี่ย  $PV/MV = \frac{0+2.78+2.34+1.73+1.33}{5} = 1.64$  (Proportional Gain)

ทดลองโดยการใส่ค่า Proportional Gain = 1.64 สังเกตผลของการตอบสนองของ PV ที่แกว่งอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 5.2

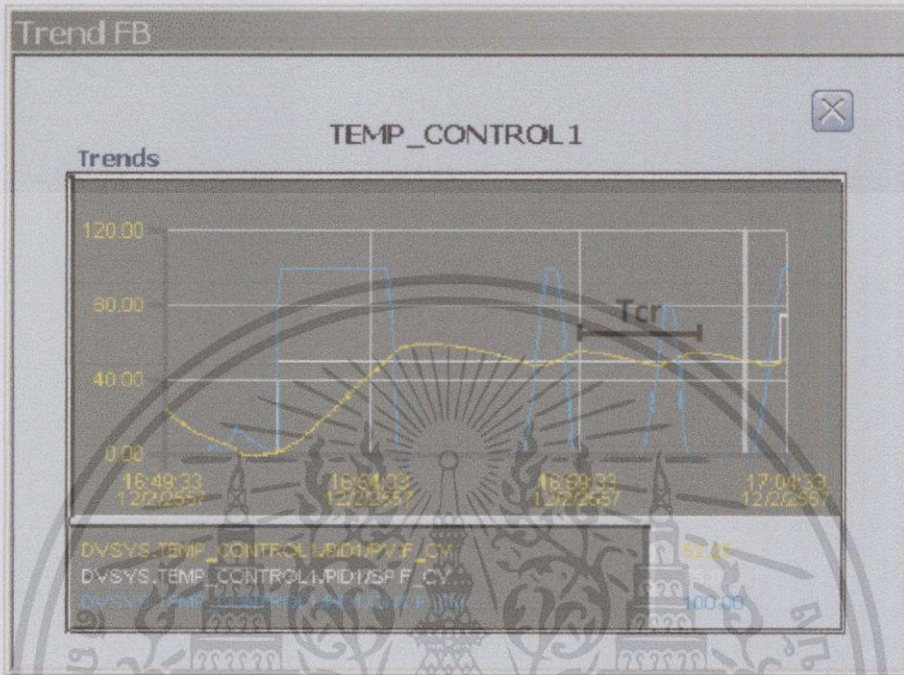


รูปที่ 5.2 แสดงการตอบสนองของค่า PV เมื่อมีการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.2 การหาค่า Ti (Integral Time)

จากกราฟของผลการตอบสนองของ PV สามารถหาค่า Ti ได้จากกราฟดัง รูปที่ 5.3 โดยใช้สูตรการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID จะได้ค่าเวลา คือ  $T_{cr}/2$



รูปที่ 5.3 แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในการหาค่า Ti

ค่า  $T_{cr}$  อยู่ในช่วง 16:59:40 - 17:02:17 = 157s

$$T_i = T_{cr}/2 = 157/2 = 78.5s$$

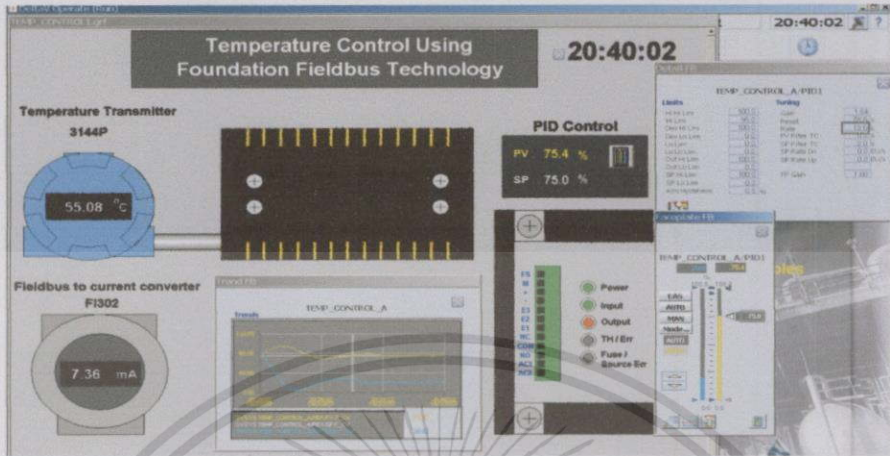
### 5.2.3 การหาค่า Td (Derivative Time)

ค่า  $T_d$  หาได้จากกราฟผลการตอบสนองของ PV ดังรูปที่ 5.3 โดยใช้สูตรการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID จะได้ค่าเวลา คือ  $T_{cr}/8$

ค่า  $T_{cr}$  อยู่ในช่วง 16:59:40 - 17:02:17 = 157s

$$T_d = T_{cr}/8 = 157/8 = 19.625s$$

### 5.2.3 ทดลองใส่ค่า PID ที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี



รูปที่ 5.4 แสดงกราฟที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่ได้จากทฤษฎี

จากรูปที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี ไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุดที่จะนำมาใช้งานได้ทันที เนื่องจากกราฟที่ได้เกิดค่า Overshoot สูงมาก จึงเป็นเพียงค่าที่ใกล้เคียงเท่านั้น ดังนั้นผู้ใช้งานต้องทำการปรับละเอียด (Fine Tuning) อีกครั้งหนึ่งเพื่อที่จะหาค่าที่ดีที่สุด ซึ่งค่าที่ดีที่สุดที่ปรับได้มาจากกระบวนการที่บล็อกพีไอดีมาจากทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิรุ่น Rosemount : 3144P คือ  $K_c = 1.40$ ,  $T_i = 99.2$  และ  $T_d = 18.5$  ค่าที่ดีที่สุดที่บล็อก PID ที่มาจากทรานสมิตเตอร์ Yokogawa : YTA320 คือ  $K_c = 1.43$ ,  $T_i = 115.0$  และ  $T_d = 5.6$

### 5.3 การทดลองการควบคุมอุณหภูมิ

จากการทดลองค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี ในหัวข้อที่ 5.2 คือ  $K_c=1.64$ ,  $T_i=78.5$  และ  $T_d=19.6$  เมื่อทำการปรับค่าอย่างละเอียด ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ค่าพารามิเตอร์สำหรับฟังก์ชันบล็อก PID

Tag	Device Model	PID Parameter		
		$K_c$	$T_i$	$T_d$
TIT_501	3144P	1.40	99.2	18.5
TIT_502	YTA320	1.43	115.0	5.6
DIY_501 (กรณีใช้ร่วมกับ TIT_501)	FI302	1.40	99.2	18.5
DIY_501 (กรณีใช้ร่วมกับ TIT_502)	FI302	1.43	115.0	5.6

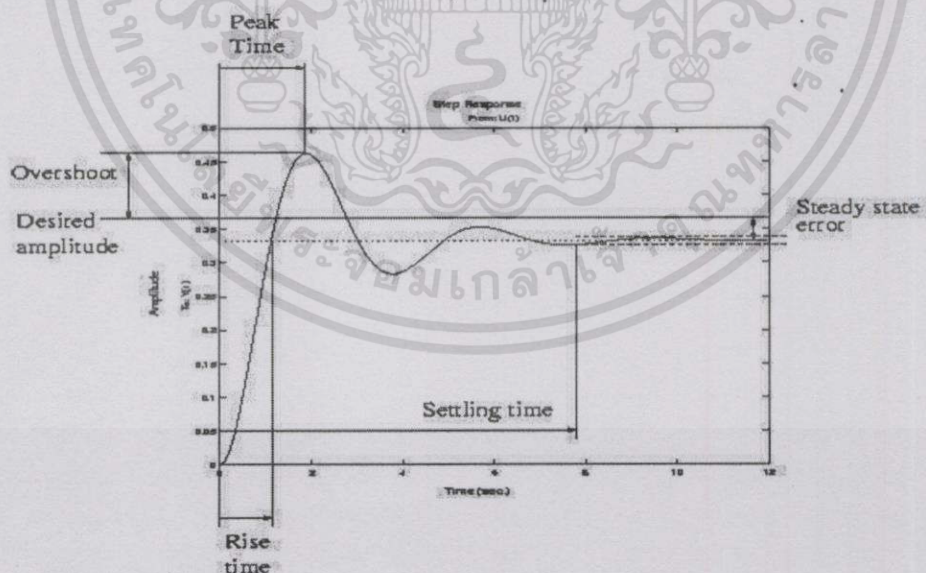
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองได้มีการใช้ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ 2 ยี่ห้อ คือ Rosemount รุ่น 3144P (TIT\_501) และ Yokogawa รุ่น YTA320 (TIT\_502) การทดลองด้วยโฮสต์แบบตั้งโต๊ะจะถูกแบ่งเป็น 2 เงื่อนไข คือ ไม่ใช้พัดลมโดยปิดพัดลม (Off Mode) และ ใช้พัดลมในการระบายความร้อนโดยเปิดพัดลม ในการทดลองที่ป้อนอินพุตเป็นแบบ Step Down (ช่วงขาลง) (Auto Mode) ซึ่งช่วยในช่วงขาลง ส่วนการทดลองด้วยโฮสต์ระบบดีซีเอสมีเงื่อนไขเดียวคือ ไม่ใช้พัดลม (Off Mode) การกำหนดค่าเป้าหมายเป็นฟังก์ชัน Step โดยมีการเปลี่ยนแปลงในช่วง 25% (Step ละ 25%) นั่นคือในช่วงขาขึ้นได้เปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายจาก 0% - 25%, 25% - 50%, 50% - 75% และ 75% - 100% ในทำนองเดียวกันในช่วงขาลงได้ทำการปรับลดเป็นฟังก์ชัน Step ดังนี้ 100% - 75%, 75% - 50%, 50% - 25% และ 25% - 0% จากนั้นบันทึกค่าเวลาตั้งแต่เปลี่ยนค่าเป้าหมายจนกระทั่งกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) ซึ่งเป็นค่า Settling time นั้นเอง

โดยรูปแบบการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.5 และ 5.6 สำหรับการทดลองใช้พลานต์โมเดลที่นำเสนอร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ ในกรณีที่ใช้ TIT\_501 และ TIT\_502 ตามลำดับ

ในกรณีที่ใช้โฮสต์แบบระบบดีซีเอส รูปแบบการทดลองที่กำหนดเพื่อทดสอบความสามารถในการทำงานของพลานต์โมเดลที่ได้นำเสนอสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.7 และ 5.8 ในกรณีที่ใช้ TIT\_501 และ TIT\_502 ตามลำดับ



รูปที่ 5.5 แสดงแนวโน้มของกราฟที่ควรเป็นไปได้ในการทดลอง

ตารางที่ 5.5 การทดลองใช้พลาสมาโมเดลร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะในกรณีที่ใช้ TIT\_501

กรณี	การใช้พัดลม		ตำแหน่ง PID		การเปลี่ยนค่าเป้าหมาย		ช่วงการเปลี่ยนแปลง
	Auto Mode	Off Mode	TIT_501	DIY_501	Step Up	Step Down	
1	✓		✓		✓		0-25%
2	✓		✓		✓		25-50%
3	✓		✓		✓		50-75%
4	✓		✓		✓		75-100%
5	✓		✓			✓	100-75%
6	✓		✓			✓	75-50%
7	✓		✓			✓	50-25%
8	✓		✓			✓	25-0%
9	✓			✓	✓		0-25%
10	✓			✓	✓		25-50%
11	✓			✓	✓		50-75%
12	✓			✓	✓		75-100%
13	✓			✓	✓	✓	100-75%
14	✓			✓	✓	✓	75-50%
15	✓			✓	✓	✓	50-25%
16	✓			✓	✓	✓	25-0%
17			✓		✓		0-25%
18		✓	✓		✓		25-50%
19		✓	✓		✓		50-75%
20		✓	✓		✓		75-100%
21		✓	✓			✓	100-75%
22		✓	✓			✓	75-50%
23		✓	✓			✓	50-25%
24		✓	✓			✓	25-0%
25		✓		✓	✓		0-25%
26		✓		✓	✓		25-50%
27		✓		✓	✓		50-75%
28		✓		✓	✓		75-100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 (ต่อ) การทดลองใช้ฟลลานต์โมเดลร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะในกรณีที่ใช้ TIT\_501

กรณีที่ใช้	การใช้พัลลล		ตำแหน่ง PID		การเปลี่ยลค่าเป้าหมาย		ช่วงการเปลี่ยลแปลง
	Auto Mode	Off Mode	TIT_501	DIY_501	Step Up	Step Down	
29		✓		✓		✓	100-75%
30		✓		✓		✓	75-50%
31		✓		✓		✓	50-25%
32		✓		✓		✓	25-0%

ตารางที่ 5.6 การทดลองใช้ฟลลานต์โมเดลร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะในกรณีที่ใช้ TIT\_502

กรณีที่ใช้	การใช้พัลลล		ตำแหน่ง PID		การเปลี่ยลค่าเป้าหมาย		ช่วงการเปลี่ยลแปลง
	Auto Mode	Off Mode	TIT_502	DIY_501	Step Up	Step Down	
1	✓		✓		✓		0-25%
2	✓		✓		✓		25-50%
3	✓		✓		✓		50-75%
4	✓		✓		✓		75-100%
5	✓		✓			✓	100-75%
6	✓		✓			✓	75-50%
7	✓		✓			✓	50-25%
8	✓		✓			✓	25-0%
9	✓			✓	✓		0-25%
10	✓			✓	✓		25-50%
11	✓			✓	✓		50-75%
12	✓			✓	✓		75-100%
13	✓			✓		✓	100-75%
14	✓			✓		✓	75-50%
15	✓			✓		✓	50-25%
16	✓			✓		✓	25-0%
17		✓	✓		✓		0-25%
18		✓	✓		✓		25-50%
19		✓	✓		✓		50-75%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 (ต่อ) การทดลองใช้พลาสมาโมเดลร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะในกรณีที่ใช้ TIT\_502

กรณีที่ใช้	การใช้พัลลัม		ตำแหน่ง PID		การเปลี่ยนค่าเป้าหมาย		ช่วงการเปลี่ยนแปลง
	Auto Mode	Off Mode	TIT_502	DIY_501	Step Up	Step Down	
20		✓	✓		✓		75-100%
21		✓	✓			✓	100-75%
22		✓	✓			✓	75-50%
23		✓	✓			✓	50-25%
24		✓	✓			✓	25-0%
25		✓		✓	✓		0-25%
26		✓		✓	✓		25-50%
27		✓		✓	✓		50-75%
28		✓		✓	✓		75-100%
29		✓		✓		✓	100-75%
30		✓		✓		✓	75-50%
31		✓		✓		✓	50-25%
32		✓		✓		✓	25-0%

ตารางที่ 5.7 การทดลองใช้พลาสมาโมเดลร่วมกับโฮสต์แบบระบบดีซีเอสในกรณีที่ใช้ TIT\_501

กรณีที่ใช้	ตำแหน่ง PID		การเปลี่ยนค่าเป้าหมาย		ช่วงการเปลี่ยนแปลง
	TIT_501	DIY_501	Step Up	Step Down	
1	✓		✓		0-25%
2	✓		✓		25-50%
3	✓		✓		50-75%
4	✓		✓		75-100%
5	✓			✓	100-75%
6	✓			✓	75-50%
7	✓			✓	50-25%
8	✓			✓	25-0%
9		✓	✓		0-25%
10		✓	✓		25-50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 (ต่อ) การทดลองใช้ฟลานต์โมเดลร่วมกับโฮสต์แบบระบบติซีเอสในกรณีที่ใช้ TIT\_501

กรณีที่ใช้	ตำแหน่ง PID		การเปลี่ยนค่าเป้าหมาย		ช่วงการเปลี่ยนแปลง
	TIT_501	DIY_501	Step Up	Step Down	
11		✓	✓		50-75%
12		✓	✓		75-100%
13		✓		✓	100-75%
14		✓		✓	75-50%
15		✓		✓	50-25%
16		✓		✓	25-0%

ตารางที่ 5.8 การทดลองใช้ฟลานต์โมเดลร่วมกับโฮสต์แบบระบบติซีเอสในกรณีที่ใช้ TIT\_502

กรณีที่ใช้	ตำแหน่ง PID		การเปลี่ยนค่าเป้าหมาย		ช่วงการเปลี่ยนแปลง
	TIT_502	DIY_501	Step Up	Step Down	
1	✓		✓		0-25%
2	✓		✓		25-50%
3	✓		✓		50-75%
4	✓		✓		75-100%
5	✓			✓	100-75%
6				✓	75-50%
7	✓			✓	50-25%
8	✓			✓	25-0%
9		✓	✓		0-25%
10		✓	✓		25-50%
11		✓	✓		50-75%
12		✓	✓		75-100%
13		✓		✓	100-75%
14		✓		✓	75-50%
15		✓		✓	50-25%
16		✓		✓	25-0%

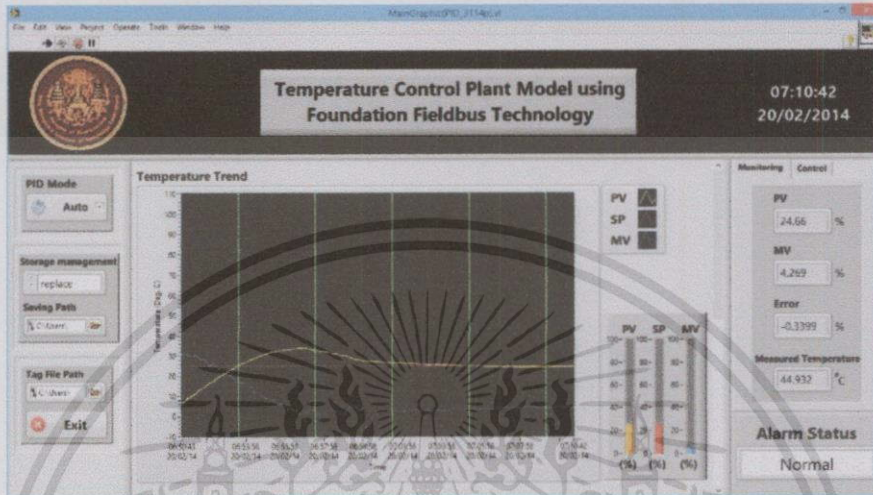
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.2 ผลการทดลองด้วยโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ

#### 5.3.2.1 ผลการทดลองจากเงื่อนไขในตารางที่ 5.5

โดยมีค่าอุณหภูมิแวดล้อมในขณะทำการทดลอง 24 °C

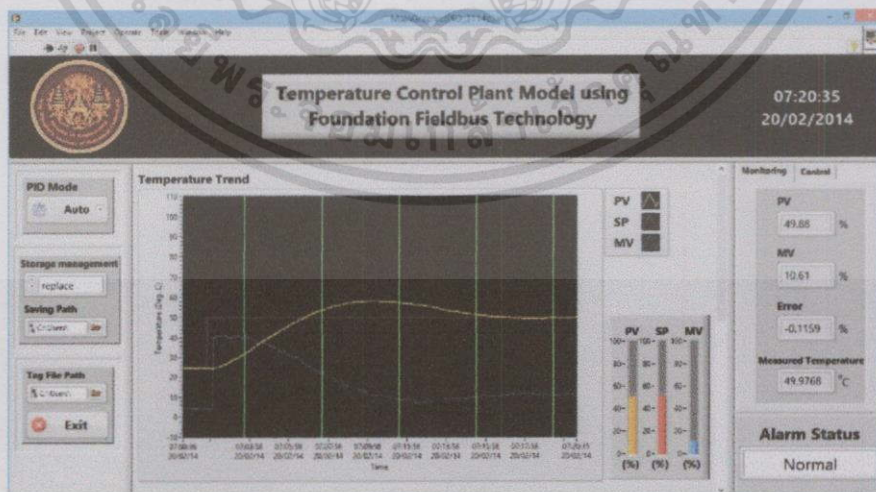
##### 1) กรณีที่ 1



รูปที่ 5.6 ผลการทดลองกรณีที่ 1 จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.6 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 0% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 10 นาที 42 วินาที เกิด Overshoot 8.9% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.4\%$

##### 2) กรณีที่ 2

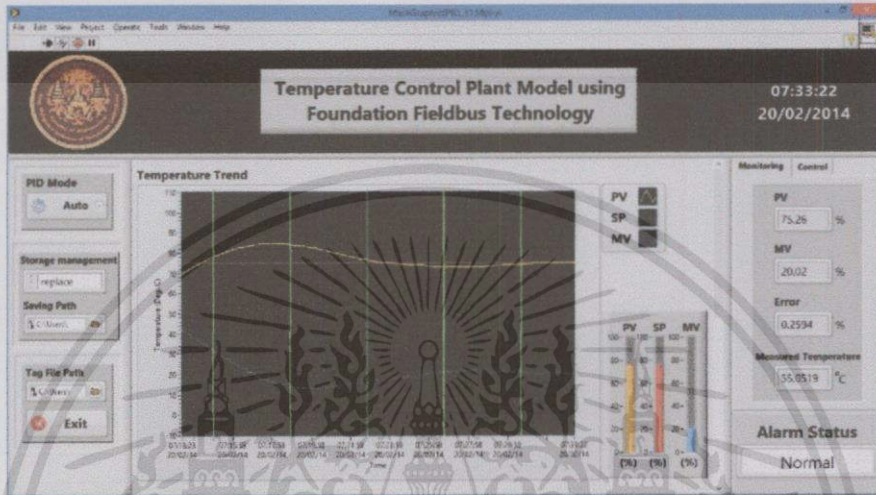


รูปที่ 5.7 ผลการทดลองกรณีที่ 2 จากตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.7 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 9 นาที 36 วินาที เกิด Overshoot 8.3% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.3\%$

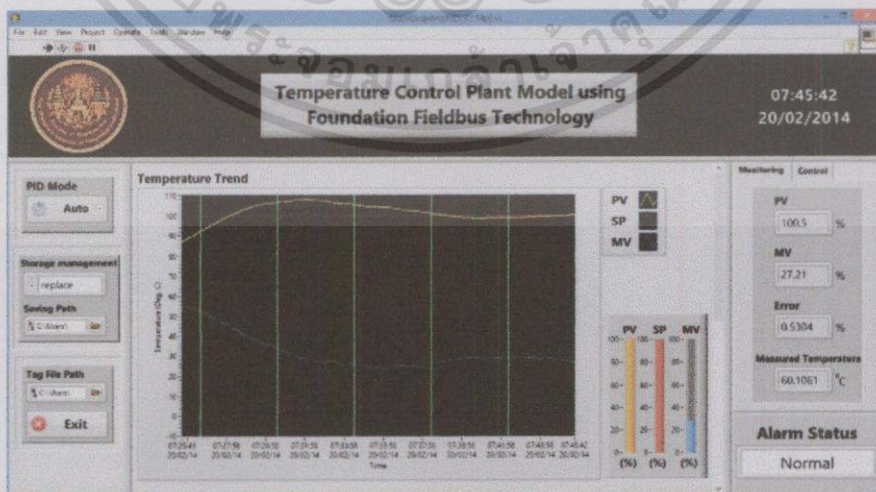
### 3) กรณีที่ 3



รูปที่ 5.8 ผลการทดลองกรณีที่ 3 จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.8 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 12 นาที 22 วินาที เกิด Overshoot 9.8% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.8\%$

### 4) กรณีที่ 4

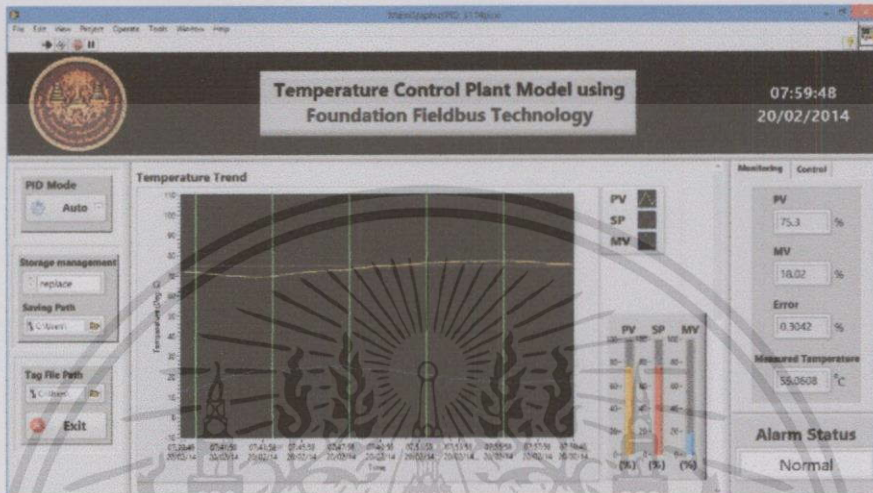


รูปที่ 5.9 ผลการทดลองกรณีที่ 4 จากตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.9 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 100% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 11 นาที 42 วินาที เกิด Overshoot 7.9% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.5\%$

