

การควบคุมความดันในถังปิดด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยใช้ LABVIEW
PRESSURE CONTROL USING PID CONTROLLER BASE ON
LABVIEW



นายพูนศักดิ์ จันทน์นวล
นายเลอศักดิ์ อมรชัยศักดิ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 50245
วัน,เดือน,ปี 28 เม.ย. 2547

.b.....
.i.....

ปริญญาโทนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รวมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2545
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PRESSURE CONTROL USING PID CONTROLLER BASE ON
LABVIEW**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2002

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

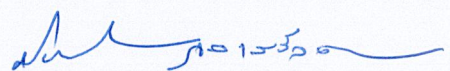
หัวข้อปริญญาโท การควบคุมความดันในถังปิดด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยใช้ LABVIEW
PRESSURE CONTROL USING PID CONTROLLER BASE ON
LABVIEW

นักศึกษาผู้จัดทำ นายพุงศักดิ์ จันทน์วล รหัสประจำตัว 43015476
นายเลอศักดิ์ อมรชัยศักดิ์ รหัสประจำตัว 43015481
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2545

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท		ลายมือชื่อ	
รศ.วิริยะ	กองรัตน์		
อ.อาจันต์	น่วมสำราญ		

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันอังคาร ที่ 22 เมษายน พ.ศ.2546
สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว



(ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การควบคุมความดันในถังปิดด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยใช้ LABVIEW
PRESSURE CONTROL USING PID CONTROLLER BASE ON
LABVIEW

นักศึกษาผู้จัดทำ นายพูนศักดิ์ จันทน์นวล
นายเลิศศักดิ์ อมรชัยศักดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิริยะ กองรัตน์
อ.อาจินต์ น่วมสำราญ

ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการออกแบบการควบคุม สำหรับควบคุมระดับความดันของลมในถังทรงกระบอกแบบฝาปิด ที่ความสูง 0 ถึง 100 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร มีความจุ 5 บาร์ โดยจะใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งตัวควบคุมนี้จะใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมโดยทำการเขียนโปรแกรมด้วยโปรแกรมแล็บวิว ซึ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ตัวควบคุมหลักและตัวควบคุมรอง เพื่อควบคุมระดับความดันของลมในถังตั้งแต่ 0 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ด้วยหลักการควบคุมแบบคาดเคลื่อน ซึ่งจะใช้อุปกรณ์วัดความดันแตกต่าง 2 ตัว เป็นตัวตรวจจับสัญญาณและส่งสัญญาณให้กับคอมพิวเตอร์ โดยผ่าน PLC และใช้คอนโทรลวาล์ว เป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของลมทางเข้า ที่ได้รับสัญญาณควบคุมมาจากคอมพิวเตอร์ โดยผ่าน PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title Pressure Control Using PID Controller Base On LABVIEW
Authors Mr.Payungsak Channual
Mr.Lersak Amornchaisakda
Thesis Advisor Assoc.Prof. Viriya Kongratana
Mr. Arjin Numsomran
Year 2002

ABSTRACT

This paper describes the design of level control of air by using a PID controller with cascade control method for controlling the Pressure of air in a closed tank from 0 to 100 centimeter, the diameter is 30 centimeter and the capacity is 5 bar centimeter. The two controllers are created in computer by using program LabVIEW, one primary controller and two secondary controller. The both controllers use for controlling the Pressure of air in closed tank from 0 to 100 percentages. There are two differential pressure transmitters to sensor the physical value, one the Pressure of air and two Pressure rate of air, and then they are transmit standard signal 4-20 mA to computer as pass to PLC. Control valve is used for control the flow rate of inlet air, and receives the signal from computer as pass to PLC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก ผศ.วิริยะ กองรัตน์ และ อ.อาจันต์ น่วมสำราญ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญาบัตรนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาบัตรฉบับนี้ รวมทั้งสำนักหอสมุดกลาง ที่เป็นแหล่งความรู้ให้คณะผู้จัดทำได้ศึกษากัน

และที่ลืมเสียมิได้คือ ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ คุณพ่อ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจาก ปริญญาบัตรฉบับนี้ ผู้จัดทำขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 ตัวควบคุมแบบ PID.....	5
2.2.1 ทฤษฎีและหลักการควบคุมแบบป้อนกลับ.....	6
2.2.2 วิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนอง ของกระบวนการที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน.....	14
2.3 โปรแกรม LABVIEW เบื้องต้น.....	18
2.3.1 ลักษณะการใช้งานของ Tools Palettes.....	18
2.3.2 ลักษณะการใช้งานของ Functions Palettes.....	19
2.3.3 ลักษณะการใช้งานของ Controls Palettes.....	21
2.3.4 การควบคุมและตรวจสอบโปรแกรม.....	22
2.3.5 ชนิดของสายสัญญาณในโปรแกรม LabVIEW.....	22
2.3.6 เส้นใยในการทำงาน.....	23
2.4 เครื่องสัญญาณแรงดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter).....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเราใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
2.4.1 หลักการทำงาน.....25
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 แผ่นออริฟิต (Orifice Plate).....	28
2.5.1 ความหนาของแผ่นออริฟิต	29
2.5.2 ออริฟิตแบบเยื้องศูนย์กลาง (Eccentric Orifice)	30
2.5.3 ออริฟิตแบบเซ็กเมนต์ (Segmental Orifice)	31
2.5.4 ออริฟิตแบบผายปากเป็นรูปโค้ง (Quadrant Edge Orifice)	31
2.5.5 แผ่นออริฟิตตามมาตรฐาน ANSI.....	32
2.6 วาล์วควบคุม (Control Valve)	36
2.6.1 ชุดแปลงกระแสเป็นแรงดันลม (I/P Converter).....	36
2.6.2 ชุดวาล์ว (Valve).....	36
2.6.3 ชุดเคลื่อนที่ก้านวาล์ว (Valve Positioner).....	38
บทที่ 3 ฟังก์ชันถ่ายโอนและการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม	39
3.1 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุม	39
3.1.1 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ.....	39
3.2 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมแบบคาสเคด	40
3.3 เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานจากโปรแกรม LabVIEW.....	46
3.4 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม	47
3.4.1 โปรโตคอลของการสื่อสารแบบอนุกรม.....	50
บทที่ 4 ผลการทดลอง	59
4.1 การปรับค่าก่อนการทดลอง	59
4.1.1 การปรับค่าในส่วนของ Controller Configuration	59
4.2 ผลการทดลอง.....	60
4.2.1 การทดลองโดยใช้การควบคุมแบบ 1 ลูป (Simple Loop).....	60
4.2.2 การทดลองโดยใช้การควบคุมแบบ 2 ลูป (Cascade Loop).....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

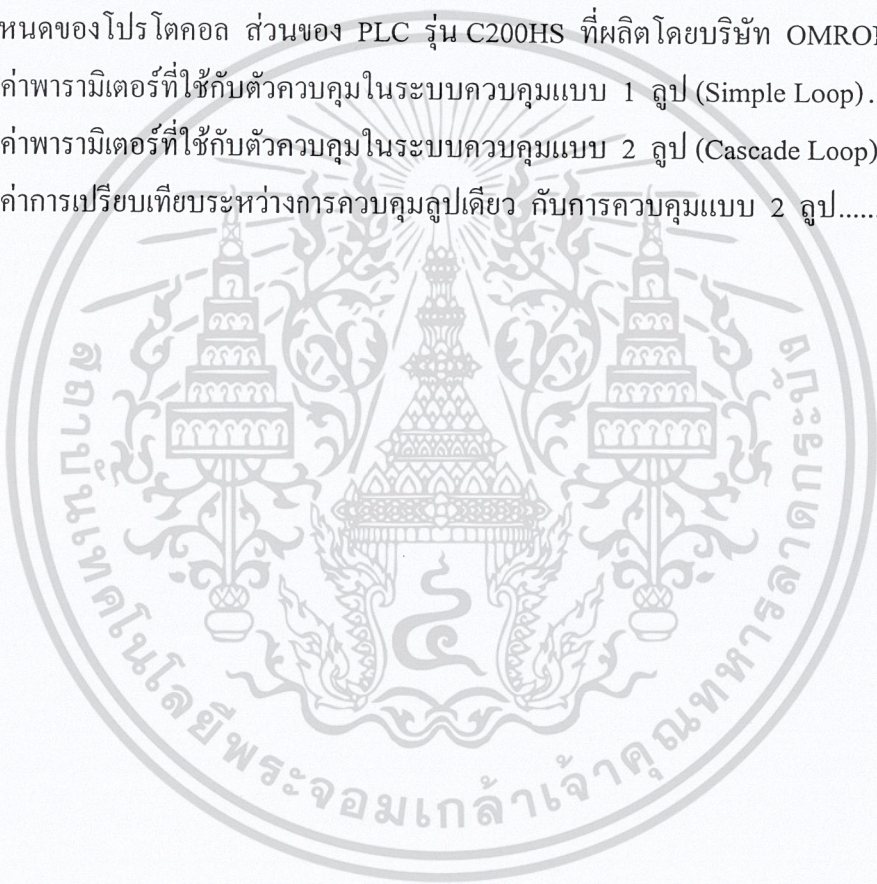
	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 สรุปผลการทดลอง	66
5.2 ปัญหาและข้อแก้ไข	67
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	67
บรรณานุกรม	68
ภาคผนวก.....	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Process Reaction Curve.....	16
2.2 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Ultimate Method.....	17
2.3 ขนาดต่างๆ ของแผ่นออริฟิส (Orifice Plate Dimensions).....	33
2.4 ค่าการเบี่ยงเบนของแผ่นออริฟิสในย่านที่ยังใช้งานได้.....	34
2.5 ค่าการเบี่ยงเบนของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของออริฟิสในย่านที่ยังใช้งานได้	35
3.1 ข้อกำหนดของโปรโตคอล ส่วนของ PLC รุ่น C200HS ที่ผลิตโดยบริษัท OMRON.....	51
4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้กับตัวควบคุมในระบบควบคุมแบบ 1 ลูป (Simple Loop).....	60
4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้กับตัวควบคุมในระบบควบคุมแบบ 2 ลูป (Cascade Loop).....	62
4.3 แสดงค่าการเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมลูปเดียว กับการควบคุมแบบ 2 ลูป.....	65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป.....	4
2.2 แสดงกริยาการควบคุมแบบ ON-OFF	7
2.3 แสดงคุณสมบัติของกริยาการควบคุมแบบ Proportional.....	8
2.4 แสดงผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ Integral	10
2.5 แสดงตัวอย่างคุณสมบัติของกริยาตัวควบคุมแบบ Derivative.....	10
2.6 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PI (Direct Action).....	12
2.7 แสดงผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PD.....	13
2.8 แสดงผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PID	14
2.9(a) แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมที่ควบคุมด้วยตัวควบคุม PID	15
2.9(b) แสดงค่าพ่วงเกินที่ต้องการเมื่อใช้การปรับด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols	15
2.10 แสดงผลสนองรูปตัว S เมื่อใช้วิธี Process Reaction Curve.....	16
2.11 แสดงผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง เมื่อปรับโดยใช้วิธี Ultimate Method	17
2.12 แสดงค่าอัตราการเสื่อม 1/4 เมื่อปรับโดยวิธี Damped Oscillation.....	18
2.13 แสดง Tool Palette	18
2.14 แสดง Function Palette.....	19
2.15 แสดง Control Palette.....	21
2.16 แสดงส่วนการควบคุมและตรวจสอบ โปรแกรม	22
2.17 แสดงชนิดของสายสัญญาณในโปรแกรม LabVIEW.....	22
2.18 แสดงรูปแบบของ Sequence Structure.....	23
2.19 แสดงรูปแบบของ For Loop.....	24
2.20 แสดงรูปแบบของ While Loop	24
2.21 แสดงรูปแบบของ Case Structure	24
2.22 Block diagram ของ D-P Transmitter.....	25
2.23 ลักษณะการทำงานของ D/P Transmitter.....	25
2.24 ออร์ฟิตแผ่นบางขอบคม เป็นแบบดั้งเดิมที่มีใช้ตั้งแต่ต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20	28
2.25 ส่วนต่างของแผ่นออร์ฟิต	28
2.26 ภาพตัดแสดงการติดตั้งออร์ฟิตแบบ Flange Taps	30
2.27 ออร์ฟิตแบบเยื้องศูนย์กลาง (Eccentric Orifice).....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.28 ออริฟิตแบบเซ็กเมนต์ (Segmental Orifice).....	31
2.29 ออริฟิตแบบผายปากเป็นรูปโค้ง (Quadrant Edge Orifice)	31
2.30 การทำงานของชุดแปลงกระแสเป็นแรงดันลม (I/P Converter)	36
2.31 ส่วนประกอบของวาล์วควบคุมแบบ Direct – acting (Open on air failure)	37
2.32 การทำงานของ Direct and Reverse Acting.....	38
2.33 ชุดเคลื่อนที่ก้านวาล์ว (Valve Positioner).....	38
3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ.....	39
3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ถูกลดรูปจากเดิม	40
3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ถูกลดรูปสุดท้าย.....	40
3.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบคาสเคด (Cascade).....	40
3.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงรอบข้างใน.....	41
3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมที่ถูกลดรูปแล้ว.....	41
3.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมใหม่ที่ถูกลดรูปแล้ว	42
3.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมหลัก	42
3.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมรอง.....	43
3.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวาล์วควบคุม	43
3.11 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดความดันลมด้วยสัญญาณแรงดันแตกต่าง	44
3.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดอัตราการไหลด้วยสัญญาณแรงดันแตกต่าง	44
3.13 แสดงบล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุมอัตราการไหลของลม	45
3.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุมความดันลม	45
3.15 แสดงบล็อกไดอะแกรมของสิ่งรบกวนระบบ1	45
3.16 Front Panel ที่ใช้ในการควบคุม	46
3.17 Block Diagram ที่ใช้ในการควบคุม	47
3.18 แสดงโครงสร้างของ PORT RS-232C	49
3.19 แสดงการเลือกใช้ operating mode	52
3.20 แบบของ PROTOCOL ที่ใช้ในการ READ / WRITE คือ INTERNAL RELAY (IR)....	52
3.21 แสดงการเขียนโปรแกรมบนพื้นที่ของ PLC	53
เอกส3.22 แสดงการอ่านโปรแกรมบนพื้นที่ของ PLC.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.23 แสดงการควบคุมทำงานของ D/A นั้น ใช้เป็นพื้นของ IR	55
3.24 แสดงการต่อ out put ไปใช้งาน	56
3.25 แสดงการควบคุมทำงานของ A/D นั้น ใช้เป็นพื้นของ IR	57
3.26 Input ที่เป็นแรงดัน	58
3.27 Input ที่เป็นกระแส	58
4.1 วิธีการปรับค่าในส่วนของ Controller Configuration	59
4.2 ผลการทดลองที่ 25 % แบบ Simple Loop ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ	60
4.3 ผลการทดลองที่ 50 % แบบ Simple Loop ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ	61
4.4 (a) ผลการทดลองที่ 75 % แบบ Simple Loop ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ	61
4.4 (b) ผลการทดลองที่ 75 % แบบ Simple Loop ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ	62
4.5 ผลการทดลองที่ 25 % แบบ Cascade Loop ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ	63
4.6 ผลการทดลองที่ 50 % แบบ Cascade Loop ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ	63
4.7 (a) ผลการทดลองที่ 75 % แบบ Cascade Loop ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ	64
4.7 (b) ผลการทดลองที่ 75 % แบบ Cascade Loop ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

