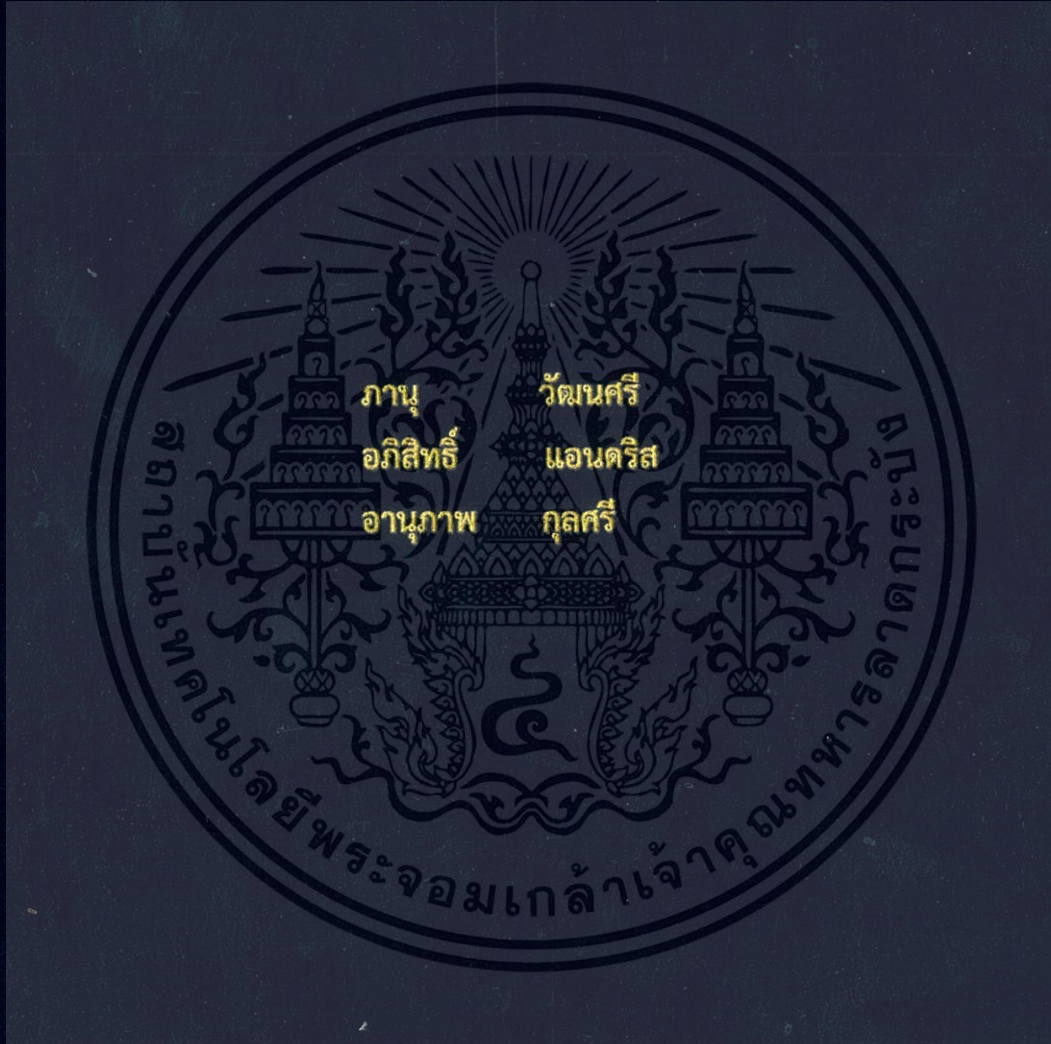


พลานต์โมเดลการควบคุมระดับน้ำ
LEVEL CONTROL PLANT MODEL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

พลานต์โมเดลการควบคุมระดับน้ำ
LEVEL CONTROL PLANT MODEL



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LEVEL CONTROL PLANT MODEL



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2014


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ พลานต์โมเดลการควบคุมระดับน้ำ
LEVEL CONTROL PLANT MODEL

นักศึกษาผู้จัดทำ นายภาณุ วัฒนศรี รหัสนักศึกษา 54010992
นายอภิสิทธิ์ แอนดริส รหัสนักศึกษา 54011503
นายอานุภาพ กุลศรี รหัสนักศึกษา 54011550

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอัตโนมัติ
ปีการศึกษา 2557

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.อภินิย ฤกษ์รัตน์	
รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	พลานต์โมเดลการควบคุมระดับน้ำ LEVEL CONTROL PLANT MODEL		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายภาณุ วัฒนศรี	รหัสนักศึกษา	54010992
	นายอภิสิทธิ์ แอนดริส	รหัสนักศึกษา	54011503
	นายอานุภาพ กุลศรี	รหัสนักศึกษา	54011550
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อภิณย์ ฤกษ์รัตน์		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์		
ปีการศึกษา	2557		

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและการสร้างพลานต์โมเดลการควบคุมระดับน้ำ เพื่อใช้เป็นสื่อสำหรับการศึกษาการควบคุมระดับของของเหลว พลานต์โมเดลที่สร้างขึ้นประกอบไปด้วยทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง อินเวอร์เตอร์ และตัวควบคุมแบบ สัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ หรือ พีไอดี โดยที่ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างทำหน้าที่ในการวัดค่าระดับของของเหลวในถัง อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ในการปรับอัตราการไหลด้านเข้าของถัง ตัวควบคุมพีไอดีสามารถเลือกใช้ได้ทั้งฟังก์ชันพีไอดีของโปรแกรม LabVIEW หรือ Single-loop Controller นอกจากนี้ มีการติดตั้งโซลินอยด์วาล์วและทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลสองตัวสำหรับการสร้างโปรแกรมในการแสดงค่าอัตราการไหลหรือการควบคุมกระบวนการแบบคาสเคดในอนาคต ขั้นตอนการดำเนินการสร้างพลานต์โมเดลสามารถแบ่งการดำเนินงานออกเป็นห้าขั้นตอน ขั้นที่หนึ่งคือการกำหนดเงื่อนไขในการควบคุมกระบวนการสำหรับควบคุมระดับของของเหลวในถังทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และความสูง 40 เซนติเมตร ขั้นที่สองคือการคำนวณและเลือกเครื่องมือวัดสำหรับใช้งาน ขั้นตอนที่สามเป็นการลงมือสร้างพลานต์โมเดลขึ้นตามแผนภาพพีแอนด์ไอและแบบจำลองที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม SolidWorks ขั้นตอนที่ต่อมาเป็นการสร้างโปรแกรมสำหรับควบคุมกระบวนการและส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้งานด้วยโปรแกรม LabVIEW ตลอดจนการตั้งค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมกระบวนการของ Single-loop Controller โมเดล TTM-007 ขั้นตอนที่สุดท้ายเป็นการทดสอบการทำงานของ พลานต์โมเดลที่สร้างขึ้น โดยได้แสดงผลการทดลองจากการเปลี่ยนแปลงของค่าเป้าหมายด้วยฟังก์ชันขั้นบันไดในวิทยานิพนธ์นี้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	LEVEL CONTROL PLANT MODEL
Authors	Mr.Panu Wattanasri Mr.Apsit Andris Mr.Anuphap Kunsri
Thesis Advisor	Dr.Apinai Rerkratn
Thesis Co-Advisor	Assoc.Prof.Prasit Julsereewong
Year	2014

Abstract

This thesis presents a design and implementation of level control plant model for use as learning aid about level control process. The implemented plant model consists of a differential pressure transmitter, Inverter and Proportional-Integral-Derivative (PID) Controller. The differential pressure transmitter is used for measuring liquid level in process tank, and Inverter is employed to adjust the inlet flow of the tank. The PID controller can be configured by utilizing either a PID function of LabVIEW program or a single-loop controller. In addition, two flow transmitters and solenoid valve are also installed for building the flow rate monitoring and/or cascade control loop in the future. The work procedures for implementing the proposed plant model are divided into 5 steps. Firstly the process conditions to control the liquid level in the cylinder tank with 10 cm in diameter and 40 cm in height were specified. Secondary sizing and selection of instruments needed were performed. Next the plant model was implemented according to the designed Piping & Instrument (P&I) diagram and Solid Work drawing. Then the control program and human machine interface (HMI) screen were developed in LabVIEW program and the control parameters for single-loop controller modeled TTM-007 were configured. Lastly the performances of implemented plant model were experimentally tested. Experimental results of step changes of set point are also included.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์ และ ดร.อภินัย ฤกษ์รัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา แนวทางสำหรับการแก้ไขปัญหา รวมถึงสนับสนุนอุปกรณ์สำหรับการทดลองตลอดระยะเวลาที่ได้ ทำการศึกษาจัดทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณ รศ.ดร.อัมพวัน จุลเสรีวงศ์ ที่ให้คำแนะนำในเรื่องของขั้นตอนการทดลอง การ เก็บผลการทดลอง รวมถึงการตรวจทานแก้ไขรูปเล่มของปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณ รศ.ประภาช อุคคกิมพันธ์ ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ และรวมถึงอุปกรณ์ สำหรับการทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ เทพมณี ที่ให้คำแนะนำในเรื่องเทคนิคการคำนวณอัตราการไหล และการเลือกใช้เครื่องมือวัดและควบคุม

ขอขอบคุณ นายเจษฎา เจริญวัฒน์โยธิน จากบริษัท ไทร์เนอร์ยี่อินสทรูเมนต์จำกัด ที่ให้ คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรม LabVIEW

ขอขอบคุณ นายวิโรจน์ วุฒิ นักวิจัยประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์และเครื่องมือ

ขอขอบคุณสมาชิกทุกคนในกลุ่มและเพื่อน ๆ สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติชั้นปีที่ 4 รวมถึงน้อง ๆ ชั้นปีที่ 3 ทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ จนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณผู้แต่งหนังสือและเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ ที่คณะผู้จัดทำได้นำมาใช้อ้างอิงเพื่อศึกษา และจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการดำเนินการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	2
1.5 รายละเอียดวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 หลักการวัดระดับ.....	3
2.2.1 การวัดระดับแบบไฮโดรสแตติก.....	5
2.2.2 ความดันและเขตของปัม.....	7
2.3 อัตราการไหลและทฤษฎีภายในท่อ.....	11
2.3.1 คุณสมบัติของของไหล.....	11
2.3.2 หลักการของเครื่องมือวัดอัตราการไหล.....	12
2.3.3 แผ่นออริฟิส.....	13
2.3.3.1 ชนิดของออริฟิส.....	14
2.3.3.2 จุดต่อสำหรับวัดค่าความดันแตกต่าง.....	16
2.3.3.3 การติดตั้งแผ่นออริฟิส.....	19
2.3.3.4 การคำนวณขนาดรูของแผ่นออริฟิส.....	22
2.3.4 กฎของ Bernoulli.....	23
2.4 หลักการควบคุมแบบป้อนกลับ.....	25
2.5 ระบบควบคุมแบบพีไอดี.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

2.6 โปรแกรม Labview.....	29
2.7 Single Loop Controller.....	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	33
3.1 กล่าวนำ.....	33
3.2 การกำหนดเงื่อนไขในการควบคุมกระบวนการ	33
3.2.1 โครงสร้างของระบบการควบคุมระดับน้ำที่ต้องการสร้างเป็นพลาเน็ตโมเดล.....	33
3.2.2 เงื่อนไขในการควบคุมกระบวนการของพลาเน็ตโมเดล.....	34
3.3 การคำนวณและเลือกอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับพลาเน็ตจำลอง.....	35
3.3.1 การหาขนาดของเครื่องมือวัดอัตราการไหล	35
3.3.2 การเลือกเครื่องมือวัดความดันแตกต่าง	38
3.3.3 การหาขนาดของปั๊มที่ใช้ในระบบ	41
3.3.4 การหาเฮดของปั๊ม	42
3.3.5 การเลือกใช้อินเวอร์เตอร์.....	46
3.4 การสร้างโปรแกรมสำหรับควบคุมระบบด้วยโปรแกรม LabVIEW	49
3.4.1 ขั้นตอนการเริ่มใช้โปรแกรม	49
3.4.2 ขั้นตอนการเลือกใช้อินพุต/เอาต์พุต	51
3.4.3 ฟังก์ชันที่ใช้ในโปรแกรม LabVIEW สำหรับควบคุมกระบวนการ	55
3.4.4 ส่วนต่างประกอบของโปรแกรมสำหรับควบคุมกระบวนการ	58
3.5 การควบคุมระบบด้วย Single Loop Controller	61
บทที่ 4 การทดสอบการทำงานของระบบ.....	65
4.1 กล่าวนำ	65
4.2 การทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม	65
4.3 การทดลองการควบคุมระดับของกระบวนการ	68
4.3.1 การทดลองการควบคุมระดับโดยใช้โปรแกรม LabVIEW	68
4.3.2 ผลการทดลองการควบคุมระดับโดยใช้โปรแกรม LabVIEW	69
4.3.3 การทดลองการควบคุมระดับโดยใช้ Single Loop Controller	75
4.3.4 ผลการทดลองการควบคุมระดับโดยใช้ Single Loop Controller	76
4.3.5 เปรียบเทียบการเข้าสู่ค่าเป้าหมายของคอนโทรลเลอร์สองชนิด	85

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน.....	86
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	86
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	86
5.3 ข้อเสนอแนะ	86
บรรณานุกรม.....	87
ภาคผนวก.....	88
ภาคผนวก ก	88
ภาคผนวก ข	93
ภาคผนวก ค	99



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เขตที่สูญเสียในช่ององ 90 องศา.....	9
2.2 เขตที่สูญเสียในข้อต่อสามทาง.....	9
2.3 เขตที่สูญเสียในข้อต่อสามทาง.....	10
2.4 เขตที่สูญเสียต่อระยะความยาวท่อ.....	10
2.5 ความต้องการท่อที่เป็นเส้นตรงตามค่า β ต่างๆ.....	21
3.1 รายละเอียดและข้อกำหนดของปั๊มที่เลือกใช้งาน.....	46
3.2 รายละเอียดและข้อกำหนดของอินเวอร์เตอร์ที่เลือกใช้งาน.....	47
3.3 เปรียบเทียบ specification ของปั๊มและอินเวอร์เตอร์.....	48
4.1 การทดลองควบคุมระดับน้ำด้วยฟังก์ชันพีเอ็ดิของโปรแกรม LabVIEW	68
4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยโปรแกรม LabVIEW	68
4.3 การทดลองควบคุมระดับน้ำด้วย Single Loop Controller	76
4.4 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วย Single Loop Controller	76
4.5 ผลการทดลองการปรับค่าช่วงขาขึ้นในกรณี 1-4 จากตารางที่ 4.1 และ 4.3	85
4.6 ผลการทดลองการปรับค่าช่วงขาลงในกรณี 5-8 จากตารางที่ 4.1 และ 4.3	85
4.7 ความคลาดเคลื่อนจากค่าเป้าหมายของการทดลองในกรณี 1-8 จากตารางที่ 4.1, 4.3	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศีกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 สถาปัตยกรรมระบบ.....	3
2.2 เครื่องมือวัดระดับโดยตรง.....	4
2.3 เครื่องมือการวัดระดับทางอ้อม.....	4
2.4 ความดันแบบไฮโดรสแตติก.....	5
2.5 ตัวอย่างการวัดความดันแบบไฮโดรสแตติก.....	6
2.6 ลักษณะเปรียบเทียบความดันแต่ละแบบ.....	7
2.7 เสดสถิตของกระบวนการ.....	8
2.8 Velocity Profile ของการไหล.....	12
2.9 เครื่องมือวัดอัตราการไหลชนิดต่างๆ.....	12
2.10 ลักษณะของแผ่นออริฟิสตามมาตรฐาน ISO5167.....	13
2.11 ลักษณะแผ่นออริฟิสแบบ Concentric.....	14
2.12 ลักษณะแผ่นออริฟิสแบบ Eccentric.....	15
2.13 ลักษณะแผ่นออริฟิสแบบ Segmental.....	15
2.14 ลักษณะแผ่นออริฟิสแบบ Quadrant.....	16
2.15 การต่อจุดวัดความดันแบบ Flange Taps.....	17
2.16 การต่อจุดวัดความดันแบบ Vena Contracta Taps.....	18
2.17 การต่อจุดวัดความดันแบบ Corner Taps.....	19
2.18 รูปแบบท่อที่ติดตั้งในลักษณะต่างๆ.....	20
2.19 ทฤษฎีการไหลในท่อของ Bernoulli.....	23
2.20 ส่วนประกอบของระบบควบคุมอัตโนมัติแบบป้อนกลับ.....	25
2.21 การควบคุมแบบ P.....	27
2.22 การควบคุมแบบ I.....	28
2.23 การควบคุมแบบ D.....	28
2.24 โปรแกรม LabVIEW สำหรับควบคุมกระบวนการ.....	29
2.25 หน้าFront Panel ของโปรแกรม.....	30
2.26 หน้าBlock Diagram ของโปรแกรม.....	30
2.27 ตัวควบคุมพีไอดี.....	31
3.1 ระบบการควบคุมระดับน้ำ.....	33
3.2 ถังสำหรับควบคุมระดับน้ำ.....	34

สารบัญภาพ(ต่อ)

3.3	ถังที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำ.....	35
3.4	ขนาดของแผ่นออริฟิสที่ใช้ในระบบ.....	37
3.5	วิธีการวัดระดับแบบถังเปิด.....	39
3.6	การวัดระดับแบบถังเปิด.....	40
3.7	ปั้มน้ำที่ใช้ในระบบ.....	46
3.8	อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในระบบ.....	47
3.9	หน้าต่างการเปิดโปรแกรม LabVIEW.....	49
3.10	หน้าต่างการสร้างโปรแกรมใหม่ของ LabVIEW.....	49
3.11	หน้าต่างการ Create Project.....	50
3.12	หน้าต่างที่ใช้เขียนโปรแกรมควบคุมของ LabVIEW.....	50
3.13	หน้าต่าง Function and tool.....	51
3.14	หน้าต่าง Express.....	51
3.15	หน้าต่าง Create new Input.....	52
3.16	หน้าต่างสำหรับตั้งค่าชนิด Input.....	52
3.17	หน้าต่าง Physical.....	53
3.18	หน้าต่าง Configuration.....	53
3.19	หน้าต่าง Configuration.....	54
3.20	หน้าต่าง Configuration “Acquisition Mode”.....	54
3.21	หน้าต่าง Arithmetic & Comparison.....	55
3.22	หน้าต่าง Configuration Scale & Mapping.....	55
3.23	ฟังก์ชัน Comparison.....	56
3.24	หน้าต่าง Configuration Comparison.....	56
3.25	FunctionPID ของโปรแกรม LaVIEW.....	57
3.26	Algorithm Function PID.....	57
3.27	ส่วนรับค่าจากเครื่องมือวัดของโปรแกรม.....	58
3.28	การ Sscal สัญญาณเข้า.....	58
3.29	ส่วนของสัญญาณPID.....	59
3.30	ส่วนของการเลือก Remote กับ Local.....	59
3.31	ส่วนการ Scale ค่าสัญญาณที่จะนำไปใช้.....	60
3.32	ส่วนการนำค่าไปใช้ควบคุมอุปกรณ์ตัวสุดท้าย.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

3.33 ส่วนการบันทึกข้อมูลของกระบวนการ	61
3.34 Loop Control ของกระบวนการควบคุมโดยใช้ Single loop Controller.....	61
3.35 โปรแกรม Primus Temp Controller.....	62
3.36 หน้าต่าง Configuration.....	62
3.37 หน้าต่างการตั้งค่า Address ให้ตรงกับ Controller.....	63
3.38 หน้าต่างการตั้งค่า Connection.....	63
3.39 หน้าต่างการตั้งค่า Configuration.....	64
3.40 หน้าต่างการตั้งค่าเป้าหมายของกระบวนการ.....	64
4.1 หน้าจอสำหรับปรับค่า PID ของLabVIEW	65
4.2 การปรับค่าเป้าหมายไว้ที่ 50 เปอร์เซ็นต์	66
4.3 การปรับค่า Ti และ Td เป็นศูนย์.....	66
4.4 การปรับค่าKpและ Ti ที่ทำให้ระบบเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย.....	67
4.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับด้วยวิธี Trial & Error	67
4.6 ผลการทดลองกรณีที่ 1 จากตาราง 4.1	69
4.7 ผลการทดลองกรณีที่ 1 จากตาราง 4.1	69
4.8 ผลการทดลองกรณีที่ 2 จากตาราง 4.1	70
4.9 ผลการทดลองกรณีที่ 3 จากตาราง 4.1	70
4.10 ผลการทดลองกรณีที่ 3 จากตาราง 4.1	71
4.11 ผลการทดลองกรณีที่ 4 จากตาราง 4.1	71
4.12 ผลการทดลองกรณีที่ 4 จากตาราง 4.1	72
4.13 ผลการทดลองกรณีที่ 5 จากตาราง 4.1	72
4.14 ผลการทดลองกรณีที่ 5 จากตาราง 4.1	73
4.15 ผลการทดลองกรณีที่ 6 จากตาราง 4.1	73
4.16 ผลการทดลองกรณีที่ 6 จากตาราง 4.1	74
4.17 ผลการทดลองกรณีที่ 7 จากตาราง 4.1	74
4.18 ผลการทดลองกรณีที่ 8 จากตาราง 4.1	75
4.19 ผลการทดลองกรณีที่ 1 จากตาราง 4.3	77
4.20 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ของผลการทดลองกรณีที่ 1 จากตาราง 4.3	77
4.21 ผลการทดลองกรณีที่ 2 จากตาราง 4.3	78
4.22 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ของผลการทดลองกรณีที่ 2 จากตาราง 4.3	78
4.23 ผลการทดลองกรณีที่ 3 จากตาราง 4.3	79
4.24 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ของผลการทดลองกรณีที่ 3 จากตาราง 4.3	79
4.25 ผลการทดลองกรณีที่ 4 จากตาราง 4.3	80
4.26 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ของผลการทดลองกรณีที่ 4 จากตาราง 4.3	80
4.27 ผลการทดลองกรณีที่ 5 จากตาราง 4.3	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

4.28	หน้าจอบรรณาค่าพารามิเตอร์ของผลการทดลองกรณีที 5 จากตาราง 4.3	81
4.29	ผลการทดลองกรณีที 6 จากตาราง 4.3	82
4.30	หน้าจอบรรณาค่าพารามิเตอร์ของผลการทดลองกรณีที 6 จากตาราง 4.3	82
4.31	ผลการทดลองกรณีที 7 จากตาราง 4.3	83
4.32	หน้าจอบรรณาค่าพารามิเตอร์ของผลการทดลองกรณีที 7 จากตาราง 4.3	83
4.33	ผลการทดลองกรณีที 8 จากตาราง 4.3	84
4.34	หน้าจอบรรณาค่าพารามิเตอร์ของผลการทดลองกรณีที 8 จากตาราง 4.3	84



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบการผลิตทางอุตสาหกรรมคือกระบวนการที่นำเอาวัตถุดิบหรือที่เรียกว่าสารตั้งต้นมาทำการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง คุณสมบัติทางกายภาพ หรือเคมีให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์โดยการทำให้คุณสมบัติของสารตั้งต้นเปลี่ยนแปลงไปจำเป็นต้องมีปัจจัยหรือกระบวนการทางด้านกายภาพหรือเคมีเข้ามาเกี่ยวข้องดังเช่นอุณหภูมิ หรือความดัน เพื่อให้ได้ผลผลิตที่สมบูรณ์จึงต้องมีระบบการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ โดยในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตจะมีการควบคุมตัวแปรในกระบวนการที่มีความสำคัญคือ อุณหภูมิ อัตราการไหล ความดัน และระดับ

ในด้านอุตสาหกรรมและการผลิตได้มีเทคโนโลยีที่มีความหลากหลายที่สามารถใช้ในการควบคุมของกระบวนการในด้านอุตสาหกรรมเช่น การควบคุมด้วยระบบพีแอลซี (PLC) ระบบดีซีเอส (DCS) หรือสกาดา (SCADA) แต่ละระบบล้วนแล้วมีเทคนิคและวิธีการควบคุมแตกต่างกันออกไป โดยกระบวนการควบคุมที่มีความสำคัญและมีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมคือการควบคุมระดับ ซึ่งกลุ่มของข้าพเจ้ามีความสนใจที่จะทำการศึกษานั้นเป็นการควบคุมระดับของของเหลว โดยในการควบคุมระดับของเหลวของกระบวนการทางอุตสาหกรรมนั้นมีวิธีการควบคุมและรูปแบบในการควบคุมที่มากมายและเหมาะสมกันไปตามแต่ละกระบวนการ ตัวอย่างเช่นการควบคุมแบบ On/Off และ การควบคุมแบบพีไอดี

จากที่กล่าวมาข้างต้นจึงเกิดเป็นความสนใจที่จะทำการศึกษาในเรื่องของระบบการควบคุมระดับโดยมีเป้าหมายคือสร้างพลาเน็ตโมเดลควบคุมระดับขึ้นมาเพื่อใช้เป็นสื่อสำหรับการศึกษา จำลองกระบวนการและระบบการควบคุมอย่างใกล้ชิดโดยมีการใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีจากโปรแกรม LabVIEW และ single-loop controller สำหรับควบคุมกระบวนการและทำการสร้างกราฟิกแสดงสถานะของกระบวนการ โดยมีจุดมุ่งหมายคือใช้แบบจำลองการควบคุมระดับที่ได้ทำการสร้างขึ้นมานี้เป็นชุดสำหรับทดลองและศึกษาเทคนิคการควบคุมระดับต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและสร้างพลาเน็ตโมเดลสำหรับการควบคุมระดับน้ำในถังและมีการติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลเพื่อการประยุกต์ใช้ในอนาคต
2. เพื่อประยุกต์ใช้งานโปรแกรม LabVIEW ในการควบคุมกระบวนการและแสดงผลของพลาเน็ตโมเดลที่ได้สร้างขึ้น
3. เพื่อประยุกต์ใช้งาน single-loop controller ในการควบคุมกระบวนการและแสดงผลของพลาเน็ตโมเดลที่ได้สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

1. ออกแบบและสร้างพลาเน็ตโมเดลสำหรับควบคุมระดับน้ำในถัง
2. พัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุม และแสดงผลของพลาเน็ตโมเดลที่สร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม LabVIEW เป็นตัวควบคุมกระบวนการ
3. ประยุกต์ใช้งาน single-loop controller ในการควบคุมกระบวนการของพลาเน็ตโมเดลที่สร้างขึ้น

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ปรึกษาหารือถึงหัวข้อและความเป็นไปได้ของโครงการ
2. ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลและเทคนิคในการควบคุมระดับน้ำและการวัดอัตราการไหล
3. ศึกษาทฤษฎีการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม LabVIEW ในการควบคุมกระบวนการ
4. ออกแบบและสร้างพลาเน็ตโมเดลสำหรับควบคุมระดับน้ำ
5. ออกแบบและสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมและการเชื่อมต่อระบบ
6. พัฒนาโปรแกรมสำหรับการควบคุมและแสดงผลโดยใช้โปรแกรม LabVIEW
7. ทดสอบพลาเน็ตโมเดลที่สร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม LabVIEW ในการควบคุม
8. ทดสอบพลาเน็ตโมเดลที่สร้างขึ้นโดยใช้ single-loop controller ในการควบคุม
9. ปรับปรุงคุณภาพของโปรแกรมสำหรับควบคุมกระบวนการ
10. จัดทำรูปเล่มปฏิญญาฉบับ
11. นำเสนอผลงาน

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 บทนำเป็นการกล่าวถึงความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตการดำเนินงาน และขั้นตอนการดำเนินงาน

บทที่ 2 กล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ และควบคุมกระบวนการ

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการดำเนินงาน แนวคิด การออกแบบระบบ และในส่วนการทำงานของโปรแกรมควบคุม

บทที่ 4 เป็นการแสดงผลการทดลองในการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์พีไอดี

บทที่ 5 เป็นบทสุดท้ายที่กล่าวถึงการสรุปผลการดำเนินงาน ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะ

ภาคผนวก ก เป็นการออกแบบโครงสร้างโดยใช้โปรแกรม solid work

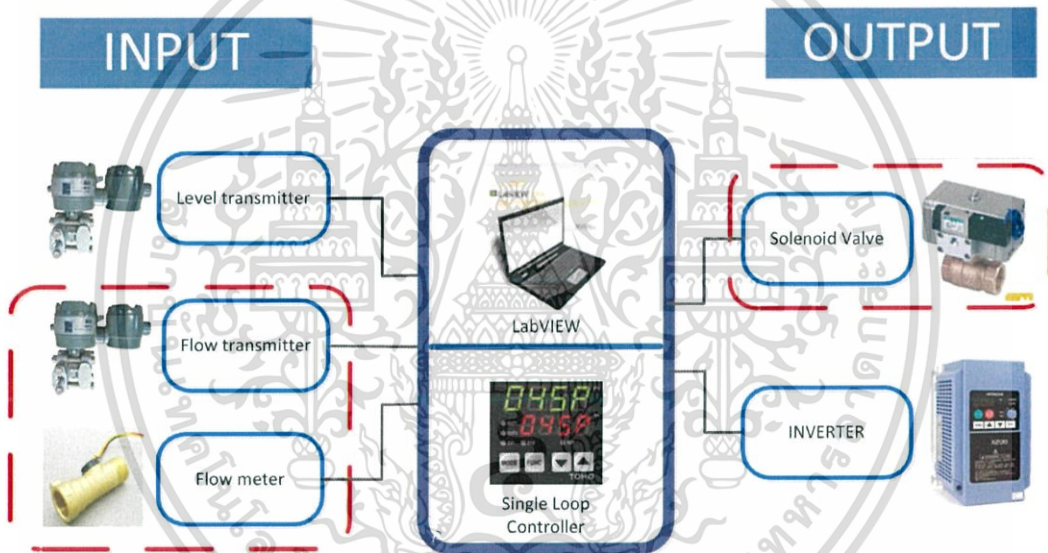
ภาคผนวก ข การสร้างพลาเน็ตโมเดลสำหรับควบคุมระดับน้ำ

ภาคผนวก ค เป็นการการตั้งค่าอินเวอร์เตอร์และคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในระบบ

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง รวมถึงอุปกรณ์ทำงานที่ได้เลือกใช้ ในพลานต์โมเดลสำหรับควบคุมระดับน้ำโดยมีการใช้ตัวควบคุมเป็นโปรแกรม LabVIEW และ Single loop controller สำหรับควบคุมกระบวนการ รับและส่งข้อมูลผ่านการ์ดเชื่อมต่อ (Interface Card) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการสื่อสาร รับสัญญาณดิจิทัลและสัญญาณอนาล็อกจากภายนอกเข้าสู่ การประมวลผลในโปรแกรม LabVIEW หรือ Single loop controller และส่งข้อมูลที่ประมวลผล แล้วกลับไปยังอุปกรณ์ทำงานภายในระบบ เพื่อควบคุมกระบวนการดังรูปที่ 2.1



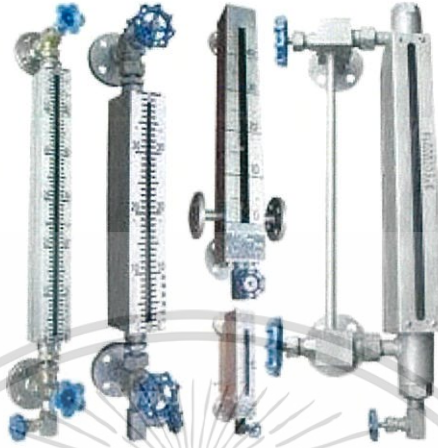
รูปที่ 2.1 สถาปัตยกรรมระบบ

2.2 หลักการวัดระดับ [2]

ในยุคสมัยปัจจุบันการวัดระดับของของเหลวในกระบวนการทางอุตสาหกรรมนั้นมีรูปแบบที่หลากหลาย เนื่องมาจากการที่เทคโนโลยีในยุคปัจจุบันที่มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เครื่องมือวัดระดับที่ติดตั้งอยู่ในกระบวนการผลิตนั้นมีความสามารถที่แตกต่างกันออกไป เพื่อตอบสนองต่อความต้องการและความเหมาะสมของแต่ละกระบวนการที่แตกต่างกันออกไป โดยหลักการวัดระดับทางอุตสาหกรรมจะแบ่งได้เป็น 2 แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การวัดระดับโดยตรง เป็นวิธีที่ง่าย ประหยัด และ เชื่อถือได้ซึ่งรูปแบบที่นิยมใช้ใน ปัจจุบันได้แก่ การใช้กระจกแก้วมองระดับ และ ลูกลอย ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่องมือการวัดระดับโดยตรง

2. การวัดระดับโดยอ้อม เป็นการอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงทางวิทยาศาสตร์ซึ่งจะให้ สัญญาณออกมาอย่างต่อเนื่อง ในปัจจุบันหลักการดังกล่าวที่ใช้ในอุตสาหกรรมได้แก่ หลักการวัดระดับด้วยแรงและความดัน (Force and Pressure) หลักการทางไฟฟ้า (Resistance, Conductance & Capacitance) หลักการทางเดินของเสียง (Ultrasonic) และ หลักการแผ่รังสี (Radiation) เป็นต้น

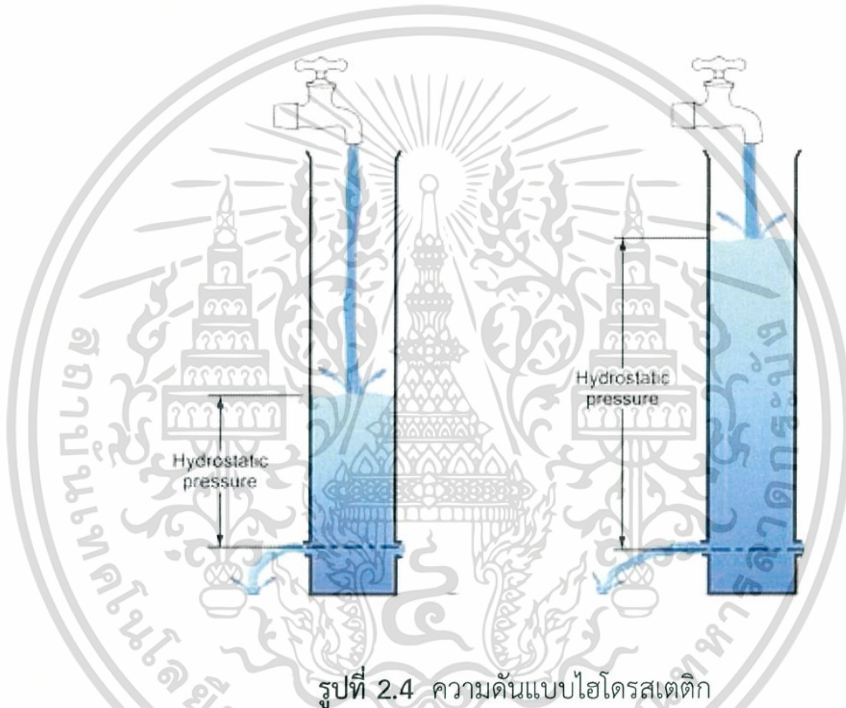


รูปที่ 2.3 เครื่องมือการวัดระดับทางอ้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การวัดระดับแบบไฮโดรสแตติก (Hydrostatic)

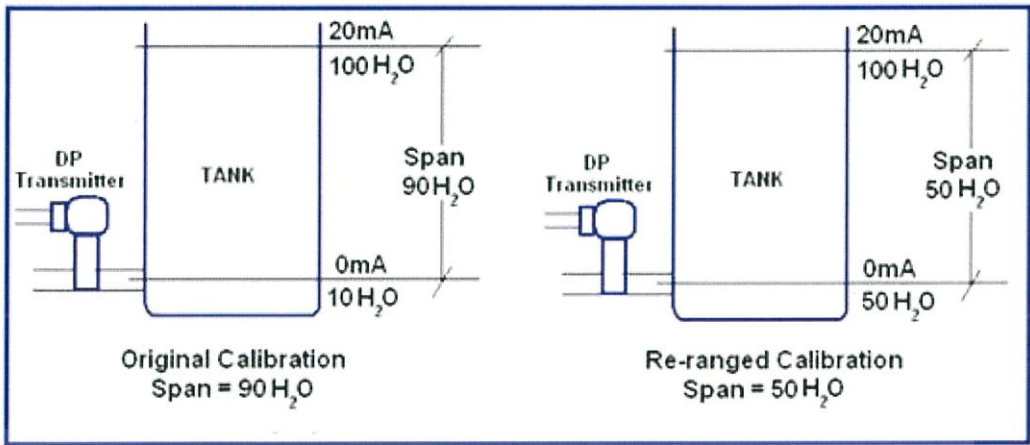
การวัดระดับแบบไฮโดรสแตติกเป็นวิธีการวัดระดับของเหลวที่นิยมอีกวิธีหนึ่ง ทำงานโดยอาศัยการวัดความดันแล้วแปลงเป็นระดับของเหลว ด้วยการติดตั้งเซนเซอร์หรือเครื่องมือวัดความดันบริเวณด้านล่างของภาชนะที่บรรจุของเหลวอยู่ภายใน โดยเซนเซอร์วัดความดันที่เหมาะสมแก่การวัดระดับแบบไฮโดรสแตติกนั้นนิยมใช้แบบการวัดความดันแตกต่าง โดยถ้าบริเวณผิวหน้าของเหลวสัมผัสกับความดันบรรยากาศ ค่าความดันสูงสุดอยู่ที่บริเวณด้านล่างของภาชนะ และเพิ่มสูงขึ้นตามระดับความสูงของของเหลว จากการรับแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของของเหลวตามแรงโน้มถ่วงโลก ความดัน (P) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับของของเหลว (h) นี้เรียกว่าความดันสถิต โดยค่าความดันที่วัดได้บริเวณด้านล่างสุดของภาชนะ แสดงความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับระดับของของเหลว



รูปที่ 2.4 ความดันแบบไฮโดรสแตติก

อุปกรณ์วัดระดับชนิดการวัดความดันแตกต่างนิยมใช้ในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน เหมาะสำหรับการวัดระดับของเหลวในภาชนะเปิดที่สัมผัสกับบรรยากาศ (ความดันบรรยากาศ) มีราคาไม่แพง แต่มีความถูกต้องค่อนข้างจำกัดเหมาะสำหรับของเหลวที่มีความหนืดต่ำ สะอาด ไม่มีสารแขวนลอยปะปน รวมถึงไม่มีคุณสมบัติเป็นสารกัดกร่อน ซึ่งหากของเหลวที่ต้องการวัดระดับมีลักษณะและคุณสมบัติดังกล่าว อาจก่อให้เกิดความเสียหายกับเครื่องมือวัดความดันได้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเลือกใช้แผ่นไดอะแฟรม (Diaphragm Plate) มาทำหน้าที่เป็นไดอะแฟรมซีล (Diaphragm Seal) โดยมีท่อแคปิลลารี (Capillary Tube) ภายในบรรจุก๊าซ หรืออากาศต่ออยู่ระหว่างไดอะแฟรมซีลกับสเกลอ่านค่าความดัน หรือต่อเข้ากับเครื่องมือวัดความดันอีกตัวหนึ่ง โดยก๊าซหรืออากาศทำหน้าที่ส่งผ่านความดันที่ได้รับจากไดอะแฟรมซีลมาให้กับเครื่องมือวัดความดันเพื่ออ่านค่าความดันออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการวัดความดันแบบไฮโดรสแตติก

การวัดระดับโดยใช้เครื่องมือวัดความแตกต่างของความดันเป็นวิธีหนึ่งที่แพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถใช้กับกระบวนการที่มีความสกปรก มีความดันหรืออุณหภูมิสูงได้ดี โดยหลักการวัดระดับแบบนี้ใช้หลักการวัดความดันจากความสูงของของเหลวที่ต้องการได้ตั้งสมการดังต่อไปนี้

$$P = h \cdot SG_m \quad (2.1)$$

เมื่อ P คือ ค่าความดันมีหน่วยเป็น เมตรน้ำ (mH₂O)
 h คือ ค่าความสูงของของเหลว มีหน่วยเป็นเมตร (m)
 SG_m คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวที่ต้องการวัด

ค่าความถ่วงจำเพาะของสารเป็นค่าคงที่ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของสารนั้น เช่น น้ำมีค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 1 ส่วนปรอทมีค่าความถ่วงจำเพาะ 13.6 เป็นต้น ดังนั้นความดันที่เกิดขึ้นจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับความสูงของของเหลวนั้นทำให้สามารถหาความสูงของของเหลวได้จาก

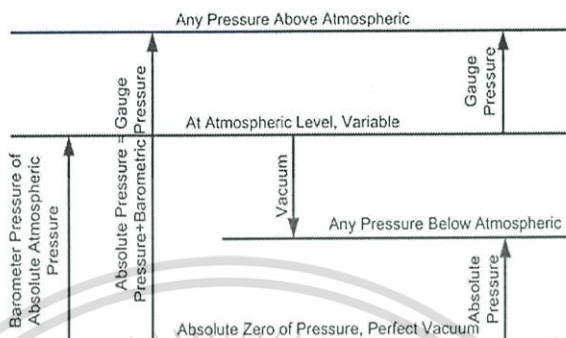
$$h = \frac{P}{SG_m} \quad (2.2)$$

ถ้าอุปกรณ์วัดระดับไม่ได้ถูกติดตั้งที่ตำแหน่ง 0% ของระดับของเหลวในถังที่ต้องการวัด จะต้องมีการปรับเทียบตำแหน่งที่แตกต่างนี้ ซึ่งการปรับเทียบนี้จะถูกเรียกว่า Zero Elevation เมื่อตำแหน่งอุปกรณ์วัดระดับถูกติดตั้งอยู่เหนือจุดต่อกับถังด้านล่าง และจะถูกเรียกว่า Zero Suppression เมื่อตำแหน่งอุปกรณ์การวัดถูกติดตั้งอยู่ต่ำกว่าจุดต่อถังด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ความดันและเฮดของบีม [5]

ความดันของบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของบรรยากาศต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวโลก ลักษณะการวัดความดันมี 2 แบบดังภาพที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะเปรียบเทียบความดันแต่ละแบบ

จากภาพที่ 2.6 ความดันบรรยากาศมีค่าศูนย์อย่างแท้จริง หรือไม่มีความดันเลย ซึ่งเกิดขึ้นได้โดยการดูดอากาศออกหมดจนเป็นสุญญากาศที่แท้จริงเรียกว่า ความดันศูนย์สมบูรณ์ (Absolute Zero Pressure) ค่าความดันใดๆที่วัดจากค่าความดันพื้นฐานนี้เรียกว่า ความดันสมบูรณ์ (Absolute Pressure, P_{abs}) รวมทั้งความดันของบรรยากาศซึ่งมีค่าประมาณเท่ากับ 101.325 kN/m^2 หรือ 14.7 psi แต่เนื่องจากว่าอุปกรณ์ที่ใช้วัดเรียกว่า บารอมิเตอร์ (Barometer) ค่าความกดดันของบรรยากาศที่วัดได้จึงเรียกว่า ความดันจากบารอมิเตอร์ (Barometer Pressure, P_b)

เฮด หมายถึง พลังงานในรูปความสูงของของเหลว มีค่าความเกี่ยวข้องโดยตรงกับ ความดันของของเหลว โดยทั้งเฮดและความดันสามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ หน่วยของเฮดจึงเป็นฟุตของเหลว เมตรของเหลว หรืออื่นๆ ซึ่งเฮดจะแบ่งได้เป็น เฮดความดัน เฮดความเร็ว เฮดสถิต และเฮดสูญเสีย

1. เฮดความดัน (Pressure Head, H_p) ค่าความดันนอกจากจะบอกเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เช่น N/m^2 หรือ Psi ส่วนความดันของของเหลวมักนิยมบอกเป็นความสูงของของเหลวที่ก่อให้เกิดความดันที่กระทำบนผิวหน้าของของเหลวซึ่งความดันนี้เรียกว่าเฮดความดัน

$$H_p = \frac{P}{\rho g} \quad (2.3)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของของเหลว

