การประยุกต์ใช้งานระบบควบคุมกระบวนการ : กรณีศึกษา HONEYWELLPLANT CRUISE'S DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM

APPLICATION OF REGULATORY CONTROL SYSTEM : PLANT CRUISE'S DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM

ธนโชติ มุ่งธัญญา
พีรวัชญ์ คุณสิน
ศุภพิชญ์ พิศุทธ์สินธุ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การประยุกต์ใช้งานระบบควบคุมกระบวนการ : กรณีศึกษา HONEYWELLPLANT CRUISE'S DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM

APPLICATION OF REGULATORY CONTROL SYSTEM : PLANT CRUISE'S DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM

ธนโชติ มุ่งธัญญา

พีรวัชญ์ คุณสิน

ศุภพิชญ์ พิศุทธ์สินธุ์

TB00043

b.00264527

i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF REGULATORY CONTROL SYSTEM : PLANT CRUISE'S DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM

Thanachot Mungtunya
Peerawat Khunsin
Supapich Pisutsin

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONHKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประยุกต์ใช้งานระบบควบคุมกระบวนการ : กรณีศึกษา HONEYWELLPLANT CRUISE'S DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM APPLICATION OF REGULATORY CONTROL SYSTEM : PLANT CRUISE'S DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายธนโชติ	มุ่งธัญญา	**รหัสนักศึกษา** 57010541
	นายพีรวัชญ์	คุณสิน	**รหัสนักศึกษา** 57010921
	นายศุภพิชญ์	พิศุทธ์สินธุ์	**รหัสนักศึกษา** 57011270
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม		
ปีการศึกษา	2560		

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย นิลาศ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การประยุกต์ใช้งานระบบควบคุมกระบวนการกรณีศึกษา HONEYWELLPLANT CRUISE'S DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM APPLICATION OF REGULATORY CONTROL SYSTEM : PLANT CRUISE'S DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM

นักศึกษาผู้จัดทำ นายธนโชติ มุ่งธัญญา **รหัสนักศึกษา** 57010541
นายพีรวัชญ์ คุณสิน **รหัสนักศึกษา** 57010921
นายศุภพิชญ์ พิศุทธ์สินธุ์ **รหัสนักศึกษา** 57011270

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย นิลาศ

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดขึ้นเพื่อศึกษาโครงสร้างการบริหารจัดการการ พัฒนาระบบควบคุมกระบวนการ และการติดต่อผู้ใช้งาน ด้วยระบบควบคุมแบบกระจายส่วนขนาดกลางของบริษัท Haneywell รุ่น PlantCruise โดยการพัฒนาโปรแกรมควบคุมกระบวนการ การเรียกใช้ไลบรารีต่างๆ สำหรับการทดสอบผลลัพธ์ของการควบคุม ทำการทดสอบโปรแกรมโดยการควบคุมกระบวนการในห้องปฏิบัติการ ผู้จัดทำได้ศึกษาการควมคุมระบบน้ำผ่านโปรแกรม Honeywell's PlantCruise โดยผู้จัดทำได้ทำการศึกษาไลบรารี และเขียนฟังก์ชั่นบล็อกไดอะแกรม เพื่อควบคุมระดับน้ำจากแพลนท์จำลองของห้องปฏิบัติการ สามารถความคุมระดับน้ำให้เป็นไปตามค่าระดับ ที่ต้องการได้ แสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงของค่ากระบวนการ (PV) ของระบบ รวมไปถึงทำการติดตามผลของกระบวนการ ได้ตลอดเวลาตามเวลาจริงที่มีการใช้งาน นอกจากนี้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้อธิบายวิธีการใช้งาน และการควบคุมระบบ เพื่อให้ผู้ศึกษาเข้าใจการใช้งานโปรแกรม สำกรับควบคุมกระบวนการรุ่น PlantCruise และนำไปพัฒนาต่อไป จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าการศึกษาระบบการควบคุมการบวนการดังกล่าว จะเป็นการศึกษาเพิ่มเติมจากการเรียนภาคทฤษฎีสู่ภาคปฏิบัติ เพื่อการใช้งานได้จริง และเป็นการเพิ่มทักษะ เผยแพร่ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการทำงานจริงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	APPLICATION OF REGULATORY CONTROL SYSTEM : PLANT CRUISE'S DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM
Authors	Mr. Thanachot Mungtunya
	Mr. Peerawat Khunsin
	Mr. Supapich Pisutsin
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Phongchai Nilas
Year	2560

ABSTRACT

The purpose of this project is to study application of regulatory control system and communication with users by using Honeywell's PlantCruise distributed control system to develop controlling program of the request of libraries for test the result of controlling. The program was tested by controlling system in the laboratory. Honeywell's PlantCruise was used to study water control system. We explored library and wrote function blocks diagram in order to control the level of water of imitate plant in laboratory. The level of water can be controlled to remain at the desired set point and PI graph can also showed including the real-time monitoring. Moreover, this report also provided the instruction of PlantCruise Control program. Thus, the learners will be able to access this program easily. As mentioned above, it was obviously seen that the study of regulatory control system is the additional study apart from theoretical study which can be used for real and can be developed more in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยคำแนะนำจาก รศ. สักรียา ชิตวงศ์และ ผศ. ดร. พงษ์ชัย นิลาศ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์และเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของคณะวิจัย ทั้งยังสนับสนุนงบประมาณ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ คณะวิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ คณะอาจารย์ทุกๆ ท่านที่ได้ส่งสอนให้ความรู้ตั้งแต่เริ่มการศึกษา ซึ่งสามารถนำความรู้ที่ได้รับมาประยุกต์ใช้กับการทำปริญญานิพนธ์นี้ได้อย่างเต็มที่

ขอขอบพระคุณ บริษัท Honeywell สำหรับโปรแกรมควบคุมกระบวนการรุ่น PlantCruise ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่ให้คำปรึกษา และกำลังใจในการทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ของคณะผู้จัดทำทุกท่าน ซึ่งเป็นผู้ที่ส่งเสริมการศึกษาและอนาคตที่ดี ตลอดจนให้คำปรึกษา กำลังใจ และความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VIII

สารบัญรูป IX

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2

บทที่ 2 ทฤษฎี 3

2.1 ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน DCS 3

2.1.1 ข้อดีของ DCS 3

2.1.2 ข้อเสียของ DCS 3

2.2 ส่วนประกอบของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน 4

2.2.1 เซิฟเวอร์ของ DCS 4

2.2.2 คอนโทรลเลอร์ (Controller) 4

2.2.3 สเตชั่นของ DCS (DCS Station) 4

2.2.4 ระบบเชื่อมต่ออุปกรณ์ Networks/Lan (Fault Tolerant Ethernet) 5

2.2.5 ส่วนโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งาน (Human Machine Interface (HMI)) 5

2.2.5.1 ส่วนแสดงผลกราฟฟิก (DCS Graphic) 5

2.2.5.2 ส่วนแสดงผลการวิเคราะห์ของระบบ (DCS Trend) 5

2.2.5.3 ส่วนบันทึกเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นขณะทำงาน (DCS Event) 5

2.3 ระบบควบคุมแบบกระจายส่วนของบริษัท Honeywell 5

2.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้งาน (Hardware) 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.1.2 เซิฟเวอร์ DCS 6
2.3.1.2 คอนโทรลเลอร์ของบริษัท Honeywell 6
2.3.1.2.1 สัญลักษณ์ที่แสดงบนคอนโทรเลอร์ 6
2.3.1.2.2 สัญลักษณ์แสดงสถานะการทำงานของคอนโทรเลอร์ 7
2.3.2 อุปกรณ์ที่นำมาต่อร่วมกับคอนโทรลเลอร์ 8
2.4 ประสิทธิภาพการทำงานของคอนโทรลเลอร์ 9
2.4.1 ขีดจำกัดด้านการเชื่อมต่อเครือข่ายของคอนโทรลเลอร์ 9
2.4.2 ขีดจำกัดในการตั้งค่าการเชื่อมต่อของคอนโทรลเลอร์ 9
2.4.3 ขีดจำกัดในการเชื่อมต่อคอนโทรลเลอร์คู่ขนาน (Redundancy) 10
2.5 โปรแกรมสำหรับควบคุมกระบวนการ 10
2.5.1 โปรแกรมควบคุมกระบวนการสำหรับโอเปอเรเตอร์ (Operator) 11
2.5.2 โปรแกรมควบคุมกระบวนการสำหรับผู้ใช้งาน (User) 11
2.6 โปรแกรมติดตามผลของกระบวนการในลักษณะกราฟ (Trends Monitoring) 11
2.7 ระบบควบคุมแบบพีไอดี (PID) 12
2.7.1 ระบบควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional (P)) 12
2.7.2 ระบบควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral (I)) 12
2.7.3 ระบบควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative (D)) 13
2.7.4 ระบบควบคุมแบบสัดส่วน ปริพันธ์ และอนุพันธ์ (PID) 13
2.8 การปรับจูนระบบควบคุม (Tuning) 13
2.8.1 การปรับจูนด้วยการลองผิดลองถูก (Trial and Error) 13
2.8.2 การปรับจูนด้วยวิธี Ziegler-Nichols 14
2.9 อุปกรณ์ใช้งานด้านการวัดปริมาณ และการควบคุมกระบวนการ 15

บทที่ 3 วิธีดำเนินการ 16
3.1 โครงสร้างของระบบที่ถูกควบคุม 16
3.2 โครงสร้างของกระบวนการและอุปกรณ์ต่อร่วม 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 โปรแกรมควบคุมกระบวนการและโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งาน....17
3.3.1 โปรแกรมควบคุมกระบวนการสำหรับโอเปอเรเตอร์....17
3.3.2 โปรแกรมควบคุมกระบวนการสำหรับผู้ใช้งาน....17
3.4 การปรับจูนค่าของกระบวนการด้วยวิธี Ziegler-Nichols....17
3.5 ออกแบบส่วนแสดงผลสำหรับผู้ใช้งาน (HMI)....18

บทที่ 4 การนำเสนอผลของข้อมูล....23
4.1 การนำเสนอผลของข้อมูลที่ได้จากการวิจัย....23
4.1.1 การควบคุมระดับแบบซิงเกิลลูป (Single Loop Level Control)....23
4.1.1.1 การปรับจูนค่าขั้นที่ 1 สำหรับการควบคุมระดับ....24
4.1.1.2 การปรับจูนค่าขั้นที่ 2 สำหรับการควบคุมระดับ....26
4.1.1.3 การปรับจูนค่าขั้นที่ 3 สำหรับการควบคุมระดับ....28
4.1.2 การควบคุมการไหลแบบซิงเกิลลูป (Single Loop Flow Control)....31
4.1.3 การควบคุมแบบคาสแคด (Cascade Control)....34

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอเชิงทฤษฎีจากการวิจัย....38
5.1 สรุปผลการวิจัย....38
5.1.1 สรุปผลการพัฒนาระบบควบคุมกระบวนการ และติดต่อผู้ใช้งาน....38
5.1.2 สรุปผลการเรียกใช้ไลบรารีต่างๆ....38
5.1.2.1 ไลบรารีสำหรับโมดูล....39
5.1.2.2 ไลบรารีตัวควบคุมพีไอดี....39
5.1.3 สรุปผลการทดสอบโปรแกรมควบคุมกระบวนการ....39
5.2 ปัญหาที่พบ....39
5.2.1 ปัญหาอันเนื่องมาจากอายุของอุปกรณ์ที่ใช้งาน....39
5.2.2 ปัญหาอันเนื่องมาจากลักษณะการติดตั้งโดยรวมของระบบที่ถูกควบคุม....40
5.3 ข้อเสนอเชิงทฤษฎีจากการวิจัย....40
5.3.1 การบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่ใช้งาน....40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3.2 การติดตั้งโดยรวมของระบบที่ถูกควบคุม 40

บรรณานุกรม **41**

ภาคผนวก **42**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ตารางแสดงสถานะของหลอดไฟบนคอนโทรลเลอร์ 7
2.2 ขีดจำกัดด้านการเชื่อมต่อเครือข่ายของคอนโทรลเลอร์ 9
2.3 ขีดจำกัดในการตั้งค่าของคอนโทรลเลอร์ 10
2.4 ขีดจำกัดในการเชื่อมต่อคอนโทรลเลอร์คู่ขนาน 10
2.5 ตารางแสดงผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ 14
2.6 ตารางการปรับจูนโดยวิธี Ziegler-Nichols 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 แสดงส่วนประกอบของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน 4
2.2 แสดงสัญลักษณ์ต่างๆที่อยู่บนคอนโทรลเลอร์ 7
2.3 หน้าต่างโปรแกรมติดตามผลของกระบวนการ (Trends Monitoring) 11
2.4 การแสดงผลบน Plot area และการอ่านค่า 12
2.5 รูปแสดงลักษณะการแกว่ง Oscillate แบบแอมพลิจูดคงที่ 14
3.1 แผนภาพโครงสร้างของกระบวนการและอุปกรณ์ (P&ID) 16
3.2 ขั้นตอนการสร้าง Normal display 19
3.3 หน้าต่างสำหรับออกแบบส่วนแสดงผล 19
3.4 ตัวอย่างการสร้างตัวแสดงผล 20
3.5 การตั้งชื่อตัวแสดงผล 20
3.6 ตัวเลือกไลบรารีกราฟฟิก Shape Gallery 21
3.7 การนำข้อมูลจาก DCS มาแสดงผล 21
3.8 การเลือกตัวชี้ค่า (Point) และเลือกพารามิเตอร์ที่ต้องการ 22
3.9 แสดงหน้าต่างโปรแกรมแสดงผลสำหรับผู้ใช้งาน 22
4.1 แสดงการควบคุมระดับแบบปิดโดยใช้ PI Controller 23
4.2 แสดงการต่อกล่องควบคุมระดับ 23
4.3 แสดงกระบวนการเมื่อ $K_p = 0$ และ $K_i = 0$ 24
4.4 แสดงกระบวนการเมื่อ $K_p = 1$ และ $K_i = 0$ 25
4.5 แสดงกระบวนการเมื่อ $K_p = 1$ และ $K_i = 0.1$ 25
4.6 แสดงกระบวนการเมื่อ $K_p = 2$ และ $K_i = 0.1$ 26
4.7 แสดงกระบวนการเมื่อ $K_p = 0.1$ และ $K_i = 0.1$ 26
4.8 ค่ากระบวนการสำหรับคำนวณโดยวิธี Ziegler-Nichols 27
4.9 แสดงผลการคำนวณด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols 27
4.10 กราฟแสดงผลการปรับจูน 27
4.11 แสดงกระบวนการเมื่อ $K_p = 2$ และ $K_i = 0.202816$ 28
4.12 แสดงกระบวนการเมื่อ $K_p = 2$ และ $K_i = 0.3$ 29
4.13 แสดงกระบวนการเมื่อ $K_p = 2$ และ $K_i = 0.5$ 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.14 แสดงกระบวนการเมื่อ K_p = 2 และ K_i = 1 30

4.15 แสดงกระบวนการเมื่อ K_p = 2 และ K_i = 10 30

4.16 แสดงกระบวนการเมื่อ K_p = 4 และ K_i = 10 31

4.17 แสดงการควบคุมการไหลแบบปิดโดยใช้ PI Controller 31

4.18 แสดงการต่อกล่องควบคุมระดับ 31

4.19 อัตราการไหลสูงสุดประมาณ 28 l/m เมื่อเปิดวาล์วควบคุม 100% 32

4.20 แสดงอัตราการไหลเมื่อ K_p = 0 และ K_i = 0 33

4.21 แสดงอัตราการไหลเมื่อ K_p = 0.1 และ K_i = 0.1 33

4.22 แสดงอัตราการไหลเมื่อ K_p = 0.5 และ K_i = 0.1 34

4.23 แสดงอัตราการไหลเมื่อ K_p = 0.06 และ K_i = 0.1 34

4.24 แสดงการควบคุมการไหลแบบคาสแคดโดยใช้ PI Controller 35

4.25 แสดงการต่อกล่องควบคุมกระบวนการ 35

4.26 ผลการควบคุมกระบวนการแบบคาสแคดก่อนการปรับจูน 36

4.27 แสดงผลการปรับจูนเมื่อกล่องควบคุมการไหลมีค่า K_p = 0.5 และ K_i = 0.5 36

4.28 แสดงผลการปรับจูนเมื่อกล่องควบคุมการไหลมีค่า K_p = 0.5 และ K_i = 0.05 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

เนื่องจากอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ อย่างเช่น โรงกลั่นน้ำมัน โรงแยกก๊าซ โรงงานปิโตรเคมี โรงไฟฟ้าโรงงานผลิตอาหาร ตลอดจนอุตสาหกรรมขุดเจาะก๊าซและน้ำมัน มีความจำเป็นต้องใช้งานระบบควบคุมกระบวนการทั้งสิ้น ดังนั้นระบบควบคุมแบบกระจายส่วนเป็นทางเลือกหลักที่ถูกนำไปใช้งานสำหรับการควบคุมกระบวนการที่มีจำนวนอินพุต เอาต์พุต และลูปการควบคุมจำนวนมาก และมีความความสลับซับซ้อนยิ่งขึ้น

โครงการนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาโครงสร้างการบริหารจัดการ การพัฒนาระบบการควบคุมกระบวนการ และการติดต่อผู้ใช้งาน ด้วยระบบควบคุมแบบกระจายส่วนขนาดกลางของบริษัท Honeywell รุ่น PlantCruise โดยการพัฒนาโปรแกรมควบคุมกระบวนการจากการเรียกใช้ไลบรารีต่างๆ สำหรับการทดสอบผลลัพธ์ของการควบคุมทำการทดสอบโปรแกรมควบคุมกระบวนการ โดยการควบคุมกระบวนการในห้องปฏิบัติการ

รูปแบบของระบบควบคุมแบบกระจายส่วนขนาดกลางของบริษัท Honeywell รุ่น PlantCruise มีลักษณะคล้ายกับระบบควบคุมแบบกระจายส่วนขนาดใหญ่ของบริษัท Honeywell รุ่น Experion PKS ซึ่งได้รับความนิยมใช้งานในวงการอุตสาหกรรมทั่วโลกอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีเสถียรภาพมาก ดังนั้นการศึกษาระบบการควบคุมกระบวนการ โดยใช้งานระบบควบคุมแบบกระจายส่วนดังกล่าว จึงเป็นการศึกษาเพิ่มเติมจากการเรียนภาคทฤษฎีสู่ภาคปฏิบัติ เพื่อการใช้งานได้จริง และเป็นการเพิ่มทักษะ ขีดความสามารถของนักศึกษาที่จบการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุม ซึ่งจะเป็นวิศวกรด้านการวัดและควบคุมต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาวิธีการใช้งานระบบควบคุมแบบกระจายส่วนขนาดกลางของบริษัท Honeywell รุ่น PlantCruise
2. ศึกษาวิธีการควบคุมกระบวนการ
3. ออกแบบวิธีการควบคุมกระบวนในห้องปฏิบัติการ
4. จัดทำเอกสารเกี่ยวกับการวัดและควบคุม
5. ทำการตั้งค่าระบบบริหารจัดการ และพัฒนาโปรแกรมควบคุมกระบวนการสำหรับควบคุมกระบวนการในห้องปฏิบัติการ
6. พัฒนาโปรแกรมสำหรับระบบติดต่อผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. พัฒนาโปรแกรมควบคุมกระบวนการ และโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งาน ด้วยระบบควบคุมแบบกระจายส่วนขนาดกลางของบริษัท Honeywell รุ่น PlantCruise
2. จัดทำเอกสารเกี่ยวกับการวัดและควบคุม
3. ทดสอบระบบควบคุมกระบวนการทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (DCS) [1]

DCS (Distribute Control System) คือระบบควบคุมที่สามารถดูพฤติกรรมของระบบและสามารถควบคุมระบบได้ทั้งระบบ มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เช่น โรงกลั่นน้ำมัน แท่นขุดเจาะน้ำมัน อุตสาหกรรมปิโตรเคมี เพราะ DCS นั้นมีความแม่นยำสูง และเนื่องจากประสิทธิภาพในการทำงานที่สูง เป็นเหตุผลให้การลงทุนทำระบบควบคุมโดยใช้ DCS นั้นมีต้นทุนในการลงทุนสูงมากเมื่อเทียบกับระบบควบคุมแบบอื่นๆ

2.1.1 ข้อดีของ DCS

1. สามารถตรวจสอบสถานะหรือค่าต่างๆ ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้เลยประหยัดแรงงานคน
2. สามารถต่อร่วมกับอุปกรณ์การวัดและควบคุมต่างๆ ได้
3. สามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์ควบจำพวก PLC หรือทำการควบคุมระยะไกลแบบ SCADA ผ่านระบบ Wirelessได้
4. สามารถแจ้งเตือนการทำงานที่ผิดปกติ (ALARM) ได้ผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์
5. เนื่องจากเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง จึงสามารถเก็บข้อมูล (Backup) ไว้เผื่อเรียกดูย้อนหลังได้ด้วย

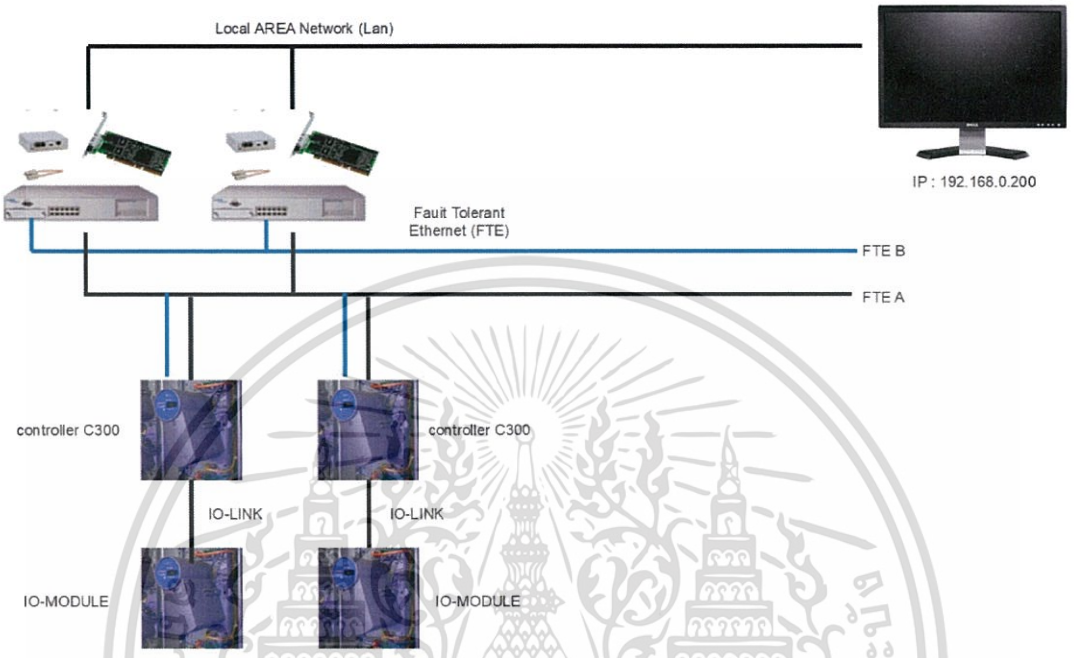
2.1.2 ข้อเสียของ DCS

1. DCS เป็นระบบควบคุมที่ใช้ควบคุมระบบขนาดใหญ่ จึงมีความซับซ้อนสูงมากต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบเพื่อป้องกันข้อผิดพลาด
2. เครื่องมือและอุปกรณ์ของ DCS นั้นมีราคาที่สูงและต้องสั่งจากต่างประเทศเพื่อป้องกันในเรื่องของการเสียเวลา ส่วนมากจะนิยมสั่งอะไหล่สำรอง (Parts) เข้ามาเก็บไว้เป็นชิ้นส่วนสำรอง (Spare)
3. ราคาที่สูงของระบบ DCS ทำให้ไม่เหมาะกับการใช้งานขนาดเล็กเนื่องจากเป็นการลงทุนที่สูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ส่วนประกอบของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน

DCS นั้นเป็นระบบที่ใช้การควบคุมที่มีความซับซ้อนสูงจึงต้องแบ่งส่วนการทำงานในระบบออกเป็นส่วนๆ เพื่อประสิทธิภาพในการทำงาน แบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน

2.2.1 เซิฟเวอร์ของ DCS

การทำงานของเซิฟเวอร์ที่ใช้กับ DCS นั้นจะใช้ทั้งแบบเดี่ยว (Single Server) และแบบคู่ขนาน (Redundancy Server) แต่ส่วนใหญ่จะใช้แบบคู่ขนาน (Redundancy Server) เนื่องจากเป็นการป้องกันในกรณีที่เซิฟเวอร์หลักล่มหรือดับไป กระบวนการจะไม่หยุดชะงักแต่จะสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

2.2.2 คอนโทรลเลอร์ (Controller)

เป็นส่วนที่ใช้ต่อร่วมกับอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ และเป็นส่วนที่ใช้ประมวลผลโปรแกรมที่ได้รับมากจากเซิฟเวอร์โดยตัวคอนโทรลเลอร์จะมีหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) อยู่

2.2.3 สเตชั่นของ DCS (DCS Station)

สเตชั่นของระบบควบคุมนั้น จะเปรียบเสมือนส่วนควบคุมสำหรับผู้ใช้งานที่ใช้งาน DCS หรือก็คือคอมพิวเตอร์ที่ได้ทำการเชื่อมต่อกับเซิฟเวอร์ของระบบควบคุมนั่นเอง ในการใช้งานจะเชื่อมต่อกับส่วนควบคุมที่มีคอนโทรลเลอร์อยู่ ซึ่งจะใช้ในการเชื่อมต่อโดยตรงกับเครื่องมือวัด หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ต่อร่วมอื่นๆ (Devices) นอกจากนั้นส่วนของคอนโทรลเลอร์จะมีหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) เพื่อใช้สำหรับทำหน้าที่ประมวลผลโปรแกรมที่ถูกส่งมาจากเซิฟเวอร์

2.2.4 ระบบเชื่อมต่ออุปกรณ์ Networks/Lan (Fault Tolerant Ethernet)

การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ นั้นสามารถเชื่อมต่อได้ผ่านสายแลน (LAN) หรือเชื่อมต่อผ่านเน็ตเวิร์กทั่วไปที่เชื่อมต่อกับเซิฟเวอร์ได้ (Networks) แต่การเชื่อมต่อทางสายแลน นั้นจะแตกต่างจากการเชื่อมต่อทั่วไปโดยจะใช้สายแลน 2 เส้น เพื่อใช้เส้นนึงเป็นตัวคู่ขนาน (Redundancy) สำหรับการป้องกันการสูญหายของการติดต่อ (Connection Loss)

2.2.5 ส่วนโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งาน (Human Machine Interface (HMI))

ในการใช้งามระบบควบคุมแบบกระจายส่วน หากเป็นการใช้งานทั่วไปจะมีความซับซ้อนสูงมาก ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตโปรแกรมหรือระบบจะออกแบบให้ระบบมีความง่ายในการตรวจสอบและอ่านค่า รวมไปถึงการควบคุมกระบวนการผ่านหน้าจอแสดงผล

2.2.5.1 ส่วนแสดงผลกราฟฟิก (DCS Graphic)

ใน DCS Station จะมีการแสดงผลทางด้านกราฟฟิกที่สามารถทราบได้ว่าระบบกำลังแสดงอะไรอยู่ เพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมและตรวจสอบ เนื่องจากกราฟฟิกจะเป็นการจำลองรูปแบบของกระบวนการออกมาเป็นภาพกราฟฟิกเสมือนจริง

2.2.5.2 ส่วนแสดงผลการวิเคราะห์ของระบบ (DCS Trend)

นอกจากการแสดงผลกราฟฟิกเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานแล้ว เมื่อระบบทำการวิเคราะห์หรือประมวลผลแล้วจะสามารถแสดงผลออกมาเป็นกราฟ ให้เห็นถึงแนวโน้มของระบบได้ ซึ่งจะช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุต่างๆ เมื่อเกิดปัญหาได้

2.2.5.3 ส่วนบันทึกเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นขณะทำงาน (DCS Event)

ในการทำงาน เพื่อป้องกันปัญหาหรือเพื่อใช้หาว่าเกิดปัญหาอะไรขึ้น ระบบ DCS Event นั้นจะถูกใช้เพื่อบันทึกเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบ หรือกระบวนการทำงาน (Process) โดยจะเก็บข้อมูลได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของเมมโมรี (Memory)

2.3 ระบบควบคุมแบบกระจายส่วนของบริษัท Honeywell

งานวิจัยนี้ใช้ระบบควบคุมแบบกระจายส่วนของบริษัท Honeywell รุ่น PlantCruise เป็นระบบควบคุมแบบกระจายส่วนขนาดกลาง ใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการทำงานด้านอุตสาหกรรมขนาดเล็กไปจนถึงขนาดกลาง ถูกพัฒนามาจากรุ่น Experion PKS ซึ่งเป็นระบบควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบกระจายส่วนขนาดใหญ่ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยจะนำส่วนสำคัญต่างๆของ Experion PKS มาใช้และถูกพัฒนามาเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน

2.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้งาน (Hardware)

DCS ของบริษัท Honeywell จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมของ DCS นั่นคือ เซิฟเวอร์ คอนโทรลเลอร์ ระบบเชื่อมต่ออุปกรณ์ สเตชั่น และส่วนแสดงผล

2.3.1.1 เซิฟเวอร์ DCS

จะใช้งานเซิฟเวอร์เป็น Microsoft Windows Server 2008 Standard 2 ชุดทำงานแบบขนานกัน เพื่อป้องกันในกรณีเซิฟเวอร์หลักล่มหรือดับ จะสามารถทำงานต่อได้ทันที