เป็นที่ทราบกันดีว่าการควบคุมแบบป้อนกลับมีข้อเสียดตรงที่ระบบควบคุมต้องรอให้การเปลี่ยนแปลงจากภายนอกมากระทบขบวนการจนมีความเบี่ยงเบนเกิดขึ้นในตัวแปรควบคุมของกระบวนการ ระบบควบคุมจึงจะทำการแก้ไขปรับเปลี่ยนตัวแปรปรับได้เพื่อชดเชยความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้น เพื่อนำกระบวนการกลับสู่ค่าเป้าหมาย แต่ถึงแม้ว่าการควบคุมแบบป้อนกลับจะมีข้อด้อยเหล่านี้ 80 % ของระบบควบคุมที่ใช้ในอุตสาหกรรมยังคงเป็นการควบคุมแบบป้อนกลับ เนื่องจากการทำงานของระบบควบคุมแบบป้อนกลับได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ทั้งในแง่ความปลอดภัยและในแง่ทางด้านการผลิต ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ

แต่ในอุตสาหกรรมปัจจุบันต้องการการควบคุมที่กระชับขึ้น บ่อยครั้งที่พบว่าระบบควบคุมแบบป้อนกลับทำงานได้ไม่เป็นที่น่าพอใจสำหรับกระบวนการที่การตอบสนองช้าหรือกระบวนการที่มีสิ่งรบกวนเกิดขึ้นบ่อยๆ ด้วยเหตุนี้เองทำให้มีแนวคิดที่จะทำโครงการที่จะช่วยปรับปรุงสมรรถนะของระบบควบคุมให้เสถียรภาพยิ่งขึ้น ด้วยวิธีการควบคุมแบบคาดคะเน และสามารถที่จะควบคุม หรือแสดงผลโดยใช้คอมพิวเตอร์ซึ่ง โดยจะนำเสนอการควบคุมระดับของลมในถังปิด โดยอาศัยหลักการควบคุมอัตราการไหลของลมเข้าไปช่วยการควบคุมระดับ โดยจะให้ตัวควบคุมระดับเป็นตัวควบคุมปฐมภูมิ และตัวควบคุมอัตราการไหลเป็นตัวควบคุมทุติยภูมิ โดยที่เอาที่พู่ของตัวควบคุมปฐมภูมิจะเป็น ค่าเป้าหมาย ของตัวควบคุมทุติยภูมิ โดยตัวควบคุมทั้ง 2 ตัวนี้จะเป็นตัวควบคุมแบบ พีไอดี ที่ถูกสร้างจากโปรแกรม LabVIEW 6 ซึ่งทำการพัฒนาโดย บริษัทเนชั่นแนล อินทราเม้นต์ ซึ่งสามารถควบคุมกระบวนการ และแสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาการควบคุมความดันในถังปิด
2. ศึกษาการออกแบบการควบคุม PID โดย Software LABVIEW
3. ออกแบบการควบคุมกระบวนการทางอุตสาหกรรมโดยใช้คอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม
4. ศึกษาการเปรียบเทียบอุปกรณ์การวัดและควบคุมทางอุตสาหกรรม

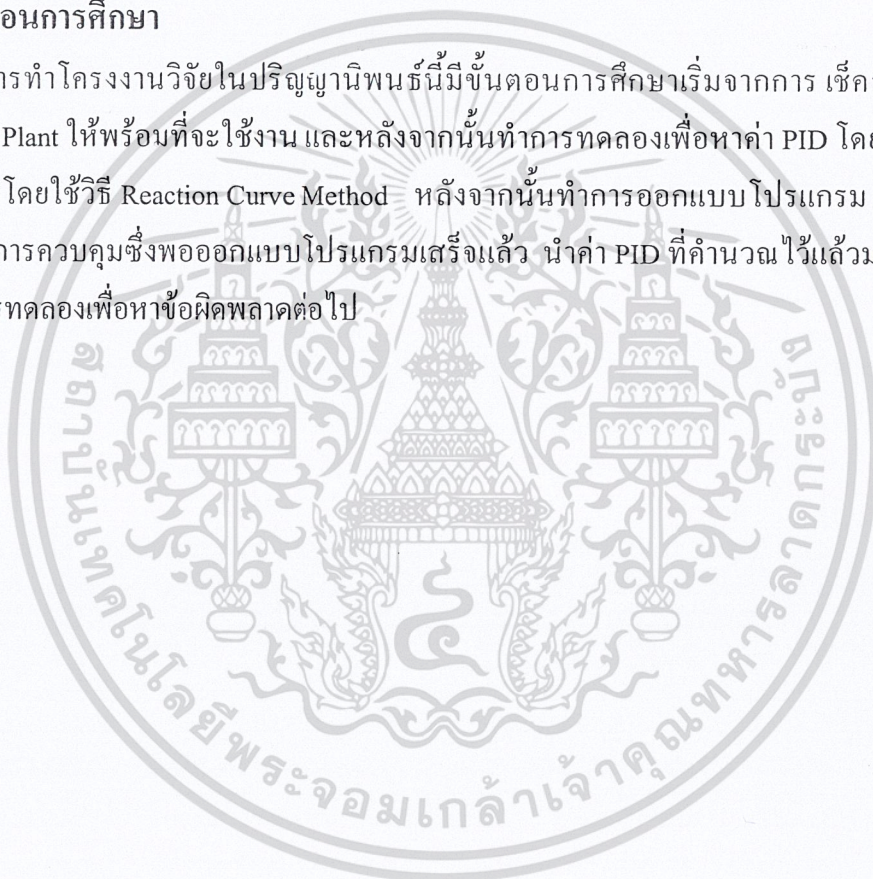
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้กล่าวถึงการนำพารามิเตอร์ ตัวควบคุม PID โดยใช้ระบบ Computer โดยใช้ Program LabView โดยใช้ PLC เป็นตัวต่อเชื่อมระหว่าง Computer กับ Plant เพื่อควบคุมลมในถังปิด โดยการควบคุมใช้ ตัว Sensor จะเป็นตัววัดเมื่อถึงจุดที่สูงสุดที่ตั้งไว้ จะใช้กระบวนการทำให้ Control Value ปิด ไม่ให้ลมสามารถเข้ามาในระบบได้อีก แต่เมื่อลมถูกใช้จนถึงจุดที่ตั้งค่าไว้ต่ำสุดระบบจะสั่งให้ Control Value ขอมให้ลมไหลเข้าสู่ถังอีกครั้งหนึ่งเป็นแบบนี้ไปเรื่อยๆ โดยใช้ค่า PID เป็นตัวควบคุมให้ระบบเข้าสู่ความเสถียรให้เร็วที่สุด (โดยคำนวณหาค่า PID)

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำโครงการวิจัยในปริญญานิพนธ์นี้มีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการ เช็กระบบของอุปกรณ์ที่ Plant ให้พร้อมที่จะใช้งาน และหลังจากนั้นทำการทดลองเพื่อหาค่า PID โดยใช้วิธีการคำนวณค่าโดยใช้วิธี Reaction Curve Method หลังจากนั้นทำการออกแบบ โปรแกรม LabVIEW เพื่อใช้ในการควบคุมซึ่งพอออกแบบโปรแกรมเสร็จแล้ว นำค่า PID ที่คำนวณไว้แล้วมาใส่ลงไป แล้วทำการทดลองเพื่อหาข้อผิดพลาดต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

โดยทั่วไปเป้าหมายของระบบควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม คือ การรักษาปริมาณทางฟิสิกส์ อันได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature) แรงดัน (Pressure) อัตราการไหล (Flow Rate) ค่าความเป็นกรดด่าง (PH) และอื่น ๆ ให้มีค่าใกล้เคียงค่าที่เหมาะสมค่าที่ต้องการมากที่สุด แม้ว่าสถานะการทำงานและสภาพแวดล้อมอาจเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งการควบคุมที่ย่อมเริ่มจากการเลือกการควบคุมที่เหมาะสม บางโรงงานอาจเลือกใช้การควบคุมแบบง่าย ๆ ด้วยมือ (Manual Control) ซึ่งอาศัยพนักงาน (Operator) คอยทำหน้าที่เกี่ยวกับการตรวจวัดและปรับแต่งการควบคุมให้ผลตอบสนองเป็นไปตามที่ต้องการ จะเห็นได้ว่าการควบคุมแบบนี้จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญของพนักงาน ดังนั้น การควบคุมจะดีหรือไม่อย่างไรจะขึ้นอยู่กับผู้ควบคุมเป็นหลัก แต่ในความเป็นจริงแล้วพนักงานควบคุมไม่สามารถทำงานให้ได้ดีเท่ากันตลอดเวลา จึงทำให้ประสิทธิภาพของการควบคุมลดลง ปัจจุบันโรงงานที่ต้องการควบคุมที่มีความแม่นยำและประสิทธิภาพสูงจำเป็นต้องนำเครื่องควบคุมอัตโนมัติ (Automatic Controller) มาใช้งาน โดยเครื่องควบคุมอัตโนมัติจะทำหน้าที่หลักในการหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมตามกฎเกณฑ์การควบคุม (Control Law) ที่พนักงานได้กำหนดไว้ล่วงหน้า ซึ่งระบบควบคุมอัตโนมัติที่เราพบเห็นกันอยู่บ่อย ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม ก็คือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System)