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

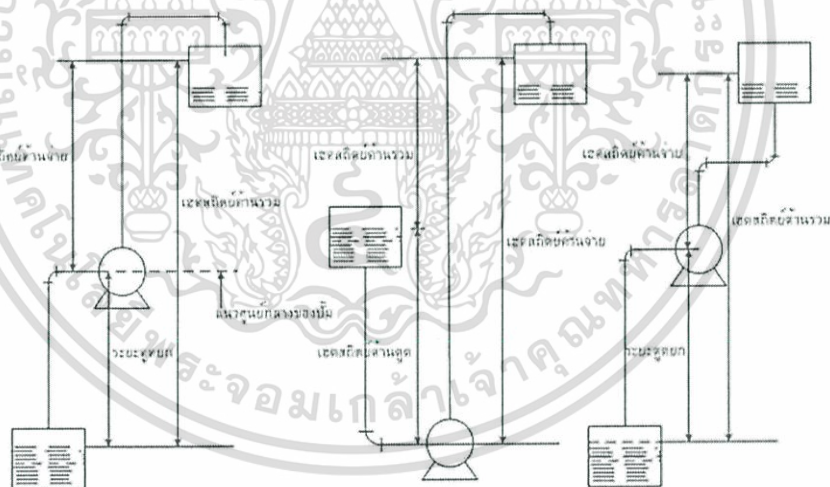
2. เฮดความเร็ว (Velocity Head, H_v) ของเหลวที่ไหลในท่อหรือทางน้ำเปิดด้วยความเร็วใดๆ นั้นมีพลังงานจลน์อยู่ในตัว และเนื่องจากพลังงานสามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ ดังนั้นพลังงานจลน์ของของเหลวที่กำลังเคลื่อนที่ในระบบปั๊มจึงต้องนำมาคิดเป็นเฮดรูปหนึ่งเรียกว่า เฮดความเร็ว การหาว่าของเหลวที่ความเร็วขนาดนั้นมีเฮดเท่าใดสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$H_v = \frac{v^2}{2g} \quad (2.4)$$

เมื่อ V = ความเร็วของการไหล

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

3. เฮดสถิต (Static Head, H_s) ในการทำงานของปั๊มโดยทั่วไป ของเหลวจะถูกเพิ่มพลังงานเพื่อให้มีความสามารถไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งซึ่งอยู่สูงกว่าได้ โดยความดันซึ่งคิดเป็นคอลัมน์ความสูงของของเหลวที่กระทำต่อปั๊มทั้งด้านดูดและด้านจ่าย ในขณะที่ความเร็วของการไหลผ่านระบบเป็นศูนย์เรียกว่า เฮดสถิต แบ่งเป็นสองส่วนดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เฮดสถิตของกระบวนการ

เฮดสถิตด้านเข้า มีค่าเท่ากับความสูงจากแนวศูนย์กลางของปั๊มไปยังผิวหน้าของของเหลวทางด้านเข้าของปั๊ม ซึ่งอาจมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ ถ้าผิวหน้าของของเหลวสูงกว่าแนวศูนย์กลางของปั๊ม ค่าเฮดสถิตด้านเข้าจะเป็นบวก แต่ถ้าผิวหน้าของของเหลวด้านเข้าต่ำกว่าแนวศูนย์กลางของปั๊มจะมีค่าเป็นลบ

เฮดสถิตด้านออก มีค่าเท่ากับแนวศูนย์กลางของปั๊มไปยังผิวหน้าของของเหลวด้านออก

เฮดสถิตรวม คือผลบวกของเฮดสถิตด้านเข้าและด้านออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เหน็ดสูญเสียด (Head loss)

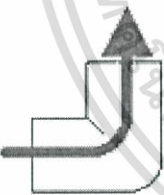
เหน็ดสูญเสียดเป็นพลังงานของของเหลวที่สูญเสียดในขณะที่ของเหลวไหลไปในท่อประกอบด้วย เหน็ดเสียดทาน ของเหลวที่ไหลในท่อนี้จะมีพลังงานส่วนหนึ่งที่สูญเสียดไปในการเอาชนะความเสียดทานจากผิวท่อซึ่งเป็นตัวต้านการไหลของของเหลว ความเสียดทานต่อการไหลที่ท่อดึงต่อของเหลวนี้เปรียบเสมือนความต้านทานต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าต่อลวดตัวนำ เหน็ดสูญเสียดอื่นๆ ได้แก่เหน็ดสูญเสียดที่เกิดจากการเปลี่ยนทิศการไหล การเพิ่มหรือลดความเร็วที่ทันใดและอื่นๆ

การคำนวณเกี่ยวกับเหน็ดของปั้ม

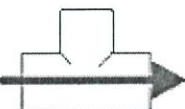
ในการเลือกใช้ปั้มให้เหมาะสมต่อกระบวนการจะต้องเลือกพิจารณาองค์ประกอบหลายอย่างร่วมกันเช่น ชนิดของปั้ม ขนาดของปั้มคือเหน็ดและอัตราการไหล วัสดุของปั้มและลักษณะการติดตั้ง โดยการหาเหน็ดนั้นสามารถคิดได้ดังนี้

เหน็ดรวมด้านเข้า = เหน็ดความดันด้านเข้า+เหน็ดสถิตด้านเข้า+เหน็ดความเร็วด้านเข้า- เหน็ดสูญเสียดด้านเข้า
 เหน็ดรวมด้านออก=เหน็ดความดันด้านออก+เหน็ดสถิตด้านออก+เหน็ดความเร็วด้านออก+เหน็ดสูญเสียดออก
 เหน็ดของปั้มที่ต้องการ = เหน็ดรวมด้านออก - เหน็ดรวมด้านเข้า

ตารางที่ 2.1 เหน็ดที่สูญเสียดในข้องอ 90 องศา

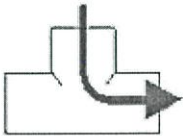
Pressure Head loss in 90° Elbow		
	Size	Equivalent Pipe (ft)
	1/2	1.5
	3/4	2.0
	1	2.3
	1-1/4	4.0
	1- 1/2	4.0
	2	6.0

ตารางที่ 2.2 เหน็ดที่สูญเสียดในข้อต่อสามทาง

Pressure Head loss in Tee Thru Run		
	Size	Equivalent Pipe (ft)
	1/2	1.0
	3/4	1.4
	1	1.7
	1-1/4	2.3
	1- 1/2	2.7
	2	4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 เฮดที่สูญเสียในข้อต่อสามทาง

Pressure Head loss in Tee Thru Run		
	Size	Equivalent Pipe (ft)
	1/2	4.0
	3/4	5.0
	1	6.0
	1-1/4	7.0
	1- 1/2	8.0
	2	12.0

ตารางที่ 2.4 เฮดที่สูญเสียต่อระยะความยาวท่อ [6]

Volumm Flow		Normal Pipe Diameter (inches)										
GPM	GPH	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	6
		Nominal Inside Diameter (inches)										
		0.493	0.622	0.824	1.049	1.380	1.610	2.067	2.469	3.068	4.026	6.065
1	60	3.3	1.1	0.3								
2	120	11.8	3.8	1.0	0.3	0.1						
4	240	42.5	13.7	3.5	1.1	0.3	0.1					
5	300	64.2	20.7	5.3	1.6	0.4	0.2					
6	360		29.0	7.4	2.3	0.6	0.3					
8	480		49.5	12.6	3.9	1.0	0.5	0.1				
10	600		74.7	19.0	5.9	1.6	0.7	0.2	0.1			
20	1200			68.6	21.2	5.6	2.6	0.8	0.3	0.1		
30	1800					11.8	5.6	1.7	0.7	0.2		
40	2400					20.1	9.5	2.8	1.2	0.4	0.1	
50	3000						14.4	4.3	1.8	0.6	0.2	
60	3600						20.1	6.0	2.5	0.9	0.2	
70	4200							7.9	3.3	1.2	0.3	
80	4800							10.2	4.3	1.5	0.4	
90	5400							12.6	5.3	1.9	0.5	
100	6000								6.5	2.3	0.6	0.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 อัตราการไหลและทฤษฎีการไหลในท่อ [3]

อัตราการไหลเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญตัวแปรหนึ่งในกระบวนการควบคุมทางอุตสาหกรรม เนื่องจากตัวแปรอื่นๆ ที่ต้องการควบคุมจะถูกควบคุมโดยปริมาณของอัตราการไหลเกือบทั้งสิ้น วิธีการวัดอัตราการไหลมีหลายชนิด แต่ละวิธีมีหลักการที่แตกต่างกันออกไป ส่วนใหญ่การวัดอัตราการไหลไม่ใช่การวัดโดยตรง แต่จะเป็นการวัดความเร็วของการไหล แล้วคำนวณออกมาเป็นอัตราการไหล

2.3.1 คุณสมบัติของของไหล

คุณสมบัติทางฟิสิกส์บางประการของของไหลได้แก่ความดัน ความหนาแน่น ความเร็ว และจำนวนเลขเรย์โนลด์ ค่าเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์ต่อการไหลซึ่งจะกล่าวต่อไปดังนี้

1. ความดัน เนื่องจากความดันมีความสัมพันธ์กับ แรงต่อพื้นที่หน้าตัด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด จะทำให้ความดันเปลี่ยนแปลงไปด้วย เราสามารถนำหลักการนี้ไปใช้เพื่อหาความเร็วการไหลของของไหลได้ จากสมการของ Bernoulli
2. ความหนาแน่น ใช้ในการคำนวณหาความดันของของไหล ณ จุดใดๆ โดยความหนาแน่นบ่งบอกถึง มวลต่อปริมาตร
3. ความเร็ว จะเป็นค่าตัวแปรที่กำหนดพฤติกรรมการไหลของของไหลว่าจะเป็นไปในลักษณะใด กล่าวคือ เมื่อความเร็วเฉลี่ยของของไหลเป็นไปอย่างช้าๆ เราจะเรียกการไหลแบบนี้ว่า การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) แสดงดังรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่าในบริเวณใกล้กับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ความเร็วของการไหลจะมีค่ามากกว่าบริเวณที่ห่างออกไป และหากความเร็วมีค่ามากขึ้นถึงระดับหนึ่งจะทำให้เกิดการไหล แบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) แสดงดังรูปที่ 2.8 ซึ่งการไหลแบบนี้จะพบเห็นกันเป็นส่วนมาก อนึ่งการไหล แบบปั่นป่วนนี้จะเป็นการไหลที่มีรูปแบบไม่แน่นอน
4. จำนวนเลขเรย์โนลด์ เป็นเลขดัชนีที่ชี้บอกสภาพปรากฏการณ์การไหลของของไหล ซึ่งเป็นสัดส่วนของ Inertia/Viscous จำนวนเลขเรย์โนลด์จะมีค่าขึ้นอยู่กับความเร็ว การไหล ความหนืด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และความหนาแน่นของของไหล เราอาจเขียนความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ เป็น

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.5)$$

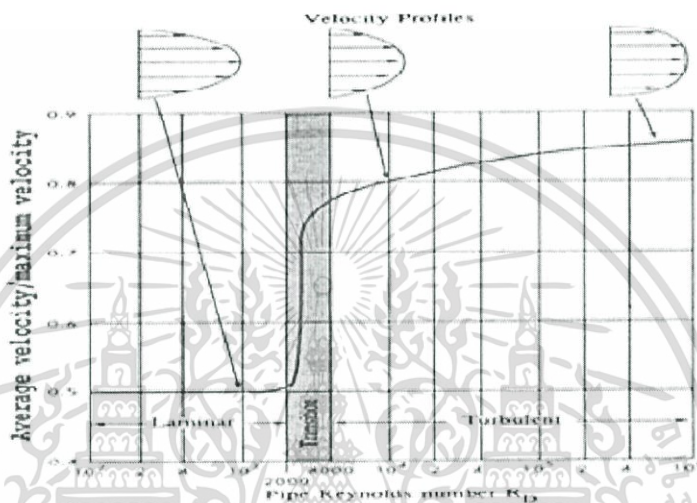
- เมื่อ Re คือ จำนวนเลขเรย์โนลด์ (Reynold Number)
- V คือ ความเร็วการไหล m/s
- D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ m
- ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล kg/m^3
- μ คือ ความหนืดของของไหล $kg/m \cdot s$

จำนวนเลขเรย์โนลด์ไม่มีหน่วยและมีความสำคัญคือจำนวนเลขนี้ใช้เป็นตัวกำหนดรูปแบบการไหลของของไหลว่าเป็นแบบใด

Re อยู่ในช่วง 0 – 2,000 สภาพการไหลเป็นแบบ Laminar Flow

Re อยู่ในช่วง 2,001 – 4,000 สภาพการไหลเป็นแบบ Transition Zone

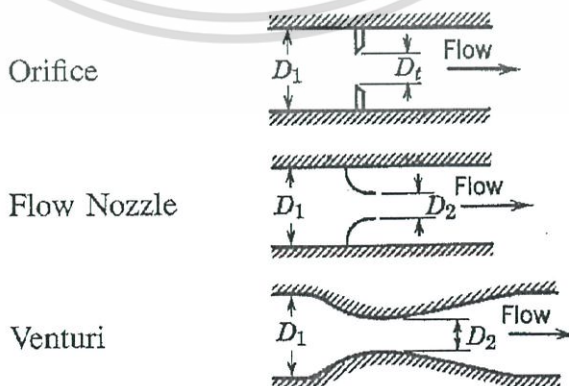
Re มากกว่า 4,001 สภาพการไหลเป็นแบบ Turbulent Flow



รูปที่ 2.8 Velocity Profile ของการไหล

2.3.2 หลักการของเครื่องมือวัดอัตราการไหล

มิเตอร์วัดอัตราการไหลมีหลายประเภทที่นิยมใช้คือ Orifice และ Venturi มิเตอร์ทั้ง 2 แบบ ทำงานโดยใช้หลักการลดพื้นที่หน้าตัดของการไหลทำให้ความเร็วของการไหลสูงขึ้นพร้อมกับความดันที่ลดลง ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ลดลงและความเร็วที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดเป็นแนวคิดหลักของการวัดอัตราการไหล

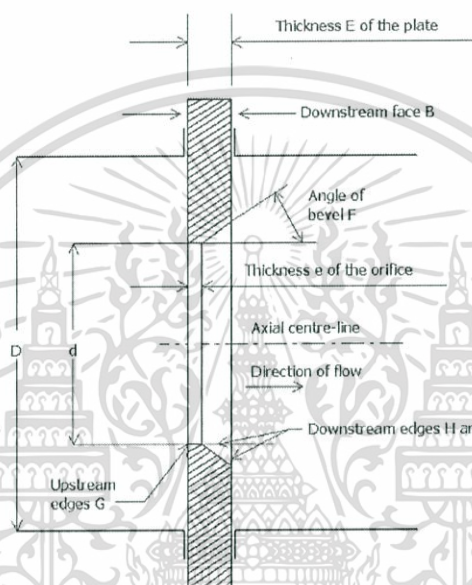


รูปที่ 2.9 เครื่องมือวัดอัตราการไหลชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 แผ่นออริฟิส (Orifice Plate) [4]

แผ่นออริฟิสมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะที่มีรูไว้สำหรับให้ของไหลไหลผ่าน ในการติดตั้งแผ่นออริฟิสจะถูกติดตั้งอยู่ระหว่างหน้าแปลน (Orifice Flange) ของท่อในลักษณะตั้งฉากกับกระแสการไหล เนื่องจากแผ่นออริฟิสมีการสร้างได้ง่ายและมีราคาถูก จึงทำให้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นอกจากนั้นแล้วยังมีความเชื่อถือในการวัดอัตราการไหลเป็นอย่างดี แผ่นออริฟิสสามารถทำขึ้นจากวัสดุได้หลายชนิด รวมทั้งวัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนจากของไหลที่นำไปใช้งานเช่น 316 Stainless Steel, Monel หรือ Inconel Orifice Plate ลักษณะพื้นฐานของแผ่นออริฟิสตามมาตรฐาน ISO 5167 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะของแผ่นออริฟิสตามมาตรฐาน ISO5167

ตามมาตรฐาน ISO 5167 ค่าความหนา e ของแผ่นออริฟิสจะอยู่ระหว่าง $0.005D$ ถึง $0.02D$ และ ค่าความหนา E จะอยู่ระหว่างขนาดความหนา e ถึง $0.05D$ โดยทั่วไปแล้ว ขนาดรูที่แผ่นออริฟิสจะแสดงในรูปอัตราส่วนระหว่าง เส้นผ่าศูนย์กลางรูกับเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อหรือค่า $\beta = d/D$ ซึ่งปกติจะมากกว่าหรือเท่ากับ 0.20 และ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.75

ข้อดีของการใช้แผ่นออริฟิสในการวัดอัตราการไหลคือ สะดวกในการติดตั้ง ราคาถูก มีแบบและวัสดุหลายชนิดให้เลือกใช้ ข้อเสียคือจะมีความไวต่อความเสียหายเมื่อเลือกใช้วัสดุไม่เหมาะสม เนื่องจากแผ่นออริฟิสเป็นแผ่นโลหะที่ต้องสัมผัสกับกระแสการไหลอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้อาจโค้งงอหรือสึกหรอได้ง่าย และต้องการระยะท่อที่เป็นทางตรงมากกว่าแบบอื่น ซึ่งแผ่นออริฟิสมีหลายแบบให้เลือกใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานเช่น Concentric, Eccentric, Segmental และ Quadrant Orifice Plate

2.3.3.1 ชนิดของแผ่นออริฟิส

1. Concentric Orifice Plate

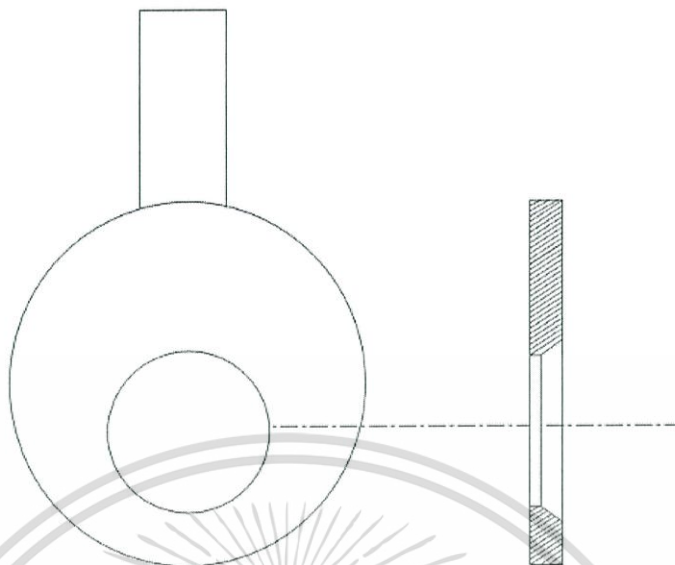
เป็นชนิดพื้นฐานของแผ่นออริฟิส และสามารถนำไปใช้กับของไหลได้เกือบทุกประเภท ยกเว้นของไหลที่มีสารแขวนลอย, มีส่วนผสมของสิ่งสกปรกหรือของแข็ง และของไหลที่มีความหนืดสูง จุดต่อสำหรับวัดค่าความดันความแตกต่างจากแผ่นออริฟิสสามารถใช้ได้หลายแบบดังนี้ แบบต่อที่หน้าแปลน (Flange Taps), แบบต่อที่จุด Vena Contracta (Vena Contracta Taps) และแบบต่อที่จุด Corner (Corner Taps) ลักษณะของแผ่นออริฟิสชนิดนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะแผ่นออริฟิสแบบ Concentric

2. Eccentric Orifice Plate

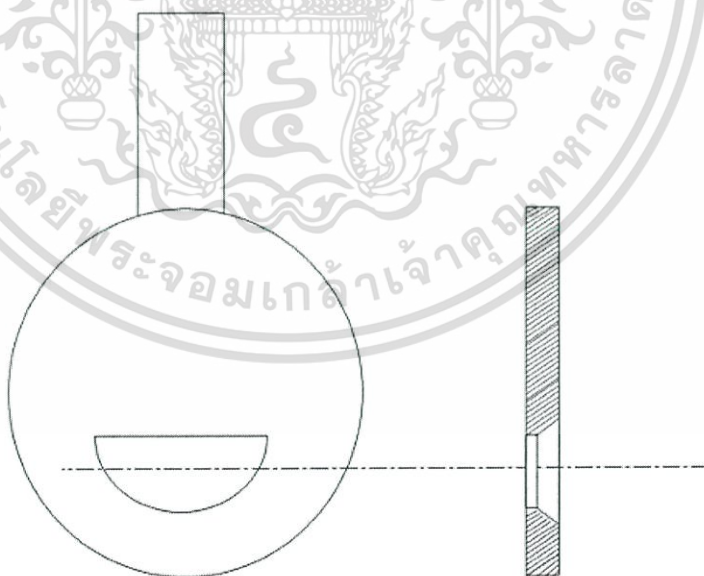
แผ่นออริฟิสแบบนี้จะมีรูเยื้องลงมาทางด้านล่างของแผ่นออริฟิสที่ติดตั้งอยู่ภายในท่อเพื่อลดการตกค้างของสารแขวนลอยหรือการตกตะกอนที่บริเวณด้านหน้าของแผ่นออริฟิสซึ่งจะเหมาะสมกับของไหลที่มีสารแขวนลอยมีส่วนผสมของสิ่งสกปรก หรือ ของแข็งจุดต่อสำหรับวัดค่าความแตกต่างของความดันสามารถใช้ได้ทั้ง แบบต่อที่หน้าแปลน (Flange Taps) และ แบบต่อที่จุด Vena Contracta (Vena Contracta Taps) ลักษณะของแผ่นออริฟิสชนิดนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลักษณะแผ่นออริฟิสแบบ Eccentric

3. Segmental Orifice Place

แบบนี้จะมีลักษณะและการใช้งานคล้ายกับแบบ Eccentric Orifice Plate แต่จะมีช่องเป็นครึ่งวงกลม ลักษณะของแผ่นออริฟิสชนิดนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13

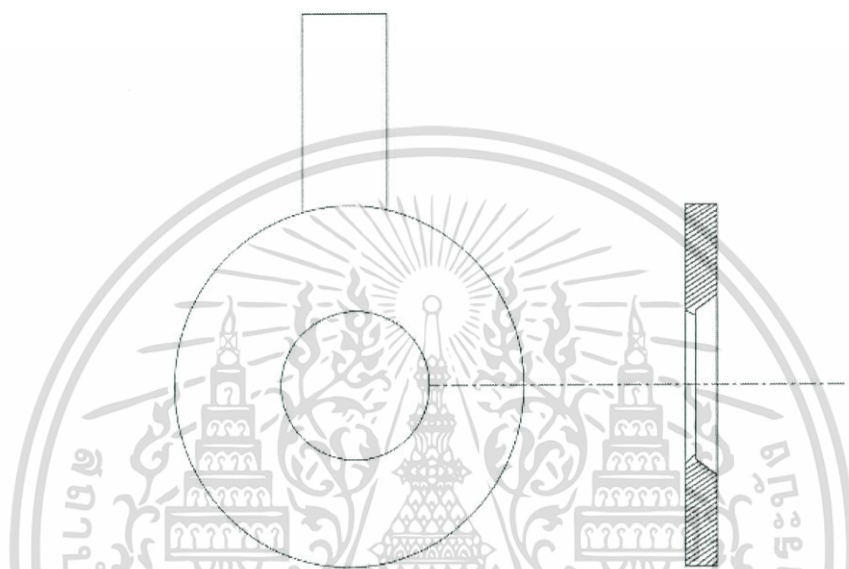


รูปที่ 2.13 ลักษณะแผ่นออริฟิสแบบ Segmental

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Quadrant Orifice Plate

แผ่นออริฟิสแบบนี้รูทางด้านเข้าจะเอียงประมาณ $1/4$ ของวงกลม และเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับของไหลที่มีความหนืดสูงๆ หรือมีค่า Reynolds ต่ำ จุดต่อสำหรับวัดค่าความแตกต่างของความดันสามารถใช้ได้หลายแบบดังนี้ แบบต่อที่หน้าแปลน (Flange Taps) แบบต่อที่จุด Vena Contracta (Vena Contracta Taps) และแบบต่อที่จุด Corner (Corner Taps) ลักษณะของแผ่นออริฟิสชนิดนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะแผ่นออริฟิสแบบ Quadrant

2.3.3.2 จุดต่อสำหรับวัดค่าความดันความแตกต่าง

ในการใช้งานแผ่นออริฟิสสำหรับวัดอัตราการไหลจะต้องมีจุดต่อสำหรับใช้วัดค่าความดันความแตกต่าง ทางด้าน Upstream และด้าน Downstream อย่างน้อยด้านละหนึ่งจุด เพื่อใช้สำหรับต่อไปยังอุปกรณ์วัดความดันแตกต่าง โดยการต่อจุดเพื่อใช้วัดค่าความดันความแตกต่างที่เกิดจากแผ่นออริฟิส สามารถแบ่งลักษณะจุดต่อได้ 3 แบบ ดังนี้

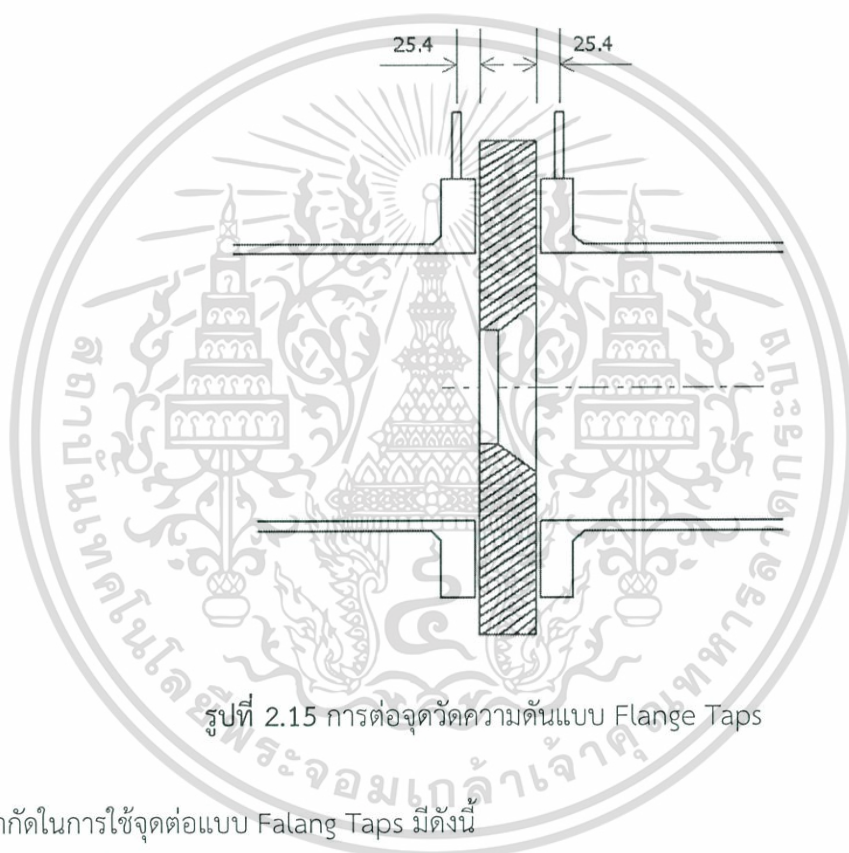
1. จุดต่อที่หน้าแปลน (Flange Taps)

จุดต่อแบบนี้จะอยู่ที่หน้าแปลน ซึ่งวัดจากด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นออริฟิสออกไปด้านละ 25.4 มิลลิเมตร โดยระยะอาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยขึ้นอยู่กับค่า Beta ของแผ่นออริฟิสที่เลือกใช้ โดยมีข้อกำหนดดังนี้

Beta > 0.6 และ $D > 150$ มิลลิเมตร ระยะเท่ากับ 25.4 ± 0.5 มิลลิเมตร

Beta < 0.6 หรือ Beta > 0.6 และ $150 < D < 10,000$ มิลลิเมตร

ระยะเท่ากับ 25.4 ± 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.15 การต่อจุดวัดความดันแบบ Flange Taps

ข้อจำกัดในการใช้จุดต่อแบบ Falang Taps มีดังนี้

1. $d \geq 12.5$ มิลลิเมตร
2. $50 \text{ มิลลิเมตร} \leq D \leq 1000 \text{ มิลลิเมตร}$
3. $0.2 \leq \beta \leq 0.75$
4. $ReD \geq 5000$ สำหรับ $0.2 \leq \beta \leq 0.45$
5. $ReD \geq 10000$ สำหรับ $\beta \geq 0.45$

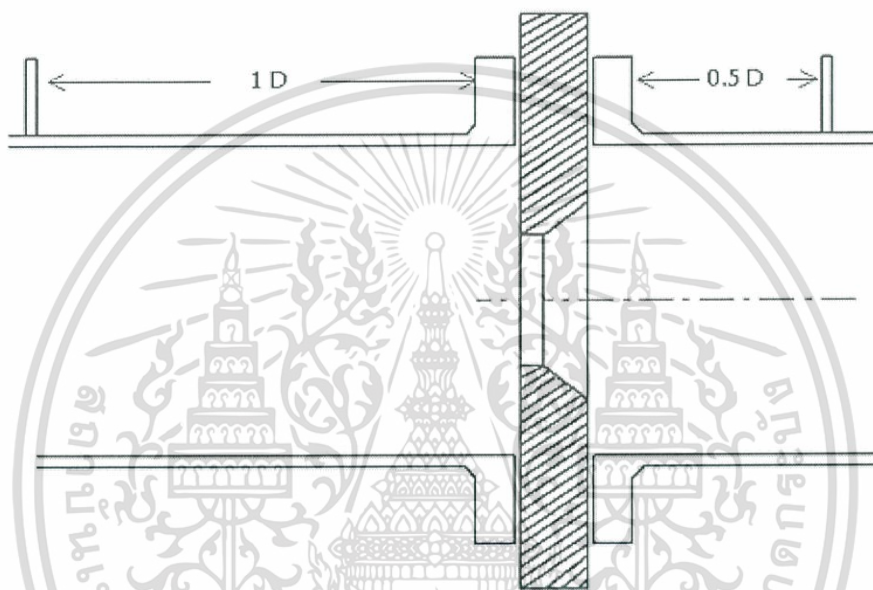
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จุดต่อที่ระยะ D และ 0.5D (Vena Contracta Taps)

จุดต่อแบบนี้จะอยู่ที่ท่อแทนที่จะอยู่ที่หน้าแปลนเหมือนกับแบบแรก ซึ่งวัดจากด้านหน้าของแผ่นออริฟิสออกไปที่ระยะ 1D และด้านหลังของแผ่นออริฟิสออกไปที่ระยะ 0.5D โดยระยะอาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยขึ้นอยู่กับ ค่า β ของแผ่นออริฟิสที่เลือกใช้ โดยมีข้อกำหนดดังนี้

$\beta \leq 0.6$ ระยะด้านหน้าเท่ากับ $D \pm 0.1D$ ระยะด้านหลังเท่ากับ $0.5D \pm 0.02D$

$\beta \geq 0.6$ ระยะด้านหน้าเท่ากับ $D \pm 0.1D$ ระยะด้านหลังเท่ากับ $0.5D \pm 0.01D$



รูปที่ 2.16 การต่อจุดวัดความดันแบบ Vena Contracta Taps

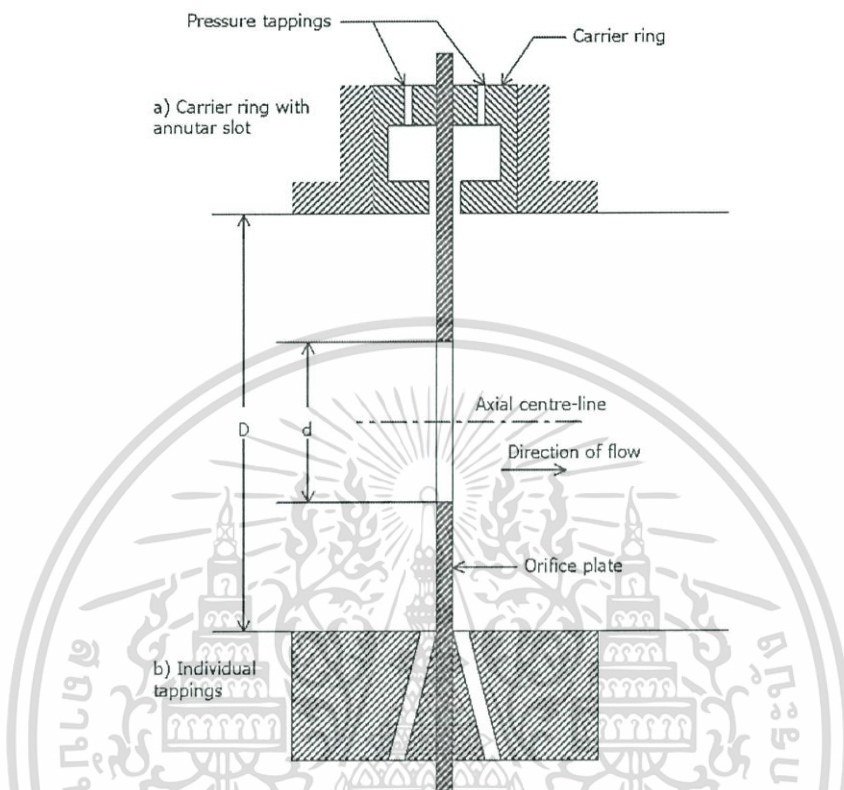
ข้อจำกัดในการใช้จุดต่อแบบ Vena Contracta Taps มีดังนี้

1. $d \geq 12.5$ มิลลิเมตร
2. 50 มิลลิเมตร $\leq D \leq 1000$ มิลลิเมตร
3. $0.2 \leq \beta \leq 0.75$
4. $ReD \geq 5000$ สำหรับ $0.2 \leq \beta \leq 0.45$
5. $ReD \geq 10000$ สำหรับ $\beta \geq 0.45$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จุดต่อที่ Corner (Corner Taps)

จุดต่อแบบนี้อยู่ที่หน้าแปลน ซึ่งจะติดกับแผ่นออริฟิส ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง



รูปที่ 2.17 การต่อจุดวัดความดันแบบ Corner Taps

ข้อจำกัดในการใช้จุดต่อแบบ Corner Taps มีดังนี้

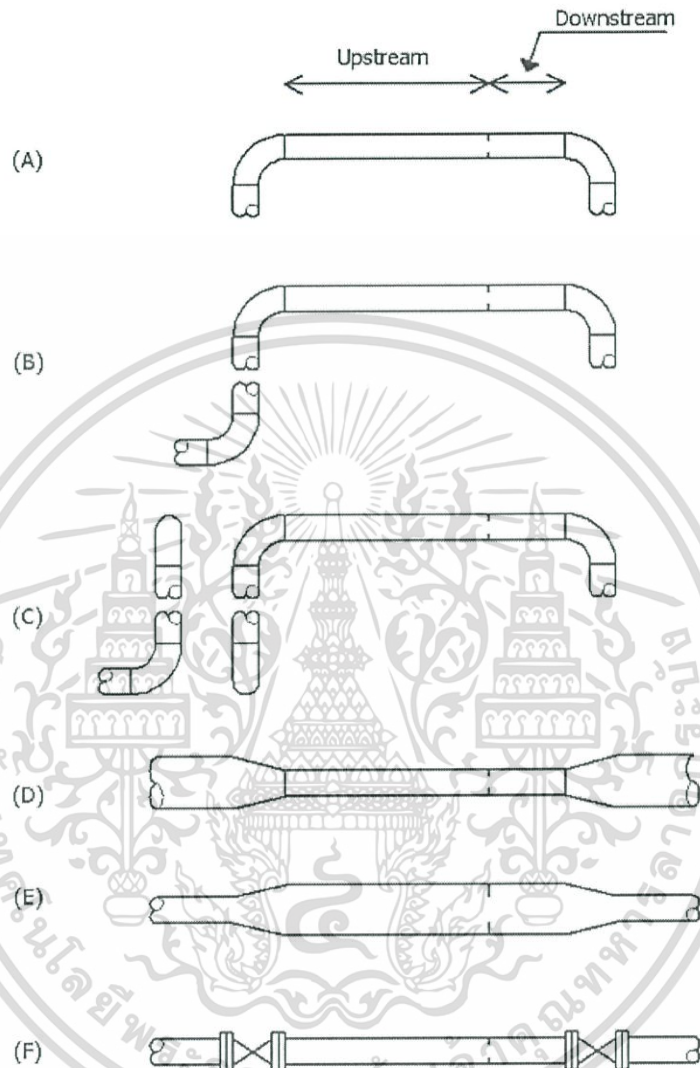
1. $d \geq 12.5$ มิลลิเมตร
2. $50 \text{ มิลลิเมตร} \leq D \leq 1000 \text{ มิลลิเมตร}$
3. $0.2 \leq \beta \leq 0.75$
4. $ReD \geq 1,260\beta^2 D$

2.3.3.3 การติดตั้งแผ่นออริฟิส

ในการติดตั้งใช้งานแผ่นออริฟิส จะต้องติดตั้งอยู่กับท่อในส่วนที่รูปแบบการไหลของไหลไม่เปลี่ยนแปลงมาก ถ้ารูปแบบการไหลมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาจะทำให้ผลต่อค่าอัตราการไหลที่วัดได้จากแผ่นออริฟิส ในโครงการก่อสร้างการติดตั้งท่อจะมีรูปแบบต่างๆ หลายรูปแบบ ซึ่งจะส่งผลต่อการวัดด้วยเช่นกัน ดังนั้นการวัดค่าอัตราการไหลในกระบวนการผลิตที่ต้องการความถูกต้อง จะต้องมีการจัดเตรียมท่อด้าน Upstream และด้าน Downstream ของแผ่นออริฟิสที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเส้นตรงให้มีระยะความยาวตามมาตรฐานสากลที่ใช้อ้างอิง ตัวอย่างของรูปแบบท่อในลักษณะนี้ แสดงได้ดังรูปที่ 2.18 และความต้องการท่อที่เป็นเส้นตรงดังตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.18 รูปแบบท่อที่ติดตั้งในลักษณะต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ความต้องการท่อที่เป็นเส้นตรงตามค่า β ต่างๆ

β	Upstream (Inlet) side of primary devices							Downstream (Outlet) Side of primary devices
	Single bend or tree (A)	Two Bend in the same plans (B)	Two Bend in the different plants (C)	Reducer (D)	Expander (E)	Globe valve fully open (F)	Ball or Gate valve fully open (F)	
0.20	10	14	34	5	16	18	12	4
0.25	10	14	34	5	16	18	12	4
0.30	10	16	34	5	16	18	12	5
0.35	12	16	36	5	16	18	12	5
0.40	14	18	36	5	16	20	12	6
0.45	14	18	38	5	17	20	12	6
0.50	14	20	40	6	18	22	12	6
0.55	16	22	44	8	20	24	12	6
0.60	18	26	48	9	22	26	14	7
0.65	22	32	54	11	25	28	16	7
0.70	28	36	62	14	30	32	20	7
0.75	36	42	70	22	38	36	24	7
0.80	46	50	80	30	54	44	30	7

การวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิสจะต้องมีการติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์วัดความดันแตกต่างกันด้วยเสมอ เพื่อใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณความดันแตกต่างจากหน้าแปลนของแผ่นออริฟิสไปเป็นสัญญาณมาตรฐานทางไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์หรือสัญญาณลมมาตรฐาน 3-15 psi ซึ่งปัจจุบันสัญญาณลมมีการใช้งานกันน้อยมาก สัญญาณมาตรฐานที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังระบบควบคุมหรือระบบแสดงผลต่อไป ในทำนองเดียวกันกับการติดตั้งแผ่นออริฟิส การติดตั้งอุปกรณ์วัดความดันแตกต่างกันจะต้องทำการติดตั้งให้ถูกต้องเพื่อให้ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์การวัดความดันแตกต่างกันมีความผิดพลาดต่ำ ตัวแปรหลักๆ สำหรับใช้พิจารณาการติดตั้งจะเป็นดังนี้

ตำแหน่งของอุปกรณ์การวัดความดันแตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับสถานะของไหลที่ต้องการวัด ถ้าของไหลมีสถานะเป็นก๊าซหรือไอ จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ให้อยู่เหนือจุดที่ทำกรวัด ถ้าของไหลมีสถานะเป็นของเหลวจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ให้อยู่ต่ำกว่าจุดที่ทำกรวัด เหตุผลหลักๆ คือ ในกรณีของไหลที่เป็นก๊าซนั้น ไม่ต้องการให้ของไหลมีการกลั่นตัวเป็นของเหลวค้างอยู่ในท่อจากจุดวัดไปยังอุปกรณ์ ในทำนองเดียวกันกับของไหลที่เป็นของเหลวที่ไม่ต้องการให้มีฟองอากาศอยู่ในท่อ เนื่องจากย่านการวัดของอุปกรณ์วัดความดันแตกต่างกันมีค่าต่ำมากเป็นมิลลิบาร์ ถ้ามีของเหลวหรือก๊าซปนอยู่ในท่อจากจุดวัดไปยังอุปกรณ์ไม่เท่ากัน ทำให้ความดันแตกต่างกันที่วัดได้มีค่าไม่ตรงกับค่าความดันแตกต่างที่ได้จากแผ่นออริฟิส ซึ่งจะทำให้ค่าอัตราการไหลที่อ่านได้บนหน่วยแสดงผลมีค่าไม่ถูกต้อง

2.3.3.4 การคำนวณขนาดรูของแผ่นออริฟิส

การวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิส สามารถวัดได้โดยการการหาค่าความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นจากแผ่นออริฟิส โดยความดันนี้จะวัดจากจุดต่อชนิดต่างๆ ที่ต่อออกมาจากท่อ ตามที่ได้กล่าวมาซึ่งความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้แปรผันตามขนาดของรูที่แผ่นออริฟิส ดังนั้นการใช้งานตามมาตรฐานจะต้องมีการกำหนดค่าความดันแตกต่างที่เป็นค่ามาตรฐานเพื่อนำไปหาขนาดรูของแผ่นออริฟิสที่เหมาะสมกับอัตราการไหลของระบบที่จะนำแผ่นออริฟิสไปใช้งานหรือเป็นไปตามข้อมูลของกระบวนการผลิต เหตุที่ต้องกำหนดค่าความดันแตกต่างมาตรฐานสำหรับในการนำไปใช้หาขนาดรูของแผ่นออริฟิสนั้น เพราะว่าสามารถเลือกใช้อุปกรณ์วัดความดันแตกต่างที่มีการกำหนดย่านการวัดค่าความดันแตกต่างให้มีค่าเท่ากัน เพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกันและเก็บอุปกรณ์สำรองได้ง่าย ซึ่งการคำนวณหาขนาดรูของออริฟิสสามารถอ้างอิงจากหนังสือ Flow Measurement Engineering Handbook ของ Richard W. Miller ได้ตามสมการต่อไปนี้

Sizing the bore of orifice plate

1. Calculation S_M Factor

$$S_M = \frac{\sqrt{F_p \sqrt{G_F} q_v}}{N_{vg} F_a D^2 \sqrt{h_w}} \quad (2.6)$$

2. Calculation R_D

$$R_D = 17,902.78 \left(\frac{G_B}{\mu_{cp} D N_{vg}} \right) \quad (2.7)$$

3. Calculation β Ratio

$R_D < 200,000$ used

$$\beta = \left(1 + \left(\frac{0.6}{S_M} + 0.06 \right)^2 \right)^{-\frac{1}{4}} \quad (2.8)$$

4. Bore size of orifice

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (2.9)$$

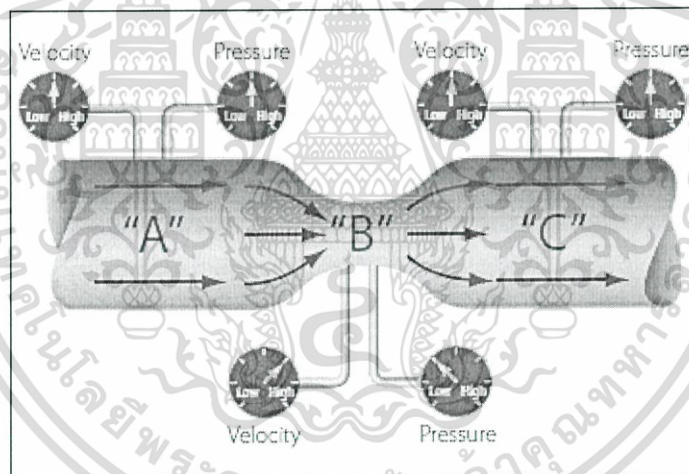
โดยในการคำนวณหาขนาดรูของแผ่นออริฟิส ผู้ทำการคำนวณจะต้องกำหนดตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการมาก่อนเพื่อที่จะเลือกขนาดแผ่นได้ถูกต้องโดยตัวแปรที่ใช้มีดังตัวอย่างต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Flow rate : (q_{gpm})
- Differential Pressure at urv flowrate
- Pipe Diameter
- Liquid Viscosity μ_{cP}
- Unit Conversion Constant N_{VG}
- Liquid Compressibility Factor F_p
- Thermal Expansion Factor F_a
- Specific Gravity G_F