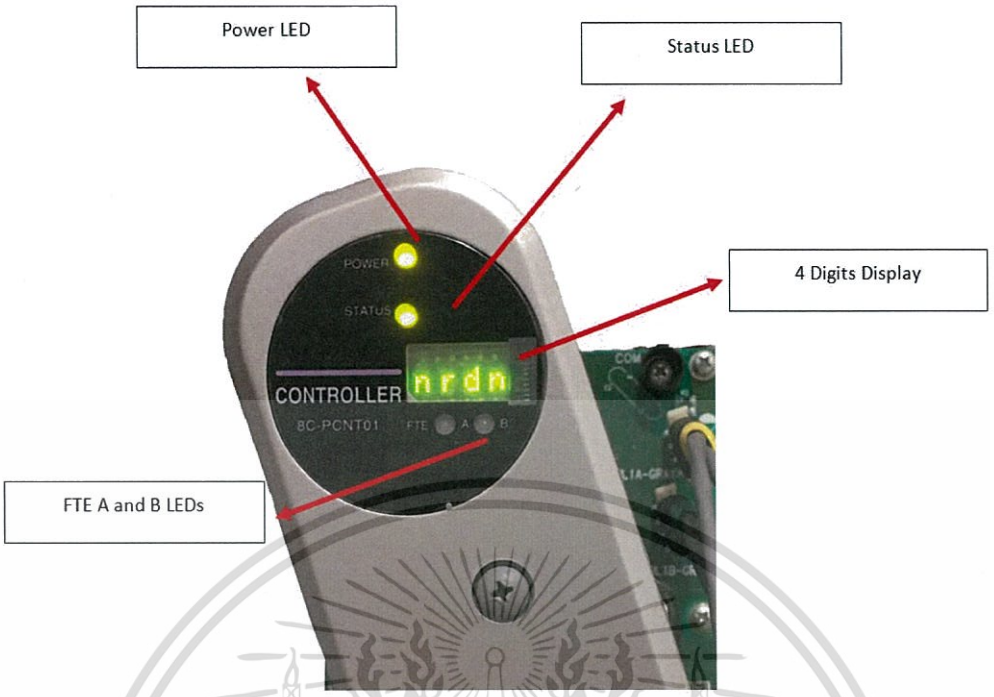
2.3.1.2 คอนโทรลเลอร์ของบริษัท Honeywell

คอนโทรลเลอร์ที่เป็นส่วนควบคุมกระบวนการจะใช้รุ่น C300 ของบริษัท Honeywell โดยที่คอนโทรเลอร์นั้นจะจัดอยู่ในกลุ่มโมดูลควบคุมเดี่ยว (Single Control Module) ใช้งานได้แบบ Plug and Play หรือก็คือนำไปเสียบลงบนบอร์ด Input Output Terminal Assembly (IOTA) แล้วใช้งานได้เลย โมดูลคอนโทรเลอร์นั้นจะรองรับตัวเชื่อมต่ออินพุตเอาต์พุต (I/O Link) 2 ตัว ใช้สำหรับต่อกับอินพุตเอาต์พุตโมดูลรุ่น 8 (Series 8 I/O Module) รองรับการทำงานแบบคู่ขนาน และมีพอร์ตสำหรับระบบเชื่อมต่ออุปกรณ์ (Fault Tolerant Ethernet (FTE)) หน่วยความจำภายใน (RAM) ของคอนโทลเลอร์นั้นจะมีขนาด 16MB การใช้งานคอนโทรลเลอร์ นั้นจะต้องตั้งค่าเลขดัชนีอุปกรณ์ (Device Index) ก่อน เพื่อให้โปรแกรมสามารถเข้าถึงอุปกรณ์ได้ เนื่องจากจำนวนอุปกรณ์ที่ต่อร่วมมีมาก จึงต้องกำหนดให้โปรแกรมรู้จักอุปกรณ์แต่ละตัว

2.3.1.2.1 สัญลักษณ์ที่แสดงบนคอนโทรเลอร์

คอนโทรลเลอร์จะมีหน้าปัทม์แสดงผล (แสดงผลเป็นตัวอักษร 4 ตัว) ที่ใช้แสดงถึงสภาวะที่กำลังทำงานอยู่ นอกจากนี้ยังมีหลอดไฟแอลอีดี (LED) เป็นตัวบอกสถานะของตัวคอนโทรลเลอร์ด้วย แสดงดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงสัญลักษณ์ต่างๆ ที่อยู่บนคอนโทรลเลอร์

2.3.1.2.2 สัญลักษณ์แสดงสถานะการทำงานของคอนโทรลเลอร์

คอนโทรลเลอร์จะมีหลอดไฟแอลอีดี แสดงสถานะการทำงาน ก่อนการใช้งานจะต้องตรวจสอบสถานะการทำงานของคอนโทรลเลอร์ เพื่อตรวจสอบความพร้อมใช้งาน สัญลักษณ์ที่ปรากฏบนคอนโทรลเลอร์จะแบ่งได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงสถานะของหลอดไฟบนคอนโทรลเลอร์

LED Indicator	สถานะ/สภาวะการทำงาน
1. Power LED	
สีเขียว ค้าง	คอนโทรลเลอร์ ทำงานเพราะได้รับไฟ 24 Vdc
2. Status LED	
สีเขียว ค้าง	สถานะปกติพร้อมทำงาน ไม่มี Error เกิดขึ้น
สีเขียวกระพริบทุกๆ 1 วินาที	คอนโทรลเลอร์ เกิดการ Soft Failure / ไม่มี Database (NODB)
สีส้ม ค้าง	สถานะ Backup ปกติ (คอนโทรลเลอร์ Synchronized)
สีส้ม กระพริบทุกๆ 1 วินาที	สถานะ Backup ปกติ แบบมี Soft Failure (คอนโทรลเลอร์ ไม่ได้ Synchronized)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

LED Indicator	สถานะ/สภาวะการทำงาน
สีแดง ค้าง	อยู่ในกระบวณการ Selftest (POST) / Selftest เกิดล้มเหลว / เกิด Fault (วินิจฉัยอาการของ Hardware หรือ Software ล้มเหลว) / Hardware WatchdogTimer หมดอายุ
สีแดงกระพริบทุกๆ 1 วินาที	ทำงานใน BOOT mode Alive state – (ALIV แสดงบนหน้าปัด) ทำงานบน Boot firmware / มีการป้อน IP Address เข้าไป / Address หลักมีการใช้งานอยู่ / ไม่มีโปรแกรมที่ทำงานอยู่ / ทำงานในโหมด Alive เพื่อรอการโหลดข้อมูล Ready state – (RDY แสดงบนหน้าปัด) ทำงานบน Boot firmware / มีการป้อน IP Address เข้าไป /Address หลักมีการใช้งานอยู่ / มีการโหลดโปรแกรมที่ถูกต้องเข้าไป
สีแดง กระพริบทุกๆ ¼ วินาที	หน้าปัดแสดง LOAD หรือ PROG หมายถึง กำลังโหลด firmware หน้าปัดว่าง หมายถึง Hardware Watchdog Timer หมดอายุ หรือเกิดข้อผิดพลาดอื่นๆ
ปิด OFF	หน้าปัดว่างหรือค้าง หมายถึง เกิดข้อผิดพลาด (Hardware watchdog หมดเวลา หรือ Hardware ล้มเหลว)
3. FTE A & B LEDs	
สีแดง	ไม่มีสัญญาณ Ethernet / ไม่ได้ต่อสาย FTE LAN
ปิด OFF	มีสัญญาณ Ethernet แต่ไม่มีการทำงานใดๆ ถ้ามีการทำงาน ไฟที่หลอด LED จะต้องติด
สีเขียว กระพริบ	มีสัญญาณ Ethernet มีการทำงานตามปกติ (สถานะปกติ หลอดไฟจะกระพริบอย่างสม่ำเสมอ แต่เมื่อมีการใช้งาน network มาก หลอดจะติดค้างเป็นสีเขียว)

2.3.2 อุปกรณ์ที่นำมาต่อร่วมกับคอนโทรลเลอร์

ในการทำงานเราจะใช้บอร์ด IOTA โดยนำคอนโทรลเลอร์ไปต่อบนบอร์ดเพื่อใช้เป็นหัวใจหลักในการสั่งงานและควบคุม นอกจากคอนโทรลเลอร์แล้วจะมีการนำโมดูลอุปกรณ์ตัวอื่นมาต่อด้วย เช่น HART Analog Input ,HART Analog Output โดยโมดูลเหล่านี้จะถูกนำไปต่อเข้าในส่วนตัวเชื่อมต่ออินพุตเอาต์พุต (I/O Link) ของคอนโทรลเลอร์เพราะฉะนั้น อุปกรณ์เหล่านี้จะเป็นกลุ่มอุปกรณ์จำพวกอินพุตเอาต์พุตโมดูลรุ่น 8 (Series 8 I/O Module) ใช้สำหรับรับส่งสัญญาณจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซนเซอร์หรือทรานส์มิตเตอร์ที่อยู่ที่แพลนท์เพื่อนำค่ามาประมวลผลที่คอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ตัวคอนโทรลเลอร์นั้นจะมีการต่อสายแลน ซึ่งเป็นระบบเชื่อมต่ออุปกรณ์โดยใช้สายแลน 2 เส้น เพื่อป้องกันในกรณีที่มีสายใดชำรุดจะไม่ทำให้ระบบหยุดชะงัก สายแลน ที่ใช้จะเป็นแบบ STP CAT5 ที่มีหัวต่อแบบ RJ45 ซึ่งในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ จะใช้โมดูล HART Analog Input และ HART Analog Output ในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์และคอนโทรลเลอร์

2.4 ประสิทธิภาพการทำงานของคอนโทรลเลอร์

คอนโทรลเลอร์ของบริษัท Honeywell รุ่น C300 ที่นำมาใช้งานสำหรับโปรแกรมควบคุมกระบวนการรุ่น PlantCruise จะมีประสิทธิภาพและขีดจำกัดในการทำงาน แบ่งออกเป็นขีดจำกัดด้านการเชื่อมต่อเครือข่ายแสดงได้ดังตารางที่ 2.2 ขีดจำกัดในการตั้งค่าของคอนโทรลเลอร์แสดงได้ดังตารางที่ 2.3 ขีดจำกัดในการเชื่อมต่อคอนโทรลเลอร์คู่ขนานแสดงได้ดังตารางที่ 2.4

2.4.1 ขีดจำกัดด้านการเชื่อมต่อเครือข่ายของคอนโทรลเลอร์

การเชื่อมต่อเครือข่ายของคอนโทรลเลอร์มีขีดจำกัดในการทำงานซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขีดจำกัดด้านการเชื่อมต่อเครือข่ายของคอนโทรลเลอร์

หัวข้อ	ขีดจำกัดการเชื่อมต่อเครือข่าย
	สำหรับ FTE
การควบคุมเครือข่ายสำหรับเซิฟเวอร์ PlantCruise	หนึ่งเน็ตเวิร์กคู่ขนานที่ให้บริการโดยเซิฟเวอร์ PlantCruise คู่ขนานหนึ่งเซิฟเวอร์หรือมากกว่าไป จนถึงจำนวนโหนดสูงสุดที่ใช้ได้
โหนดสูงสุดที่ใช้ได้	FTE 330 โหนด
จำนวนคอนโทรลเลอร์ต่อเซิฟเวอร์	เชื่อมต่อคู่ขนานได้สูงสุด 20 ตัว
อัตราการส่งข้อมูล	100 Mbps
การเชื่อมต่อคู่ขนาน	เชื่อมต่อคู่ขนานเท่านั้น

2.4.2 ขีดจำกัดในการตั้งค่าการเชื่อมต่อของคอนโทรลเลอร์

การตั้งค่าคอนโทรลเลอร์สำหรับการใช้งานมีขีดจำกัดในการตั้งค่าซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ขีดจำกัดในการตั้งค่าของคอนโทรลเลอร์

ตัวเลือกการตั้งค่า	50 ms CEE
เน็ตเวิร์กควบคุมที่รองรับ	FTE เท่านั้น
การตั้งค่าตัวชี้วัดของอุปกรณ์	ระหว่าง 1 ถึง 255
ขนาดของบอร์ด IOTA	6 นิ้ว
จำนวนของ I/O Links ที่รองรับ	2
ความเร็วของ I/O Link	750 Kbaud (I/O Link รุ่นที่8)
คาบการทำงานเริ่มต้นที่รองรับ	50 ms
การเชื่อมต่อคู่ขนาน	รองรับ
คาบการทำงานของ I/O โมดูล	50 ms
คาบการทำงานของ CM/SCM ที่สามารถปรับได้	50, 100, 200, 500ms, 1s, 2s

2.4.3 ขีดจำกัดในการเชื่อมต่อคอนโทรลเลอร์คู่ขนาน (Redundancy)

การเชื่อมต่อคอนโทรลเลอร์คู่ขนาน (Redundancy) มีขีดจำกัดในการเชื่อมต่อซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ขีดจำกัดในการเชื่อมต่อคอนโทรลเลอร์คู่ขนาน

ตัวเลือกการตั้งค่าสำหรับการเชื่อมต่อคู่ขนาน	50 ms CEE
จำนวนบอร์ด IOTA สำหรับการเชื่อมต่อคู่ขนาน	2
การตั้งค่าดัชดีอุปกรณ์สำหรับการเชื่อมต่อคู่ขนาน	คอนโทรลเลอร์คู่ขนานจะต้องมีดัชนีอุปกรณ์เป็น n และ n+1 เมื่อ n คือเลขคี่
สายเคเบิลขนาดกลางสำหรับต่อขนาน	สาย Ethertnet ETP
ขนาดของสายเคเบิลสำหรับต่อขนาน	36, 48, 60, 84 นิ้ว
เวลาในการเชื่อมต่อตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสมบูรณ์	200 s

2.5 โปรแกรมสำหรับควบคุมกระบวนการ

การควบคุมระบบควบคุมแบบกระจายส่วน DCS ขนาดกลางของบริษัท Honeywell นั้นจะแบ่งโปรแกรมการใช้งานออกเป็นสองส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 โปรแกรมควบคุมกระบวนการสำหรับโอเปอเรเตอร์ (Operator)

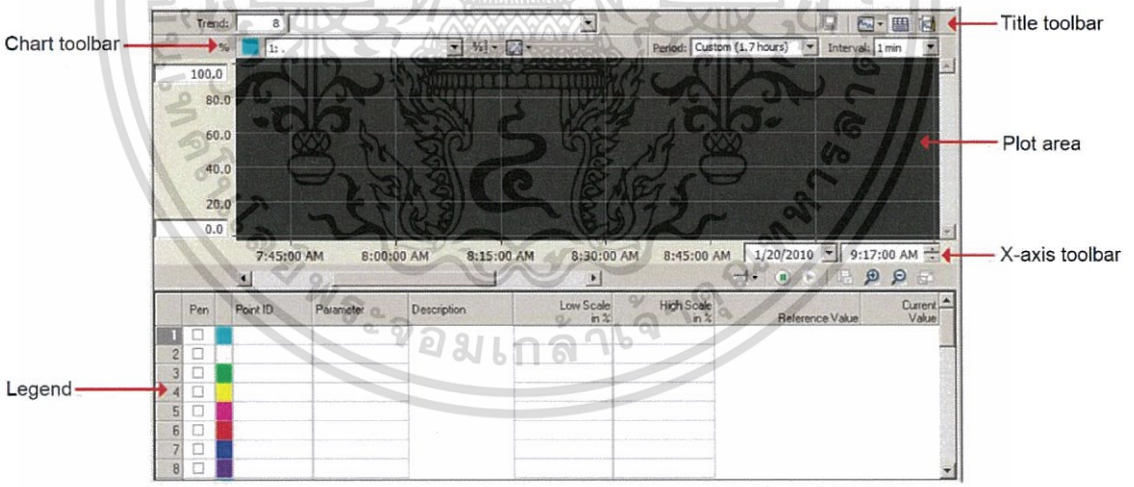
สำหรับโอเปอเรเตอร์ จะมีหน้าที่ในการออกแบบระบบควบคุมกระบวนการระบบความปลอดภัยต่างๆ รวมไปถึงโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งานผ่านโปรแกรม Configuration Studio เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.5.2 โปรแกรมควบคุมกระบวนการสำหรับผู้ใช้งาน (User)

ผู้ใช้งานจะใช้งานระบบควบคุมผ่านโปรแกรม Station ซึ่งจะรับข้อมูลมาจากโปรแกรม Configuration Studio แต่ส่วนของผู้ใช้งานจะไม่มีสิทธิเข้าถึงการตั้งค่าระดับสูง เนื่องมาจากเหตุผลทางด้านความปลอดภัยในการควบคุมกระบวนการ

2.6 โปรแกรมติดตามผลของกระบวนการในลักษณะกราฟ (Trends Monitoring)

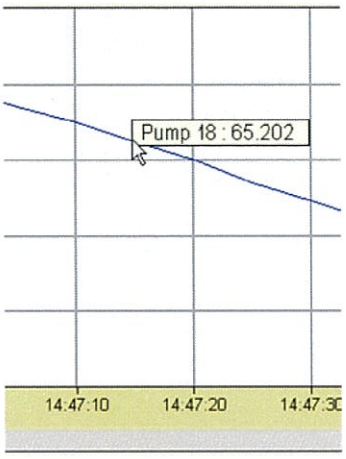
การติดตามผลของกระบวนการในลักษณะกราฟ สามารถทำได้ผ่านโปรแกรมควบคุมกระบวนการสำหรับผู้ใช้งาน (Station) สามารถดูการทำงานของกระบวนการได้โดยเลือกค่าที่ต้องการแสดงผลเป็นกราฟ โปรแกรมสามารถแสดงผลของข้อมูล (Samples) ได้ทุกๆ 5 วินาที และสำหรับการตั้งค่าระดับสูง สามารถแสดงผลของข้อมูล ได้ทุกๆ 1 วินาที แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หน้าต่างโปรแกรมติดตามผลของกระบวนการ (Trends Monitoring)

พื้นที่สำหรับแสดงผลเป็นกราฟ สามารถแสดงผลได้สูงสุด 32 เส้นกราฟ นอกจากนี้พื้นหลังของ Plot area สามารถเปลี่ยนสีเพื่อให้ง่ายต่อการอ่านค่า และการอ่านค่าสามารถทำได้โดยการนำเมาส์ไปชี้ที่เส้นกราฟ แสดงดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การแสดงผลบน Plot area และการอ่านค่า

2.7 ระบบควบคุมแบบพีไอดี (PID) [2]

ในการควบคุมกระบวนการในอุตสาหกรรมจะมีการนำระบบควบคุมพีไอดี (PID) มาใช้กับระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) โดยค่าที่นำมาใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาด (Error) ที่มาจากความแตกต่างของตัวแปรในระบบและค่าที่ต้องการ การควบคุมแบบพีไอดีจะเป็นการลดความแตกต่างนั้นให้เหลือน้อยที่สุดเพื่อให้ระบบมีค่าเข้าสู่ค่าที่ต้องการ

2.7.1 ระบบควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional (P))

ระบบควบคุมแบบสัดส่วน จะใช้ค่าคงที่อัตราขยายหรือเรียกว่าอัตราขยายสัดส่วน (K_p) โดยจะเป็นสัดส่วนเทียบกับค่าความผิดพลาด หรือความแตกต่างของตัวแปรในระบบกับค่าที่ต้องการ แต่การใช้งานระบบควบคุมแบบสัดส่วนจะไม่สามารถควบคุมให้เอาต์พุตเข้าสู่ค่าที่ต้องการได้ ซึ่งจะเกิดเป็นความแตกต่างระหว่างค่าที่ต้องการกับค่าที่ควบคุมเรียกว่าออฟเซ็ต (Offset) สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.1

$$P_{out}=K_p e(t) \tag{2.1}$$

2.7.2 ระบบควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral (I))

ระบบควบคุมแบบปริพันธ์ จะเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาดกับระยะเวลาของความผิดพลาดหรือเรียกได้ว่า ระบบควบคุมแบบปริพันธ์จะเป็นการหาผลรวมของความผิดพลาดในช่วงเวลา โดยที่ค่าความผิดพลาดจะถูกคูณด้วยอัตราขยายปริพันธ์ (K_i) เมื่อใช้ระบบควบคุมแบบปริพันธ์จะสามารถเร่งให้กระบวนการเข้าสู่ค่าที่ต้องการและลดความค่าความผิดพลาด ลงได้ แต่จะเกิดโอเวอร์ชูต (Overshoot) ทำให้เกิดการแกว่ง (Oscillate) ได้ สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{out}=K_i \int_0^t e(\tau)\, d\tau \qquad (2.2)$$

2.7.3 ระบบควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative (D))

ระบบควบคุมแบบอนุพันธ์ หรือเรียกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด สามารถคำนวณหาได้จากความชันของความผิดพลาดในทุกๆ ช่วงเวลาและคูณด้วยอัตราขยายอนุพันธ์ (K_d) ระบบควบคุมแบบอนุพันธ์จะช่วยให้ระบบเข้าสู่ค่าที่ต้องการโดยการชะลอการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุต สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.3

$$D_{out}=K_d \frac{d}{dt} e(t) \qquad (2.3)$$

2.7.4 ระบบควบคุมแบบสัดส่วน ปริพันธ์ และอนุพันธ์ (PID)

ระบบควบคุมแบบสัดส่วน ปริพันธ์ และอนุพันธ์ หรือเรียกกันว่าระบบควบคุมแบบพีไอดี เป็นการทำระบบควบคุมทั้งสามแบบที่ได้กล่าวไปข้างต้นมาใช้งานร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมกระบวนการ สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.4 และสามารถเขียนเป็นฟังก์ชั่นถ่ายโอน (Transfer Function) ได้ดังสมการที่ 2.5

$$u(t)=K_p e(t)+K_i \int_0^t e(\tau)\, d\tau+K_d \frac{d}{dt} e(t) \qquad (2.4)$$

$$U(s)=K_p+\frac{K_i}{s}+K_d s \qquad (2.5)$$

2.8 การปรับจูนระบบควบคุม (Tuning) [3]

การปรับจูนระบบควบคุม (Tuning) เป็นการปรับค่าที่เหมาะสมของการควบคุมกระบวนการเพื่อให้กระบวนการมีการทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ การปรับจูนระบบควบคุมสามารถทำได้ดังนี้

2.8.1 การปรับจูนด้วยการลองผิดลองถูก (Trial and Error)

การปรับจูนด้วยการลองผิดลองถูกจะเป็นวิธีการ ที่ผู้ทำการปรับจูนสังเกตพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของค่าที่ทำการปรับ ให้ได้ตามค่าที่ต้องการ ทำการปรับจูนโดยการป้อนค่าอัตราขยายสัดส่วน (K_p) และอัตราขยายปริพันธ์ (K_i) แล้วสังเกตค่าที่ทำให้ระบบสมดุล โดยจะใช้หลักการในการปรับจูนดังตารางที่ 2.5

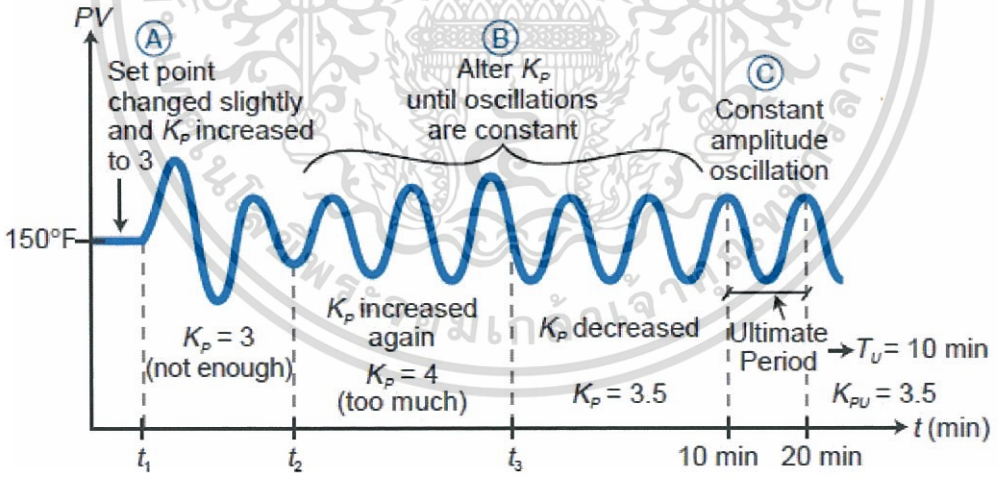
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงผลของการเพิ่มค่าตัวแปรอย่างอิสระ

ตัวแปร	ช่วงเวลาขึ้น (Rise time)	โอเวอร์ชูต (Overshoot)	เวลาสู่สมดุล (Settling time)	ค่าความผิดพลาดที่สถานะคงตัว (Steady-State Error)	เสถียรภาพของระบบ
K_p	ลด	เพิ่ม	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลด	ลด
K_i	ลด	เพิ่ม	เพิ่ม	ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ	ลด
K_d	ลดลงเล็กน้อย	ลดลงเล็กน้อย	ลดลงเล็กน้อย	ตามทฤษฎีไม่มีผล	ดีขึ้นถ้า K_d มีค่าน้อย

2.8.2 การปรับจูนด้วยวิธี Ziegler-Nichols

การปรับจูนด้วยวิธี Ziegler-Nichols ถูกนำเสนอโดย John G. Ziegler และ Nathaniel B. Nichols การปรับจูนด้วยวิธีนี้จะใช้หลักการหาค่าอัตราขยายที่เรียกว่าUltimate Proportional Gain *(K_{pu})* ที่ทำให้ระบบเกิดการแกว่งแบบแอมพลิจูดคงที่และคาบของการสั่นที่เรียกว่า Ultimate Period *(T_u)* ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งสามารถหาค่าการปรับจูนได้จากตารางที่ 2.6



รูปที่ 2.5 รูปแสดงลักษณะการแกว่ง Oscillate แบบแอมพลิจูดคงที่ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ตารางการปรับจูนโดยวิธี Ziegler-Nichols

ชนิดของการปรับจูน	K_p		K_i		K_d	
	Dependent	Independent	Dependent	Independent	Dependent	Independent
สัดส่วน	0.50 K_{pu}	0.50 K_{pu}	-	-	-	-
สัดส่วน-ปริพันธ์	0.45 K_{pu}	0.45 K_{pu}	1.2 / T_u	1.2 K_{pu} / T_u	-	-
สัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์	0.60 K_{pu}	0.60 K_{pu}	2 / T_u	2 K_{pu} / T_u	T_u / 8	(T_u K_{pu}) / 8

2.9 อุปกรณ์ใช้งานด้านการวัดปริมาณ และการควบคุมกระบวนการ

ในการตรวจวัดปริมาณทั้งการไหลและระดับที่ใช้ในการวิจัย จะใช้อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow Transmitter) เป็นอุปกรณ์วัดการไหลจากความแปรปรวนของของเหลว (Vortex Flow Meter) และอุปกรณ์วัดระดับ (Level Transmitter) เพื่อนำค่าที่วัดได้ไปควบคุมกระบวนการโดยใช้วาล์วควบคุม (Control Valve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

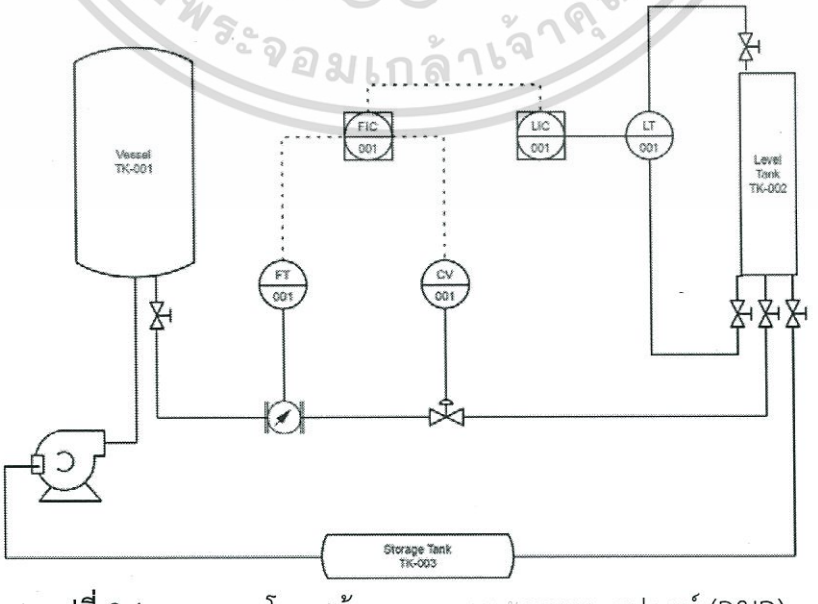
บทที่ 3
วิธีดำเนินการ

3.1 โครงสร้างของระบบที่ถูกควบคุม

ระบบที่ถูกควบคุมจะมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกัน และมีการติดต่อสื่อสารกันอย่างเป็นเครือข่าย อ้างอิงจากรูปที่ 2.1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกันเพื่อใช้งานโดยใช้ DCS ของบริษัท Honeywell จะใช้สายแลนในการเชื่อมต่อและติดต่อสื่อสารของระบบ โดยจะต่อรวมกันเป็นเน็ตเวิร์กเข้าสู่เราต์เตอร์และส่งสัญญาณเข้าไปสู่เซิฟเวอร์ของ DCS ทางเซิฟเวอร์จะรับข้อมูลและส่งข้อมูลผ่านโปรแกรมการทำงานโดยใช้โมดูล HART Analog Input ,HART Analog Output ซึ่งโมดูลเหล่านี้จะส่งสัญญาณและข้อมูลไปสู่คอนโทรลเลอร์โมดูล เพื่อนำค่าที่ตรวจวัดได้มาทำการควบคุมโดยใช้โปรแกรมควบคุมกระบวนการ จากนั้นจะนำไปแสดงผลในส่วนของโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งาน

3.2 โครงสร้างของกระบวนการและอุปกรณ์ต่อร่วม

ในการควบคุมกระบวนการจะมีการควบคุมการทำงานของกระบวนการ ให้เป็นไปตามลักษณะของโครงสร้างของแพลนท์ที่ใช้งานซึ่งจะมีอุปกรณ์ต่อร่วมต่ออยู่ ดังนั้นการออกแบบระบบควบคุมกระบวนการจึงต้องอ้างอิงจากโครงสร้างของกระบวนการ ซึ่งในระบบที่ถูกควบคุมนั้นจะเป็นการทำงานเพื่อควบคุมระดับของของเหลวในแทงก์ (TK002) โดยใช้ทรานส์มิตเตอร์วัดอัตราการไหล (FT001) ซึ่งจะรับค่ามาจาก Vortex Flow Meter และทรานส์มิตเตอร์วัดระดับ (LT001) เพื่อควบคุมวาล์วควบคุม (CV001) โดยแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพโครงสร้างของกระบวนการและอุปกรณ์ (P&ID)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โปรแกรมควบคุมกระบวนการและโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งาน [5],[6]

โปรแกรมควบคุมกระบวนการถูกใช้ในการออกแบบระบบควบคุมการทำงาน ของการควบคุมระดับ (Level Control) โดยจะใช้โปรแกรมควบคุมกระบวนการของบริษัท Honeywell รุ่น PlantCruise ในการทำงาน

3.3.1 โปรแกรมควบคุมกระบวนการสำหรับโอเปอเรเตอร์

การใช้งานโปรแกรมควบคุมกระบวนการจะเป็นหน้าที่ของโอเปอเรเตอร์ การทำงานในโปรแกรมควบคุมกระบวนการจะเป็นการออกแบบระบบควบคุมให้เหมาะสมกับการใช้งาน รวมถึงการออกแบบโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งานเพื่อนำไปใช้กับโปรแกรมควบคุมกระบวนการสำหรับผู้ใช้งาน ในการออกแบบระบบควบคุมจะอ้างอิงจากโครงสร้างของกระบวนการและอุปกรณ์ต่อร่วม โดยการใช้โปรแกรม Configuration Studio โดยมีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

1. ศึกษาโครงสร้างของกระบวนการและอุปกรณ์ (P&ID)
2. ศึกษาไลบรารีที่ใช้ในการสร้างกล่องฟังก์ชั่น (Function Block) ประเภทต่างๆ
3. ทำการสร้างคอนโทรลเลอร์ และโมดูลของอุปกรณ์
4. นำไลบรารีที่ทำการศึกษามาใช้งาน เช่น กล่องฟังก์ชั่น PID
5. นำโมดูลของอุปกรณ์ที่สร้างไว้มาต่อเข้ากับกล่องฟังก์ชั่นเพื่อทำการควบคุม
6. ปรับจูนค่าของกระบวนการให้ได้ตามความต้องการ

3.3.2 โปรแกรมควบคุมกระบวนการสำหรับผู้ใช้งาน

การใช้งานโปรแกรมควบคุมกระบวนการ ฝั่งของผู้ใช้งานจะให้ผู้ใช้งานควบคุมกระบวนการได้แต่ไม่สามารถเข้าไปสู่การตั้งค่าระดับสูงได้ เนื่องมาจากเหตุผลทางด้านความปลอดภัย การใช้งานในระดับสูงจะเป็นหน้าที่ของโอเปอเรเตอร์ในการทำงาน ซึ่งในการทำงานผู้ใช้งานสามารถดูการแสดงผลต่างๆ ของกระบวนการได้ และยังสามารถปรับจูนกระบวนการได้อีกด้วย การใช้งานจะใช้งานผ่านโปรแกรม Station ซึ่งภายในโปรแกรมจะเป็นส่วนของโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งานที่ทางโอเปอเรเตอร์ทำไว้ให้ผู้ใช้งานสามารถดูได้อย่างสะดวกและง่ายดาย