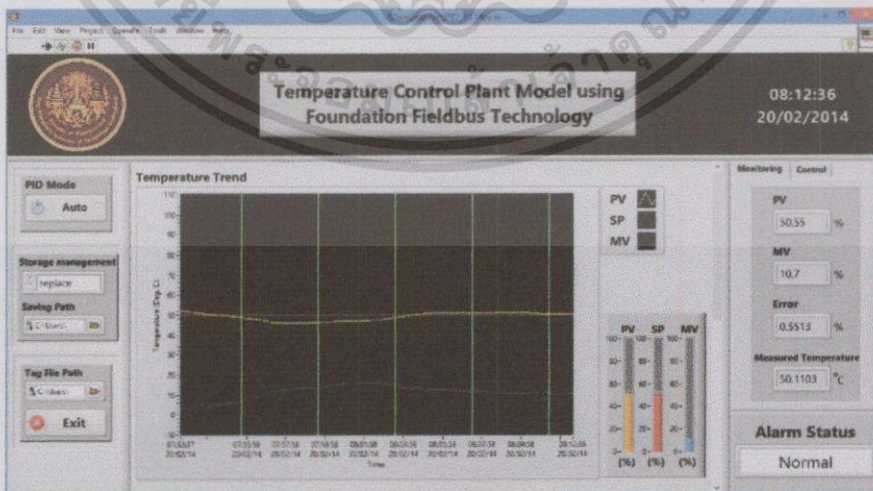
### 5) กรณีที่ 5



รูปที่ 5.10 ผลการทดลองกรณีที่ 5 จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.10 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 100% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 13 นาที 48 วินาที เกิด Overshoot 5.4% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.8\%$

### 6) กรณีที่ 6

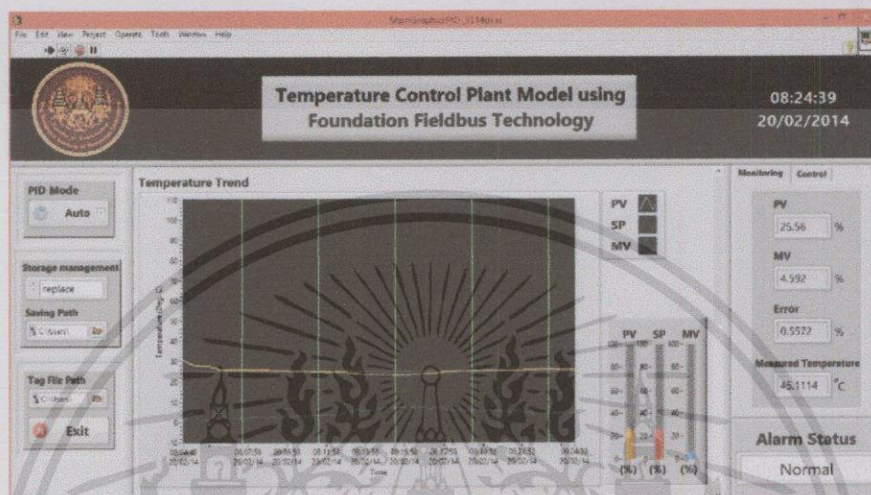


รูปที่ 5.11 ผลการทดลองกรณีที่ 6 จากตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.11 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 12 นาที 36 วินาที เกิด Overshoot 3.8% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.5\%$

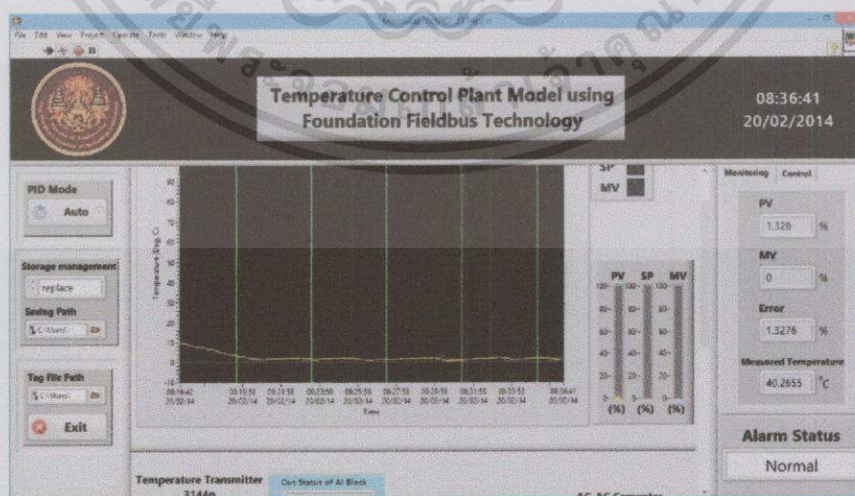
### 7) กรณีที่ 7



รูปที่ 5.12 ผลการทดลองกรณีที่ 7 จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.12 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 11 นาที 39 วินาที เกิด Overshoot 1.8% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.5\%$

### 8) กรณีที่ 8

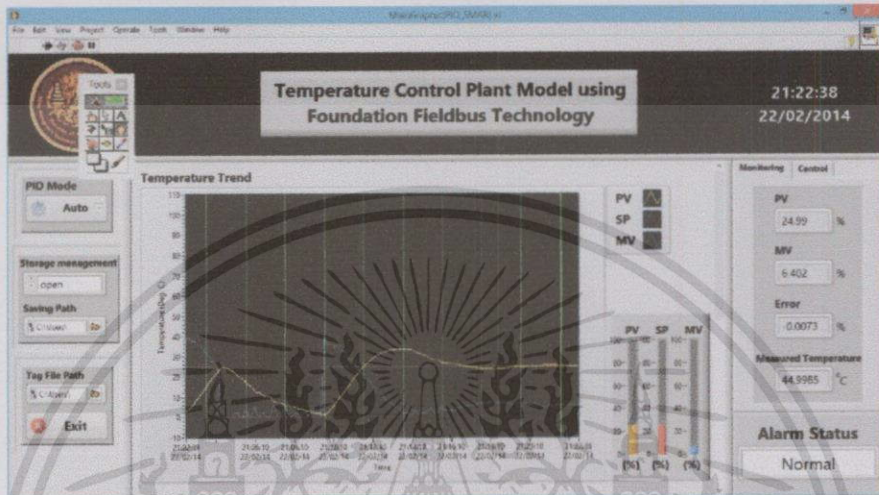


รูปที่ 5.13 ผลการทดลองกรณีที่ 8 จากตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.13 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 11 นาที 49 วินาที ไม่เกิด Overshoot และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.3\%$

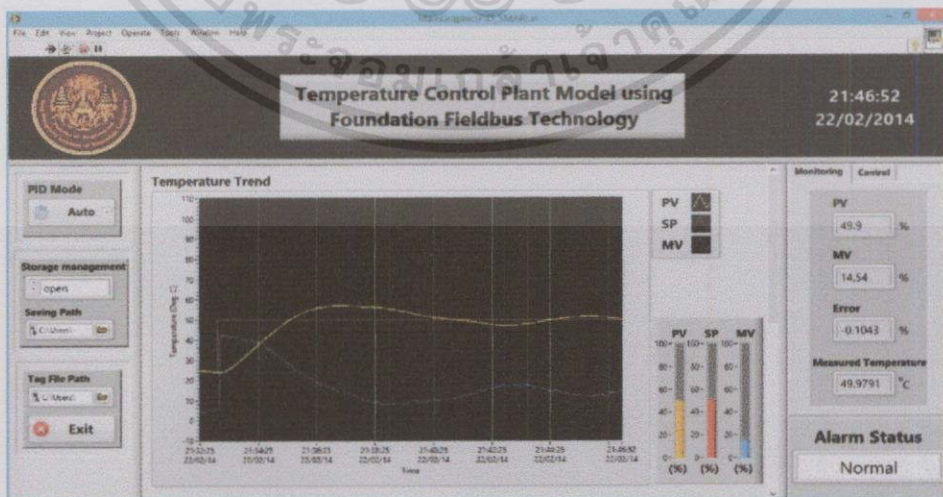
### 9) กรณีที่ 9



รูปที่ 5.14 ผลการทดลองกรณีที่ 9 จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.14 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 0% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 12 นาที 38 วินาที เกิด Overshoot 8.6% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.8\%$

### 10) กรณีที่ 10

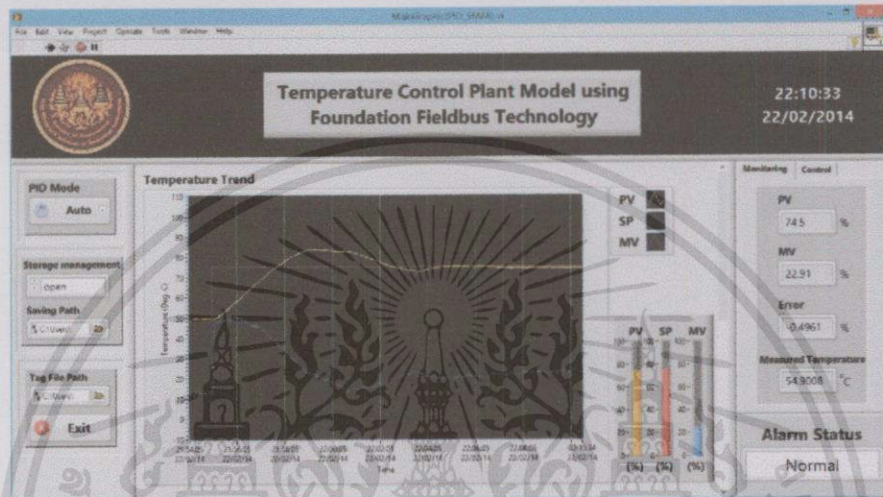


รูปที่ 5.15 ผลการทดลองกรณีที่ 10 จากตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.15 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 13 นาที 52 วินาที เกิด Overshoot 7.3% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.2\%$

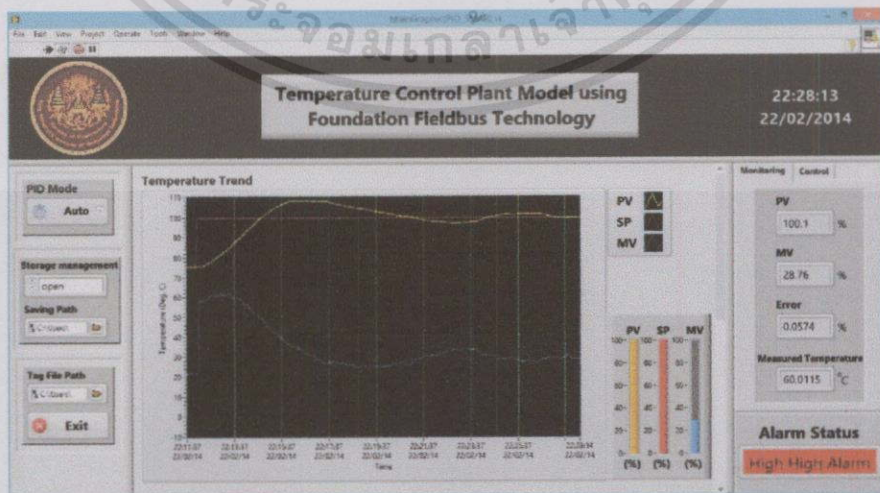
### 11) กรณีที่ 11



รูปที่ 5.16 ผลการทดลองกรณีที่ 11 จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.16 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 15 นาที 33 วินาที เกิด Overshoot 8.8% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.5\%$

### 12) กรณีที่ 12

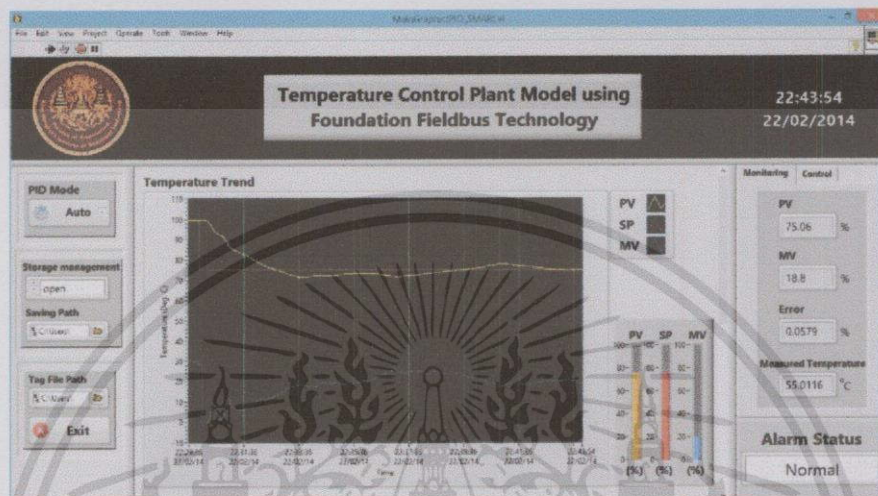


รูปที่ 5.17 ผลการทดลองกรณีที่ 12 จากตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.17 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 100% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 16 นาที 13 วินาที เกิด Overshoot 8.4% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.0\%$

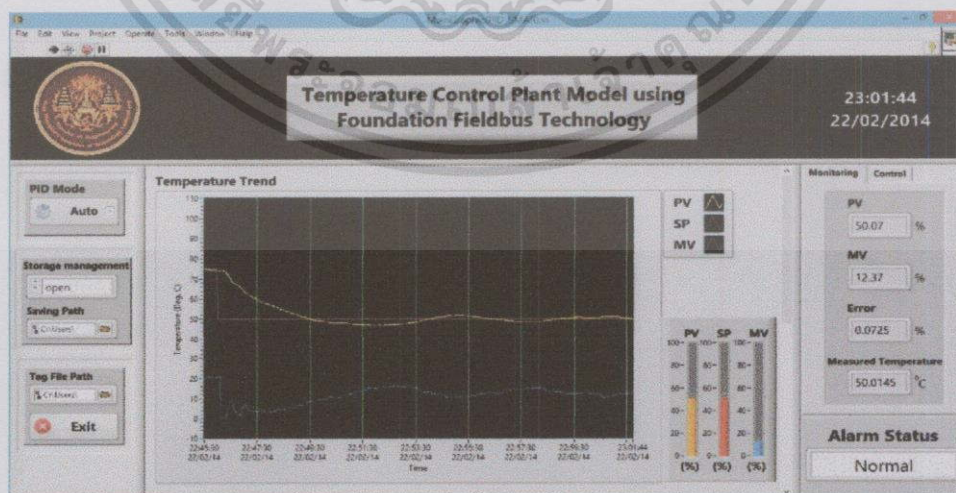
### 13) กรณีที่ 13



รูปที่ 5.18 ผลการทดลองกรณีที่ 13 จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.18 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 100% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 13 นาที 54 วินาที เกิด Overshoot 3.3% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.3\%$

### 14) กรณีที่ 14

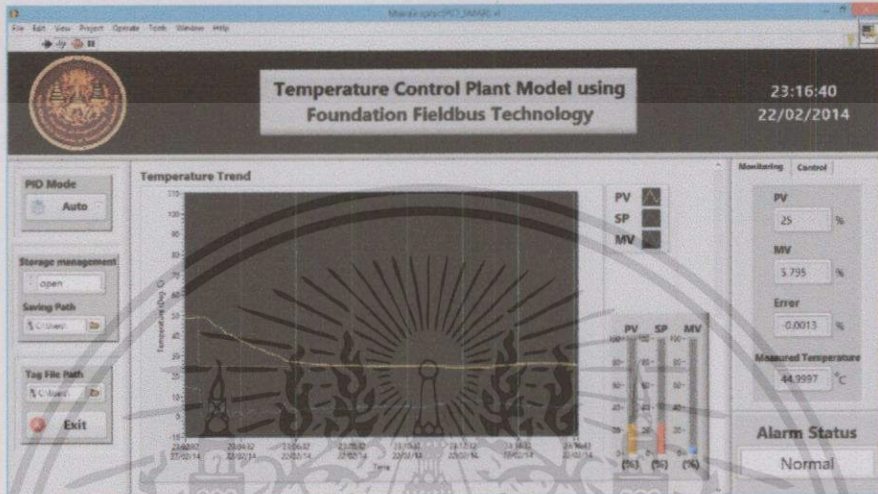


รูปที่ 5.19 ผลการทดลองกรณีที่ 14 จากตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.19 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 15 นาที 44 วินาที เกิด Overshoot 3.1% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.4\%$

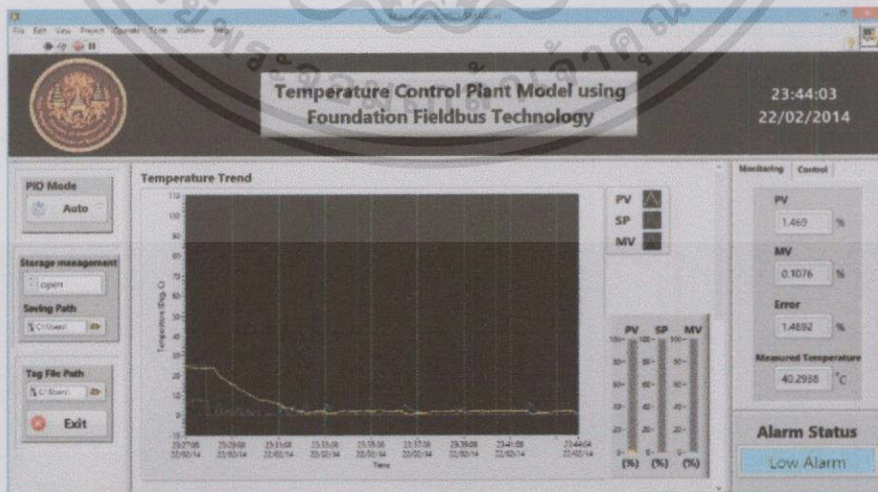
### 15) กรณีที่ 15



รูปที่ 5.20 ผลการทดลองกรณีที่ 15 จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.20 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 13 นาที 40 วินาที เกิด Overshoot 0.4% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.4\%$

### 16) กรณีที่ 16

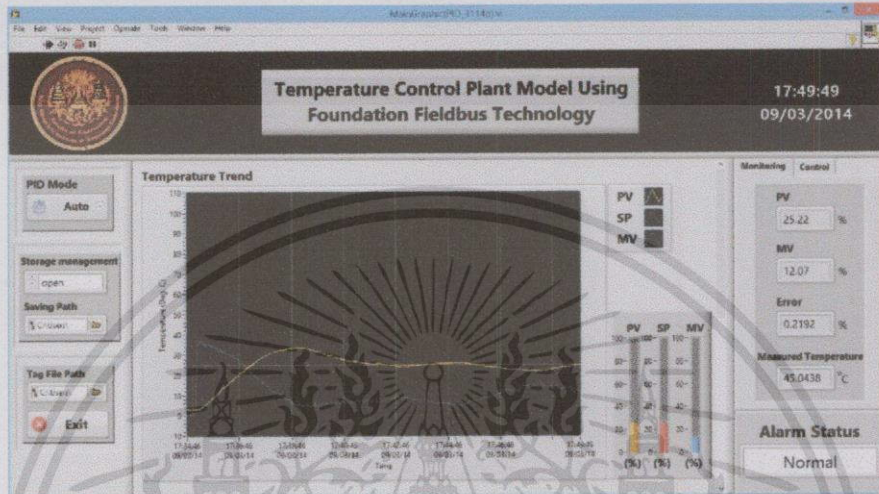


รูปที่ 5.21 ผลการทดลองกรณีที่ 16 จากตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.21 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 16 นาที 03 วินาที ไม่เกิด Overshoot และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.4\%$

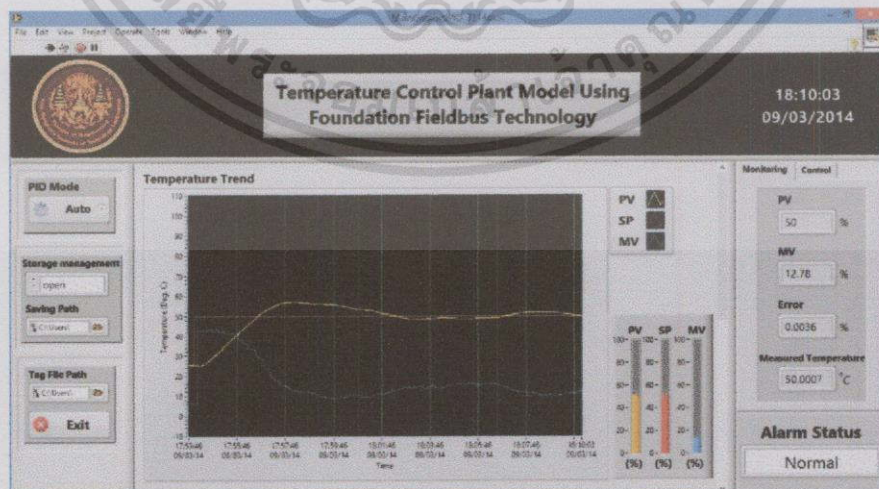
### 17) กรณีที่ 17



รูปที่ 5.22 ผลการทดลองกรณีที่ 17 จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.22 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 0% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 14 นาที 49 วินาที เกิด Overshoot 8.3% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.6\%$

### 18) กรณีที่ 18

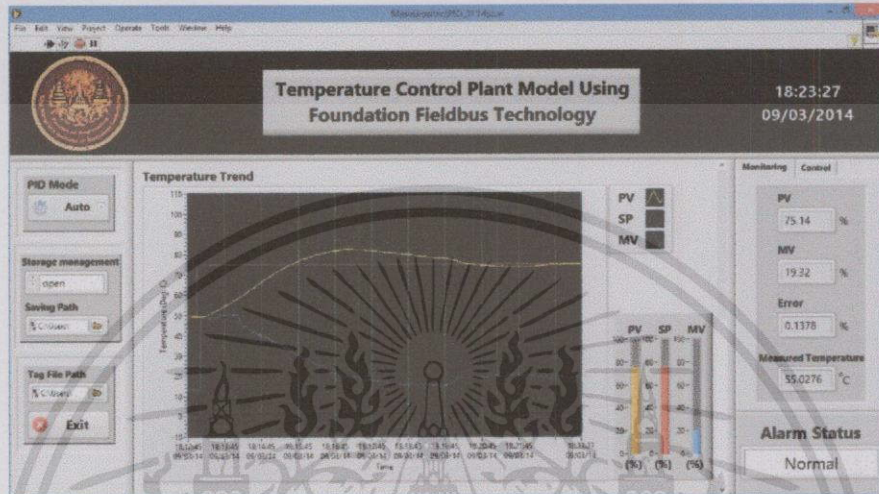


รูปที่ 5.23 ผลการทดลองกรณีที่ 18 จากตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.23 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 16 นาที 03 วินาที เกิด Overshoot 7.2% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.7\%$

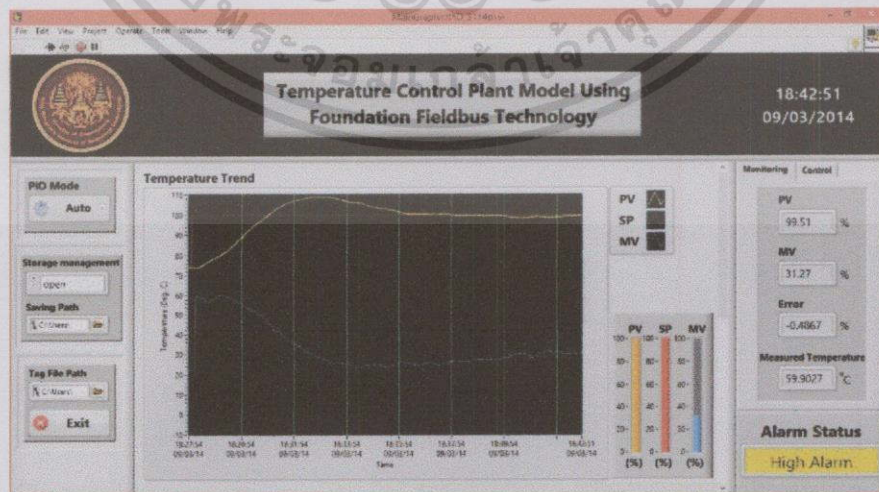
### 19) กรณีที่ 19



รูปที่ 5.24 ผลการทดลองกรณีที่ 19 จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.24 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 10 นาที 27 วินาที เกิด Overshoot 8.9% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.2\%$