2.3.4 กฎของ Bernoulli [1]

การวัดอัตราการไหลแบบวัดความดันแตกต่างจะอาศัยหลักการทฤษฎีของ Bernoulli นำมาประยุกต์ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลที่เป็นของเหลว ใอน้ำ และก๊าซ โดยทฤษฎีของ Bernoulli กล่าวไว้ว่า “ของไหลแบบที่มีอัตราการไหลสม่ำเสมอภายในท่อที่ปราศจากแรงเสียดทานแล้ว ผลบวกของ Velocity Head, Pressure Head และ Elevation Head ในทุกจุดของท่อจะมีค่าคงที่”



รูปที่ 2.19 ทฤษฎีการไหลในท่อของ Bernoulli

ถ้ากำหนดให้

- V_1 คือ ความเร็วของของไหลที่จุด 1
- V_2 คือ ความเร็วของของไหลที่จุด 2
- P_1 คือ ความดันแบบ Static ที่จุด 1
- P_2 คือ ความดันแบบ Static ที่จุด 2
- Z_1 คือ ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อที่จุด 1
- Z_2 คือ ระดับความสูง ณ จุดศูนย์กลางของท่อที่จุด 2
- G คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
- γ คือ ค่าน้ำหนักจำเพาะของของไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามสมการของ Bernoulli เปรียบเทียบที่จุด 1 และ 2 จะได้

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 \quad (2.10)$$

เนื่องจากระดับความสูงของเหลว $Z_1 = Z_2$ เพราะท่อเป็นแกนนอนจะได้ว่า

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \quad (2.11)$$

เนื่องจากสภาพการไหลเป็นแบบต่อเนื่อง ดังนั้นปริมาณการไหล Q ของของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด ณ จุดใดๆ ของท่อจะต้องมีค่าคงที่เสมอ นั่นคือปริมาณการไหล ณ จุดที่ 1 และ จุดที่ 2 จะต้องมีค่าเท่ากัน ถ้าให้ A_1 และ A_2 คือพื้นที่หน้าตัดที่ จุด 1 และ จุด 2 ตามลำดับจะได้

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (2.12)$$

สามารถจัดรูปใหม่ได้ว่า

$$V_1 = \frac{A_2 V_2}{A_1} \quad (2.13)$$

นำค่า V_1 ที่ได้จากสมการที่ 4 แทนในสมการที่ 2

$$V_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right) = 2g \left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma} \right) \quad (2.14)$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right)}}$$

V_2 เป็นความเร็วของของไหลผ่านออริฟิส เนื่องจากปริมาณการไหล $Q = VA$ ดังนั้น

$$A_2 V_2 = A_2 \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right)}} \quad (2.15)$$

ถ้าให้ $P_1 - P_2 = \Delta P$ และอัตราส่วน $\frac{A_2}{A_1} = \beta$ จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2g(\Delta P)}{\gamma(1-\beta^2)}} \quad (2.16)$$

ผลที่ได้จากสมการที่ 7 เป็นค่า Q ที่ได้จากทฤษฎีเท่านั้น ในทางปฏิบัติจริงแล้ว ค่า Q ที่ได้จะมีค่าต่ำกว่า Q ทางทฤษฎี ดังนั้น จะต้องมียุคสัมประสิทธิ์อีกตัวหนึ่งใช้คูณเพื่อให้ค่าที่ได้เป็นค่า Q ที่แท้จริง สัมประสิทธิ์ตัวนี้ได้จากการทดลองเรียกว่า Coefficient of Discharge : C_d โดยจะได้ว่า

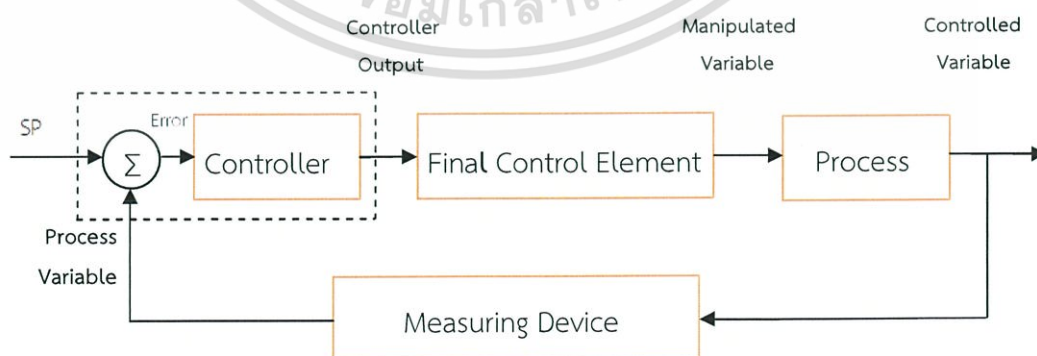
$$Q = A_2 C_d \sqrt{\frac{2g(\Delta P)}{\gamma(1-\beta^2)}} \quad (2.17)$$

จะเห็นว่าจากการคำนวณหาการไหลนั้น จำเป็นที่จะต้องหาค่า β ก่อนอันดับแรก จึงสามารถที่จะหาค่าและเลือกเครื่องมือวัดความดันแตกต่างกันที่จะใช้ได้ และการใช้งานแผ่นออริฟิสต้องใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดความดันแตกต่างกันเสมอ เขียนเป็นรูปใหม่ได้เป็น

$$Q = k\sqrt{\Delta P} \quad (2.18)$$

2.4 หลักการควบคุมแบบป้อนกลับ

ในปัจจุบันระบบควบคุมแบบป้อนกลับถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย เช่น การควบคุมอุณหภูมิ การควบคุมระดับ หรือการควบคุมความดัน ส่วนใหญ่ล้วนแล้วแต่ใช้หลักการควบคุมแบบป้อนกลับทั้งสิ้น ระบบควบคุมแบบป้อนกลับจะเป็นระบบที่รักษาค่าเอาต์พุตไว้ตามที่ต้องการโดยการนำค่าเอาต์พุตกลับมาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายและนำค่าความแตกต่างหรือค่าความผิดพลาดนั้นกลับมาควบคุมกระบวนการ โดยระบบควบคุมแบบป้อนกลับจะมีส่วนประกอบโดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบของระบบควบคุมอัตโนมัติแบบป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.20 แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุม (Controller) อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) กระบวนการ (Process) และ อุปกรณ์วัด (Measuring Device) รวมกันเป็นส่วนเดียวเรียกว่าพลานต์ (Plant) โดยตัวควบคุมจะมีหน้าที่หลักคือสร้างสัญญาณควบคุม (Controller Output) ให้เหมาะสมตามแต่ละกระบวนการควบคุม ขณะที่อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายทำหน้าที่ปรับสถานะของกระบวนการ MV (Manipulated Variable) ตามคำสั่งที่ได้รับจากตัวควบคุมซึ่งตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการควบคุม ได้แก่

- PV (Process Variable) คือ ค่าตัวแปรกระบวนการที่เกิดจากผลการทำงานของระบบ
- SP (Set Point) คือ ค่าเป้าหมายที่ต้องการ
- E (Error) คือ ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นโดย $E = SP - PV$ หรือ $E = PV - SP$
- MV (Manipulated Variable) คือ ค่าตัวแปรสั่งการที่ปรับกระบวนการ
- CV (Controlled Variable) คือ ค่าตัวแปรที่ถูกควบคุม

หลักการการทำงานของกระบวนการควบคุมแบบป้อนกลับคือ เมื่อทำการตั้งค่า SP ไว้แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่า PV เพื่อให้ได้ค่า Error ออกมา โดยตัวควบคุมจะนำค่าที่ได้กลับมาเป็นตัวปรับแต่งกระบวนการ MV เพื่อที่จะลดค่า Error ให้ได้ต่ำที่สุดโดยองค์ประกอบพื้นฐานของระบบควบคุมแบบป้อนกลับจะมีอยู่ 4 ส่วนหลักด้วยกันคือ ตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย กระบวนการ และ อุปกรณ์วัด โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

1. ตัวควบคุม เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุม เพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้ระบบหรือกระบวนการที่ต้องการควบคุมมีผลตอบสนองเป็นไปตามที่ต้องการโดยตัวควบคุมที่นิยมใช้กันในปัจจุบันคือ ตัวควบคุมแบบ พีไอดี
2. อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสถานะของกระบวนการด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรปรับกระบวนการตามคำสั่งที่ได้รับมาจากตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายที่นิยมใช้มีอยู่หลายชนิดเช่น วาล์วควบคุม อินเวอร์เตอร์ เป็นต้น
3. กระบวนการ คือระบบหรือกระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการควบคุมให้มีสถานะเป็นไปตามที่ต้องการเช่นกระบวนการควบคุมระดับของเหลว กระบวนการควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น โดยค่าที่แสดงกระบวนการคือ PV
4. อุปกรณ์วัด หมายถึงอุปกรณ์จำพวกเซนเซอร์ อุปกรณ์วัดและส่งสัญญาณ หรือเครื่องมือวัดอื่นๆในกระบวนการ เพื่อนำสัญญาณที่วัดได้ในกระบวนการไปใช้เป็นตัวแปรในการควบคุม ซึ่งค่าสัญญาณที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือสัญญาณมาตรฐานทางอุตสาหกรรม 1-5 VDC, 4-20 mA และที่ใช้กันน้อยในปัจจุบันคือ 3 – 15 psig และปัจจุบันได้พัฒนาเป็นสัญญาณดิจิตอลที่เที่ยงตรงและรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

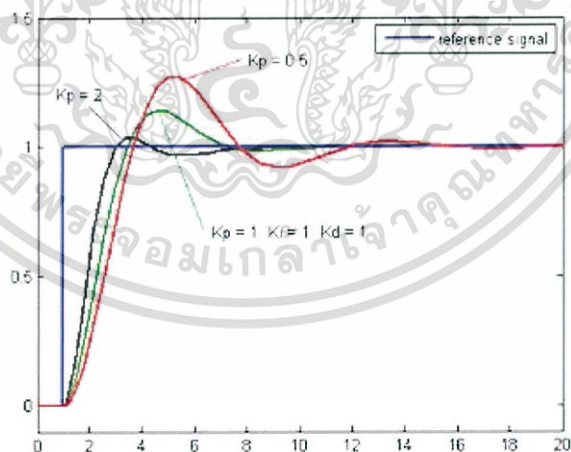
2.5 ระบบควบคุมแบบพีไอดี [1],[7]

ระบบควบคุมแบบพีไอดี หรือระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณนั้นเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการตัวควบคุม โดยจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ พีไอดี ที่ใช้ จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ โดยค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในกระบวนการมีดังนี้

- pv = Process Variable คือค่าสัญญาณที่ได้จากเครื่องมือวัด
- sp = Setpoint หรือ sv set value คือค่าเป้าหมายที่ต้องการในกระบวนการ
- dv = Deviation หรือ e : Error คือค่าความผิดพลาด
- mv = Manipulated Value สัญญาณควบคุม
- C = Cascade หรือ Remote Set Mode
- A = Automatic Mode
- M = Manual Mode

1. การควบคุมแบบ Proportional (P)

การควบคุมแบบ P ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะแปรผันตรงกับค่าความผิดพลาด กล่าวคือถ้าความผิดพลาดมีค่ามากขึ้น ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่ามากขึ้นตาม และถ้าค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยลง ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมก็จะมีค่าน้อยลงตาม โดยตัวควบคุมแบบ P จะเหมาะกับกระบวนการควบคุมที่ Time Lag ไม่มาก และมีจุดอ่อนอยู่ที่ก่อให้เกิด Offset

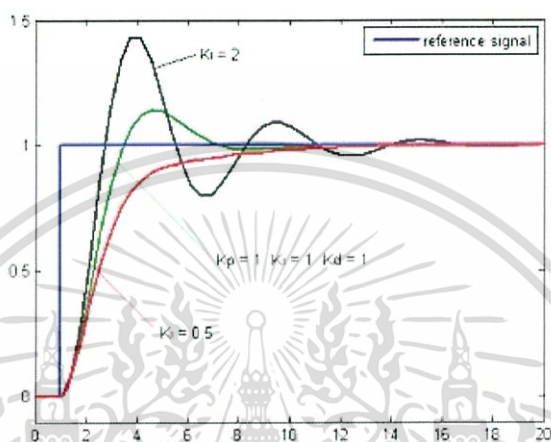


รูปที่ 2.21 การควบคุมแบบ P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การควบคุมแบบ Integral (I)

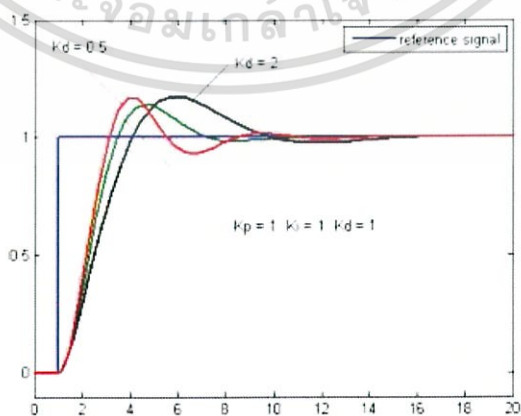
การควบคุมแบบ I หรือ reset เป็นสัดส่วนของขนาดความผิดพลาดและระยะเวลาของความผิดพลาดผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด) จะให้ Offset สละสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้าความผิดพลาดสละสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์ K_i ซึ่งการควบคุมแบบ I จะทำให้ไม่เกิด Offset ในระบบและลดค่าพุ่งเกินของระบบลงได้ แต่ถ้าหากใส่มากเกินไปจะทำให้ผลการตอบสนองของกระบวนการช้าลง



รูปที่ 2.22 การควบคุมแบบ I

3. การควบคุมแบบ Derivative (D)

การควบคุมแบบ D เรียกอีกชื่อหนึ่งว่าการควบคุมแบบอัตราส่วน สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมที่ปล่อยออกมานั้นจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดต่อเวลา จะเห็นได้ว่าความผิดพลาดนี้มีโอกาสเป็นศูนย์ได้ และค่าเอาต์พุตก็สามารถเปลี่ยนแปลงให้มีค่าสูงขึ้นเมื่อความผิดพลาดเปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกการกระทำดังกล่าวว่า อัตราการกระทำ โดยผลของกริยาควบคุมแบบ D จะทำให้ผลตอบสนองของกระบวนการนั้นเร็วขึ้น แต่ระบบจะไวต่อการรบกวนมาก

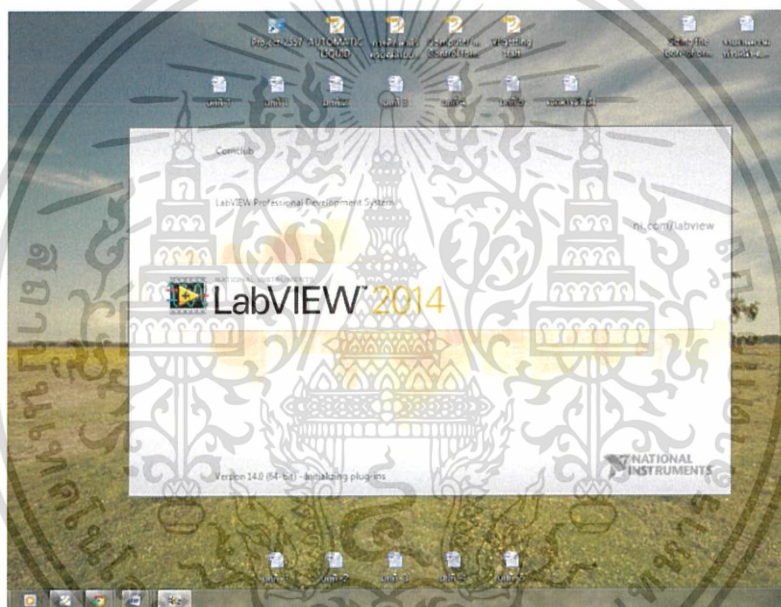


รูปที่ 2.23 การควบคุมแบบ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 โปรแกรม Labview [8]

โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่สร้างขึ้นมานำมาใช้ในด้านการวัดและควบคุม สำหรับงานทางวิศวกรรมโดย Labview ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้สร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้ คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัดอย่างมีประสิทธิภาพ และในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ช่วยในการวัดมากมาย โปรแกรมนี้จะมีประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรม สิ่งที่โปรแกรม LabVIEW นั้นแตกต่างจากโปรแกรมอื่นคือ LabVIEW เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) โดยสมบูรณ์ นั่นคือไม่จำเป็นต้องเขียนคำสั่งใดๆ และที่สำคัญ ลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้จะเป็นภาษารูปภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่า ภาษา G (Graphical Language) ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดอย่าง ที่คุ้นเคยกับภาษาพื้นฐาน เช่น C, BASIC หรือ FORTRAN ด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ทั้งหมด

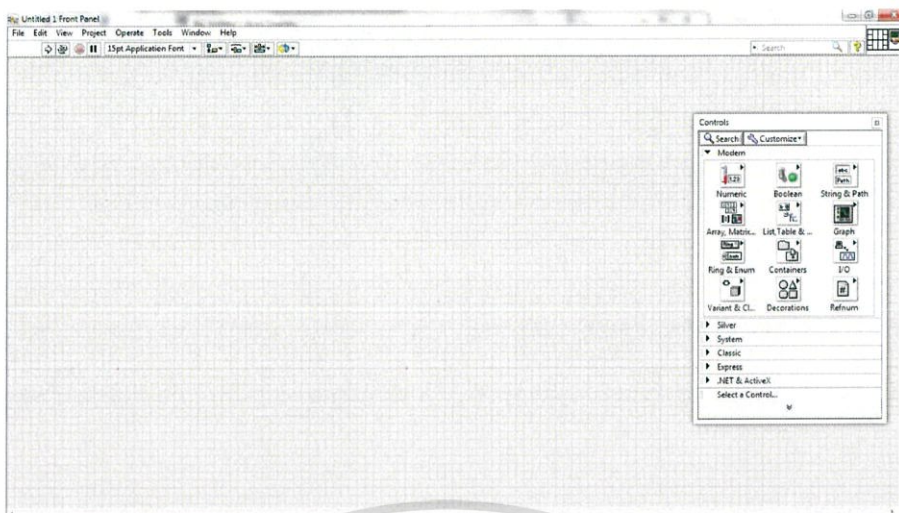


รูปที่ 2.24 โปรแกรม LabVIEW สำหรับควบคุมกระบวนการ

ส่วนประกอบของโปรแกรม LabVIEW โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดย LabVIEW นั้นจะเรียกว่า Virtual Instrument หรือ VI โดยทั่วไปแล้วสำหรับแต่ละ VI จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบสามส่วนคือ Front Panel, Block Diagram, Icon และ Connector

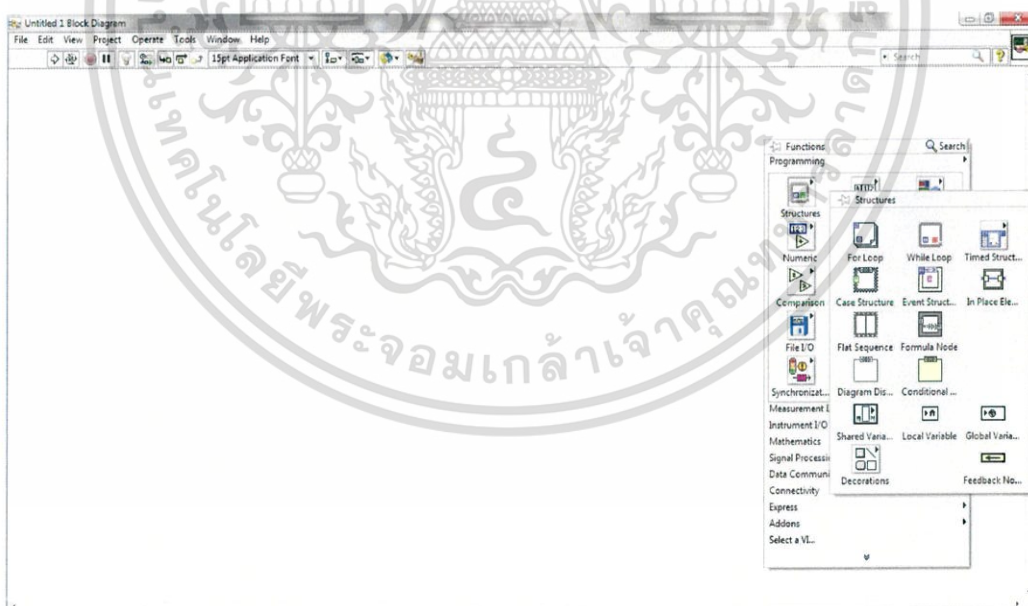
1. **Front Panel** เป็นส่วนที่เรียกว่า User Interface ทำหน้าเป็นสื่อกลางใช้ติดต่อสื่อสารกันระหว่างผู้ใช้ กับ ตัวโปรแกรม โดย จะมีอุปกรณ์ที่อยู่บนหน้า Front Panel ด้วยกันสามประเภทคือ Control คือฟังก์ชันประเภทรับค่าจากผู้ใช้ Indicator ประเภทใช้แสดงค่าเท่านั้น Decoration เป็น Object ที่ไม่เกี่ยวข้องกับโปรแกรม มีไว้เพื่อความสวยงามเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 หน้า Front Panel ของโปรแกรม

2. BlockDiagram คือส่วนที่ใช้สำหรับเขียนโปรแกรมในการควบคุมกระบวนการต่างๆ โดยรูปแบบภาษาที่ใช้เขียนเป็นภาษากราฟิก ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับ Function Block ของระบบ DCS ส่วนประกอบภายใน Block Diagram ประกอบด้วยฟังก์ชัน ค่าคงที่โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้นในแต่ละส่วนจะปรากฏในรูปของ Block



รูปที่ 2.26 หน้า Block Diagram ของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 Single Loop Controller

การควบคุมอัตโนมัติได้มีวิวัฒนาการและการค้นคว้าทางด้านทฤษฎีมาเป็นเวลานาน ทั้งนี้เพื่อวัตถุประสงค์ในการควบคุมการผลิตให้เป็นไปตามที่ต้องการซึ่งอุปกรณ์สำคัญที่ทำหน้าที่ในการควบคุมกระบวนการคือ ตัวควบคุม

ตัวควบคุมเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบการควบคุมแบบอัตโนมัติ ซึ่งทำหน้าที่ในการสั่งการด้วยการสร้างสัญญาณสำหรับควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ให้มีผลตอบสนองเป็นไปตามที่ต้องการ โดยสัญญาณควบคุมนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความผิดพลาดของการควบคุมเทียบกับค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ โดยตัวควบคุมที่ถูกนำมาใช้และรู้จักกันแพร่หลายที่สุดในวงการอุตสาหกรรมการผลิตคือ ตัวควบคุมแบบพีไอดี



รูปที่ 2.27 ตัวควบคุมพีไอดี

Single Loop Controller เป็นตัวควบคุมที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเช่น โรงไฟฟ้า โรงกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมปิโตรเคมี โดยตัวควบคุมจะรับค่าจากกระบวนการซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ อัตราการไหล ความดัน จากอุปกรณ์วัดภายในระบบ และทำการพิจารณาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการตรวจวัด กับค่าเป้าหมายที่ต้องการควบคุมเพื่อส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์ทำงานต่อไปโดยส่วนใหญ่จะเป็นการควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุม และมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ Proportional (P), Integral (I), Derivative (D)

2.7.1 การควบคุมแบบ Proportional

การควบคุมแบบ P นั้นค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะแปรผันตรงกับค่าความผิดพลาด $e(t)$ ของกระบวนการโดยเทียบกับค่าเป้าหมาย ทรียาควบคุมแบบพีสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$m_p(t) = K_p e(t) + m \quad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $m_p(t)$ คือ ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Proportional
 K_p คือ อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Proportional
 m คือ ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมที่ค่าความผิดพลาดเป็นศูนย์

2.7.2 การควบคุมแบบ Integral

กริยาควบคุมแบบ I หรือเรียกอีกอย่างว่าการควบคุมแบบรีเซ็ต ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมสามารถหาได้จากค่าพื้นที่ทั้งหมดภายใต้กราฟของค่าความผิดพลาดต่อเวลา คูณกับค่าคงที่ที่เรียกว่าอัตราขยายของตัวควบคุมแบบไอ (Integral Gain) ดังนี้

$$m_I(t) = K_I \int e(t)dt + m_I(0) \quad (2.20)$$

- $m_I(t)$ คือ ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Integral
 K_I คือ อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Integral
 $m_I(0)$ คือ ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมที่เวลาเท่ากับ 0
 $\int e(t)dt$ คือ พื้นที่ทั้งหมดของค่าความผิดพลาด
 ผลของกริยาแบบ I นี้จะไม่ทำให้เกิดออฟเซตขึ้นในระบบ และลดค่าพุงเกินของระบบลงได้ แต่ถ้ากริยาของไอมากไปจะทำให้ผลตอบสนองของกระบวนการช้าลง

2.7.3 การควบคุมแบบ Derivative

กริยาควบคุมแบบ D หรือเรียกอีกอย่างว่าการควบคุมแบบอัตราส่วน โดยค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับอัตราความเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดต่อเวลาสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$m_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.21)$$

- $m_D(t)$ คือ ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ Derivative
 K_D คือ อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Derivative
 $de(t)/dt$ คือ ค่าความผิดพลาดที่เวลา t

ผลของกริยาควบคุมแบบ D จะทำให้ผลตอบสนองของกระบวนการเร็วขึ้นแต่ว่าระบบก็จะมี ความไวต่อการรบกวนมากขึ้นตามไปด้วย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

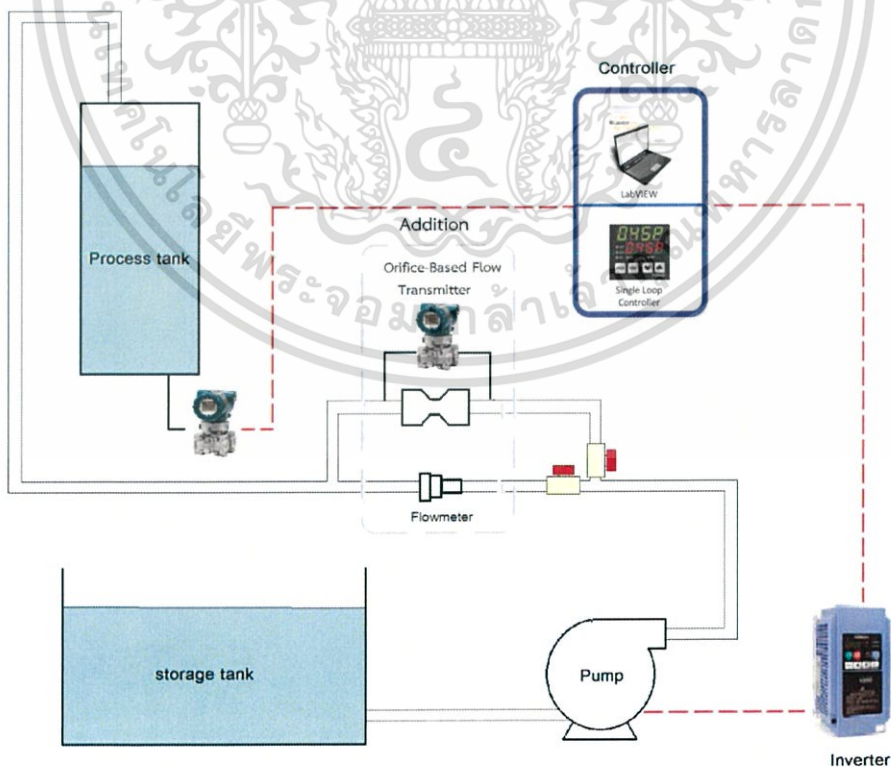
3.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและขั้นตอนการสร้างพลาเน็ตโมเดลสำหรับการควบคุมระดับน้ำ โดยมีการอธิบายในส่วนของข้อกำหนดเงื่อนไขของกระบวนการ การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ เช่น การคำนวณและเลือกอุปกรณ์สำหรับใช้งานภายในระบบ การคำนวณขนาดความยาวของท่อที่ใช้ และในส่วนของระบบการควบคุมระดับของของเหลวจะใช้โปรแกรม LabVIEW ในการสร้างโปรแกรมสำหรับควบคุมกระบวนการและส่วนเชื่อมต่อผู้ใช้งาน ตลอดจนการตั้งค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมกระบวนการของ Single-loop Controller โมเดล TTM-007 ที่นำมาประยุกต์ใช้ในพลาเน็ตโมเดลที่ได้สร้างขึ้น

3.2 การกำหนดเงื่อนไขในการควบคุมกระบวนการ

3.2.1 โครงสร้างของระบบการควบคุมระดับน้ำที่ต้องการนำมาสร้างเป็นพลาเน็ตโมเดล

รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของระบบการควบคุมระดับน้ำที่ต้องการนำมาสร้างเป็นพลาเน็ตโมเดล ซึ่งประกอบไปด้วย ถังสำหรับควบคุมระดับของของเหลวในกระบวนการ (Process Tank) ทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter) ปั๊มน้ำ (Water Pump) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) และคอนโทรลเลอร์ (Controller) ค่าระดับน้ำในถังจะถูกควบคุมโดยการ



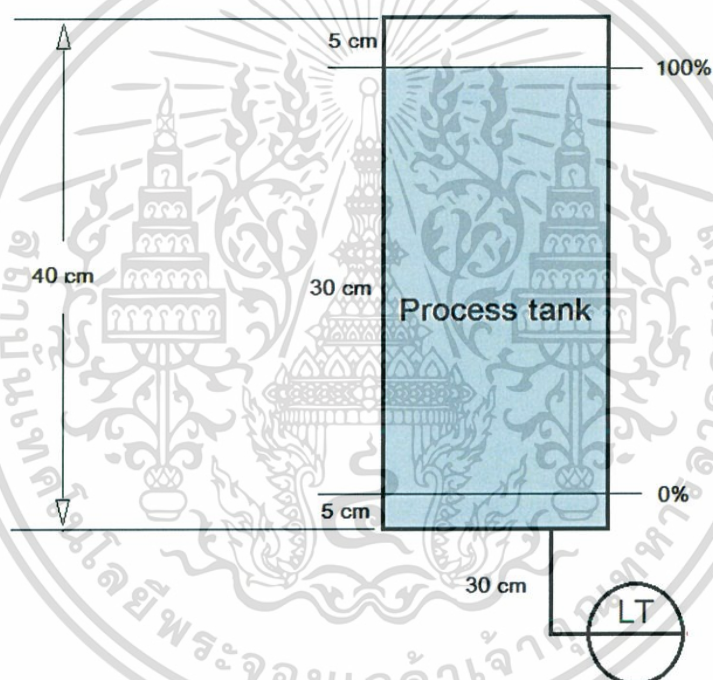
รูปที่ 3.1 ระบบการควบคุมระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับค่าอัตราการไหลด้านขาเข้าของถังด้วยการทำงานของอินเวอร์เตอร์ร่วมกับปั้มน้ำ โดยตัวควบคุมในกระบวนการสามารถเลือกใช้ได้สองแบบคือฟังก์ชันพีไอดีจากโปรแกรม LabVIEW และ Single-loop Controller หลังจากตัวควบคุมได้ทำการประมวลผลเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้แล้วจึงทำการส่งสัญญาณควบคุมไปยังตัวควบคุมสุดท้ายซึ่งก็คืออินเวอร์เตอร์ เพื่อทำการปรับอัตราการไหลเข้าสู่กระบวนการ

นอกจากนี้ ยังได้มีการติดตั้งทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิส (Orifice-Based Flow Transmitter) และเครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flowmeter) ทางด้านขาเข้าของกระบวนการสำหรับการสร้างโปรแกรมในการแสดงค่าอัตราการไหลหรือการเขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมแบบคาสเคดในอนาคต

3.2.2 เจ็อนไขในการควบคุมกระบวนการของฟลานโมเดล



รูปที่ 3.2 ถังสำหรับควบคุมระดับน้ำ

จากรูปที่ 3.1 ถังที่ใช้สำหรับการควบคุมระดับน้ำในกระบวนการมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และมีความสูง 40 เซนติเมตร จะได้ความจุของถังมีค่าประมาณ 3.14 ลิตร โดยส่วนประกอบของฟลานโมเดลทางด้านฮาร์ดแวร์ประกอบไปด้วยท่อ (Pipe) และฟิตติ้ง (Fitting) ขนาด 1/2 นิ้ว ในการควบคุมระดับของน้ำในถังได้เลือกกำหนดผลต่างระหว่างค่าระดับต่ำสุดที่ 0 % (Minimum Level) และค่าระดับสูงสุด 100 % (Maximum Level) เป็นระยะ 30 cm ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยกำหนดให้ ค่าระดับต่ำสุดที่ 0 % มีค่าเหนือระดับกันถังเป็นระยะเท่ากับ 5 cm ทำให้มี suppress zero เท่ากับ 350 mmH₂O แสดงดังรูปที่ 3.2 และมีการติดตั้งทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่างที่ก้นของถังสำหรับควบคุมระดับของของเหลวเพื่อวัดและส่งค่าไปยังตัวควบคุมในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การคำนวณและเลือกอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับพลานต์จำลองการควบคุมระดับ

รูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของถังที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำ โดยที่

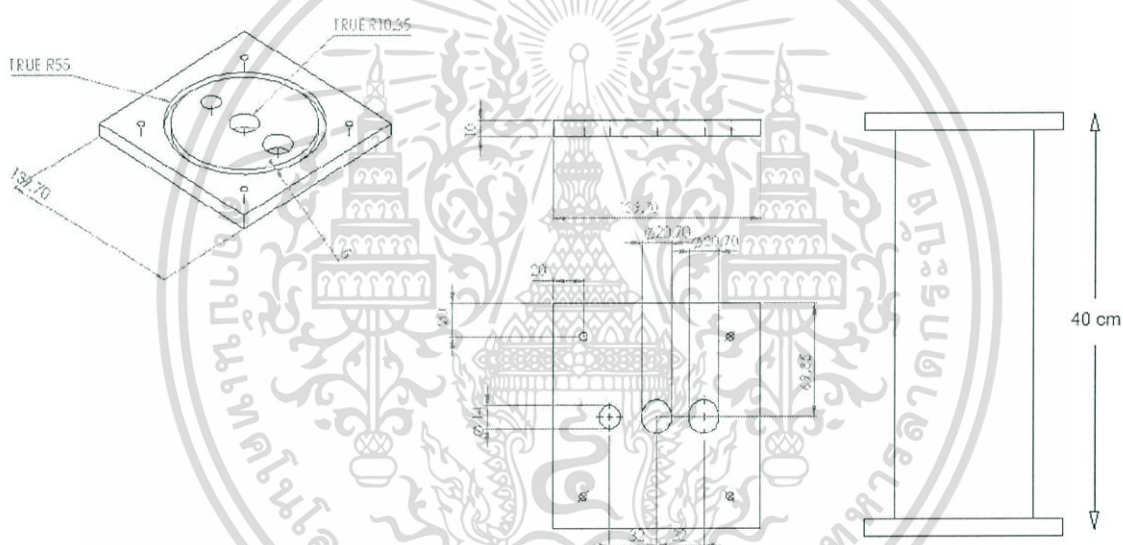
เส้นผ่านศูนย์กลาง = 10 cm

ความสูงของถัง = 40 cm

เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเข้า/ออก = 1.3 cm = 0.5118 inch

จะได้ค่าปริมาตรของถัง คือ

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของถัง} &= \pi r^2 h \\ &= \pi (5 \text{ cm})^2 (40 \text{ cm}) \\ &= 3,142 \text{ cm}^3 \\ &= 3.142 \text{ L} \end{aligned}$$



รูปที่ 3.3 ถังที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำ

3.3.1 การหาขนาดของเครื่องมือวัดอัตราการไหล [9]

การคำนวณเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของเครื่องมือวัดที่ใช้กับการวัดอัตราการไหลแบบ ออริฟิสนั้น จำเป็นที่จะต้องทำการหาค่า β ก่อน โดยค่า β นั้นคืออัตราส่วนระหว่างขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ และขนาดรูของแผ่นออริฟิส โดยการคำนวณสามารถทำได้โดยใช้สมการที่ (2.6) – (2.9) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sizing the bore of orifice plate

Designed information

- Flow rate : $(q_{\text{rpm}})_{\text{urv}} = 9.246 \text{ gal/min}$
- Differential Pressure at urv flowrate = $400 \text{ mmH}_2\text{O} = 15.748 \text{ inch}$
- Pipe Diameter (D) = 0.5 inch
- Liquid Viscosity $\mu_{\text{cP}} = 0.809 \text{ cP}$
- Unit Conversion Constant $N_{\text{VG}} = 5.666$
- Liquid Compressibility Factor $F_p = 1$
- Thermal Expansion Factor $F_a = 1$
- Specific Gravity $G_F = 1$

Calculation S_M Factor

$$S_M = \frac{\sqrt{F_p} \sqrt{G_F} q_v}{N_{\text{vg}} F_a D^2 \sqrt{h_w}}$$

$$S_M = \frac{(\sqrt{1})(\sqrt{1})(9.246)}{(5.666)(1)(0.5^2)(\sqrt{15.748})}$$

$$S_M = 1.645$$

Calculation R_D

$$R_D = 17,902.78 \left(\frac{G_B}{\mu_{\text{cP}} D N_{\text{vg}}} \right) q_v$$

$$R_D = 17,902.78 \left(\frac{1}{(0.809)(0.5)(5.666)} \right) 9.246$$

$$R_D = 72,223$$

Calculation β Ratio

$$R_D < 200,000$$

$$\beta = \left(1 + \left(\frac{0.6}{S_M} + 0.06 \right)^2 \right)^{-\frac{1}{4}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta = (1 + (\frac{0.6}{1.645} + 0.06)^2)^{-\frac{1}{4}}$$

$$\beta = 0.959$$

Bore size of orifice

จากสมการ $\beta = \frac{d}{D}$

จะได้ $d = (D)\beta$

$$d = (0.5)(0.959)$$

$$d = (0.48) \text{ inch}$$

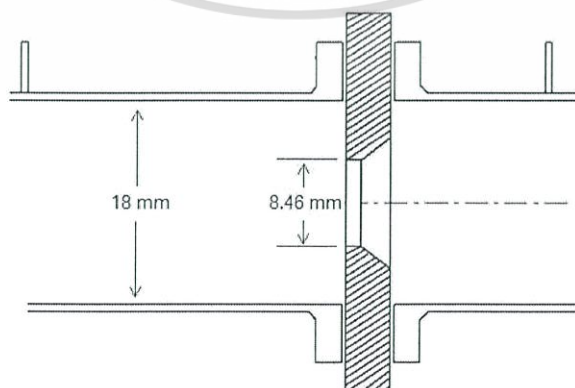
จากการคำนวณการหาค่า β ตามทฤษฎีของ Richard W. Miller ในหนังสือ Flow Measurement Engineering Handbook นั้น ค่า β ที่ได้จะมีค่าที่สูงเกินกว่าค่ามาตรฐานที่สามารถรับได้ เนื่องจากหลักการและทฤษฎีในหนังสือถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้กับกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่ แต่พลาตันโมเดลสำหรับควบคุมระดับน้ำที่ได้ทำการศึกษา เป็นระบบที่มีขนาดเล็ก จะเห็นได้จากขนาดของท่อ, บั้ม, หรือแม้กระทั่งเครื่องมือวัด และอุปกรณ์ทำงานสุดท้าย จึงไม่สามารถที่จะใช้วิธีการหาค่า β ตามทฤษฎีนี้ได้

เนื่องจากระบบที่ทำการออกแบบ มีขนาดเล็ก จึงต้องทำการกำหนดค่า β ขึ้นมาโดยกำหนดให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน แล้วจึงทำการคำนวณเพื่อที่จะหาเครื่องมือวัดความดันแตกต่างที่มีย่านการวัดที่ครอบคลุมกับกระบวนการโดยจะทำการกำหนดให้ $\beta = 0.47$ และ $D = 18 \text{ mm}$ จะได้ขนาดรูของออริฟิสออกมาดังนี้

$$d = (D)\beta$$

$$d = (18 \text{ mm})(0.47)$$

$$d = (8.46) \text{ mm}$$



รูปที่ 3.4 ขนาดของแผ่นออริฟิสที่ใช้ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเลือกเครื่องมือวัดความดันแตกต่าง [1]

พลาเน็ตโมเดลสำหรับควบคุมระดับของของเหลวที่นำเสนอมีการใช้เครื่องมือวัดความดันแตกต่างด้วยกันสองตัวซึ่ง ตัวแรกใช้สำหรับวัดระดับของของเหลวที่ต้องการควบคุมในระบบโดยใช้หลักการวัดระดับแบบการเปลี่ยนความดันแตกต่างเป็นระดับของของเหลว ส่วนตัวที่สองใช้สำหรับวัดความดันแตกต่างที่แผ่นออริฟิสซึ่งสามารถใช้หลักการและทฤษฎีของ Bernoulli เพื่อหาความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นได้ โดยทฤษฎีของ Bernoulli ได้กล่าวไว้ว่า “ของไหลแบบที่มีอัตราการไหลสม่ำเสมอภายในท่อที่ปราศจากแรงเสียดทานแล้ว ผลบวกของ เหนดความเร็ว เหนดแรงดัน และ เหนดสถิตในทุกจุดของท่อจะมีค่าคงที่” และการไหลแบบต่อเนื่อง ณ จุดใด ๆ ของท่อต้องมีค่าคงที่เสมอ

1. เครื่องมือวัดความดันแตกต่างสำหรับวัดอัตราการไหลของของเหลว

ในการหาเครื่องมือวัดอัตราการไหลของของเหลวที่เหมาะสมกับกระบวนการ สามารถประยุกต์ใช้ทฤษฎีของ Bernoulli สำหรับการคำนวณความดันแตกต่างเพื่อหาขนาดของเครื่องมือวัดได้ โดยอาศัยหลักการของการไหลแบบต่อเนื่องที่ว่า การไหลแบบต่อเนื่อง ณ จุดใด ๆ ในท่อจะต้องมีค่าคงที่เสมอในทางทฤษฎี

$$\begin{aligned} \text{เมื่อกำหนดให้ } Q_{max} &= 35 \text{ l/min} = 0.00059 \text{ m}^3/\text{s} \\ A_2 &= \pi r^2 \\ &= \frac{\pi}{4} (0.0085)^2 \\ &= 5.674 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{จากสมการ } Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

สามารถหาความเร็วของของไหลหลังจากไหลผ่านแผ่นออริฟิส (V_2) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{Q}{A_2} \\ &= \frac{0.00059 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)}{5.674 \times 10^{-5} \text{ (m}^2\text{)}} \\ V_2 &= 10.4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

ดังนั้นความเร็วของไหลในระบบที่ไหลผ่านแผ่นออริฟิส หรือ V_2 คือ 10.4 m/s

จากสมการที่ (2.14) สามารถนำความเร็ว V_2 มาใช้เพื่อหาความดันแตกต่างได้ดังต่อไปนี้

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g(\Delta P)}{\gamma(1 - \beta^2)}}$$

$$10.4 \text{ (m/s)} = \sqrt{\frac{2(9.8 \text{ m/s}^2)(\Delta P)}{9.8 \times 10^{-3} \text{ N/m}^3}} \sqrt{1 - (0.477^2)}$$

$$108.16 \text{ (m/s)}^2 = \frac{(19.6 \text{ m/s}^2)(\Delta P)}{9.8 \times 10^{-3} \text{ N/m}^3} \cdot 0.772$$

$$83.5 \text{ (m/s)}^2 = \frac{(19.6 \text{ m/s}^2)(\Delta P)}{9.8 \times 10^{-3} \text{ N/m}^3}$$