3.4 การปรับจูนค่าของกระบวนการด้วยวิธี Ziegler-Nichols [4]

การปรับจูนค่าของกระบวนการสามารถทำได้หลายวิธี แต่การควบคุมระดับในปริญญานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงการปรับจูนด้วยวิธี Ziegler-Nichols เนื่องจากในการปรับจูนค่าของกระบวนการโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปของบริษัท Honeywell หรือโปรแกรม Oper Tuner นั้นมีปัญหาในการเชื่อมต่อกับคอนโทรลเลอร์ ทำให้ไม่สามารถปรับจูนค่าโดยอัตโนมัติได้ จากนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการปรับจูนค่าของกระบวนการโดยใช้วิธี Ziegler-Nichols

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น วิธีการปรับจูนค่าโดยใช้วิธีของ Ziegler-Nichols จะเปรียบเทียบค่าที่หาได้จากกราฟการควบคุมกระบวนการ และนำมาเทียบกับตารางที่ 2.6 โดยการปรับจูนจะเป็นการปรับจูนแบบ สัดส่วน-ปริพันธ์ (PI) และมีการทำตามขั้นตอนดังนี้

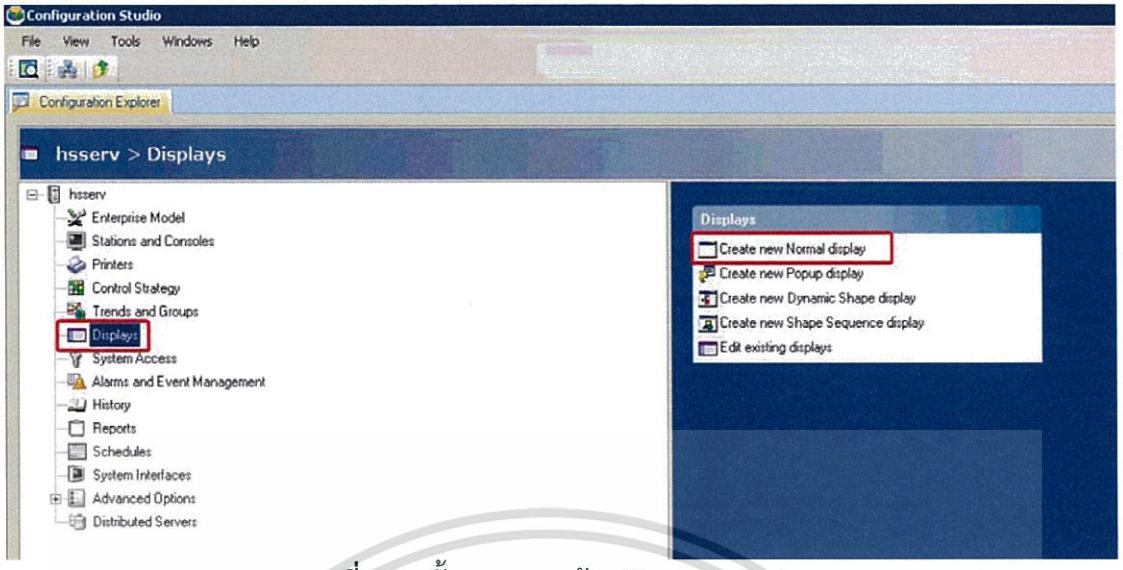
1. กำหนดค่า $K_p = 0$ และ $K_i = 0$ สังเกตการเปลี่ยนแปลงค่ากระบวนการ
2. เปลี่ยนค่า $K_p = 1$ และ $K_i = 0$ สังเกตการเปลี่ยนแปลงค่ากระบวนการ
3. สังเกตค่ากระบวนการว่ามีการแกว่งหรือไม่ ถ้าไม่มีให้เพิ่มค่า K_p ขึ้นอีกสองเท่าของค่าเดิม
4. สังเกตค่ากระบวนการเหมือนในข้อสอง ถ้ามีการแกว่งสังเกตค่าสูงสุด ถ้าค่าสูงสุดน้อยลงให้เพิ่มค่า K_p ประมาณครึ่งนึงของค่าเดิม ถ้าค่าสูงสุดเพิ่มขึ้น ให้ลดค่า K_p ประมาณครึ่งนึงของค่าเดิม

3.5 ออกแบบส่วนแสดงผลสำหรับผู้ใช้งาน (HMI) [7]

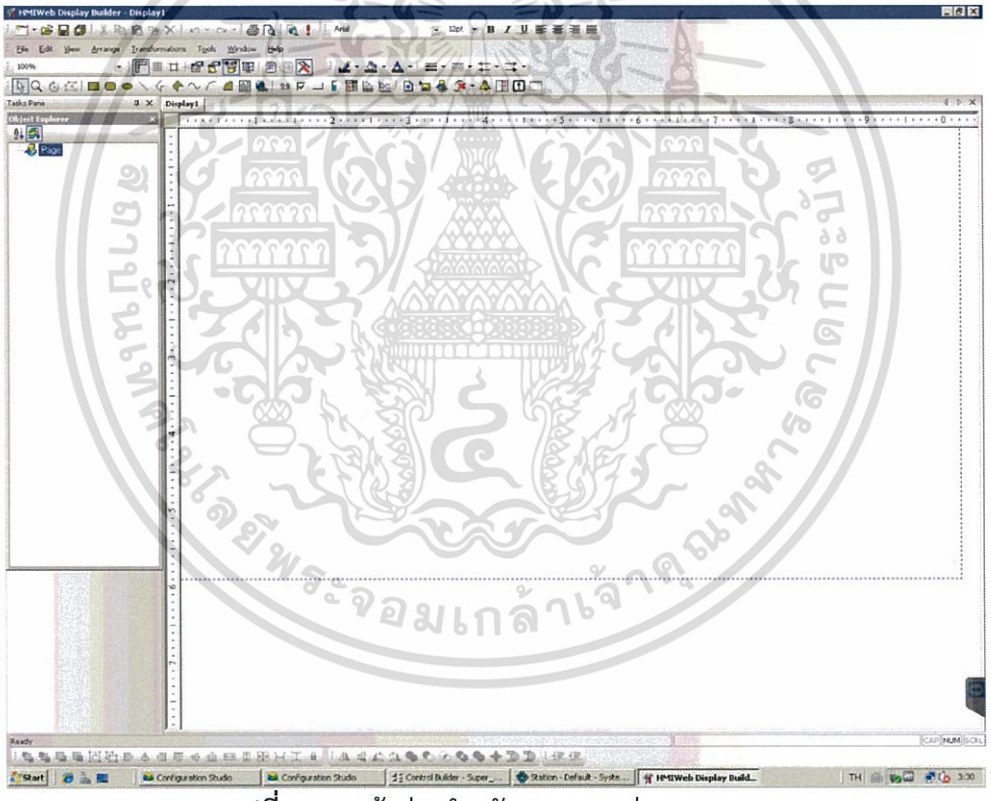
การออกแบบส่วนแสดงผลสำหรับผู้ใช้งาน จะออกแบบตามลักษณะของระบบที่ถูกควบคุม ซึ่งจะมีการแสดงเป็นภาพจำลองของระบบ และมีการแสดงค่าต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ โดยมีขั้นตอนในการนำค่าที่ต้องการมาแสดงผลในหน้าต่างโปรแกรมแสดงผลสำหรับผู้ใช้งานดังนี้ เริ่มจากรูปที่ 3.2 ทำการสร้าง Normal display เพื่อใช้ในการออกแบบส่วนแสดงผลโดยการเลือกแถบ “Display” และเลือก “Create new Normal display” จะได้หน้าต่างดังรูปที่ 3.3 ทำการสร้างตัวแสดงผล (Shape) ที่ต้องการ ในที่นี้สร้างตัวแสดงผลเป็น Indicator Shape ดังรูปที่ 3.4 และทำการตั้งชื่อของตัวแสดงผลโดยคลิกเข้าไปที่ตัวแสดงผลที่ต้องการจากนั้นทำการเปลี่ยนชื่อแสดงดังรูปที่ 3.5 หากต้องการสร้างตัวแสดงผลที่มีลักษณะกราฟฟิกนอกเหนือจากในโปรแกรมจำเป็นต้องมีไลบรารีกราฟฟิก ซึ่งสามารถเข้าไปเลือกได้โดยเลือกเมนู “View” และเลือก “Shape Gallery” ดังรูปที่ 3.6 เมื่อสร้างกราฟฟิกได้ตามที่ต้องการ จากนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนการดึงข้อมูลจำพวกค่าระดับ (SP) หรือค่ากระบวนการ (PV) จาก DCS มาแสดงผล ทำการคลิกที่ตัวแสดงผลที่ต้องการจะดึงข้อมูลจาก DCS มาแสดงผล และเลือก “Data” แสดงดังรูปที่ 3.7 ทำการเลือกตัวชี้ค่า (Point) ของกระบวนการที่ถูกควบคุมในที่นี้คือ “CM_CASCADE” และเลือกพารามิเตอร์ที่ต้องการนำมาแสดงผลเช่น “SP” หรือ “PV” แสดงดังรูปที่ 3.8 และออกแบบส่วนแสดงผลโดยใส่ตัวชี้ค่าและพารามิเตอร์ให้ครบตามที่ต้องการแสดงดังรูปที่ 3.9

หมายเหตุ : การออกแบบส่วนแสดงผลขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ สามารถกำหนดตำแหน่งและฟังก์ชั่นการใช้งานได้ตามความเหมาะสมของกระบวนการที่ถูกควบคุม ตัวแสดงผลที่นอกเหนือจากอธิบายมาข้างต้น เช่น หน้าต่างพล็อตกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 สามารถเลือกได้จากแถบเมนูของหน้าต่างโปรแกรมการออกแบบส่วนแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

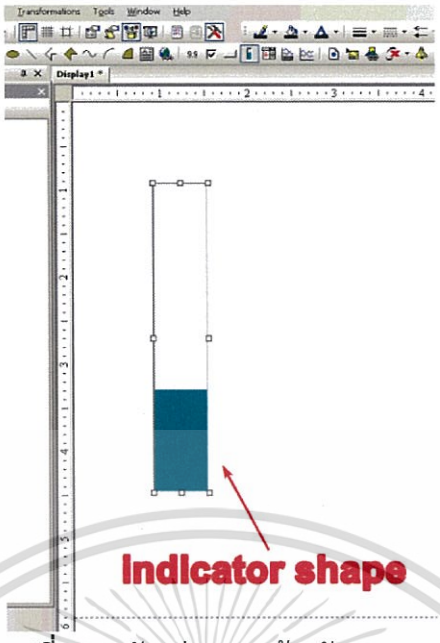


รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้าง Normal display

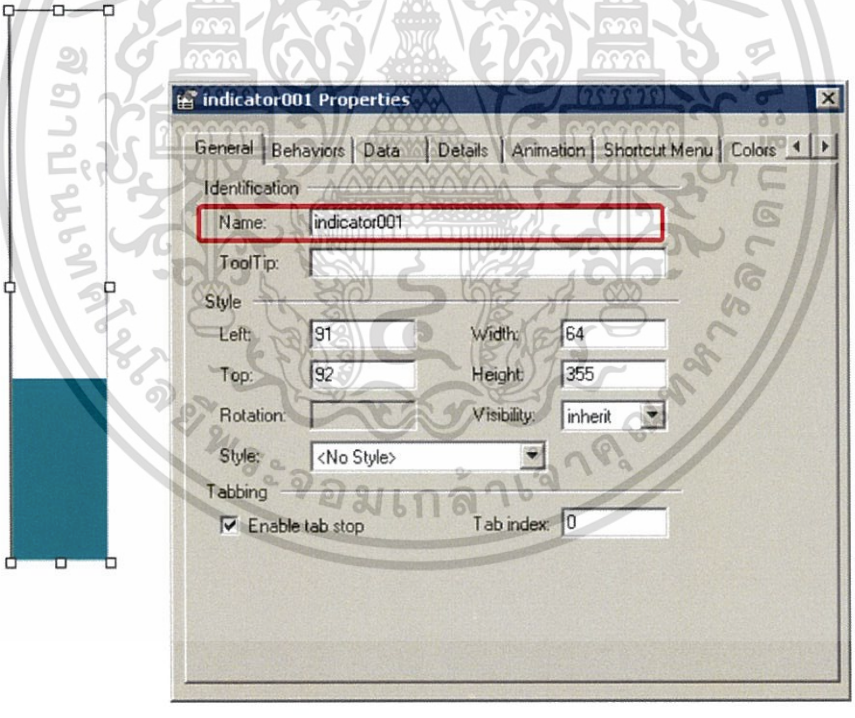


รูปที่ 3.3 หน้าต่างสำหรับออกแบบส่วนแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

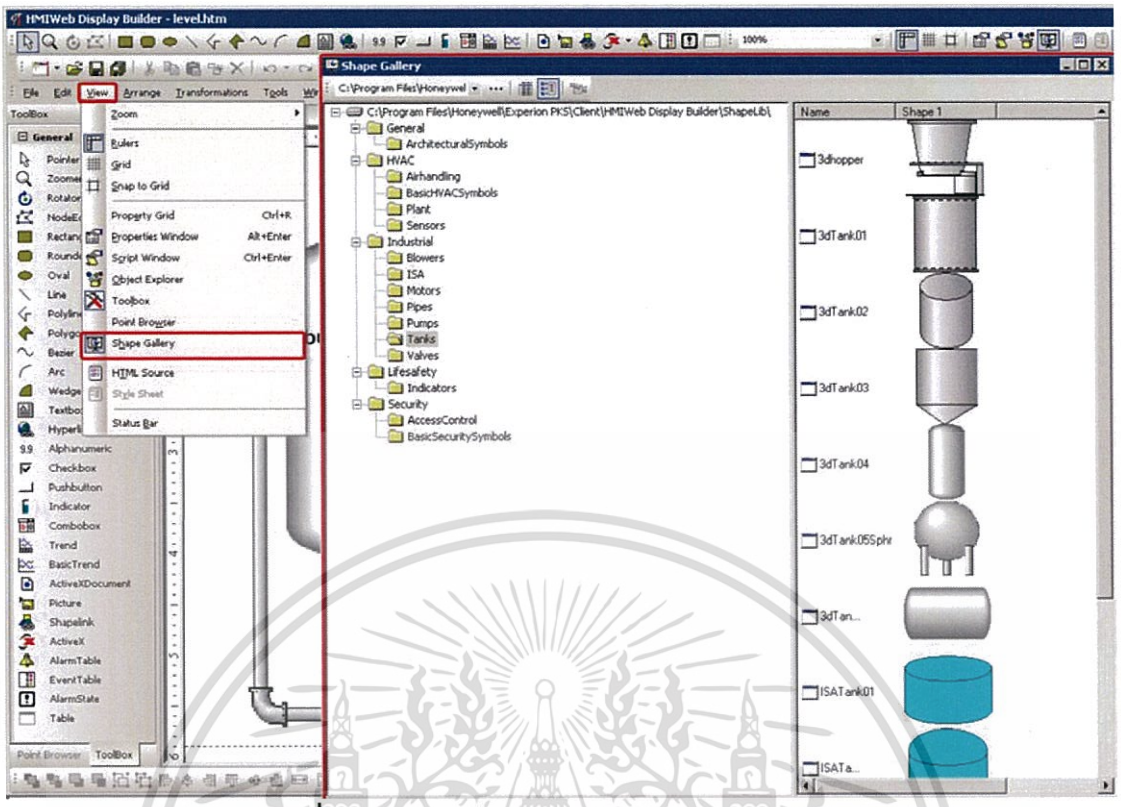


รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการสร้างตัวแสดงผล

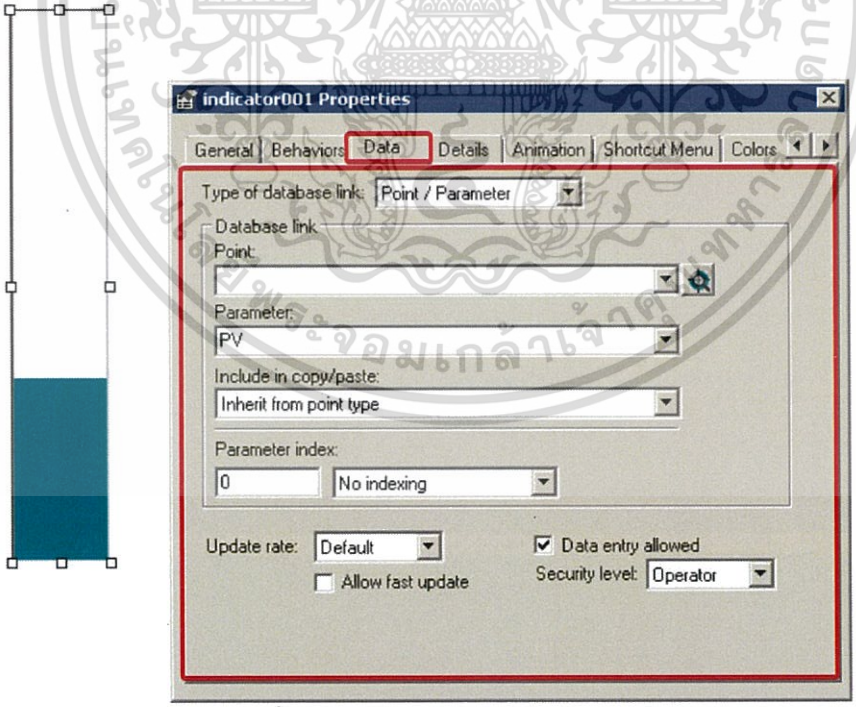


รูปที่ 3.5 การตั้งชื่อตัวแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

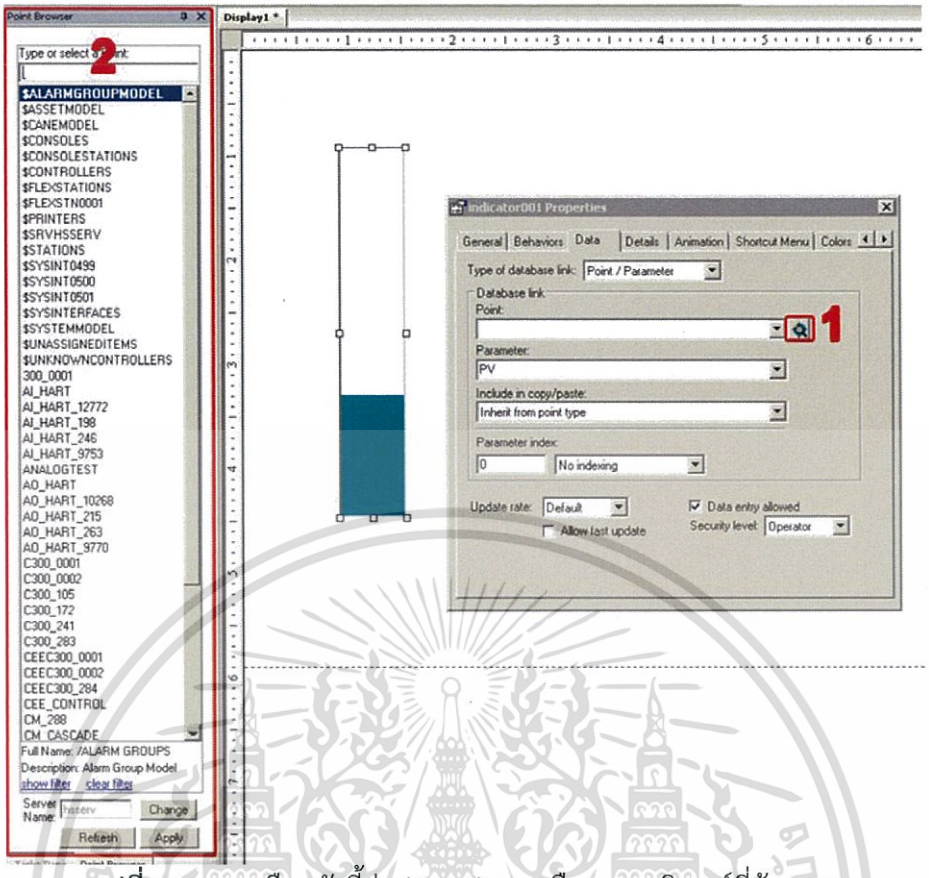


รูปที่ 3.6 ตัวเลือกไลบรารีกราฟฟิก Shape Gallery

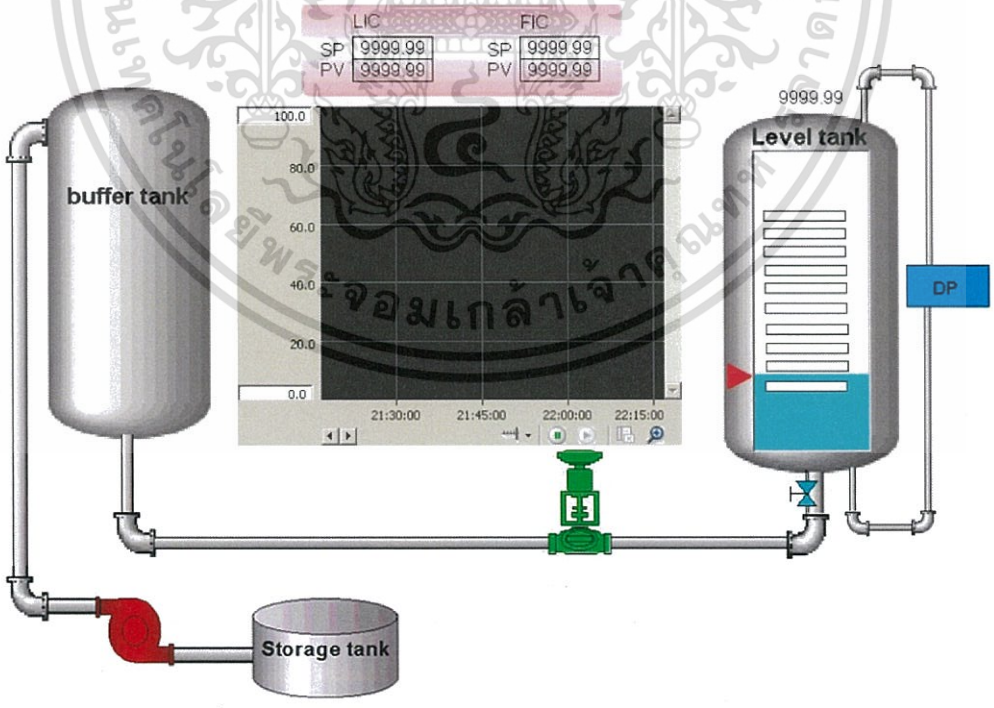


รูปที่ 3.7 การนำข้อมูลจาก DCS มาแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การเลือกตัวชี้ค่า (Point) และเลือกพารามิเตอร์ที่ต้องการ



รูปที่ 3.9 แสดงหน้าต่างโปรแกรมแสดงผลสำหรับผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

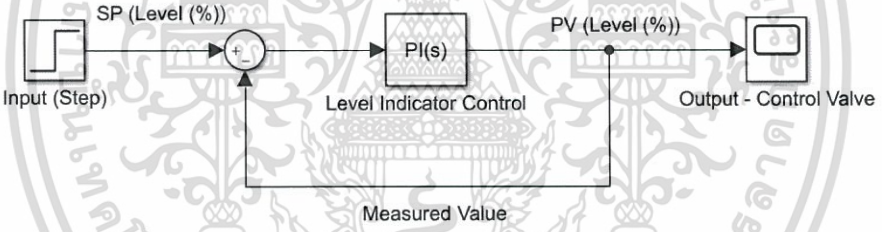
บทที่ 4
การนำเสนอผลของข้อมูล

4.1 การนำเสนอผลของข้อมูลที่ได้จากการวิจัย

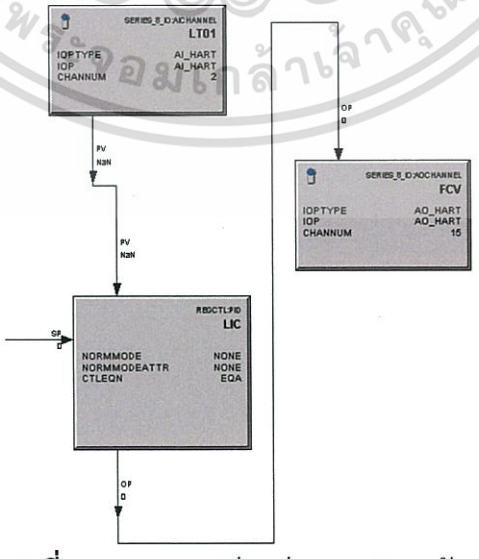
การควบคุมกระบวนการจะใช้การควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์ (PI) โดยจะแบ่งการควบคุมออกเป็น 3 ส่วน คือ 1. การควบคุมระดับแบบซิงเกิลลูป 2. การควบคุมการไหลแบบซิงเกิลลูป 3. การควบคุมแบบคาสเคด แสดงการนำเสนอผลของข้อมูลในรูปของกราฟการทำงานของกระบวนการ และการเชื่อมต่อกล่องฟังก์ชั่น

4.1.1 การควบคุมระดับแบบซิงเกิลลูป (Single Loop Level Control)

เป็นการควบคุมระบบแบบปิด (Close Loop) ในที่นี้จะทำการควบคุมระดับแบบซิงเกิลลูป (Single Loop Level Control) โดยใช้การควบคุมกระบวนการแบบ สัดส่วน-ปริพันธ์ (PI) แสดงดังรูปที่ 4.1 และแสดงการต่อกล่องควบคุมระดับดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 แสดงการควบคุมระดับแบบปิดโดยใช้ PI Controller



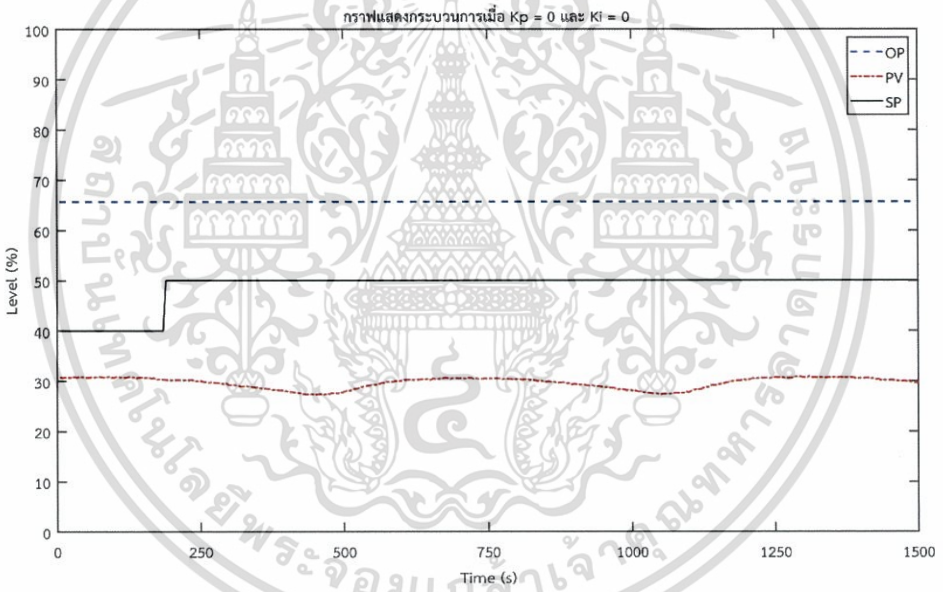
รูปที่ 4.2 แสดงการต่อกล่องควบคุมระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การได้มาซึ่งค่าสำหรับใช้ควบคุมกระบวนการ ในการควบคุมแบบซิงเกิลลูป (Single Loop Control) สามารถได้มาจากการปรับจูนค่าแบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) และการปรับจูนค่าแบบ Ziegler-Nichols จากนั้นนำกราฟที่ได้จากโปรแกรมควบคุมกระบวนการของบริษัท Honeywell ไปพล็อตกราฟในโปรแกรมแมทแลป (MATLAB) เพื่อคำนวณหาค่าควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์ (PI) ผลของการทดลองหาค่าสำหรับใช้ควบคุมกระบวนการจะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน

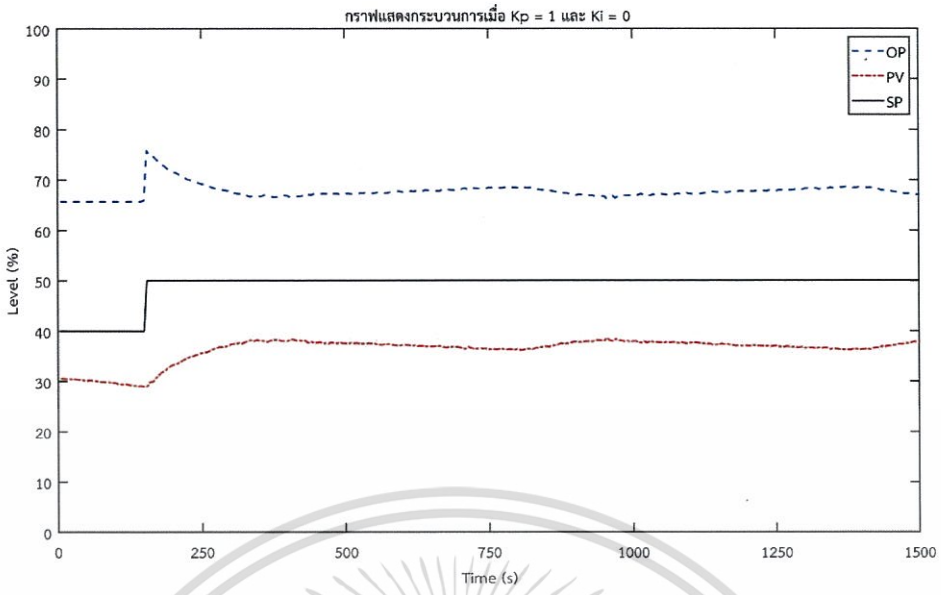
4.1.1.1 การปรับจูนค่าขั้นที่ 1 สำหรับการควบคุมระดับ

ทำการควบคุมกระบวนการ ด้วยการปรับจูนค่าแบบลองผิดลองถูก เริ่มต้นจากกำหนดค่า $K_p = 0$ และ $K_i = 0$ จะได้กราฟดังรูปที่ 4.3 จากนั้นทำการปรับค่า $K_p = 1$ จะได้กราฟดังรูปที่ 4.4 แต่ไม่มีการแกว่งรอบค่าระดับ จึงทดลองทำการปรับค่า $K_i = 0.1$ ผลคือระบบเกิดการแกว่งดังรูปที่ 4.5 จากนั้นทดลองปรับค่า $K_p = 2$ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของระบบ จะได้กราฟดังรูปที่ 4.6 จากนั้นทดลองปรับค่า $K_p = 0.1$ จะได้กราฟการแกว่งแบบคงที่ แสดงได้ดังรูปที่ 4.7