หลักการของการควบคุมแบบป้อนกลับนั้น เกิดมานานกว่า 2000 ปีแล้ว James Watt ได้นำหลักการดังกล่าวมาทำการสร้างควบคุม ให้กับเครื่องจักรไอน้ำของเขาจากนั้นอุตสาหกรรมมากมายได้หันมาให้ความสนใจและนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบัน ระบบควบคุมแบบป้อนกลับนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ระบบควบคุมแบบปิด หรือระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ” ก็ได้ ซึ่งโดยทั่วไป ระบบควบคุมแบบป้อนกลับแสดงได้ดังรูปที่ 2.1

ระบบควบคุมทางอุตสาหกรรมแบบป้อนกลับโดยทั่วไปประกอบด้วยอุปกรณ์ 4 ส่วน คือ

1. ตัวควบคุม (Controller) เป็นเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุม เพื่อหน้าที่ควบคุมให้ระบบหรือกระบวนการที่ต้องการควบคุมมีเอาต์พุตหรือผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการ ตัวควบคุมจะมีหลายแบบ เช่น ตัวควบคุมแบบ ON-OFF (ตัวควบคุมแบบสองตำแหน่ง) ตัวควบคุมแบบ Proportional (P) ตัวควบคุมแบบ Integral (I) ตัวควบคุมแบบ Derivative (D) หรือการใช้ตัวควบคุมหลาย ๆ แบบร่วมกัน เช่น ตัวควบคุม PI ตัวควบคุม PD ตัวควบคุม PID เป็นต้น ซึ่งสัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมคือตัวแปรปรับกระบวนการ (Manipulated Variable : mv)

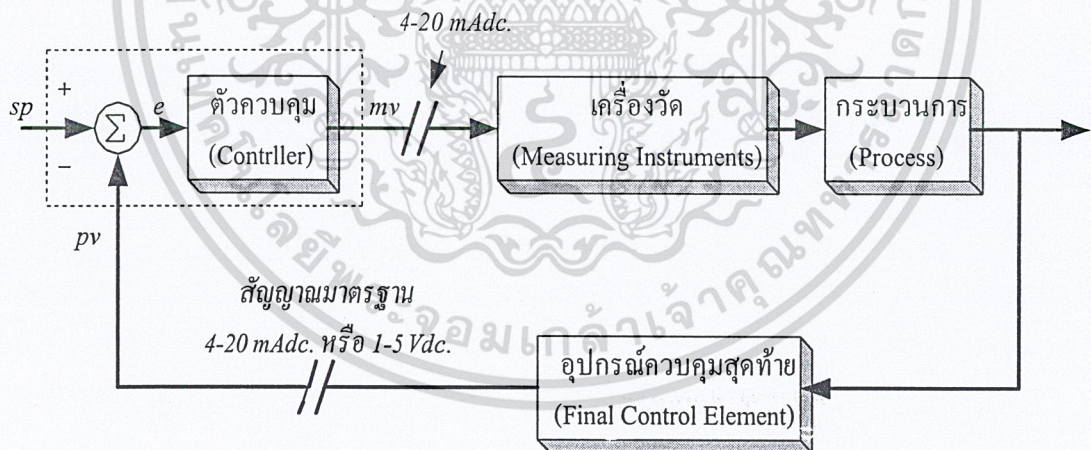
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Control Element) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับสภาวะของกระบวนการ ด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรที่ปรับกระบวนการ ตามคำสั่งหรือสัญญาณควบคุมที่ได้รับจากตัวควบคุม อุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายนั้นมีอยู่หลายด้วยกัน เช่น วาล์วควบคุม (Control Valve) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) และตัวกระทำ (Actuator) เป็นต้น แต่ที่มักพบเห็นกันมากในกระบวนการทางอุตสาหกรรมได้แก่ วาล์วควบคุม

3. กระบวนการ (Plant or Process) หมายถึง ระบบหรือกระบวนการทางฟิสิกส์ที่ต้องการควบคุมให้มีสถานะเป็นไปตามต้องการ เช่น กระบวนการการควบคุมระดับของของเหลว กระบวนการเกี่ยวกับการควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น ซึ่งสถานะของกระบวนการแสดงด้วยตัวแปรกระบวนการ (Process Variable : pv)

4. อุปกรณ์วัด (Measuring Instruments) หมายถึง อุปกรณ์ซึ่งอาจได้แก่ เซนเซอร์ (Sensor) ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หรือ เครื่องวัดสัญญาณอื่น ๆ ในกระบวนการเพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปใช้เป็นตัวแปรในการควบคุมโดยสัญญาณขาออกของอุปกรณ์โดยทั่วไปจะเป็นสัญญาณมาตรฐานทางอุตสาหกรรม เช่น สัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์ (4-20 mA dc.) สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง 1-5 โวลต์ (1-5 V dc.) หรือ สัญญาณลมขนาด 3-15 ปอนด์/ตารางนิ้ว (3-15 psi. หรือ $0.2-1.0 \text{ Kg/cm}^2$) เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับโดยทั่วไป

จากรูปที่ 2.1 อุปกรณ์วัดหรือเครื่องวัดจะวัดค่าตัวแปรกระบวนการ (pv) เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราไหล และ ระดับของเหลว เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงหรือค่าเป้าหมาย เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเชิงธุรกิจเท่านั้น ไม่เอามาใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Setpoint : sp) จากนั้นตัวควบคุมจะนำค่าความคลาดเคลื่อน (Error : e) ในการควบคุมมาใช้ในการคำนวณ เพื่อหาสัญญาณที่เหมาะสมที่จะไปควบคุมกระบวนการให้เข้าสู่ค่าเป้าหมายที่ต้องการ โดยตัวควบคุมที่นิยมนำมาใช้ควบคุมกระบวนการมากที่สุดก็คือ ตัวควบคุมแบบ PID ซึ่งจะใช้เฉพาะ P, PI, PD หรือ PID นั้นขึ้นอยู่กับชนิดและคุณลักษณะของกระบวนการ

2.2 ตัวควบคุมแบบ PID

เครื่องควบคุมหรือตัวควบคุมแบบ PID พัฒนามาจากตัวควบคุมแบบ PI ที่สร้างขึ้นในปี 1939 จากนั้นก็ถูกนำมาใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมมากกว่า 50 ปี โดยแบ่งตามโครงสร้างการทำงานได้ 3 ชนิด คือ เครื่องควบคุมแบบนิวแมติกส์ที่ทำงานโดยใช้สัญญาณลม เครื่องควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ทำงานโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้น (Linear Circuit) ในการสร้างสัญญาณควบคุม และเครื่องควบคุมแบบดิจิทัลที่ทำงานโดยใช้วงจรตรรก (Logic Circuit) ปัจจุบันตัวควบคุม PID ได้รับความนิยม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะรูปแบบของตัวควบคุม PID เป็นรูปแบบที่สามารถควบคุมกระบวนการต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวางและมีประสิทธิภาพ เมื่อได้รับการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสม ตัวควบคุมแบบ PID ประกอบไปด้วย ตัวควบคุมแบบ P (Proportional) ตัวควบคุมแบบ I (Integral) และตัวควบคุมแบบ D (Derivative) ซึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ดังนี้

$$G_c(s) = K_p + K_D s + \frac{K_I}{s} \quad (2.1)$$

โดยที่ K_p = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ P (Proportional Gain)

K_I = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ I (Integral Gain)

K_D = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ D (Derivative Gain)

นอกจากนี้ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวควบคุม PID ยังนิยมเขียนอยู่ในรูปของ

$$G_c(s) = K_C \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (2.2)$$

โดยที่ K_C = อัตราขยายของตัวควบคุม

T_I = ค่า Integral or Reset Time

T_D = Derivative or Reset Time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากมีเหตุตบแต่งและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.1) และสมการ (2.2) จะเห็นว่า $K_D = K_C T_d$ และ $K_I = K_C / T_i$ โดยค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ทั้ง 3 ค่านี้จะใช้สำหรับปรับให้กับตัวควบคุมเพื่อควบคุมกระบวนการที่ต้องการ ดังนั้นจากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าสัญญาณควบคุมหรือตัวแปรปรับกระบวนการ (mv) ที่ได้จากตัวควบคุม PID ถูกกำหนดด้วยความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาเข้าตัวควบคุมหรือตัวแปรกระบวนการ (pv) กับสัญญาณอ้างอิงหรือเป้าหมาย (sp) โดยที่ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับกฎเกณฑ์การควบคุมที่พนักงานปรับแต่งไว้ล่วงหน้า (คือ การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ K_C , T_i , และ T_d ของตัวควบคุม PID นั้นเอง) ซึ่งสัญญาณควบคุมของตัวควบคุมเป็นไปตามกริยาการควบคุมแบบต่าง ๆ ที่ถูกเลือกใช้ ดังที่จะกล่าวต่อไป

2.2.1 ทฤษฎีและหลักการควบคุมแบบป้อนกลับ (กริยาการควบคุมแบบต่าง ๆ)

การออกแบบระบบควบคุมนั้นต้องพิจารณาถึงคุณลักษณะของกระบวนการที่ต้องการควบคุมเสียก่อน ซึ่งบางครั้งอาจพิจารณาในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่รู้จักกันดี คือ ฟังก์ชันถ่ายโอน ทั้งนี้ก็เนื่องจากจะได้เลือกชนิดของการควบคุมให้เหมาะสมกับระบบ เพื่อให้การควบคุมมีเสถียรภาพ (Stability) และมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมจะเป็นไปตามลักษณะของการสร้างสัญญาณที่เรียกว่า “กริยาการควบคุม (Control Action)” กริยาการควบคุมสามารถแบ่งออกเป็น 4 แบบใหญ่ ๆ คือ

1. กริยาการควบคุมแบบ ON-OFF
2. กริยาการควบคุมแบบ Proportional
3. กริยาการควบคุมแบบ Integral
4. กริยาการควบคุมแบบ Derivative

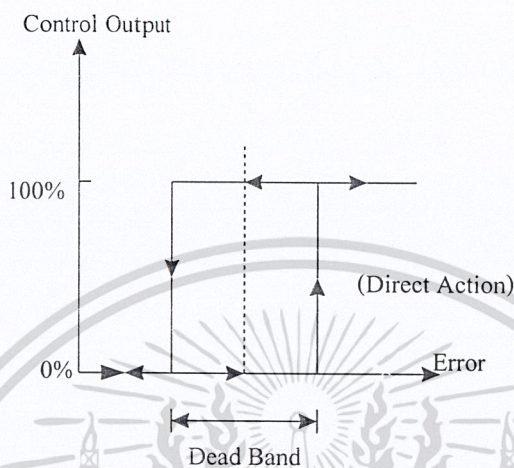
กริยาการควบคุมที่ได้กล่าวมามีข้อดีข้อเสียและคุณสมบัติที่แตกต่าง ดังนั้น ในทางปฏิบัติจึงต้องนำเอากริยาการควบคุมแบบต่าง ๆ มาประยุกต์เข้าด้วยกันเพื่อให้ได้สัญญาณควบคุมที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งการรวมกริยาการควบคุมที่มักพบเห็นเป็นประจำ คือ

5. กริยาการควบคุมแบบ Proportion-Integral
6. กริยาการควบคุมแบบ Proportion-Derivative
7. กริยาการควบคุมแบบ Proportion-Integral-Derivative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.1 ฏการควบคุมแบบ ON-OFF

การควบคุมแบบ ON-OFF เป็นการควบคุมที่ง่ายที่สุดและราคาไม่แพง โดยตัวควบคุมจะทำงานเพียง 2 สถานะ คือ เปิดกับปิด และสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ก็จะมี 2 สถานะ เช่นกัน คือ 0% หรือ 100% ฏการควบคุมแบบ ON-OFF แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงฏการควบคุมแบบ ON-OFF