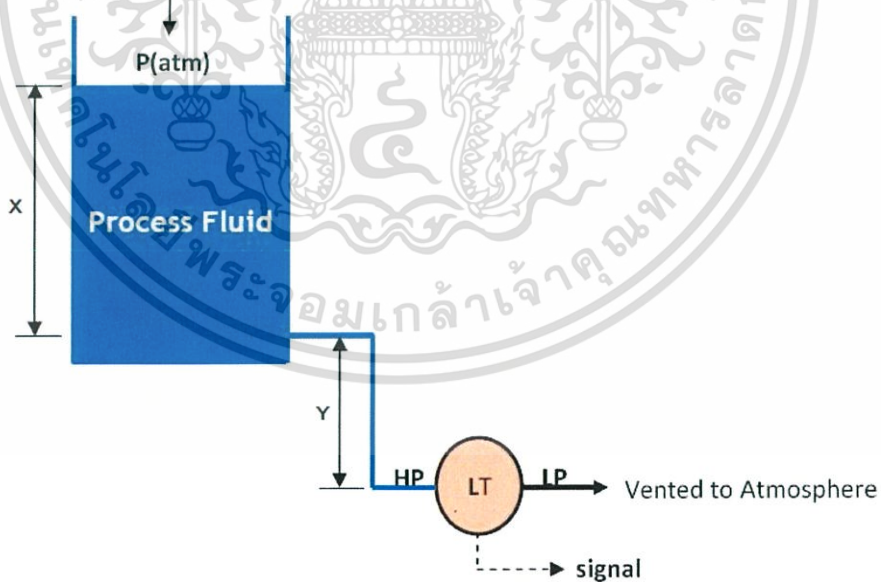
$$83.5 \text{ (m/s)}^2 = (\Delta P)(2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg})$$

$$\Delta P = 41,750 \text{ Pascal}$$

$$\Delta P = 4,257 \text{ mmH}_2\text{O}$$

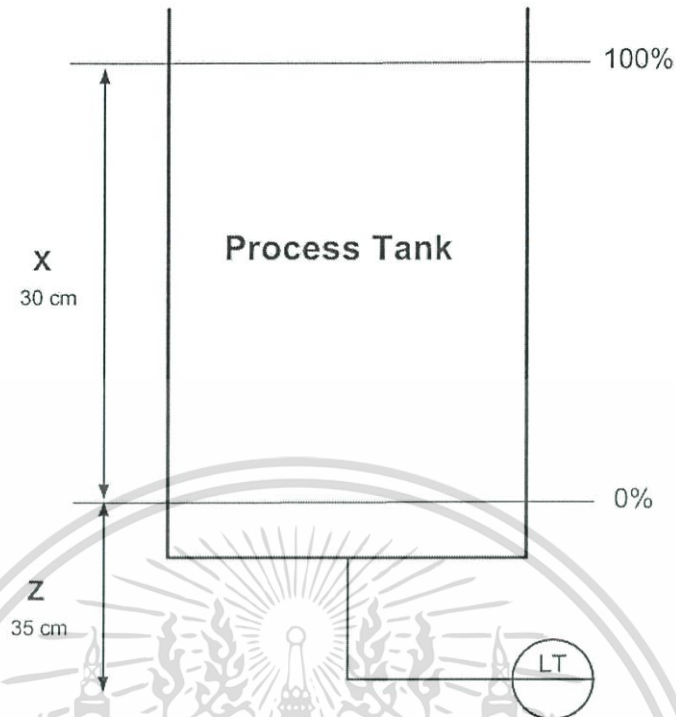
2. เครื่องมือวัดความดันแตกต่างสำหรับวัดระดับของของเหลว

การวัดระดับของเหลวในพลาเน็ตโมเดลที่น้ำเสนอ จะอาศัยหลักการวัดแบบไฮโดรสแตติก โดยอาศัยการเปลี่ยนจากค่าความดันมาเป็นระดับของของเหลว โดยมีการติดตั้งเครื่องมือวัดความดันแตกต่างไว้ที่ด้านล่างของภาชนะที่บรรจุของเหลว โดยพลาเน็ตโมเดลที่น้ำเสนอเป็นการวัดแบบถังเปิด สามารถวัดได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.5 วิธีการวัดระดับแบบถังเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การวัดระดับแบบถังเปิด

$$\begin{aligned} \text{Span} &= (X + Z) G_L \\ &= (300 + 350)(1) \\ &= 650 \text{ mmH}_2\text{O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Suppress Zero} &= (Z) G_L \\ &= (350)(1) \\ &= 350 \text{ mmH}_2\text{O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความสูงของระดับของเหลว} &= \frac{\Delta P}{G_L} \\ &= \frac{650 - 350}{1} \\ &= 300 \text{ mmH}_2\text{O} \end{aligned}$$

ดังนั้นย่านการวัด Differential Pressure คือ 350 ถึง 650 mmH₂O

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การหาขนาดของปั๊มที่ใช้ในระบบ [5]

ถึงสำหรับการควบคุมระดับน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 cm ความสูงของถัง 40 cm เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อขาออก 1.3 cm หรือเท่ากับ 0.5118 inch การหาขนาดของปั๊มที่จะใช้ในระบบ สามารถคำนวณได้จากอัตราการไหลขาออกของกระบวนการ โดยอัตราการไหลเข้าต้องมีค่ามากกว่าอัตราการไหลออกซึ่งโดยปกติแล้วในการออกแบบจะทำการเผื่อไว้ที่ 1.5 เท่าของอัตราการไหลออก ซึ่งวิธีการคำนวณหาอัตราการไหลของปั๊มที่ใช้สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

จากสมการอัตราการไหล $Q = AV$ เมื่อ $A = \pi r^2$ และ $V = \sqrt{2gh}$

พื้นที่หน้าตัดของรูระบาย

$$\begin{aligned} A &= \pi r^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \times (0.013)^2 \\ &= 1.33 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

ความเร็วของไหล

$$\begin{aligned} V &= \sqrt{2gh} \\ &= \sqrt{2 \times 9.8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \times 0.4 \text{ m}} \\ &= \sqrt{7.84 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2} \\ V &= 2.8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

อัตราการไหลออกสูงสุดจะเท่ากับ

$$\begin{aligned} Q &= AV \\ &= (1.33 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \times (2.8 \text{ m/s}) \\ &= 3.724 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.9027 GPM_{us} หรือ 22.344 V/min

ในการเลือกใช้ปั๊มจะทำการเผื่อไว้ 0.5 เท่า ดังนั้นปั๊มที่ใช้จึงจำเป็นต้องมีอัตราการไหลสูงสุดไม่ต่ำกว่า

$$Q = (22.34 \text{ V/min}) \times (0.5) + 22.34 \text{ V/min}$$

$$Q = 33.51 \text{ V/min}$$

3.3.4 การหาเฮดของปั๊ม

$$\begin{aligned} \text{เฮดของปั๊มที่ต้องการ} &= \text{เฮดรวมด้านออก} - \text{เฮดรวมด้านเข้า} \\ \text{เฮดรวมด้านเข้า} &= \text{เฮดความดันด้านเข้า} + \text{เฮดสถิตด้านเข้า} + \text{เฮดความเร็วด้านเข้า} - \\ &\quad \text{เฮดสูญเสียด้านเข้า} \\ \text{เฮดรวมด้านออก} &= \text{เฮดความดันด้านออก} + \text{เฮดสถิตด้านออก} + \text{เฮดความเร็วด้านออก} \\ &\quad + \text{เฮดสูญเสียออก} \end{aligned}$$

1. เฮดด้านเข้าของปั๊ม

1.1 การหาเฮดสูญเสียด้านเข้า ระยะของท่อขาเข้าจาก storage tank มีความยาวทั้งสิ้น 40 cm จากตารางที่ 2.2 ที่อัตราการไหล 35 l/min Pressure head loss = 59.004 ftH₂O ต่อ 100 ft pipe ดังนั้นที่ความยาวท่อ 40 cm หรือ 1.3123 ft จะเกิด Pressure Head loss เท่ากับ

$$\begin{aligned} \frac{59.004}{x} &= \frac{100}{1.3123} \\ x &= \frac{(59.004)(1.3123)}{100} \\ x &= 0.774 \text{ ft H}_2\text{O} \\ x &= 236 \text{ mm H}_2\text{O} \end{aligned}$$

เฮดสูญเสียทางด้านเข้าที่มีความยาวท่อ 40 cm จะเป็น 236 mmH₂O

1.2 การหาเฮดความดันด้านเข้า เนื่องจากเฮดความดันด้านเข้าคือค่าความดันที่เกิดขึ้นที่ถังเก็บน้ำที่ด้านเข้าของปั๊ม สามารถหาได้จากค่าความดันที่กดลงที่ผิวของของเหลวในถังเก็บที่ด้านขาเข้าของปั๊มโดยมีความสูงเท่ากับ 22 cm ซึ่งเฮดความดันด้านเข้าเท่ากับ

$$P = \rho gh$$

$$P = 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)} \times 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)} \times 0.22 \text{ (m)}$$

$$P = 2,156 \text{ Pascal}$$

ดังนั้นเฮดความดันขาเข้าของระบบจะมีค่าเท่ากับ 2156 Pascal หรือประมาณ 220 mmH₂O

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การหาเฮดสถิตด้านเข้า เฮดสถิตด้านขาเข้าของปั๊มจะมีค่าเท่ากับความสูงของผิวหน้าของเหลวทางด้านเข้าของปั๊มถึงแนวศูนย์กลางของปั๊ม ซึ่งมีความสูงเท่ากับ 0.15 m ดังนั้น เฮดสถิตขาเข้าของระบบจะมีค่าเท่ากับ 150 mmH₂O

2. เฮดด้านออกของปั๊ม

2.1 การหาเฮดความดันด้านออก เฮดความดันด้านออกคือค่าความดันที่เกิดขึ้นที่ถังเก็บน้ำที่ต้องการควบคุมโดย สามารถหาได้จากค่าความดันที่ตกลงที่ผิวของของเหลวในถังเก็บที่ด้านขาออกของปั๊มโดยมีความสูงเท่ากับ 40 cm ซึ่งเฮดความดันด้านออกเท่ากับ

$$P = \rho gh$$

$$P = 1000 (kg/m^3) \times 9.8 (m/s^2) \times 0.4 (m)$$

$$P = 3,920 \text{ Pascal}$$

ดังนั้นเฮดความดันขาออกของระบบจะมีค่าเท่ากับ 3,920 Pascal หรือประมาณ 400 mmH₂O

2.2 การหาเฮดความเร็วด้านออก จากสมการอัตราการไหล $Q = AV$ ที่ อัตราการไหลสูงสุดที่ปั๊มทำได้ คือ 35 l/min และ $A = \pi r^2$ จะสามารถหาเฮดความเร็วขาออกได้ดังนี้

เมื่ออัตราการไหลของระบบเท่ากับ $Q = 35 \text{ l/min}$

หรือ $Q = 0.0206 \text{ ft}^3/\text{Sec}$

และพื้นที่หน้าตัดในการไหลมีค่าเท่ากับ $A = \pi r^2$

$$A = \frac{\pi (0.5)^2}{4}$$

$$A = 1.3635 \times 10^{-3} (\text{ft})^2$$

สามารถหาความเร็วของของไหลโดย

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

$$v = \frac{0.0206}{1.3635 \times 10^{-3}}$$

$$v = 15.108 \text{ ft/s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาเฮดความเร็ว

$$H_v = \frac{v^2}{2g}$$

$$H_v = \frac{15.108^2}{2(32.2)}$$

$$H_v = 3.54 \text{ ft H}_2\text{O}$$

$$H_v = 1078.9 \text{ mmH}_2$$

2.3 การหาเฮดสูญเสียด้านนอก ท่อขาออกจากปั๊ม มีความยาวรวมทั้งสิ้น 400 cm จากตาราง 2.4 ที่อัตราการไหล 35 (l/min) Pressure head loss = 59.004 ft H₂O/100 ft pipe ความยาวท่อรวมทั้งหมดในด้านขาออกของปั๊ม 400 cm = 13.1234 (ft) และจากตารางที่ 2.1 เฮดสูญเสียในข้ออ 90 องศา 1/2 inch จะเปรียบได้เท่ากับ 1.5 ft pipe ซึ่งในระบบที่ออกแบบ ของไหลจะไหลผ่านข้ออเป็นจำนวน 10 ตัว และข้อต่อสามทาง 1 ตัว จะเกิดเฮดสูญเสียเท่ากับ

ความยาวท่อรวมทั้งด้านนอกจากปั๊ม = 13.1234 ft pipe

เฮดสูญเสียในข้ออ = 1.5 × 10

$$= 15 \text{ ft pipe}$$

เฮดสูญเสียในข้อต่อสามทาง 1 ตัว = 4 ft pipe

รวมเฮดสูญเสียทางด้านนอกของปั๊ม = 13.1234 + 15 + 4 ft pipe

$$= 32.1234 \text{ ft pipe}$$

จากตาราง 2.4 ที่อัตราการไหล 35 (l/min) Pressure head loss = 59.004 ft H₂O/100 ft pipe

$$\frac{59.004}{x} = \frac{100}{32.1234}$$

$$x = \frac{(59.004)(32.1234)}{100}$$

$$x = 18.9540 \text{ ft H}_2\text{O}$$

ดังนั้นเฮดสูญเสียด้านนอกของปั๊มมีค่าเท่ากับ 18.9540 ft H₂O หรือเท่ากับ 5,777.2 mmH₂O

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป เหน็ดที่ปั๊มต้องการ

เหน็ดรวมด้านเข้า ประกอบด้วย

$$\text{เหน็ดความดันด้านเข้า} = 220 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$\text{เหน็ดสถิตด้านเข้า} = 150 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$\text{เหน็ดความเร็วด้านเข้า} = 0 \text{ เนื่องจาก พื้นที่หน้าตัดของถังมีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่หน้าตัดท่อมาก}$$

$$\text{เหน็ดสูญเสียด้านเข้า} = 236 \text{ mmH}_2\text{O}$$

เหน็ดรวมด้านออก ประกอบด้วย

$$\text{เหน็ดความดันด้านออก} = 400 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$\text{เหน็ดสถิตด้านออก} = 900 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$\text{เหน็ดความเร็วด้านออก} = 1078.9 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$\text{เหน็ดสูญเสียด้านออก} = 5777.2 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น เหน็ดรวมด้านเข้า} &= 220 + 150 - 236 \\ &= 134 \text{ mmH}_2\text{O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เหน็ดรวมด้านออก} &= 400 + 900 + 1078.9 + 5777.2 \\ &= 8156.1 \text{ mmH}_2\text{O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{เหน็ดของปั๊มที่ต้องการ} &= 8156.1 - 134 \\ &= 8022.1 \text{ mm H}_2\text{O} \end{aligned}$$

ปั๊มต้องมีความสามารถในการปั๊มมากกว่า 8 เมตร ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การเลือกใช้อินเวอร์เตอร์

การเลือกอินเวอร์เตอร์ มาประยุกต์ใช้งานร่วมกับมอเตอร์มีสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาในการเลือกใช้งานดังนี้

1. ความถี่ (Frequency) ของแหล่งจ่ายไฟมอเตอร์
2. แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่จ่ายให้กับมอเตอร์
3. กระแสพิกัดเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ต้องมีค่ามากกว่า กระแสพิกัดของมอเตอร์ $\times 1.1$
4. ขนาดของมอเตอร์ที่สามารถใช้งานได้ตามข้อกำหนดของอินเวอร์เตอร์
5. แรงบิดของโหลด
6. สภาพแวดล้อมในการติดตั้งอินเวอร์เตอร์

ข้อมูลของโหลดที่ใช้งาน

ปั้มน้ำ Taifu Model QB-60



รูปที่ 3.7 ปั้มน้ำที่ใช้งานในระบบ

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดและข้อกำหนดของปั้มน้ำที่เลือกใช้งาน

Specification	
Model : QB60	N.120232018
Qmax 35 l/min	Hmax 32 m
Suct. Hmax 8 m	Size 1x1
220 Vac 1Phase	Frequency 50 Hz
0.37 kW	0.5 HP
In 1.8 A	IP 54

โหลดของอินเวอร์เตอร์ที่ต่อใช้งานคือปั้มน้ำ Taifu รุ่น QB60 มีข้อกำหนดและพิกัดทางไฟฟ้าดังต่อไปนี้ ปั้มน้ำชนิด 1 เฟส แรงดันไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับมอเตอร์เท่ากับ 220 Vac ความถี่ของไฟฟ้าที่รับได้สูงสุด 50 Hz พิกัดของกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.37 KW 0.5 HP กระแสไฟฟ้าที่ต้องการเท่ากับ 1.8 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเวอร์เตอร์ที่ทำการเลือกใช้คือ HITACHI X200 Series



รูปที่ 3.8 อินเวอร์เตอร์ Hitachi X200 Series

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดและข้อกำหนดของอินเวอร์เตอร์ที่เลือกใช้งาน [10]

Item		200V class Specifications					
X200 inverters, 200V models	EU version	002SF EF	004SF EF	005SF EF	007SF EF	011SF EF	
	USA version	002NFU	004NFU	-	007NFU	-	
Applicable motor size *2	kW	0.2	0.4	0.55	0.75	0.11	
	HP	1/4	1/2	3/4	1	1.5	
Rated capacity (kVA)	230V	0.5	1.0	1.1	1.5	1.9	
	240V	0.5	1.0	1.2	1.6	2.0	
Rated input voltage		△ SFEF type: 1-phase input only △ NFU type: 1-phase or 3-phase input 1-phase: 200V-15% to 240V +10%, 50/60Hz ±5% 3-phase: 200V-15% to 240V ±10%, 50/60Hz ±5%					
Integrated EMC filter	EU version	SFEF series : EN61800-3 category C1 filter					
	USA version						
Rated input current (A)	EU version	3.1	5.8	6.7	9.0	11.2	
	USA version	1.8	3.4	-	5.2	-	
Rated output voltage *3		3-phase: 200 to 240V (proportional to input voltage)					
Rated output current (A)		1.4	2.6	3.0	4.0	5.0	
Efficiency at 100% rated output		89.0%	92.3%	93.2%	94.1%	94.7%	
Watt loss (fc=3kHz) Approximate (W)	at 70% output	18	24	26	33	42	
	at 100% output	22	31	34	44	58	
Starting torque *7		100% at 6Hz					
Braking	Dynamic braking, approx. % torque (short time stop from 50/60Hz) *8	100%: ≤ 50Hz					
		50%: ≤ 60Hz					
	DC braking	Capacitive feedback type, dynamic braking unit and braking resistor optional, individually installed					
		Variable operating frequency, time, and braking force					
Weight	EU version (-SFEF)	Kg	0.8	1.0	1.5	1.5	2.4
		lb	1.77	2.21	3.31	3.31	5.30
	USA version (-NFU)	Kg	0.8	0.9	-	1.5	-
		lb	1.77	1.99	-	3.31	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาเปรียบเทียบข้อจำกัดทางไฟฟ้าของปั้มน้ำที่ทำการเลือกใช้งาน กับ specification ของอินเวอร์เตอร์ Hitachi X200 series รุ่น 004 Class 200 V

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบ specification ของปั้มน้ำและอินเวอร์เตอร์

No.	Specification	Taifu QB60	Hitachi X200	หมายเหตุ
1	ความถี่ (Hz)	50 Hz	50, 60 Hz	
2	แรงดันไฟฟ้า (V)	220 Vac	200 – 240 Vac	
3	กระแสไฟฟ้า (A)	1.98 A	2.6 A	เผื่อกระแสพิกัดมอเตอร์ 1.1 เท่า
4	Power (hp)	0.37 hp	0.4 hp	
5	Power (kW)	0.5 kW	0.5 kW	

สภาพแวดล้อมในการติดตั้งอินเวอร์เตอร์

สภาพแวดล้อมในการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ ต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆดังนี้

- 1) อุณหภูมิรอบข้างของอินเวอร์เตอร์ถูกกำหนดไว้ที่ 0-50 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถใช้งานได้กับฟลานต์ที่ทำการสร้างขึ้น
- 2) ความชื้นในบริเวณที่ติดตั้งมีน้อย สามารถติดตั้งใช้งานได้
- 3) ความสามารถในการป้องกัน IP00 ไม่มีความสามารถในการป้องกันของแข็งและน้ำ

ข้อดีของการใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์

- Soft Start
- ไม่มีการกระชากของกระแส (Inrush Current)
- สามารถปรับอัตราเร่งและอัตราหน่วงได้ (Adjustable Acceleration and Deceleration time)
- สามารถควบคุมได้จากระยะไกล (Remote Control)
- สามารถควบคุมการทำงานโดยกดต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์
- มีระบบ Protection
- ประหยัดพลังงาน (Energy Saving)
- ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง (Reduce Maintenance Cost)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การสร้างโปรแกรมสำหรับควบคุมกระบวนการด้วยโปรแกรม LabVIEW

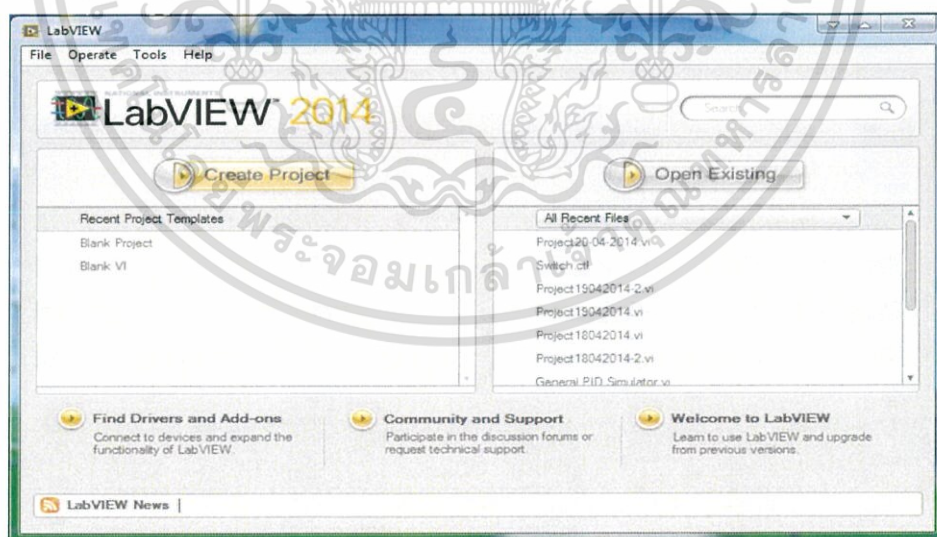
3.4.1 ขั้นตอนการเริ่มต้นใช้โปรแกรม

1. กดปุ่ม “Start” เลือกเปิดโปรแกรม LabVIEW2014



รูปที่ 3.9 หน้าต่างการเปิดโปรแกรม LabVIEW

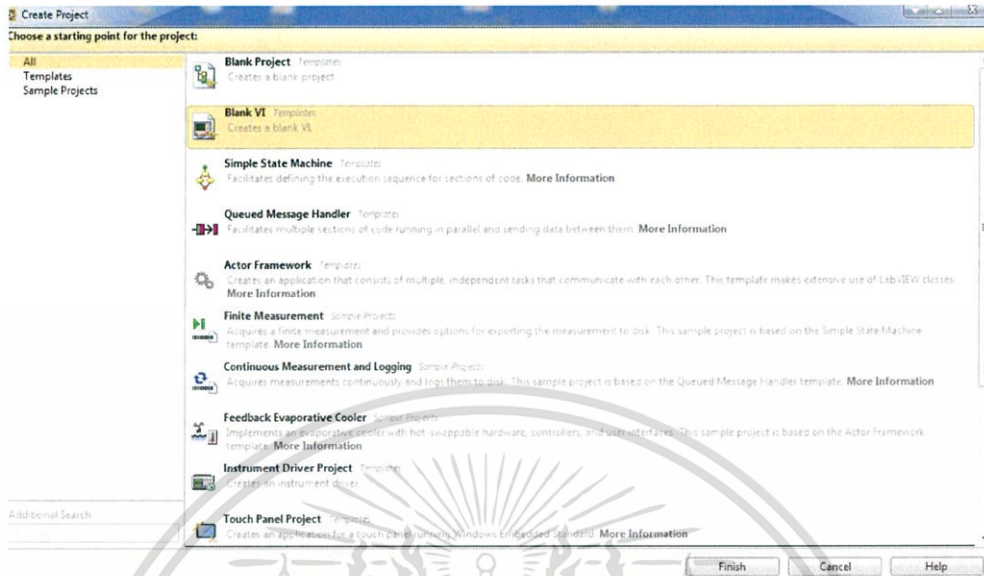
2. เลือก “Create Project”



รูปที่ 3.10 หน้าต่างการสร้างโปรแกรมใหม่ของ LabVIEW

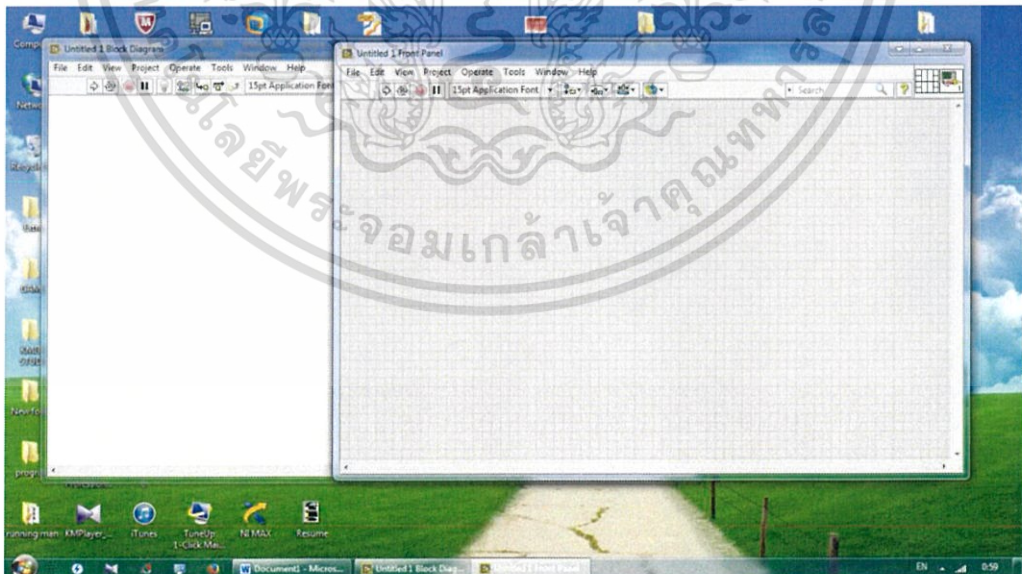
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือกที่ “Blank VI” เพื่อสร้างหน้าสำหรับเขียนโปรแกรมขึ้น



รูปที่ 3.11 หน้าต่างการ Create Project

4. ภาพแสดงแถบหน้าต่าง 2 หน้าต่างคือ Front Panel กับ Block diagram

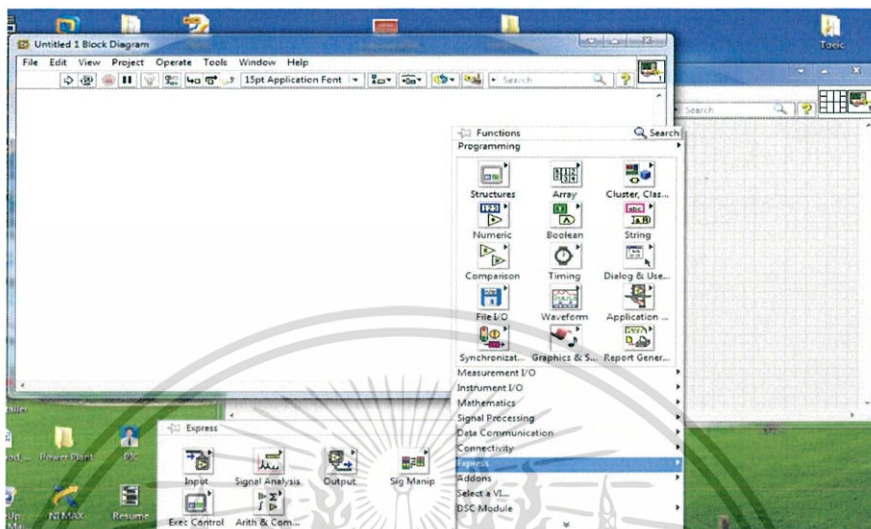


รูปที่ 3.12 หน้าต่างที่ใช้เขียนโปรแกรมควบคุมของ LabVIEW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

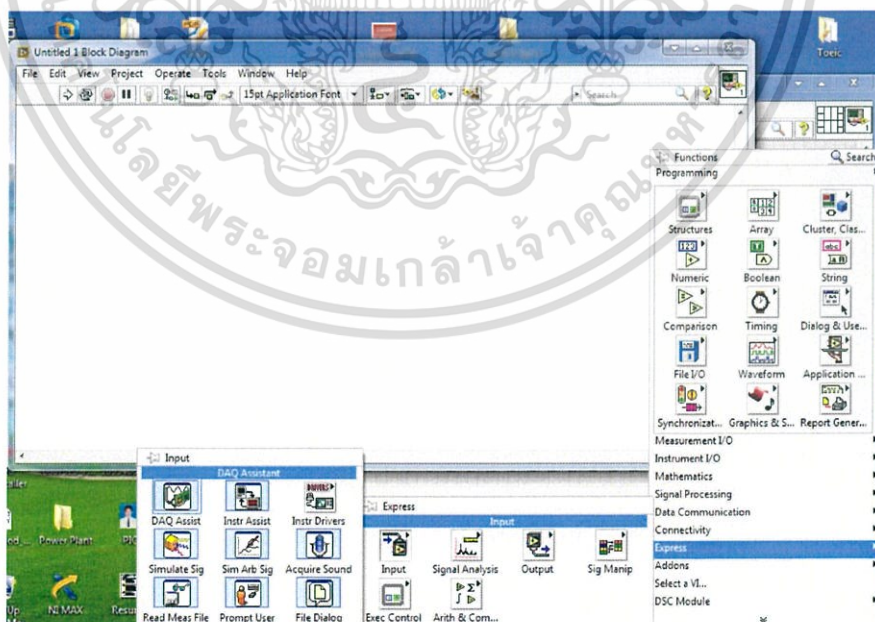
3.4.2 ขั้นตอนการเลือกใช้อินพุต เอาต์พุต

1. เลือกหน้า Block diagram คลิกขวา แล้วไปที่ “Express” เลือกที่ “input”



รูปที่ 3.13 หน้าต่าง Function and tool

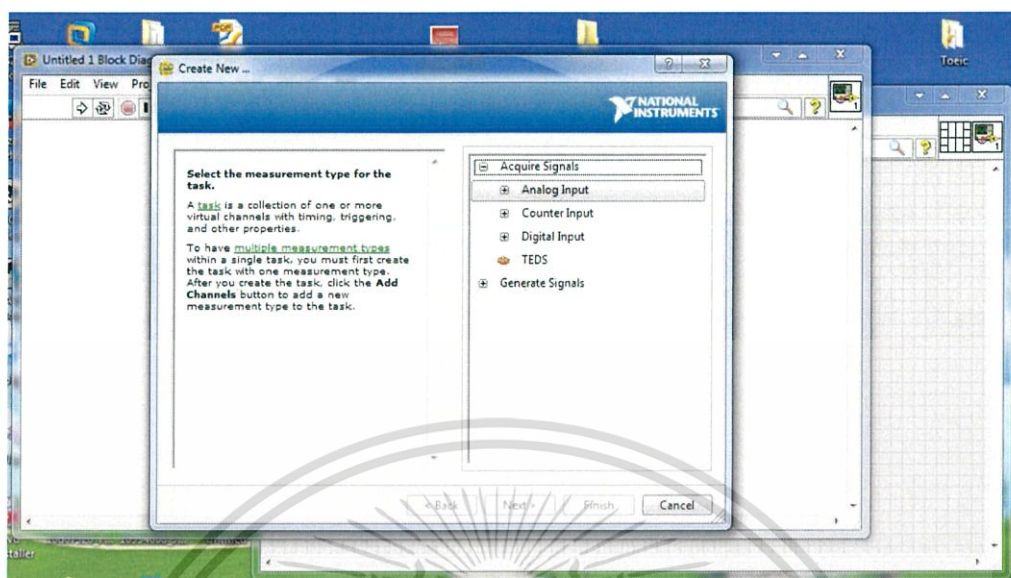
2. เลือกฟังก์ชัน “DAQ Assist”



รูปที่ 3.14 หน้าต่าง Express

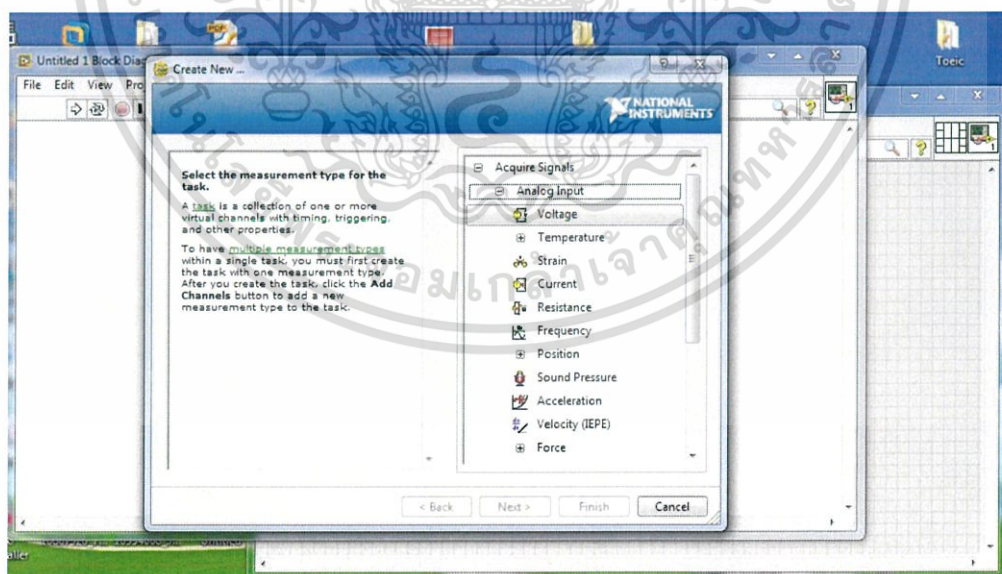
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือก “Analog Input”



รูปที่ 3.15 หน้าต่าง Create New Input

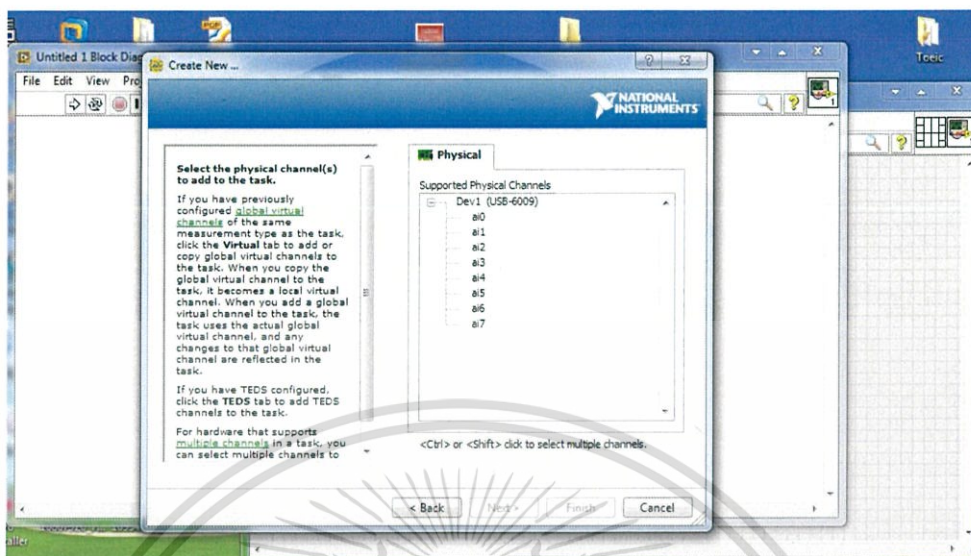
4. เลือกชนิด Input “Voltage”



รูปที่ 3.16 หน้าต่างสำหรับตั้งค่าชนิด Input

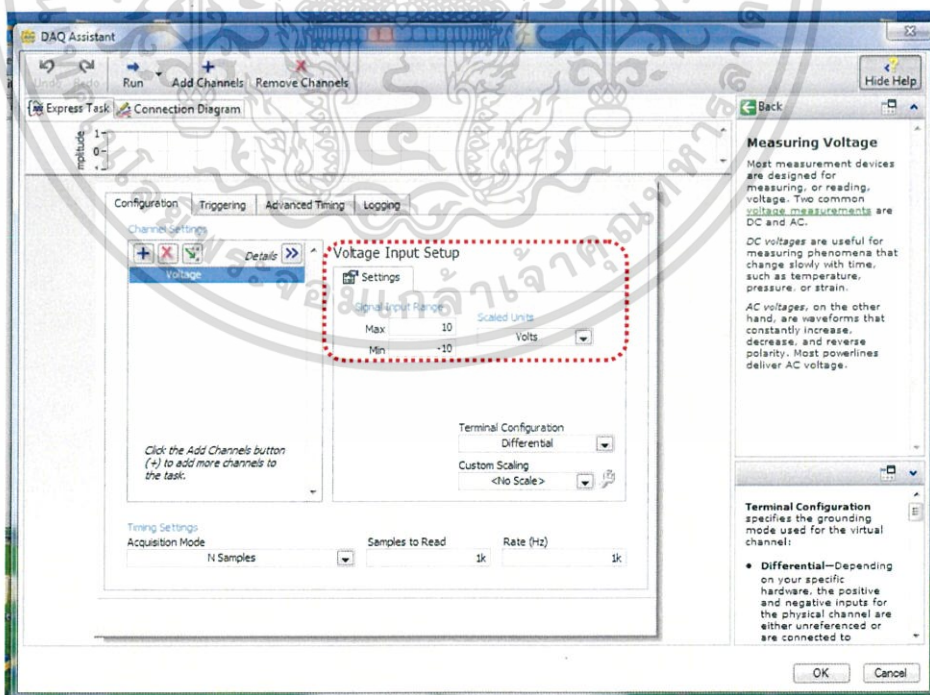
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เลือกช่อง Input ที่จะใช้งาน



รูปที่ 3.17 หน้าต่าง Physical

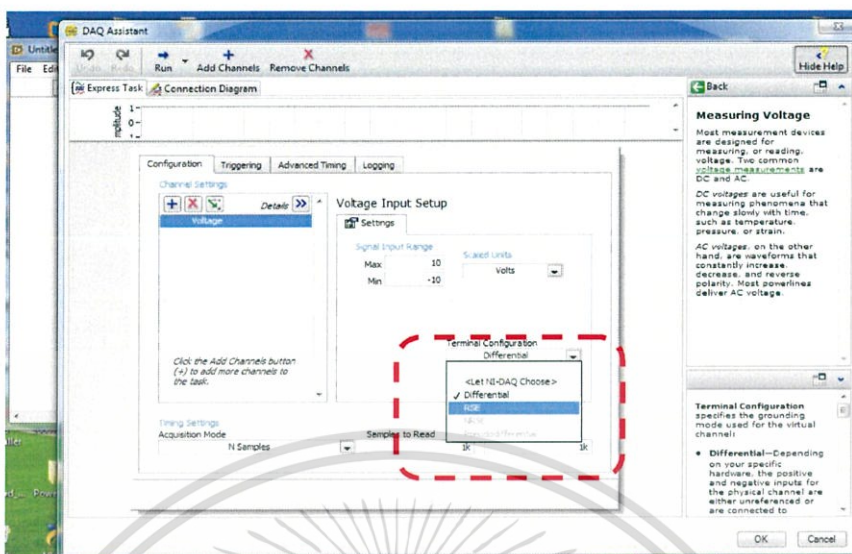
6. ตั้งค่า “Voltage Input Setup” ตามช่วงที่จะใช้งาน



รูปที่ 3.18 หน้าต่าง Configuration

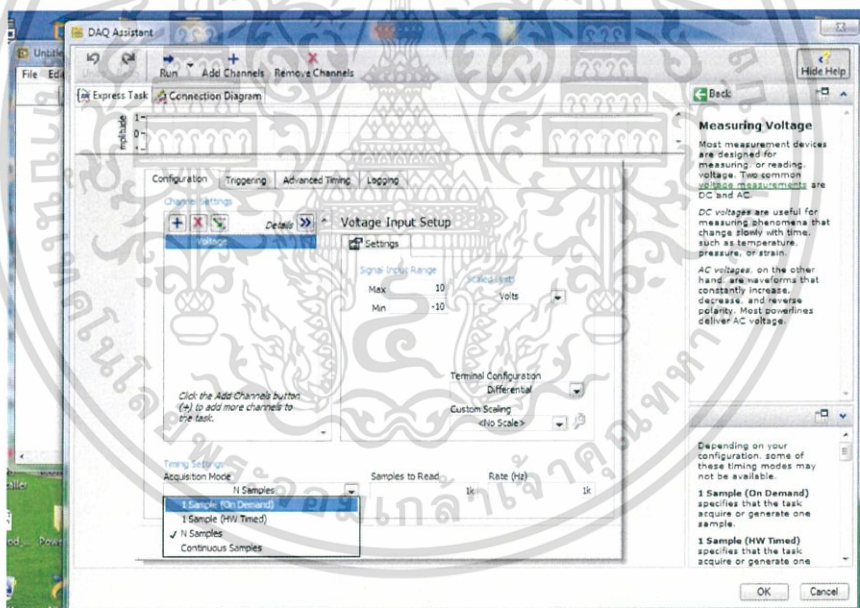
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เลือก RES (Reference Single Ended)



รูปที่ 3.19 หน้าต่าง Configuration

8. เลือก “1 Simple (On Demand)”



รูปที่ 3.20 หน้าต่าง Configuration “Acquisition mode”

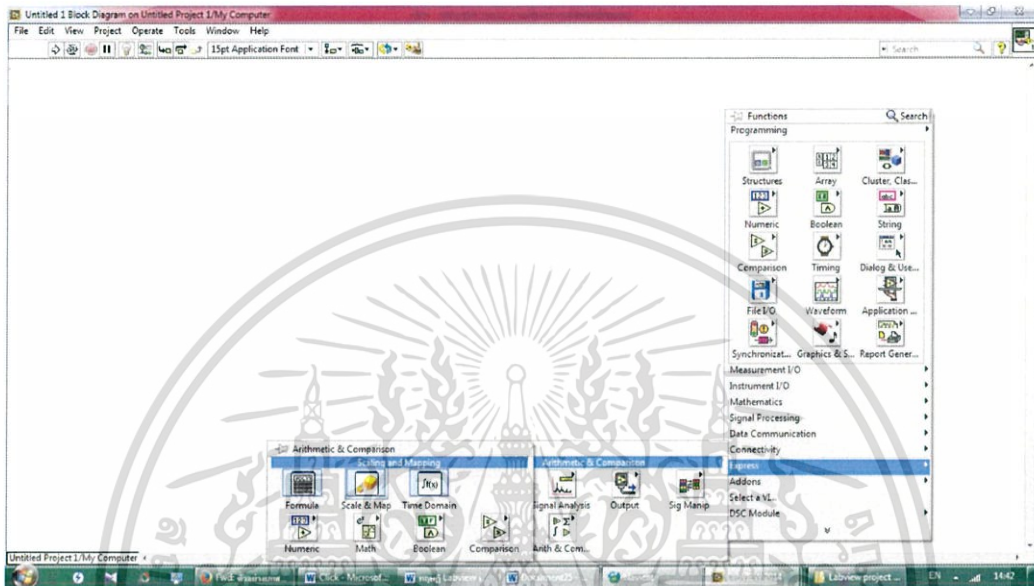
9. การที่จะเพิ่มinput ไม่จำเป็นต้องเลือกใหม่อีกครั้ง เพียงแค่กด Add Channels ใหม่ แล้วทำการกำหนดค่า Setting input, terminal configuration, Acquisition Mode
10. การเพิ่ม Digital Input / Digital Output /Analog Output ให้ทำเหมือน Analog Input ข้อ 1-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 ฟังก์ชันที่ใช้ในโปรแกรม LabVIEW สำหรับควบคุมกระบวนการ

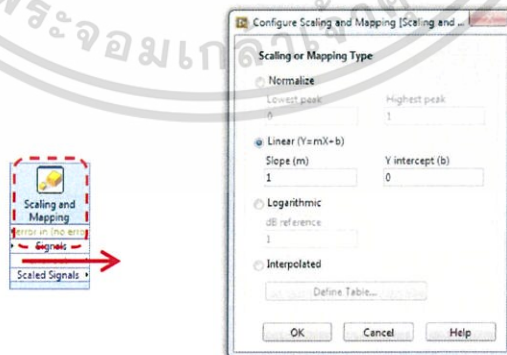
1) Function : Scale & Map

1. คลิกขวา เลือก “Express” จากนั้นเลือก “Arithmetic & Comparison” จากนั้นเลือก “Scaling & map”