### 20) กรณีที่ 20

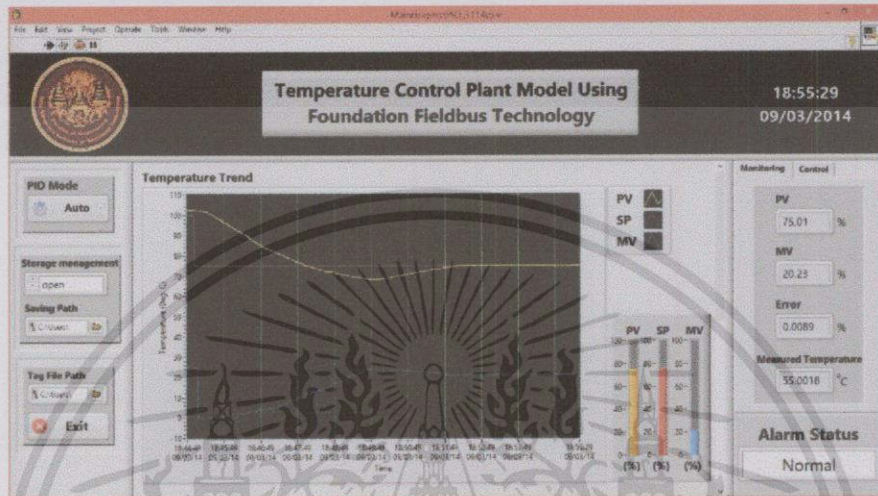


รูปที่ 5.25 ผลการทดลองกรณีที่ 20 จากตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.25 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 100% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 14 นาที 51 วินาที เกิด Overshoot 8.7% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.4\%$

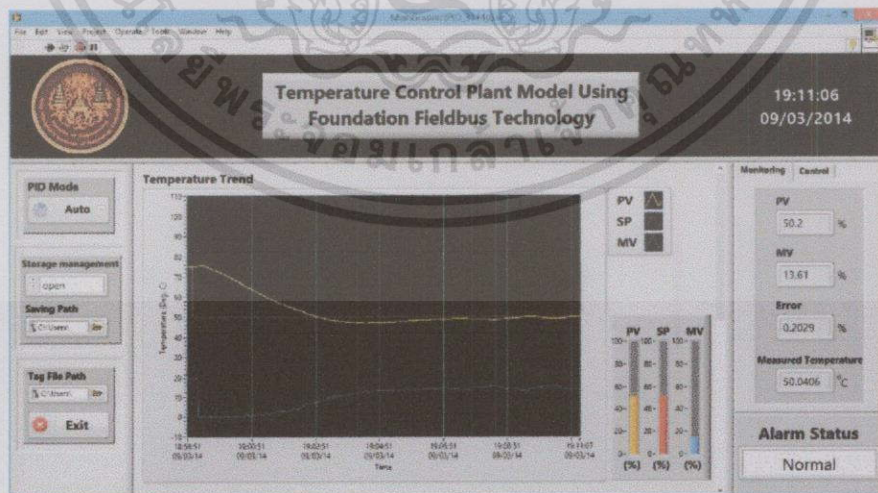
### 21) กรณีที่ 21



รูปที่ 5.26 ผลการทดลองกรณีที่ 21 จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.26 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 100% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 10 นาที 29 วินาที เกิด Overshoot 6.5% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.2\%$

### 22) กรณีที่ 22

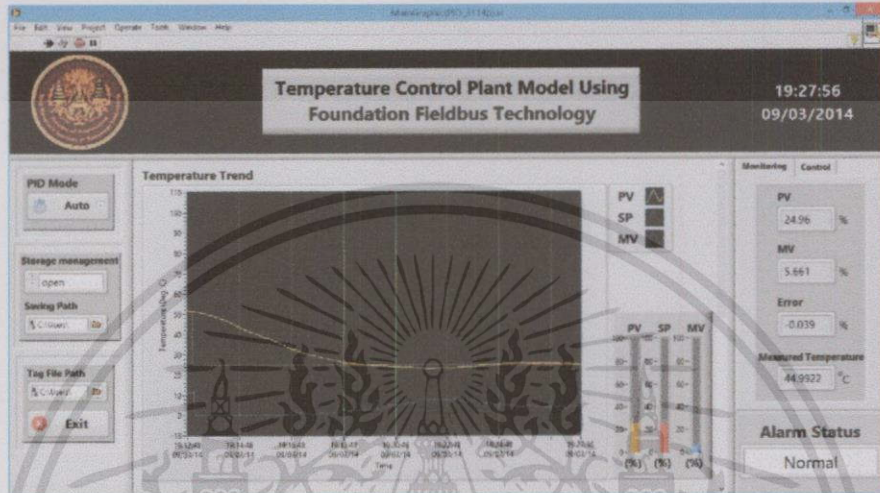


รูปที่ 5.27 ผลการทดลองกรณีที่ 22 จากตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.27 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 12 นาที 06 วินาที เกิด Overshoot 3.0% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.3\%$

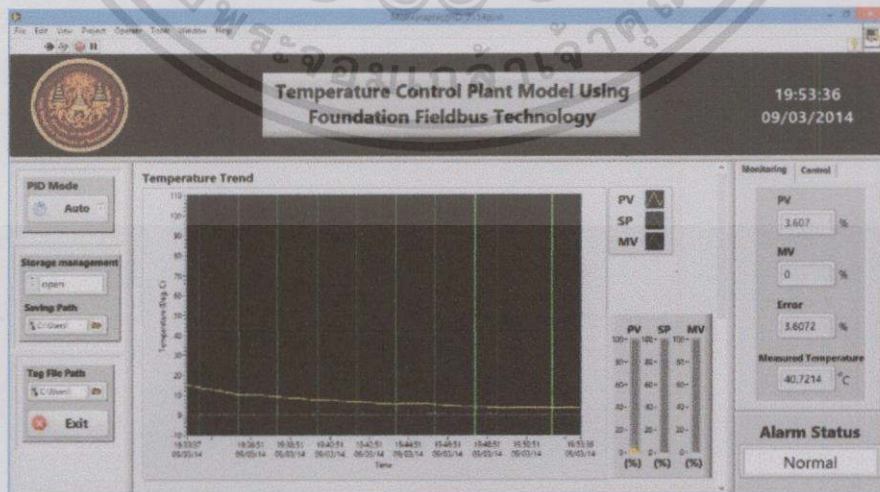
### 23) กรณีที่ 23



รูปที่ 5.28 ผลการทดลองกรณีที่ 23 จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.28 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 14 นาที 56 วินาที เกิด Overshoot 1.7% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.5\%$

### 24) กรณีที่ 24

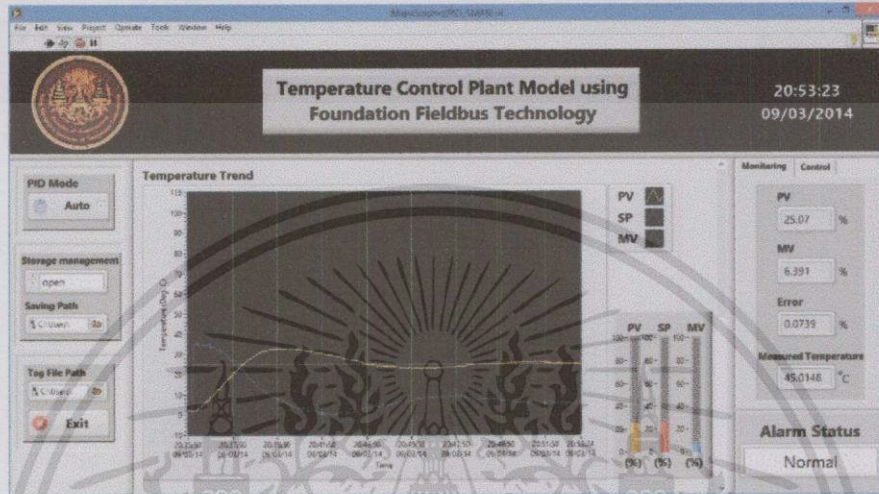


รูปที่ 5.29 ผลการทดลองกรณีที่ 24 จากตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.29 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 22 นาที 36 วินาที ไม่เกิด Overshoot และค่าความผิดพลาด  $\pm 3.6\%$

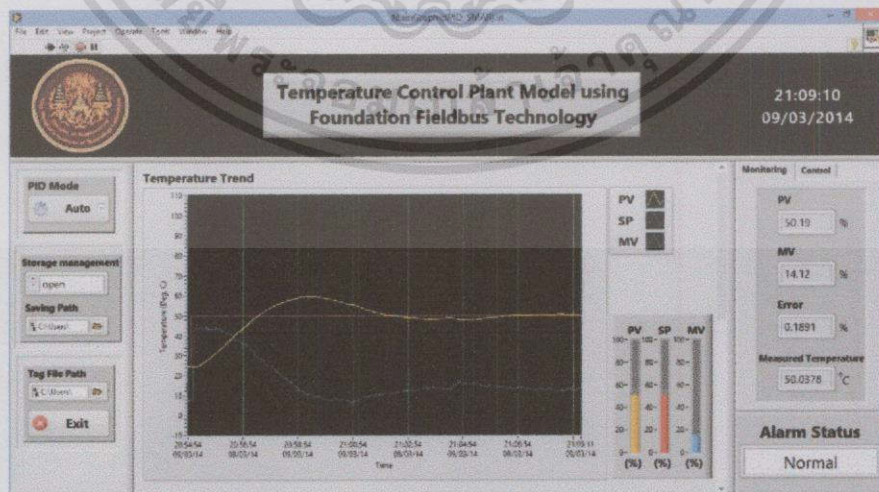
### 25) กรณีที่ 25



รูปที่ 5.30 ผลการทดลองกรณีที่ 25 จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.30 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 0% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 17 นาที 23 วินาที เกิด Overshoot 7.6% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.8\%$

### 26) กรณีที่ 26

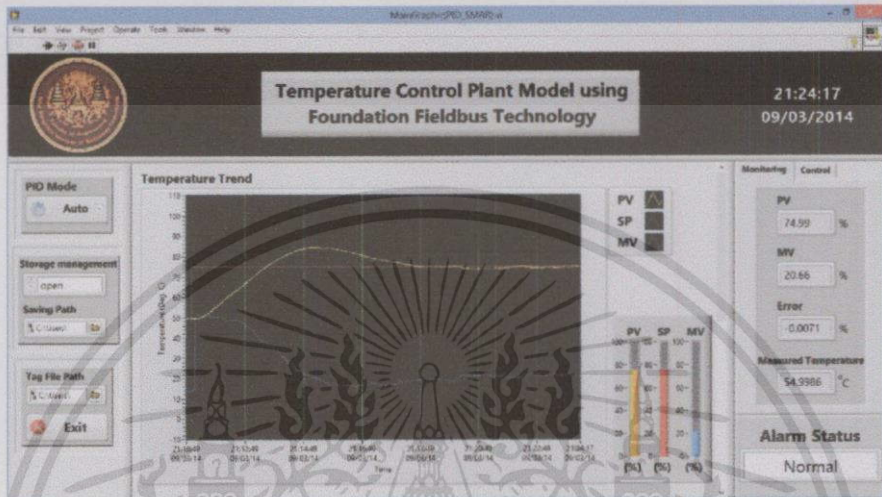


รูปที่ 5.31 ผลการทดลองกรณีที่ 26 จากตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.31 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 14 นาที 10 วินาที เกิด Overshoot 9.7% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.8\%$

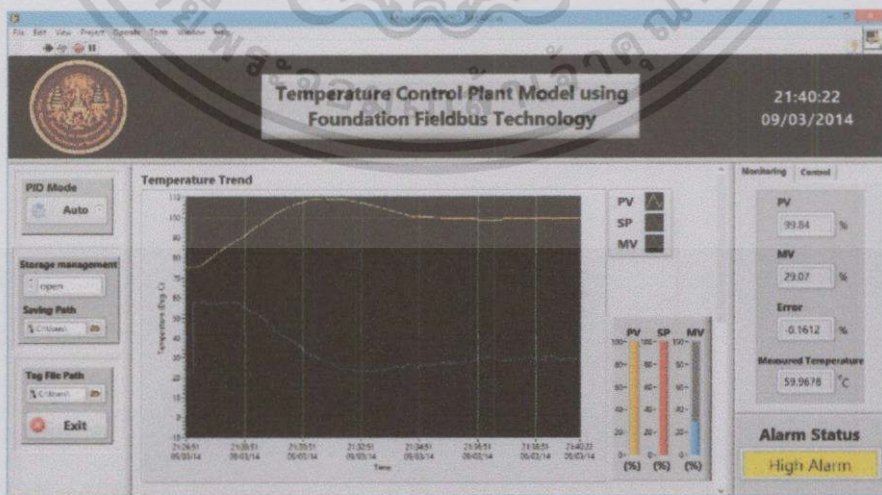
### 27) กรณีที่ 27



รูปที่ 5.32 ผลการทดลองกรณีที่ 27 จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.32 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 13 นาที 17 วินาที เกิด Overshoot 7.8% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.3\%$

### 28) กรณีที่ 28

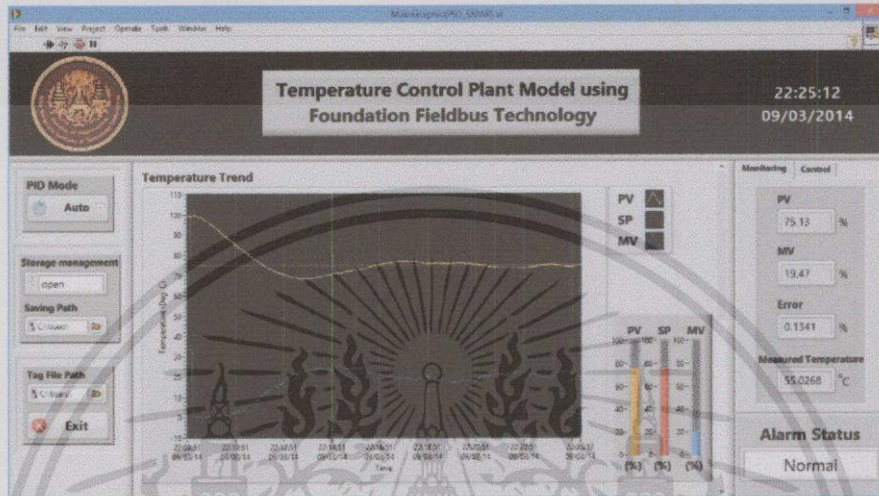


รูปที่ 5.33 ผลการทดลองกรณีที่ 28 จากตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.33 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 100% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 13 นาที 22 วินาที เกิด Overshoot 9.2% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.4\%$

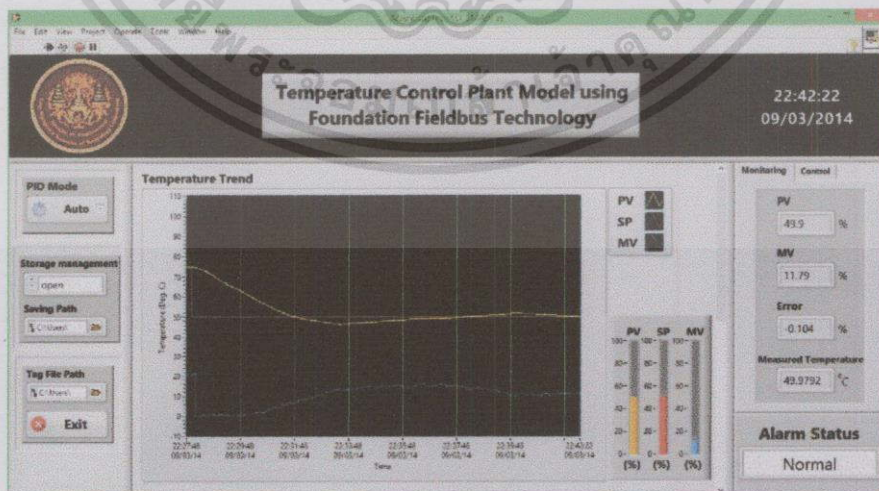
### 29) กรณีที่ 29



รูปที่ 5.34 ผลการทดลองกรณีที่ 29 จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.34 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 100% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 16 นาที 12 วินาที เกิด Overshoot 6.3% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.4\%$

### 30) กรณีที่ 30

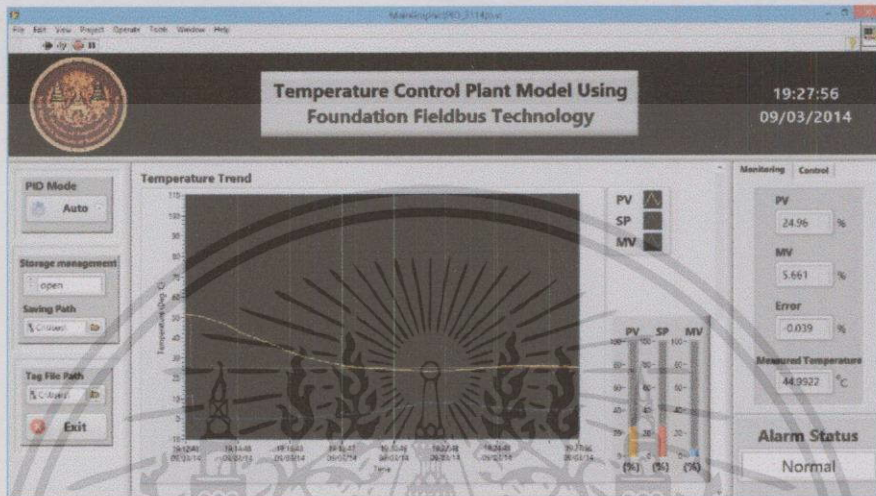


รูปที่ 5.35 ผลการทดลองกรณีที่ 30 จากตารางที่ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.35 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 12 นาที 06 วินาที เกิด Overshoot 3.0% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.3\%$

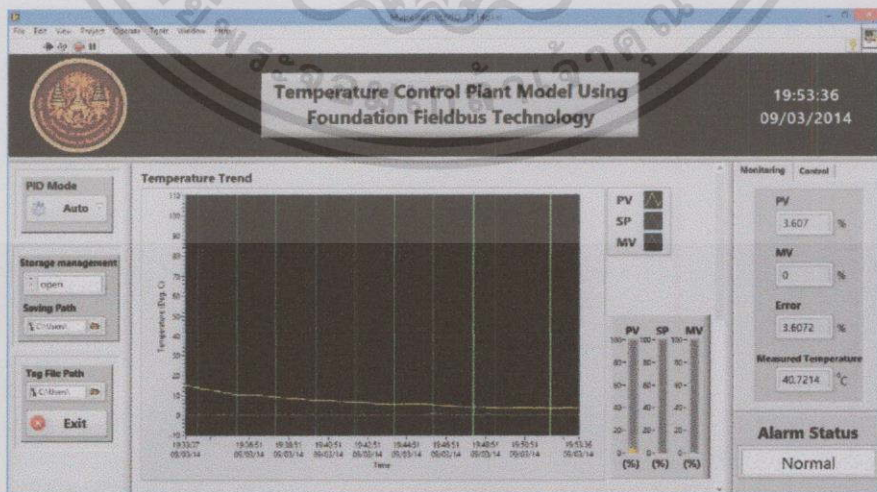
### 31) กรณีที่ 31



รูปที่ 5.36 ผลการทดลองกรณีที่ 31 จากตารางที่ 5.5

จากรูปที่ 5.36 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 14 นาที 56 วินาที เกิด Overshoot 1.7% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.5\%$

### 32) กรณีที่ 32



รูปที่ 5.37 ผลการทดลองกรณีที่ 32 จากตารางที่ 5.5

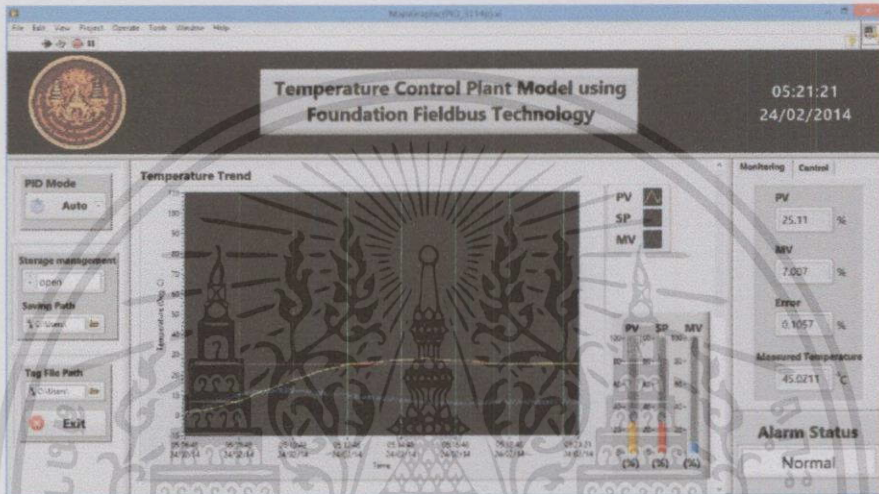
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.37 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 22 นาที 36 วินาที ไม่เกิด Overshoot และค่าความผิดพลาด  $\pm 3.6\%$

### 5.3.2.2 ผลการทดลองจากเงื่อนไขในตารางที่ 5.6

โดยมีค่าอุณหภูมิแวดล้อมในขณะที่ทำการทดลอง 23 °C

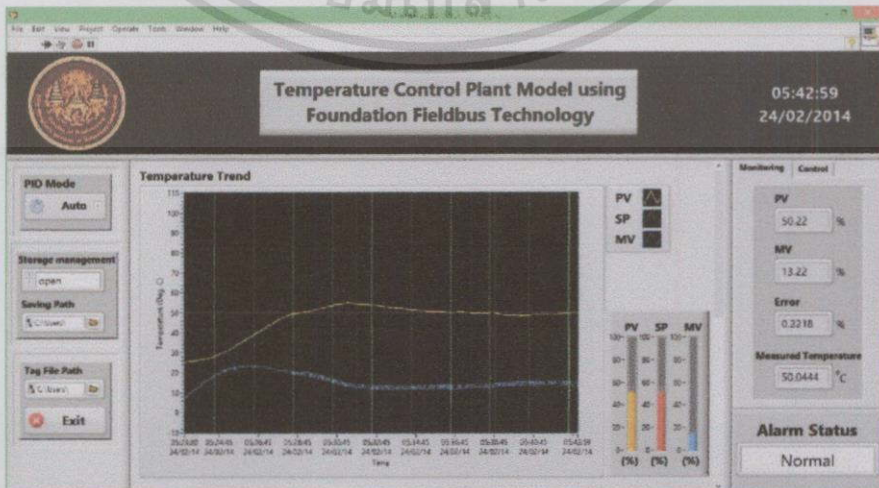
#### 1) กรณีที่ 1



รูปที่ 5.38 ผลการทดลองกรณีที่ 1 จากตารางที่ 5.6

จากรูปที่ 5.38 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 0% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 14 นาที 21 วินาที เกิด Overshoot 2.7% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.3\%$

#### 2) กรณีที่ 2

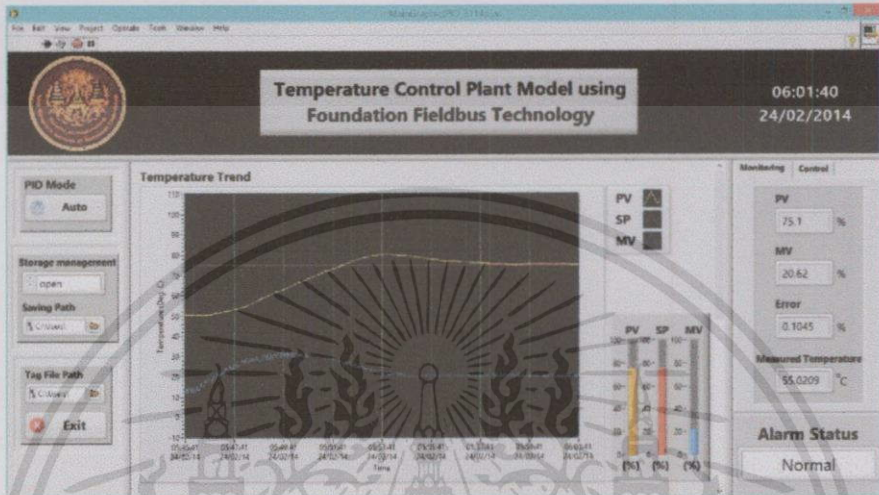


รูปที่ 5.39 ผลการทดลองกรณีที่ 2 จากตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.39 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 19 นาที 59 วินาที เกิด Overshoot 4.9% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.4\%$