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่า ถ้าความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าวิกฤติ (Critical Value) หรือ $+\epsilon$ ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมจะเปลี่ยนจาก 0% ไปเป็น 100% ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนลดต่ำลงกว่าค่าวิกฤติ (-)ค่าเอาต์พุตจะเปลี่ยนจาก 100% เป็น 0% ดังนั้น จะเห็นว่าก่อนที่ค่าเอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงนั้นจะเกิดเดทแบนด์(Dead Band) ขึ้นรอบ ๆ ค่าคลาดเคลื่อนเท่ากับศูนย์ (Zero Error) โดยในช่วงเดทแบนด์นั้น ค่าเอาต์พุตจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใดซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากการเสียดทานที่ไม่คาดคิดไว้ก่อน หรือบางครั้งจะต้องทำให้มีช่วงเดทแบนด์นั้น เพื่อป้องกันการ ON-OFF บ่อยเกินไปจะทำให้อุปกรณ์ควบคุมหรือกระบวนการเกิดการเสียหายได้แต่ช่วงเดทแบนด์นี้ก็ต้องไม่กว้างนักเพราะจะทำให้ค่าความเที่ยงตรงของการควบคุมลดลง ฏการควบคุมแบบ ON-OFF สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

$$m(t) = 0\% \quad \text{เมื่อ } e < -\epsilon$$

$$= 100\% \quad \text{เมื่อ } e > +\epsilon \quad (2.3)$$

เมื่อ $m(t)$ = สัญญาณควบคุมหรือเอาต์พุตของตัวควบคุม

$e(t)$ = ค่าความคลาดเคลื่อน

ϵ = 1/2 ของค่าเดทแบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมแบบ ON-OFF จะนิยมใช้ในการควบคุมกระบวนการที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงสูงนะ และผลของความคลาดเคลื่อนไม่ส่งผลต่อการควบคุม เช่น การควบคุมอุณหภูมิในตู้เย็น การควบคุมระดับน้ำในถังน้ำทั่วไปตามบ้าน หรือ การควบคุมอุณหภูมิในห้อง เป็นต้น นอกจากนี้การควบคุมแบบ ON-OFF ยังนิยมใช้กับกระบวนการที่มีขนาดจุกมาก ๆ อีกด้วย เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนจะมีน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดค่าความจุก ทำให้ลดต้นทุนได้อย่างมาก

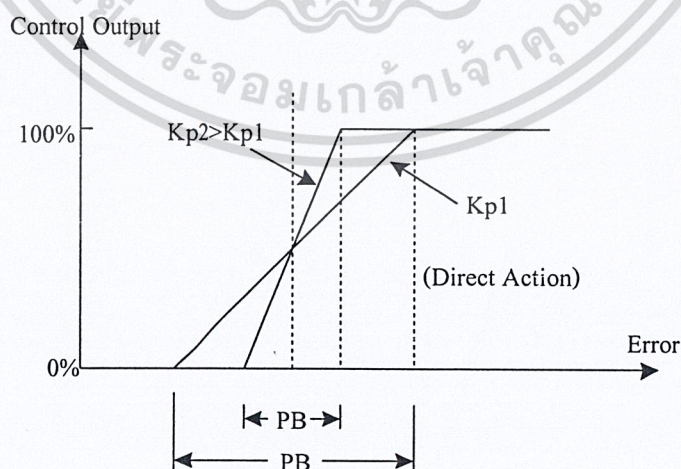
2.2.1.2 กริยาการควบคุมแบบ Proportional (P)

สำหรับการควบคุมที่มีกริยาการควบคุมแบบ P นั้น ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมจะเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความคลาดเคลื่อน กล่าวคือ ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมก็จะมากขึ้นตาม และถ้าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยค่าเอาต์พุทที่ได้ก็จะน้อยด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวนี้ เรียกว่า อัตราขยายของตัวควบคุม P (Proportional Gain) กริยาของตัวควบคุมแบบ P สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

$$m_p(t) = \bar{m} + K_p e(t)$$

เมื่อ $m_p(t)$ = ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมแบบ Proportional
 K_p = อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ Proportional
 \bar{m} = ค่าเอาต์พุทของตัวควบคุมเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์

คุณสมบัติของกริยาการควบคุมแบบ P แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของกริยาการควบคุมแบบ Proportional

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ถูกนำเข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนระหว่างที่เอาท์พุทมีค่าจาก 0% ถึง 100% เรียกว่า Proportional Band (PB) โดยค่า PB จะมีผลต่ออัตราการขยายของตัวควบคุม กล่าวคือ เมื่อค่า PB สูงขึ้นค่าอัตราการขยายของตัวควบคุมจะลดลง เนื่องจาก $K_p = 100/PB$ และเมื่ออัตราการขยายของตัวควบคุมลดลงจะทำให้เกิดออฟเซต (Offset) ในระบบมากขึ้น

ปัญหาอีกอย่างหนึ่งของกริยาการควบคุมแบบ P ก็คือค่าเอาท์พุทที่ความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์มีค่าคงที่ ซึ่งการเลือกค่า \bar{m} นั้น จะกระทำในช่วงเริ่มต้น โดยเลือกค่าที่เหมาะสมกับตัวแปรของระบบนั้น ๆ แต่ถ้าตัวแปรอื่น ๆ ของระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วย การแก้ไขก็คือ ปรับค่า \bar{m} ให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงนั้น แต่ในระบบการจากรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าจะเกิดการอิมพัลส์ของค่าความคลาดเคลื่อน คือ เมื่อเอาท์พุทสูงถึง 100% ขณะที่ค่าคลาดเคลื่อนยังคงเพิ่มขึ้นไป อีกค่าเอาท์พุทจะไม่สามารถเพิ่มขึ้นตามได้ทำนองเดียวกันเมื่อค่าเอาท์พุทมีค่าเท่ากับ 0% ขณะที่ค่าคลาดเคลื่อนยังคงลดลงอีกค่าเอาท์พุทก็ไม่สามารถลดลงได้ ซึ่งช่วงของค่าความคลาดควบคุม ตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งของระบบอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้ง ในกรณีเช่นนี้ก็จะทำให้ออฟเซตได้เช่นกัน

2.2.1.3 กริยาการควบคุมแบบ Integral (I)

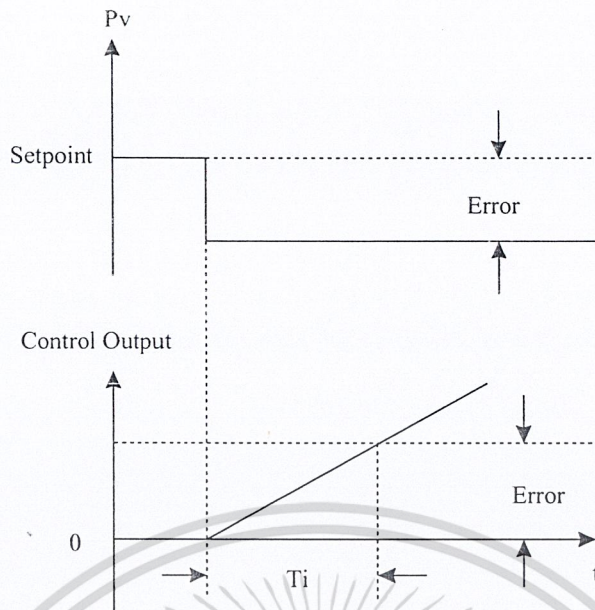
กริยาการควบคุมแบบ I มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการควบคุมแบบรีเซ็ต (Reset Control) โดยการควบคุมจะพิจารณาค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นทั้งหมด การหาค่าความคลาดเคลื่อนในกริยาการควบคุมแบบ I นี้จะต้องหาค่าพื้นที่ทั้งหมดภายใต้กราฟของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลานั้น จากนั้นนำไปคูณกับค่าคงที่ที่เรียกว่า อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ I (Integral Gain) เพื่อหาค่าเอาท์พุท ดังสมการ (2.5)

$$m_I(t) = K_I \int_0^t e(t) dt + \bar{m}_I(0)$$

โดย $m_I(t)$ = ค่าเอาท์พุทของตัวควบคุมแบบ I
 K_I = ค่าอัตราการขยายของตัวควบคุมแบบ I
 $\int_0^t e(t) dt$ = พื้นที่ทั้งหมดของค่าความคลาดเคลื่อน
 $\bar{m}_I(0)$ = เอาท์พุทของตัวควบคุมที่เวลา t มีค่าเป็นศูนย์

ผลของกริยาควบคุมแบบ I นี้ จะทำให้ไม่เกิดออฟเซตขึ้นในระบบและลดค่าพุ่งเกินของระบบลดลงได้ แต่ถ้าค่ากริยาควบคุมมีค่าสูงเกินไปจะทำให้ผลตอบสนองของกระบวนการช้าลง ผลตอบสนองของกริยาแบบ I แสดงดังรูปที่ 2.4

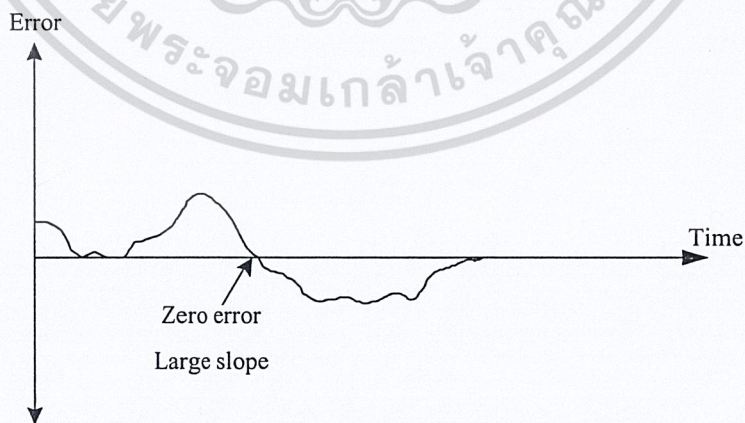
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงผลตอบสนองของกิริยาการควบคุมแบบ Integral

2.2.1.4 กิริยาการควบคุมแบบ Derivative (D)

กิริยาการควบคุมแบบ D สัญญานเอาที่พหุของตัวควบคุมจะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนต่อเวลา (Time Rate of Change of Error) จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนนี้มีโอกาสเป็นศูนย์ได้ และค่าเอาที่พหุก็สามารถเปลี่ยนแปลงให้สูงขึ้น เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกการกระทำดังกล่าวนี้ว่า อัตราการกระทำ (Rate Action) ตามตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างคุณสมบัติของกิริยาตัวควบคุมแบบ Derivative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป จะเห็นว่าที่ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความชันสูงของการเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้ค่าเอาต์พุตเกิดการเปลี่ยนแปลงสูงตามไปด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนสามารถประมาณโดยการหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าความคลาดเคลื่อน 2 ค่า และหารด้วยเวลาระหว่าง 2 ค่านี้ แล้วนำไปคูณกับค่าคงที่ที่เรียกว่า อัตราขยายของตัวควบคุมแบบ D (Derivative Gain) เพื่อหาค่าสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม ดังสมการ (2.6)

$$m_D(t) = K_D \frac{[e(t) - e(t_0)]}{(t - t_0)} \quad (2.6)$$

หรือ

$$m_D(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.7)$$

โดยที่ $m_D(t)$ = ค่าเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบ D ที่ t

K_D = ค่าอัตราขยายตัวของตัวควบคุมแบบ D

$e(t)$ = ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา t

$e(t_0)$ = ค่าความคลาดเคลื่อนที่เวลา t_0

การควบคุมแบบนี้ เหมาะสำหรับกระบวนการที่มีเวลาหน่วง (Time Lag) มากๆ เพราะสามารถแก้ค่าความคลาดเคลื่อน โดยการกระทำล่วงหน้าก่อนที่จะมีการกระทำเกิดขึ้น จึงช่วยให้ผลตอบสนองของกระบวนการเร็วขึ้นแต่มีข้อเสีย คือ การควบคุมมีความไวต่อสัญญาณค่าความคลาดเคลื่อนมาก โดยเฉพาะกรณีที่ τ_D หรือ K_D มีค่ามาก ซึ่งทำให้เกิดค่าพุ่งเกินสูงได้ ดังนั้น จึงไม่เหมาะสมกับกระบวนการที่มีค่าเวลาหน่วงน้อยๆ และกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เช่น ระบบควบคุมการไหลหรือระบบการควบคุมความดัน เป็นต้น การควบคุมแบบนี้ไม่สามารถนำไปใช้งานแบบโดดเดี่ยวได้ เพราะเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ จะทำให้สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมเป็นศูนย์ด้วย