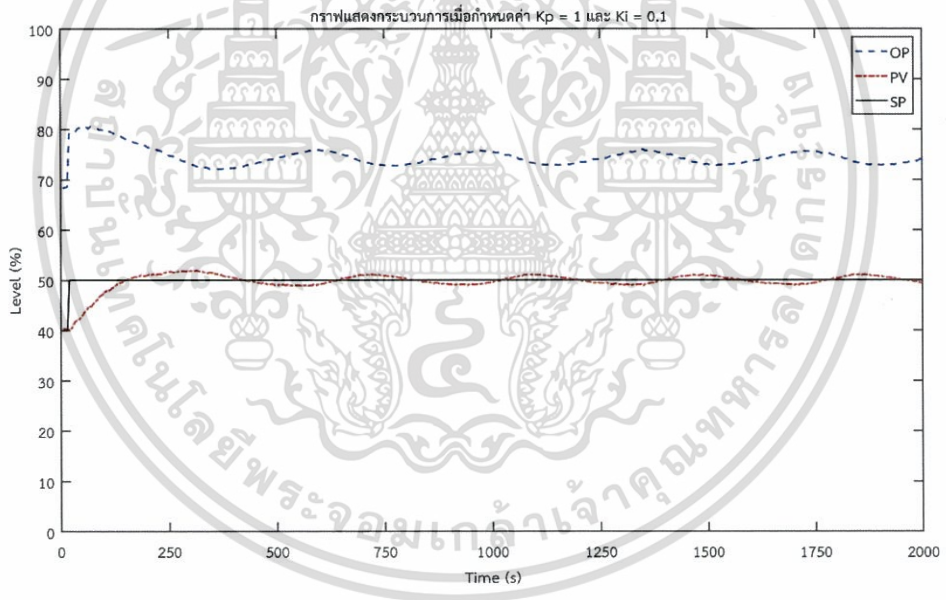


รูปที่ 4.3 แสดงกระบวนการเมื่อ $K_p = 0$ และ $K_i = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

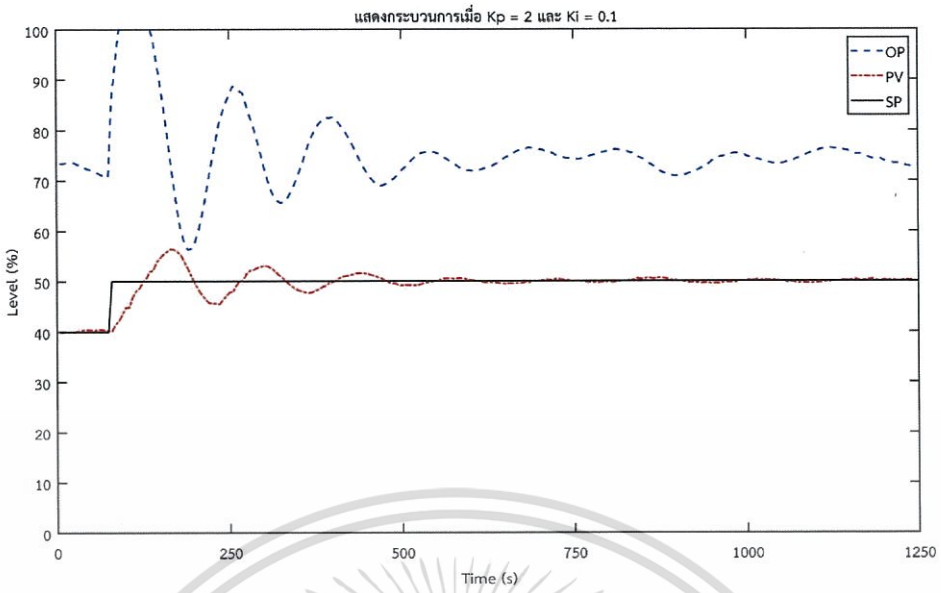


รูปที่ 4.4 แสดงกระบวนการเมื่อ K_p = 1 และ K_i = 0

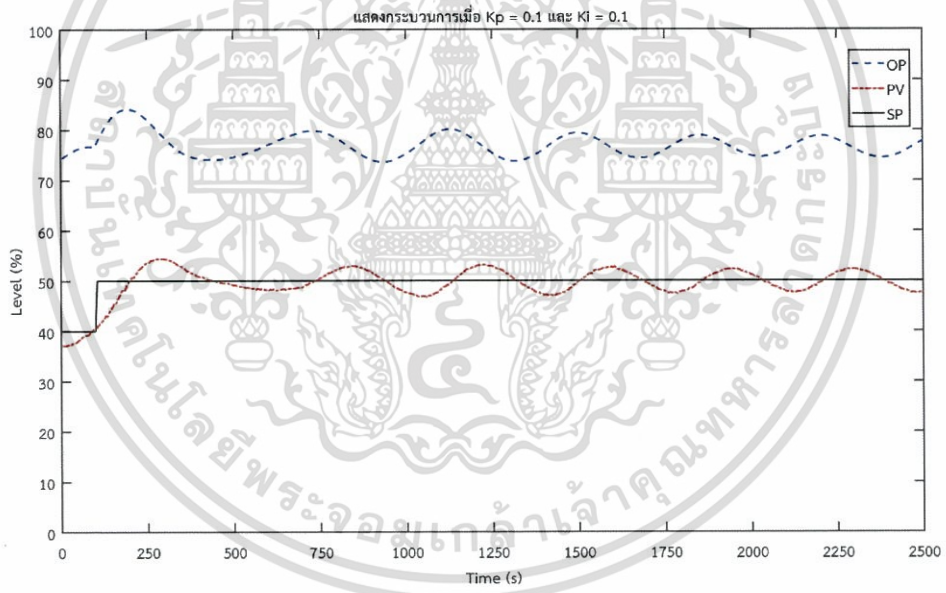


รูปที่ 4.5 แสดงกระบวนการเมื่อ K_p = 1 และ K_i = 0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงกระบวนการเมื่อ K_p = 2 และ K_i = 0.1



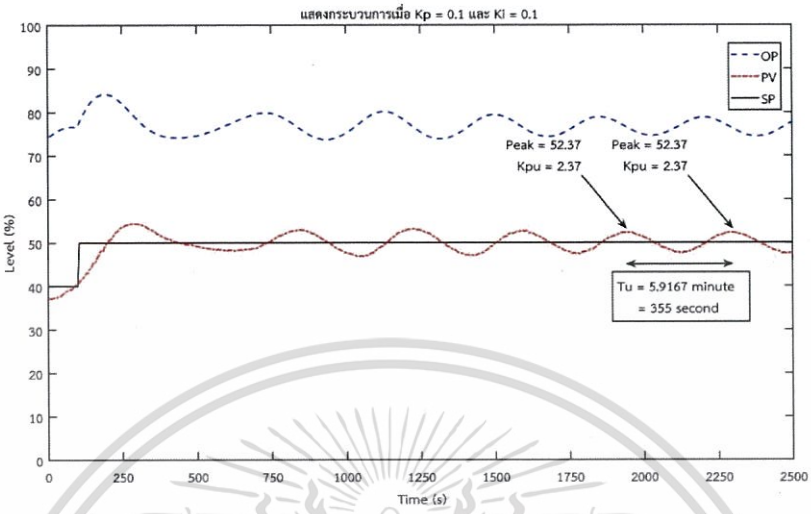
รูปที่ 4.7 แสดงกระบวนการเมื่อ K_p = 0.1 และ K_i = 0.1

4.1.1.2 การปรับจูนค่าขั้นที่ 2 สำหรับการควบคุมระดับ

การปรับจูนค่าขั้นที่ 2 จะใช้การปรับจูนโดยวิธีของ Ziegler-Nichols อ้างอิงจากรูปที่ 4.7 พบว่าระบบมีการแกว่งแบบคงที่เกิดขึ้น จึงนำค่ากระบวนการในกราฟมาพิจารณาแสดงได้ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งมี K_{pu} = 2.37 และ T_u = 5.9167 และนำค่าที่ได้ไปคำนวนเทียบกับตารางที่ 2.6 สมการสำหรับตัวควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์ ในหมวด Dependent จะได้ค่า K_p = 1.0665 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

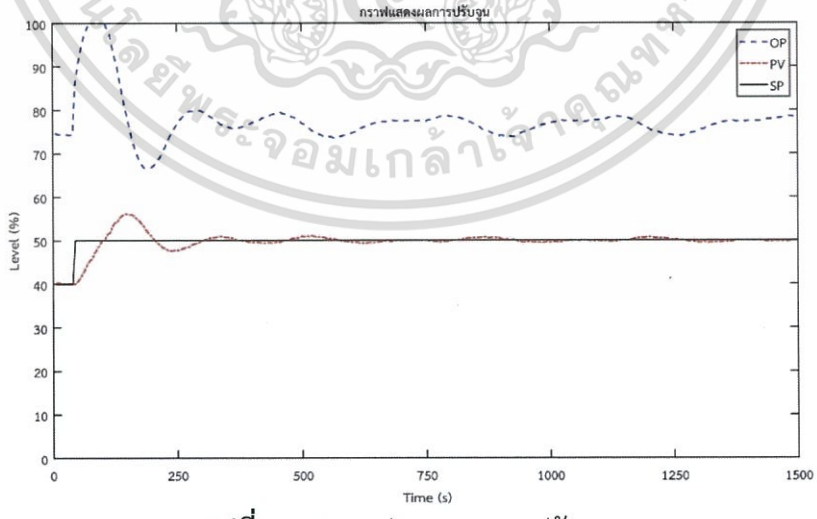
K_i = 0.202816 แสดงผลการคำนวณดังรูปที่ 4.9 จากนั้นนำค่าที่ได้ไปใส่กล่องควบคุมของตัวควบคุมระดับ แสดงผลการปรับจูนได้ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.8 ค่ากระบวนการสำหรับคำนวณโดยวิธี Ziegler-Nichols

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Ziegler-Nichols Close-Loop Tuning										
2	Type of Controller			Dependent	Independent		Dependent	Independent		Dependent	Independent
3	P		Kp	1.185	1.185	Ki			Kd		
4	PI		Kp	1.0665	1.0665	Ki	0.202816	0.21630301	Kd		
5	PID		Kp	1.422	1.422	Ki	0.338026	0.48067335	Kd	0.739588	1.05169343
6											
7	Kp ที่ได้จากกราฟ	2.37									
8	Tu ที่ได้จากกราฟ	5.9167									
9											

รูปที่ 4.9 แสดงผลการคำนวณด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols

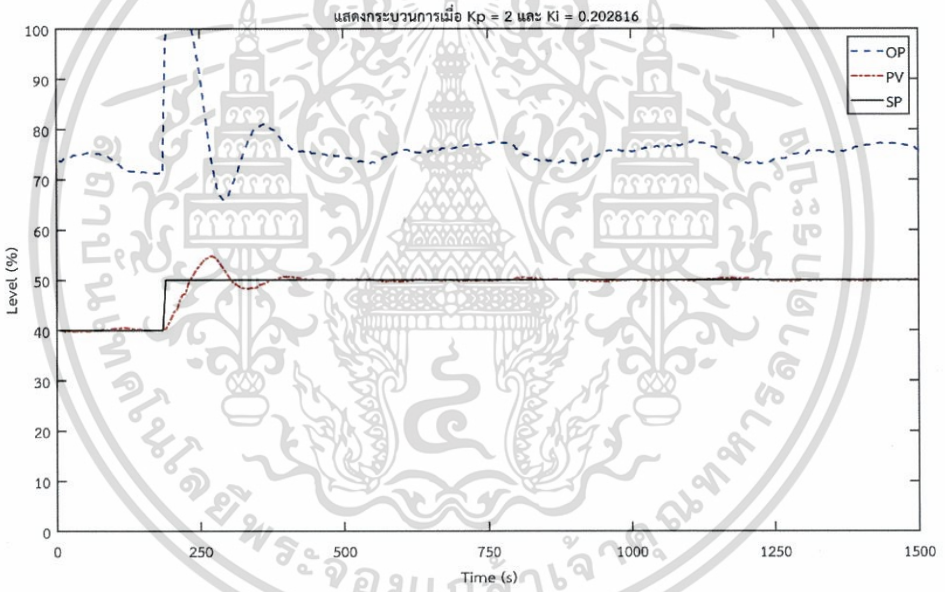


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลการปรับจูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

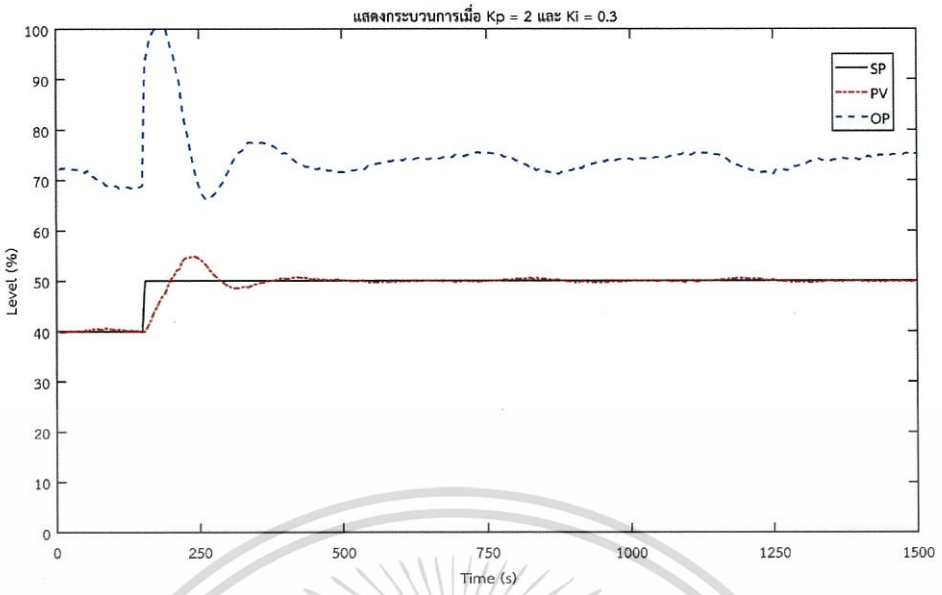
4.1.1.3 การปรับจูนค่าขั้นที่ 3 สำหรับการควบคุมระดับ

จากการปรับจูนด้วยวิธี Ziegler-Nichols ได้ผลการปรับจูนดังรูปที่ 4.10 ซึ่งยังมีโอเวอร์ชูตและการแกว่งเกิดขึ้น จึงทำการปรับค่าด้วยวิธีการลองผิดลองถูกอีกครั้ง เพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุด ทำการทดลองปรับค่าโดยการปรับค่า K_p = 2 และ K_i = 0.202816 จะพบว่าระบบมีเสถียรภาพที่ดีขึ้น และโอเวอร์ชูตลดลง แสดงได้ดังรูปที่ 4.11 จากนั้นทำการปรับค่า K_i = 0.3 เพื่อสังเกตแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง พบว่าเสถียรภาพของระบบดีขึ้น และโอเวอร์ชูตลดลง แสดงได้ดังรูปที่ 4.12 ทำการทดลองต่อโดยการปรับค่า K_i = 0.7 จะพบบว่าเสถียรภาพของระบบมีแนวโน้มที่ดีขึ้นเมื่อค่า K_i เพิ่มขึ้น แสดงได้ดังรูปที่ 4.13 จากนั้นจึงทำการปรับค่า K_i = 1 จะได้ดังรูปที่ 4.14 ซึ่งจะพบว่าโอเวอร์ชูตลดลง จากนั้นทดลองปรับค่า K_i เพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึง K_i = 10 จะได้ดังรูปที่ 4.15 ต่อมาทำการทดลองปรับค่า K_p = 4 เพื่อให้ระบบเข้าสู่ค่าระดับได้เร็วขึ้น พบว่าระบบอยู่ในการควบคุมที่ดีพอสำหรับกระบวนควบคุมระดับของของเหลว แสดงได้ดังรูปที่ 4.16

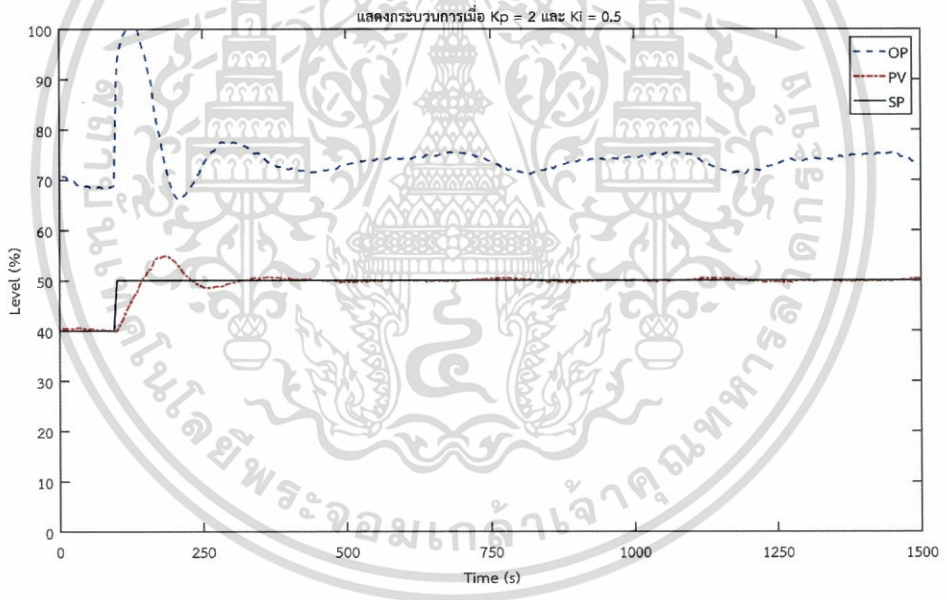


รูปที่ 4.11 แสดงกระบวนการเมื่อ K_p = 2 และ K_i = 0.202816

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

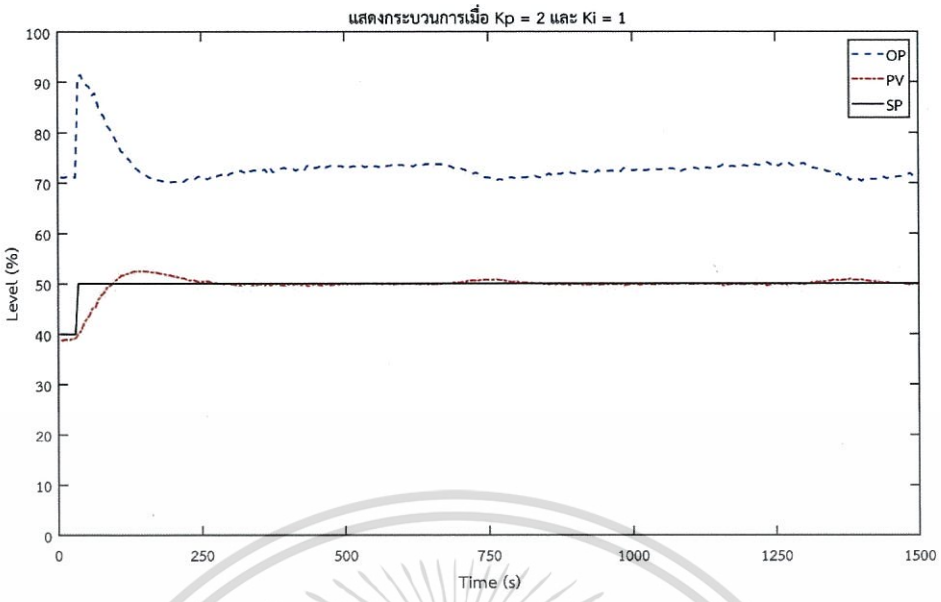


รูปที่ 4.12 แสดงกระบวนการเมื่อ K_p = 2 และ K_i = 0.3

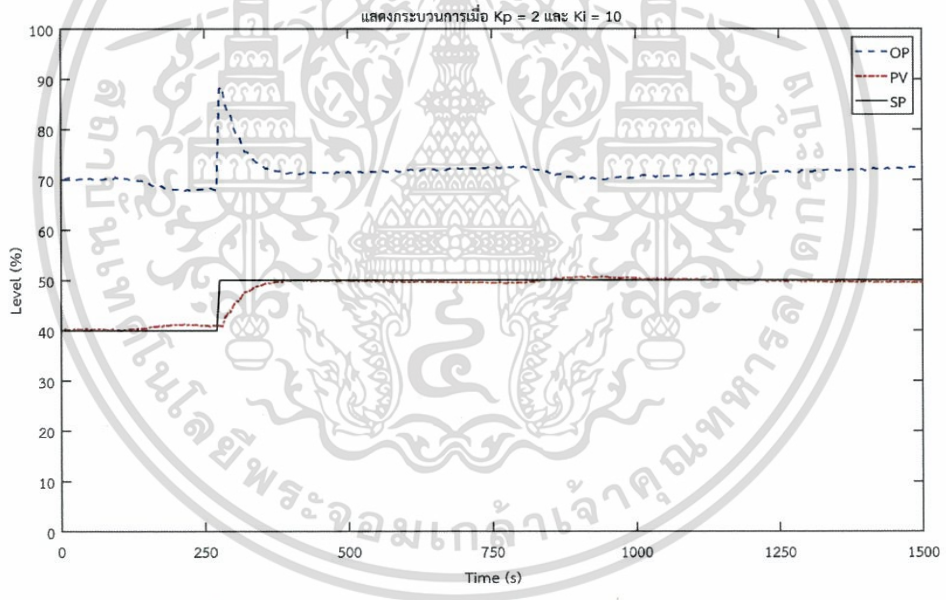


รูปที่ 4.13 แสดงกระบวนการเมื่อ K_p = 2 และ K_i = 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

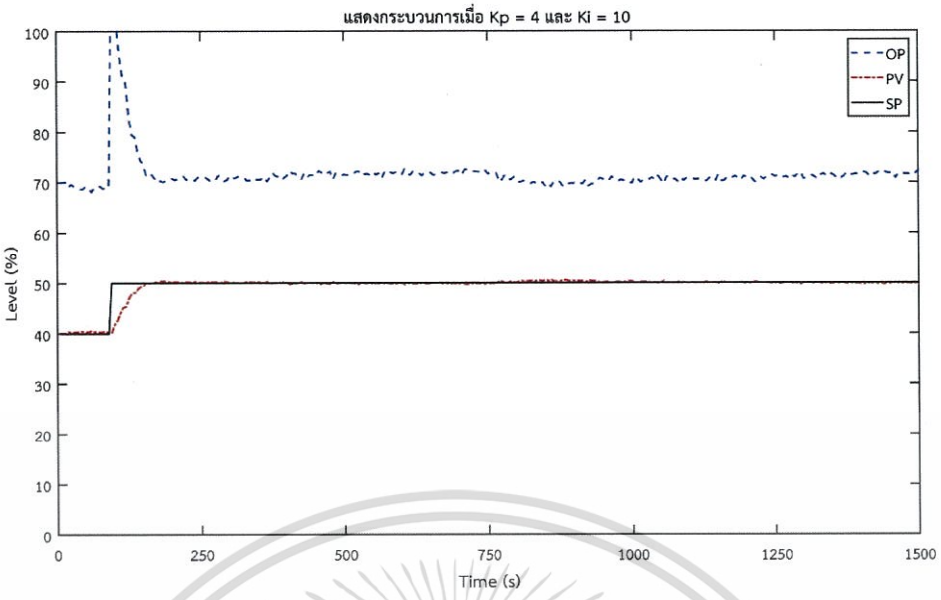


รูปที่ 4.14 แสดงกระบวนการเมื่อ $K_p = 2$ และ $K_i = 1$



รูปที่ 4.15 แสดงกระบวนการเมื่อ $K_p = 2$ และ $K_i = 10$

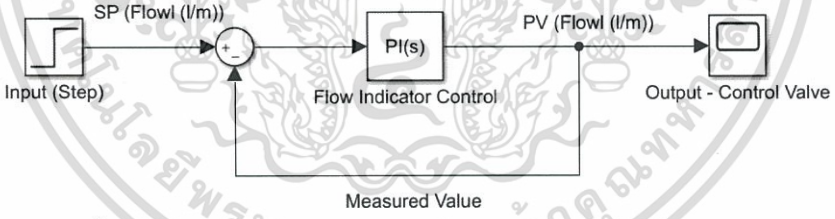
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



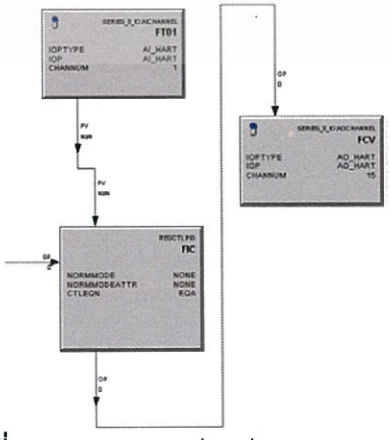
รูปที่ 4.16 แสดงกระบวนการเมื่อ K_p = 4 และ K_i = 10

4.1.2 การควบคุมการไหลแบบซิงเกิลลูป (Single Loop Flow Control)

เป็นการควบคุมระบบแบบปิด (Close Loop) ในที่นี้จะทำการควบคุมการไหลแบบซิงเกิลลูป (Single Loop Flow Control) โดยใช้การควบคุมกระบวนการแบบ สัดส่วน-ปริพันธ์ (PI) แสดงดังรูปที่ 4.17 และแสดงการต่อกล่องควบคุมการไหลดังรูปที่ 4.18



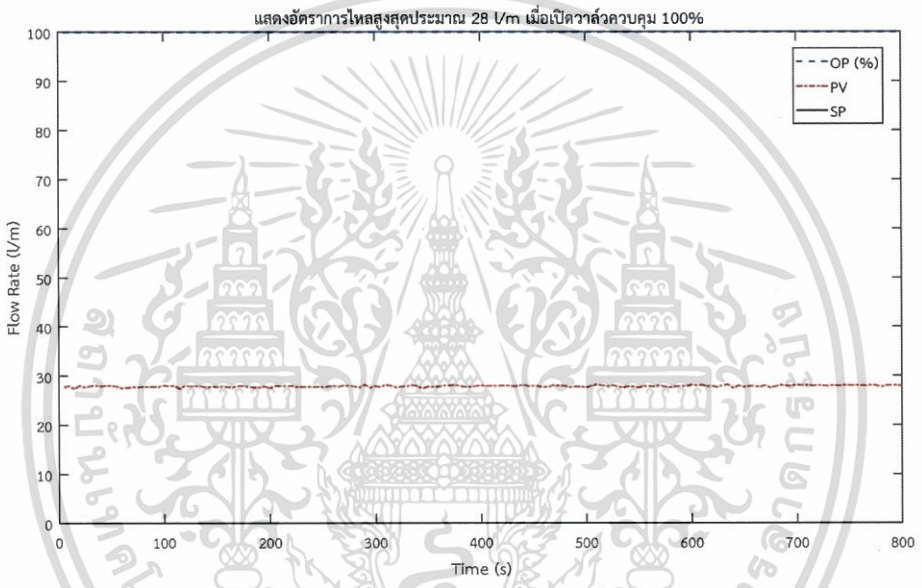
รูปที่ 4.17 แสดงการควบคุมการไหลแบบปิดโดยใช้ PI Controller



รูปที่ 4.18 แสดงการต่อกล่องควบคุมระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

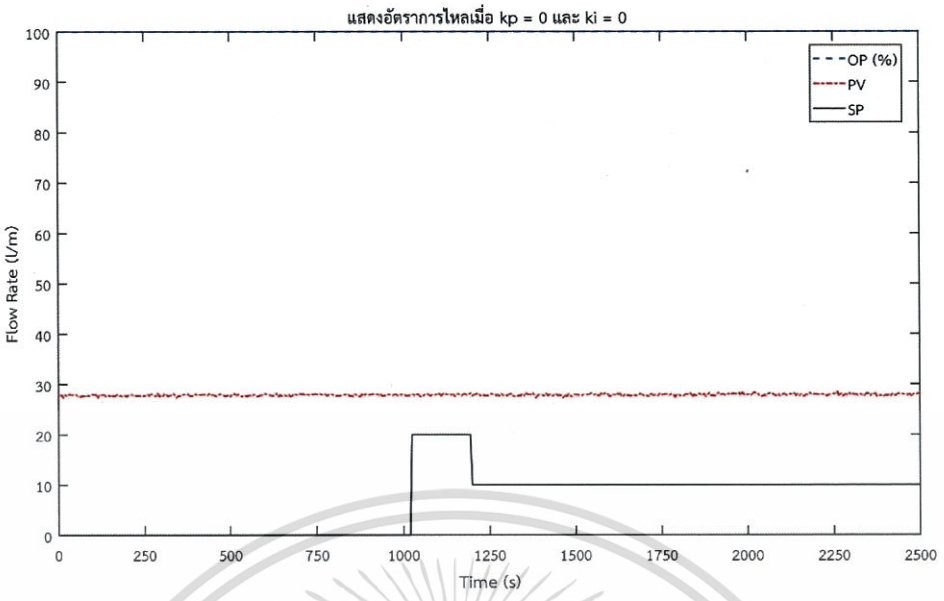
การได้มาซึ่งค่าสำหรับใช้ควบคุมกระบวนการ ในการควบคุมแบบซิงเกิลลูป (Single Loop Control) สามารถได้มาจากการปรับจูนค่าแบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) และการปรับจูนค่าแบบ Ziegler-Nichols จากนั้นนำกราฟที่ได้จากโปรแกรมควบคุมกระบวนการของบริษัท Honeywell ไปพล็อตกราฟในโปรแกรมแมทแลป (MATLAB) เพื่อคำนวณหาค่าควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์ (PI) โดยอัตราการไหลของของเหลวสูงสุดที่ไหลได้เมื่อเปิดวาล์วควบคุม 100% จะไหลได้ประมาณ 28 l/m แสดงได้ดังรูปที่ 4.19 ผลของการทดลองหาค่าสำหรับใช้ควบคุมกระบวนการสามารถหาได้จากวิธีการลองผิดลองถูก อันเนื่องมาจากความแปรปรวนในการวัดค่าของกระบวนการทำให้ไม่สามารถใช้วิธีของ Ziegler-Nichols ได้



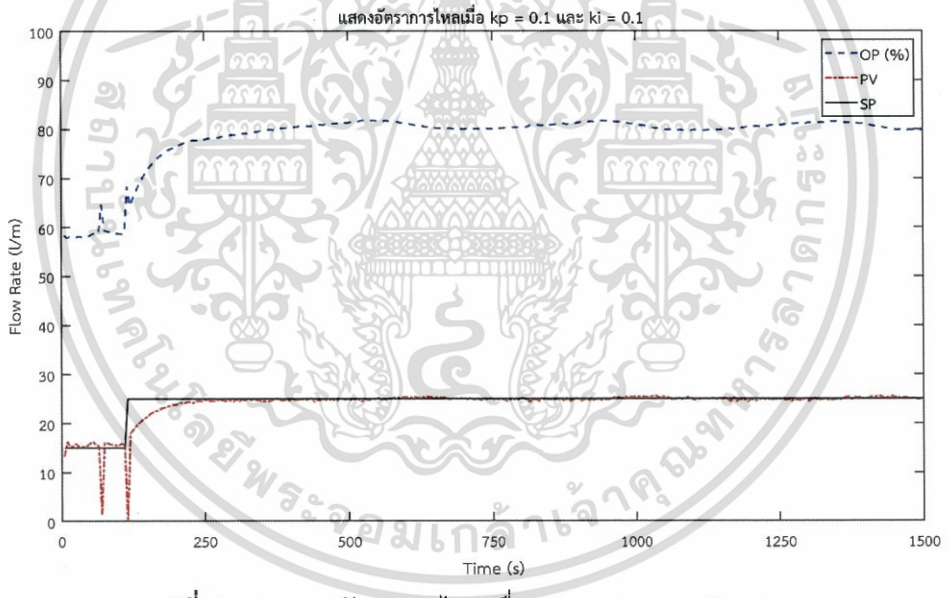
รูปที่ 4.19 อัตราการไหลสูงสุดประมาณ 28 l/m เมื่อเปิดวาล์วควบคุม 100%