รูปที่ 3.21 หน้าต่าง Arithmetic & Comparison

2. ฟังก์ชันนี้จะต้องหาความชันมาเพื่อใช้งาน โดยความชันที่ได้มาจากอัตราส่วนของเอาต์พุตกับอินพุตโดยสัญญาณที่ใช้ มีเอาต์พุตเป็น 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ และมีอินพุตเป็น 1-5 โวลต์

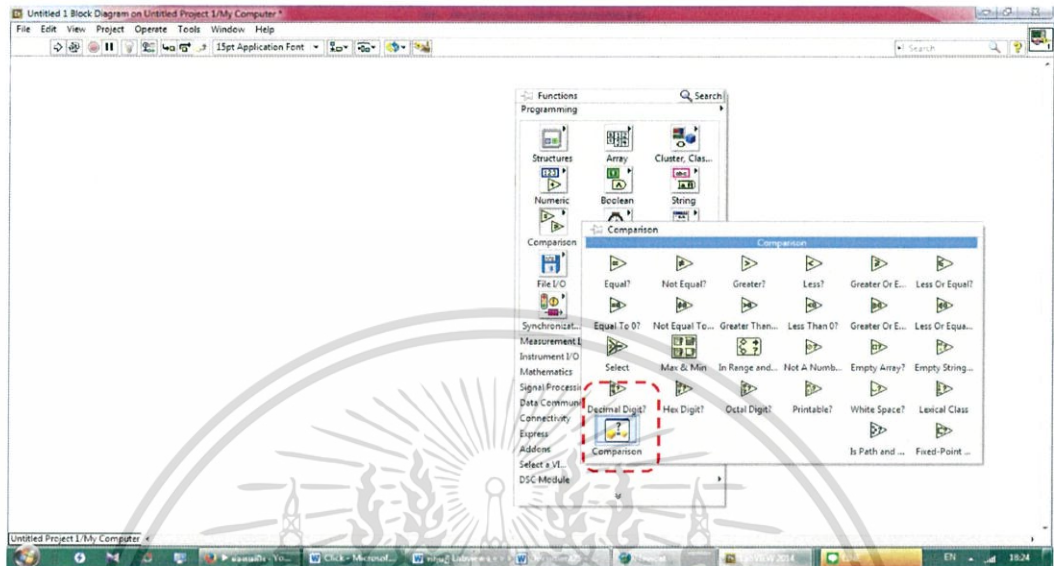


รูปที่ 3.22 Configuration Scale & Mapping

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

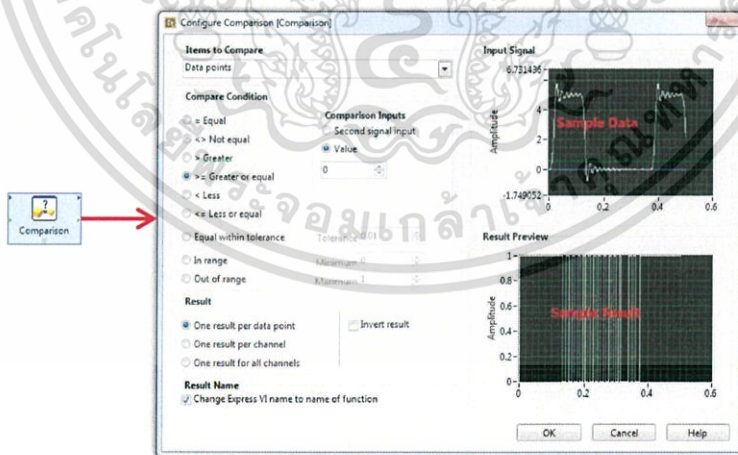
2.) Function : Comparison

1. คลิกขวา เลือก Comparison จากนั้นเลือกใช้ฟังก์ชัน Comparison



รูปที่ 3.23 ฟังก์ชัน Comparison

2. ฟังก์ชันนี้ใช้เพื่อเปรียบเทียบสัญญาณที่เข้าและนำสัญญาณเอาต์พุตไปใช้ในรูปแบบ Digital

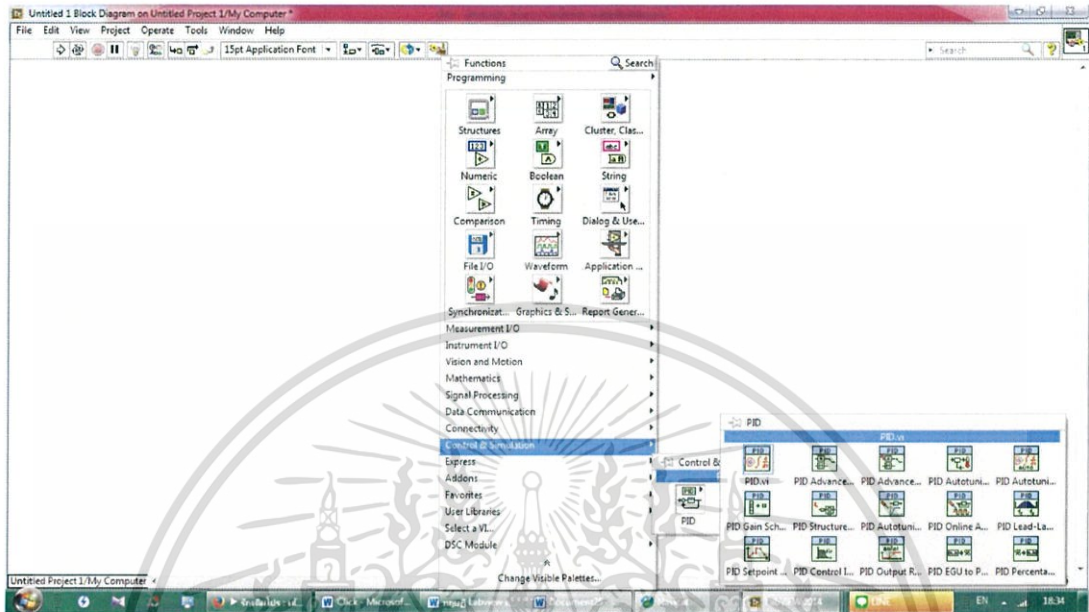


รูปที่ 3.24 Configuration Comparison

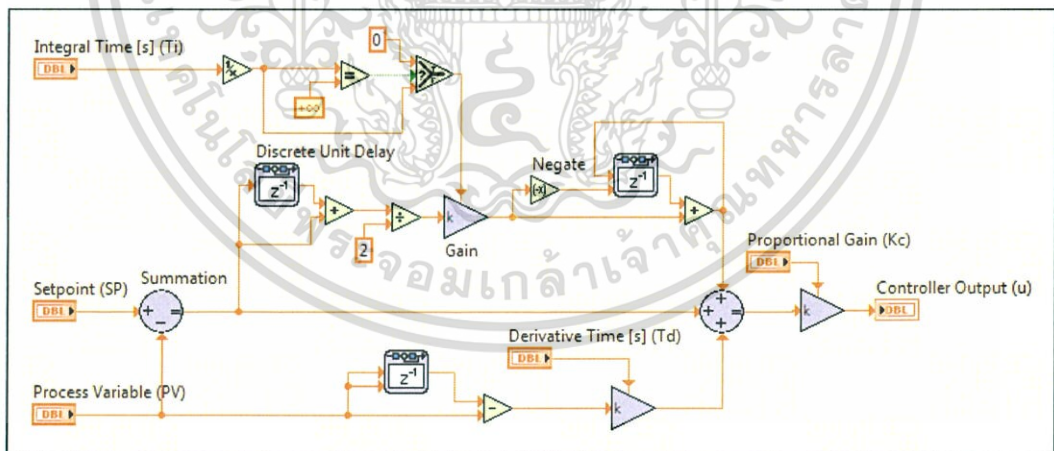
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) Function : PID

1. คลิกขวา เลือก “Control & simulation” จากนั้น “PID” เลือก “PID.VI”



รูปที่ 3.25 Function PID ของโปรแกรม LabVIEW



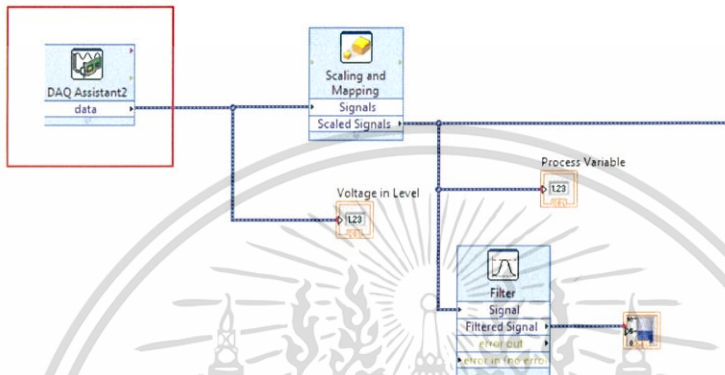
รูปที่ 3.26 Algorithm Function PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 ส่วนประกอบของโปรแกรมสำหรับควบคุมกระบวนการ

ส่วนที่ 1

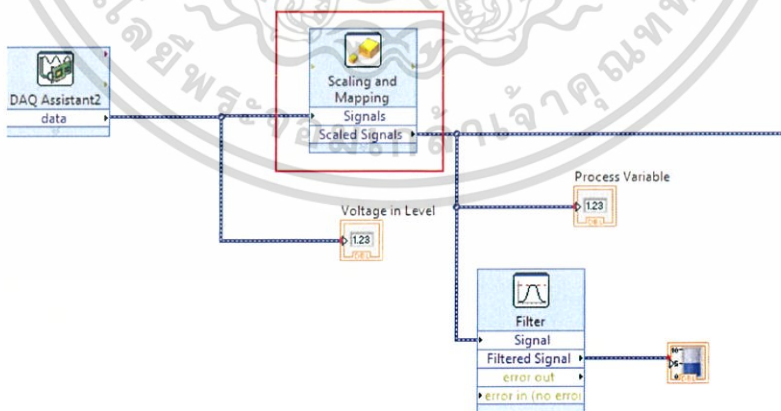
ส่วนที่ 1 เป็นส่วนในการรับสัญญาณอินพุตแบบ Analog มาจากเครื่องมือวัดเข้า DAQ ซึ่งเครื่องมือวัดในที่นี้ที่ใช้คือ Level Transmitter โดยที่ DAQ นี้ จะส่งสัญญาณได้ในรูปแบบ Voltage ดังนั้นก่อนจะใช้งานต้องมีการตั้งค่าให้เหมาะสมกับเครื่องมือวัดชนิดที่จะใช้ก่อน



รูปที่ 3.27 ส่วนรับค่าจากเครื่องมือวัดของโปรแกรม

ส่วนที่ 2

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนในการทำ Scaling เพื่อนำสัญญาณที่ได้เข้าสู่ฟังก์ชัน PID เพื่อใช้ในการควบคุม

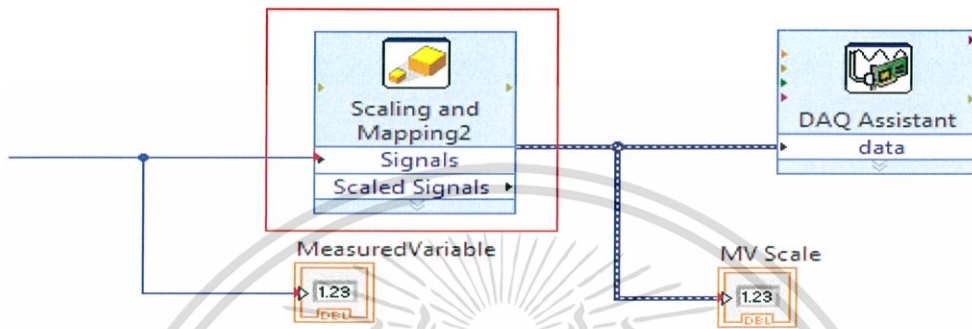


รูปที่ 3.28 การ Scale สัญญาณเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 5

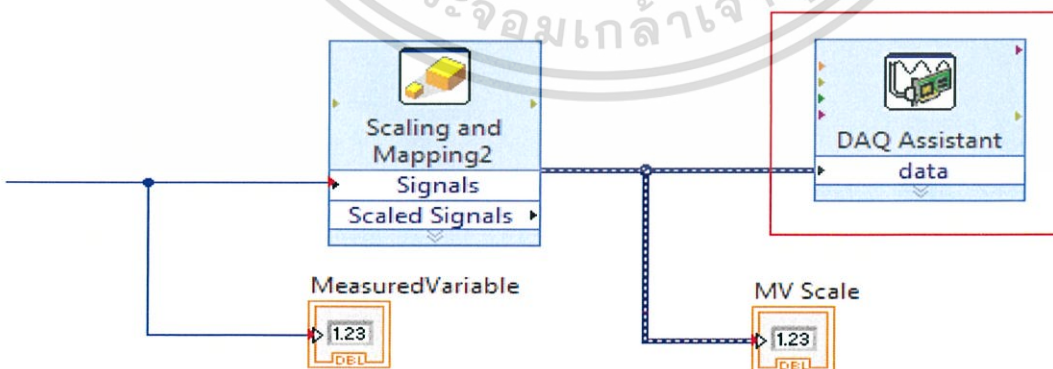
ส่วนที่ 5 เป็นส่วนในการทำ Scaling เพื่อนำค่าที่ได้จากฟังก์ชันพีเอตไปใช้ในการควบคุม เพราะค่าที่ได้จากพีเอตอยู่ในรูปแบบ 0 – 100% เราจึงต้องทำการ Scaling จาก 0-100% เปลี่ยนเป็น 1-5 โวลต์เพื่อนำค่าที่ได้ออกไปใช้ควบคุม



รูปที่ 3.31 ส่วนการScale ค่าสัญญาณที่จะนำไปใช้

ส่วนที่ 6

ส่วนที่ 6 เป็นส่วนส่งสัญญาณเอาต์พุตแบบอนาล็อกจาก DAQ ไปยังอุปกรณ์ที่จะใช้ควบคุม โดยการตั้งค่าจะต้องไม่เกิน 0-5 V ถ้าเอาต์พุตเกินจะไม่สามารถทำงานได้การทำงานคือจะรับค่าที่ได้จากการ Scaling ในส่วนที่ 4 ส่งไปยังอุปกรณ์ควบคุม

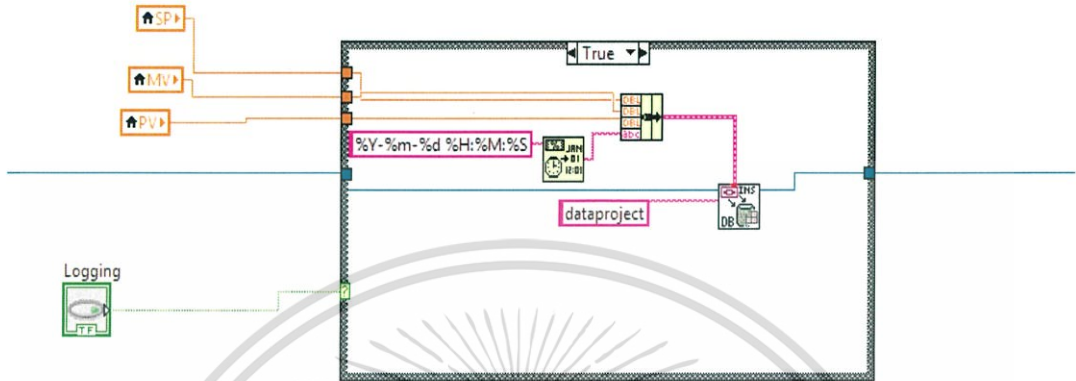


รูปที่ 3.32 ส่วนการนำค่าไปใช้ควบคุมอุปกรณ์สุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 7

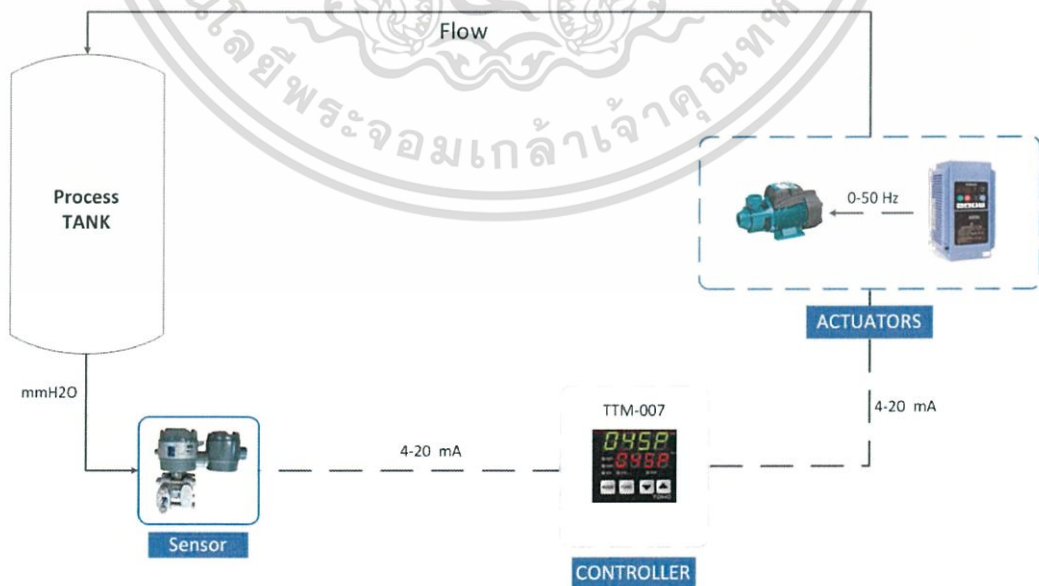
ส่วนที่ 7 เป็นส่วนที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล Set point, Process Variable, Measured Variable ของกระบวนการ โดยสามารถเลือกได้จะบันทึกในช่วงเวลาใด



รูปที่ 3.33 ส่วนการบันทึกข้อมูลของกระบวนการ

3.5 การควบคุมกระบวนการด้วย Single-loop Controller

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงการควบคุมกระบวนการโดยใช้ตัวควบคุมเป็น Single-loop Controller ที่ทำหน้าที่เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการวัดโดยเครื่องมือวัดความดันแตกต่าง กับค่าเป้าหมายที่ต้องการควบคุมเพื่อส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์ทำงานต่อไป



รูปที่ 3.34 การควบคุมกระบวนการโดยใช้ Single-loop Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

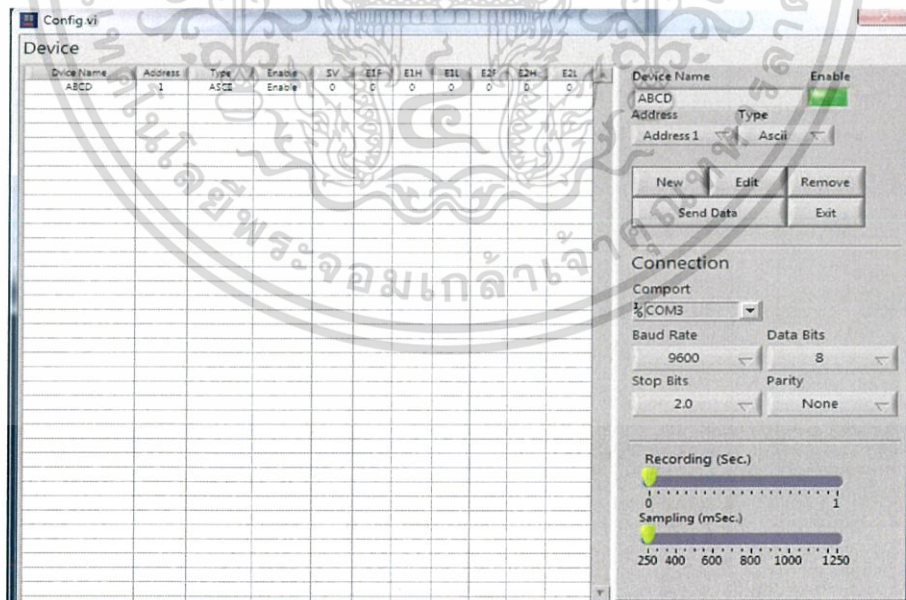
ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการด้วย Single-loop controller โดยใช้โปรแกรม Primus Temp Controller

1. เปิดโปรแกรม “Primus Temp Controller”



รูปที่ 3.35 โปรแกรม “Primus Temp Controller”

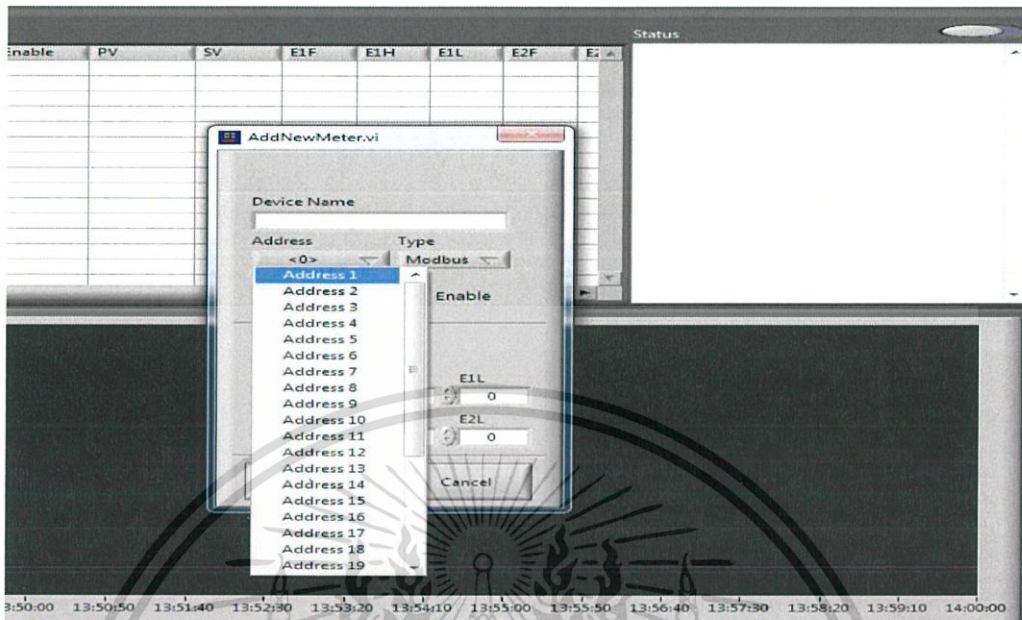
2. กดปุ่ม “Configuration” เพื่อเปิดหน้าต่าง “Configuration” ขึ้น



รูปที่ 3.36 หน้าต่าง “Configuration”

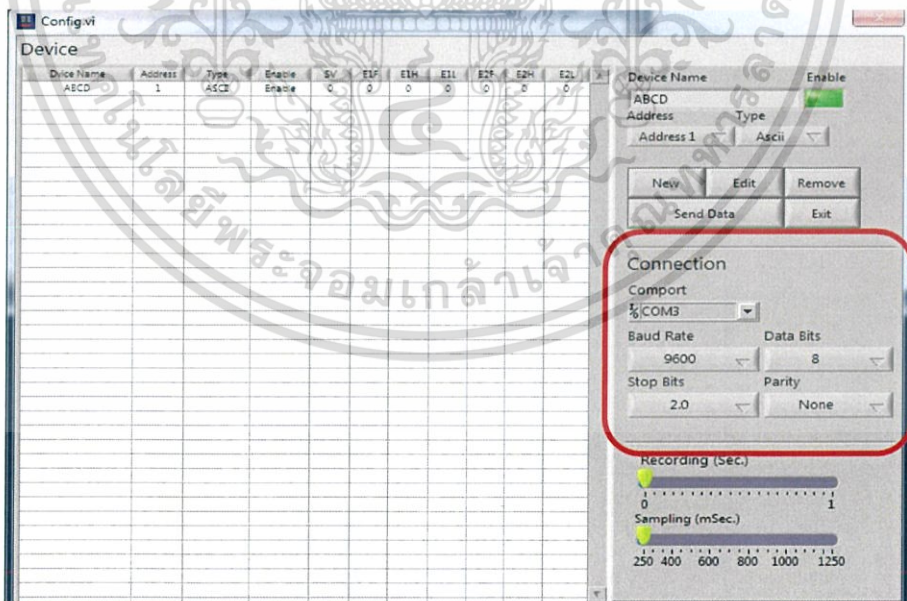
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กดปุ่ม “NEW” แล้วเลือกปรับ “Address = 1”



รูปที่ 3.37 หน้าต่างการตั้งค่า “Address” ให้ตรงกับ Controller

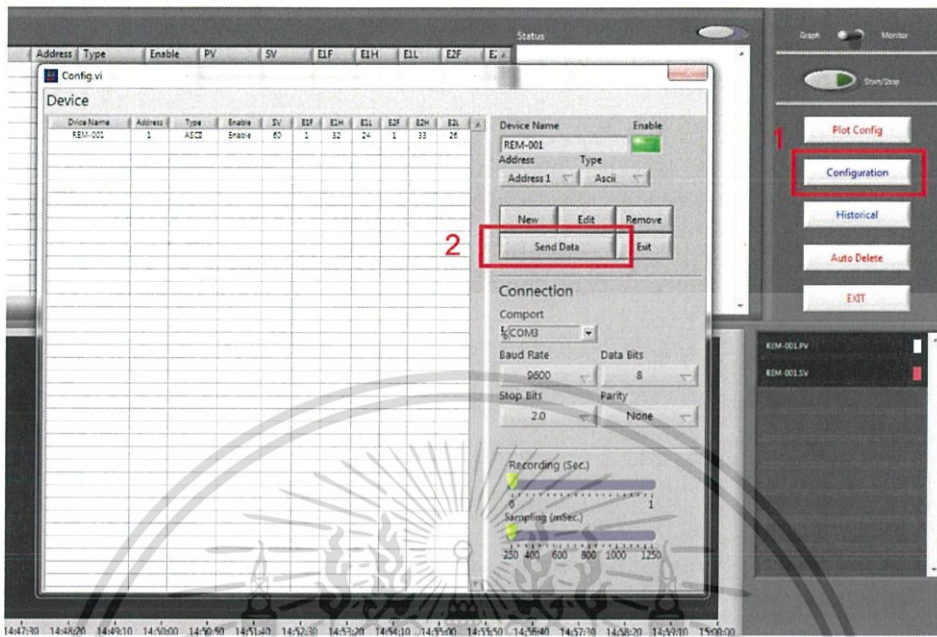
4. ตั้งค่า Connection “Comport , Baud Rate , Data Bits , Stop Bits , Parity”



รูปที่ 3.38 หน้าต่างการตั้งค่า “Connection”

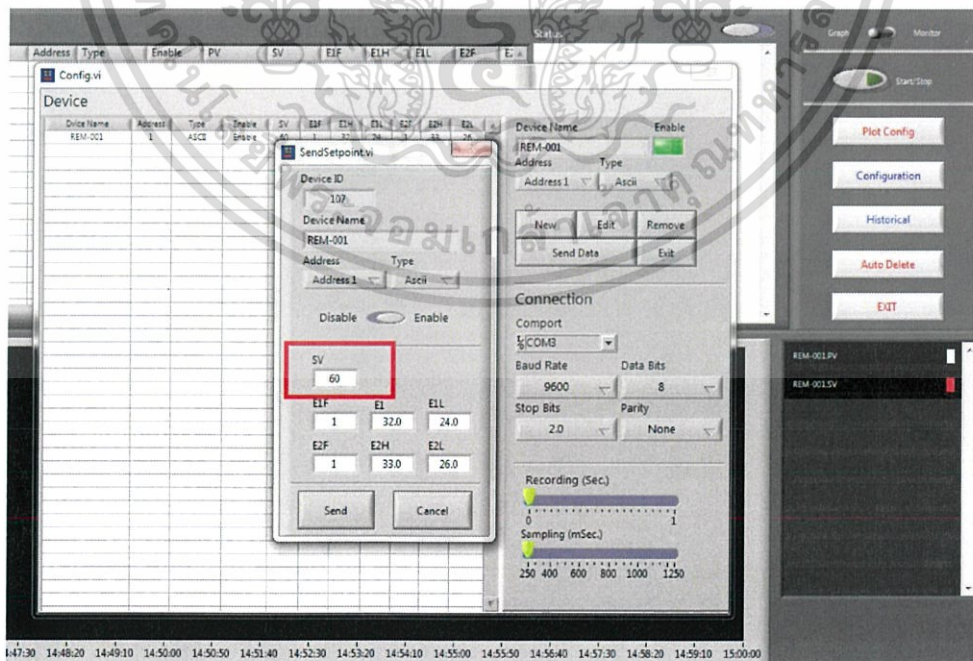
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อทำการตั้งค่าทั้งหมดแล้วสามารถทำการควบคุม ปรับเปลี่ยนค่าเป้าหมายของกระบวนการได้โดยกด “Configuration แล้วเลือกที่ Send Data”



รูปที่ 3.39 หน้าต่างการตั้งค่า “Configuration”

6. จะปรากฏหน้าต่างสำหรับกำหนดค่าเป้าหมายขึ้นซึ่งสามารถทำการส่งค่าไปยัง Controller เพื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าเป้าหมายของกระบวนการได้



รูปที่ 3.40 หน้าต่างการตั้งค่าเป้าหมายของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบการทำงานของระบบ

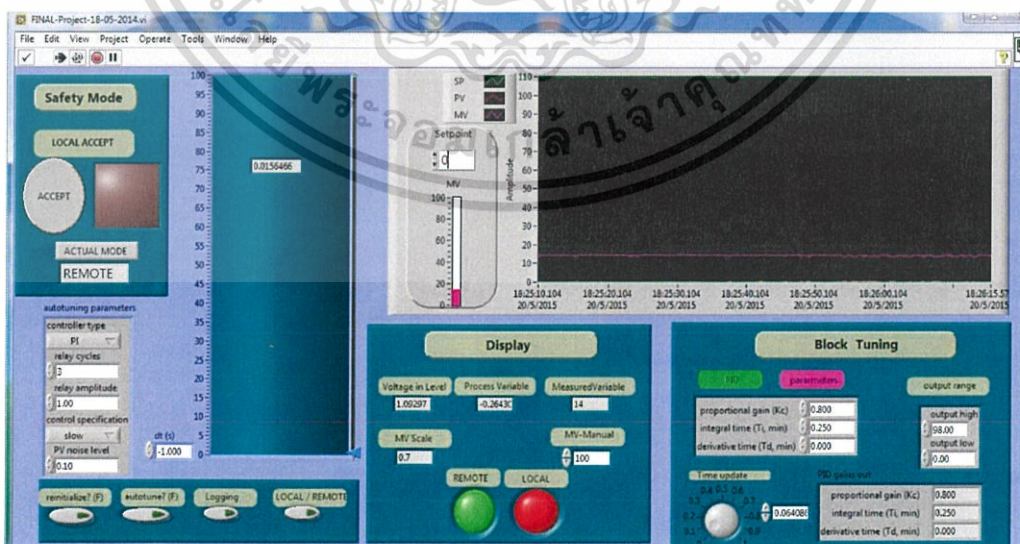
4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะนำเสนอการทดสอบการทำงานของพลาสมาโมเดลสำหรับควบคุมระดับน้ำ โดยมี การทดลองใช้ตัวควบคุมสองชนิดที่แตกต่างกัน โดยชนิดแรกเป็นตัวควบคุมพีไอดีซึ่งเป็นฟังก์ชันหนึ่ง ในโปรแกรม LabVIEW และตัวที่สองเป็น Single Loop Controller เพื่อควบคุมค่าของกระบวนการ ให้เป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการ โดยในบทนี้จะเกี่ยวกับการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์พีไอดีเพื่อ ควบคุมกระบวนการให้เป็นไปอย่างเหมาะสม

4.2 การทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม

การปรับค่าพารามิเตอร์พีไอดีด้วยวิธีลองผิดลองถูก (Trial & Error close loop tuning)

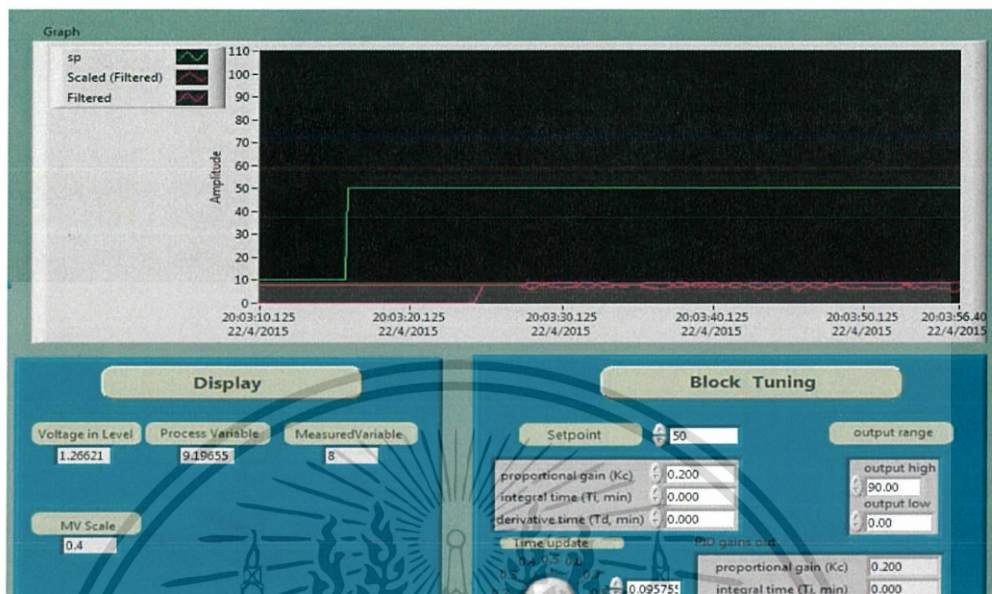
ในระบบการควบคุมระดับของของเหลว การเพิ่มอัตราขยายของตัวควบคุมสามารถที่จะเพิ่ม ความเสถียรภาพให้กับการควบคุมระดับของเหลวได้ และโดยทั่วไปแล้วก็มีการใช้ตัวควบคุมแบบโอ ด้วยแต่ก็ไม่มีควมจำเป็นถ้าหากระดับออฟเซตของของเหลวมีค่าน้อยมาก และตัวควบคุมแบบดีจะไม่ นิยมใช้ในการควบคุมระดับของเหลว เนื่องจากว่าการวัดระดับของเหลวบ่อยครั้งจะประกอบด้วย สัญญาณรบกวนที่เกิดจากการกระเพื่อมและความแปรปรวนของของเหลวที่เข้ามาในถัง โดยวิธีการ ปรับค่าพารามิเตอร์แบบลองผิดลองถูกจะใช้การทดลองใส่ค่าต่าง ๆ และตัดค่าที่ผิดออกไป โดยสังเกต ค่าที่ทำให้ระบบสมดุลและเข้าใกล้เคียงค่าเป้าหมายมากที่สุด โดยการปรับค่าแบบลองผิดลองถูก สามารถทำได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 หน้าจอสำหรับปรับค่าพีไอดีของโปรแกรม LabVIEW

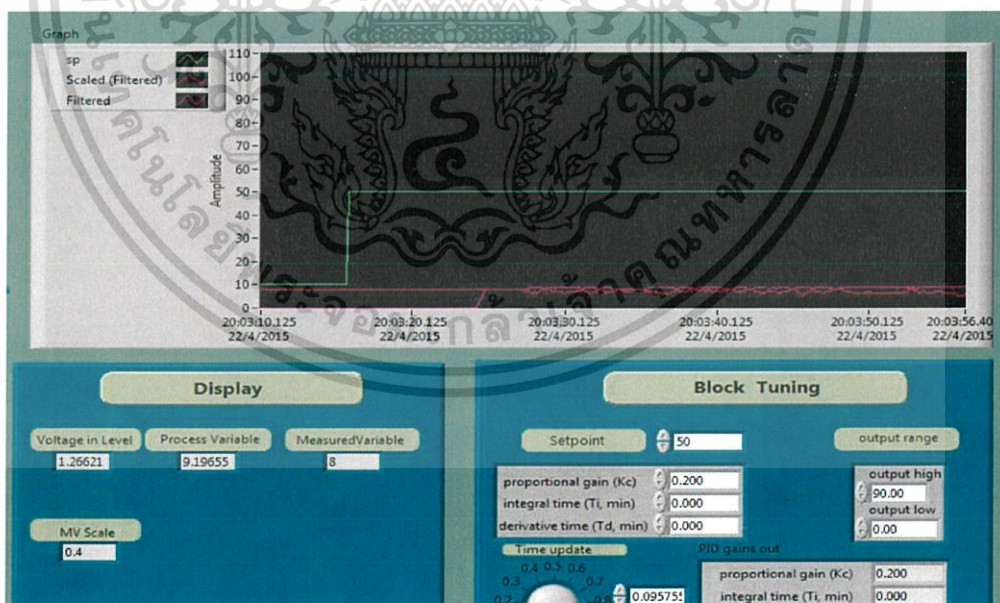
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ตั้งค่าเป้าหมายของกระบวนการ ไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่งที่มีความเหมาะสม และไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อกระบวนการ โดยในการทดลองกำหนดค่าเป้าหมายไว้ที่ 50 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.2 การปรับค่าเป้าหมายไว้ที่ 50 เปอร์เซ็นต์

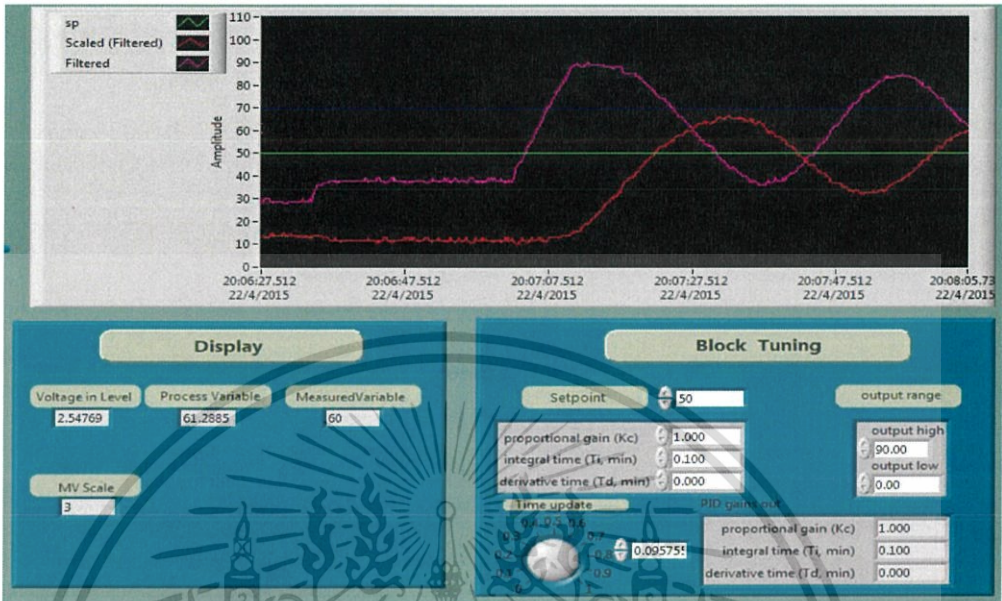
2. กำหนดค่า Integral และ Derivative โดยทำการปรับค่า Ti และ Td ให้เป็นศูนย์



รูปที่ 4.3 การปรับค่า Ti และ Td ให้เป็นศูนย์

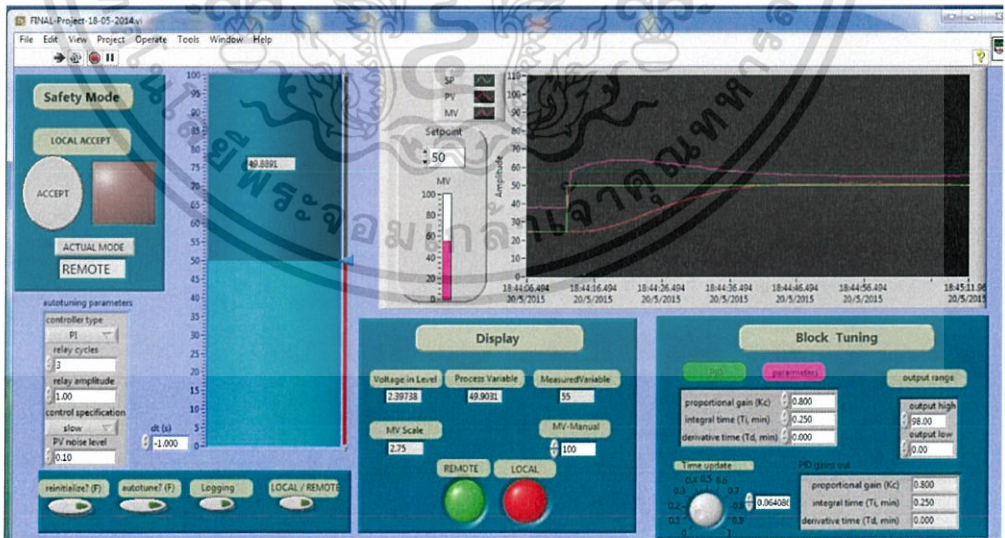
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3. ค่อย ๆ ทำการปรับตั้งค่าของ Kc โดยเริ่มใช้ค่าจากค่าที่น้อยแล้วค่อย ๆ ปรับเพิ่มขึ้นจนระบบมี damping และเริ่มเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย



รูปที่ 4.4 การปรับค่า Kp และ Ti ที่ทำให้ระบบเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย

- 4. หลังจากนั้นทำการปรับเพิ่ม Ti เพื่อลดการเกิด Offset ของระบบและลดค่า Kc ลงจนได้ค่าที่เหมาะสมกับระบบ



รูปที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับด้วยวิธีลองผิดลองถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองการควบคุมระดับของกระบวนการ

4.3.1 การทดลองการควบคุมระดับโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลการทดสอบการทำงานของพลาเน็ตโมเดลสำหรับควบคุมระดับน้ำโดยใช้ฟังก์ชันพีเอ็ดซีของโปรแกรม LabVIEW เป็นตัวควบคุมกระบวนการโดยมีการกำหนดค่าเป้าหมายเป็นช่วงขาขึ้น (Step Up) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงจาก 0% - 25%, 25% - 50%, 50% - 75% และ 75% - 100% และช่วงขาลง (Step Down) โดยเริ่มจากช่วง 100% - 75%, 75% - 50%, 50% - 25% และช่วง 25% - 0% และทำการบันทึกผลตั้งแต่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจนเข้าสู่สภาวะคงที่

ตารางที่ 4.1 การทดลองควบคุมระดับน้ำด้วยฟังก์ชันพีเอ็ดซีของโปรแกรม LabVIEW

LabVIEW PID Controller			
กรณีที่	การปรับค่ากระบวนการ		ช่วงการเปลี่ยนแปลง
	Step up	Step Down	
1	✓		0-25%
2	✓		25-50%
3	✓		50-75%
4	✓		75-100%
5		✓	100-75%
6		✓	75-50%
7		✓	50-25%
8		✓	25-0%

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยโปรแกรม LabVIEW

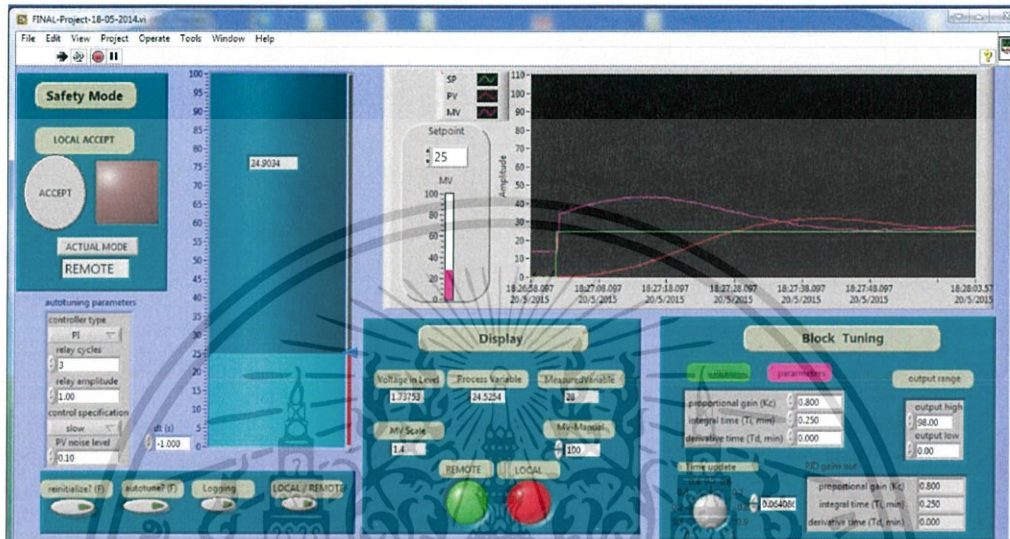
ค่าพารามิเตอร์พีเอ็ดซีที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการของโปรแกรม LabVIEW		
Kc	Ti	Td
0.80	0.250	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