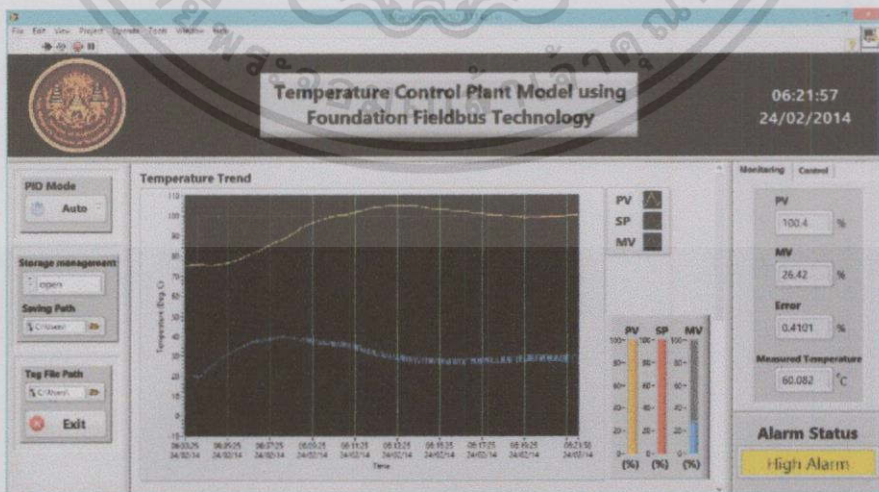
### 3) กรณีที่ 3



รูปที่ 5.40 ผลการทดลองกรณีที่ 3 จากตารางที่ 5.6

จากรูปที่ 5.40 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 15 นาที 40 วินาที เกิด Overshoot 5.4% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.2\%$

### 4) กรณีที่ 4

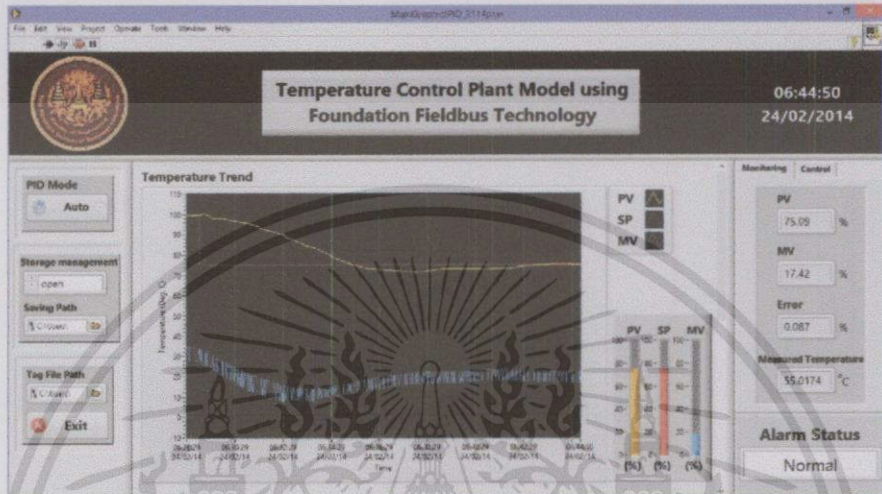


รูปที่ 5.41 ผลการทดลองกรณีที่ 4 จากตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.41 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 100% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 17 นาที 57 วินาที เกิด Overshoot 5.0% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.5\%$

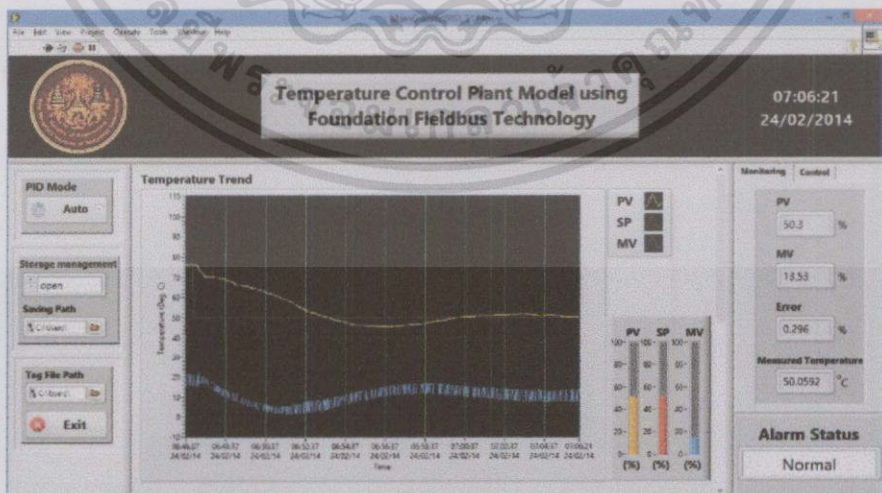
### 5) กรณีที่ 5



รูปที่ 5.42 ผลการทดลองกรณีที่ 5 จากตารางที่ 5.6

จากรูปที่ 5.42 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 100% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 15 นาที 50 วินาที เกิด Overshoot 3.2% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.3\%$

### 6) กรณีที่ 6

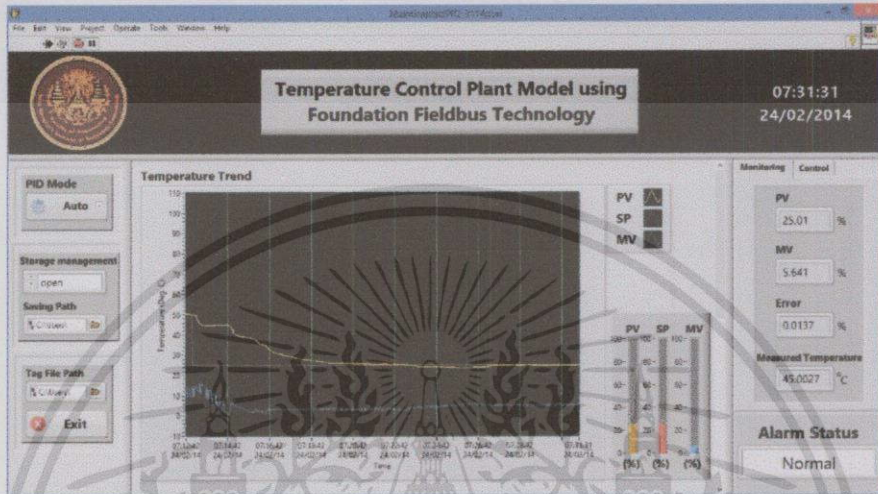


รูปที่ 5.43 ผลการทดลองกรณีที่ 6 จากตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.43 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 19 นาที 21 วินาที เกิด Overshoot 4.4% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.2\%$

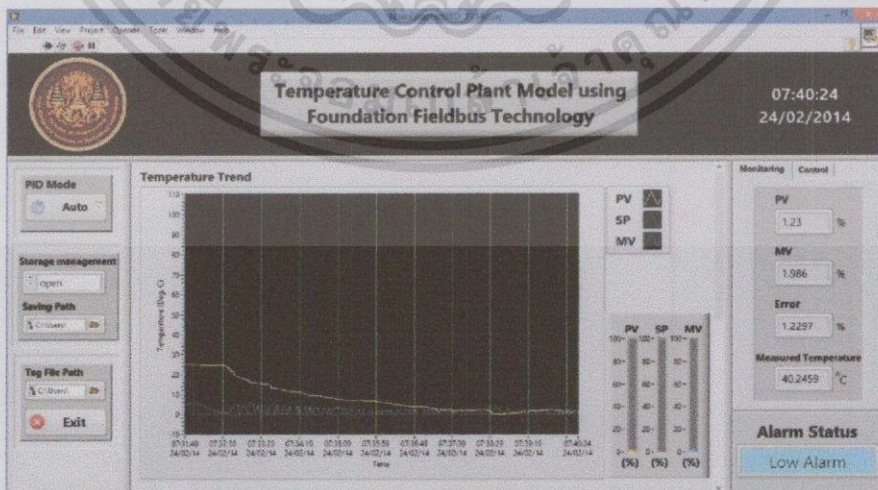
### 7) กรณีที่ 7



รูปที่ 5.44 ผลการทดลองกรณีที่ 7 จากตารางที่ 5.6

จากรูปที่ 5.44 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 18 นาที 31 วินาที เกิด Overshoot 1.5% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.2\%$

### 8) กรณีที่ 8

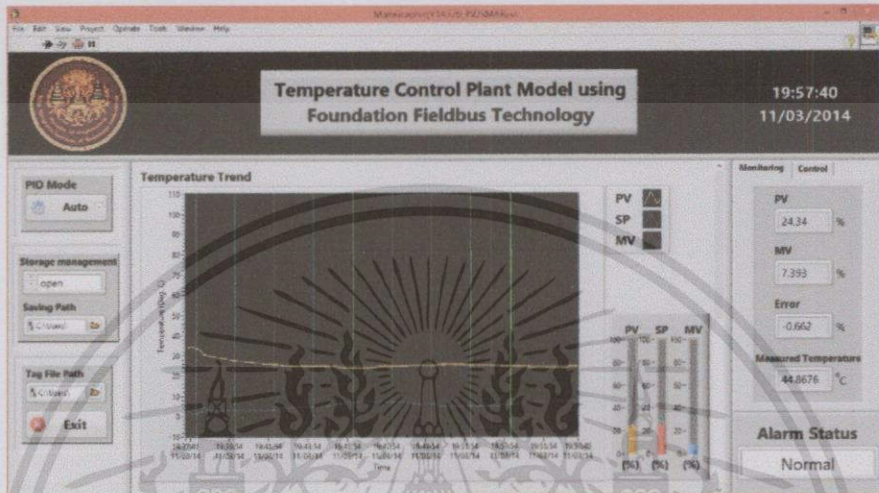


รูปที่ 5.45 ผลการทดลองกรณีที่ 8 จากตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.45 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 08 นาที 24 วินาที เกิด Overshoot 0.2% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.2\%$

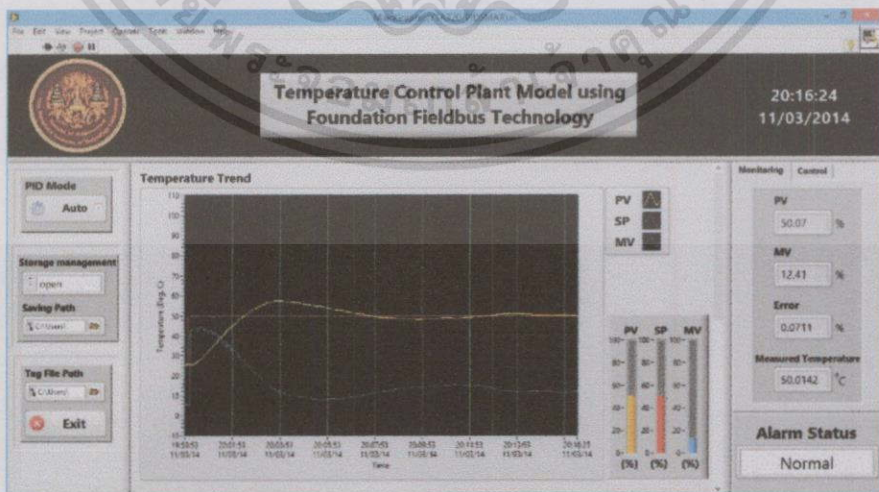
### 9) กรณีที่ 9



รูปที่ 5.46 ผลการทดลองกรณีที่ 9 จากตารางที่ 5.6

จากรูปที่ 5.46 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 0% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 20 นาที 40 วินาที เกิด Overshoot 9.3% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.5\%$

### 10) กรณีที่ 10

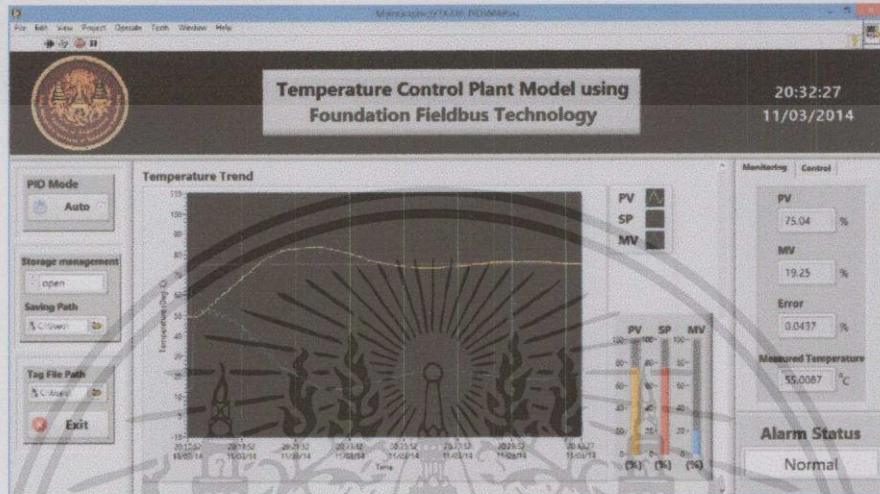


รูปที่ 5.47 ผลการทดลองกรณีที่ 10 จากตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.47 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 16 นาที 24 วินาที เกิด Overshoot 7.5% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.5\%$

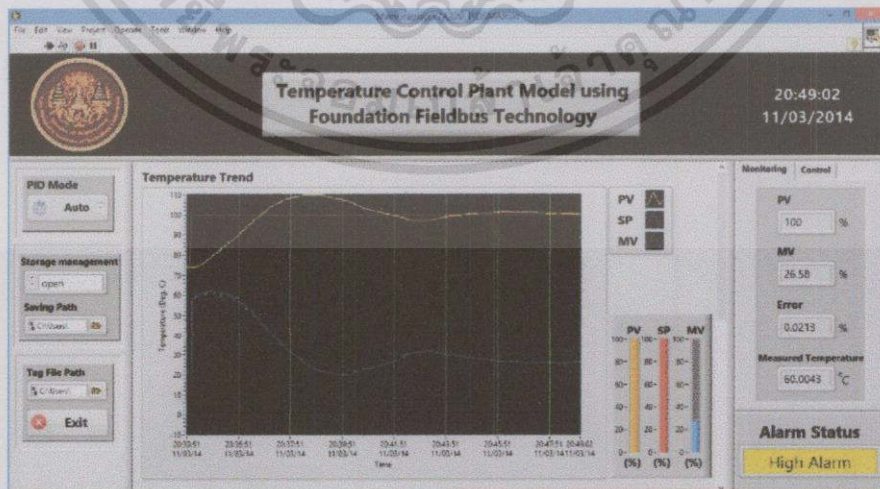
### 11) กรณีที่ 11



รูปที่ 5.48 ผลการทดลองกรณีที่ 11 จากตารางที่ 5.6

จากรูปที่ 5.48 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 14 นาที 27 วินาที เกิด Overshoot 8.6% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.3\%$

### 12) กรณีที่ 12

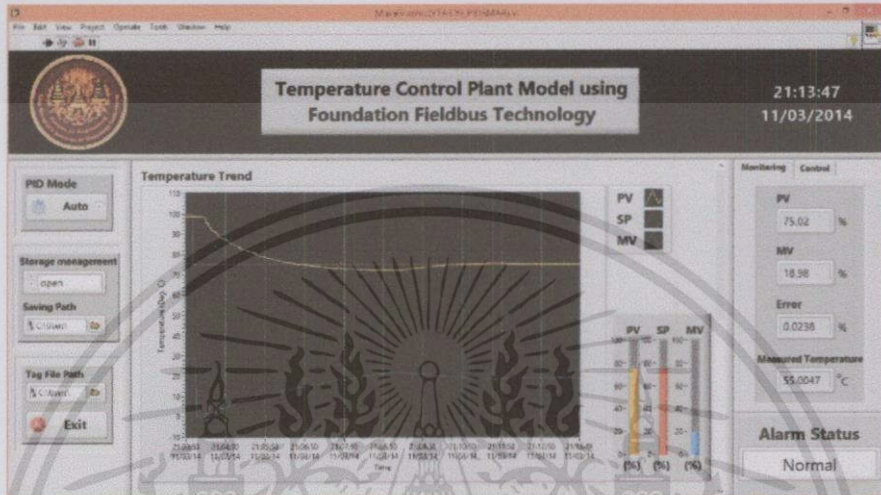


รูปที่ 5.49 ผลการทดลองกรณีที่ 12 จากตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.49 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 100% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 15 นาที 02 วินาที เกิด Overshoot 9.7% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.6\%$

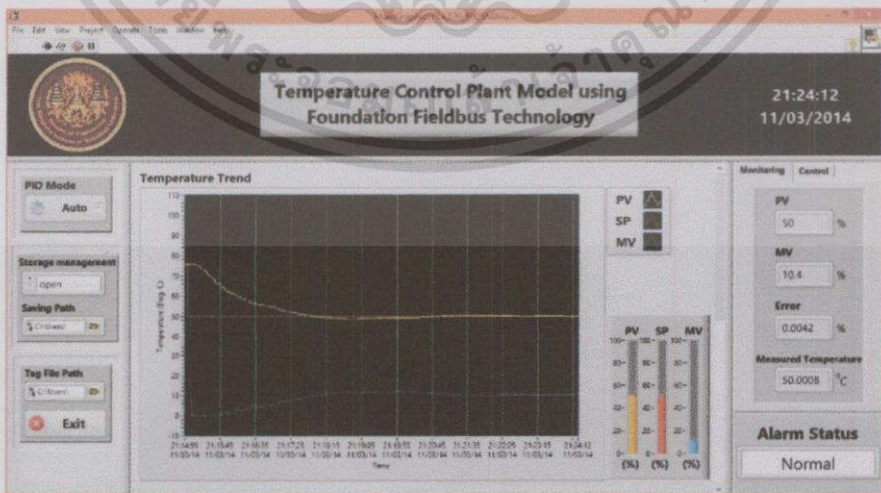
### 13) กรณีที่ 13



รูปที่ 5.50 ผลการทดลองกรณีที่ 13 จากตารางที่ 5.6

จากรูปที่ 5.50 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 100% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 09 นาที 47 วินาที เกิด Overshoot 3.0% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.3\%$

### 14) กรณีที่ 14

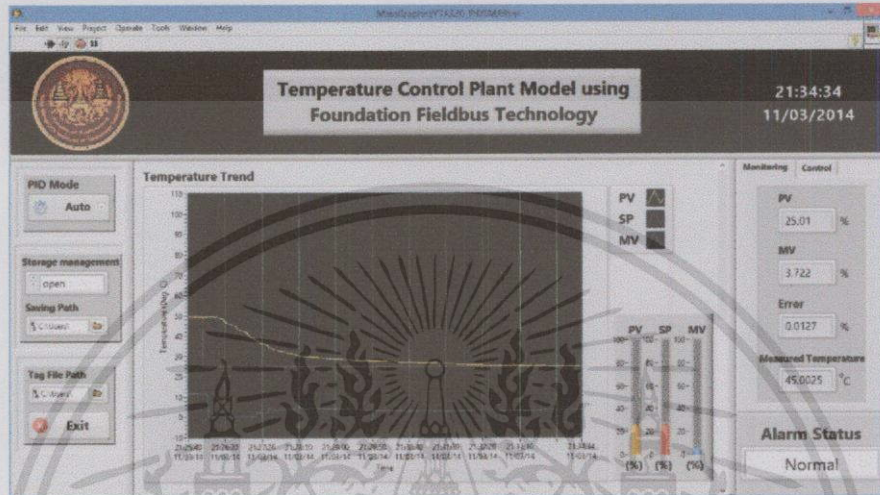


รูปที่ 5.51 ผลการทดลองกรณีที่ 14 จากตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.51 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 09 นาที 12 วินาที เกิด Overshoot 1.2% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.2\%$

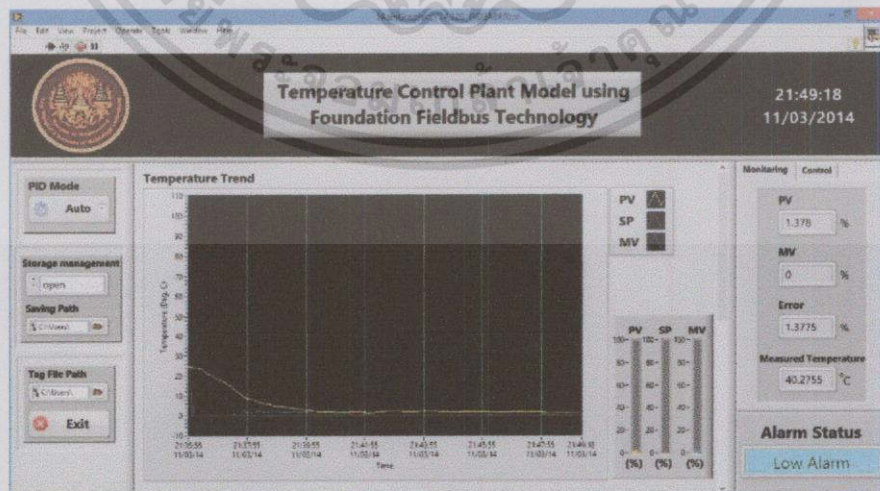
### 15) กรณีที่ 15



รูปที่ 5.52 ผลการทดลองกรณีที่ 15 จากตารางที่ 5.6

จากรูปที่ 5.52 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 08 นาที 34 วินาที ไม่เกิด Overshoot และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.1\%$

### 16) กรณีที่ 16

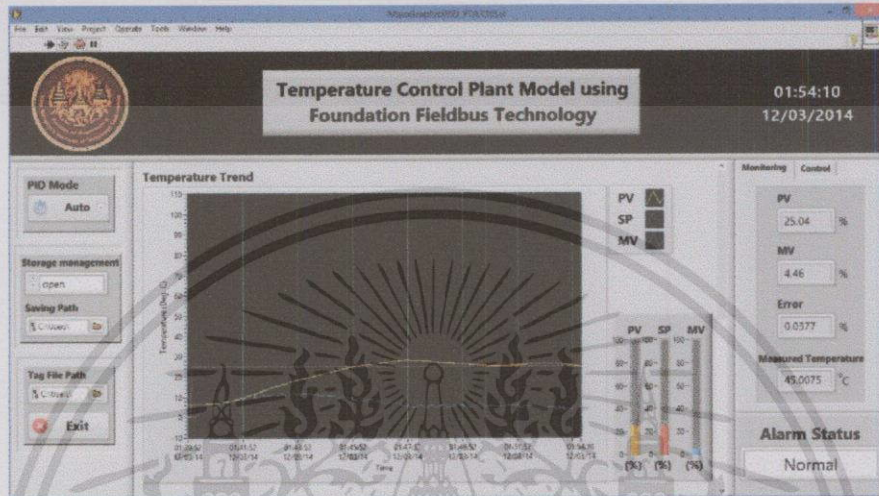


รูปที่ 5.53 ผลการทดลองกรณีที่ 16 จากตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.53 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 13 นาที 18 วินาที ไม่เกิด Overshoot และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.4\%$

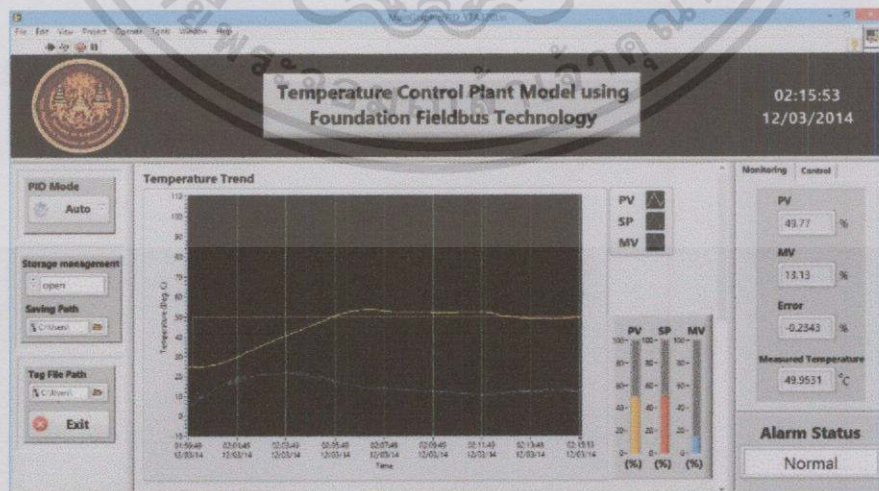
### 17) กรณีที่ 17



รูปที่ 5.54 ผลการทดลองกรณีที่ 17 จากตารางที่ 5.6

จากรูปที่ 5.54 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 0% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 14 นาที 10 วินาที เกิด Overshoot 2.8% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.3\%$