2.2.1.5 การควบคุมแบบ Proportional-Integral (PI)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการควบคุมแบบ P นั้น จะมีออฟเซ็ทเกิดขึ้น ซึ่งการทำค่าออฟเซ็ทนี้ ทำได้โดยการเพิ่มการควบคุมแบบ I เข้าไป ดังนั้นสมการสัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุมแบบนี้จะจะเป็นไปตามสมการ (2.8)

$$m_{PI}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2.8)$$

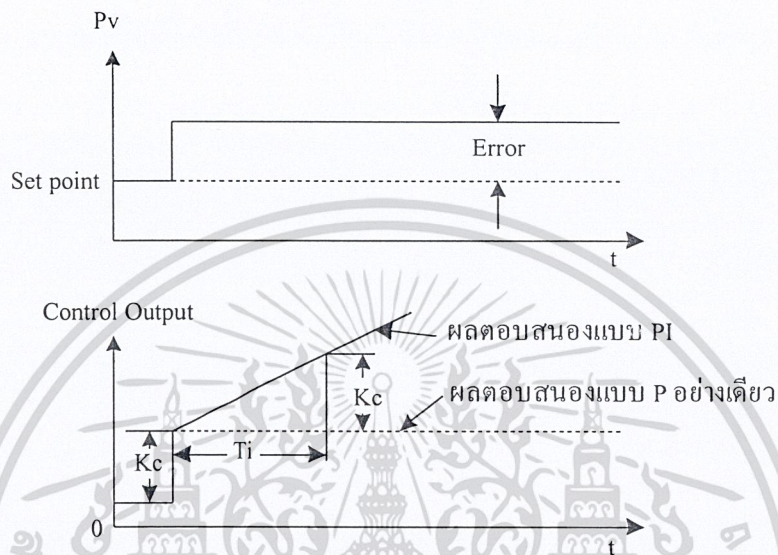
หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m_{PI}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2.9)$$

เมื่อ $K_c = K_p$ และ $K_i = 1/T_i$

T_i = เวลาในการอินทิเกรตหรือเวลารีเซ็ต (Integral or Reset Time)



รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PI (Direct Action)

นอกจากกริยาการควบคุมแบบ PI จะทำให้ค่าออฟเซ็ทมีสถานะคงที่เป็นศูนย์แล้ว ยังช่วยลดค่าพุ่งเกินและการแกว่ง (Oscillation) ของระบบลงได้ แต่ทำให้ Rise Time และ Settling Time มีค่ามากขึ้น

2.2.1.6 กริยาการควบคุมแบบ Proportional – Derivative (PD)

การประยุกต์ใช้กริยาการควบคุมแบบ D ร่วมกับกริยาการควบคุมแบบ P ก็เพื่อให้ผลตอบสนองของระบบรวดเร็วขึ้น แต่จะไม่มีผลโดยตรงต่อผลตอบสนองที่สถานะคงที่ ซึ่งสมการเอาท์พุทของกริยาการควบคุมแบบ PD แสดงดังสมการ (2.10)

$$m_{PD}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.10)$$

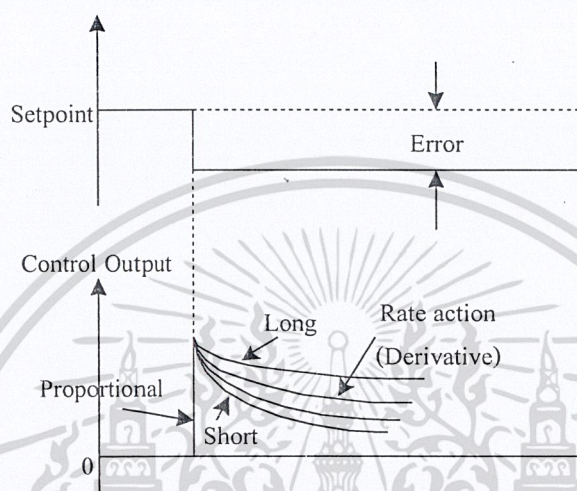
หรือ

$$m_{PD}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $K_D = T_d$
 $T_d =$ ค่าของ Derivative or Rate Time

ข้อเสียของกริยาการควบคุมแบบนี้ก็คือ ไม่สามารถทำให้ออฟเซ็ทของระบบลดลงหรือหมดไปได้และอาจจะทำให้ค่าพุ่งเกินของระบบมีค่าสูงขึ้น ผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PD ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงผลตอบสนองของกริยาการควบคุมแบบ PD

2.2.1.7 กริยาการควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative (PID)

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า กริยาการควบคุมแบบ PD ทำให้ระบบมีเสถียรภาพสัมพัทธ์ดีขึ้น (ผลตอบสนองเร็วขึ้น) แต่ไม่สามารถทำให้ค่าคลาดเคลื่อนหรือออฟเซ็ทที่สภาวะคงที่เป็นศูนย์ได้ ส่วนกริยาควบคุมแบบ PI ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สภาวะคงที่ลดลงหรือหมดไปแต่ทำให้เสถียรภาพสัมพัทธ์ลดลง (Rise Time และ Settling Time มีค่ามากขึ้น) ดังนั้น บางครั้งเพื่อให้ผลตอบสนองของระบบควบคุมมีสมรรถนะเป็นไปตามต้องการจึงต้องใช้กริยาการควบคุมทั้งสองแบบร่วมกัน ซึ่งจะทำได้กริยาการควบคุมแบบ PID ที่มีสมการสัญญาณเอาท์พุทดังสมการ (2.12)

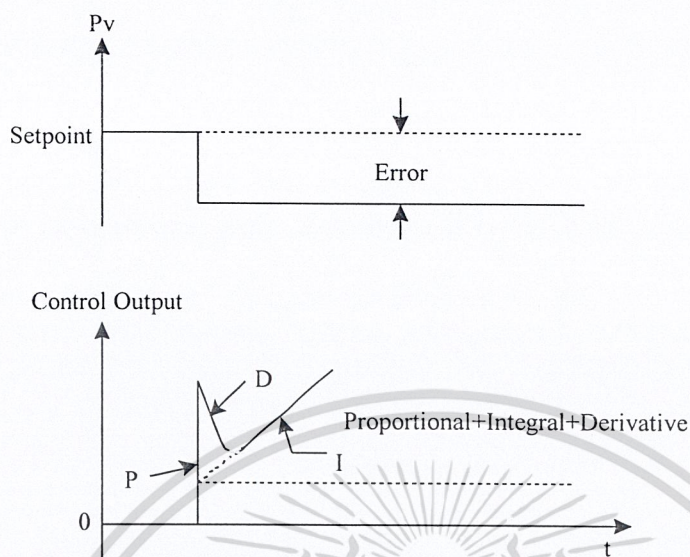
$$m_{PID}(t) = \bar{m} + K_p e(t) + K_p K_I \int_0^t e(t) dt + K_p K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.12)$$

หรือ

$$m_{PID}(t) = \bar{m} + K_c e(t) + \frac{Kc}{Ti} \int_0^t e(t) dt + K_c T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลตอบสนองของกรียาการควบคุมแบบ PID แสดงดังรูปที่ 2.8

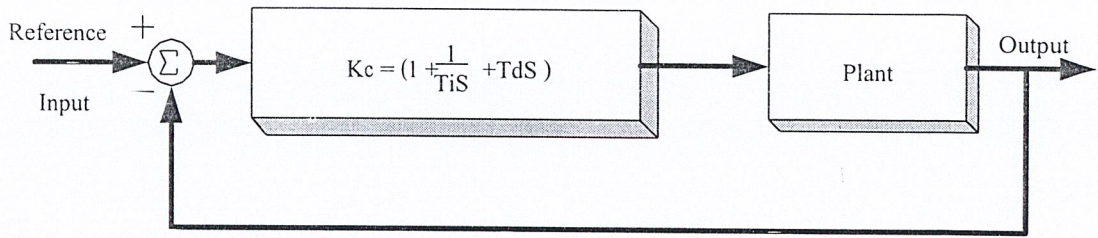


รูปที่ 2.8 แสดงผลตอบสนองของกรียาการควบคุมแบบ PID

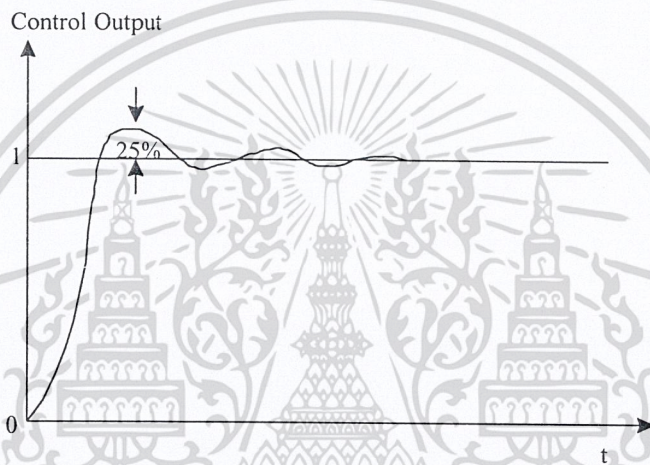
2.2.2 วิธีการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนองของกระบวนการที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การนำเอาตัวควบคุม PID ไปใช้ในการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ จำเป็นต้องหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่เหมาะสมที่จะใช้ปรับให้กับตัวควบคุม PID เพื่อให้ได้การควบคุมที่ดีที่สุด ซึ่งการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID สามารถทำได้หลายวิธี บางวิธีจะพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบได้จากการทดสอบกระบวนการ เช่น วิธีของ Ziegler-Nichols, วิธีของ Cohen-Coon และวิธีของ Harriott เป็นต้น อีกวิธีหนึ่งคือ วิธีอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์ เช่น วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมด้วยวิธีทางเดินของราก (Root Locus Method) และโดยส่วนใหญ่จะพิจารณาจากเงื่อนไขใน โดเมนเวลามากกว่าใน โดเมนความถี่ วิธีที่ได้กล่าวมานั้นวิธีของ Ziegler-Nichols เป็นวิธีที่ได้รับการนิยมนามากที่สุดในทางปฏิบัติ อย่างไรก็ตามวิธีของ Ziegler-Nichols หลายกรณีที่ต้องการปรับละเอียดอีกครั้งหนึ่ง โดยวิธีการลองผิดลองถูกในอันที่จะได้ผลตอบสนองของระบบที่ต้องการอย่างแท้จริง ในส่วนนี้จะกล่าวถึงเพียงการปรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ของ J.G. Ziegler และ N.B. Nichols และวิธี Damped Oscillation ของ Harriott เท่านั้น

วิธีการหาค่าพารามิเตอร์ K_c , T_i และ T_d ของตัวควบคุม PID ตามวิธีของ Ziegler-Nichols จะขึ้นอยู่กับลักษณะของผลตอบสนองชั่วคราวของระบบที่ถูกควบคุมที่ได้จากทั้งผลตอบสนองแบบ ลูปเปิดและผลตอบสนองแบบลูปปิด ซึ่งมี 2 วิธี “Process Reaction Curve” และวิธี “Ultimate Method” โดยแต่ละวิธีจะมุ่งหมายที่จะทำให้ผลตอบสนองเวลาของระบบต่ออินพุทแบบ Unit Step มีค่าพุ่งเกินสูงสุดไม่เกิน 25% ดังรูป



รูปที่ 2.9 (a) แสดงโครงสร้างของระบบควบคุมที่ควบคุมด้วยตัวควบคุม PID



รูปที่ 2.9 (b) แสดงค่าพ่วงเกินที่ต้องการเมื่อใช้การปรับด้วยวิธีของ Ziegler-Nichols