ในการปรับจูนค่าสำหรับควบคุมกระบวนการ เริ่มจากการทดลองปรับค่า K_p และ K_i = 0 เพื่อสังเกตลักษณะของกระบวนการ แสดงได้ดังรูปที่ 4.20 แสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนในกระบวนการควบคุมอัตราการไหล จากนั้นทำการปรับค่า K_p และ K_i = 0.1 จะพบว่าค่ากระบวนการสามารถสามารถเข้าสู่ค่า SP ได้ แต่ยังมีความแปรปรวนอยู่ แสดงได้ดังรูปที่ 4.21 จากนั้นทำการปรับค่า K_p = 0.5 พบว่าค่ากระบวนการเข้าสู่ SP ได้เร็วขึ้น แต่มีความแปรปรวนสูงขึ้น แสดงดังรูปที่ 4.22 สังเกตแนวโน้มของความแปรปรวนโดยปรับค่า K_p = 0.06 พบว่ากระบวนการใช้เวลานานขึ้นเล็กน้อย แต่ความแปรปรวนของระบบลดลง แสดงดังรูปที่ 4.23 เนื่องจากกระบวนการไม่สามารถปรับจูนค่าโดยละเอียดได้ จึงเลือกใช้ค่าสำหรับควบคุมกระบวนการที่ใช้ K_p = 0.5 และ K_i = 0.1 แสดงดังรูปที่ 4.22 มาใช้ในการควบคุมอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

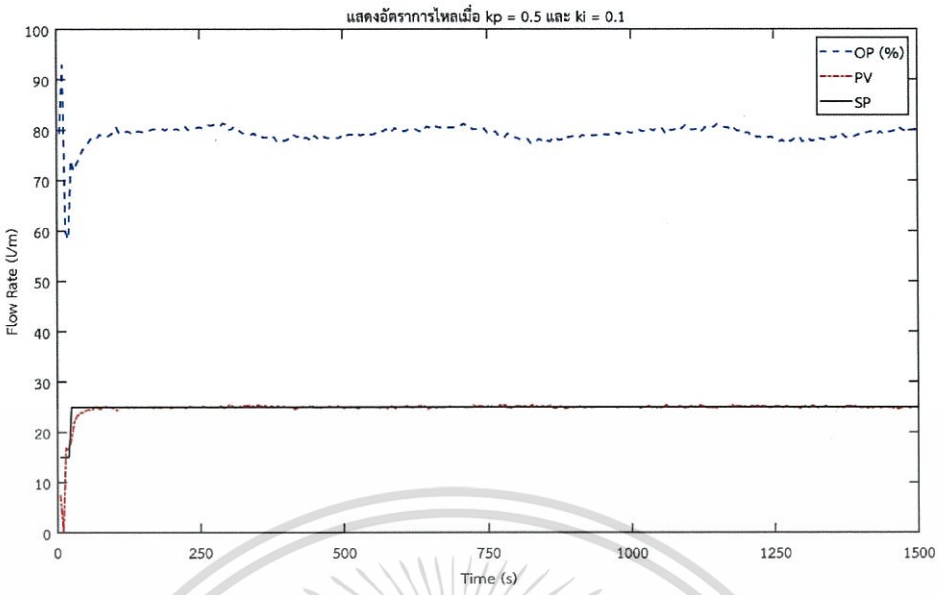


รูปที่ 4.20 แสดงอัตราการไหลเมื่อ $K_p = 0$ และ $K_i = 0$

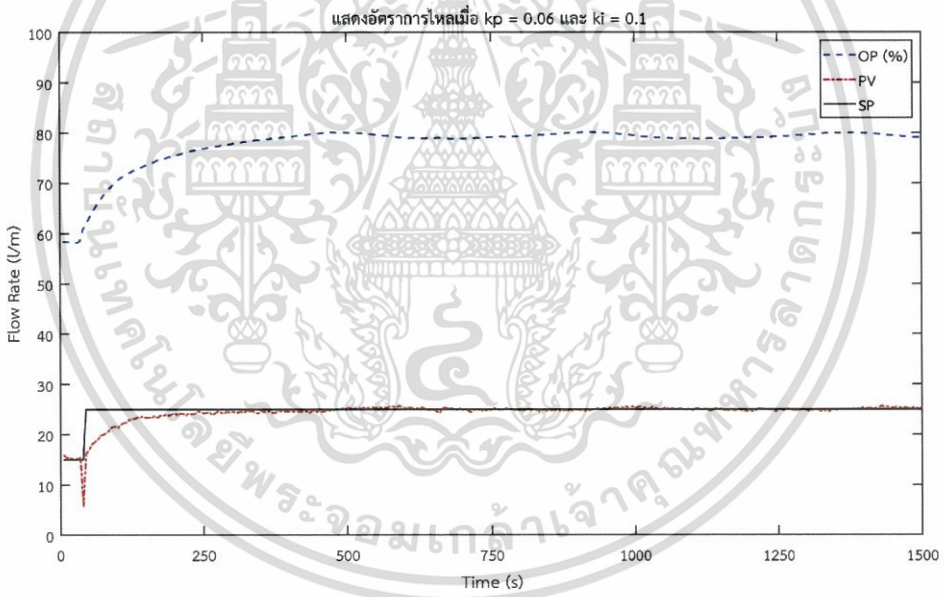


รูปที่ 4.21 แสดงอัตราการไหลเมื่อ $K_p = 0.1$ และ $K_i = 0.1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 แสดงอัตราการไหลเมื่อ K_p = 0.5 และ K_i = 0.1

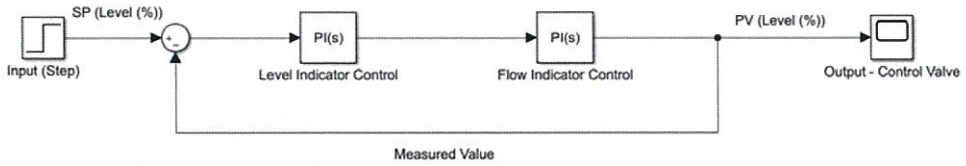


รูปที่ 4.23 แสดงอัตราการไหลเมื่อ K_p = 0.06 และ K_i = 0.1

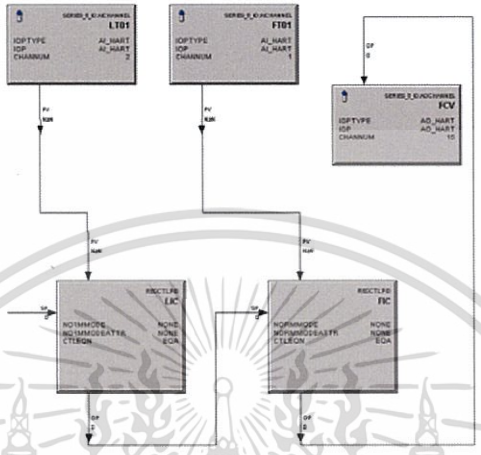
4.1.3 การควบคุมแบบคาสแคด (Cascade Control)

เป็นการควบคุมระบบแบบปิด (Close Loop) จะทำการควบคุมโดยการควบคุมอัตราการไหลเพื่อให้ได้ระดับของของเหลวตามที่ต้องการ นั่นคือการควบคุมระดับแบบคาสแคด (Cascade Level Control) โดยจะใช้การควบคุมกระบวนการแบบ สัดส่วนปริพันธ์ (PI) แสดงดังรูปที่ 4.24 และแสดงการต่อกล่องควบคุมกระบวนการดังรูปที่ 4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



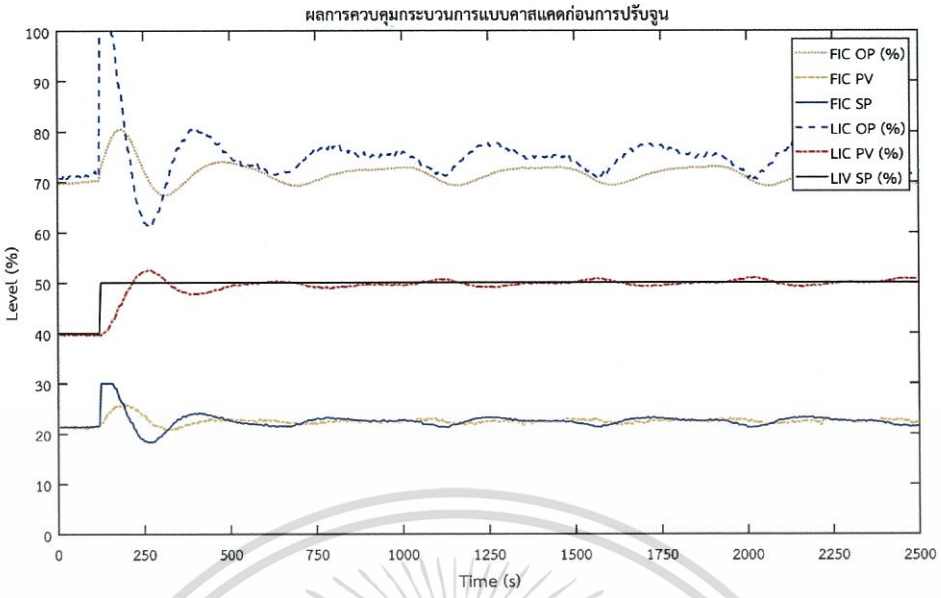
รูปที่ 4.24 แสดงการควบคุมการไหลแบบคาสแคดโดยใช้ PI Controller



รูปที่ 4.25 แสดงการต่อกล่องควบคุมกระบวนการ

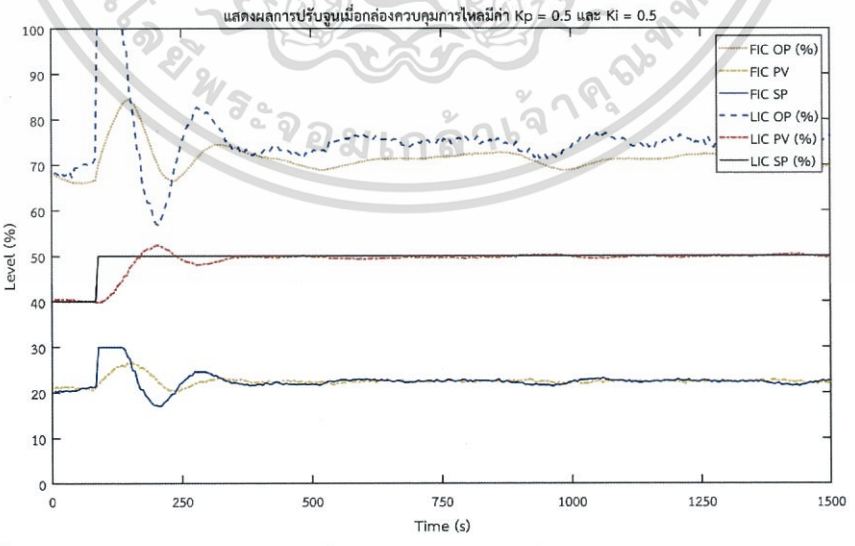
การได้มาซึ่งค่าสำหรับใช้ควบคุมกระบวนการในการควบคุมแบบคาสแคด (Cascade Control) จะนำค่าสำหรับควบคุมกระบวนการจากการกระบวนการควบคุมระดับแบบซิงเกิลลูป และกระบวนการควบคุมอัตราการไหลแบบซิงเกิลลูปมาใช้ โดยอ้างอิงข้อมูลการทดลองจากหัวข้อที่ 4.1.1 และ 4.1.2 จากนั้นนำกราฟที่ได้จากโปรแกรมควบคุมกระบวนการของบริษัท Honeywell ไปพล็อตกราฟในโปรแกรมแมทแลป (MATLAB) เพื่อคำนวณหาค่าควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์ (PI) โดยค่าสำหรับควบคุมกระบวนการสำหรับกล่องควบคุมระดับคือ K_p = 4 และ K_i = 10 และค่าสำหรับกล่องควบคุมอัตราการไหลคือ K_p = 0.5 และ K_i = 0.1 ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.26 จากนั้นทำการปรับจูนค่าสำหรับใช้ควบคุมกระบวนการเพื่อให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



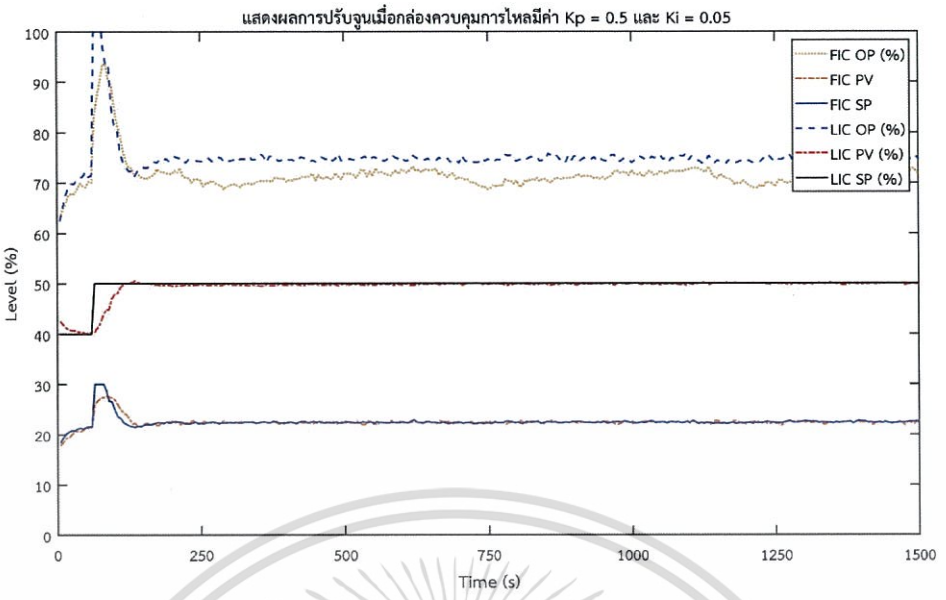
รูปที่ 4.26 ผลการควบคุมกระบวนการแบบคาสแคดก่อนการปรับจูน

การปรับจูนค่าจะใช้การปรับจูนแบบลองผิดลองถูก เนื่องจากค่าที่นำมาใช้ในการควบคุมกระบวนการเป็นค่าที่เกิดจากการปรับจูนมาแล้วจากหัวข้อที่ 4.1.1 และ 4.1.2 ซึ่งได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นรูปที่ 4.26 พบว่าระบบยังมีโอเวอร์ชูต และยังมีความไม่เสถียรอยู่ จึงทำการปรับจูนค่าควบคุมกระบวนการโดยทดลองปรับค่าสำหรับกล่องควบคุมการไหลให้ K_p = 0.5 และ K_i = 0.5 แสดงได้ดังรูปที่ 4.27 ซึ่งระบบยังไม่เสถียร จึงทดลองปรับค่าสำหรับกล่องควบคุมการไหลให้ K_p = 0.5 และ K_i = 0.05 ผลลัพธ์ที่ได้คือระบบเข้าสู่ค่าระดับได้เป็นอย่างดี แสดงดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.27 แสดงผลการปรับจูนเมื่อกล่องควบคุมการไหลมีค่า K_p = 0.5 และ K_i = 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 แสดงผลการปรับจูนเมื่อกล่องควบคุมการไหลมีค่า K_p = 0.5 และ K_i = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และ ข้อเสนอเชิงทฤษฎีจากการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยเรื่อง "การประยุกต์ใช้งานระบบควบคุมกระบวนการ : กรณีศึกษา HoneywellPlant Cruise's Distributed Control System" ได้ทำการศึกษากระบวนการควบคุมระดับของของเหลวตามวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโครงสร้างการบริหารจัดการ การพัฒนาระบบการควบคุมกระบวนการ และการติดต่อผู้ใช้งาน ด้วยระบบควบคุมแบบกระจายส่วนขนาดกลางของบริษัท Honeywell รุ่น PlantCruise โดยการพัฒนาโปรแกรมควบคุมกระบวนการจากการเรียกใช้ไลบรารีต่างๆ สำหรับการทดสอบผลลัพธ์ของการควบคุมทำการทดสอบโปรแกรมควบคุมกระบวนการ โดยการควบคุมกระบวนการในห้องปฏิบัติการ ได้ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3ส่วนดังนี้

5.1.1 สรุปผลการพัฒนาระบบการควบคุมกระบวนการ และการติดต่อผู้ใช้งาน

จากการศึกษาโครงสร้างของระบบควบคุมกระบวนการ ส่วนของกระบวนการ และส่วนของการติดต่อผู้ใช้งานสามารถสรุปผลได้ว่าระบบควบคุมกระบวนการสามารถใช้งานสำหรับการควบคุมกระบวนการได้เป็นอย่างดี เพราะโปรแกรมที่ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการ "Honeywell's PlantCruise" เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้สามารถควบคุมกระบวนการที่มีความซับซ้อนได้อย่างง่าย และเนื่องมาจากกระบวนการควบคุมระดับของของเหลวที่ศึกษาวิจัยเป็นกระบวนการที่ไม่ได้มีความซับซ้อนมากเหมือนกระบวนการขนาดใหญ่ในอุตสาหกรรม จึงสามารถใช้การควบคุมกระบวนการต่างๆ ได้เป็นอย่างดี จากการทดลองและวิจัยเพื่อพัฒนาระบบควบคุมกระบวนการและการติดต่อผู้ใช้งานนั้น สามารถทำได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยการพัฒนาระบบซึ่งจะเน้นไปที่การติดต่อผู้ใช้งาน หรือระบบแสดงผลสำหรับผู้ใช้งาน (Human Machine Interface – HMI) ให้สามารถใช้งานหรือติดตามผลของกระบวนการได้โดยที่ไม่จำเป็นต้องใช้งานหลายโปรแกรมพร้อมกัน

5.1.2 สรุปผลการเรียกใช้ไลบรารีต่างๆ

ในการควบคุมกระบวนการ โดยใช้โปรแกรมควบคุมกระบวนการของบริษัท Honeywell นั้นจะต้องทำการศึกษาไลบรารีต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการ เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดของการควบคุมกระบวนการ การใช้งานไลบรารีต่างๆ จะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่ต่อร่วมในระบบ เพราะไลบรารีแต่ละตัวถูกออกแบบมาให้ใช้กับอุปกรณ์นั้นๆ ถ้าไม่มีอุปกรณ์ต่อร่วมอยู่ การเรียกใช้ไลบรารีจะไม่สามารถทำได้เนื่องมาจากโปรแกรมควบคุมกระบวนการไม่สามารถเชื่อมต่อไลบรารี กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ได้ ในการทดลองและวิจัยการควบคุมกระบวนการนั้นจะทำการศึกษาไลบรารีที่ใช้งานหลักๆ 2 ส่วนคือ

5.1.2.1 ไลบรารีสำหรับโมดูล

ไลบรารีที่ศึกษาจะศึกษาไลบรารีของโมดูลการเชื่อมต่ออุปกรณ์ HART Analog Input และ HART Analog Output ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มอุปกรณ์จำพวกอินพุตเอาต์พุตโมดูลรุ่น 8 (Series 8 I/O Module) เนื่องมาจากการเรียกใช้ไลบรารีสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์มีความจำเป็นอย่างมาก เพราะถ้าไม่มีการเชื่อมต่อไลบรารีสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ จะทำให้ไม่สามารถควบคุมกระบวนการได้

5.1.2.2 ไลบรารีตัวควบคุมพีไอดี

สำหรับตัวควบคุมพีไอดีที่ใช้สำหรับการควบคุมค่าของกระบวนการจะต้องทำการศึกษาก่อนการใช้งาน เนื่องจากไลบรารีควบคุมจะมีการกำหนดค่าต่างๆ ที่ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการ ถ้าไม่ศึกษาการใช้งานไลบรารีอาจจะทำให้ใส่ค่าผิดได้ซึ่งจะมีผลต่อการควบคุมกระบวนการได้

5.1.3 สรุปผลการทดสอบโปรแกรมควบคุมกระบวนการ

ในการควบคุมกระบวนการโดยใช้โปรแกรม Honeywell's PlantCruise สามารถควบคุมกระบวนการเพื่อควบคุมระดับของของเหลวได้ โดยสามารถติดตามผลของกระบวนการผ่านการแสดงผลในลักษณะของกราฟแสดงผล (Trend) หรือดูการทำงานของกระบวนการผ่านระบบแสดงผลสำหรับผู้ใช้งาน (Human Machine Interface – HMI) ได้ โดยผลของการทดสอบโปรแกรมควบคุมกระบวนการสามารถดูผลได้จาก บทที่ 4

5.2 ปัญหาที่พบ

ในการควบคุมกระบวนการเพื่อควบคุมระดับของของเหลวนั้นสามารถใช้การควบคุมโดยใช้โปรแกรมควบคุมกระบวนการได้เป็นอย่างดี แต่จะมีปัญหาที่พบอย่างเห็นได้ชัดคือ ปัญหาที่เกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้งาน เนื่องมาจากอายุของอุปกรณ์ที่ใช้งาน และลักษณะการติดตั้งโดยรวมของระบบที่ถูกควบคุม โดยจะระบุปัญหาเป็นข้อต่างๆ ดังนี้

5.2.1 ปัญหาอันเนื่องมาจากอายุของอุปกรณ์ที่ใช้งาน

ในการควบคุมระดับโดยใช้โปรแกรมควบคุมกระบวนการนั้น ตัวโปรแกรมสามารถใช้งานเพื่อควบคุมได้เป็นอย่างดี แต่การควบคุมนั้นมีปัจจัยจากอายุของอุปกรณ์ซึ่งก็คือ วาล์วควบคุมการไหล (Control Valve) ซึ่งมีอายุการใช้งานที่นานมาก และไม่มีการบำรุงรักษาอุปกรณ์ ทำให้ส่วนก้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วาล์วมีของเหลวไหลซึมออกมา เมื่อใช้งานไปนานๆ เกิดการเสียดสีจากการขยับของการวาล์วทำให้เกิดการสึกกร่อนของอุปกรณ์ จึงทำให้มีลมที่ใช้ในการควบคุมวาล์วเกิดการรั่วออก ทำให้การควบคุมระดับของของเหลวมีปัญหา และไม่สามารถควบคุมได้ทุกช่วงของความสูงที่ต้องการ

5.2.2 ปัญหาอันเนื่องมาจากลักษณะการติดตั้งโดยรวมของระบบที่ถูกควบคุม

ลักษณะการติดตั้งโดยรวมของระบบที่ถูกควบคุมนั้นทำให้มีปัญหาในการควบคุมระดับของของเหลว เนื่องมาจากลักษณะของแทงค์ที่มีของเหลวไหลเข้ามาเพื่อทำการควบคุมนั้น มีของเหลวไหลเข้าจากทางก้นแทงค์และเนื่องมาจากของเหลวมีการไหลเข้ามาอย่างรุนแรงจึงทำให้ความดันของอากาศภายในแทงค์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันทำให้ที่ระดับความสูงน้อยๆ ไม่สามารถควบคุมระดับของของเหลวได้จนกว่าของเหลวที่อยู่ในแทงค์มีความสูงพอที่จะลดอิทธิพลของแรงดันน้ำ นั่นคือจะสามารถเริ่มวัดระดับของของเหลวได้เมื่อการเคลื่อนไหวของของเหลวมีความนิ่ง

5.3 ข้อเสนอเชิงทฤษฎีจากการวิจัย

ข้อเสนอเชิงทฤษฎี หรือข้อเสนอแนะนั้น จะเสนอถึงการลดปัจจัยของผลกระทบต่อระบบเพื่อให้การควบคุมระบบมีความสมบูรณ์มากที่สุด โดยจะแบ่งข้อเสนอแนะ หรือข้อเสนอเชิงทฤษฎีออกเป็น 2 ข้อดังนี้

5.3.1 การบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่ใช้งาน

ในการใช้งานอุปกรณ์ ควรจะมีการตรวจสอบอุปกรณ์ตามกำหนด เพื่อให้สภาพของอุปกรณ์พร้อมใช้งานอยู่เสมอ เมื่อมีอุปกรณ์ที่เกิดความเสียหาย ควรทำการซ่อมบำรุงหรือหากไม่สามารถซ่อมบำรุงได้ควรเปลี่ยนอุปกรณ์ตัวใหม่ เพื่อความสมบูรณ์ในการควบคุมระบบ และความปลอดภัยในการใช้งาน

5.3.2 การติดตั้งโดยรวมของระบบที่ถูกควบคุม

ในการติดตั้งโดยรวมของระบบที่ถูกควบคุม ควรจะติดตั้งในลักษณะที่เหมาะสมกับระบบที่จะใช้ในการควบคุม ในกรณีของการศึกษาและควบคุมกระบวนการเพื่อควบคุมระดับของของเหลวนั้น ควรจะให้ของเหลวที่ไหลเข้าแทงค์สำหรับควบคุมระดับไหลเข้าจากด้านข้าง บริเวณก้นแทงค์ เพื่อให้ของเหลวเกิดการไหลวนไม่ใช่ปะทุขึ้นด้านบน จะสามารถควบคุมระดับของของเหลวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] นางสาวลัดดาวรรณ สารบรรณ, “ระบบ (DCS)Distributed Control System เบื้องต้น”, บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 5 กันยายน 2555. [ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา https://distributedcontrolsystem.wikispaces.com (13 มกราคม 2561).

[2] Wikipedia, “PID controller”, 2561. [ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/PIDcontroller (13 มกราคม 2561).

[3] Thaicontrol,“PIDTuning”, บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 27 พฤศจิกายน 2554.[ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา : https://thaicontrol.wordpress.com/2011/11/27/pid-tuning/(13 มกราคม 2561).

[4] Jacques F. Smuts,“ Ziegler-Nichols Closed-Loop Tuning Method”, บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 31 มีนาคม 2553. [ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา : http://blog.opticontrols.com/archives/131 (13 มกราคม 2561).

[5] Honeywell,“C300ControllerUsersGuide”, Honeywell Process Solutions, (2011).

[6] Honeywell,“ControlBuilderComponentsTheory”, Honeywell Process Solutions, 2011.

[7] Honeywell,“HMIWebDisplayBuildingGuide”, Honeywell Process Solutions, 2011.

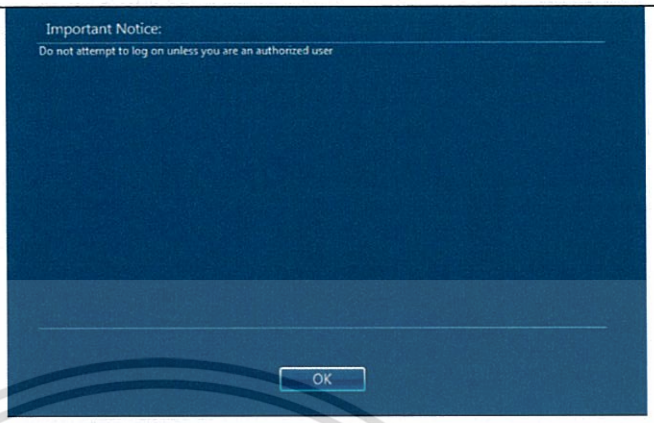
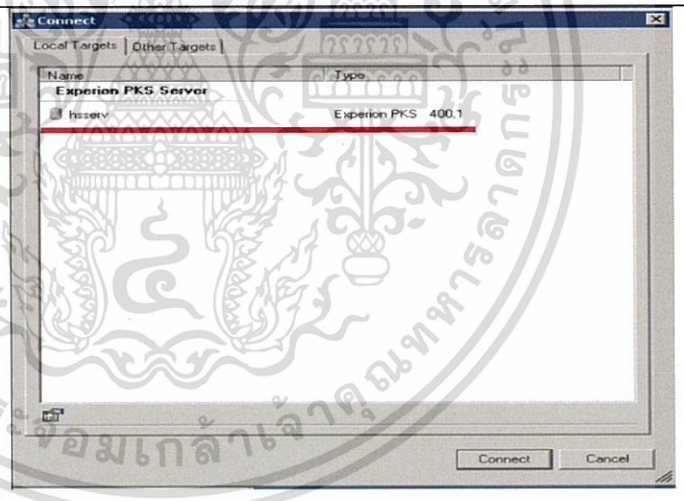
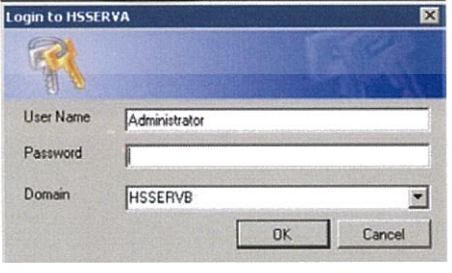
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

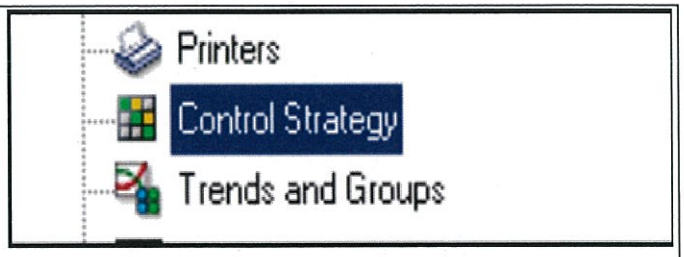
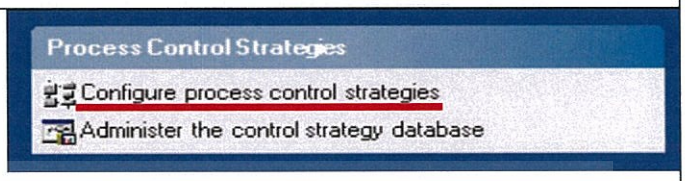
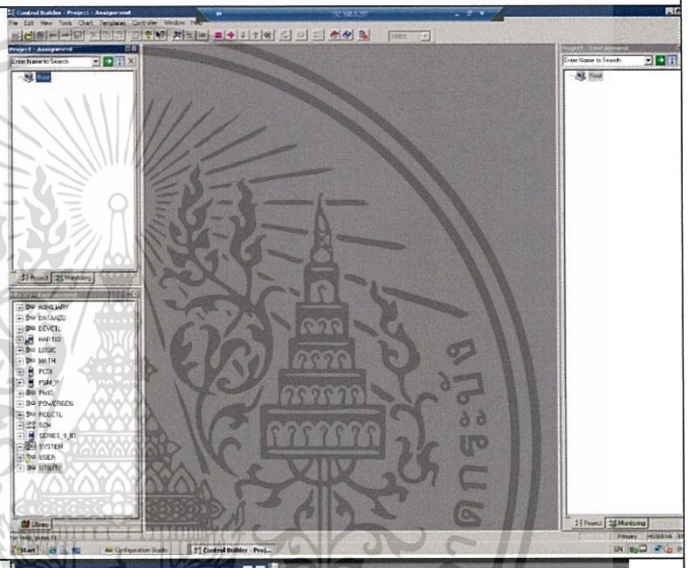
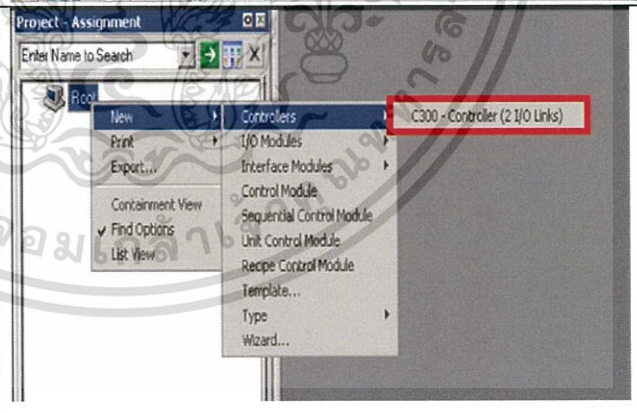
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