### 18) กรณีที่ 18

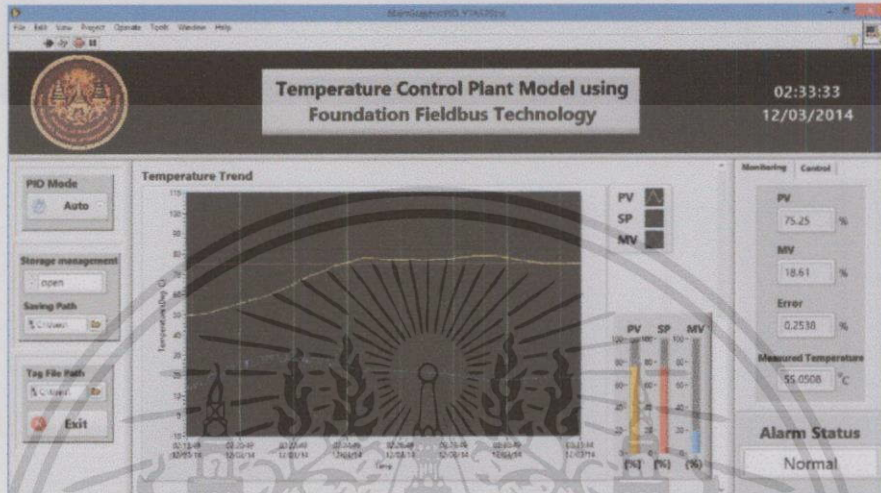


รูปที่ 5.55 ผลการทดลองกรณีที่ 18 จากตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.55 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 15 นาที 53 วินาที เกิด Overshoot 3.8% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.5\%$

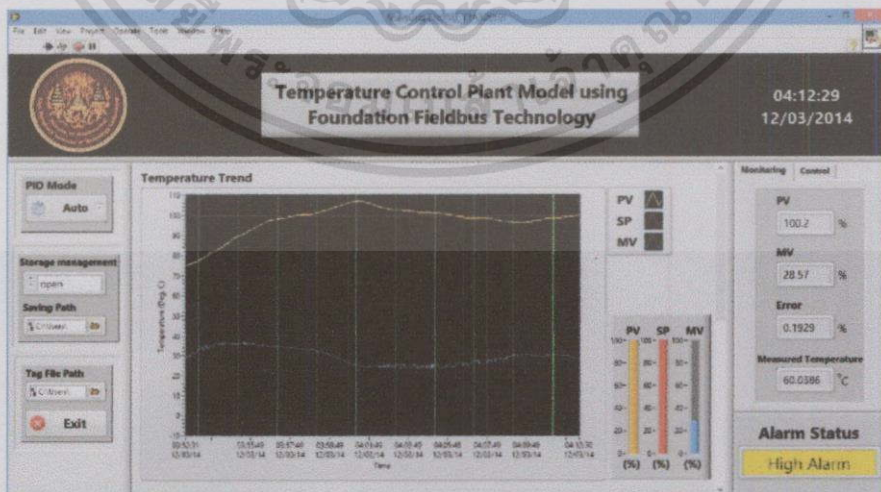
### 19) กรณีที่ 19



รูปที่ 5.56 ผลการทดลองกรณีที่ 19 จากตารางที่ 5.6

จากรูปที่ 5.56 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 14 นาที 33 วินาที เกิด Overshoot 2.8% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.2\%$

### 20) กรณีที่ 20

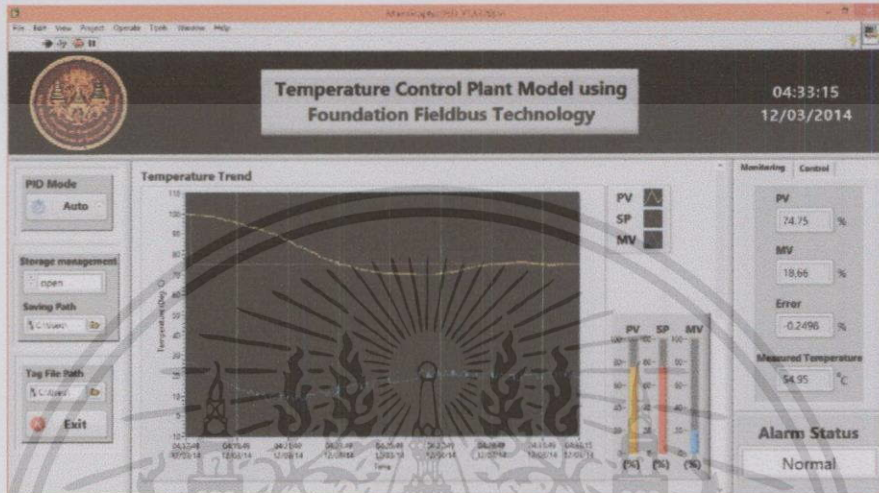


รูปที่ 5.57 ผลการทดลองกรณีที่ 20 จากตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.57 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 100% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 20 นาที 29 วินาที เกิด Overshoot 7.0% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.8\%$

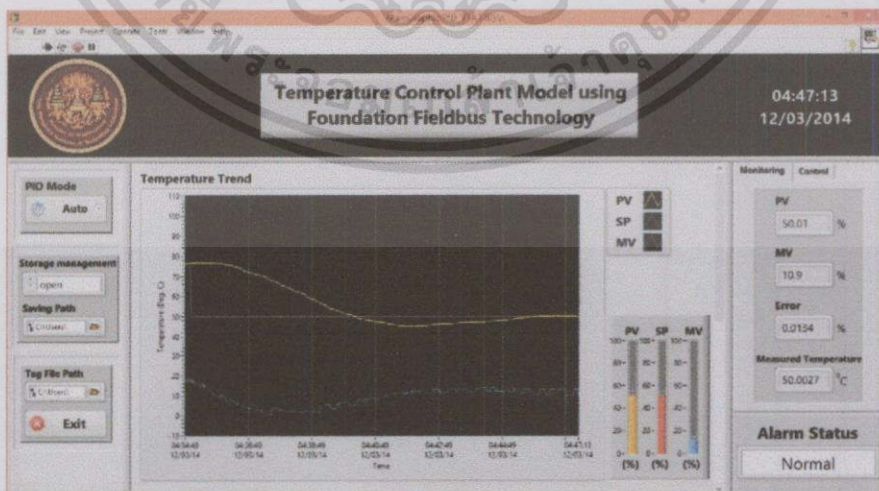
### 21) กรณีที่ 21



รูปที่ 5.58 ผลการทดลองกรณีที่ 21 จากตารางที่ 5.6

จากรูปที่ 5.58 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 100% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 15 นาที 15 วินาที เกิด Overshoot 4.7% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.3\%$

### 22) กรณีที่ 22

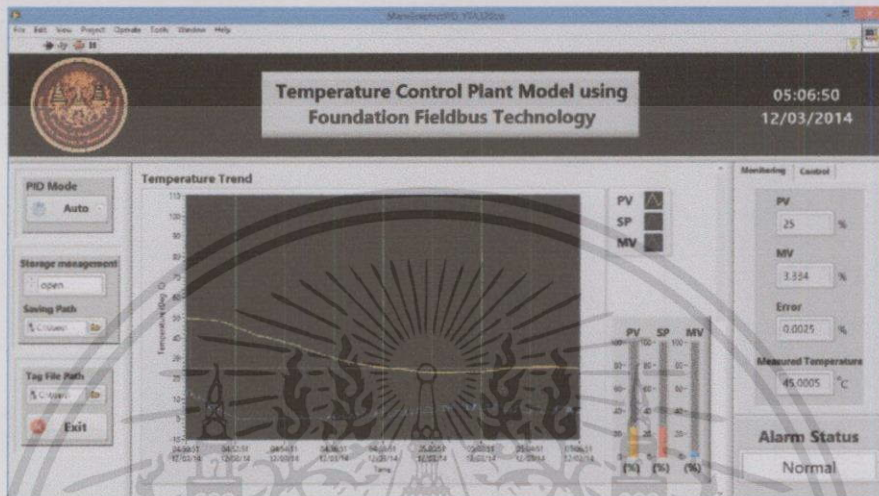


รูปที่ 5.59 ผลการทดลองกรณีที่ 22 จากตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.59 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 12 นาที 13 วินาที เกิด Overshoot 4.8% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.3\%$

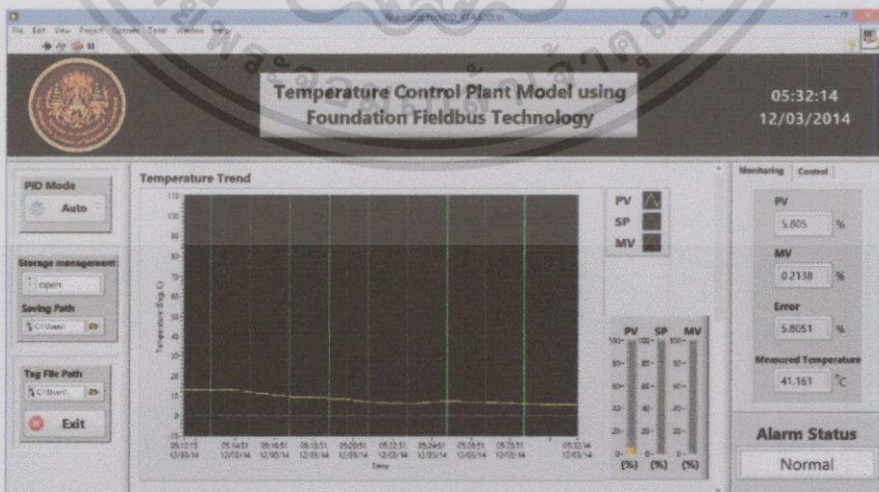
### 23) กรณีที่ 23



รูปที่ 5.60 ผลการทดลองกรณีที่ 23 จากตารางที่ 5.6

จากรูปที่ 5.60 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 15 นาที 50 วินาที เกิด Overshoot 2.1% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.2\%$

### 24) กรณีที่ 24

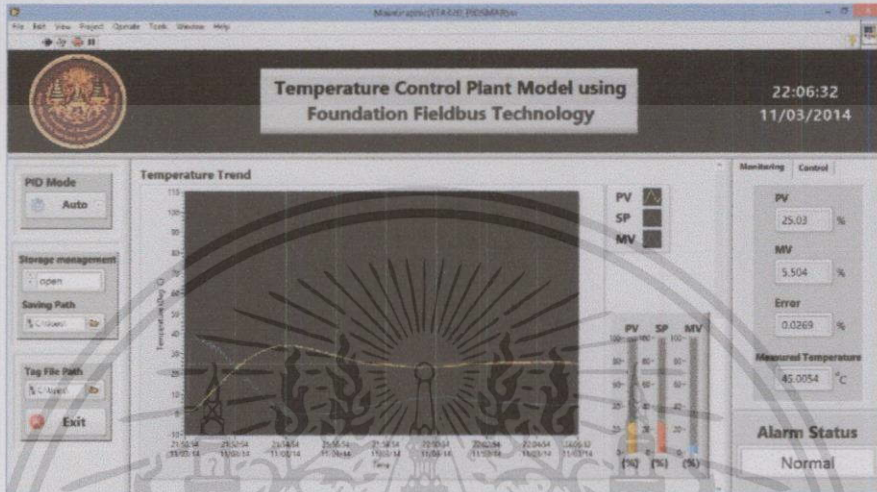


รูปที่ 5.61 ผลการทดลองกรณีที่ 24 จากตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.61 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 23 นาที 14 วินาที ไม่เกิด Overshoot และค่าความผิดพลาด  $\pm 5.8\%$

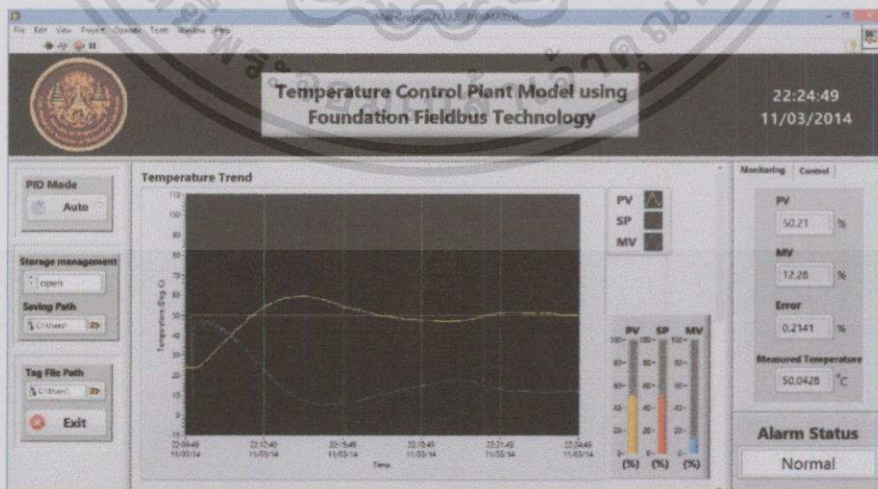
### 25) กรณีที่ 25



รูปที่ 5.62 ผลการทดลองกรณีที่ 25 จากตารางที่ 5.6

จากรูปที่ 5.62 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 0% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 15 นาที 32 วินาที เกิด Overshoot 8.9% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.3\%$

### 26) กรณีที่ 26

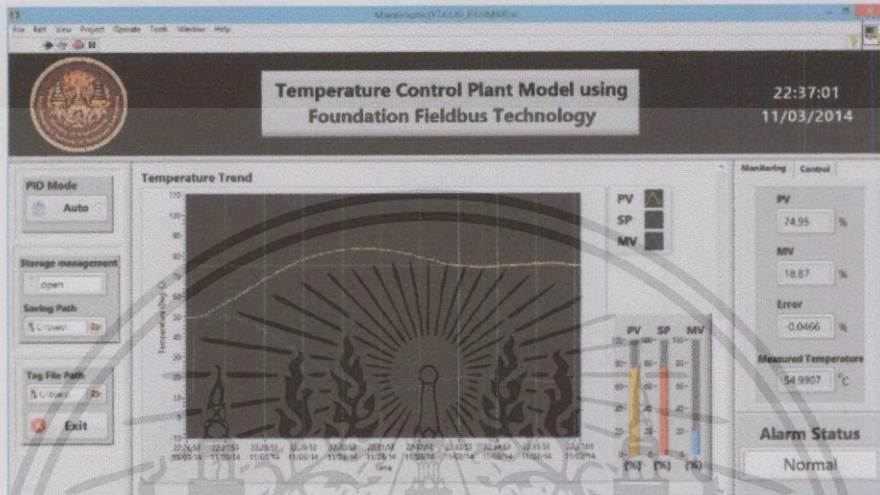


รูปที่ 5.63 ผลการทดลองกรณีที่ 26 จากตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.63 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 14 นาที 49 วินาที เกิด Overshoot 9.4% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.3\%$

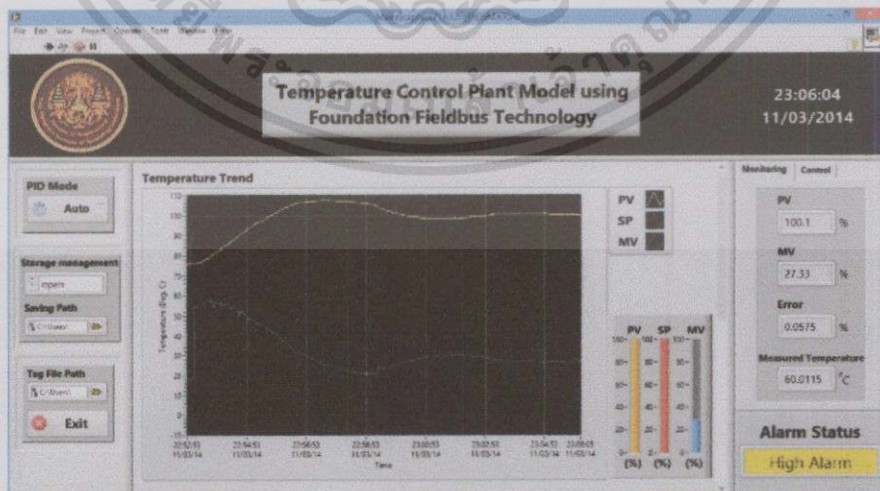
### 27) กรณีที่ 27



รูปที่ 5.64 ผลการทดลองกรณีที่ 27 จากตารางที่ 5.6

จากรูปที่ 5.64 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 10 นาที 01 วินาที เกิด Overshoot 8.6% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.3\%$

### 28) กรณีที่ 28

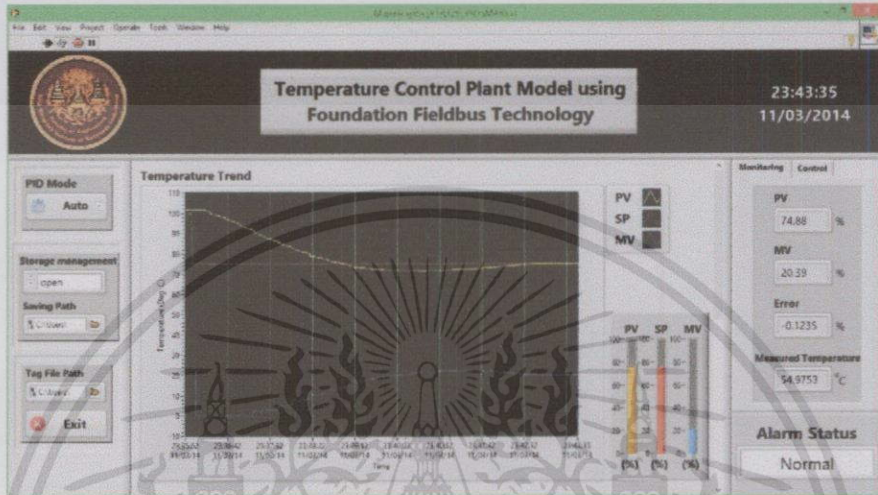


รูปที่ 5.65 ผลการทดลองกรณีที่ 28 จากตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.65 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 100% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 13 นาที 04 วินาที เกิด Overshoot 7.8% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.6\%$

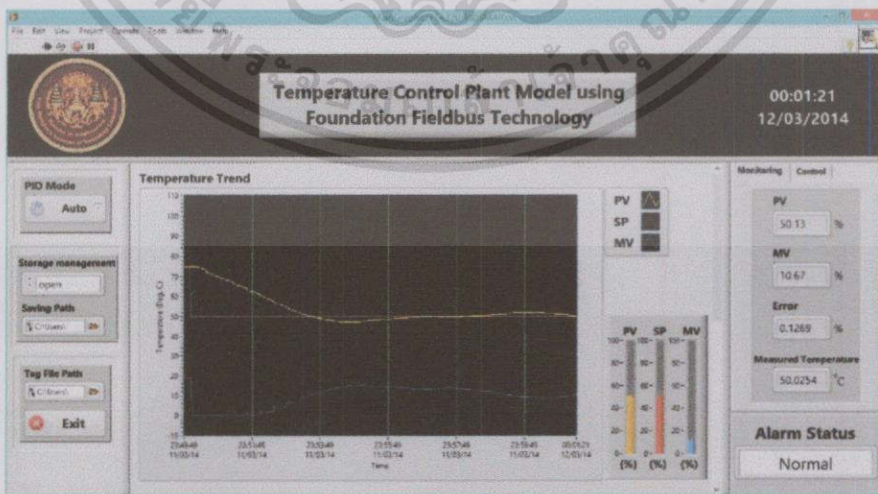
### 29) กรณีที่ 29



รูปที่ 5.66 ผลการทดลองกรณีที่ 29 จากตารางที่ 5.6

จากรูปที่ 5.66 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 100% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 07 นาที 35 วินาที เกิด Overshoot 3.4% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.2\%$

### 30) กรณีที่ 30

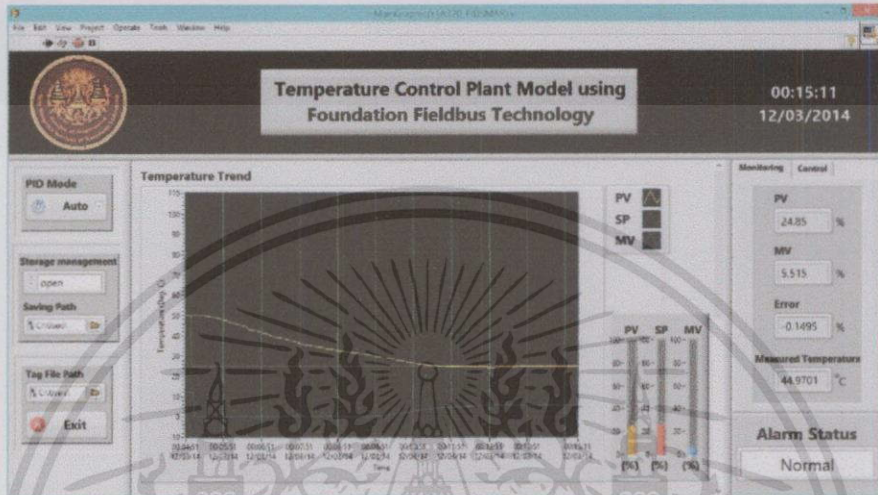


รูปที่ 5.67 ผลการทดลองกรณีที่ 30 จากตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.67 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 11 นาที 21 วินาที เกิด Overshoot 2.6 % และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.6\%$

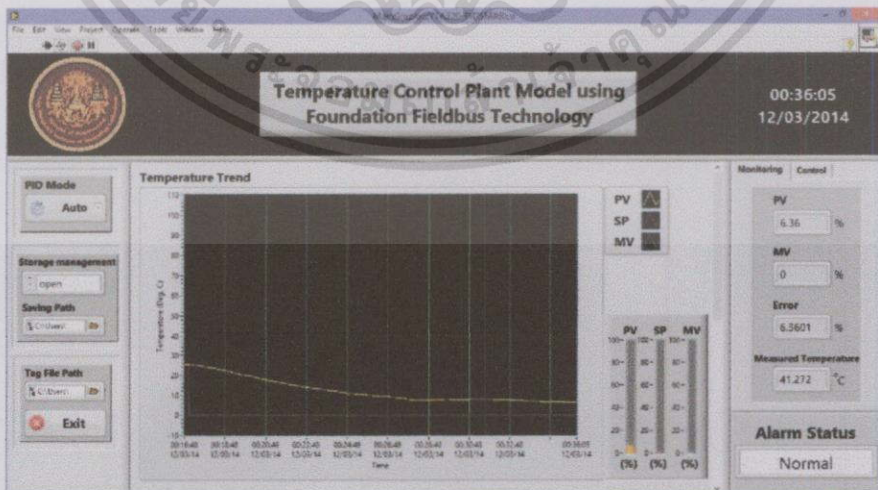
### 31) กรณีที่ 31



รูปที่ 5.68 ผลการทดลองกรณีที่ 31 จากตารางที่ 5.6

จากรูปที่ 5.68 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 10 นาที 11 วินาที เกิด Overshoot 0.8 % และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.1\%$

### 32) กรณีที่ 32



รูปที่ 5.69 ผลการทดลองกรณีที่ 32 จากตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

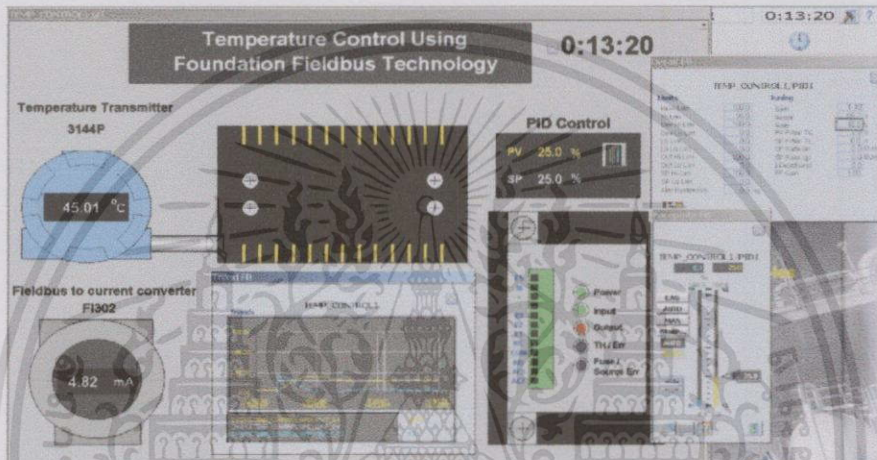
จากรูปที่ 5.69 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 20 นาที 05 วินาที ไม่เกิด Overshoot และค่าความผิดพลาด  $\pm 6.3\%$