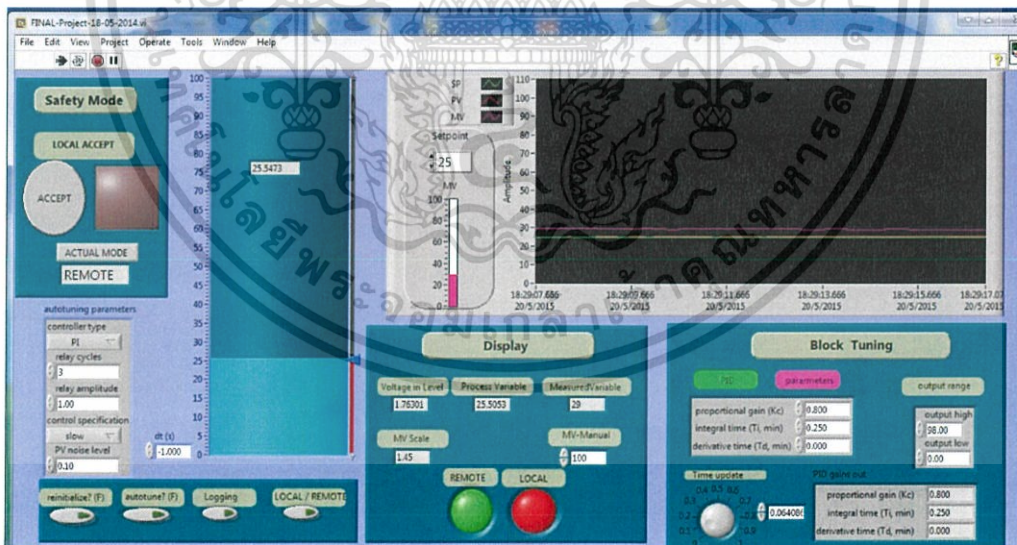
4.3.2 ผลการทดลองการควบคุมระดับโดยใช้โปรแกรม LabVIEW

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการทดลองการควบคุมระดับน้ำซึ่งใช้ตัวควบคุมเป็นฟังก์ชันพีโอดีของโปรแกรม LabVIEW โดยเวลาในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายจะทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มเปลี่ยนค่าเป้าหมายจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ และมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2%

1) กรณีที่ 1 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงขาขึ้น จาก 0-25%



รูปที่ 4.6 ผลการทดลองกรณีที่ 1 จากตารางที่ 4.1

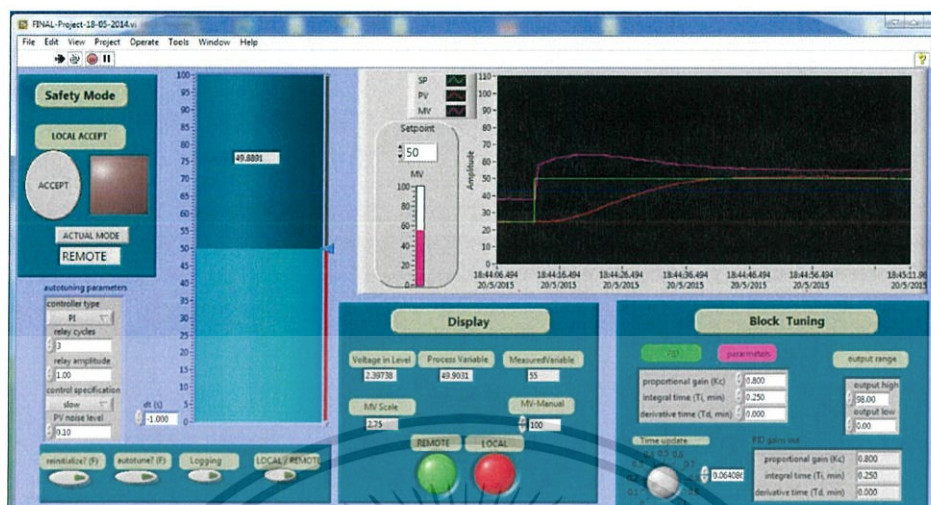


รูปที่ 4.7 ผลการทดลองกรณีที่ 1 จากตารางที่ 4.1

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 0% เป็น 25% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV ของกระบวนการได้เข้าสู่เป้าหมายโดยใช้เวลาประมาณ 1 นาที 17 วินาที และเกิด Overshoot 20% ค่าความผิดพลาด $\pm 1.89\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

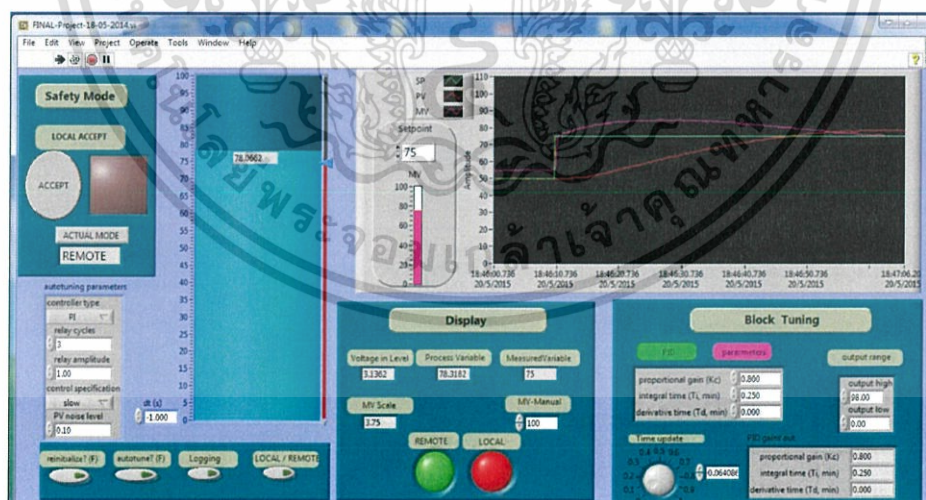
2) กรณีที่ 2 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงขาขึ้น จาก 25 - 50%



รูปที่ 4.8 ผลการทดลองกรณีที่ 2 จากตารางที่ 4.1

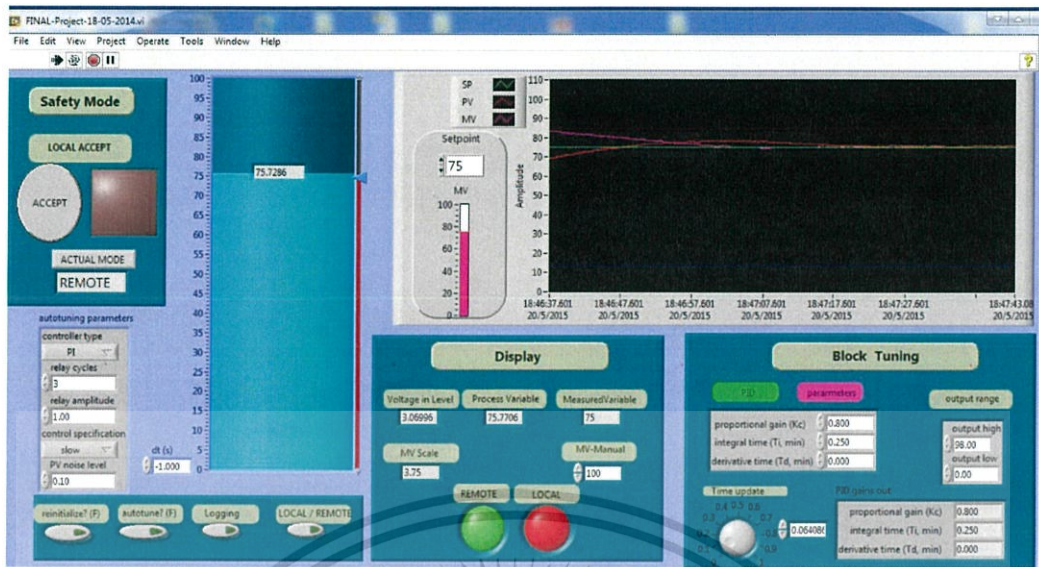
จากรูปที่ 4.8 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 50% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 50 วินาที ไม่เกิด Overshoot และมีค่าความผิดพลาด $\pm 0.2\%$

3) กรณีที่ 3 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงขาขึ้น จาก 50-75%



รูปที่ 4.9 ผลการทดลองกรณีที่ 3 จากตารางที่ 4.1

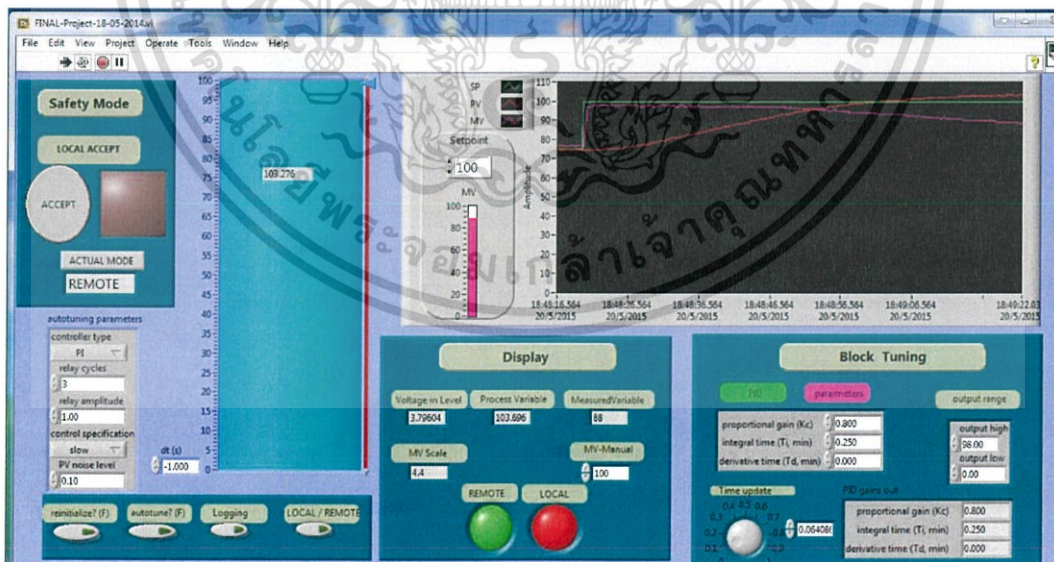
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลการทดลองกรณีที่ 3 จากตารางที่ 4.1

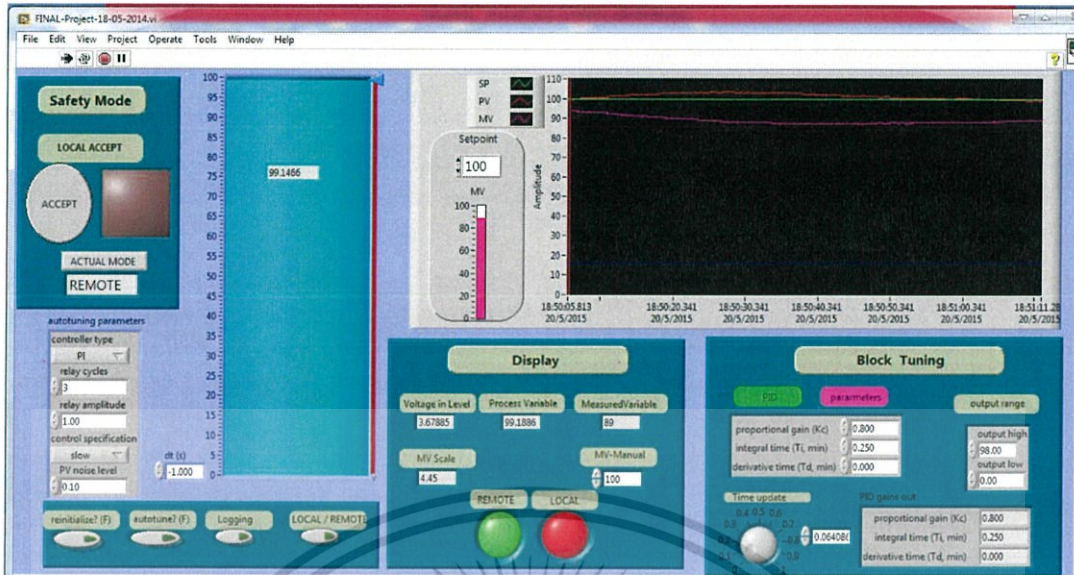
จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 75% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 1 นาที 20 วินาที และเกิด Overshoot 4% ค่าความผิดพลาด $\pm 0.6\%$

4) กรณีที่ 4 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงขาขึ้น จาก 75-100%



รูปที่ 4.11 ผลการทดลองกรณีที่ 4 จากตารางที่ 4.1

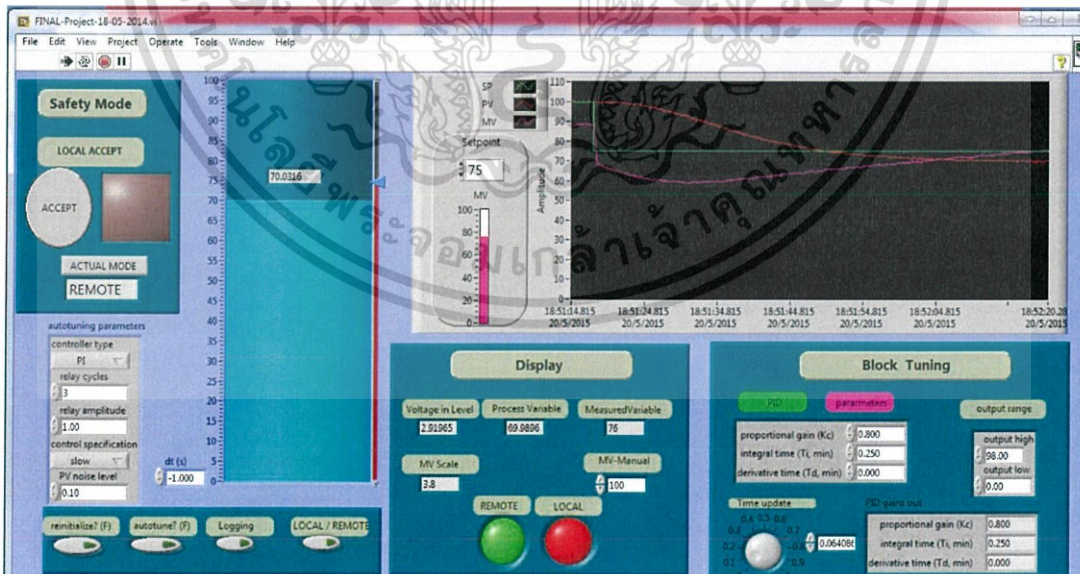
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ผลการทดลองกรณีที่ 4 จากตารางที่ 4.1

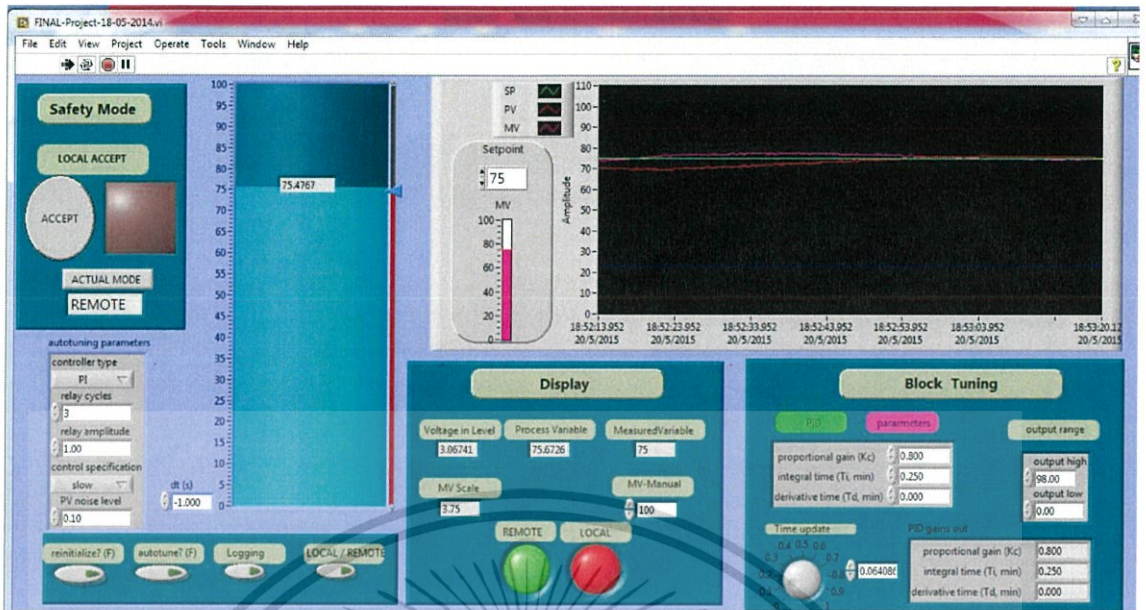
จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 100% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 1 นาที 35 วินาที และเกิด Overshoot 3% ค่าความผิดพลาด $\pm 0.2\%$

5) กรณีที่ 5 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงขาลง จาก 100-75%



รูปที่ 4.13 ผลการทดลองกรณีที่ 5 จากตารางที่ 4.1

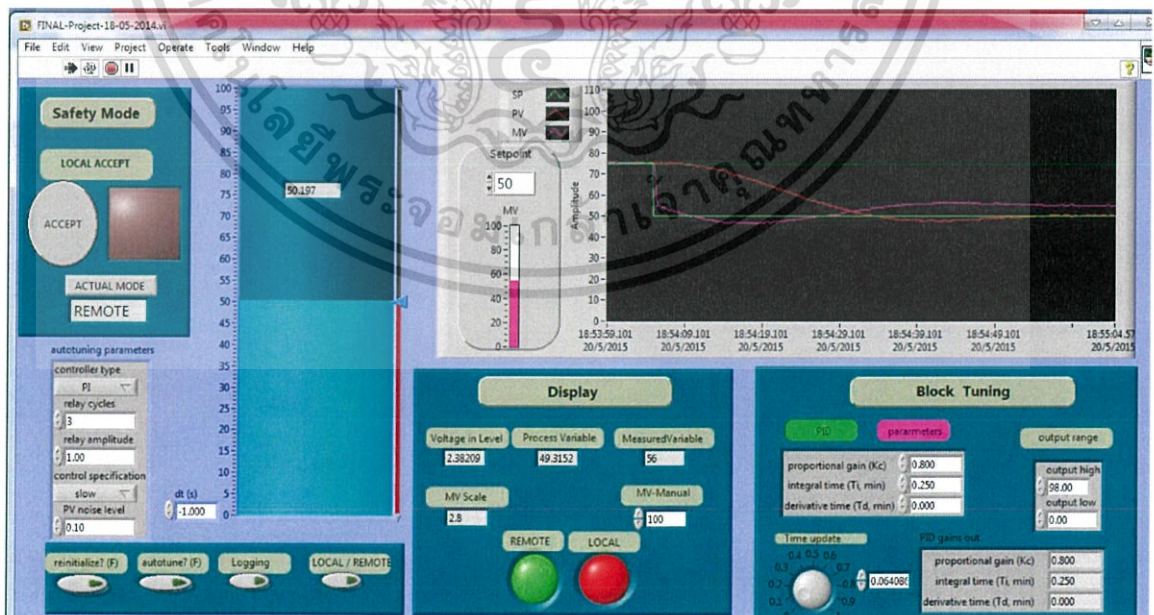
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ผลการทดลองกรณีที่ 5 จากตารางที่ 4.1

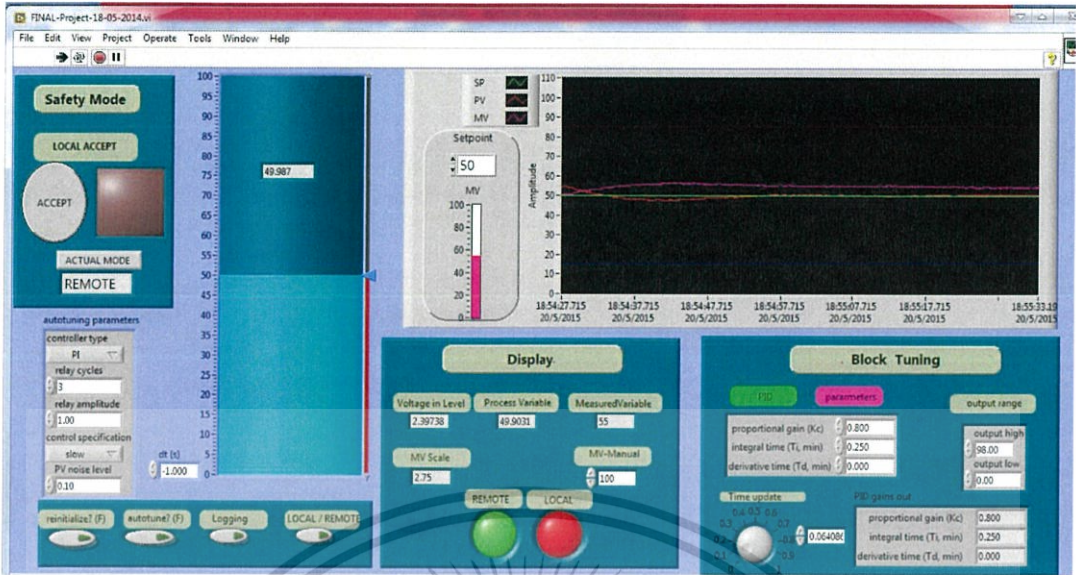
จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 100% เป็น 75% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 1 นาที 40 วินาที และเกิด Overshoot 8% ค่าความผิดพลาด $\pm 0.89\%$

6) กรณีที่ 6 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงกลาง จาก 75-50%



รูปที่ 4.15 ผลการทดลองกรณีที่ 6 จากตารางที่ 4.1

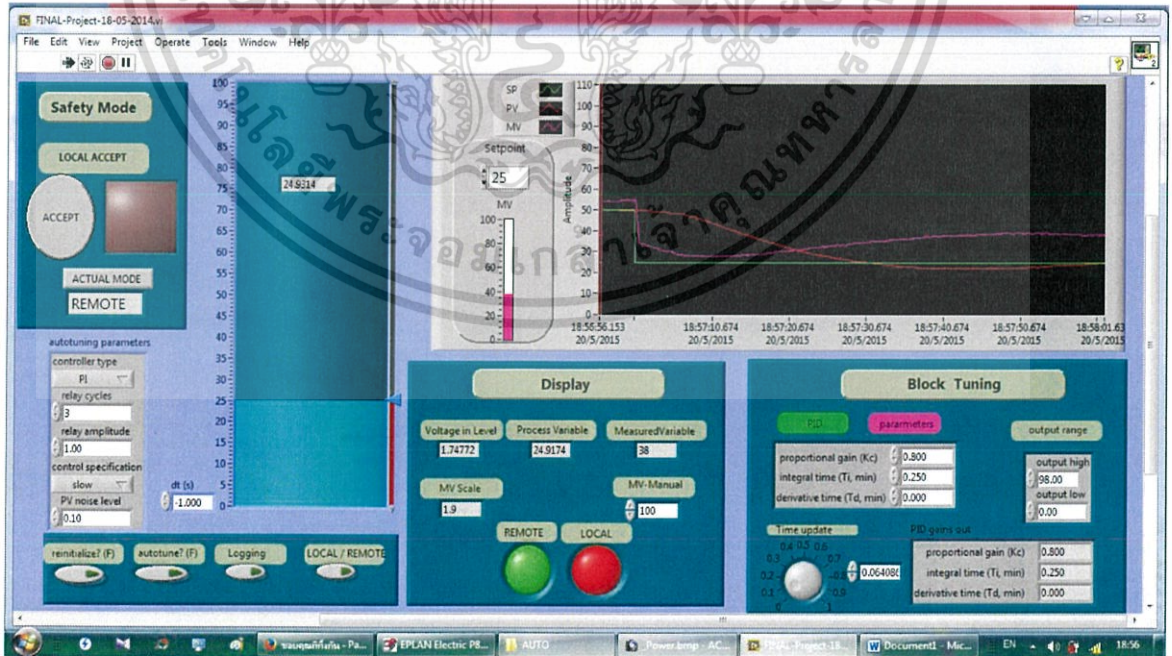
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ผลการทดลองกรณีที่ 6 จากตารางที่ 4.1

จากรูปที่ 4.15 และ 4.16 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 50% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 55 วินาที และเกิด Overshoot 1.9% ค่าความผิดพลาด $\pm 0.2\%$

7) กรณีที่ 7 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงกลาง จาก 50-25%

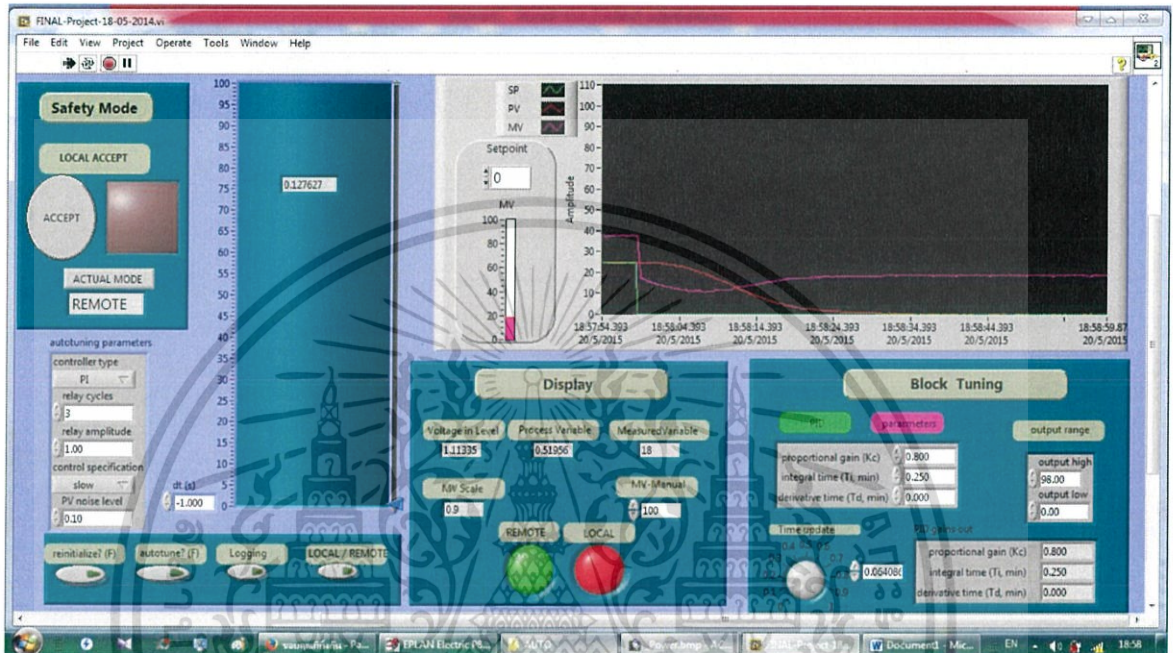


รูปที่ 4.17 ผลการทดลองกรณีที่ 7 จากตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมาย จาก 50% เป็น 25% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 1 นาที 20 วินาที และเกิด Overshoot 4% ค่าความผิดพลาด $\pm 0.33\%$

8) กรณีที่ 8 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงขาลง จาก 25-0%



รูปที่ 4.18 ผลการทดลองกรณีที่ 8 จากตารางที่ 4.1

จากรูปที่ 4.18 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมาย จาก 25% เป็น 0% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 24 วินาที ไม่เกิด Overshoot และค่าความผิดพลาด $\pm 2\%$

4.3.3 การทดลองการควบคุมระดับโดยใช้ Single Loop Controller

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลการการทดสอบการทำงานของพลานต์โมเดลสำหรับควบคุมระดับน้ำโดยใช้ Single Loop Controller เป็นตัวควบคุมกระบวนการโดยมีวิธีการทดลอง และใช้ค่าพารามิเตอร์เดียวกันกับการควบคุมกระบวนการด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งวิธีการกำหนดค่าเป้าหมายจะเป็นช่วงขาขึ้น (Step Up) ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าจาก 0% - 25%, 25% - 50%, 50% - 75%, และ 75% - 100% และช่วงขาลง (Step Down) โดยเริ่มจากช่วง 100% - 75%, 75% - 50%, 50% - 25%, และช่วง 25% - 0% และทำการบันทึกผลตั้งแต่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจนเข้าสู่สภาวะคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การทดลองควบคุมระดับน้ำด้วย Single Loop Controller

Single Loop Controller			
กรณีที่	การปรับค่ากระบวนการ		ช่วงการเปลี่ยนแปลง
	Step up	Step Down	
1	✓		0-25%
2	✓		25-50%
3	✓		50-75%
4	✓		75-100%
5		✓	100-75%
6		✓	75-50%
7		✓	50-25%
8		✓	25-0%

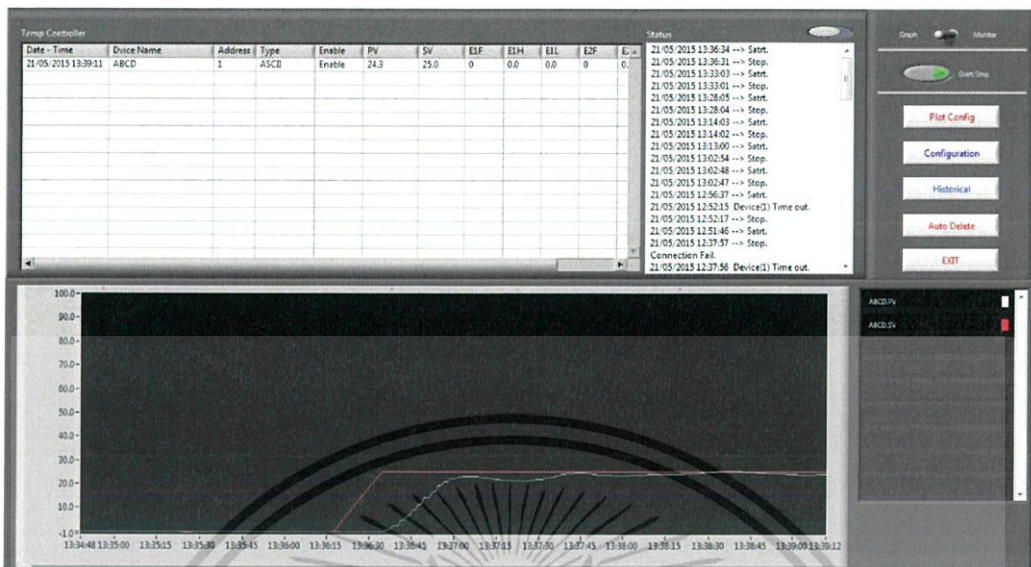
ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วย Single Loop Controller

ค่าพารามิเตอร์พีไอดีที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการของ Single Loop Controller		
Kc	Ti	Td
0.80	0.250	0

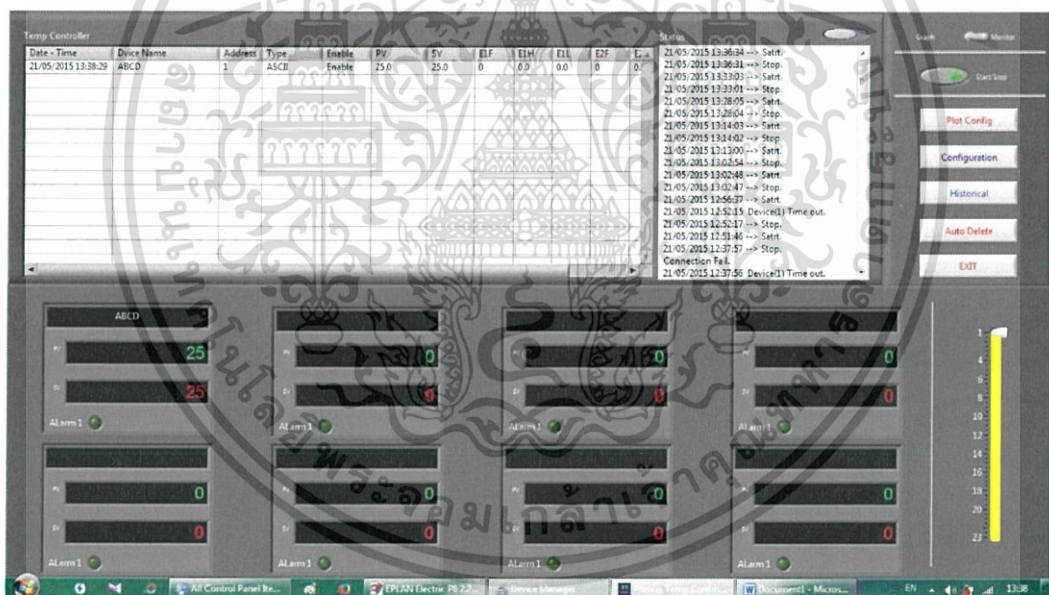
4.3.4 ผลการทดลองการควบคุมระดับโดยใช้ Single Loop Controller

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการทดลองการควบคุมระดับน้ำซึ่งจะใช้ตัวควบคุมเป็น Single Loop Controller โดยเวลาในการเข้าสู่ค่าเป้าหมายจะทำการจับเวลาตั้งแต่เริ่มเปลี่ยนค่าเป้าหมาย จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ และมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2%

1) กรณีที่ 1 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงขาขึ้น จาก 0-25%



รูปที่ 4.19 ผลการทดลองกรณีที่ 1 จากตารางที่ 4.3

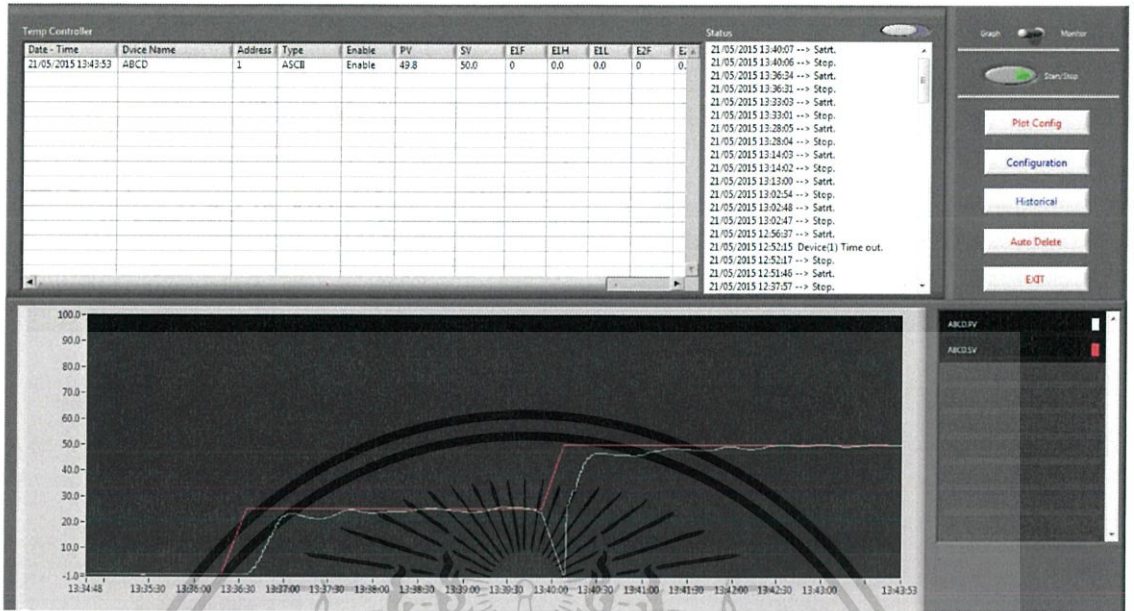


รูปที่ 4.20 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ของผลการทดลองกรณีที่ 1 จากตารางที่ 4.3

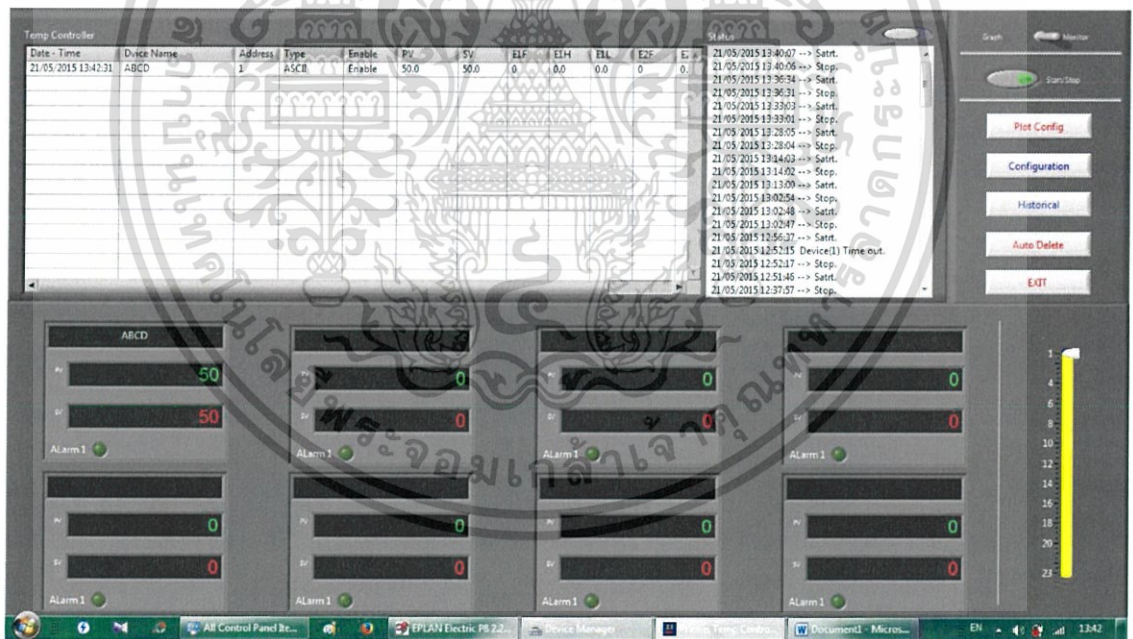
จากรูปที่ 4.19 และ 4.20 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 0% เป็น 25% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 2 นาที 30 วินาที และเกิด Overshoot 20% ค่าความผิดพลาด $\pm 1.2\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) กรณีที่ 2 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงขาขึ้น จาก 25-50%



รูปที่ 4.21 ผลการทดลองกรณีที่ 2 จากตารางที่ 4.3

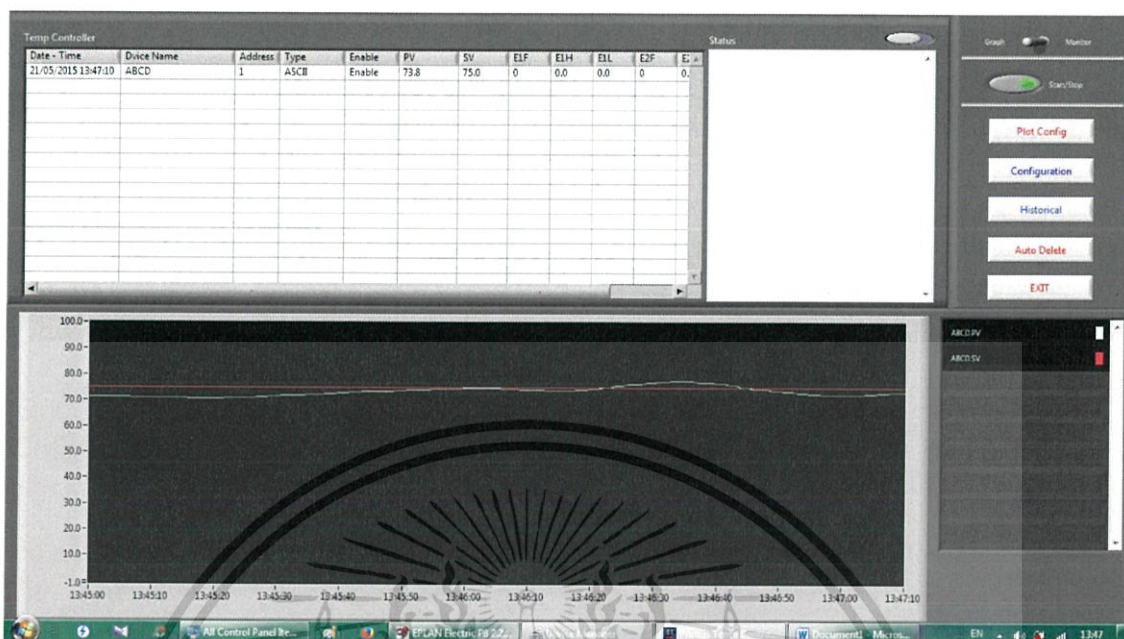


รูปที่ 4.22 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ของผลการทดลองกรณีที่ 2 จากตารางที่ 4.3

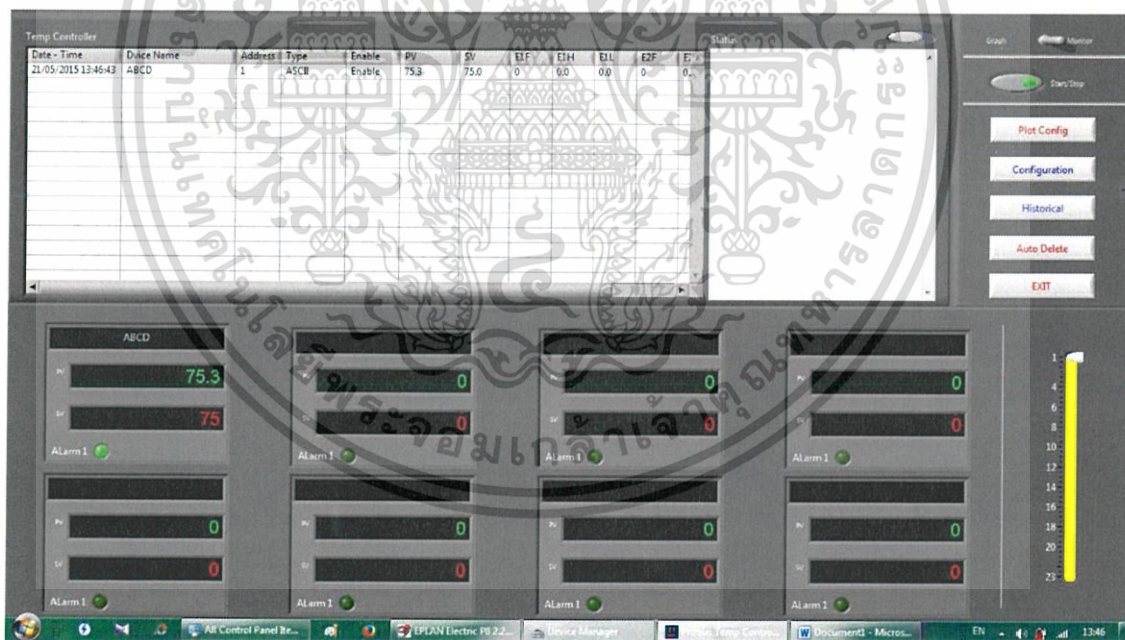
จากรูปที่ 4.21 และ 4.22 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 50% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 2 นาที 20 วินาที เกิด Overshoot 8% และมีค่าความผิดพลาด $\pm 0.4\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) กรณีที่ 3 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงขาขึ้น จาก 50-75%