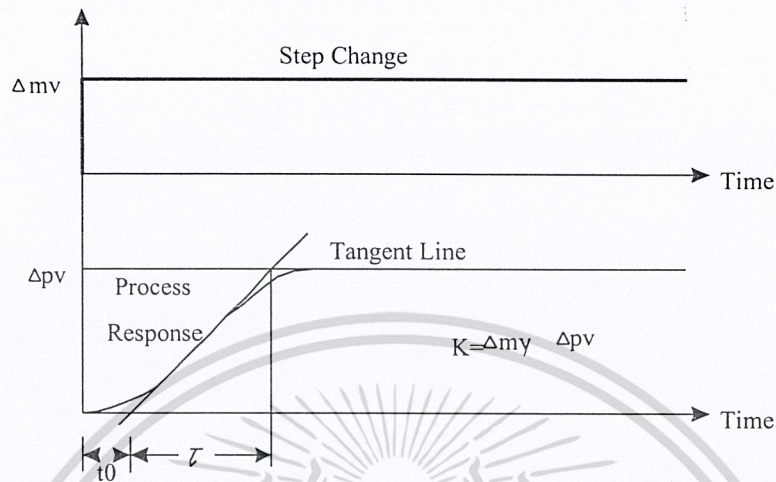
2.2.2.1 การคำนวณจากวิธี Process Reaction Curve

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนองเวลาของระบบ หรือกระบวนการที่ถูกควบคุมแบบลูปปิดต่ออินพุทแบบ Step โดยที่ระบบหรือกระบวนการในกรณีนี้จะไม่มีโพล (Pole) ที่จุดกำเนิด (Origin) หรือไม่มี Dominant Complex Conjugate Pole และไม่มีตัวควบคุมต่อรวมอยู่ ดังนั้น ผลตอบสนองของเวลาจะเป็นรูปตัว S นี้จะถูกนำมาอธิบายคุณลักษณะของกระบวนการ (Process Characteristic) ด้วยพารามิเตอร์ 3 ค่า คือ ค่าอัตราขยายของกระบวนการ ค่าเวลาหน่วงของกระบวนการ และค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ โดยค่าเวลาหน่วงของกระบวนการ และค่าเวลาคงที่ของกระบวนการ จะถูกประมาณโดยการลากเส้นสัมผัสกับจุดที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (Maximum Slope) ดังรูปที่ 2.10 ส่วนค่าอัตราขยายของกระบวนการทราบได้เมื่อผลตอบสนองของกระบวนการเข้าสู่สภาวะคงที่

ดังนั้น ฟังก์ชันถ่ายโอนของกระบวนการจะประมาณได้ด้วยระบบอันดับหนึ่งแบบมีการหน่วงเวลา (FOPDT) คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G(s) = \frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke}{\tau s + 1} \quad (2.14)$$



รูปที่ 2.10 แสดงผลสนองรูปตัว S เมื่อใช้วิธี Process Reaction Curve

Ziegler-Nichols ได้กำหนดค่าของ K_c , T_i และ T_d สำหรับตัวควบคุมแบบต่าง ๆ ที่ใช้การปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Process Reaction Curve ไว้ในตารางที่ 2.1

วิธี Process Reaction Curve จะพบเห็นกันบ่อยมากในทางปฏิบัติ ซึ่งผลตอบสนองของกระบวนการที่จะนำมาประมาณค่านั้นได้มาจากการบันทึกค่าโดยเครื่องบันทึก (Recorder) ดังนั้นจะเห็นว่าจะเกิดค่าผิดพลาดได้ง่าย โดยเฉพาะกับผลตอบสนองที่บันทึกด้วยความเร็วการบันทึก (Chart Speed) ต่ำๆ เช่นที่ความเร็วการบันทึก 250 mm./14.4 sec หรือ $3600/250 = 14.4 \text{ sec./1 mm.}$ ซึ่งถ้าการกำหนดจุดและลากเส้นผิดพลาดเพียง 1 mm. จะทำให้ค่าผิดพลาดถึง 14.4 วินาทีเลย

ตารางที่ 2.1 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Process Reaction Curve

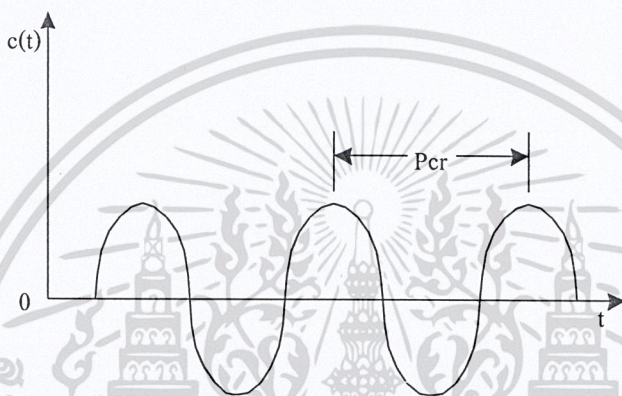
Controller Type	Proportional Gain	Integral Time	Derivative Time
	K_c	T_i	T_d
Proportional only P	$\frac{1}{K} \left(\frac{\tau}{t_0} \right)$	—	—
Proportional-Integral PI	$\frac{0.9}{K} \left(\frac{\tau}{t_0} \right)$	$3.33t_0$	—
Proportional-IntegralDerivative PID	$\frac{1.2}{K} \left(\frac{\tau}{t_0} \right)$	$2.0t_0$	$0.5t_0$

2.2.2.2 การคำนวณจากวิธี Ultimate Method

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID จากผลตอบสนองเวลาของระบบ หรือกระบวนการที่ถูกควบคุมแบบ P แบบลูปปิดต่ออินพุตแบบ Unit Step โดยปรับค่าของ K_c ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งผลตอบสนองเวลาของกระบวนการเกิดแกว่งอย่างต่อเนื่อง (Sustained Oscillations) ดังรูปที่ 2.11 (ถ้าผลตอบสนองไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง วิธีนี้จะใช้ไม่ได้) จากนั้นหาค่าของ

K_{cr} (Critical Gain) = อัตราขยายที่ทำให้ผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง

P_{cr} (Oscillation Period) = คาบเวลาของการแกว่งอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.11 แสดงผลตอบสนองเวลาเกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง เมื่อปรับโดยใช้วิธี Ultimate Method

วิธีนี้ไม่ค่อยนิยมใช้มากนัก เนื่องจากระบบต้องทำงานใกล้ความไม่เสถียรภาพและค่อนข้างใช้เวลานานมาก โดยเฉพาะกับกระบวนการที่มีเวลาหน่วงมาก ๆ เช่น กระบวนการควบคุมอุณหภูมิ สำหรับวิธีนี้ Ziegler-Nichols ได้กำหนดค่าของ K_c , T_i และ T_d สำหรับตัวควบคุมแบบต่าง ๆ ไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงสูตรสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Ultimate Method

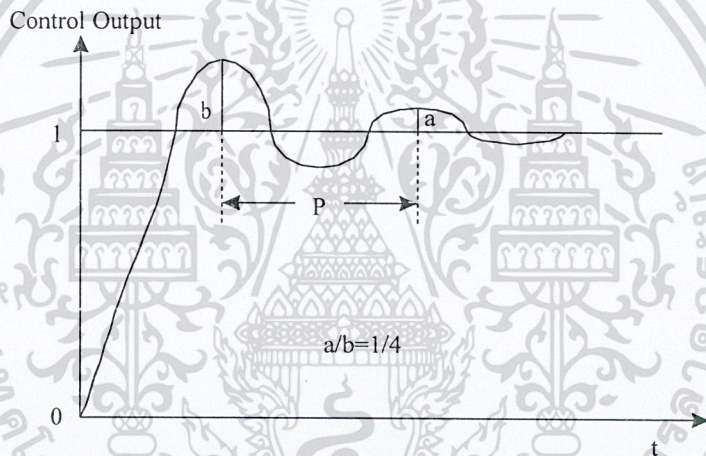
Controller Type	Proportional Gain	Integral Time	Derivative Time
	K_c	T_i	T_d
Proportional only P	$K_{cr}/2$	-	-
Proportional-Integral PI	$K_{cr}/2.2$	$T_{cr}/1.2$	-
Proportional-Integral-Derivative PID	$K_{cr}/1.7$	$T_{cr}/2$	$T_{cr}/8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.3 การคำนวณจากวิธี Damped Oscillation

วิธีนี้จะหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ตามวิธี Damped Oscillation เป็นวิธีที่ปรับปรุงมาจากวิธี Ultimate Method โดย Harriott เพื่อใช้ในกรณีที่การปรับค่าของ K_c ใดๆก็ตาม แต่ผลตอบสนองเวลาของกระบวนการไม่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่อง วิธีนี้จะปรับค่าของ K_c ไปจนผลตอบสนองเวลาของระบบควบคุมแบบลูปปิดมีอัตราเสื่อม (Quarter Decay Ratio) เท่ากับ 1/4 ดังรูปที่ 2.12 จากนั้นวัดค่าของคาบเวลา P และค่า K_c ที่ปรับจนทำให้ผลตอบสนองของระบบควบคุม มีอัตราเสื่อมเท่ากับ 1/4 (สมมติให้เป็น K_{do}) ไปใช้คำนวณหาค่า K_c , T_i และ T_d ดังนี้

$$K_c = K_{do}(1/4), T_i = P/1.5 \text{ และ } T_d = P/6 \quad (2.15)$$



รูปที่ 2.12 แสดงค่าอัตราการเสื่อม 1/4 เมื่อปรับ โดยวิธี Damped Oscillation

2.3 โปรแกรม LabVIEW












2.3.1 ลักษณะการใช้งานของ Tools Palettes



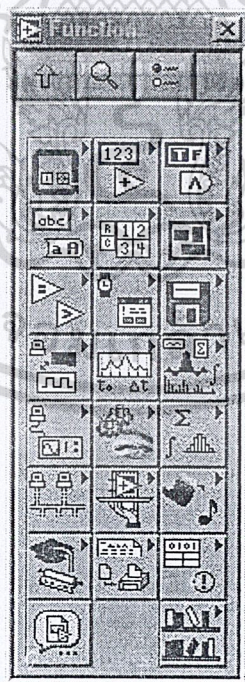
รูปที่ 2.13 แสดง Tool Palette

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tool Palette จะประกอบไปด้วยเครื่องมือหลักดังต่อไปนี้

-  **Operating Tool** ใช้ในการเปลี่ยนค่าสถานะของวัตถุในการควบคุมการทำงาน
-  **Positioning Tool** ใช้ในการเคลื่อนย้าย, เปลี่ยนขนาด หรือเลือกวัตถุ
-  **Labeling Tool** ใช้พิมพ์หรือแก้ไขตัวอักษร
-  **Wiring Tool** ใช้ในการลากเชื่อมโยงสายเพื่อเชื่อมการทำงานในโปรแกรม
-  **Object Shortcut Menu Tool** ใช้ในการเรียก ซอร์ตคัตเมนูขึ้นมา
-  **Scroll Tool** ใช้ในการย้ายหน้าต่างให้เคลื่อนที่โดยไม่ต้องใช้สกรอลบาร์ของวินโดวส์
-  **Breakpoint Tool** ใช้ในการกำหนดจุดหยุดการทำงานของโปรแกรมจากเงื่อนไขต่างๆ
-  **Probe Tool** ใช้กำหนดจุดที่ต้องการให้แสดงค่าของตัวแปรในการทำงานของโปรแกรม
-  **Color Copy Tool** ใช้ในการคัดลอกเม็ดสีที่ต้องการ
-  **Brush Color Tool** ใช้ในการระบายสีลงในจุดที่ต้องการ
-  **Color Tool** ใช้ในการเลือกสีให้กับพื้นหน้าและพื้นหลังของ

2.3.2 ลักษณะการใช้งานของ Functions Palettes



รูปที่ 2.14 แสดง Function Palette

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Function Palette จะประกอบไปด้วยเครื่องมือหลักดังต่อไปนี้



Structures เกี่ยวกับเงื่อนไขที่ใช้ในโปรแกรม เช่น Sequence, For loop, While loop, Case