### 5.3.3 การทดลองด้วยโฮสต์ระบบดีซีเอส

#### 5.3.3.1 ผลการทดลองจากเงื่อนไขในตารางที่ 5.7

โดยมีค่าอุณหภูมิแวดล้อมในขณะทำการทดลอง  $23^{\circ}\text{C}$

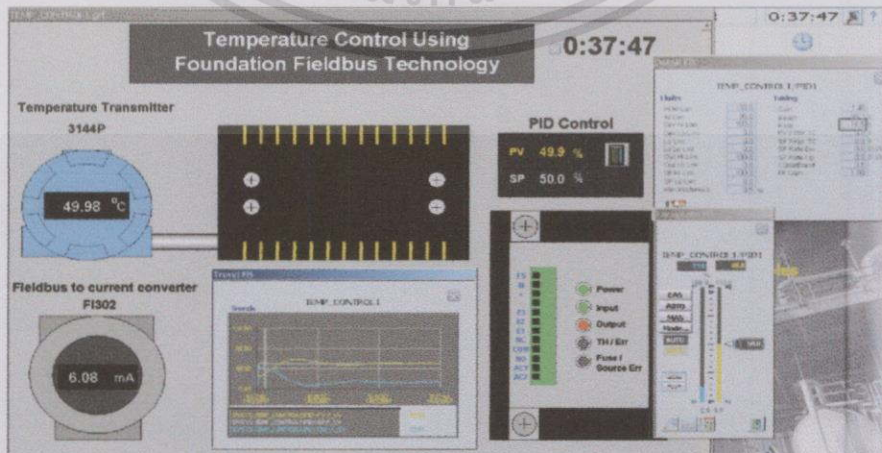
##### 1) กรณีที่ 1



รูปที่ 5.70 ผลการทดลองกรณีที่ 1 จากตารางที่ 5.7

จากรูปที่ 5.70 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 0% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 17 นาที 43 วินาที เกิด Overshoot 8.3% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.0\%$

##### 2) กรณีที่ 2

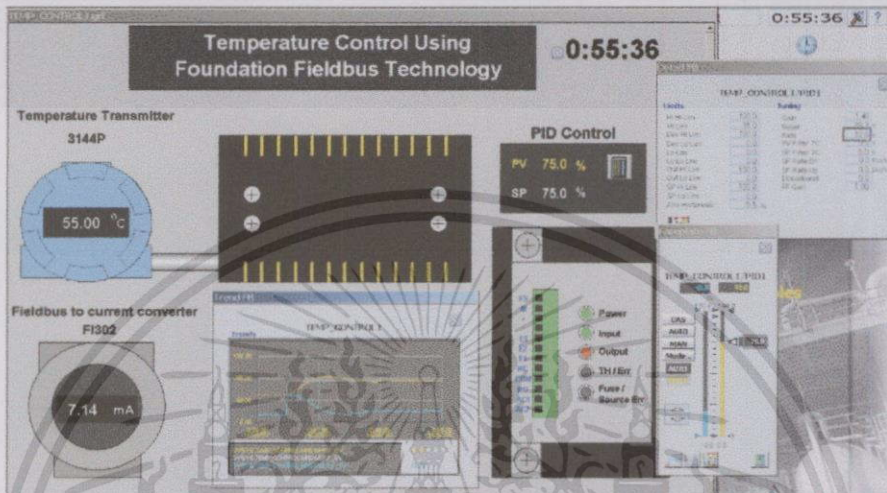


รูปที่ 5.71 ผลการทดลองกรณีที่ 2 จากตารางที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.71 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 19 นาที 50 วินาที เกิด Overshoot 9.0% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.9\%$

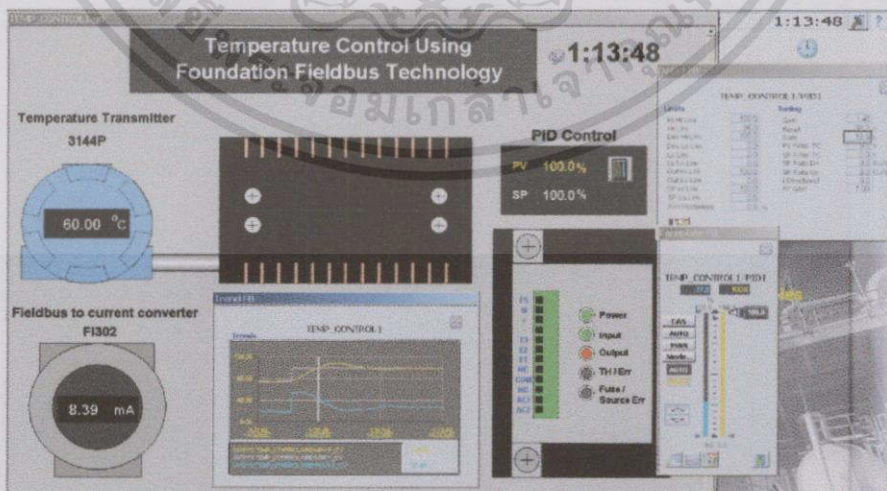
### 3) กรณีที่ 3



รูปที่ 5.72 ผลการทดลองกรณีที่ 3 จากตารางที่ 5.7

จากรูปที่ 5.72 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 16 นาที 50 วินาที เกิด Overshoot 8.5% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.1\%$

### 4) กรณีที่ 4

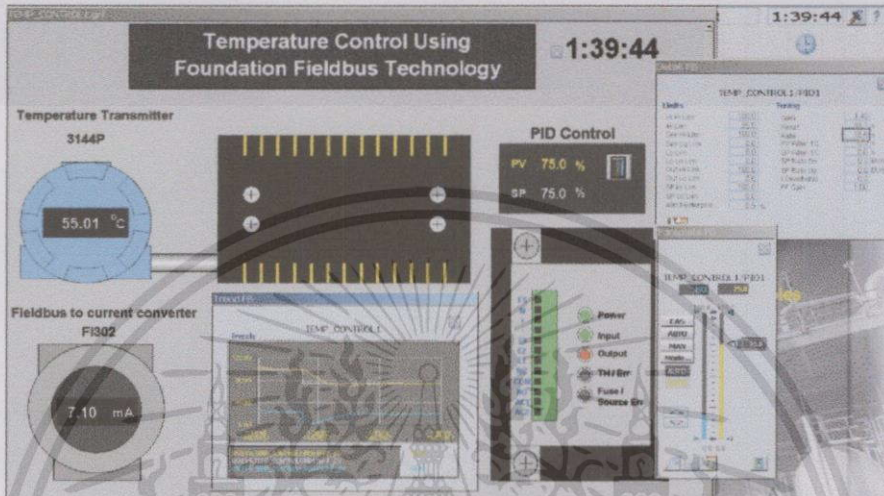


รูปที่ 5.73 ผลการทดลองกรณีที่ 4 จากตารางที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.73 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 100% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 16 นาที 30 วินาที เกิด Overshoot 8.4% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.8\%$

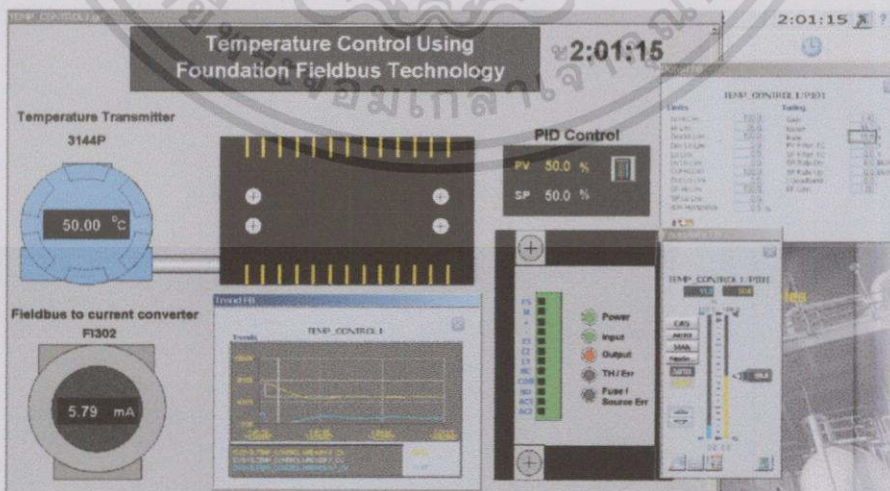
### 5) กรณีที่ 5



รูปที่ 5.74 ผลการทดลองกรณีที่ 5 จากตารางที่ 5.7

จากรูปที่ 5.74 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 100% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 15 นาที 06 วินาที เกิด Overshoot 5.7% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.9\%$

### 6) กรณีที่ 6

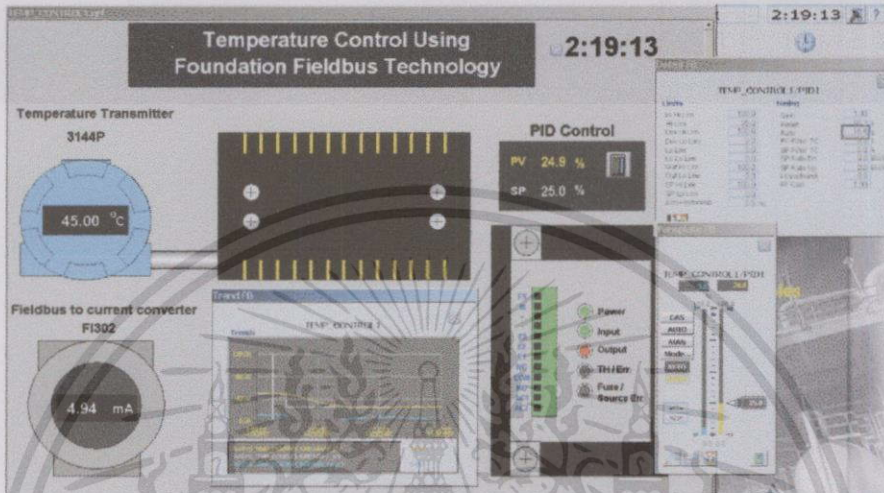


รูปที่ 5.75 ผลการทดลองกรณีที่ 6 จากตารางที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.75 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 19 นาที 18 วินาที เกิด Overshoot 3.5% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.0\%$

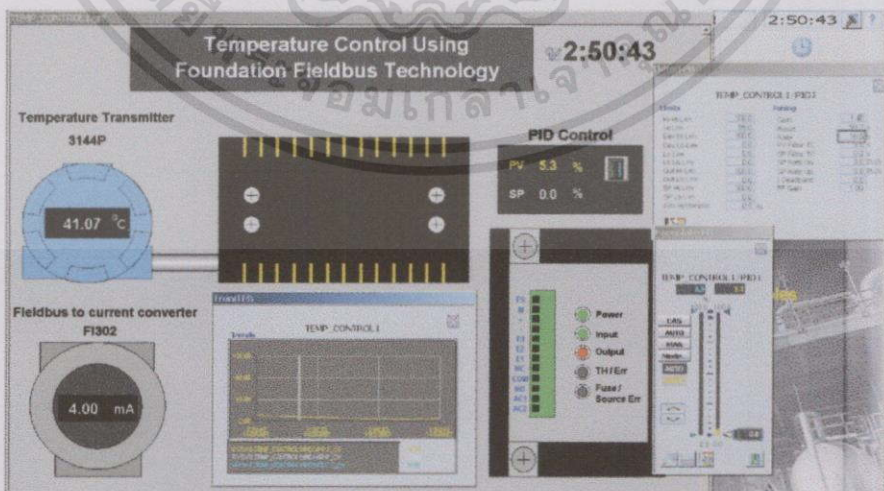
### 7) กรณีที่ 7



รูปที่ 5.76 ผลการทดลองกรณีที่ 7 จากตารางที่ 5.7

จากรูปที่ 5.76 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 10 นาที 43 วินาที เกิด Overshoot 1.4% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.6\%$

### 8) กรณีที่ 8

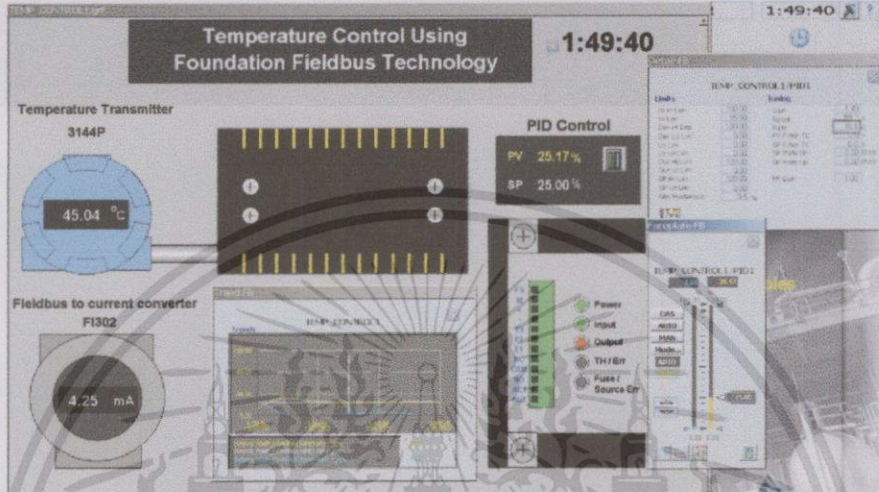


รูปที่ 5.77 ผลการทดลองกรณีที่ 8 จากตารางที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.77 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 0% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 29 นาที 40 วินาที ไม่เกิด Overshoot และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.0\%$

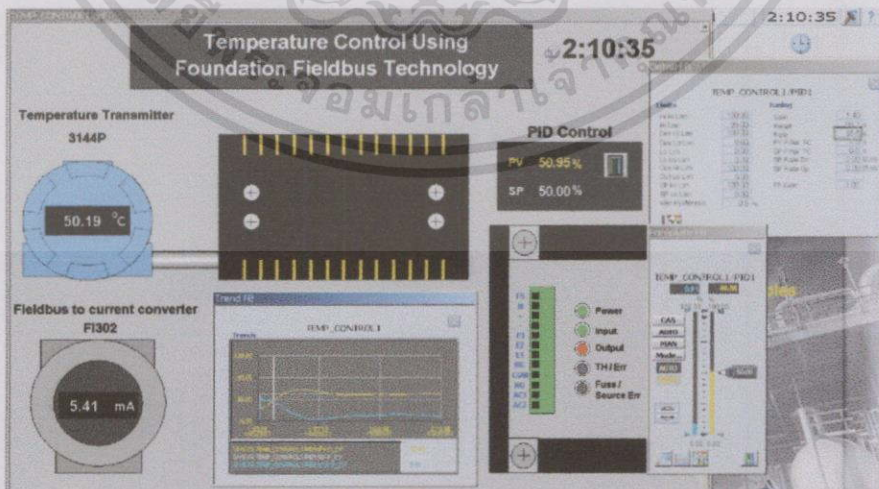
### 9) กรณีที่ 9



รูปที่ 5.78 ผลการทดลองกรณีที่ 9 จากตารางที่ 5.7

จากรูปที่ 5.78 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 0% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 20 นาที 48 วินาที เกิด Overshoot 7.5% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.5\%$

### 10) กรณีที่ 10

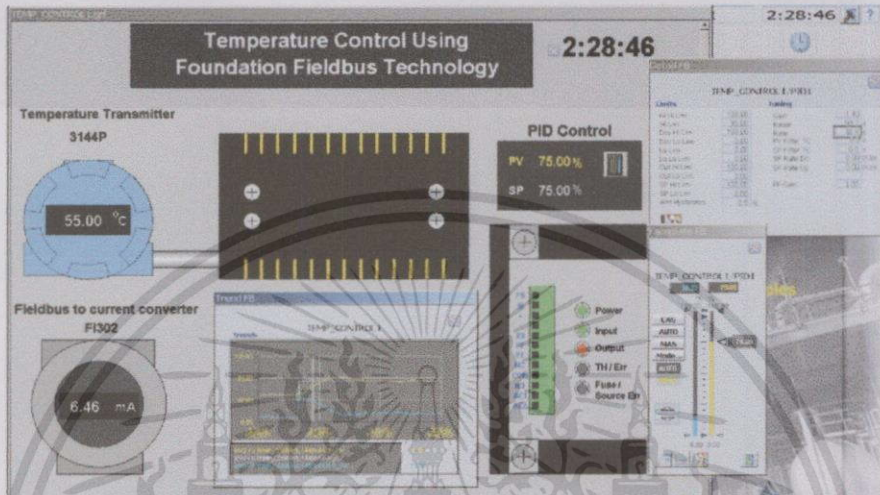


รูปที่ 5.79 ผลการทดลองกรณีที่ 10 จากตารางที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.79 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 20 นาที 47 วินาที เกิด Overshoot 8.4% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.1\%$

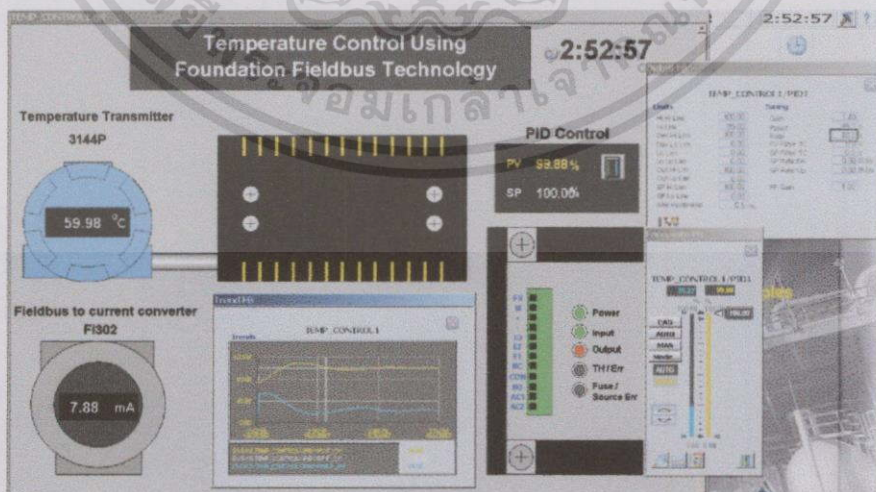
### 11) กรณีที่ 11



รูปที่ 5.80 ผลการทดลองกรณีที่ 11 จากตารางที่ 5.7

จากรูปที่ 5.80 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 15 นาที 37 วินาที เกิด Overshoot 7.6% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.5\%$

### 12) กรณีที่ 12

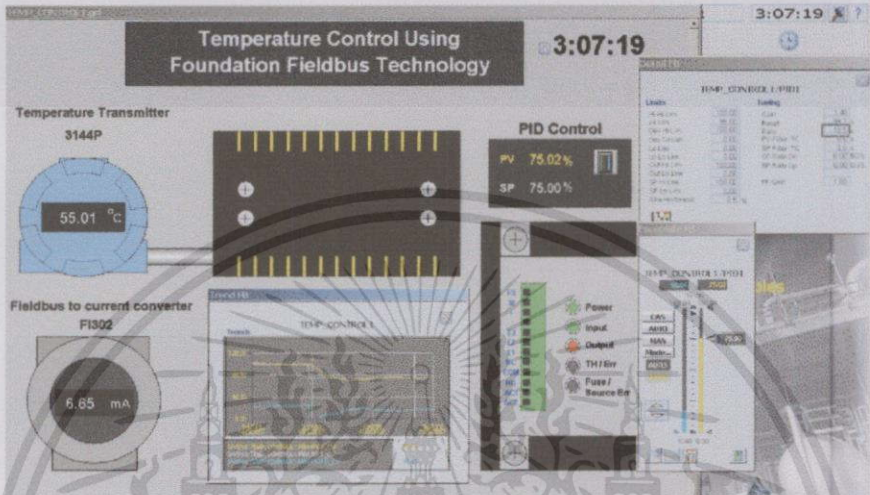


รูปที่ 5.81 ผลการทดลองกรณีที่ 12 จากตารางที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.81 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 100% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 19 นาที 47 วินาที เกิด Overshoot 9.3% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.2\%$

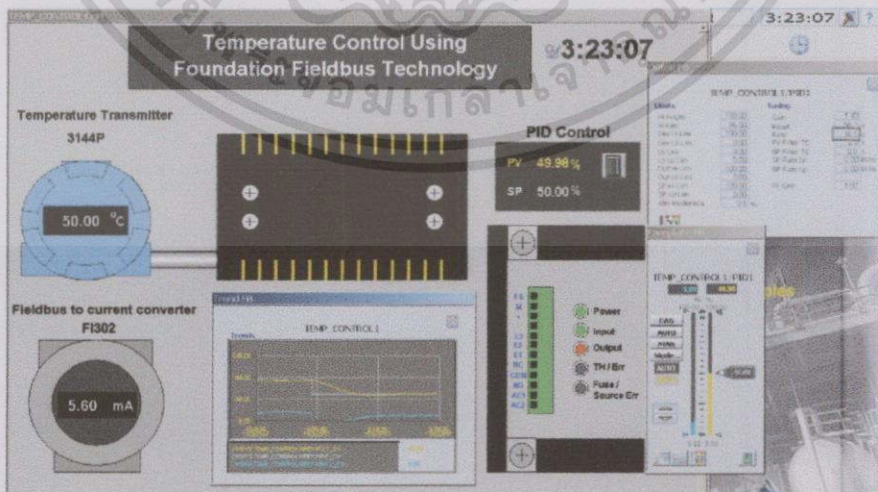
### 13) กรณีที่ 13



รูปที่ 5.82 ผลการทดลองกรณีที่ 13 จากตารางที่ 5.7

จากรูปที่ 5.82 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 100% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 13 นาที 43 วินาที เกิด Overshoot 3.7% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.2\%$

### 14) กรณีที่ 14

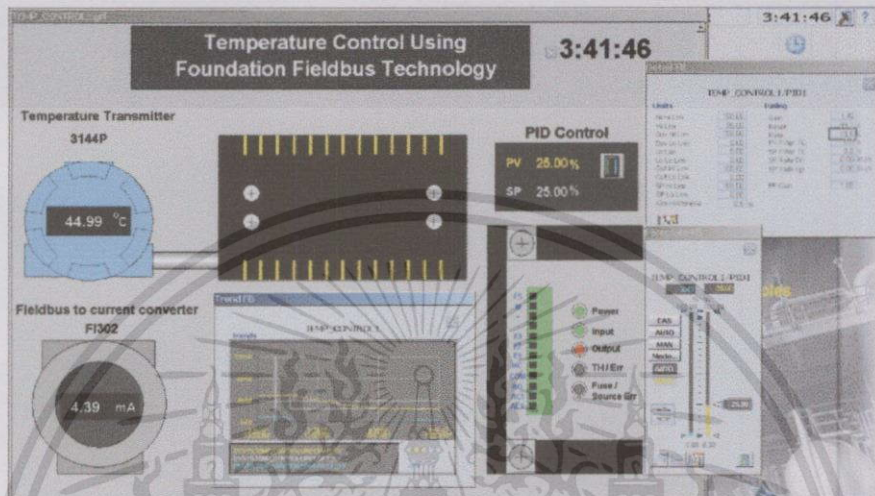


รูปที่ 5.83 ผลการทดลองกรณีที่ 14 จากตารางที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.83 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 13 นาที 57 วินาที เกิด Overshoot 2.2% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.5\%$