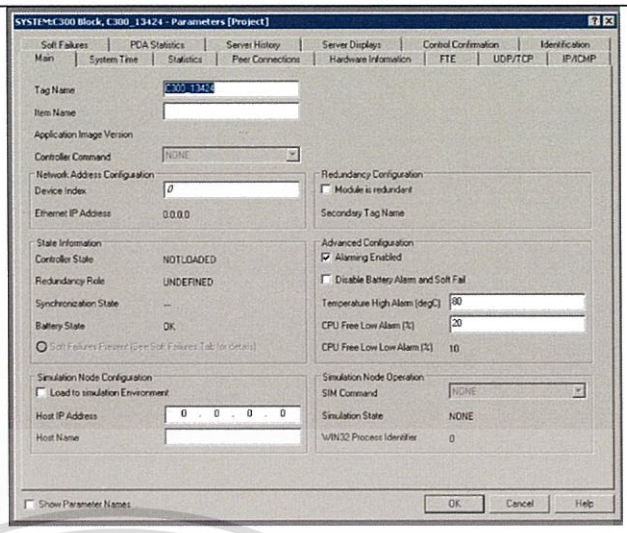
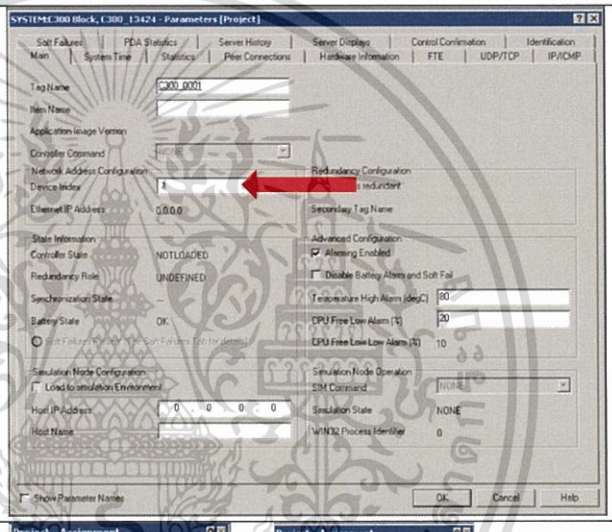
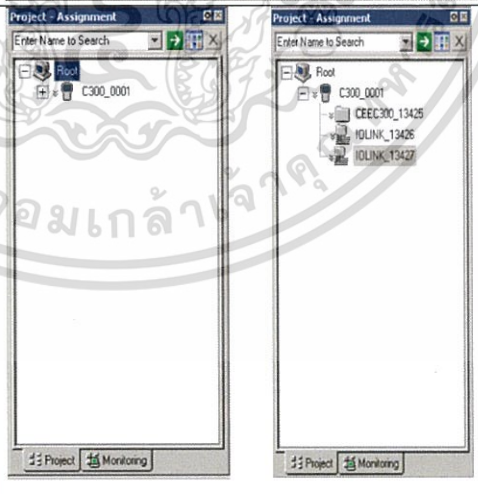
ตารางแสดงวิธีการตั้งค่าโปรแกรมสำหรับใช้งานควบคุมกระบวนการของบริษัท Honeywell รุ่น PlantCruise

1. ทำการ Remote Desktop Connection เข้าสู่เครื่อง Server โดยจะมีให้ใช้ 2 IP Address คือ 192.168.0.200(Slave) 192.168.0.201 (Master) เมื่อเข้ามาจะได้หน้าต่างดังนี้ แล้วคลิก OK	
2. ดับเบิลคลิก เพื่อเข้าสู่โปรแกรม Configuration Studio	
3. ให้เลือก hsserv แล้วคลิก connect	
4. ทำการ login โดยการใส่ Username และ Password จากนั้นคลิก OK	

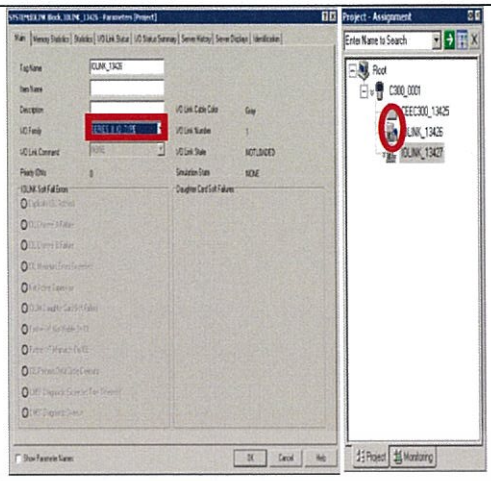
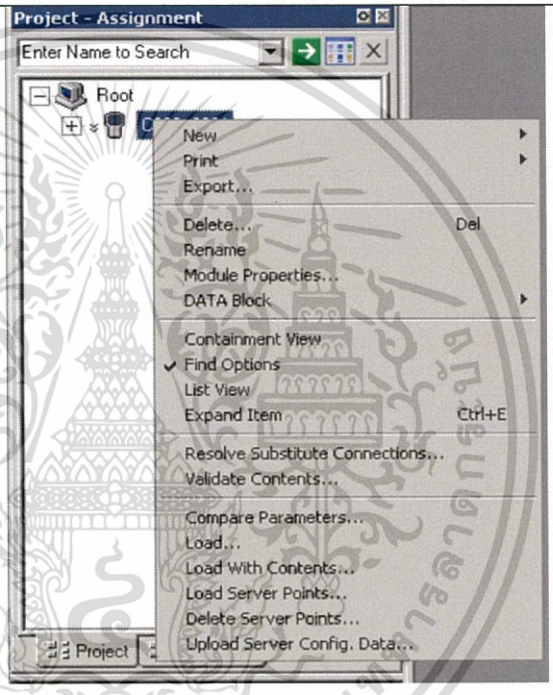
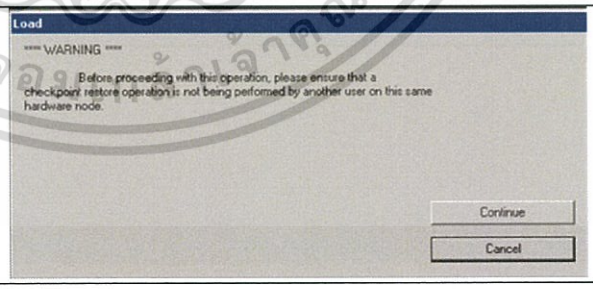
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จะได้หน้าต่างดังรูป จากนั้นคลิก Control Strategy	
6. ในหน้าต่าง Process Control Strategies ให้เลือก Configure process control strategies	
7. จะได้หน้าต่างที่เรียกว่า control builder ดังนี้	
8. ทำการสร้าง Controller โดยการคลิกขวา Root ->New -> Controllers -> C300-Controller	

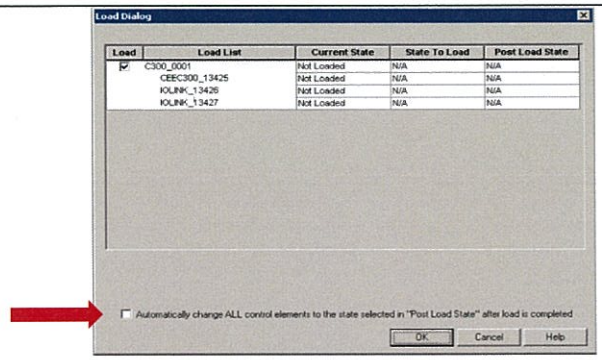
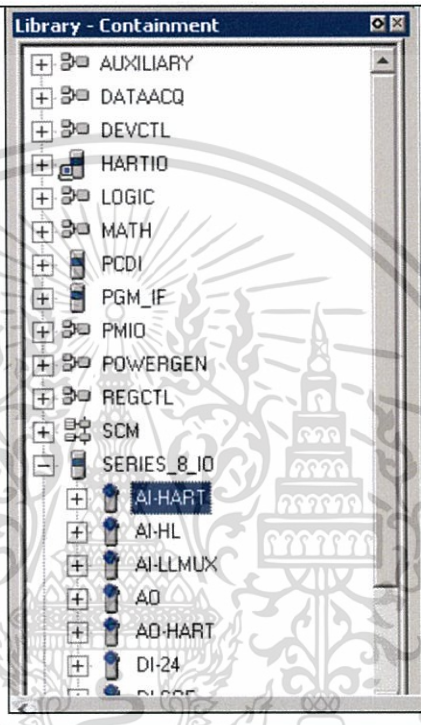
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.เมื่อดับเบิลคลิก C-300 จะได้หน้าต่างดังรูปแต่ชื่อที่ออกมาจะเป็นชื่อที่โปรแกรม random มา (เพื่อให้ง่ายต่อการทำงาน ควรจะเปลี่ยนชื่อให้เข้าใจ ในที่นี้จะเปลี่ยนเป็น C3000001)	
10. ทำการเลือก Device Index เป็นอุปกรณ์ตัวที่เราต้องการ (ในที่นี้จะใช้ 7 ซึ่งตั้งไว้สำหรับ Controller ที่ใช้งาน) จากนั้นกด OK	
11. จะได้หน้าต่างดังนี้	

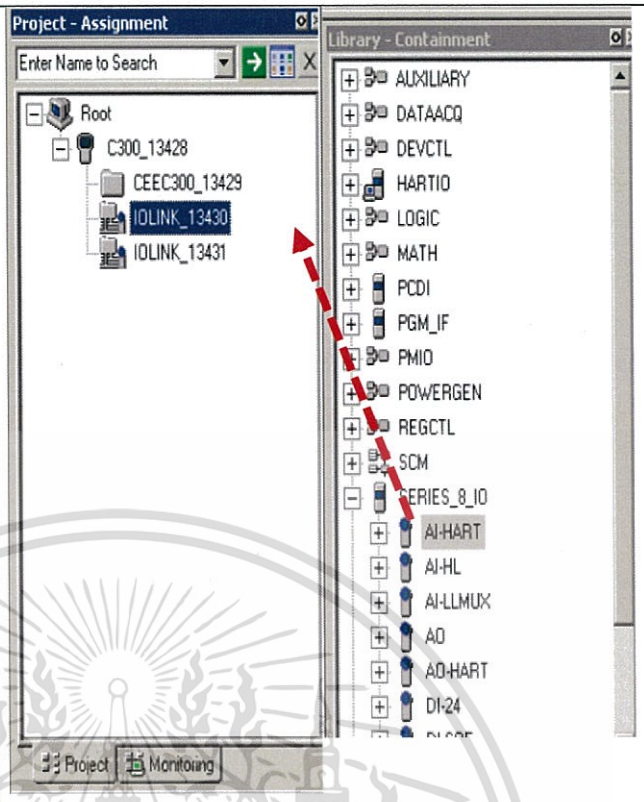
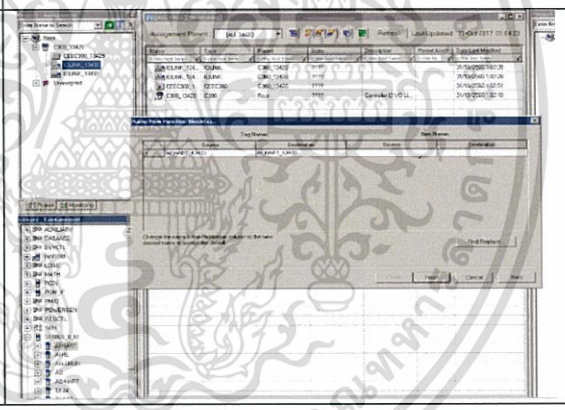
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ทำการเลือก I/O Family ของ IOLINK โดยคลิกเข้าไปใน IOLINK ตัวที่ต้องการจากนั้น ทำการเปลี่ยน I/O Family เป็น SERIES 8 IO TYPE ตามภาพ จากนั้นกด OK จะพบว่าสัญลักษณ์ของ IOLINK มีจุดสีน้ำเงินแสดงว่าเชื่อมต่อแล้ว (ทำเหมือนกันทั้ง 2 ตัว)	
13. ให้คลิกขวาที่ C3000001 แล้วกด Load With Contents	
14. คลิก Continue	

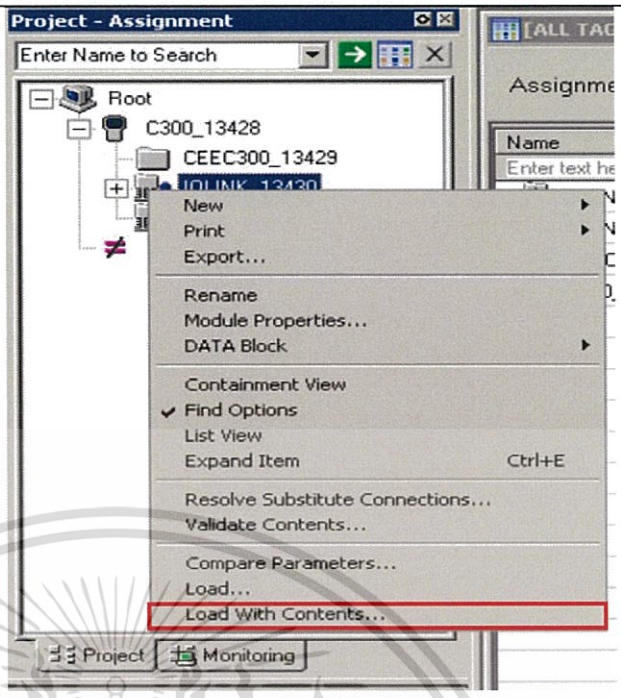
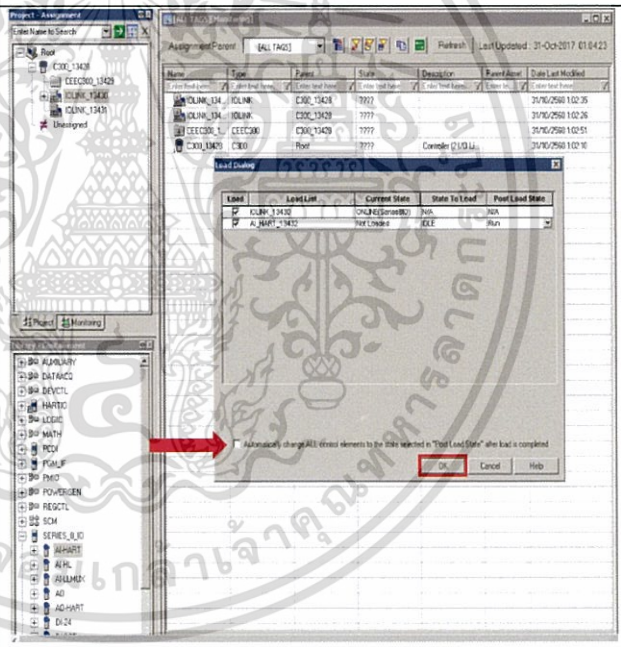
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15.คลิกเลือกเครื่องหมายถูกต้องในช่อง จากนั้นคลิก OK	
16. ที่หน้าต่าง Library-Containment ใน SERIES8IO จะมี AI-Hart และ AO-Hart ที่ต้องการศึกษาอยู่	

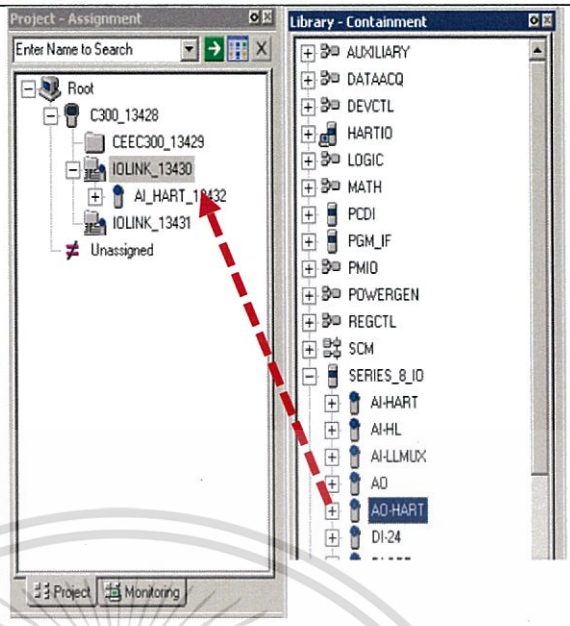
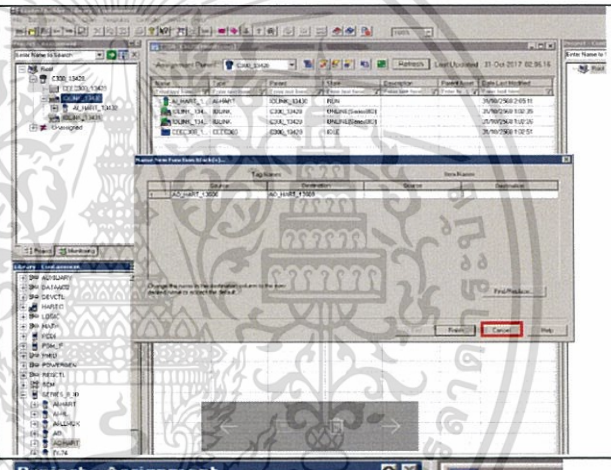
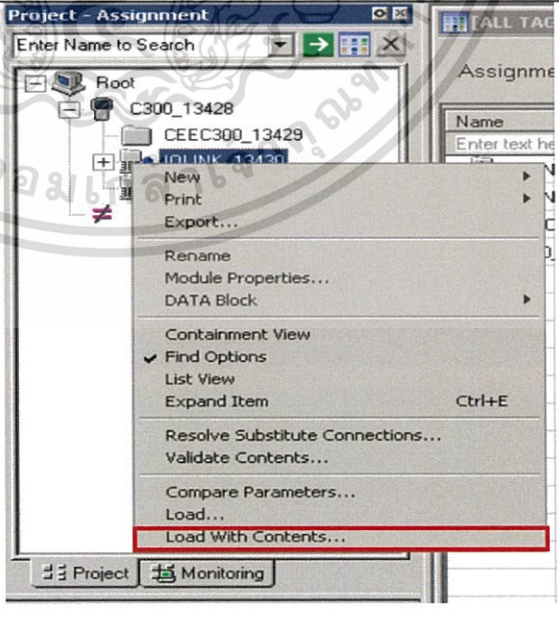
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17.ให้ลาก AI-Hart เข้าไปใน IOLink13430	
18. จากนั้นคลิก Finish	

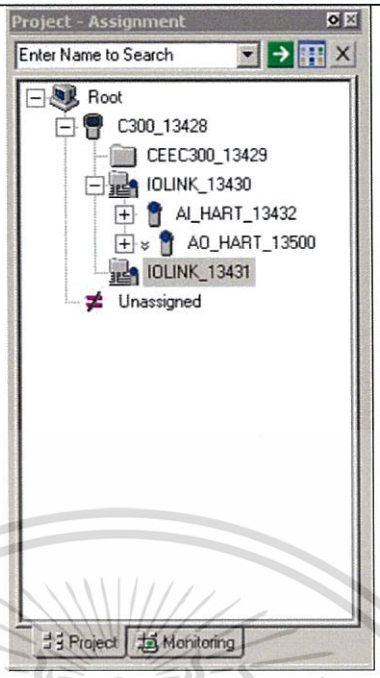
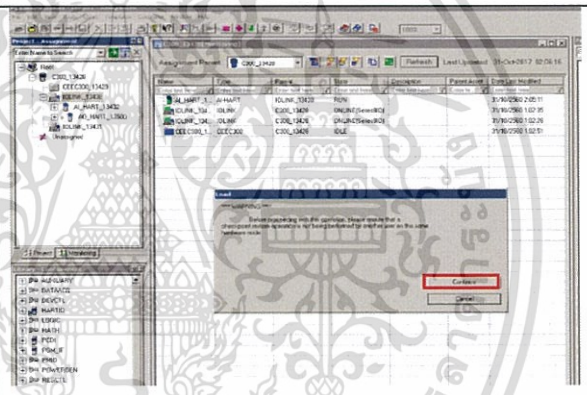
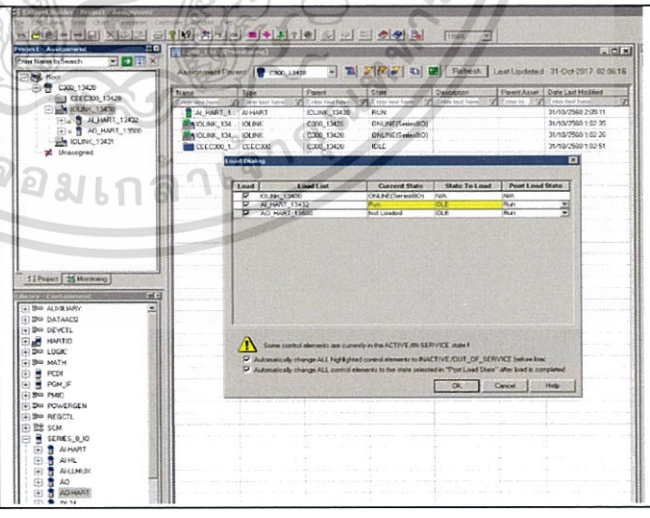
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19. คลิกขวาที่ IOLINK13430 แล้วคลิก Load with Contents.	
20. คลิกเคลื่องหมายถูกลงในช่องว่าง เพื่อสั่งให้ AIHART ทำงานตาม Post Load State จากนั้นคลิก OK	

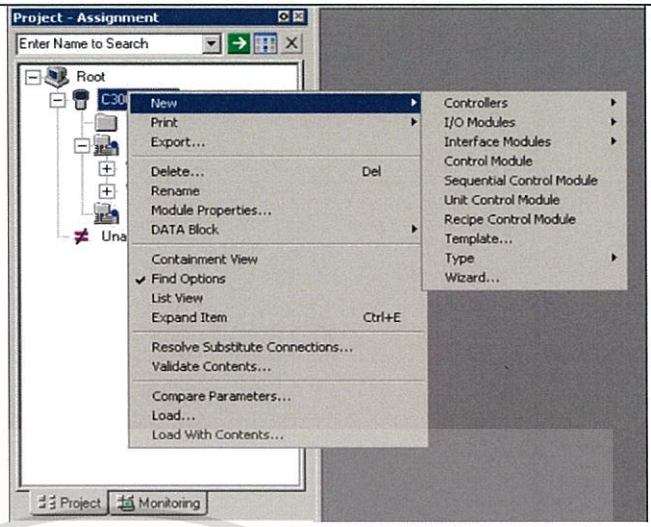
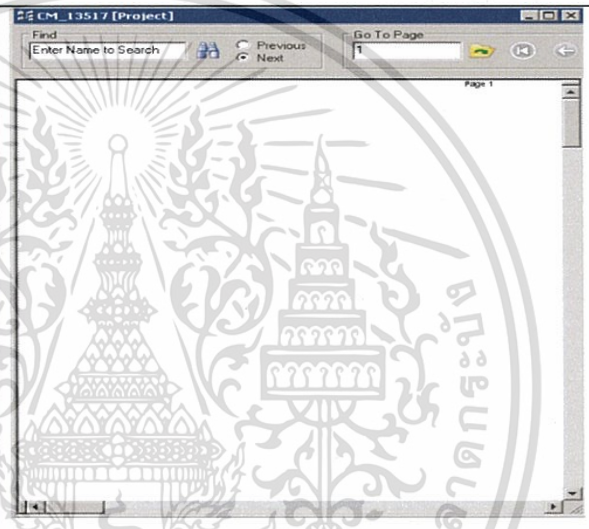
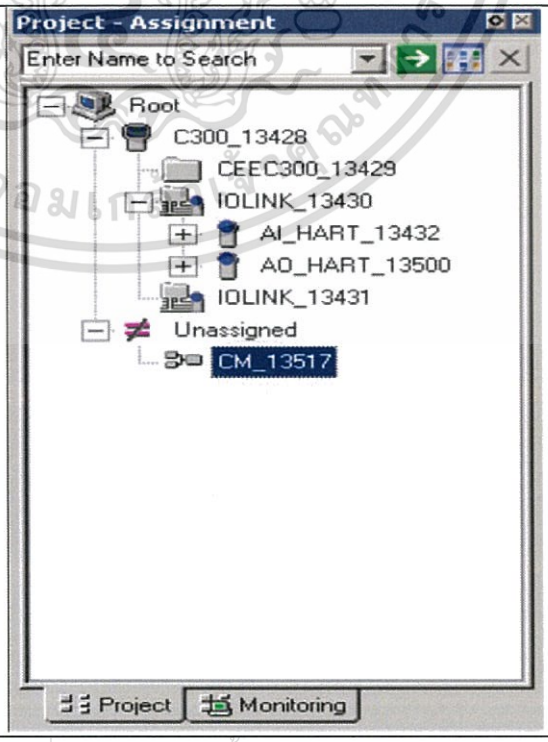
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21. ลาก AO-Hart เข้าไปใน IOLINK13430	
22. คลิก Finish	
23. คลิกขวาที่ IOLINK13430 แล้วคลิก Load with Contents จากนั้นทำเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 20.	

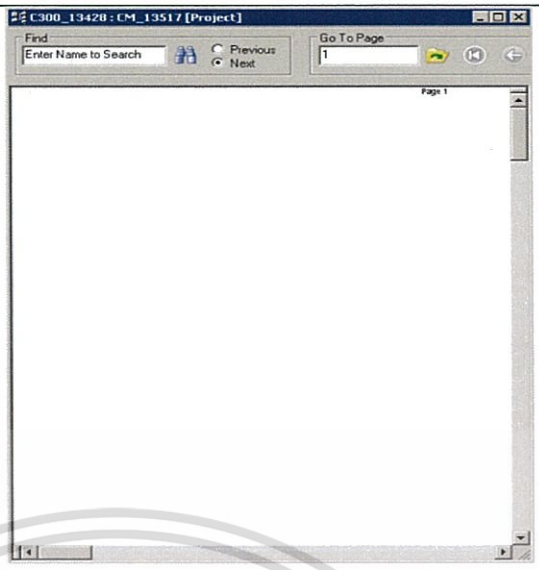
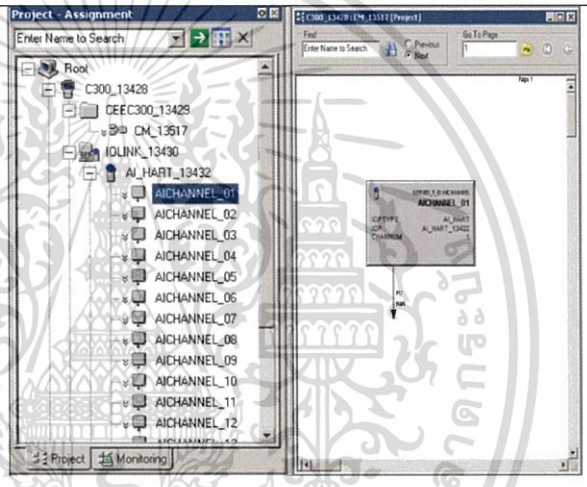
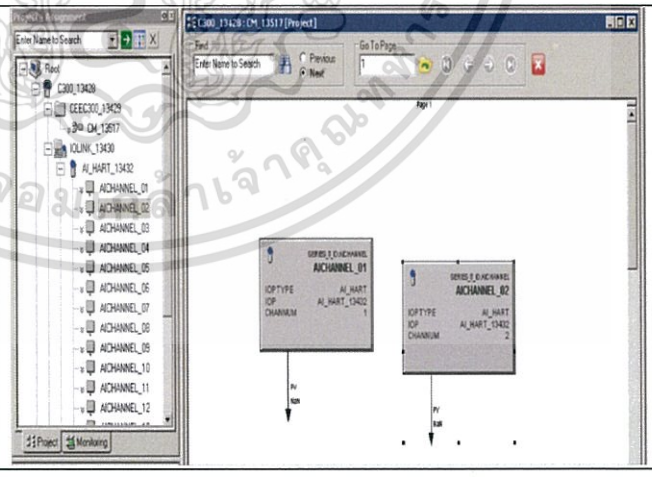
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24. จะได้ หน้าต่าง IOLink13430 ที่มี AIHart และ AOHart ดังภาพ	
25. ทำการ Load IOLINK เข้าสู่ Controller โดยการคลิกขวาที่ IOLINK ตัวที่เราใส่ AIHART และ AOHART และ กด Load จะได้หน้าต่างดังภาพ กด Continue	
26.คลิกเครื่องหมายถูกในช่องสี่เหลี่ยม ดังภาพ แล้วกด OK	

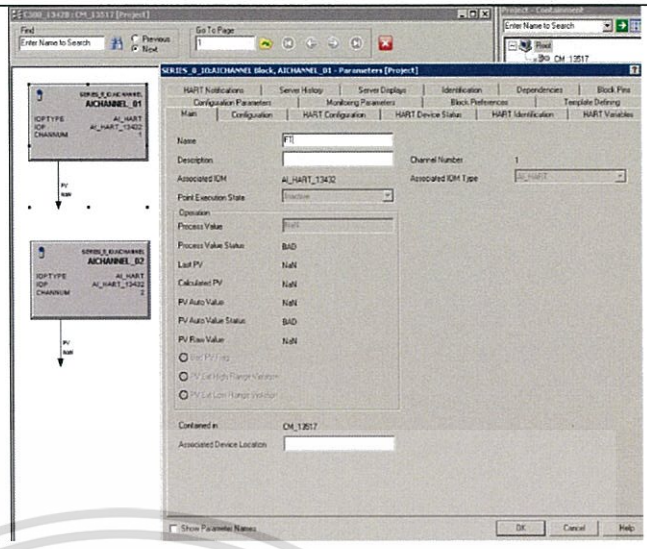
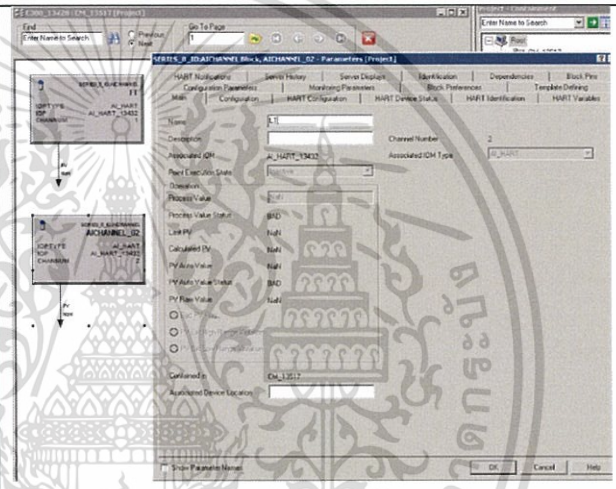
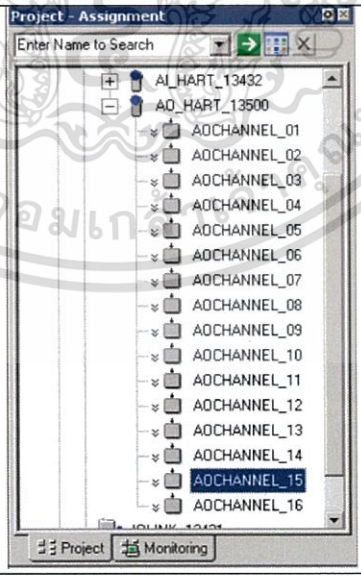
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