รูปที่ 4.23 ผลการทดลองกรณีที่ 3 จากตารางที่ 4.3

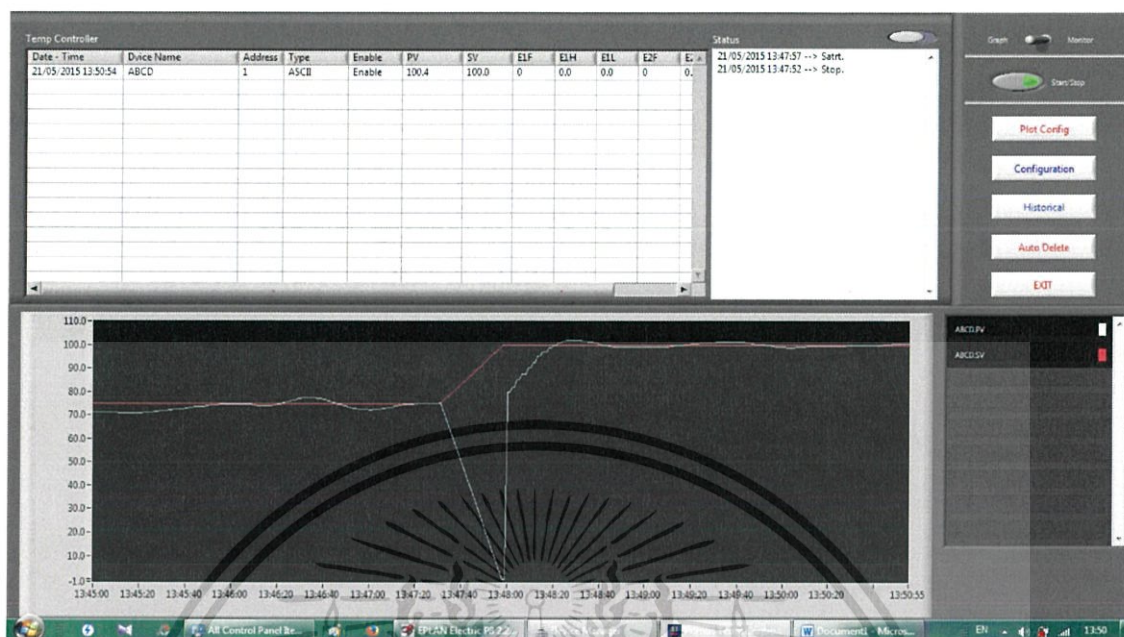


รูปที่ 4.24 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ของผลการทดลองกรณีที่ 3 จากตารางที่ 4.3

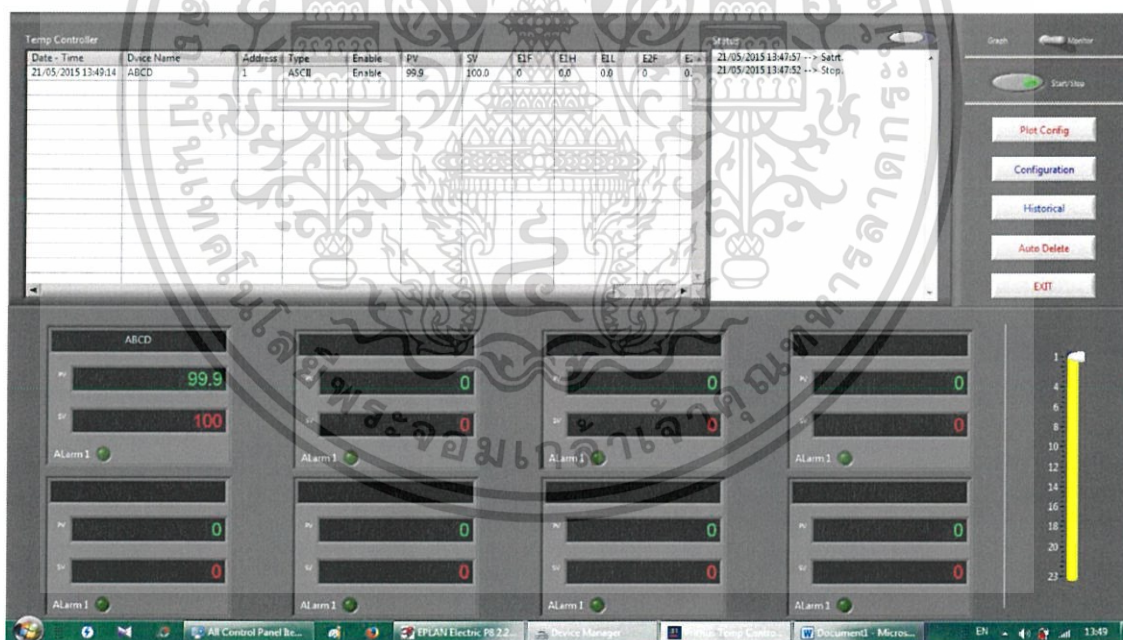
จากรูปที่ 4.23 และ 4.24 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 75% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 2 นาที 38 วินาที และเกิด Overshoot 6.6% ค่าความผิดพลาด $\pm 0.4\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) กรณีที่ 4 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงขาขึ้น จาก 75-100%



รูปที่ 4.25 ผลการทดลองกรณีที่ 4 จากตารางที่ 4.3

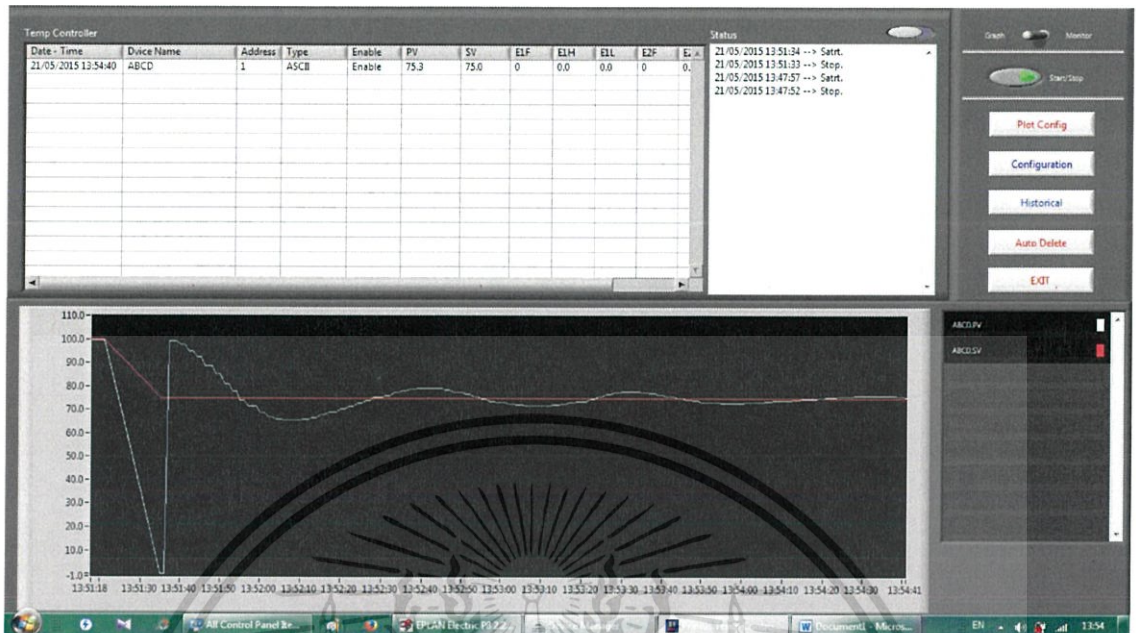


รูปที่ 4.26 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ของผลการทดลองกรณีที่ 4 จากตารางที่ 4.3

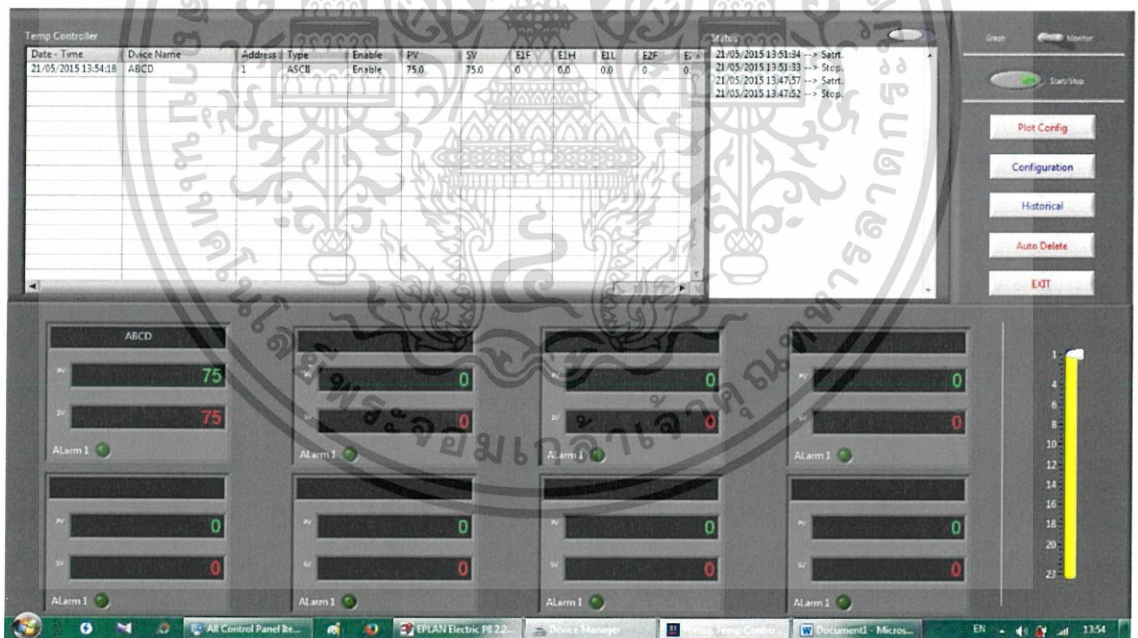
จากรูปที่ 4.25 และ 4.26 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 100% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 2 นาที 20 วินาที และเกิด Overshoot 2.5% ค่าความผิดพลาด $\pm 0.1\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) กรณีที่ 5 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงขาลง จาก 100-75%



รูปที่ 4.27 ผลการทดลองกรณีที่ 5 จากตารางที่ 4.3

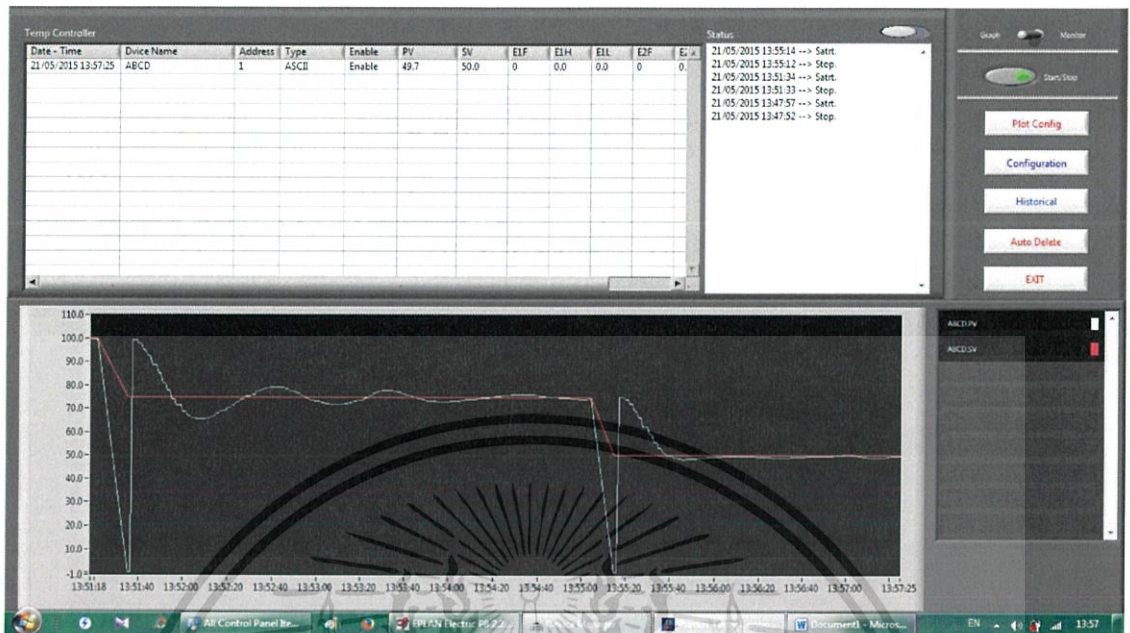


รูปที่ 4.28 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ของผลการทดลองกรณีที่ 5 จากตารางที่ 4.3

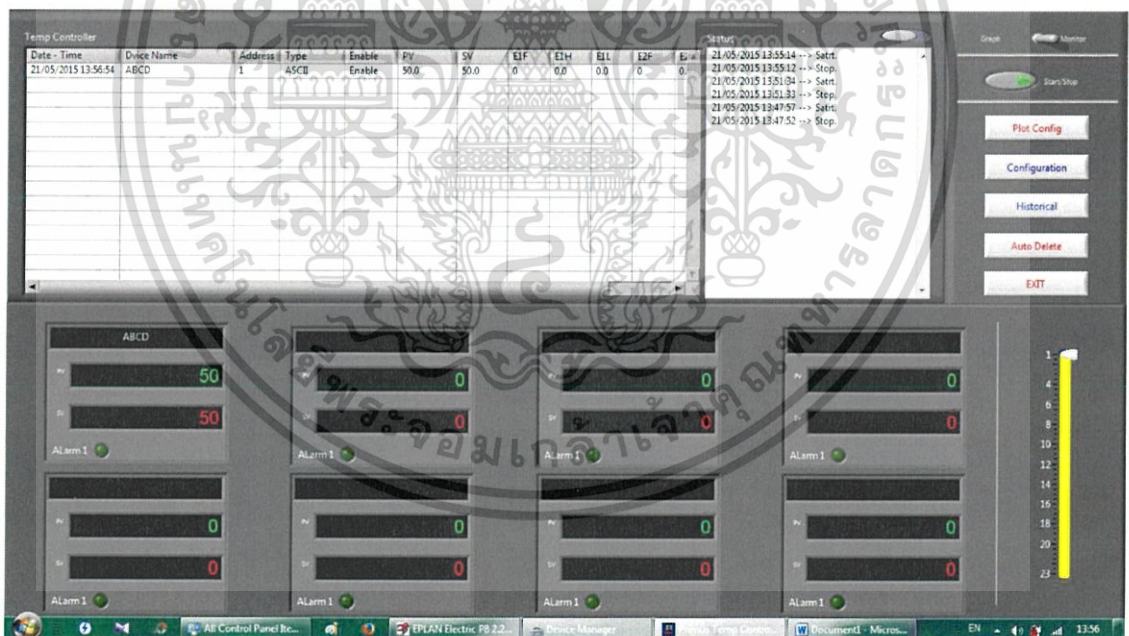
จากรูปที่ 4.27 และ 4.28 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 100% เป็น 75% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 2 นาที 15 วินาที และเกิด Overshoot 13.3% ค่าความผิดพลาด $\pm 0.1\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) กรณีที่ 6 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงขาลง จาก 75-50%



รูปที่ 4.29 ผลการทดลองกรณีที่ 6 จากตารางที่ 4.3

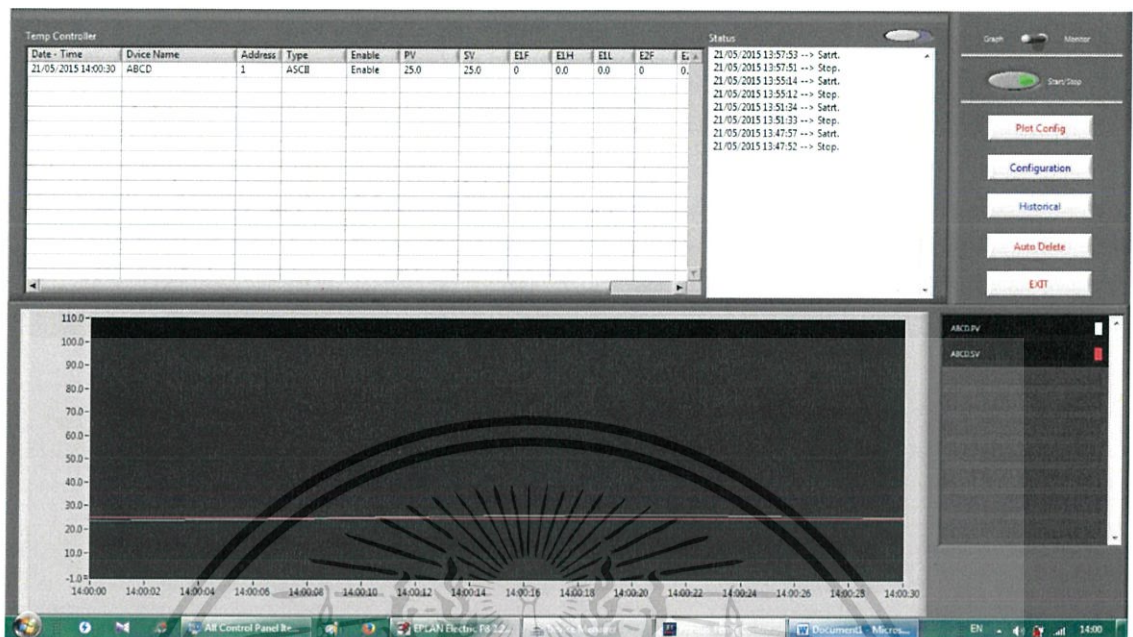


รูปที่ 4.30 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ของผลการทดลองกรณีที่ 6 จากตารางที่ 4.3

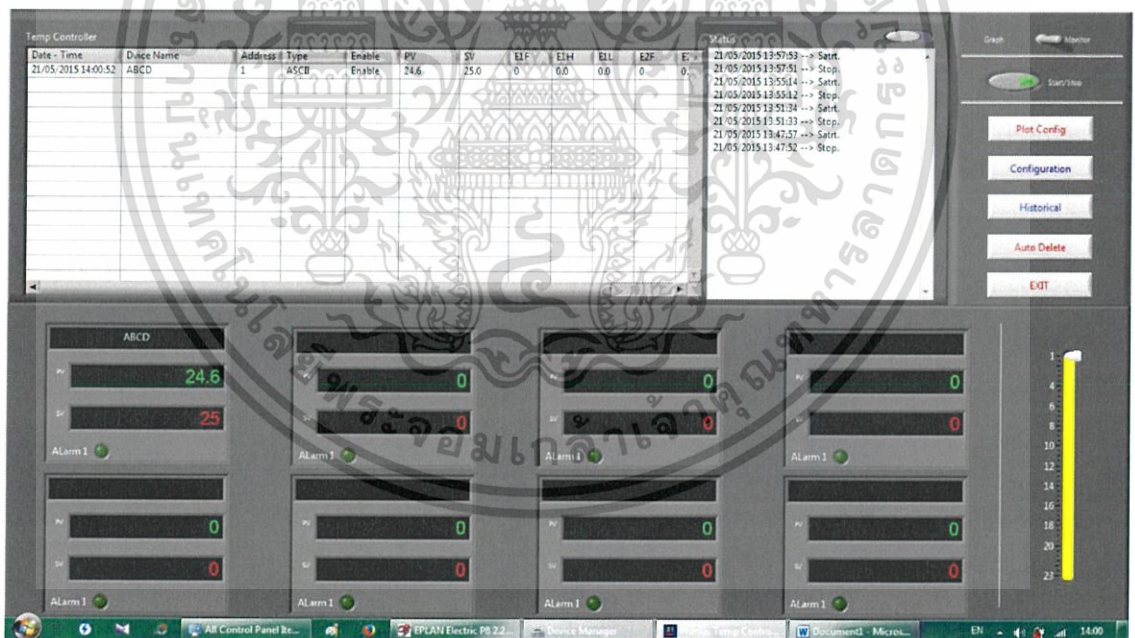
จากรูปที่ 4.29 และ 4.30 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 75% เป็น 50% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 2 นาที 15 วินาที และเกิด Overshoot 1.2% ค่าความผิดพลาด $\pm 0.1\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) กรณีที่ 7 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงขาลง จาก 50-25%



รูปที่ 4.31 ผลการทดลองกรณีที่ 7 จากตารางที่ 4.3

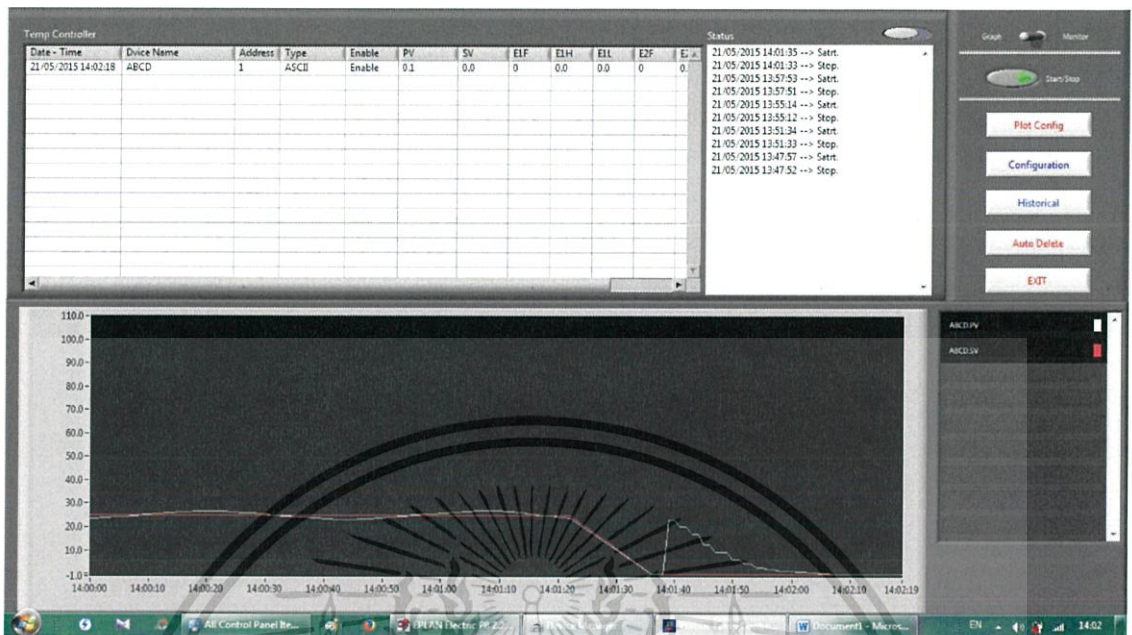


รูปที่ 4.32 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ของผลการทดลองกรณีที่ 7 จากตารางที่ 4.3

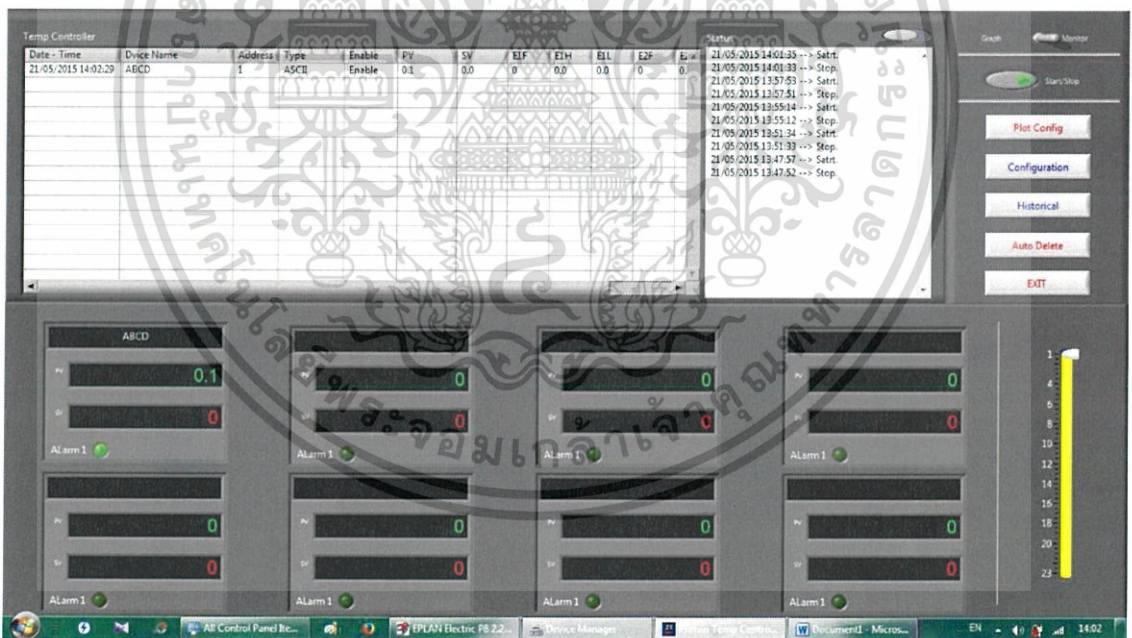
จากรูปที่ 4.31 และ 4.32 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 50% เป็น 25% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 2 นาที 4 วินาที ไม่เกิด Overshoot และมีค่าความผิดพลาด $\pm 1.6\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) กรณีที่ 8 ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายในช่วงขาลง จาก 25-0%



รูปที่ 4.33 ผลการทดลองกรณีที่ 8 จากตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.34 หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ของผลการทดลองกรณีที่ 8 จากตารางที่ 4.3

จากรูปที่ 4.33 และ 4.34 แสดงผลตอบสนองของกระบวนการที่ทำการทดลองโดยเปลี่ยนค่าเป้าหมายจาก 25% เป็น 0% ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PV เข้าสู่เป้าหมายใช้เวลาประมาณ 40 วินาที ไม่เกิด Overshoot และค่าความผิดพลาด $\pm 0.1\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 เปรียบเทียบการเข้าสู่ค่าเป้าหมายของคอนโทรลเลอร์สองชนิด

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการปรับค่าช่วงขาขึ้นในกรณีที่ 1-4 จากตารางที่ 4.1 และ 4.3

ช่วงการทดลอง	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย	
	LabVIEW PID Controller	Single Loop Controller
0-25%	1 นาที 17 วินาที	2 นาที 30 วินาที
25-50%	50 วินาที	2 นาที 20 วินาที
50-75%	1 นาที 20 วินาที	2 นาที 38 วินาที
75-100%	1 นาที 35 วินาที	2 นาที 20 วินาที

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองการปรับค่าช่วงขาลงในกรณีที่ 5-8 จากตารางที่ 4.1 และ 4.3

ช่วงการทดลอง	เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย	
	LabVIEW PID Controller	Single Loop Controller
100-75%	1 นาที 40 วินาที	2 นาที 54 วินาที
75-50%	55 วินาที	2 นาที 15 วินาที
50-25%	1 นาที 20 วินาที	2 นาที 4 วินาที
25-0%	24 วินาที	40 วินาที

ตารางที่ 4.7 ความคลาดเคลื่อนของการทดลองในกรณีที่ 1-8 จากตารางที่ 4.1 และ 4.3

ช่วงการทดลอง	ค่าคลาดเคลื่อนจากเป้าหมาย (%)	
	LabVIEW PID Controller	Single Loop Controller
0-25%	1.89	1.2
25-50%	0.19	0.4
50-75%	0.6	0.4
75-100%	0.23	0.1
100-75%	0.37	0.1
75-50%	0.19	0.1
50-25%	0.33	1.6
25-0%	2	0.1
ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.75	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ปฏิญญาพันธัน้นำเสนอถึงการออกแบบและจัดสร้างพลานต์โมเดลสำหรับควบคุมระดับของของเหลวโดยมีอุปกรณ์ทำงานในระบบคือ เครื่องมือวัดและส่งสัญญาณความดันแตกต่างที่ใช้หลักการวัดระดับแบบไฮโดรสแตติกเพื่อวัดระดับของเหลว มีอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ควบคุมการปั้มน้ำจากถังเก็บเข้าสู่กระบวนการโดยมีการเลือกใช้ตัวควบคุมสองชนิดในกระบวนการซึ่งชนิดแรก คือ ฟังก์ชันพีไอดีในโปรแกรม LabVIEW ส่วนตัวที่สองคือ Single Loop Controller

การดำเนินงานของโครงการเรื่องพลานต์โมเดลการควบคุมระดับของของเหลวจะเริ่มโดยการออกแบบพลานต์โมเดลโดยการคำนวณเพื่อเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสม เช่น เครื่องมือวัดระดับน้ำ ปั้มน้ำ ขนาดของถัง ขนาดของท่อ การคำนวณค่า β ของแผ่นอริทิสเป็นต้น โดยจะใช้ตัวควบคุมสองแบบในการทดลองควบคุมกระบวนการเพื่อทดสอบว่าพลานต์โมเดลที่ได้ทำการสร้างขึ้นนี้สามารถทำการควบคุมระดับได้จริง โครงการนี้ช่วยให้ผู้ปฏิบัติได้พัฒนาตนเองในหลายด้านที่ต้องไปศึกษาเพิ่มเติม เช่น ในเรื่องของการวางแผนของท่อน้ำ การสูญเสียความดันในท่อ การสอบเทียบเครื่องมือวัด การปรับค่าพารามิเตอร์พีไอดี นอกจากนั้นยังสามารถนำพลานต์โมเดลนี้ไปเป็นสื่อการเรียนรู้ให้กับผู้ที่ต้องการรู้ในด้าน Process Control และ โปรแกรม Labview ในอนาคต ซึ่งจากผลการทดลองในบทที่ 4 ได้ทำการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์สำหรับควบคุมกระบวนการจากโปรแกรม LabVIEW และ Single Loop Controller ผลที่ได้คือพลานต์โมเดลสามารถทำการควบคุมกระบวนการได้จากตัวควบคุมทั้งสองชนิดโดยด้านโปรแกรม LabVIEW จะเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้เร็วกว่า แต่ Single Loop Controller จะมีค่าความผิดพลาด และ Overshoot ที่น้อยกว่า

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

การออกแบบถังที่ทำการควบคุมมีขนาดเล็กเกินไป ทำให้ระบบมีความตอบสนองไวกว่าปกติ จึงทำให้การควบคุมได้ยาก ใช้เวลานานในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม การทดลองควบคุมปั้มก่อนจะนำมาใช้งานมีความล่าช้าเนื่องจาก ชุดอุปกรณ์ควบคุมที่นำมาใช้มีการชำรุดเสียหายของ อินพุต และ เอาท์พุต

5.3 ข้อเสนอแนะ

การเลือกใช้อุปกรณ์ในพลานต์โมเดลบางอย่างมีความไม่เหมาะสม เช่น ปั้ม เพราะมีอัตราการไหลสูงกว่าที่ออกแบบทำให้เกิดเหตุการณ์ที่เรียกว่า High Gain ที่ทำให้ต้องใช้ Gain สูงในการปรับค่าพีไอดีซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่เหมาะสมทำให้อุปกรณ์ชำรุดไวขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

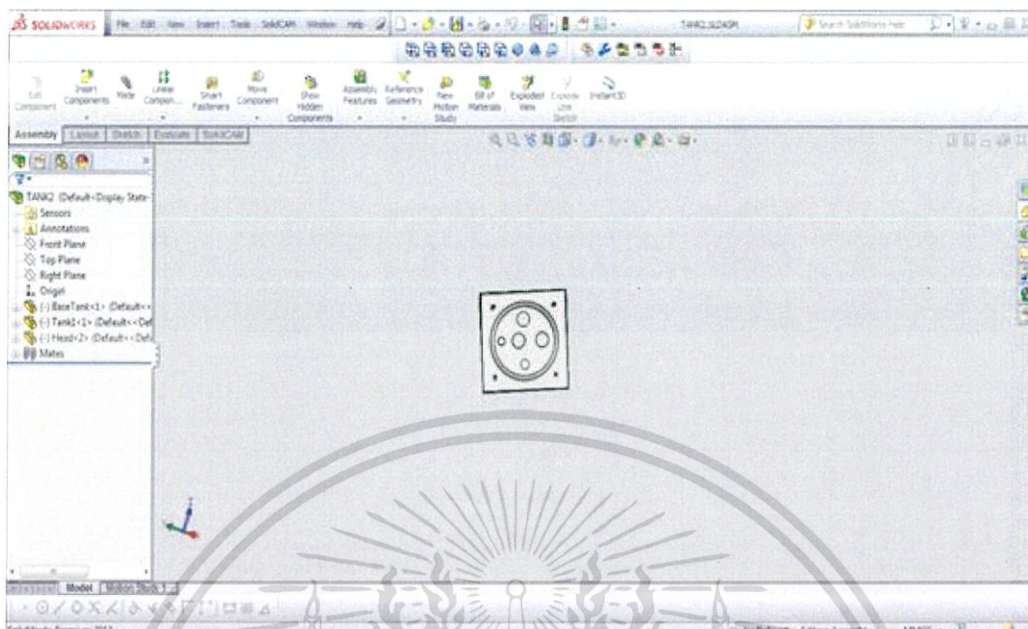
บรรณานุกรม

- [1] รศ.ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์. ระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] การวัดระดับ และอุปกรณ์การวัดระดับ level Measurement .
<http://www.bookclubman.com/level%20sample%20file-1.htm>
- [3] ทฤษฎีการไหลในท่อ http://irrigation.rid.go.th/rid4/km04/_data/57/general-05.pdf
- [4] การวัดอัตราการไหลด้วยแผ่นออริฟิส
<http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=19114§ion=9>
- [5] ระบบท่อ วาล์ว ปัม บริษัท เอ็มแอนด์อีจำกัด พ.ศ. 2546
- [6] Plastic Pipe – Friction Head loss . http://www.engineeringtoolbox.com/pressure-loss-plastic-pipes-d_404.html
- [7] คอนโทรลเลอร์แบบ พีไอดี . <http://www.navy.mi.th/elecwww/magaz/magazine/no16/18.pdf>
- [8] การออกแบบแอปพลิเคชันในระบบกราฟิกด้วย LabVIEW. กิจไพบุลย์ ชิวพันธุ์ศรี.กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น 2550
- [9] Flow measurement engineering handbook. Richard W Miller
- [10] Hitachi X200 Inverter Specification
<http://www.dietzelectric.com/documents/Hitachi%20X200%20Manual.pdf>

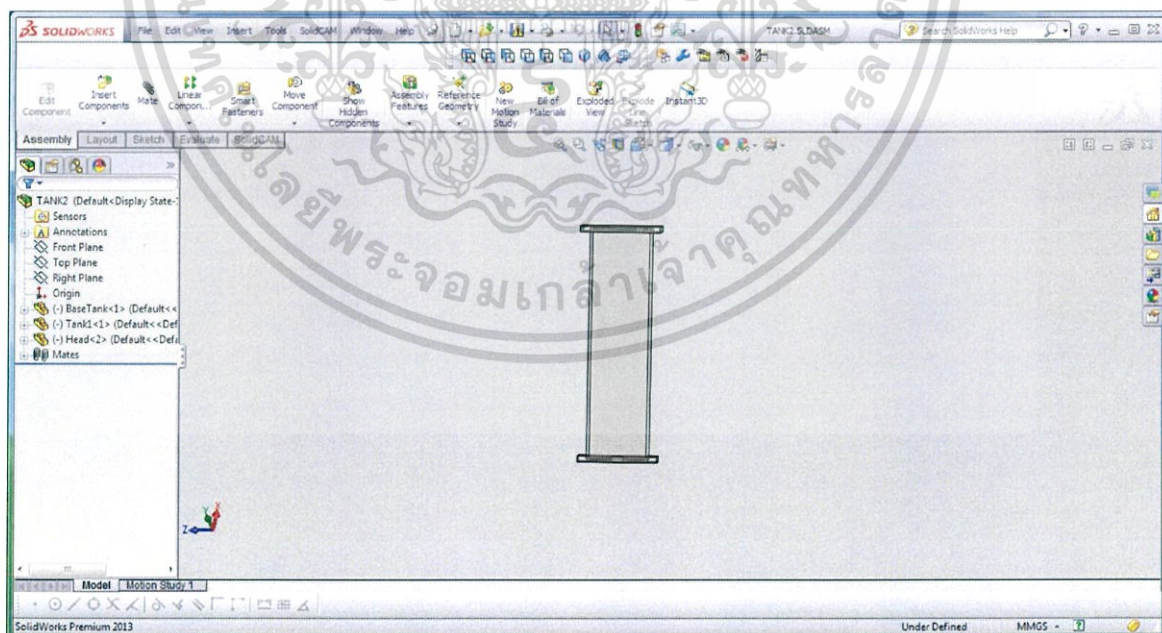
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

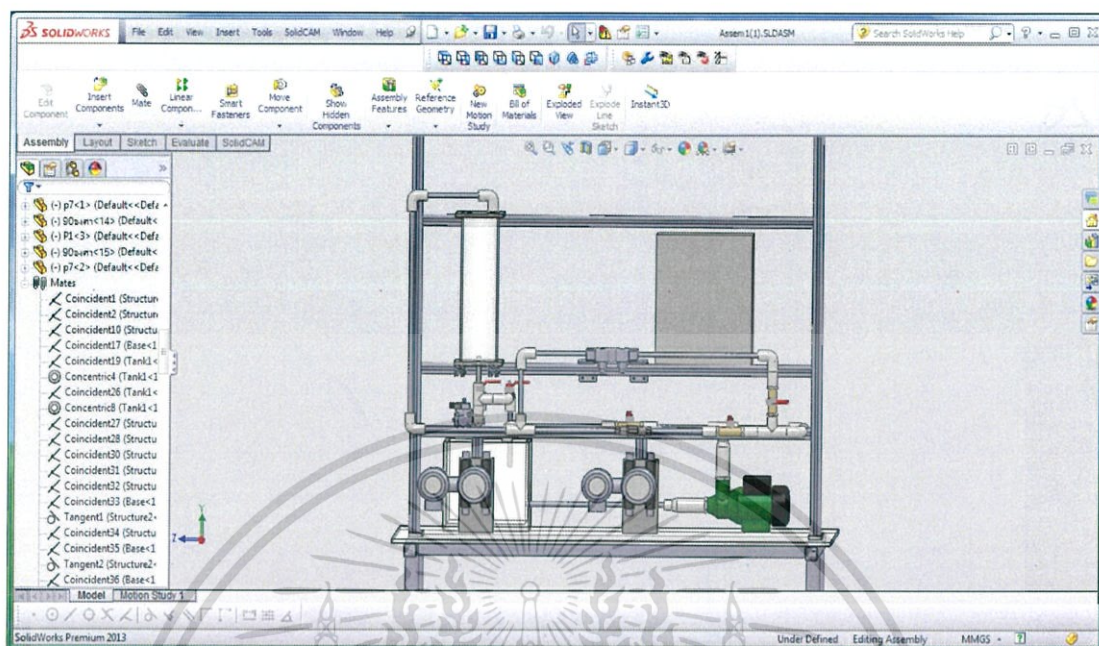


รูปที่ 1ก การออกแบบฝาปิดหัวท้ายถังน้ำ

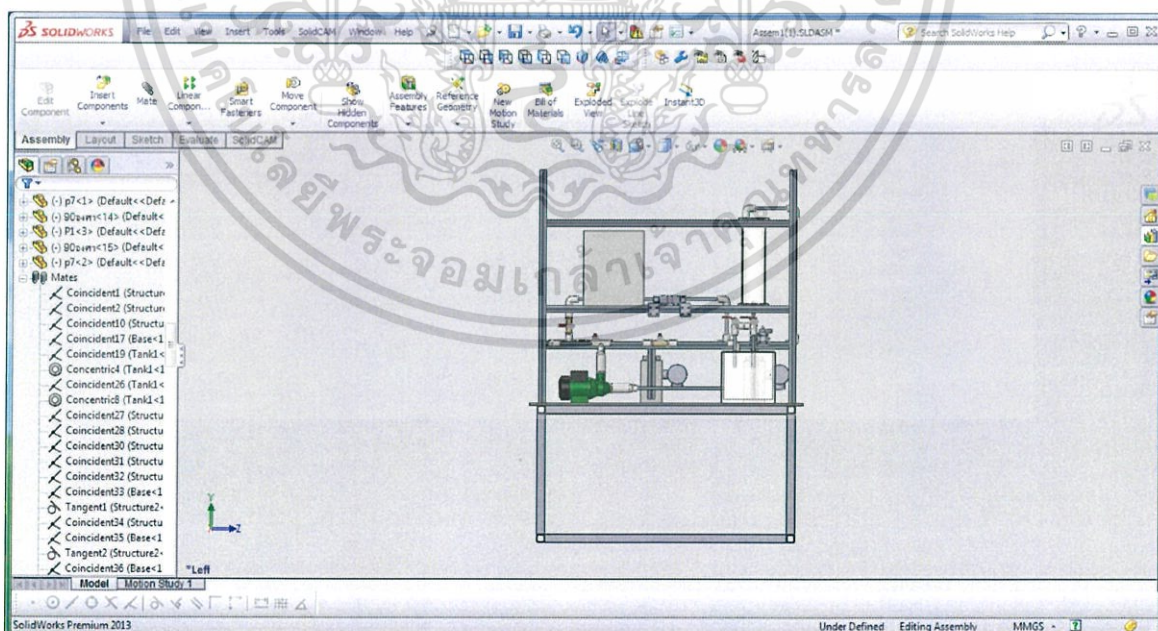


รูปที่ 2ก ถังแสดงระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

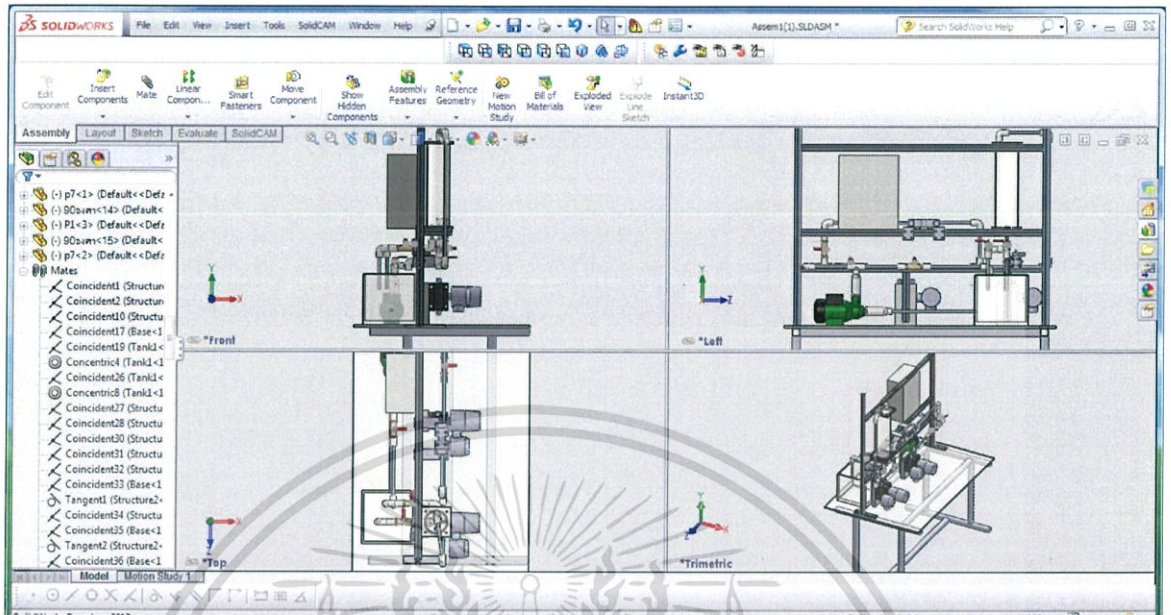


รูปที่ 3ก การออกแบบโครงสร้างด้านหน้า

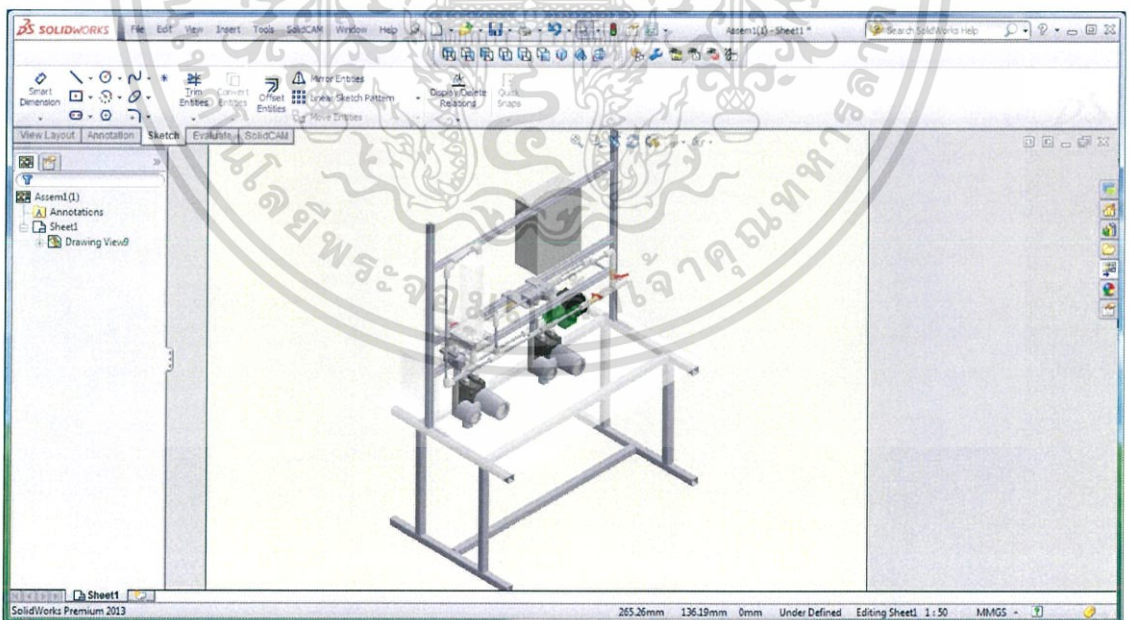


รูปที่ 4ก การออกแบบโครงสร้างด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