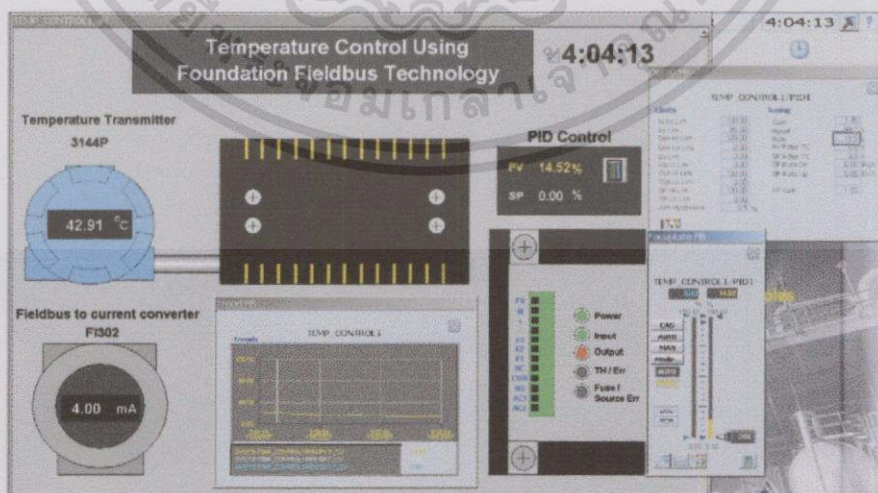
### 15) กรณีที่ 15



รูปที่ 5.84 ผลการทดลองกรณีที่ 15 จากตารางที่ 5.7

จากรูปที่ 5.84 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 16 นาที 26 วินาที เกิด Overshoot 0.3% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.6\%$

### 16) กรณีที่ 16



รูปที่ 5.85 ผลการทดลองกรณีที่ 16 จากตารางที่ 5.7

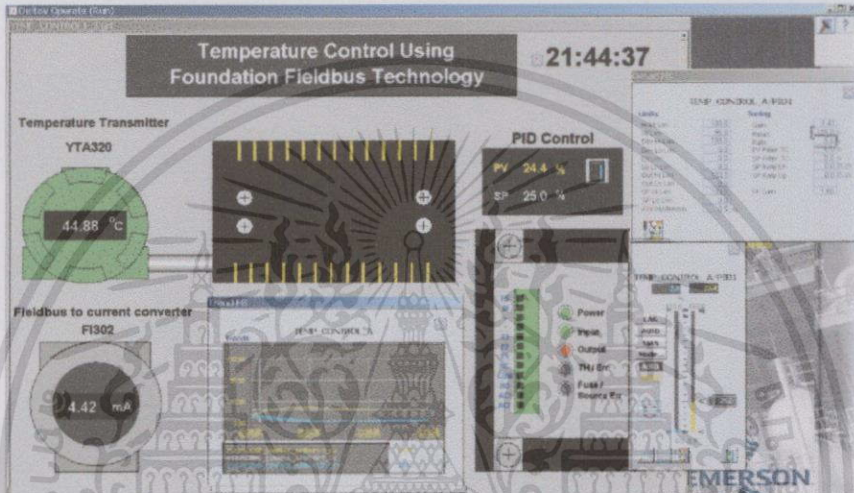
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.85 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 0% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 21 นาที 54 วินาที ไม่เกิด Overshoot และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.0\%$

### 5.3.3.2 ผลการทดลองจากเงื่อนไขในตารางที่ 5.8

โดยมีค่าอุณหภูมิแวดล้อมในขณะทำการทดลอง  $23^{\circ}\text{C}$

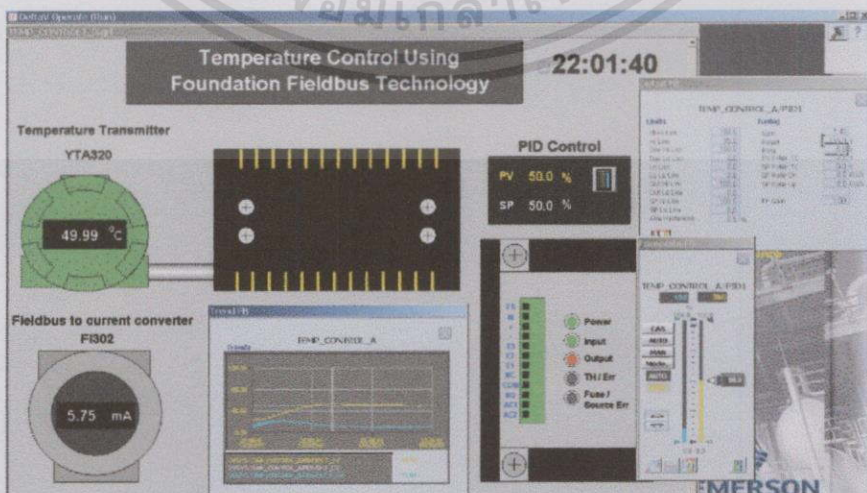
#### 1) กรณีที่ 1



รูปที่ 5.86 ผลการทดลองกรณีที่ 1 จากตารางที่ 5.8

จากรูปที่ 5.86 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 0% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 17 นาที 04 วินาที เกิด Overshoot 3.9% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.2\%$

#### 2) กรณีที่ 2

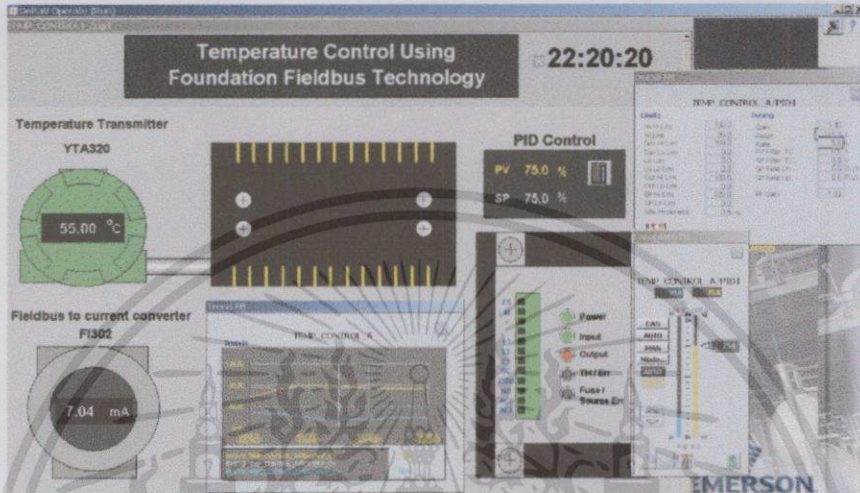


รูปที่ 5.87 ผลการทดลองกรณีที่ 2 จากตารางที่ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.87 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 15 นาที 46 วินาที เกิด Overshoot 3.0% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.6\%$

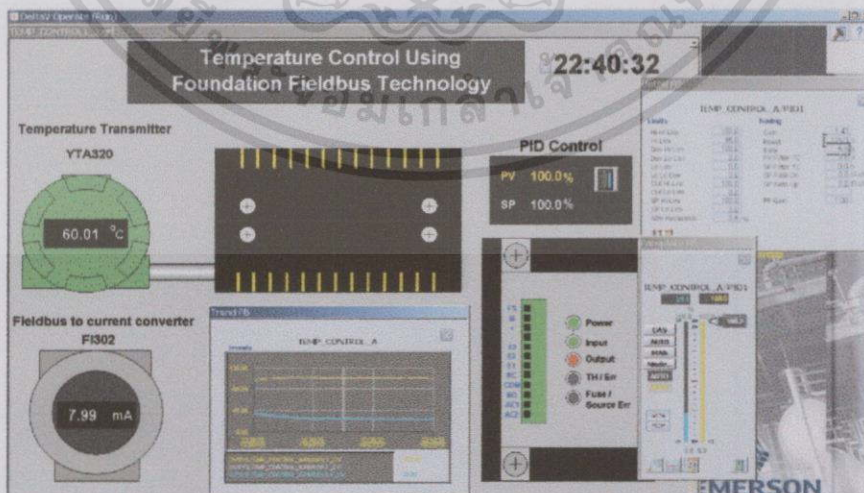
### 3) กรณีที่ 3



รูปที่ 5.88 ผลการทดลองกรณีที่ 3 จากตารางที่ 5.8

จากรูปที่ 5.88 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 18 นาที 02 วินาที เกิด Overshoot 6.1% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.8\%$

### 4) กรณีที่ 4

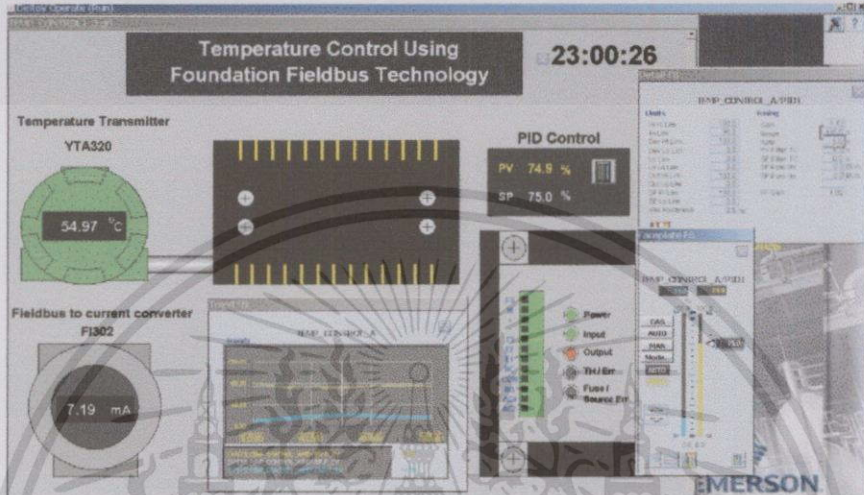


รูปที่ 5.89 ผลการทดลองกรณีที่ 4 จากตารางที่ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.89 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 100% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 19 นาที 41 วินาที เกิด Overshoot 3.51% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.1\%$

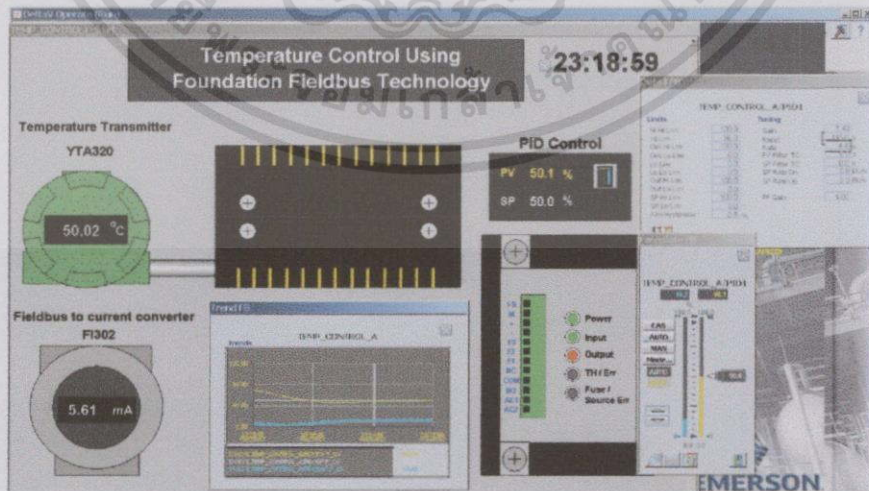
### 5) กรณีที่ 5



รูปที่ 5.90 ผลการทดลองกรณีที่ 5 จากตารางที่ 5.8

จากรูปที่ 5.90 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 100% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 19 นาที 16 วินาที เกิด Overshoot 4.2% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.3\%$

### 6) กรณีที่ 6

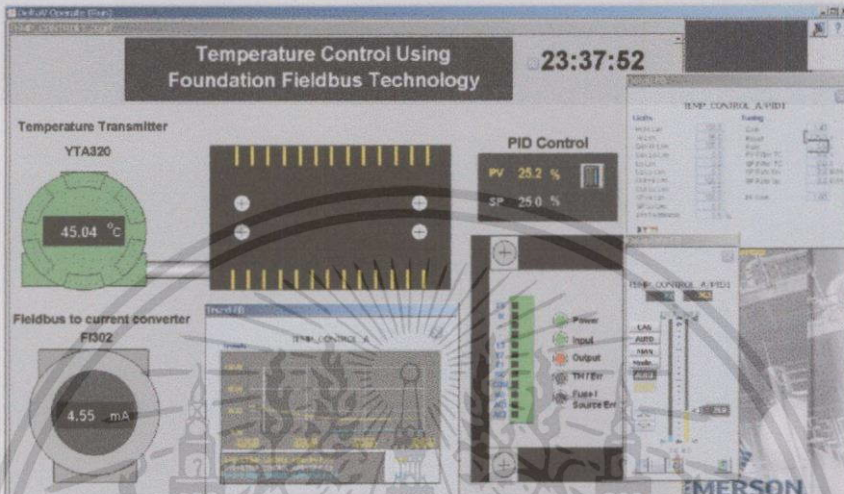


รูปที่ 5.91 ผลการทดลองกรณีที่ 6 จากตารางที่ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.91 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 16 นาที 42 วินาที เกิด Overshoot 3.7% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.2\%$

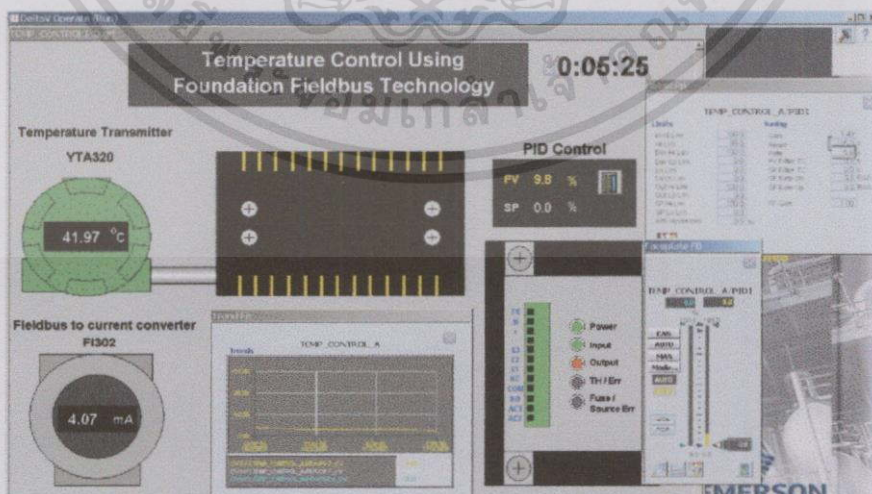
### 7) กรณีที่ 7



รูปที่ 5.92 ผลการทดลองกรณีที่ 7 จากตารางที่ 5.8

จากรูปที่ 5.92 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 16 นาที 52 วินาที เกิด Overshoot 1.2% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.4\%$

### 8) กรณีที่ 8

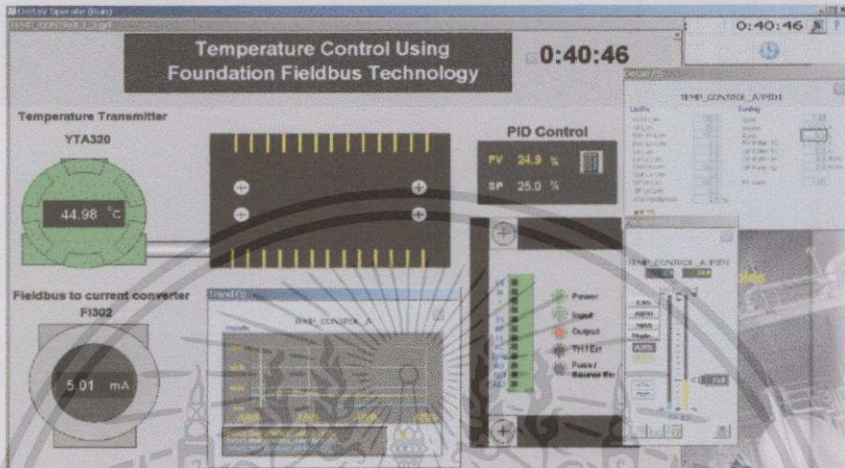


รูปที่ 5.93 ผลการทดลองกรณีที่ 8 จากตารางที่ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.93 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 0% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 26 นาที 37 วินาที ไม่เกิด Overshoot และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.1\%$

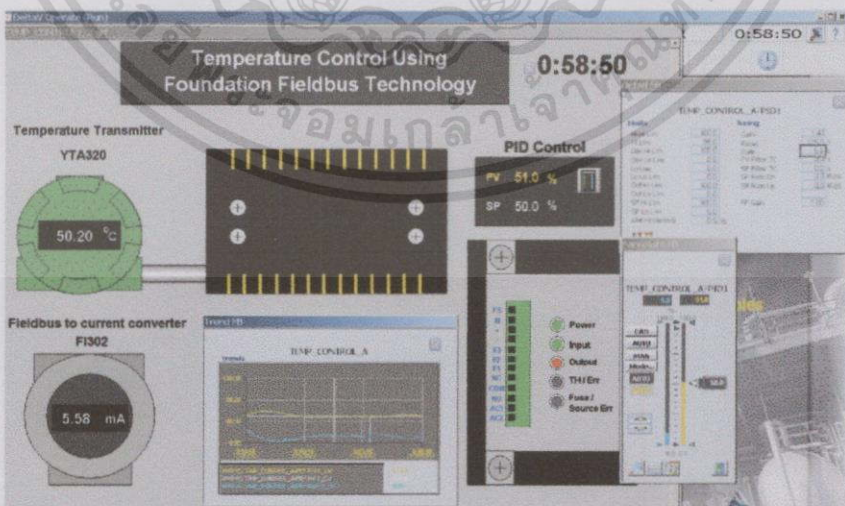
### 9) กรณีที่ 9



รูปที่ 5.94 ผลการทดลองกรณีที่ 9 จากตารางที่ 5.8

จากรูปที่ 5.94 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 0% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 15 นาที 55 วินาที เกิด Overshoot 8.7% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.8\%$

### 10) กรณีที่ 10

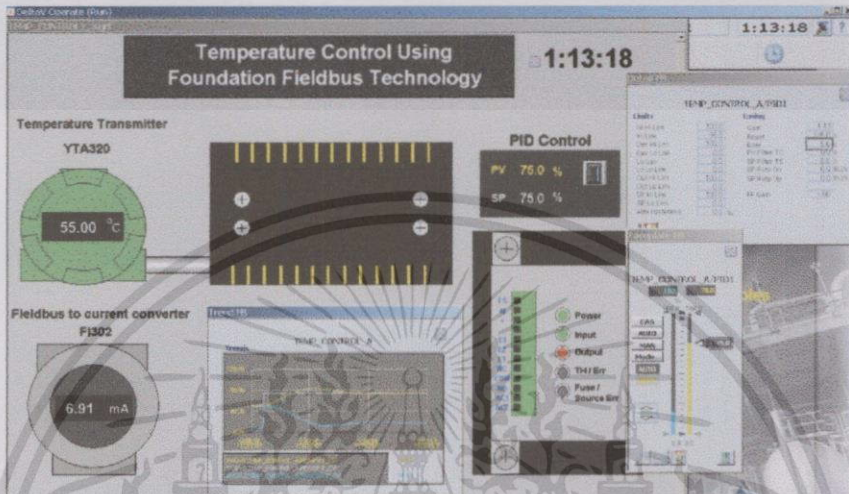


รูปที่ 5.95 ผลการทดลองกรณีที่ 10 จากตารางที่ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.95 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 17 นาที 30 วินาที เกิด Overshoot 8.9% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.6\%$

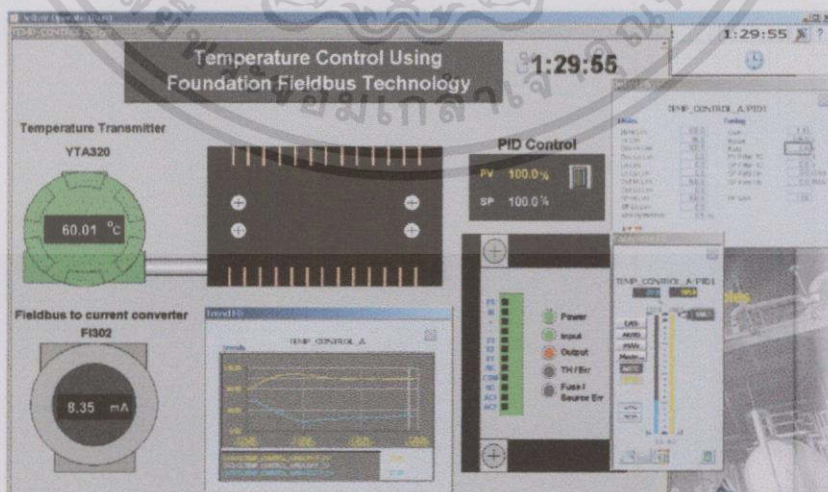
### 11) กรณีที่ 11



รูปที่ 5.96 ผลการทดลองกรณีที่ 11 จากตารางที่ 5.8

จากรูปที่ 5.96 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 12 นาที 55 วินาที เกิด Overshoot 7.9% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.8\%$

### 12) กรณีที่ 12

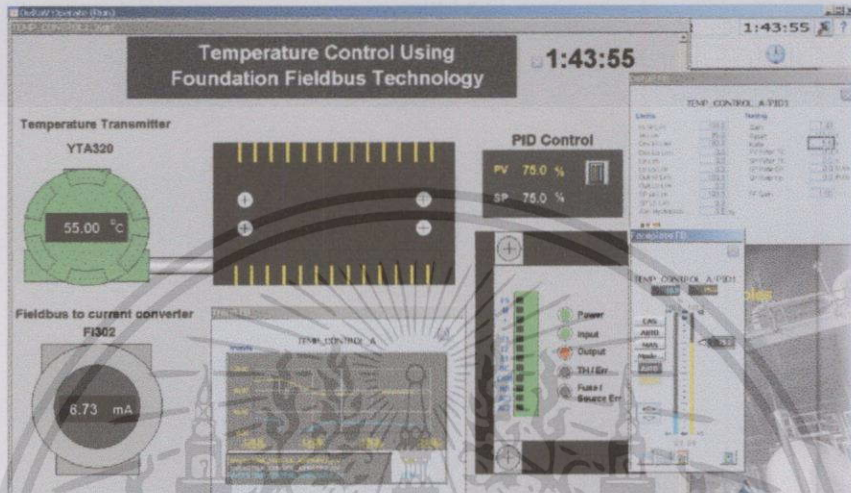


รูปที่ 5.97 ผลการทดลองกรณีที่ 12 จากตารางที่ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.97 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 100% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 15 นาที 43 วินาที เกิด Overshoot 9.2% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.2\%$

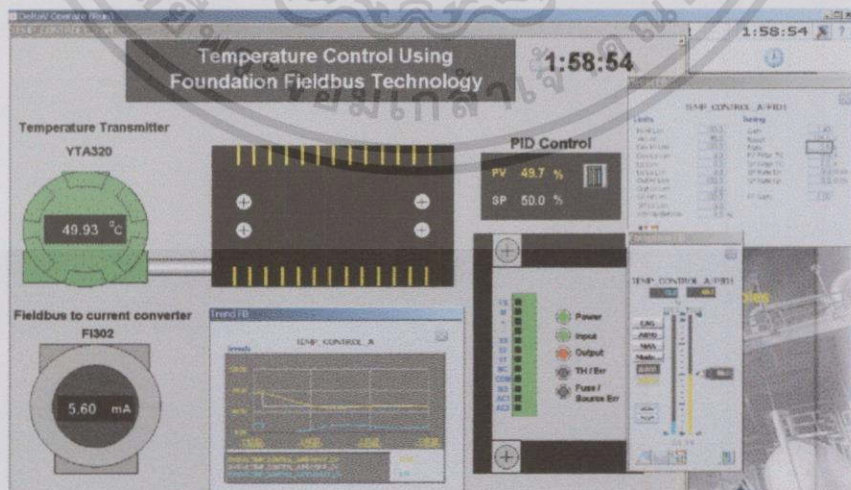
### 13) กรณีที่ 13



รูปที่ 5.98 ผลการทดลองกรณีที่ 13 จากตารางที่ 5.8

จากรูปที่ 5.98 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 100% เป็น 75% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 13 นาที 01 วินาที เกิด Overshoot 4.1% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.6\%$