27. คลิกขวาที่ C3000001 New → Control Module	
28. จะได้หน้าต่าง CM13517 (Project) ปรากฏขึ้นมา	
29.ปิดหน้าต่าง CM13517(Project) และลากเข้าไปยัง CEEC30013429 (ตัวเดียวกับ C3000001 ที่เราสร้างไว้) เพื่อให้เก็บไว้ให้อยู่ในนั้น	

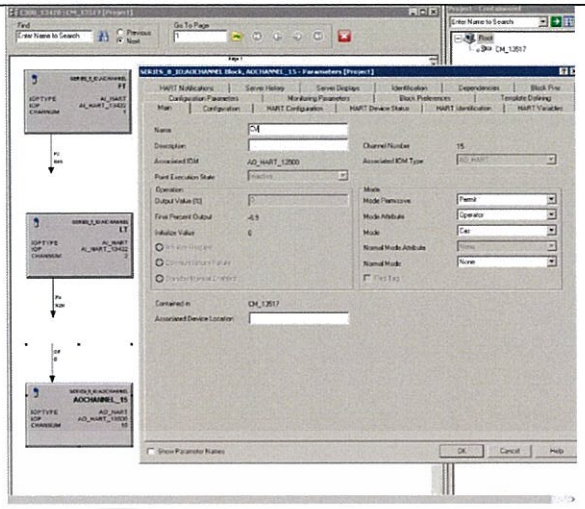
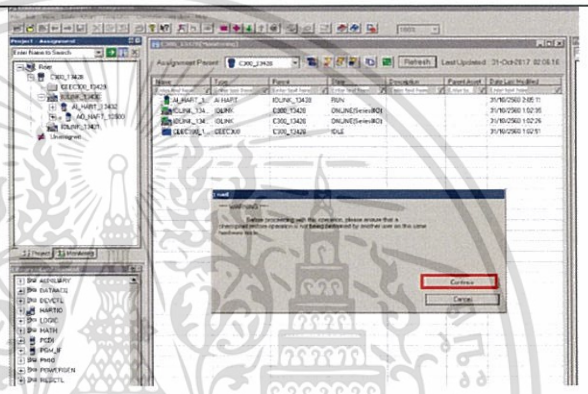
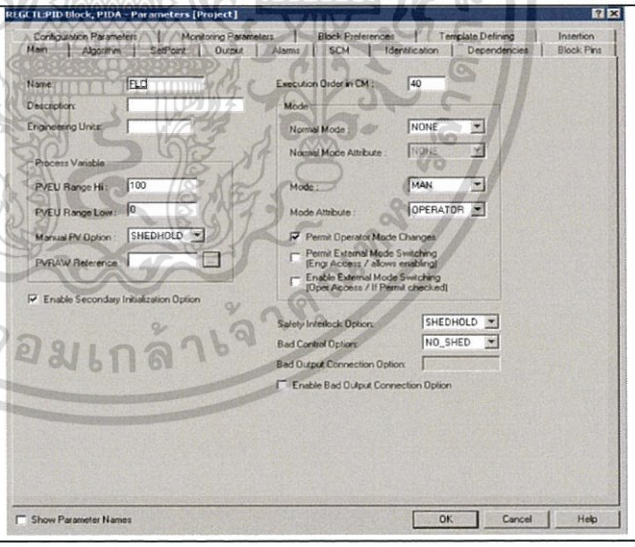
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

30. ดับเบิลคลิกเพื่อเปิดหน้าต่าง C3000001 : CM13517	
31. บริเวณ AI-Hart ให้ลาก ALCHANNEL 1 ออกมาซึ่งจะเป็นส่วนของ FT (Flow Transmitter)	
32. บริเวณ AI-Hart ให้ลาก AICHANNEL 2 ออกมาซึ่งจะเป็นส่วนของ LT (Level Transmitter)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

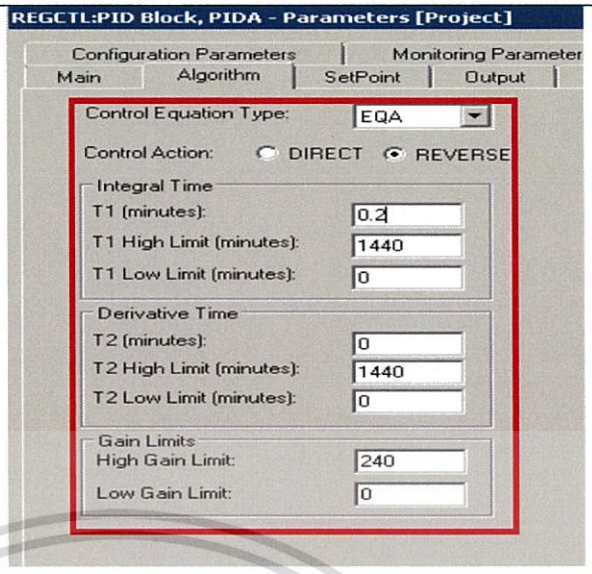
33. เปลี่ยนชื่อตัว AICHANNEL 1 ให้ FT แล้วคลิก OK	
34. เปลี่ยนชื่อตัว AICHANNEL 2 ให้ LT แล้วคลิก OK	
35. ในส่วนของ AO-Hart ให้ลาก AOCHANNEL 15 ออกมาซึ่งตัวนี้จะเป็นส่วนของ CV(control valve)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

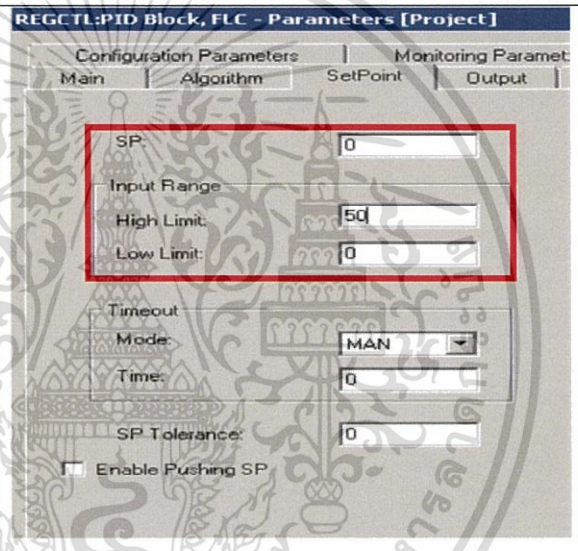
36. เปลี่ยนชื่อ AOHart เป็น CV แล้วคลิก OK	
37. สร้าง PID Function Block มาใส่ใน Controller โดยนำมาจาก Library REGCTL → PID โดยสร้าง PIDFunction Block มา 2 ตัว เพื่อเป็น Flow Indicator Control กับ Level Indicator Control	
38. ดับเบิลคลิกที่ Controller PIDA เพื่อเปลี่ยนชื่อ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

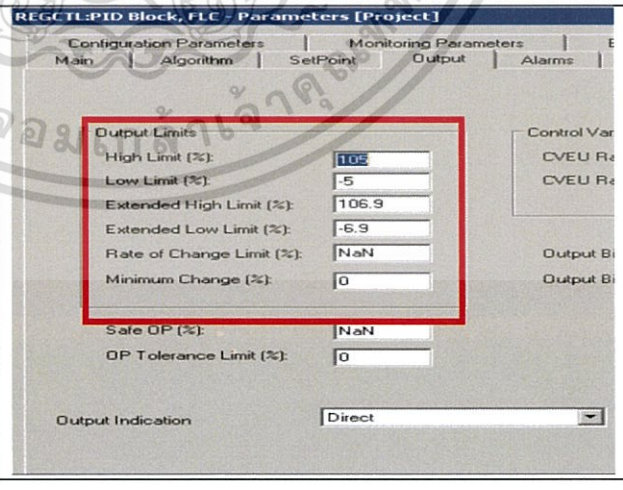
39. เปลี่ยนค่า Algorithm ดังภาพ



40. เปลี่ยนค่า Set point ดังภาพ

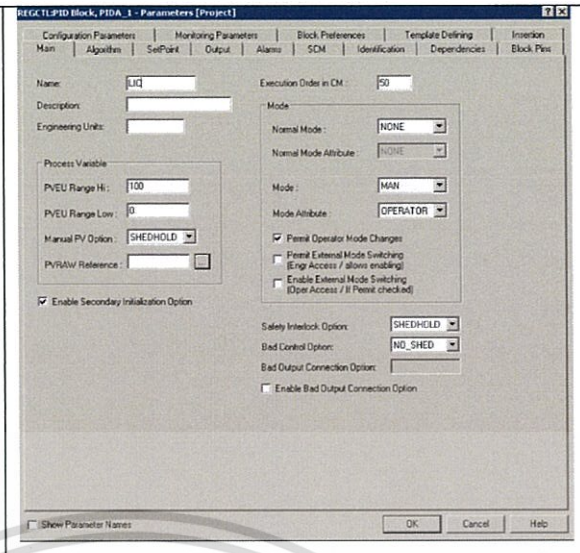


41. เปลี่ยนค่า Output ดังภาพ จากนั้น คลิก OK

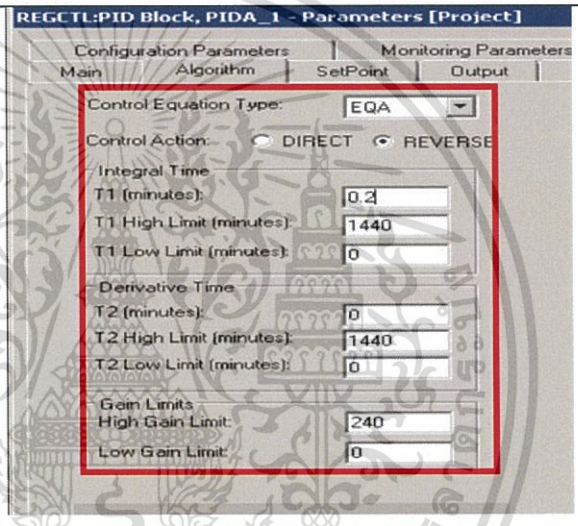


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

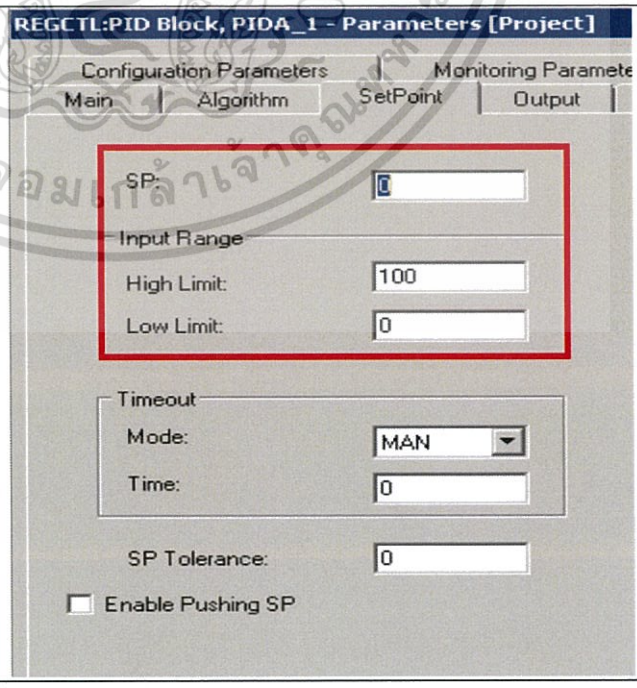
42. ดับเบิลคลิกที่ Controller PIDA1 เพื่อเปลี่ยนชื่อ



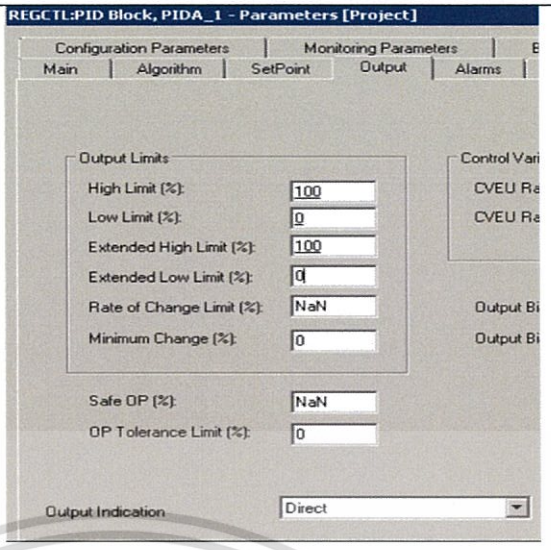
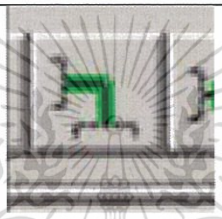
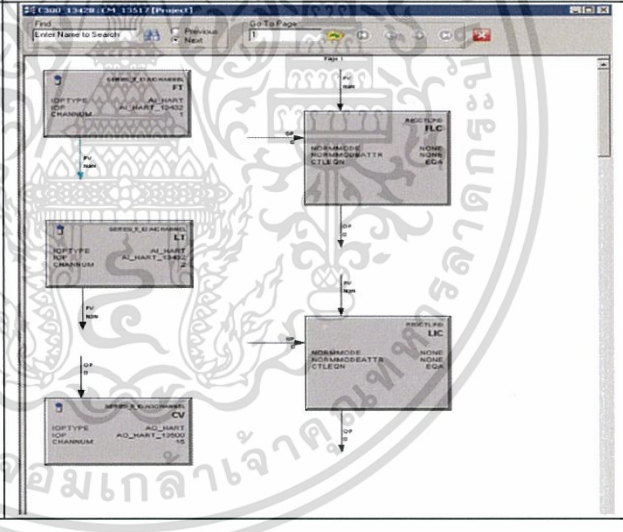
43. เปลี่ยนค่า Algorithm ดังภาพ



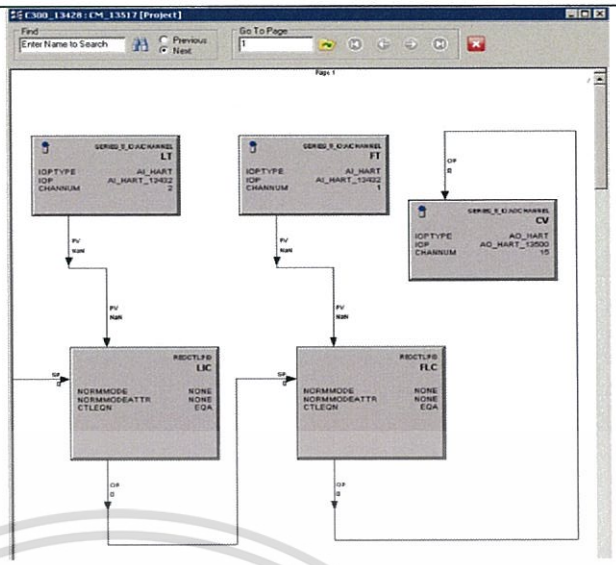
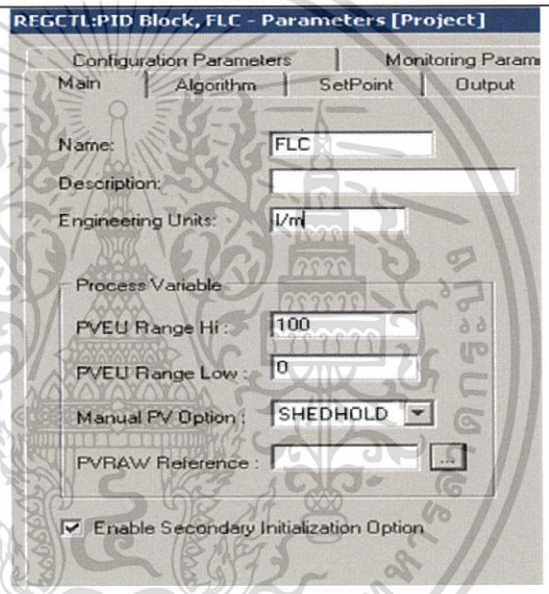
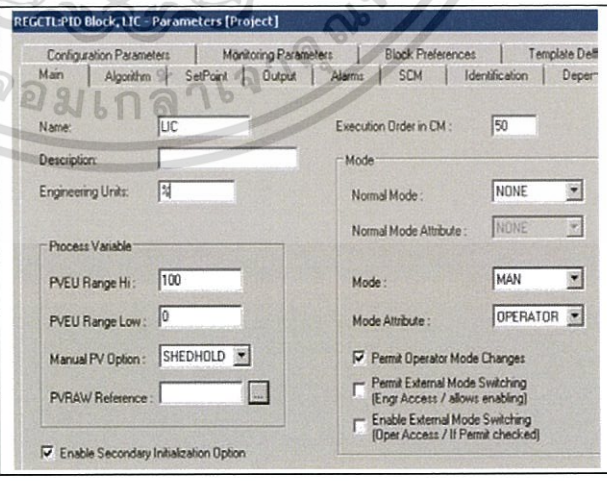
44. เปลี่ยนค่า Set point ดังภาพ



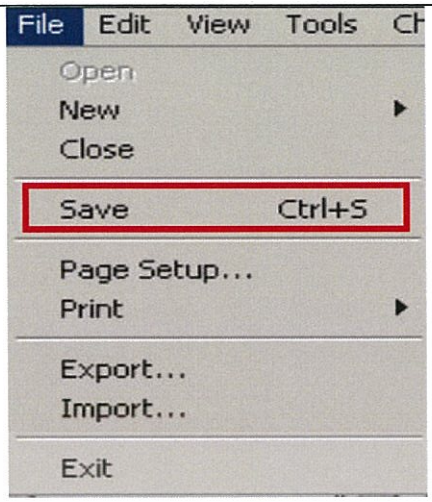
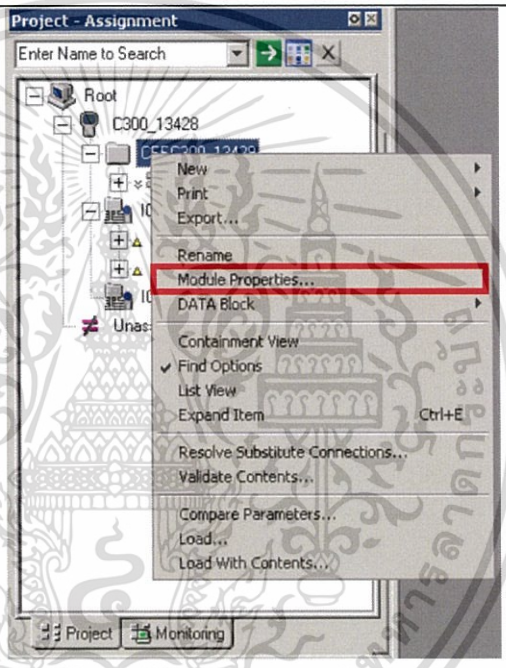
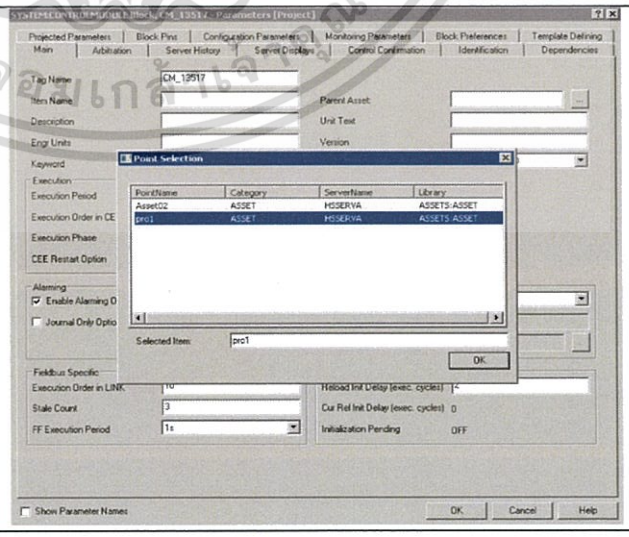
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

45. เปลี่ยนค่า Output ดังภาพ จากนั้นคลิก OK	
46. ลากเส้นเชื่อมแต่ละบล็อกโดยการคลิกสัญลักษณ์ดังนี้	
47. คลิกที่ลูกศรสีฟ้าเป็นจุดเริ่มต้นและนำไปเชื่อมตามจุดที่ต้องการ	

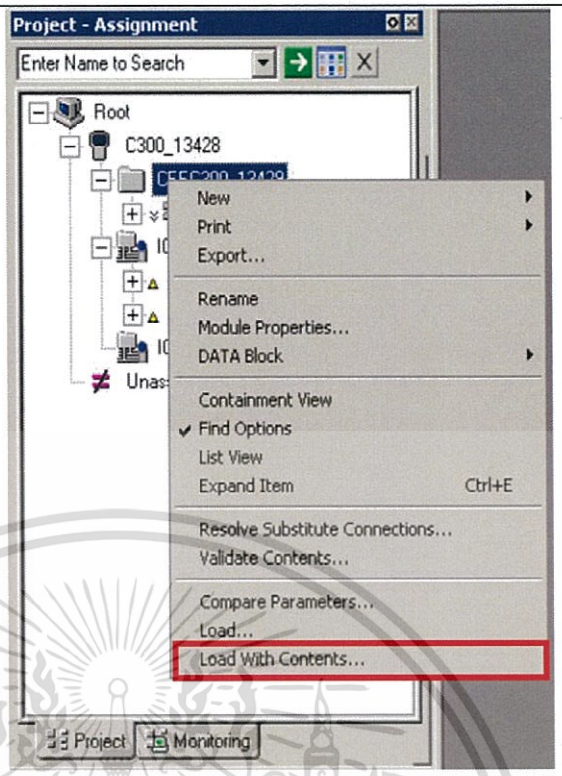
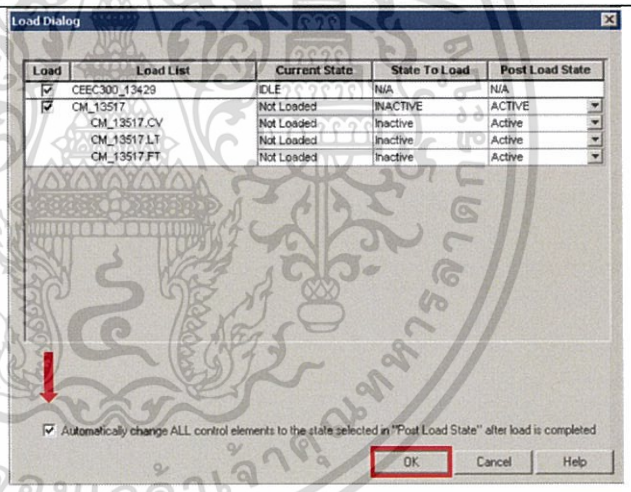
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

48. จากภาพจะเป็นการสร้างระบบควบคุม PID แบบ Cascade Control	
49.เปลี่ยน Engineering Unit ของ FIC ให้เป็น (l/m) ตามภาพ	
50. เปลี่ยน Engineering Unit ของ FIC ให้เป็น (%) ตามภาพ	

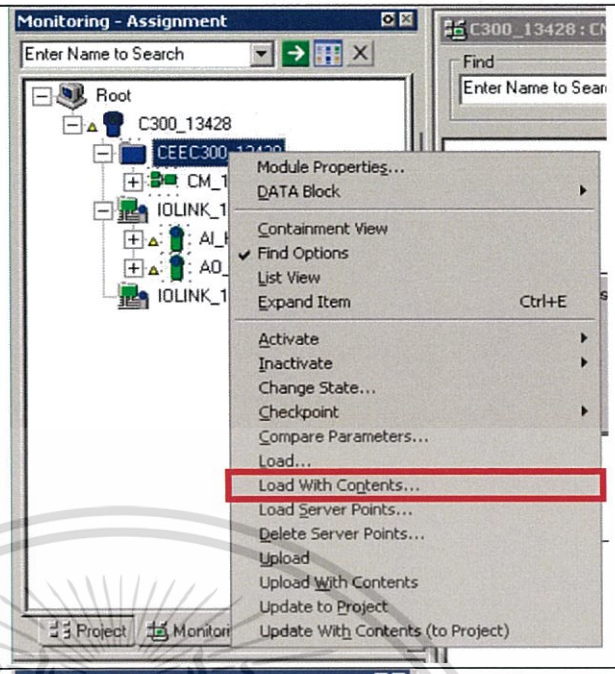
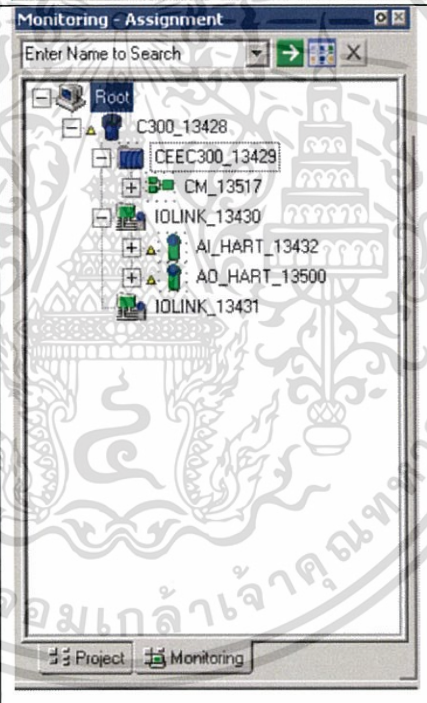
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

51. กด File แล้วกด Save จากนั้นปิดหน้าต่าง CMFICLIC	
52. ทำการแก้ Parent Asset โดยการคลิกตามภาพ	
53. เลือก Asset02 หรือ Pro1 ก็ได้ จากนั้นคลิก OK	

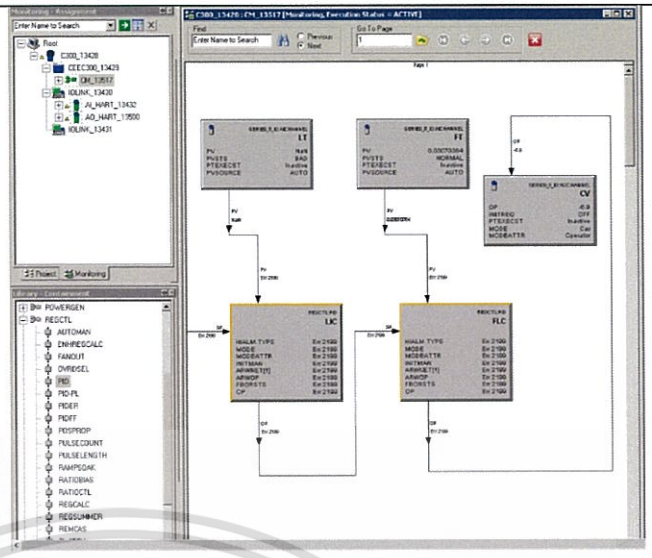
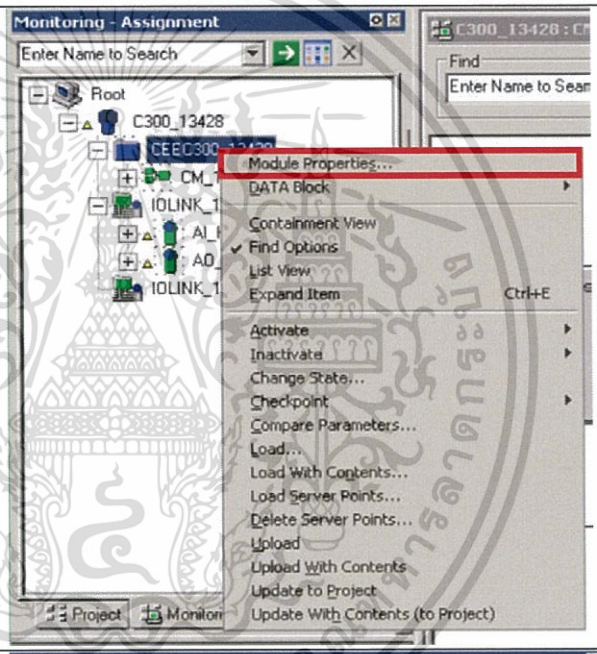
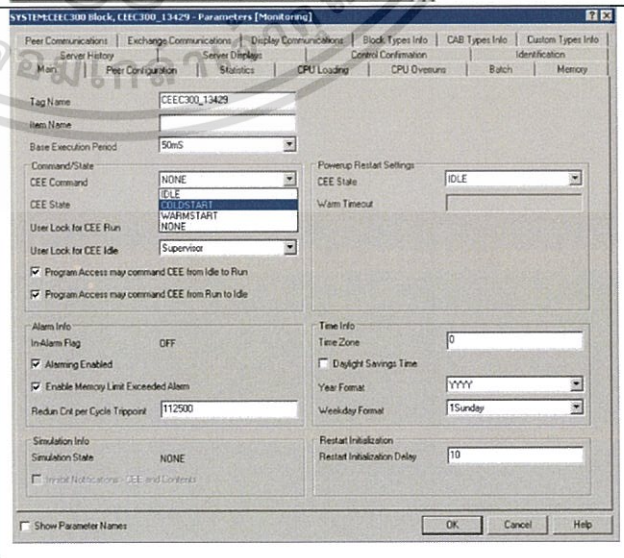
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

54. ทำการ Load with Contents อีกครั้ง ดังภาพ	
55. คลิกเครื่องหมายถูกในช่องสี่เหลี่ยม แล้วกด OK	

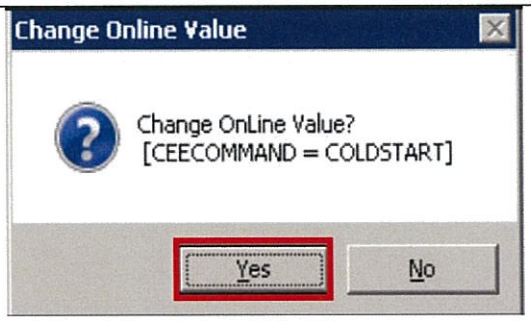
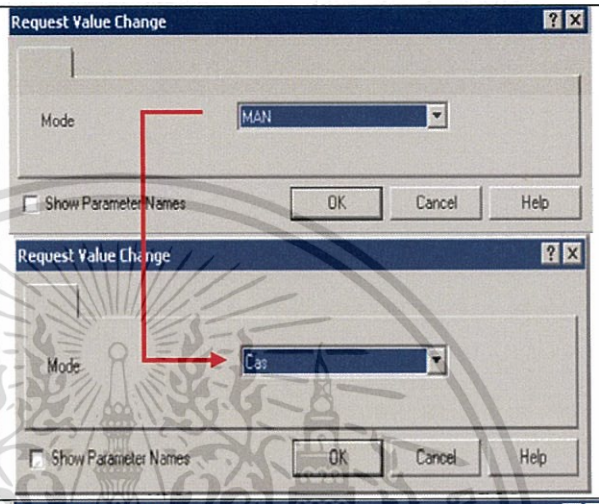
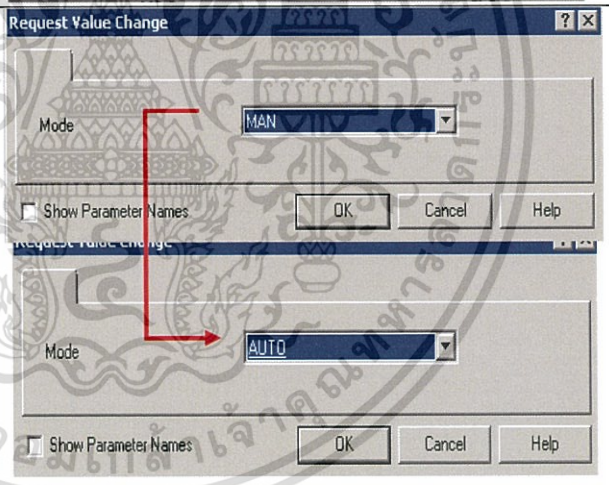
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