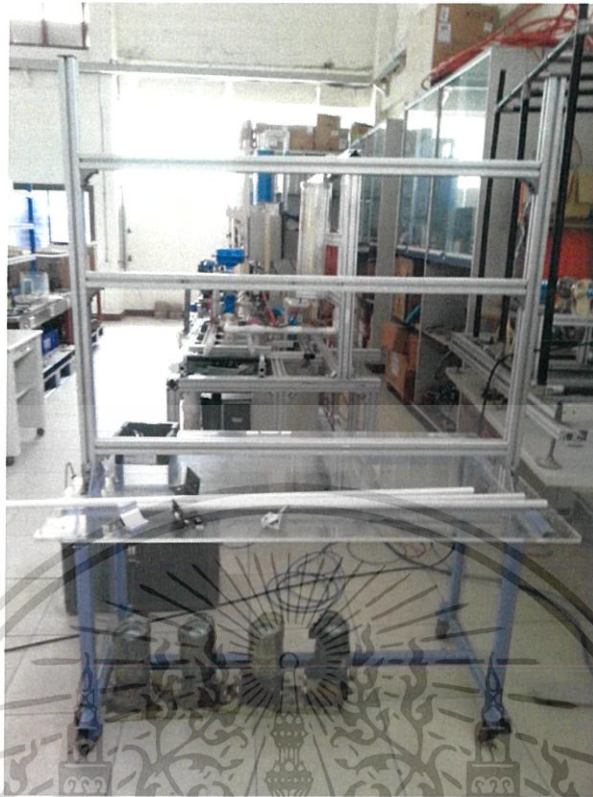


รูปที่ 5ก มุมมองต่างๆของการออกแบบโครงสร้าง



รูปที่ 6ก พลาเน็ตโมเดลที่ได้ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7ก โครงสร้างของพลานต์โมเดลก่อนการติดตั้งอุปกรณ์



รูปที่ 8ก พลานต์โมเดลสำหรับควบคุมระดับน้ำ

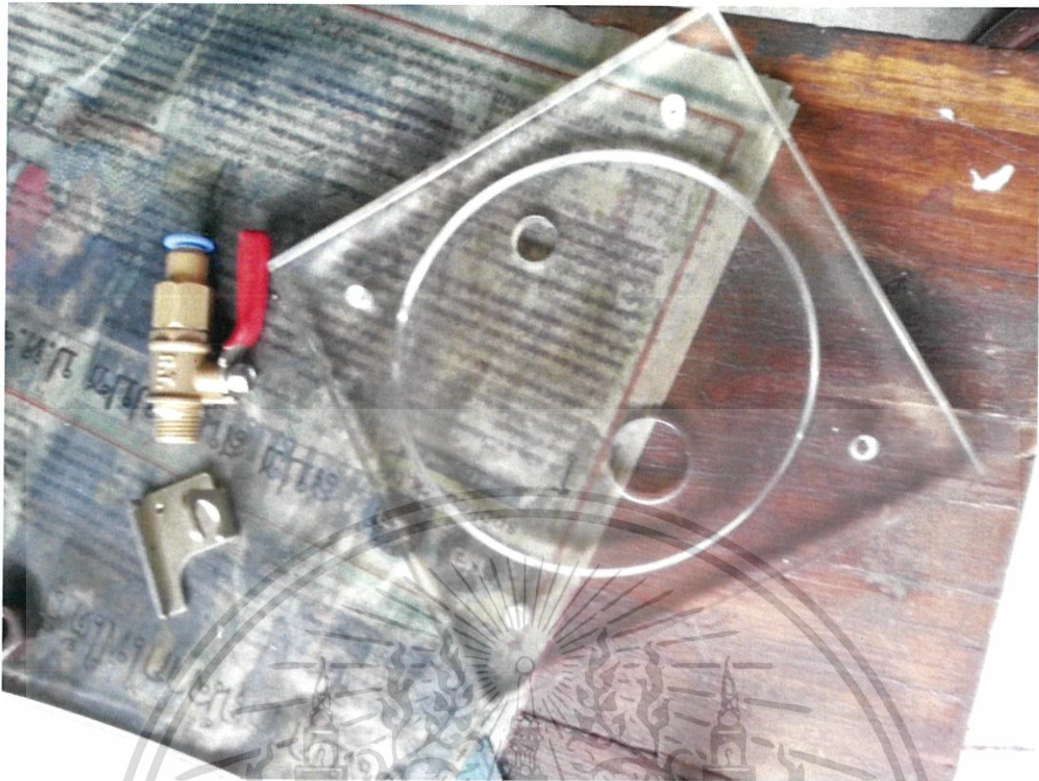
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



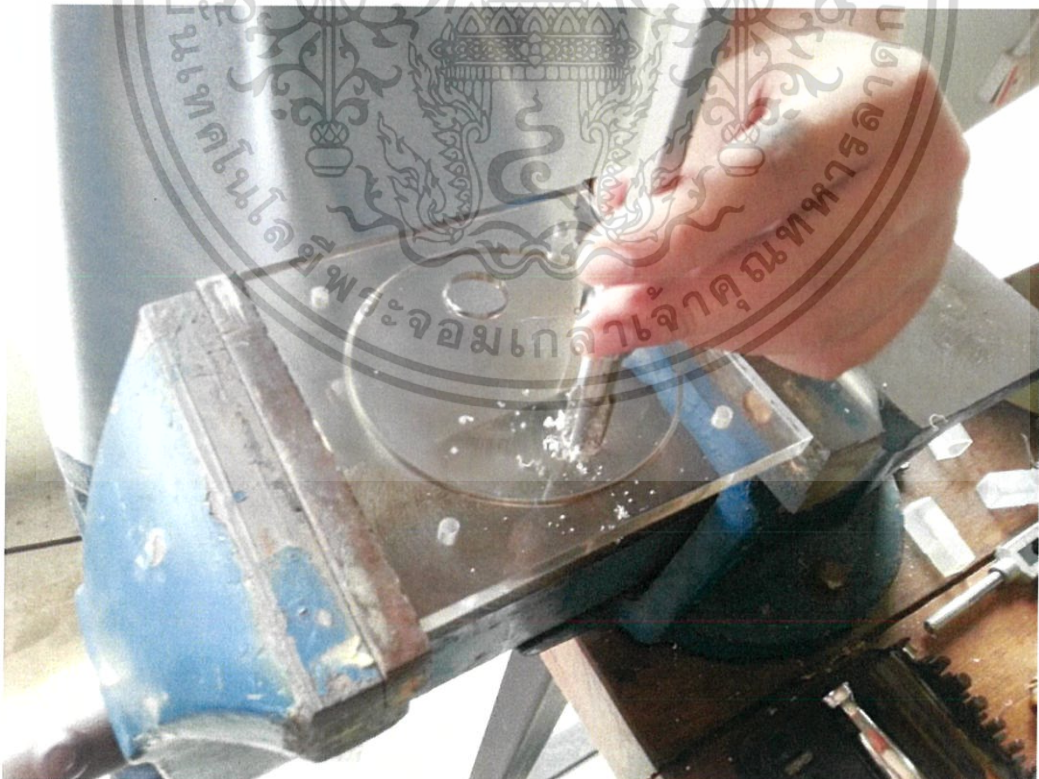
ภาคผนวก ข

การสร้างพลานต์โมเดลสำหรับควบคุมระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1ข ฝาปิดหัวท้ายถึงน้ำ



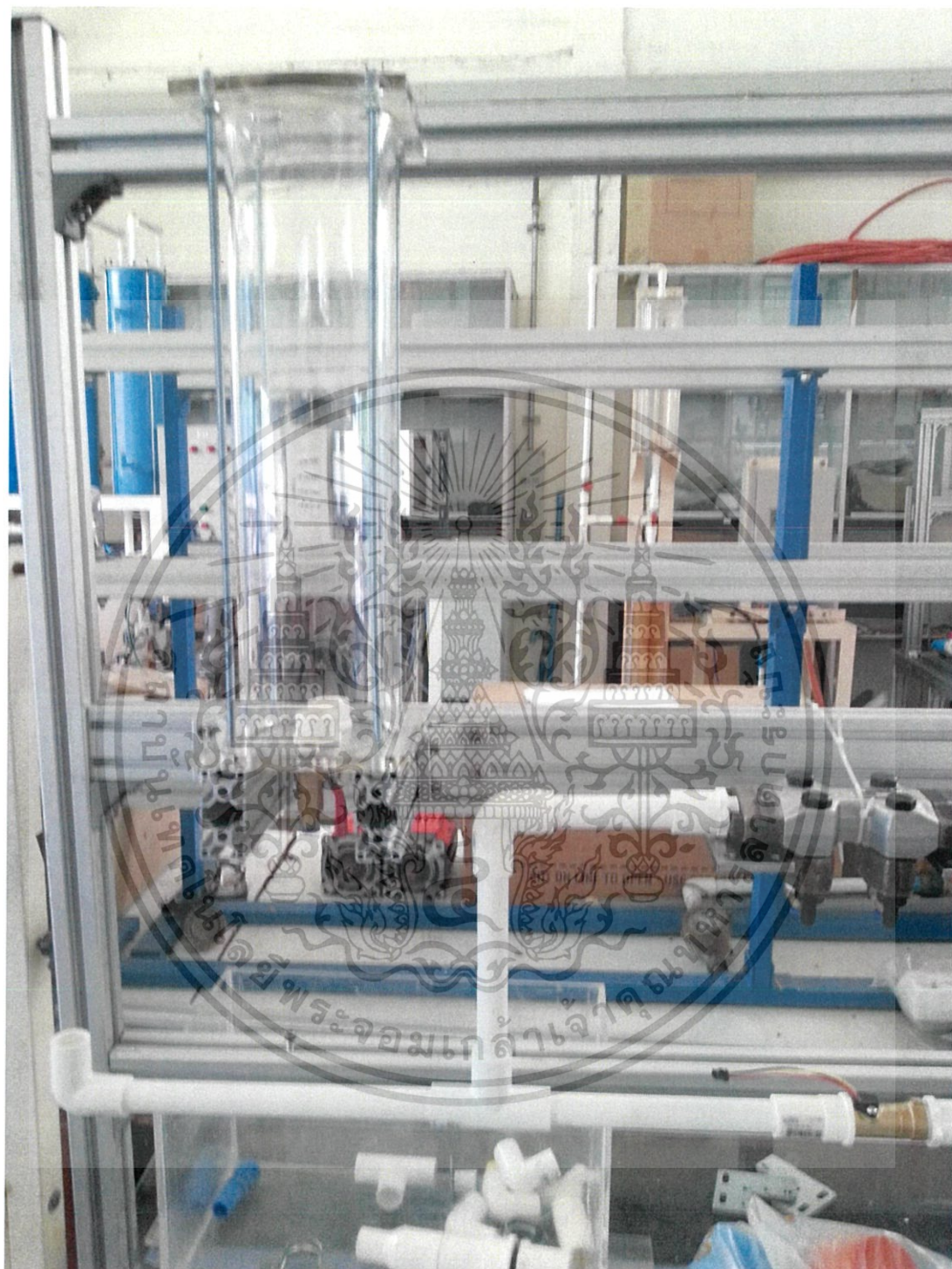
รูปที่ 2ข การทำเกลียวสำหรับติดตั้งวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3ข การตัด Aluminum Profile สำหรับประกอบโครงสร้างของพลาเน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4ข การติดตั้งถังควบคุมระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

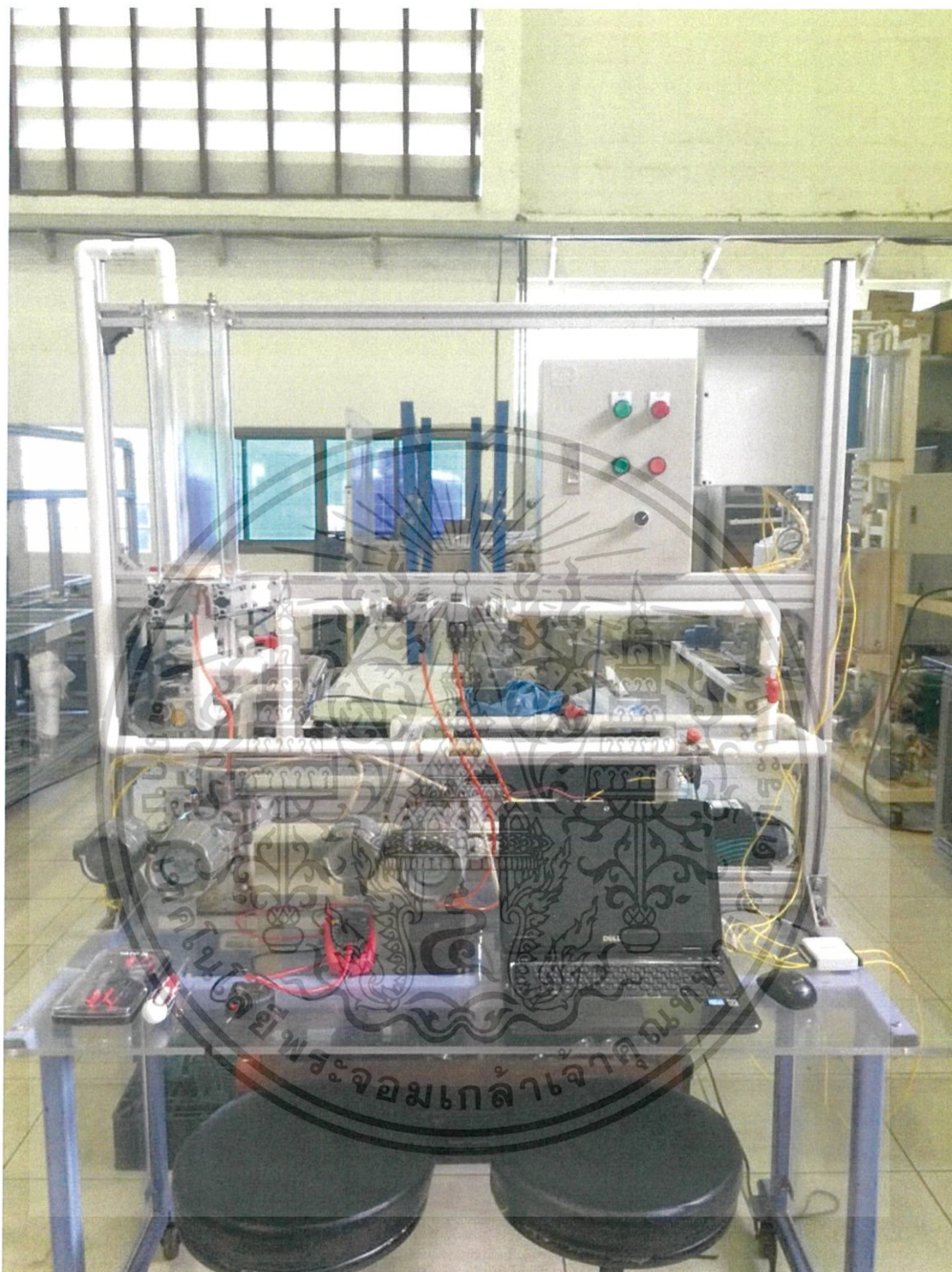


รูปที่ 5 ข การติดตั้งเครื่องมืออัลตราการไหล



รูปที่ 6 ข การติดตั้งทรานสมิตเตอร์วัดความดันแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7ข พลาเน็ตโมเดลสำหรับควบคุมระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

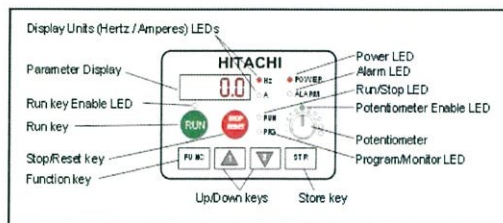


ภาคผนวก ค.

การตั้งค่าอินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ Hitachi รุ่น X200 และ Controller ยี่ห้อ TOHO รุ่น TTM-007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งค่าอินเวอร์เตอร์ Hitachi X200



รูปที่ 1ค อินเวอร์เตอร์ Hitachi x200

- กดปุ่ม Function Key เลือกไปที่ A005 ตั้งค่า Channel input of inverter A005 = 04

A005	02	03	04	05
AT input	OFF	ON	OFF	ON
Active	[O]	[POT]	[O]	[O]

Not assigned [AT] is the same as [AT]=OFF

รูปที่ 2ค การปรับอินพุตของอินเวอร์เตอร์

- ตั้งค่า “Speed command source” ถ้า manual A001=00. , ถ้า Auto A001 = 01

Step	Description	Via Keypad	Via Logic Terminals
1	Set speed command source setting	A001=00 (Keypad pot)	A001=01 [H-O-L] input
2	Set Run FW command source	A002=02 (Run key)	A002=01 [FW] input
3	Set Run REV command source	-	C002=01 (default) [RV] input
4	Set motor base freq	A003=60	
5	Set motor poles	H004 = 4 (default). change only if your motor is different	
6	Set keypad display to monitor freq.	Access d001, press Func key, display will show 0.0	
7	Perform safety check	Disconnect load from motor Turn keypad pot. To MIN position	
8	Run Forward command	Press Run key	Turn ON the [FW] terminal
9	Increase speed	Rotate keypad pot. CW direction	Increase voltage at [O]
10	Decrease speed	Rotate keypad pot. CCW direction	Decrease voltage at [O]
11	Stop motor	Press stop key	Turn OFF the [FW] terminal
12	Run Reverse command (optional)	-	Turn ON the [RV] terminal
13	Stop motor	-	Turn OFF the [RV] terminal

รูปที่ 3ค การปรับความเร็วรอบมอเตอร์ของอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตั้งค่า FW หรือ inverter set A002=02 , if run from switch or Scada set A002=01,C002=01

Step	Description	Via Keypad	Via Logic Terminals
1	Set speed command source setting	A001=00 (Keypad pot)	A001=01 [H-O-L] input
2	Set Run FW command source	A002=02 (Run key)	A002=01 [FW] input
3	Set Run REV command source	-	C002=01 (default) [RV] input
4	Set motor base freq	-	A006=60
5	Set motor poles	H004 = 4 (default), change only if your motor is different	
6	Set keypad display to monitor freq.	Access d001, press Func key, display will show 0 0	
7	Perform safety check	Disconnect load from motor Turn keypad pot. To MIN position	Ensure voltage on [O] - [L] terminals = 0V
8	Run Forward command	Press Run key	Turn ON the [FW] terminal
9	Increase speed	Rotate keypad pot. CW direction	Increase voltage at [O]
10	Decrease speed	Rotate keypad pot. CCW direction	Decrease voltage at [O]
11	Stop motor	Press stop key	Turn OFF the [FW] terminal
12	Run Reverse command (optional)	-	Turn ON the [RV] terminal
13	Stop motor	-	Turn OFF the [RV] terminal

รูปที่ 4ค ฟังก์ชันแสดงการปรับทิศทางหมุน

- กดปุ่ม Function Key ไปที่ A013 เลือก “Set input active range start Frequency A011= 14 Hz”
- กดปุ่มFunction Key ไปที่ A013 เลือก “Set input active range end Frequency A012= 40 Hz”
- กดปุ่ม Function Key ไปที่ A013 “Set input active range start voltage A013= 0%”
- กดปุ่ม Function Key ไปที่ A014 “Set input active range end voltage A014 =50%”

A011	O:L input active range start frequency	0.0	
A012	O:L input active range end frequency	0.0	
A013	O:L input active range start voltage	0.	
A014	O:L input active range end voltage	100.	

รูปที่ 5ค แสดงการตั้งค่าเริ่มต้นของ f และ v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. กดปุ่ม Function Key ไปที่ A061 “ Frequency high limit setting = 50 Hz”
 9. กดปุ่ม Function Key ไปที่ A062 “ Frequency low limit setting = 14 Hz”

A061/ A261	Frequency high limit setting	0.0	
A062/ A262	Frequency low limit setting	0.0	
A063/ A065 A067	Jump (center) frequency setting	0.0	
A064 A066 A068	Jump (hysteresis) frequency width setting	0.5	
A071	PID enable • 00 PID operation OFF • 01 PID operation ON	00	

รูปที่ 6 แสดงค่าขอบเขตความถี่

10. กดปุ่ม Function Key ไปที่ A071 “ PID enable” ตั้งค่า A071 = 00

A061/ A261	Frequency high limit setting	0.0	
A062/ A262	Frequency low limit setting	0.0	
A063 A065 A067	Jump (center) frequency setting	0.0	
A064 A066 A068	Jump (hysteresis) frequency width setting	0.5	
A071	PID enable • 00 PID operation OFF • 01 PID operation ON	00	

รูปที่ 7 แสดงการตั้งเปิด ปิดฟังก์ชัน PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

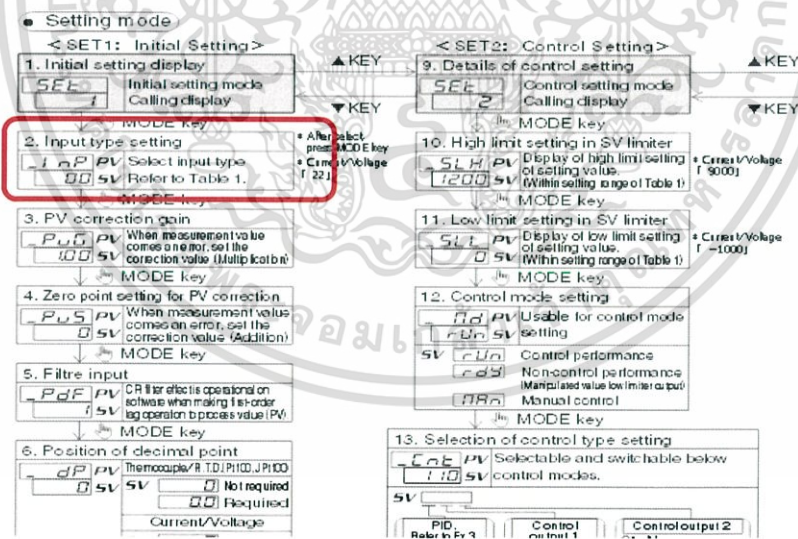
การตั้งค่า TTM-007 Controller

1. กดปุ่ม MODE ค้างไว้ 3 วินาที เพื่อเข้าสู่หน้าต่างการตั้งค่า



รูปที่ 8ค หน้าจอหลักของ TTM-007 Controller

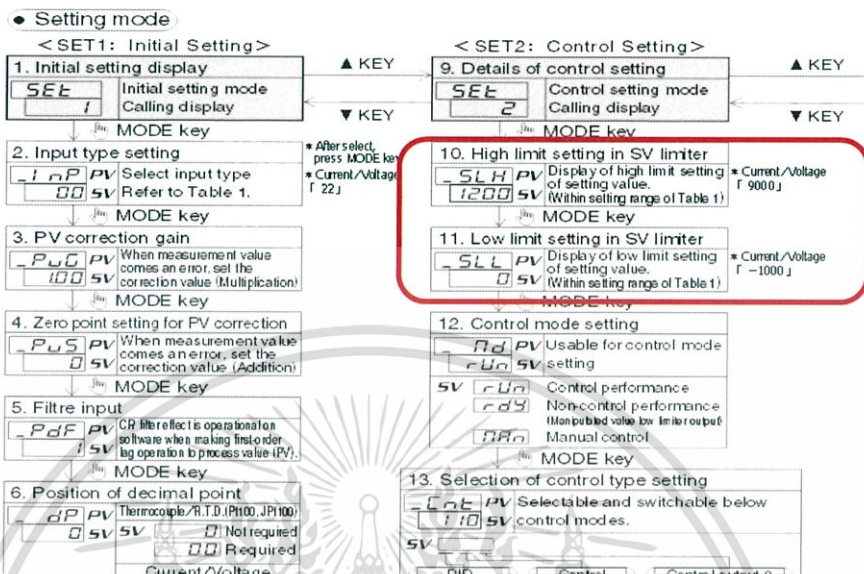
2. เลือกMODE Set 1 ไปที่ “setting” Input type



รูปที่ 9ค เลือกการตั้งค่าการรับสัญญาณเข้าController

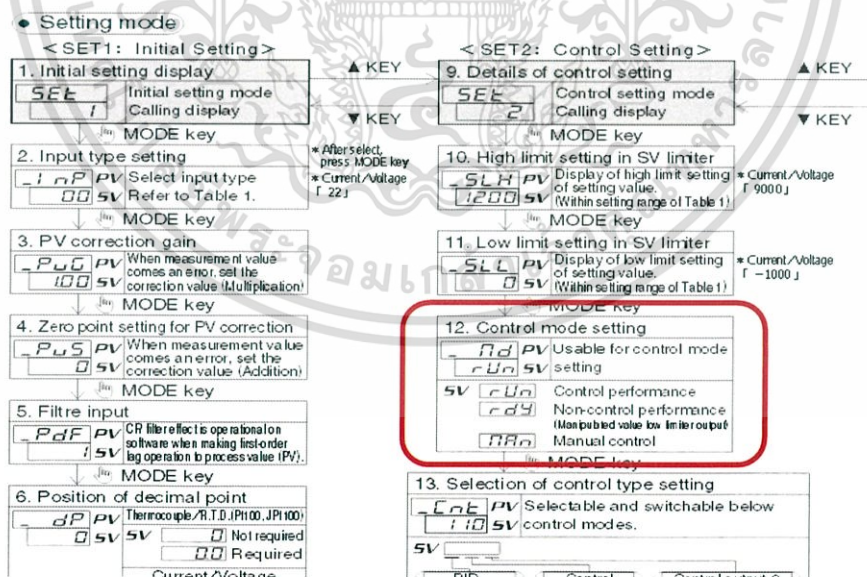
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เลือกMODE Set 2 ไปที่ “High limit setting in SV limiter = 100” และ “Low limit setting in SV limiter = 0”



รูปที่ 10 ค เลือกตั้งค่า High and low limit

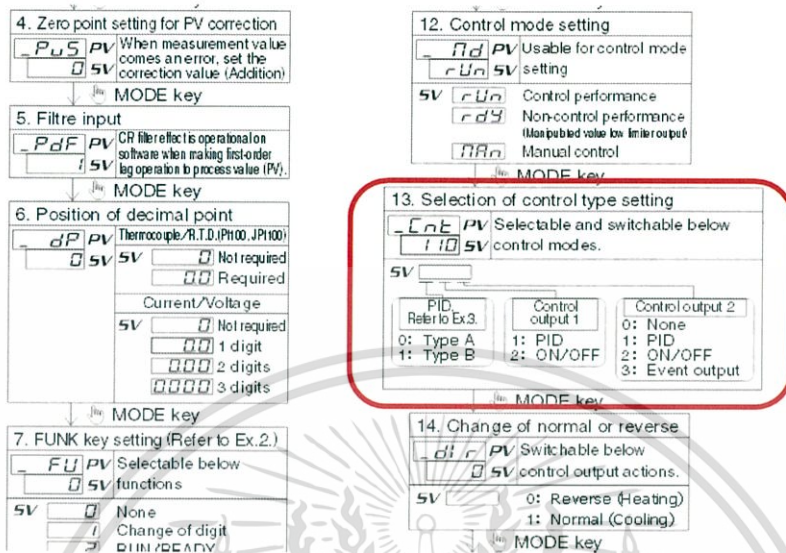
- เลือกMODE Set 2 ไปที่ “Control mode setting=RUN”



รูปที่ 11 ค เลือกตั้งค่า PID ให้อยู่ใน Auto mode

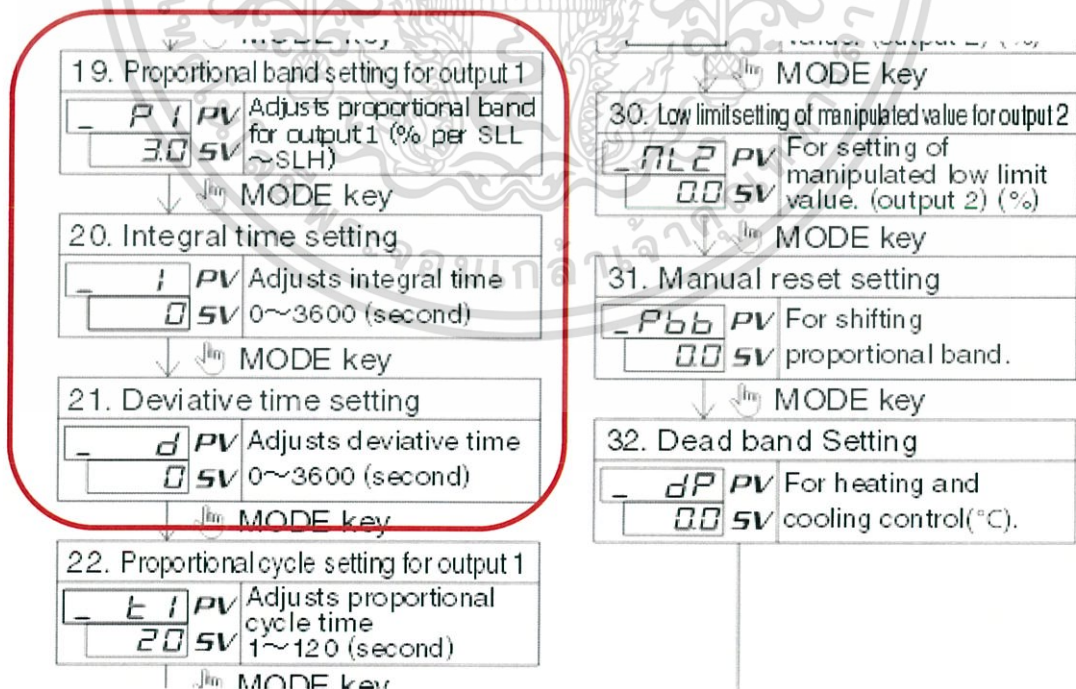
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการตั้งค่าชนิดของ PID โดยเลือกMODE Set 2 ไปที่ “Selection of control type setting = 010”



รูปที่ 12ค เลือกตั้งค่าชนิดของ PID

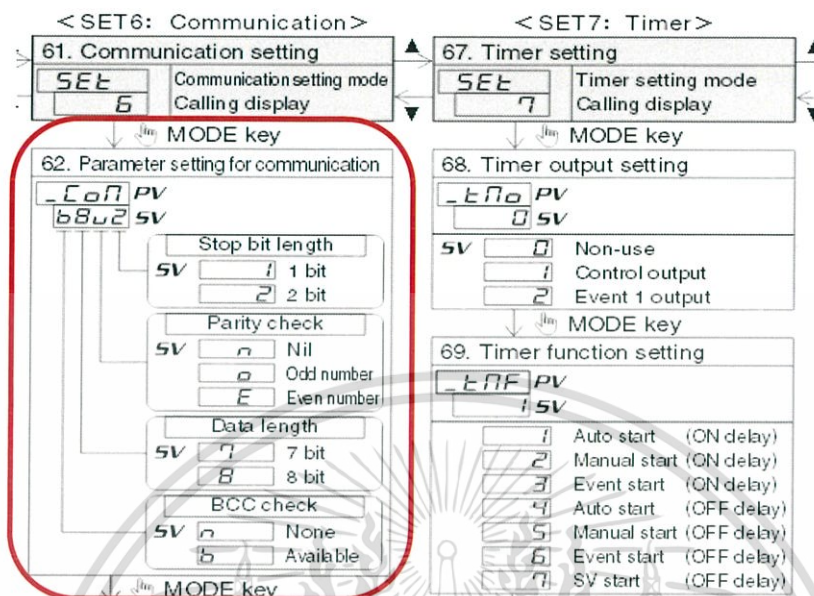
6. เลือกMODE Set 2 ไปที่ “Tuning PIDโดยค่าพารามิเตอร์ที่ทำการทดลองใช้งานกับปลานด์ โมเดลคือ P=80% I=15 s”



รูปที่ 13ค การตั้งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID

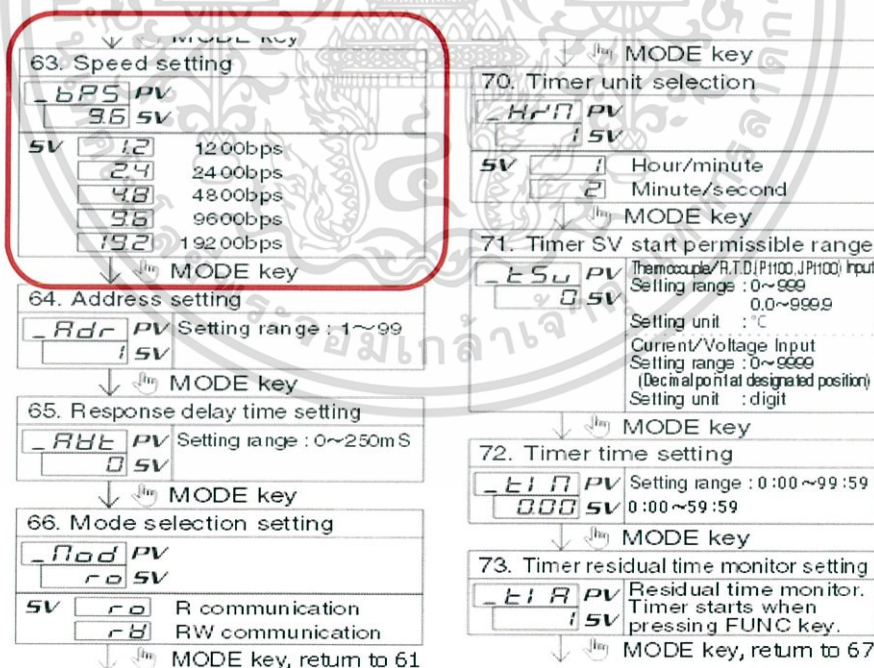
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เลือกMODE Set 6 ไปที่ “Parameter setting for communication = b8n2”



รูปที่ 14ค เลือกตั้งค่าการเชื่อมต่อController กับ Computer

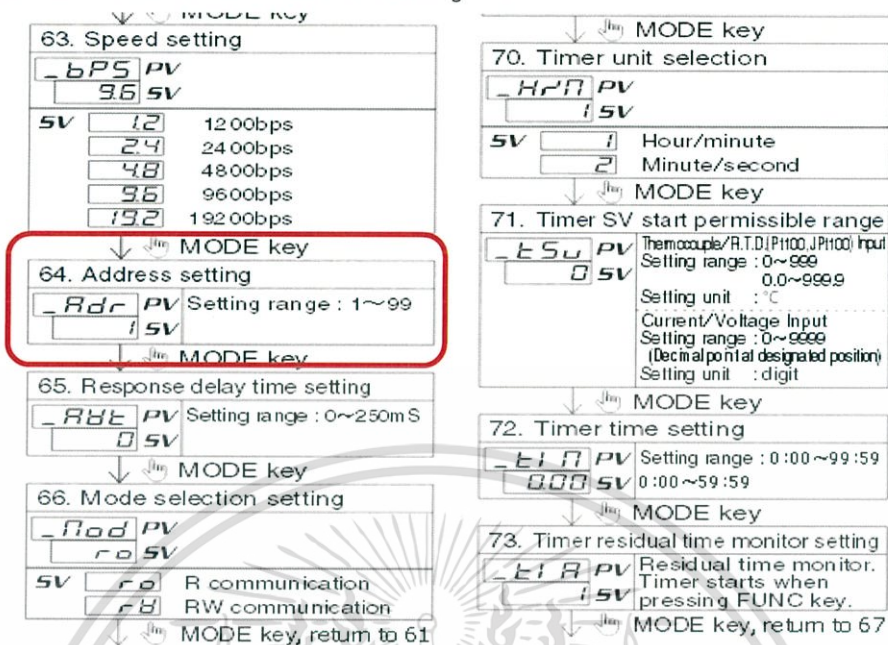
8. เลือกMODE Set 6 ไปที่ “Speed setting = 9.6”



รูปที่ 15ค เลือกตั้งค่าความเร็วในการรับส่งข้อมูล

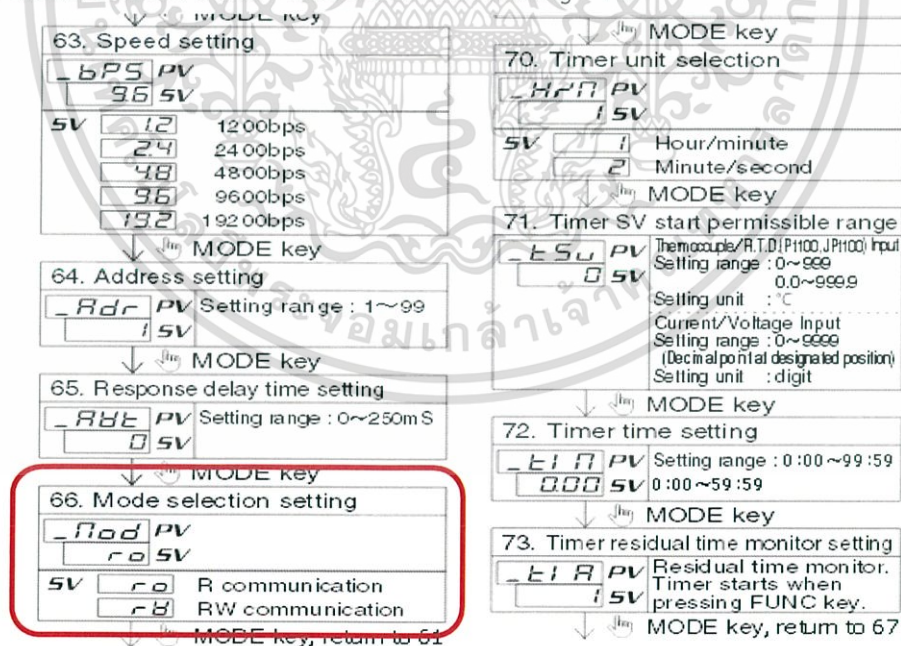
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. เลือกMODE Set 6 ไปที่ “Address setting = 1”



รูปที่ 16ค การตั้งค่าAddressของController

10. เลือกMODE Set 6 ไปที่ “Mode selection setting = rw”



รูปที่ 17ค การตั้งค่าให้Controllerสามารถรับค่าและอ่านค่าได้

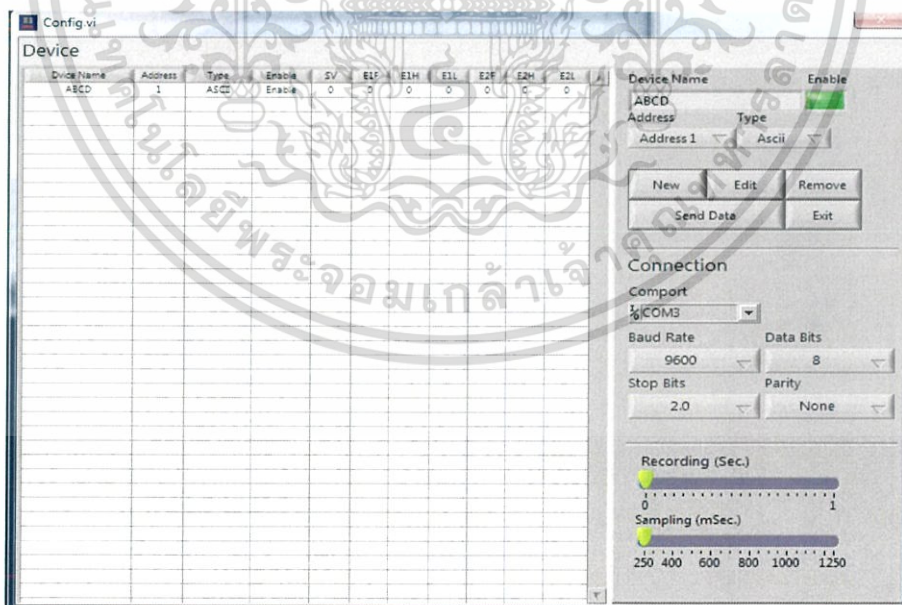
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เปิดโปรแกรม “Primus Temp Controller”



รูปที่ 18ค หน้าต่างโปรแกรม “Primus Temp Controller”

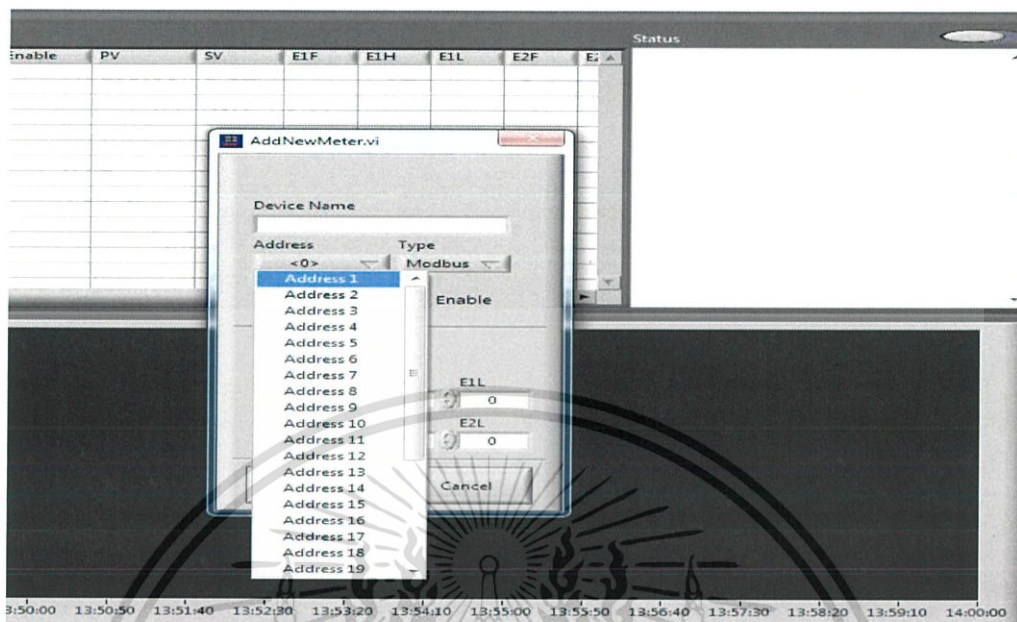
12. กดปุ่ม “Configuration” เพื่อเปิดหน้าต่างขึ้น



รูปที่ 19ค หน้าต่าง “Configuration”

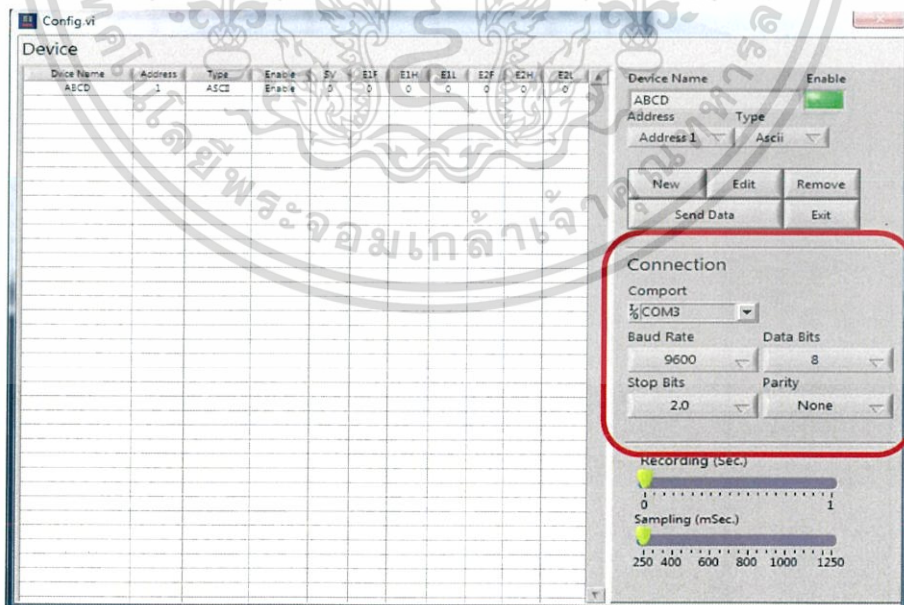
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. กดปุ่ม “NEW” แล้วเลือกปรับ “Address = 1”



รูปที่ 20ค หน้าต่างการตั้งค่า “Address”ให้ตรงกับ Controller

14. ตั้งค่า Connection “Comport , Baud Rate , Data Bits , Stop Bits , Parity”



รูปที่ 21ค หน้าต่างการตั้งค่า “Connection”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้