### 14) กรณีที่ 14

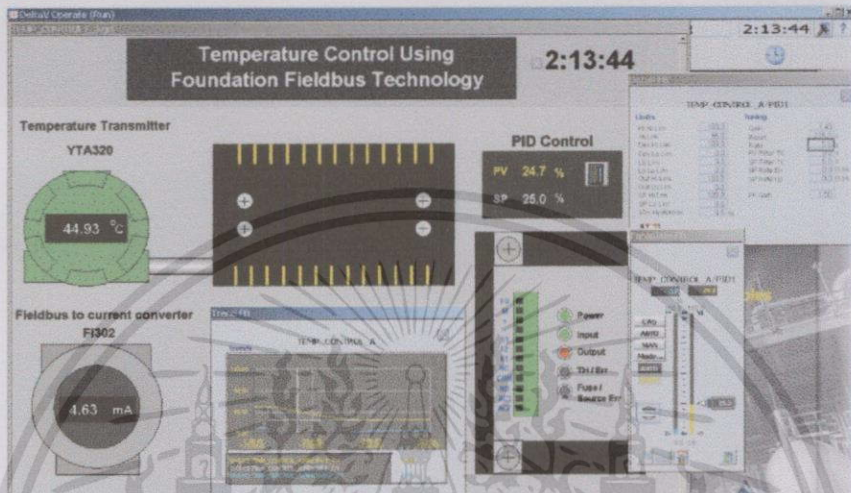


รูปที่ 5.99 ผลการทดลองกรณีที่ 14 จากตารางที่ 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.99 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 50% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 14 นาที 10 วินาที เกิด Overshoot 2.4% และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.1\%$

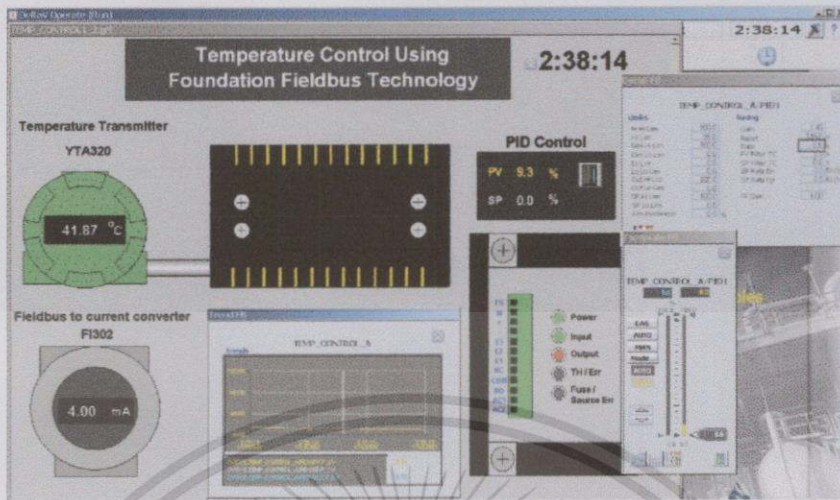
### 15) กรณีที่ 15



### รูปที่ 5.100 ผลการทดลองกรณีที่ 15 จากตารางที่ 5.8

จากรูปที่ 5.100 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 13 นาที 46 วินาที เกิด Overshoot 0.44% และค่าความผิดพลาด  $\pm 0.4\%$

## 16) กรณีที่ 16



รูปที่ 5.101 ผลการทดลองกรณีที่ 16 จากตารางที่ 5.8

จากรูปที่ 5.101 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการโดยมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 0% จะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่ค่าเป้าหมายใช้เวลาประมาณ 23 นาที 19 วินาที ไม่เกิด Overshoot และค่าความผิดพลาด  $\pm 1.2\%$

## บทที่ 6

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 6.1 สรุปผลการทดลอง

ปฏิญานิพนธ์นี้แสดงพลาเน็ตโมเดลการควบคุมอุณหภูมิโดยใช้เทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส โดยมีอุปกรณ์ระดับฟิลด์ที่มีการสื่อสารข้อมูลด้วยเทคโนโลยีฟาว์เดชั่นฟิลด์บัส 2 ตัว คือ ทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิ (Temperature Transmitter) รุ่น 3144P ของ Rosemount และอุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (Fieldbus-to-Current Converter) รุ่น FI302 ของ Smar อุณหภูมิที่เกิดจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของหลอดไฟถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรควบคุมสำหรับกระบวนการ (Controlled Variable) ในช่วง 40-60 °C ในการตรวจวัดค่าอุณหภูมิของกระบวนการ พลาเน็ตโมเดลที่ได้ออกแบบสามารถนำไปใช้ร่วมกับโฮสต์ได้ทั้ง 2 แบบ คือ โฮสต์แบบตั้งโต๊ะ (Bench Host) และโฮสต์แบบระบบดีซีเอส (Integrated DCS Host) การแก้ปัญหาและการทำงานของเซกเมนต์สำหรับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะในปฏิญานิพนธ์นี้ เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กที่ติดตั้งซอฟต์แวร์ NI-FBUS Configurator เพื่อใช้งานในส่วนวิศวกรรม (Engineering) และซอฟต์แวร์ LabVIEW ที่ใช้ในการพัฒนาในส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (Human Machine Interface : HMI) ส่วนโฮสต์แบบระบบดีซีเอสได้ใช้ระบบ DeltaV ของ Emerson Process Management นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนตัวทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิจากรุ่น 3144P ไปเป็นรุ่น YTA320 ของ Yokogawa เพื่อเป็นการทดสอบความสามารถการทำงานของพลาเน็ตโมเดลที่นำเสนอในการใช้งานร่วมกับเครื่องมือวัดจากหลายผู้ผลิต

จากผลการทดลองในบทที่ 5 เป็นการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันควบคุมแบบ PID ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาใช้ในกระบวนการควบคุมกระบวนการ โดยในการทดลองควบคุมอุณหภูมิได้กำหนดค่าเป้าหมายต่าง ๆ และมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมายแบบฟังก์ชัน Step และทดลองจับเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการที่เกิดจากผลการทำงานจากระบบ ให้มีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายที่ต้องการ การทดลองจะแบ่งเป็นช่วงขาขึ้น (Step Up) และช่วงขาลง (Step Down) ดังนี้

### 6.1.1 สรุปผลการทดลองด้วยโอสต์แบบตั้งโต๊ะ:

#### 6.1.1.1 การทดลองโดยใช้ TIT\_501 บล็อก PID ที่ TIT\_501

ในกรณีเปิดพัลลวม (Auto Mode)

ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันควบคุม PID ที่เหมาะสมที่สุดคือ

$$P = 1.40 \quad I = 99.2 \quad D = 18.5$$

ตารางที่ 6.1 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 1-4 ตามตารางที่ 5.1

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาท)
0% - 25%	10.42
25% - 50%	9.36
50% - 75%	12.22
75% - 100%	11.42

ตารางที่ 6.2 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 5-8 ตามตารางที่ 5.1

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาท)
100% - 75%	13.46
75% - 50%	12.36
50% - 25%	11.39
25% - 0%	11.41

#### 6.1.1.2 การทดลองโดยใช้ TIT\_501 บล็อก PID ที่ DIY\_501

ในกรณีเปิดพัลลวม (Auto Mode)

ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันควบคุม PID ที่เหมาะสมที่สุดคือ

$$P = 1.40 \quad I = 99.2 \quad D = 18.5$$

ตารางที่ 6.3 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 9-12 ตามตารางที่ 5.1

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาท)
0% - 25%	12.38
25% - 50%	13.52
50% - 75%	15.33
75% - 100%	16.13

ตารางที่ 6.4 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 13-16 ตามตารางที่ 5.1

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาทิต)
100% - 75%	13.54
75% - 50%	15.44
50% - 25%	13.40
25% - 0%	16.03

6.1.1.3 การทดลองโดยใช้ TIT\_501 บล็อก PID ที่ TIT\_501  
ในกรณีปิดพัลลวม (Off Mode)

ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันควบคุม PID ที่เหมาะสมที่สุดคือ

$$P = 1.40 \quad I = 99.2 \quad D = 18.5$$

ตารางที่ 6.5 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 17-20 ตามตารางที่ 5.1

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาทิต)
0% - 25%	14.49
25% - 50%	16.03
50% - 75%	10.27
75% - 100%	14.51

ตารางที่ 6.6 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 21-24 ตามตารางที่ 5.1

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาทิต)
100% - 75%	10.29
75% - 50%	12.06
50% - 25%	14.56
25% - 0%	22.36

6.1.1.4 การทดลองโดยใช้ TIT\_501 บล็อก PID ที่ DIY\_501  
ในกรณีปิดพัลลวม (Off Mode)

ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันควบคุม PID ที่เหมาะสมที่สุดคือ

$$P = 1.40 \quad I = 99.2 \quad D = 18.5$$

ตารางที่ 6.7 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 25-28 ตามตารางที่ 5.1

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาท)
0% - 25%	17.23
25% - 50%	14.10
50% - 75%	13.17
75% - 100%	13.22

ตารางที่ 6.8 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 29-32 ตามตารางที่ 5.1

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาท)
100% - 75%	16.12
75% - 50%	14.22
50% - 25%	16.41
25% - 0%	17.46

6.1.1.5 การทดลองโดยใช้ TIT\_502 บล็อก PID ที่ TIT\_502  
ในกรณีเปิดพัลลวม (Auto Mode)

ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันควบคุม PID ที่เหมาะสมที่สุดคือ

$$P = 1.43 \quad I = 115.0 \quad D = 5.6$$

ตารางที่ 6.9 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 1-4 ตามตารางที่ 5.2

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาท)
0% - 25%	14.21
25% - 50%	19.59
50% - 75%	15.40
75% - 100%	17.57

ตารางที่ 6.10 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 5-8 ตามตารางที่ 5.2

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาท)
100% - 75%	15.50
75% - 50%	19.21
50% - 25%	18.31
25% - 0%	8.24

6.1.1.6 การทดลองโดยใช้ TIT\_502 บล็อก PID ที่ DIY\_501  
ในกรณีเปิดพัลลวม (Auto Mode)

ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันควบคุม PID ที่เหมาะสมที่สุดคือ

$$P = 1.43 \quad I = 115.0 \quad D = 5.6$$

ตารางที่ 6.11 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 9-12 ตามตารางที่ 5.2

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาท)
0% - 25%	20.40
25% - 50%	16.24
50% - 75%	14.27
75% - 100%	15.02

ตารางที่ 6.12 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 13-16 ตามตารางที่ 5.2

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาท)
100% - 75%	9.47
75% - 50%	9.12
50% - 25%	8.34
25% - 0%	13.18

6.1.1.7 การทดลองโดยใช้ TIT\_502 บล็อก PID ที่ TIT\_502  
ในกรณีปิดพัลลวม (Off Mode)

ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันควบคุม PID ที่เหมาะสมที่สุดคือ

$$P = 1.43 \quad I = 115.0 \quad D = 5.6$$

ตารางที่ 6.13 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 17-20 ตามตารางที่ 5.2

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาท)
0% - 25%	15.32
25% - 50%	14.49
50% - 75%	10.01
75% - 100%	13.04

ตารางที่ 6.14 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 21-24 ตามตารางที่ 5.2

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาท)
100% - 75%	7.35
75% - 50%	11.21
50% - 25%	10.11
25% - 0%	20.05

6.1.1.8 การทดลองโดยใช้ TIT\_502 บล็อก PID ที่ DIY\_501  
ในกรณีปิดพัลลวม (Off Mode)

ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันควบคุม PID ที่เหมาะสมที่สุดคือ

$$P = 1.43 \quad I = 115.0 \quad D = 5.6$$

ตารางที่ 6.15 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 25-28 ตามตารางที่ 5.2

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาท)
0% - 25%	14.10
25% - 50%	15.53
50% - 75%	14.33
75% - 100%	20.29

ตารางที่ 6.16 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 29-32 ตามตารางที่ 5.2

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาทีก)
100% - 75%	15.15
75% - 50%	12.13
50% - 25%	15.50
25% - 0%	23.14

### 6.1.2 สรุปผลการทดลองด้วยโอสต์ระบบดีซีเอส

#### 6.1.2.1 การทดลองโดยใช้ TIT\_501 บล็อก PID ที่ TIT\_501

ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันควบคุม PID ที่เหมาะสมที่สุดคือ

$$P = 1.40 \quad I = 99.2 \quad D = 18.5$$

ตารางที่ 6.17 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 1-4 ตามตารางที่ 5.3

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาทีก)
0% - 25%	17.43
25% - 50%	19.50
50% - 75%	16.50
75% - 100%	16.30

ตารางที่ 6.18 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 5-8 ตามตารางที่ 5.3

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาทีก)
100% - 75%	15.06
75% - 50%	19.18
50% - 25%	10.43
25% - 0%	29.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.1.2.2 การทดลองโดยใช้ TIT\_501 บล็อก PID ที่ DIY\_501

ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันควบคุม PID ที่เหมาะสมที่สุดคือ

$$P = 1.40 \quad I = 99.2 \quad D = 18.5$$

ตารางที่ 6.19 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 9-12 ตามตารางที่ 5.3

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาทีก)
0% - 25%	20.48
25% - 50%	20.47
50% - 75%	15.37
75% - 100%	19.47

ตารางที่ 6.20 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 13-16 ตามตารางที่ 5.3

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาทีก)
100% - 75%	13.43
75% - 50%	13.57
50% - 25%	16.26
25% - 0%	21.54

### 6.1.2.3 การทดลองโดยใช้ TIT\_502 บล็อก PID ที่ TIT\_502

ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันควบคุม PID ที่เหมาะสมที่สุดคือ

$$P = 1.43 \quad I = 115.0 \quad D = 5.6$$

ตารางที่ 6.21 สรุปผลการทดลองในกรณีที่ 1-4 ตามตารางที่ 5.4

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาทีก)
0% - 25%	17.04
25% - 50%	15.46
50% - 75%	18.02
75% - 100%	19.41

ตารางที่ 6.22 สรุปผลการทดลองในกรณี 5-8 ตามตารางที่ 5.4

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาทิต)
100% - 75%	19.16
75% - 50%	16.42
50% - 25%	16.52
25% - 0%	26.37

## 6.1.2.4 การทดลองโดยใช้ TIT\_502 บล็อก PID ที่ DIY\_501

ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันควบคุม PID ที่เหมาะสมที่สุดคือ

$$P = 1.43 \quad I = 115.0 \quad D = 5.6$$

ตารางที่ 6.23 สรุปผลการทดลองในกรณี 9-12 ตามตารางที่ 5.4

ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาทิต)
0% - 25%	15.55
25% - 50%	17.30
50% - 75%	12.55
75% - 100%	15.43

ตารางที่ 6.24 สรุปผลการทดลองในกรณี 13-16 ตามตารางที่ 5.4

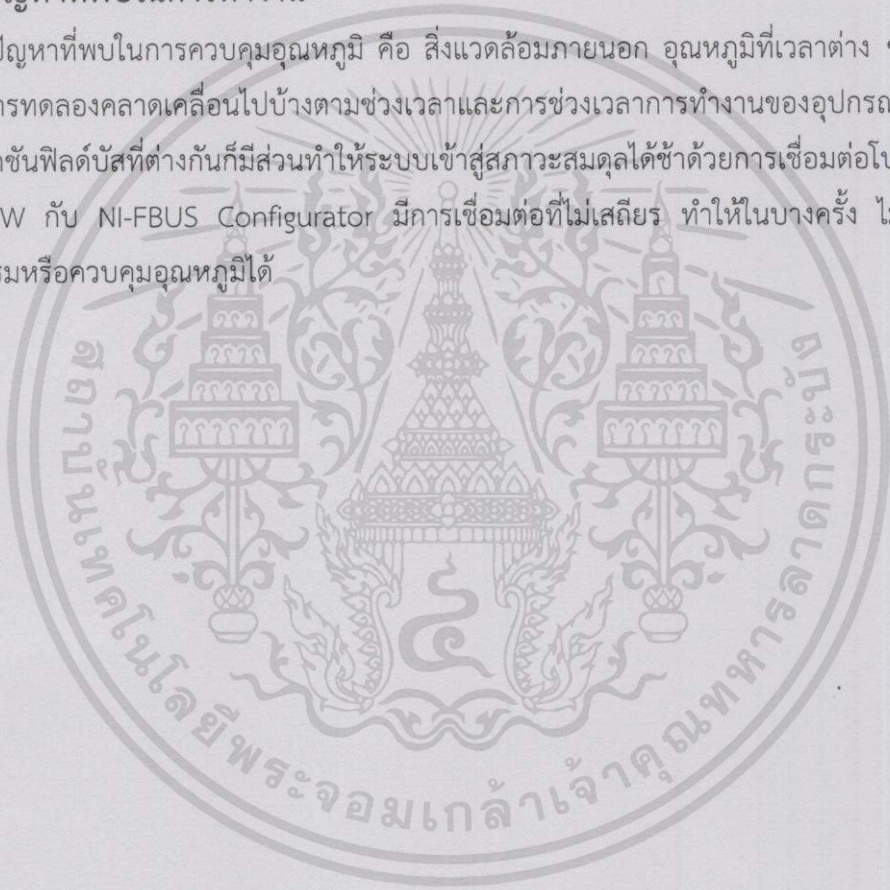
ค่าเป้าหมาย	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย (นาทิต)
100% - 75%	13.01
75% - 50%	14.10
50% - 25%	13.46
25% - 0%	23.19

จากตารางที่ 6.1 ถึง 6.24 จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าเป้าหมายมีค่าสูงขึ้น ค่าเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีการปรับจูน PID ต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมมารบกวน จากผลการทดลองในช่วงกลาง เวลาในการลดค่าเป้าหมายจะใช้เวลาใกล้เคียงกัน ประมาณ 2-3 นาที ยกเว้นในช่วงที่เปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 0% จะใช้เวลามากกว่าการเปลี่ยนแปลงในช่วงค่าเป้าหมายอื่น แต่มีการใช้พัลลวมช่วยในช่วงกลางจะทำให้เวลาในการเข้าสู่เป้าหมายลดลงตามหัวข้อที่ 6.1.1

ผลจากการดำเนินงานตามขั้นตอนการจัดทำปริญญาพันธในหัวข้อการใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณฟิลด์บัสเป็นกระแส (FI) และทรานสมิตเตอร์อุณหภูมิที่ต่างยี่ห้อกัน โดยการใช้งานร่วมกับโฮสต์แบบตั้งโต๊ะ หรือ การใช้งานร่วมกับโฮสต์ระบบพีซีเอส ได้ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ คือ ได้พลาเน็ตโมเดลสำหรับการควบคุมอุณหภูมิในช่วง 40-60 °C ที่สามารถควบคุมด้วยการ Control in the field อีกทั้งยังสามารถควบคุมอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสต่างผู้ผลิตต่างยี่ห้อกันได้และมีการเชื่อมต่อการทำงานระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ อีกทั้งยังสามารถนำพลาเน็ตโมเดลนี้มาใช้เพื่อเผยแพร่เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสได้

## 6.2 ปัญหาที่พบในการทำงาน

ปัญหาที่พบในการควบคุมอุณหภูมิ คือ สิ่งแวดล้อมภายนอก อุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ กันอาจทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนไปบ้างตามช่วงเวลาและการช่วงเวลาการทำงานของอุปกรณ์เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลด์บัสที่ต่างกันก็มีส่วนทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้ช้าด้วยการเชื่อมต่อโปรแกรม LabVIEW กับ NI-FBUS Configurator มีการเชื่อมต่อที่ไม่เสถียร ทำให้ในบางครั้ง ไม่สามารถรันโปรแกรมหรือควบคุมอุณหภูมิได้

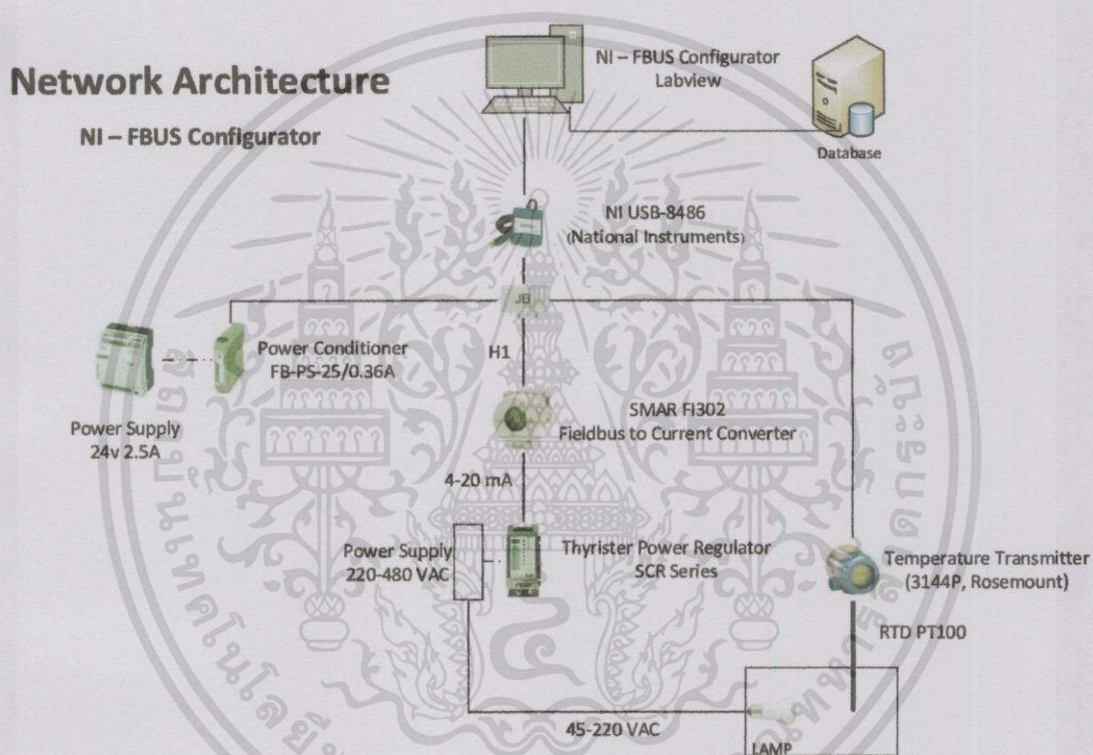


### 6.3 ข้อเสนอแนะ

1) การควบคุมพัฒนาควบคุมแบบ Cascade control เพื่อให้การควบคุมกระบวนการได้ง่ายขึ้น และควบคุมพัฒนาผ่านการควบคุมหลักของระบบป้อนกลับที่จากอุปกรณ์เทคโนโลยีฟาว์นเดชันฟิลดโดยตรง

2) การเชื่อมต่อระบบควรมีการควบคุมพลานต์โมเดลมีการเก็บค่าข้อมูลไปที่ Database เพื่อสามารถกลับมาดูข้อมูลย้อนหลังได้

3) ควรมีการพัฒนา Diagnostic ในของ HMI เพื่อวิเคราะห์อุปกรณ์ในพลานต์โมเดลจำลอง ว่ามีอุปกรณ์ใดบ้างในระบบที่ทำงานผิดพลาด หรือ เซนเซอร์มีการชำรุดเสียหาย



รูปที่ 6.1 แนวคิดในการควบคุมพลานต์โมเดลมีการเก็บค่าข้อมูลไปที่ Database ของพลานต์โมเดลที่นำเสนอ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์. (2553). ระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม (Industrial Automation). มิน เซอร์วิส ซัพพลาย. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ.
- [2] <http://www.fieldbus.org>
- [3] Harold L. Wade, Basic and Advanced Regulatory Control : System Design and Application, 2<sup>nd</sup> Edition, ISA, 2004.
- [4] <http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Documents/00809-0100-4021.pdf>
- [5] <http://www.yokogawa.com/fld/TEMPERATURE/fld-yta-yta-01en.htm>
- [6] <http://www.smar.com/PDFs/Manuals/FI302ME.pdf>
- [7] <http://www.sangchaimeter.com/product/content/power-regulator-scr-series>
- [8] <http://pp-service.freetzi.com/Scr.html>
- [9] <http://www.philips.co.th>
- [10] รศ.ดร.สมชัย อัครทิวา และ ดร.ขวัญจิต วงษ์ชารี. (2552). เทอร์โมไดนามิกส์. แมคครอ-ฮิล. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ
- [11] <http://www.ni.com/pdf/manuals/370514g.pdf>
- [12] [http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno#.UwWCtfmSy\\_Y](http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno#.UwWCtfmSy_Y)
- [13] <http://www.thaieasyelec.com/electronics-in-chapter/uart-ttl-rs232-max232-max3232.html>
- [14] <http://www.thaieasyelec.com/component/content/article/11-basic-electronics/75-interview-arduino-part1.html>
- [15] <http://bildr.org/2012/03/rfp30n06le-arduino/>
- [16] <http://www.adisak51.com/page21.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[17] <http://arduino.cc/en/Tutorial/PWM#.UyXNN5A5PVg>

[18] Ian Verhappen and Augusto Pereira, Foundation Fieldbus, 3<sup>rd</sup> Edition, ISA, 2009



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้