56. ทำการ load with contents C3000001 ดังภาพ	
57. เมื่อทำการโหดสมบูรณ์ จะแสดงผลที่ Monitoring ดังภาพ	

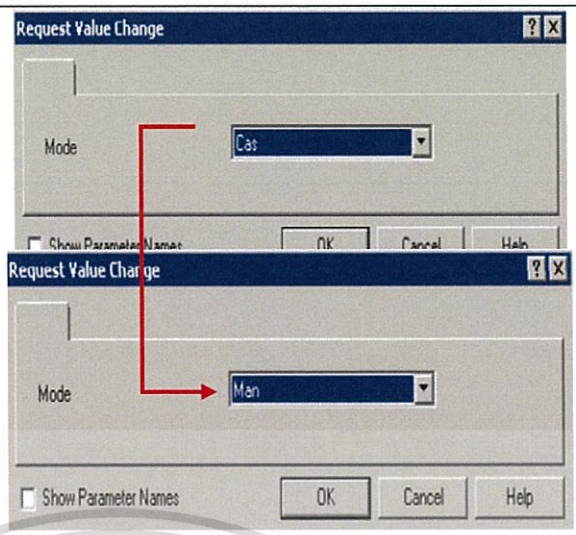
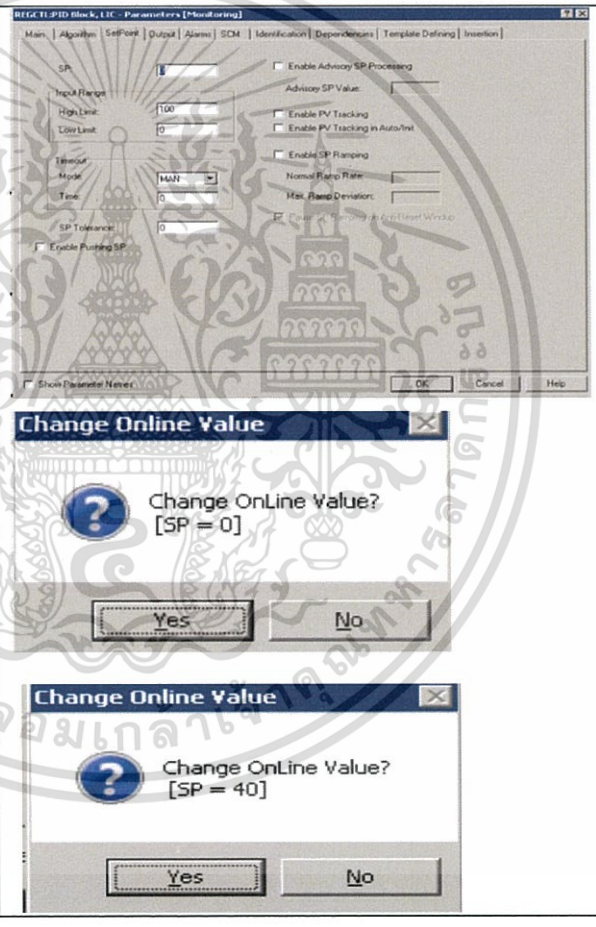
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

58. ดับเบิลคลิกที่ CM13517 (CMFICLIC) เพื่อเปิด Monitoring	
59. คลิกขวาที่ CM13517 (CMFICLIC) แล้วเลือก Module Properties	
60. แก้ไข CEE Command ให้เป็น COLDSTART เพื่อสั่งให้ CEE Control ทำงาน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

61. คลิก Yes	
62. คลิกที่ Mode ในบล็อก FIC จากนั้นเปลี่ยน MAN เป็น CAS เพื่อคุมอัตราการไหล	
63. คลิกที่ Mode ในบล็อก LIC จากนั้นเปลี่ยน MAN เป็น AUTO เพื่อควบคุมระดับ	

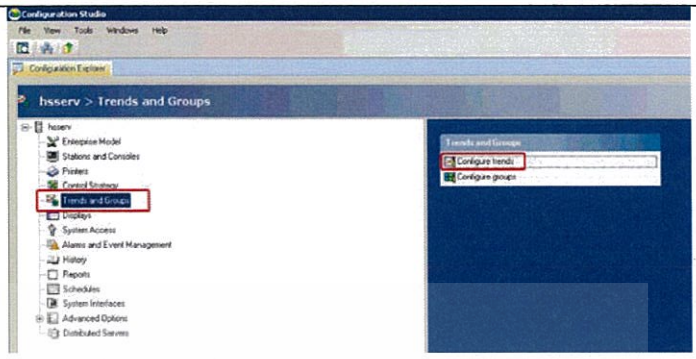
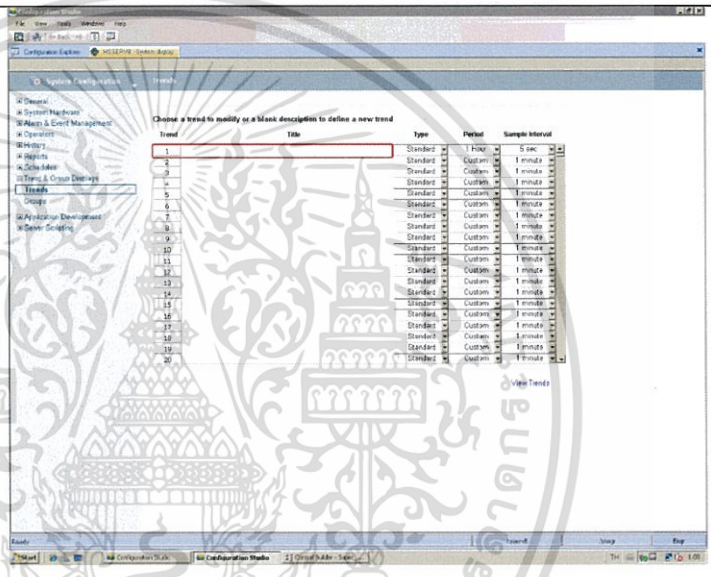
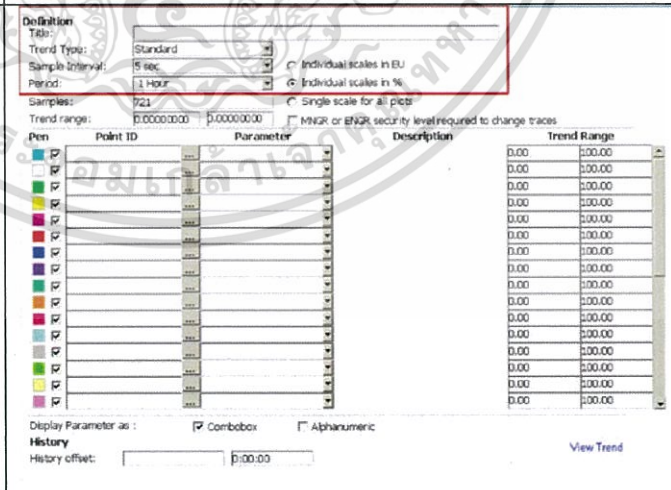
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

64. คลิกที่ Mode ในบล็อก CV จากนั้นเปลี่ยน CAS เป็น MAN เพื่อควบคุมระดับ เนื่องจากถ้าน้ำในแทงค์น้อยจนเกินไปจะไม่สามารถควบคุมได้และเกิด Error เมื่อมีน้ำในแทงค์ระดับนึงแล้ว จึงเปลี่ยนกลับไปเป็น CAS	
65. ปรับค่า Set Point ให้ FLC LIC และ CV ได้ตามต้องการ โดยการดับเบิลคลิกเข้าไปในบล๊อคนั้น	

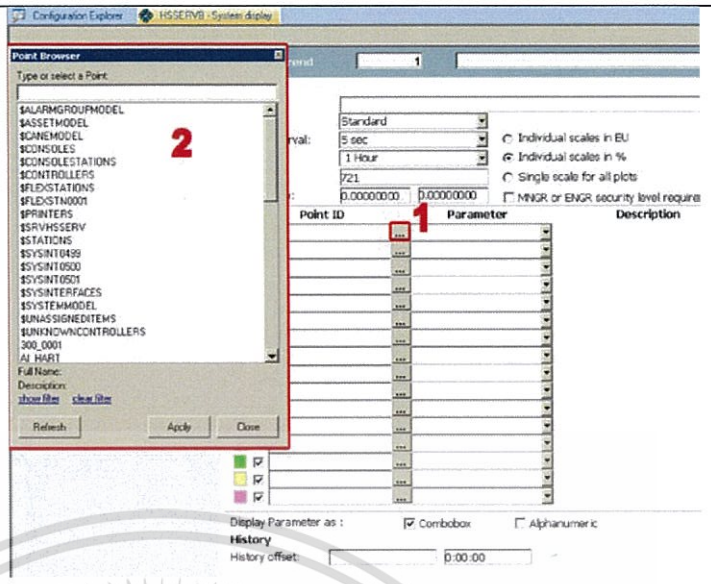
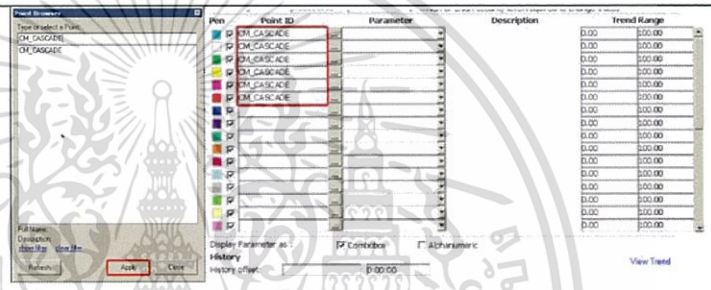
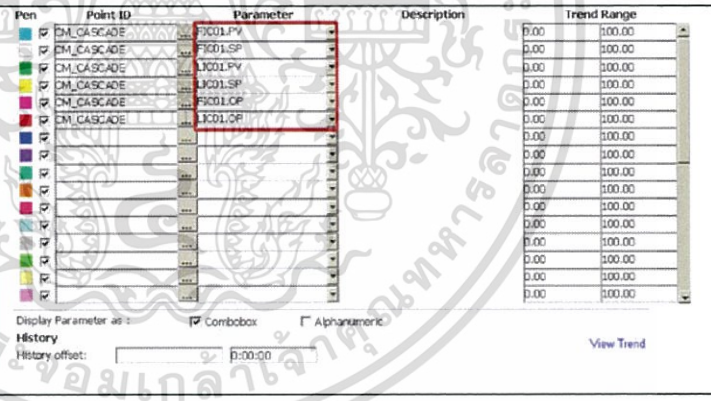
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

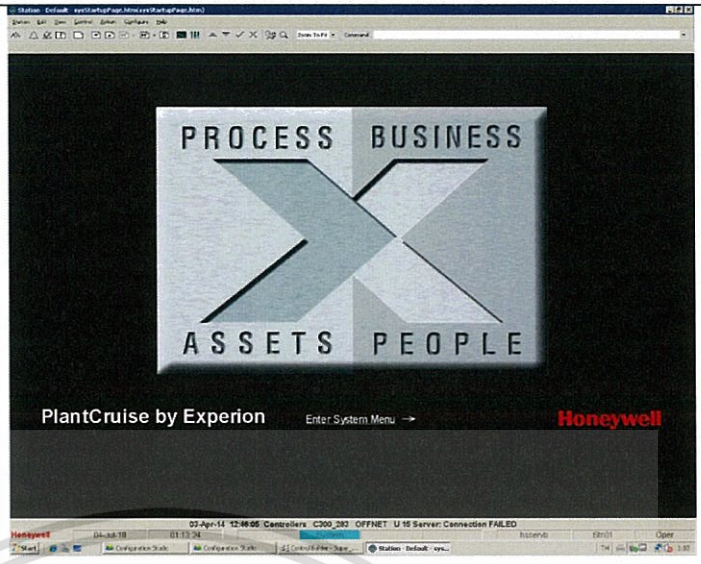
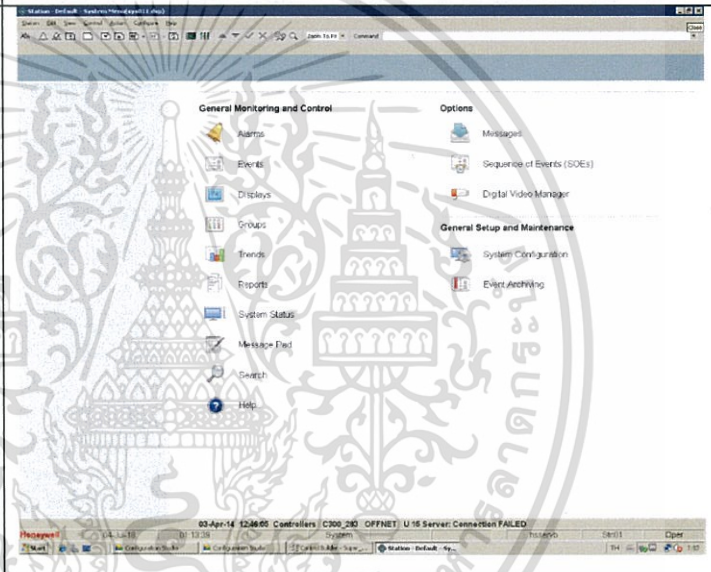
ตารางแสดงวิธีการนำค่าจาก DCS ของ Honeywell รุ่น PlantCruise มาแสดงผลในโปรแกรม MATLAB

1. เปิดโปรแกรม Configuration Studio เลือกแถบ Trend and Groups และเลือก Configure trends	
2. จะได้หน้าต่างของ System Display จากนั้นทำการเลือก Trend ที่ว่าง ในที่นี้เลือก Trend#1 (ในกรอบสีแดง) เพื่อเข้าสู่หน้าตั้งค่าการแสดงผลของกราฟ	
3. ใส่ชื่อของกราฟในช่อง Title และกำหนดช่วงของการเก็บค่า เร็วที่สุดคือ 5 วินาที จากนั้นกำหนดคาบของการเก็บค่า ในที่นี้ตั้งไว้ 1 ชั่วโมง	

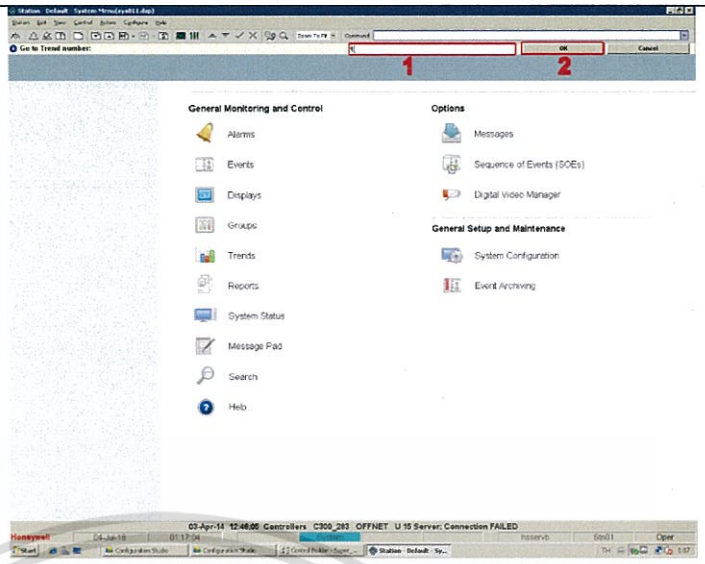
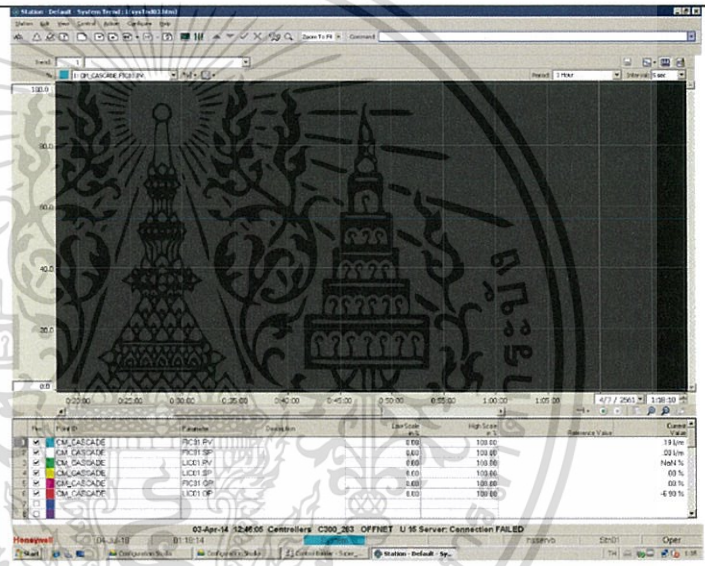
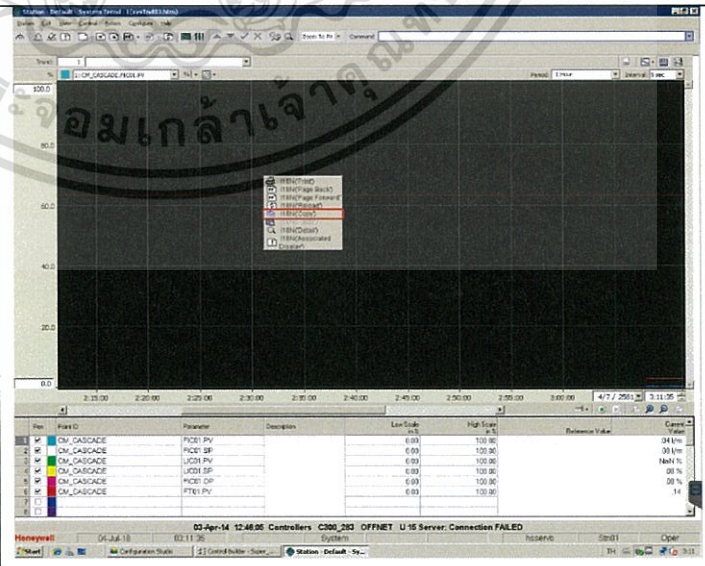
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการเลือกตัวชี้ค่าที่ต้องการ โดยคลิกที่สัญลักษณะ จุดสามจุด (บริเวณที่ 1) จะได้หน้าต่างเลือกตัวชี้ค่า (บริเวณที่ 2)	
5. ใส่คอนโทรลเลอร์ของระบบที่ถูกควบคุมที่ต้องการดึงข้อมูลจาก DCS ในที่นี้คือ CM_CASCADE แล้วกด Apply เพื่อเก็บค่าลงในตาราง POINT ID	
6. เลือกพารามิเตอร์ที่ต้องการ เช่น SP หรือ PV	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เปิดโปรแกรม Station และคลิก Enter System Menu	
8. เมื่อเข้าโปรแกรม Station มาจะเจอหน้าเลือกเมนูสำหรับการแสดงผลต่างๆ	
9. เลือกเมนูสำหรับแสดงกราฟ	

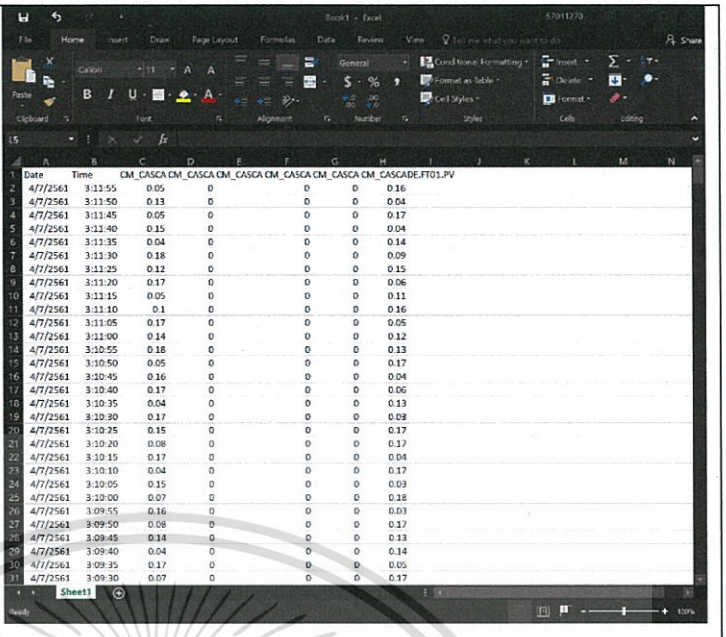
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. เลือก Trend number ที่สร้างไว้ในตอนแรก นั่นคือ 1 จากนั้นกด OK	
11. หน้าต่างแสดงผลกราฟ โดยจะแสดงตัวชี้ค่าตามที่เราได้เลือกไว้ในการตั้งค่า	
12. การเก็บค่าจากกราฟเพื่อนำไปพล็อตกราฟ สามารถทำได้โดยการคลิกขวาที่พื้นที่แสดงกราฟ และเลือก Copy (ในกรอบสีแดง)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

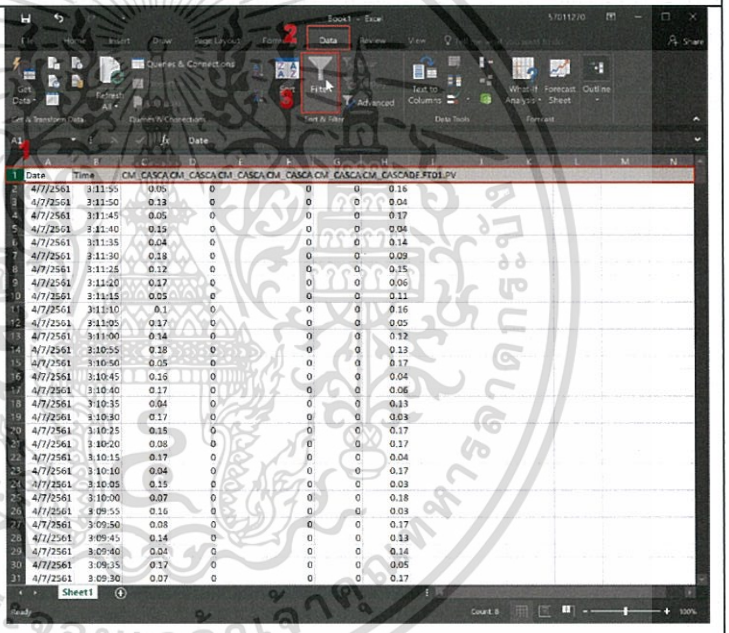
13. นำค่าที่ Copy มา ไป Paste ลงในโปรแกรม Excel ซึ่งค่าที่ถูกนำมาบันทึกจะเป็นค่าที่อยู่ในช่วงของคาบเวลทั้งหมดของหน้าจอ ณ ขณะนั้น

หมายเหตุ : ถ้าเก็บค่า 1 ชั่วโมงหรือ 3600 วินาที โดยมีช่วงของการเก็บค่าตัวอย่างทุกๆ 5 วินาที จะได้ว่าใน 1 ชั่วโมงจะมีค่าถูกเก็บทั้งหมด 720 ค่า

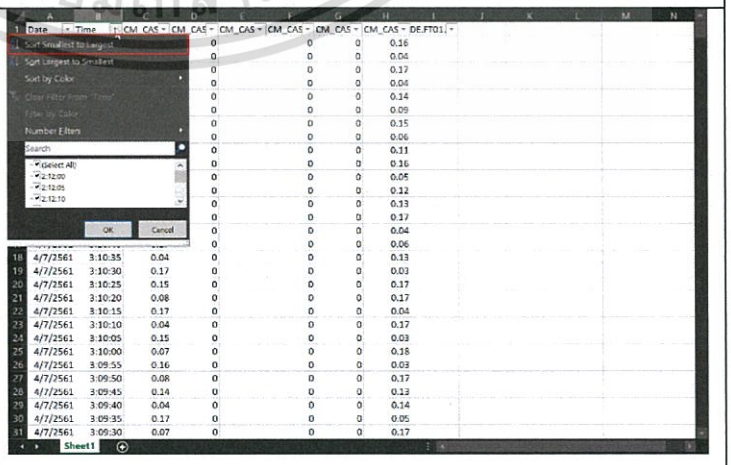


14. เรียงลำดับค่าที่ต้องการนำไปพล็อตกราฟโดยเรียงจากช่วงเวลาน้อยไปมาก คลิกเลือกตำแหน่งที่ 1 เพื่อคลุมแถวที่ 1 จากนั้นเลือกแถบ Data ตำแหน่งที่ 2 และเลือก Filter ตำแหน่งที่ 3 เพื่อกรองค่าจากน้อยไปมาก

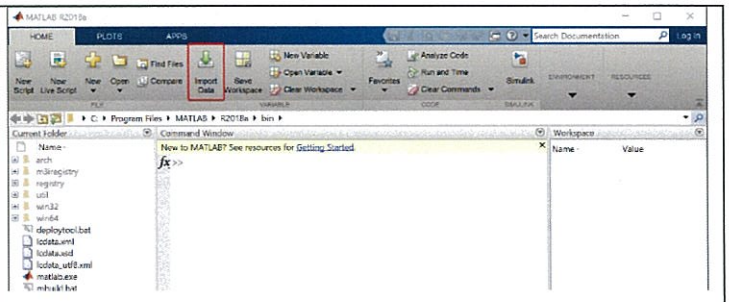
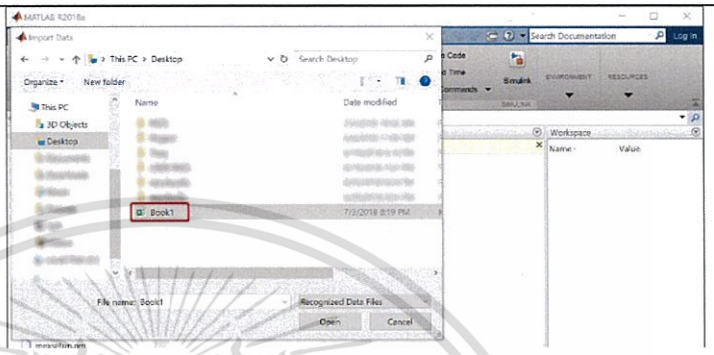
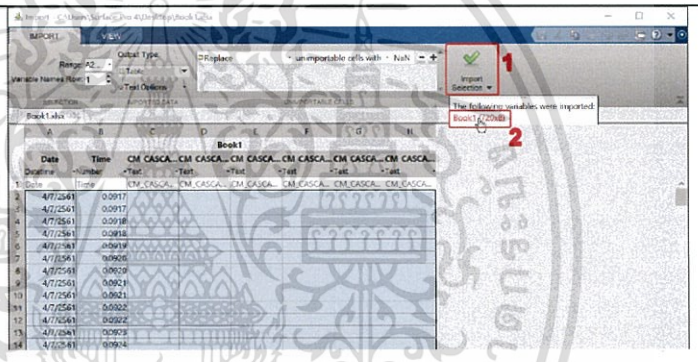
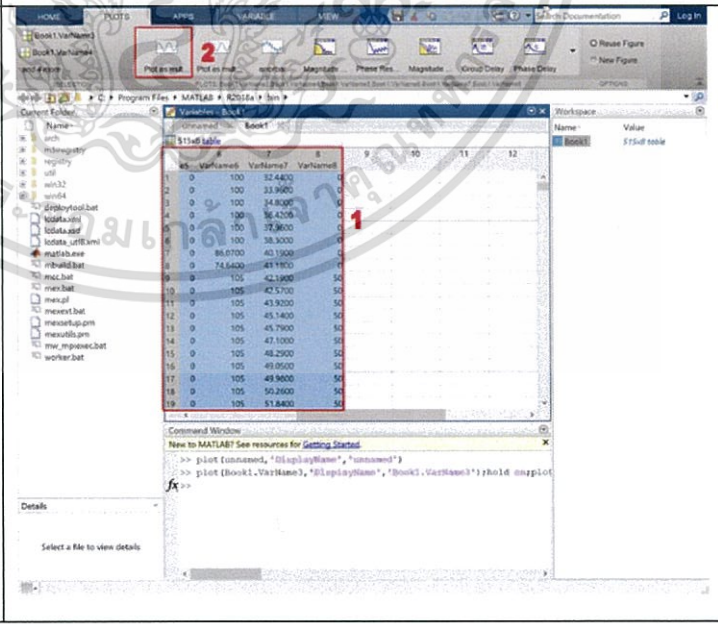
หมายเหตุ : ค่าที่เก็บมาจะมีการเรียงจากมากไปน้อย จึงต้องทำการเรียงค่าใหม่



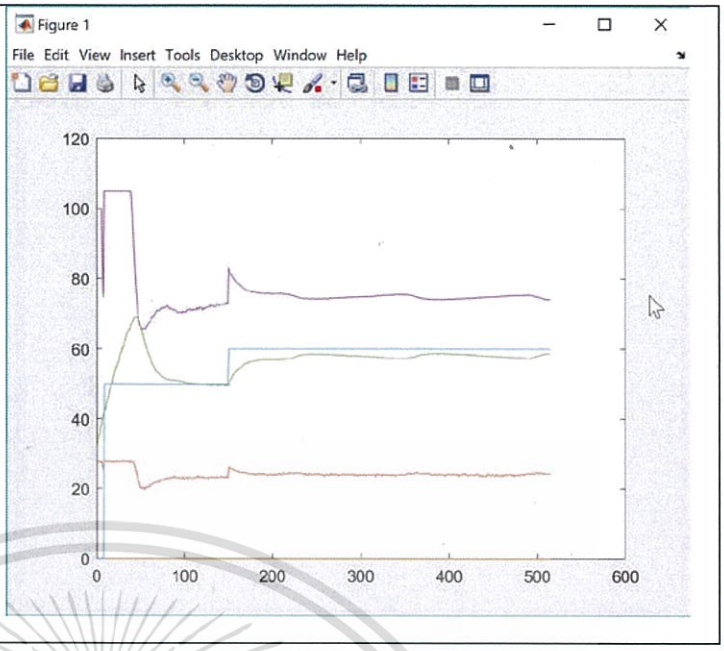
15. กดเลือกแถบ Time และเลือก Sort Smallest to Largest เพื่อกรองค่า และทำการบันทึกไฟล์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. เปิดโปรแกรม MATLAB และเลือกเครื่องมือสำหรับนำเข้าค่า โดยคลิกที่ Import เพื่อนำไฟล์โปรแกรม Excel ที่บันทึกไว้มาใช้งาน	
17. เลือกไฟล์ที่บันทึกไว้	
18. ข้อมูลตารางจากโปรแกรม Excel จะถูกนำเข้ามาสู่โปรแกรม MATLAB จากนั้นกด Import Selection (ตำแหน่งที่ 1) และดับเบิลคลิกที่ตำแหน่งที่ 2 เพื่อนำค่าไปใช้งาน	
19. เมื่อเลือกค่าที่จะใช้งาน จะได้หน้าต่าง Variables ตำแหน่งที่ 1 จะแสดงข้อมูลที่มี จากนั้นทำการพล็อตกราฟโดยเลือกแถบเมนู PLOTS และเลือก Plot as multiple series เพื่อแสดงกราฟทั้งหมดในหน้าเดียวกัน หมายเหตุ : การพล็อตกราฟให้คลุมข้อมูลในส่วนที่ต้องการแสดงผล เช่นคลุมหลักที่ 2 และ 3 จากนั้นเลือก Plot as multiple series	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. แสดงกราฟที่พล็อตได้จากข้อมูลที่มี	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้