Boolean เกี่ยวกับเงื่อนไขในด้านบูลีนลอจิก เช่น And, Or, Not, True, False



Numeric เกี่ยวกับฟังก์ชันคณิตศาสตร์พื้นฐาน, ตรีโกณมิติ, ค่าคงที่ในทางคณิตศาสตร์



Array เกี่ยวกับการจัดการตัวแปรที่เป็นแบบอาร์เรย์



Cluster เกี่ยวกับการจัดการตัวแปรที่เป็นแบบคลัสเตอร์



File I/O เกี่ยวกับการจัดการด้าน I/O



Comparison เกี่ยวกับเงื่อนไขในการเปรียบเทียบ



Data Acquisition เกี่ยวกับการนำข้อมูลมาประมวลผลโดยผ่านทางการ์ด DAQ



Analyze ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น ทางสถิติ หรือการวิเคราะห์ข้อมูล



Mathematics เกี่ยวกับฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์



Communication เกี่ยวกับการติดต่อสื่อสารกับระบบภายนอก



Graphics & Sound เกี่ยวทางด้านภาพ, การแสดงโดยใช้กราฟ, เสียง



Tutorial เป็น VIs ที่ใช้ในการเรียนรู้เบื้องต้นในระบบช่วยเหลือ



Advanced เป็น VIs ระดับขั้นสูง ใช้แก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน

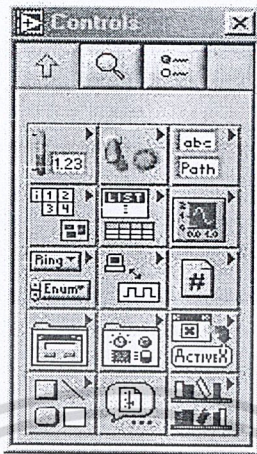


Select a VI.. ใช้ในการเลือก VIs เป็นส่วนประกอบในโปรแกรมที่เราเขียนหรือที่เรียกว่า

SubVis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ลักษณะการใช้งานของ Controls Palettes



รูปที่ 2.15 แสดง Control Palette

Controls Palette จะประกอบไปด้วยเครื่องมือหลักดังต่อไปนี้



Numeric เกี่ยวกับวัตถุที่ใช้ในการแสดงผลและควบคุม



Boolean เกี่ยวกับวัตถุที่ใช้กำหนดสถานะทางบูลีนลอจิก



String & Path เกี่ยวกับวัตถุที่ใช้ในการกำหนดเส้นทางในการเข้าถึงไฟล์



Array & Cluster เกี่ยวกับวัตถุที่ใช้ในการควบคุมและแสดงผลของอาร์เรย์กับคลัสเตอร์



List & Table เกี่ยวกับวัตถุที่ใช้ในการทำตารางหรือแบบฟอร์ม



Graph เกี่ยวกับวัตถุที่ใช้ในการแสดงผลในรูปของกราฟแบบต่างๆ



I/O เกี่ยวกับวัตถุที่ใช้ในการควบคุมและแสดงผล ของการรับส่งข้อมูล I/O



Dialog Control เกี่ยวกับวัตถุที่ใช้ออกแบบตาราง, ฟอร์ม ที่ใช้ได้ตอบกับผู้ใช้



Classic Control เกี่ยวกับวัตถุของ Controls Palette แบบคลาสสิก



Active X ใช้จัดการเกี่ยวกับฟังก์ชัน Active X



Decoration ใช้สำหรับออกแบบส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้ให้มีมิติสวยงาม













เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่มิมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การควบคุมและตรวจสอบโปรแกรม



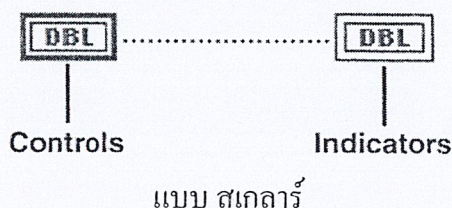
รูปที่ 2.16 แสดงส่วนการควบคุมและตรวจสอบโปรแกรม

จะประกอบไปด้วยเครื่องมือหลักดังต่อไปนี้

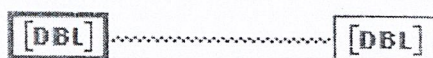
-  **Run** ใช้เริ่มการทำงานโปรแกรมแบบทำงาน 1 รอบ
-  **Run Continuously** ใช้เริ่มการทำงานโปรแกรมแบบทำงานต่อไปเรื่อยๆ
-  **Abort Execution** ใช้ยกเลิกการทำงานของโปรแกรม
-  **Pause** ใช้พักการทำงานของโปรแกรมไว้ชั่วคราว
-  **Highlight Execution** ใช้แสดงการเคลื่อนที่ของค่าตัวแปรที่คำนวณ
-  **Step Info** ใช้ทดสอบการทำงานโปรแกรมโดยจะทำงาน 1 ชั้นโปรแกรม
-  **Step Over** ใช้ทดสอบการทำงานโปรแกรมโดยจะทำงานจนจบโปรแกรม
-  **Step Out** ใช้ทดสอบการทำงานโปรแกรมโดยจะข้ามไปทำงานโปรแกรมที่อยู่ชั้นถัดไป
-  **Font Tool** ใช้กำหนดลักษณะของตัวอักษรที่แสดงผลในโปรแกรม
-  **Align Objects** ใช้จัดเรียงวัตถุให้เป็นระเบียบ
-  **Distribute Objects** ใช้จัดเรียงวัตถุให้มีการกระจายช่องว่างที่เหมาะสม
-  **Reorder** ใช้จัดลำดับการแสดงผลก่อนหลังของวัตถุที่อยู่ในโปรแกรม

2.3.5 ชนิดของสายสัญญาณในโปรแกรม LabVIEW สามารถแบ่งได้ 3 แบบ คือ

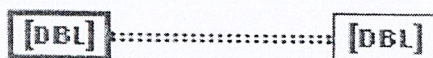
- แบบ สเกลาร์ ชนิด Controls เส้นจะหนากว่า
- แบบ อาร์เรย์ 1 มิติ เส้นที่เป็นอาร์เรย์จะหนากว่าสเกลาร์
- แบบอาร์เรย์ 2 มิติ ขั้วต่อที่เป็นอาร์เรย์จะมี []



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบ อาร์เรย์ 1 บิต



แบบอาร์เรย์ 2 บิต

รูปที่ 2.17 แสดงชนิดของสายสัญญาณในโปรแกรม LabVIEW

2.3.6 เงื่อนไขในการทำงาน

เงื่อนไข (Condition) เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับตัดสินใจอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยการเปรียบเทียบระหว่างตัวแปรหรือค่าคงที่ หรือกับเงื่อนไขต่างๆ ผลที่ได้จากเงื่อนไข ก็คือผลการเปรียบเทียบ ซึ่งจะเป็น “จริง” หรือ “เท็จ” นั่นเอง ซึ่งในโปรแกรม LabVIEW จะมีเงื่อนไขดังนี้

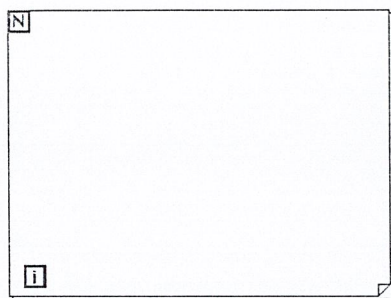
Sequence Structure เป็นเงื่อนไขที่ต้องการให้ทำงานตามลำดับ



รูปที่ 2.18 แสดงรูปแบบของ Sequence Structure

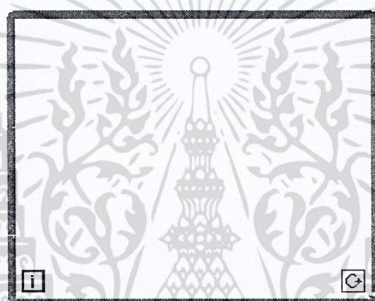
For Loop เป็นรูปแบบที่มีการวนที่แน่นอน ขึ้นอยู่กับตัวเลขหรือตัวแปรที่เราใส่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



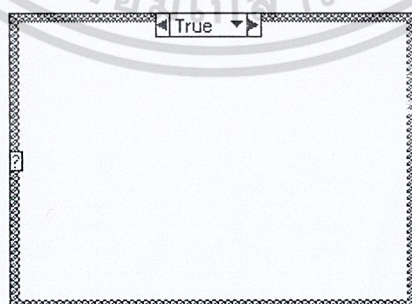
รูปที่ 2.19 แสดงรูปแบบของ For Loop

While Loop เป็นลูปที่มีรูปแบบของการทำซ้ำตามข้อกำหนดเงื่อนไข ภายในลูป



รูปที่ 2.20 แสดงรูปแบบของ While Loop

Case Structure เหมาะสำหรับกรณีที่เรามีทางเลือกมากกว่า 2 ทาง หรือมากกว่าซึ่งสามารถใช้ในกรณีที่โปรแกรมมีทางเลือกหลายๆ ได้ดี

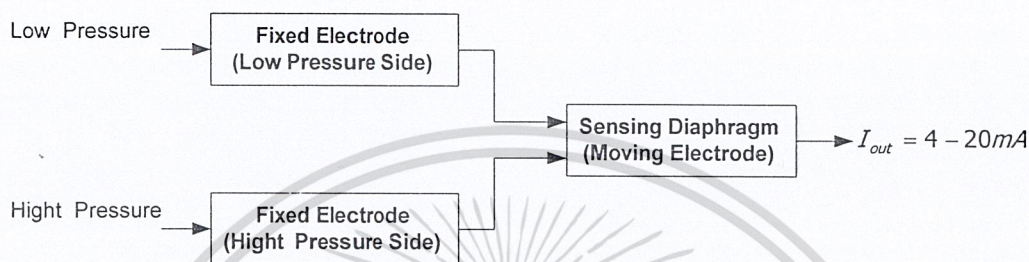


รูปที่ 2.21 แสดงรูปแบบของ Case Structure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เครื่องส่งสัญญาณแรงดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter)

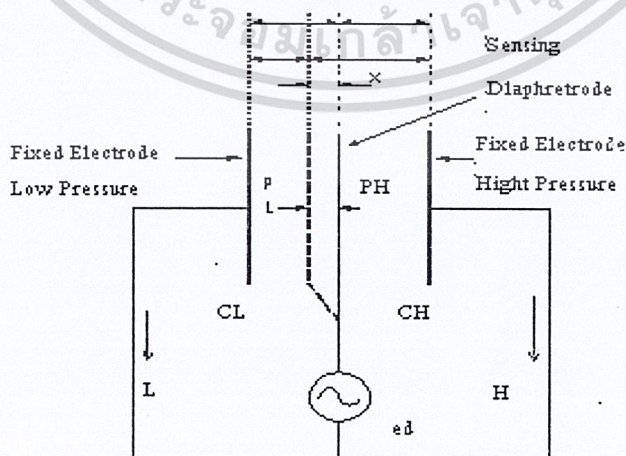
เครื่องส่งสัญญาณแรงดันแตกต่าง คือเครื่องรับแรงดันแตกต่างแล้วมาแปรเป็นสัญญาณมาตรฐานตั้งแต่ 4 ถึง 20 mA ซึ่งใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปแล้วจะใช้ร่วมกับเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้านี้ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้ามาตรฐานไปเป็นแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน เพื่อส่งให้กับอุปกรณ์ที่รับสัญญาณ หรือตัวควบคุมอีกทีหนึ่ง



รูปที่ 2.22 Block diagram ของ D-P Transmitter

2.4.1 หลักการทำงาน

เมื่อเกิดความดันแตกต่าง ระหว่างความดันด้านแรงดันสูง (High pressure) และความดันด้านแรงดันต่ำ (Low pressure) ของแผ่นไดอะแฟรมความดันนี้จะไปกดดันไดอะแฟรมรับรู้สัญญาณ (Sensing diaphragm) ซึ่งผลให้รับรู้สัญญาณเกิดการเคลื่อนที่ โดยระยะทางการเคลื่อนที่นี้จะเป็นสัดส่วนกับค่าแรงดันแตกต่างและการเคลื่อนที่นี้มีผล (Fixed Electrode) เปลี่ยนแปลงมีผลทำให้ค่าคาปาซิแตนซ์เปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนตามนำเอาความเปลี่ยนแปลงของคาปาซิแตนซ์มาเปลี่ยนเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้ามาตรฐานเพื่อส่งออกไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 2.23 ลักษณะการทำงานของ D/P Transmitter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติ X เป็นระยะทางการเคลื่อนที่ของไดอะแฟรมรับรู้สัญญาณ จากตำแหน่งกึ่งกลางที่เกิดจากแรงดันที่แตกต่างกันของแรงดันด้านสูงและด้านต่ำ

$$X = A(P_H - P_L) \quad (2.16)$$

เมื่อ A คือ ค่าคงที่

P_H คือ ความดันที่กดไดอะแฟรมทางด้านความดันสูง

P_L คือ ความดันที่กดไดอะแฟรมทางด้านความดันต่ำ

ดังนั้น ระยะทางระหว่างอิเล็กโทรดที่อยู่กับที่และอิเล็กโทรดที่เคลื่อนที่ (Sensing diaphragm) คือ P_H และ P_L จะมีค่าดังนี้

$$P_H = d_o + X \quad (2.17)$$

$$P_L = d_o - X \quad (2.18)$$

เมื่อ d_o คือ ระยะทางระหว่างไดอะแฟรมรับรู้สัญญาณและอิเล็กโทรดที่อยู่กับที่ คาปาซิแตนซ์ระหว่าง อิเล็กโทรดเคลื่อนที่ (Moving electrode) กับ อิเล็กโทรดเคลื่อนที่อยู่กับที่ (Fixed electrode) แต่ละอันเขียนเป็นสมการดังนี้

$$C_H = \frac{\epsilon \cdot s}{d_H} = \frac{\epsilon \cdot s}{d_o + X} \quad (2.19)$$

$$C_L = \frac{\epsilon \cdot s}{d_L} = \frac{\epsilon \cdot s}{d_o - X} \quad (2.20)$$

เมื่อ ϵ คือ ค่า Dielectric Constant

s คือ ค่าพื้นที่หน้าตัดของอิเล็กโทรด

กระแสที่ไหลผ่านคาปาซิแตนซ์โดยลำดับ คือ

$$i_H = \omega \cdot C_H \cdot e_D \quad (2.21)$$

$$i_L = \omega \cdot C_L \cdot e_D \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ω คือ ความถี่เชิงมุม
 e_D คือ แรงดันที่กระตุ้น

เมื่อให้ $i_L + i_H = i_C$ มีค่าคงที่ซึ่งทำได้โดยการควบคุมแรงเคลื่อน e_D และให้ $i_L - i_H = i_{out}$ ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} i_L + i_H &= \omega \cdot e_D \cdot (C_L + C_H) = i_C && \text{(เป็นค่าคงที่)} \\ \omega \cdot e_D &= \frac{i_C}{C_L + C_H} \\ i_{out} &= i_L - i_H \\ &= \omega \cdot e_D \cdot (C_L - C_H) \\ &= \frac{C_L - C_H}{C_L + C_H} \cdot i_C \end{aligned} \quad (2.23)$$

สมการที่ (2.1), (2.2), (2.3) และ(2.4) จะแก้สมการได้เป็น

$$i_{out} = \frac{X}{d_O} \cdot i_C = \frac{A \cdot i_C}{d_O} \cdot (P_H - P_L) \quad (2.24)$$

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า i_{out} เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดันแตกต่าง $(P_H - P_L)$ เมื่อ $\frac{A \cdot i_C}{d_O}$ มีค่าคงที่

การเปลี่ยนแปลงสัญญาณแรงดันแตกต่างให้เป็นสัญญาณแรงดันมาตรฐาน (4-20 mA DC หรือ 10-50 mA DC) เอาท์พุทซึ่งสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าแรงดันแตกต่างโดยที่เมื่อเราทำให้ผลรวมของกระแส $i_L + i_H$ นั้นมีค่าคงที่ ส่วนค่าของกระแสแตกต่าง $i_L - i_H$ จะถูกนำมาเปลี่ยนเป็นกระแสเอาท์พุท 4 ถึง 20 mA DC ค่าของกระแส i_s Setting เป็นกระแสที่มีค่าคงที่ ส่วนผลรวมของ $i_L + i_H$ นั้นจะขึ้นอยู่กับแรงดัน e_D ของขดลวดชุด Secondary ของวงจรกำเนิดความถี่ (Oscillator) ซึ่งจะใช้ในการกระตุ้นกระแส

สัญญาณกระแส $i_L - i_H$ จะถูกป้อนให้กับภาค I/V converter เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสไฟฟ้า โดยมีการปรับ span ได้ จากนั้นแรงดันจะถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นกระแสเพราะการส่งด้วยกระแสจะสามารถส่งได้ระยะทางไกลกว่าการส่งด้วยแรงดันไฟฟ้าโดยตรง โดยใช้วงจร V/I converter แปลงอีกทีหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

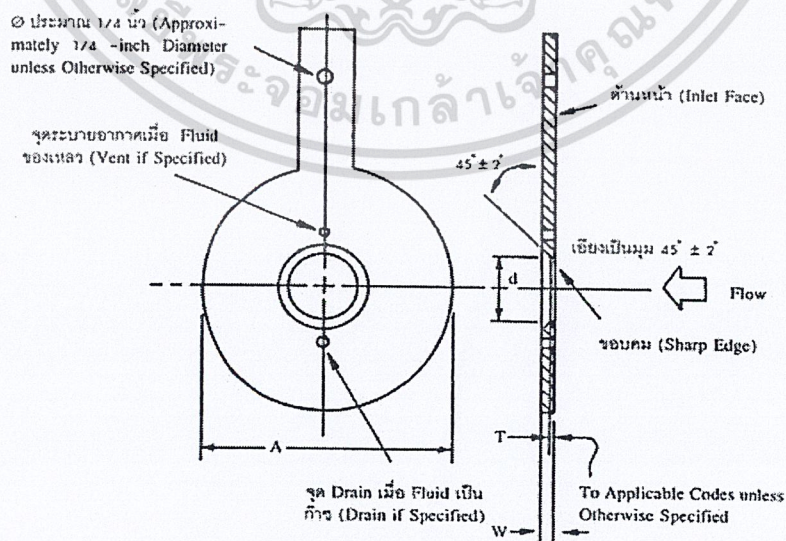
2.5 แผ่นออริฟิต (Orifice Plate)

การใช้ออริฟิตวัดอัตราการไหล เป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว ตั้งแต่สมัยจูเรียต ซีซาร์ ครอบอาณาจักรโรมัน ได้มีการใช้ออริฟิตวัดการใช้น้ำของพลเมือง ในต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 Thomas R Weymouth ได้ทำการทดลองใช้แผ่นออริฟิตแบบที่มีจุดศูนย์กลางร่วม (Concentric) วัด Flow ของก๊าซธรรมชาติเขาใช้วิธีการ Flange Taps ห่างจากแผ่นออริฟิต 1 นิ้วทั้งสองด้าน ซึ่งวิธีการนี้ ต่อมาได้กลายเป็นแบบที่แพร่หลายที่สุดในวงการอุตสาหกรรมในอเมริกา ตามรูปที่ 1 เป็นออริฟิตที่มีใช้ในตอนต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 แผ่นออริฟิตแบบมาตรฐานทำด้วยสแตนเลสสตีลมีความหนา 1/8 ถึง 1/2 นิ้ว ขึ้นอยู่กับขนาด \varnothing ของท่อส่ง

ออริฟิตที่พบใช้งานอยู่โดยทั่วไปจะมีรูปร่างดังรูปที่ 1 ช่องออริฟิตทางด้าน Fluid ไหลเข้าจะเป็นมุมฉาก ทางด้านออกจะผายออกประมาณ 45° เพื่อเป็นการลดความเสียดทานลงให้เหลือเท่าที่จำเป็นสำหรับการวัด



รูปที่ 2.24 ออริฟิตแผ่นบางขอบคม เป็นแบบดั้งเดิมที่มีใช้ตั้งแต่ต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.25 ส่วนต่างของแผ่นออริฟิตอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 ความหนาของแผ่นออริฟิต

ความหนาของแผ่นออริฟิต มีค่าแปรเปลี่ยนไปตามขนาดของท่อหรือ \varnothing ของช่องออริฟิต ความหนาที่สำคัญคือ ขอบในออริฟิต (Orifice Edge) ระยะ T ตามรูปที่ 1 จะต้องไม่เกินค่าเหล่านี้

$$T \leq 0.02 D$$

หรือ $T \leq d/8$ (ใช้ค่าที่น้อยกว่า)

เมื่อ D คือ ระยะ \varnothing ด้านในของท่อ

d คือ ระยะ \varnothing ของช่องออริฟิต

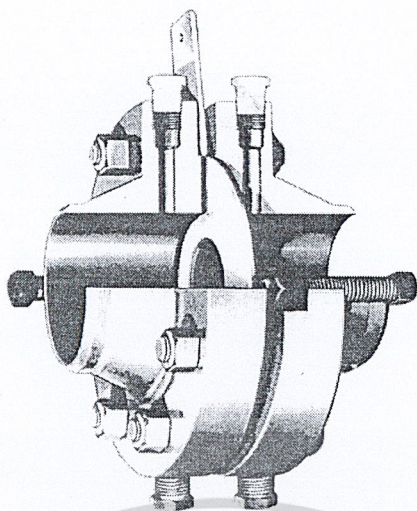
T คือ ค่าความหนา

เพราะระยะ d จะมีผลโดยตรงต่อค่า Coefficient of Discharge แต่ค่าความหนาของแผ่นออริฟิตจะมีความหนากว่าระยะ T ได้ ทั้งนี้เพื่อให้ความแข็งแรงของแผ่นออริฟิตมากขึ้น หลังขอบในออริฟิตจะต้องผายปากออกประมาณ 45° แผ่นออริฟิตแบบนี้ใช้วัด Flow ได้ทางเดียวเท่านั้นตามทิศทางในรูป แต่ถ้าจะให้วัดได้ทั้งสองทาง ตัวแผ่นออริฟิตจะต้องมีความหนาเท่ากับระยะ T และจุด Taps ทั้งสองจะต้องห่างจากออริฟิตเท่ากัน

ขนาดช่องออริฟิตจะบอกเป็นอัตราส่วนกับขนาด \varnothing ในของท่อ (d/D) เรียกว่า อัตราส่วนเบต้า (β Ratio) ค่าของ β นี้มีขีดจำกัดเพื่อให้ผลของการวัดมีความเที่ยงตรง สำหรับ Fluid ที่เป็นของเหลวค่า β จะอยู่ระหว่าง 0.15 ถึง 0.75 และที่เป็นก๊าซหรือไอ เช่น ไอน้ำ ค่า β จะอยู่ระหว่าง 0.20 ถึง 0.70 แต่ค่าที่ดีที่สุดควรอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.6

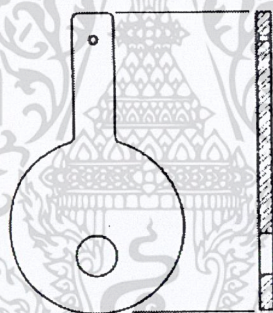
ค่า β นี้ขึ้นอยู่กับวิธีการต่อ Pressure Taps ด้วย ถ้าเป็นแบบ Flange Taps (ต่อจุดวัด ΔP ที่หน้าแปลนประกบออริฟิต) ค่า β สามารถกำหนดได้ระหว่าง 0.15 ถึง 0.70 แต่ถ้าเป็น Pipe Taps (ต่อจุดวัด ΔP ที่ท่อส่ง) ค่า β ควรอยู่ระหว่าง 0.20 ถึง 0.67

การกำหนด β ในทางปฏิบัติจะต้องกำหนดจาก ΔP สูงสุดที่ต้องการ เมื่อค่า Flow ในระบบสูงสุด ΔP สูงสุด 100 inH₂O แล้วคำนวณย้อนกลับมาหาค่า β



รูปที่ 2.26 ภาพตัดแสดงการติดตั้งออร์ฟิตแบบ Flange Taps

2.5.2 ออร์ฟิตแบบเยื้องศูนย์กลาง (Eccentric Orifice)



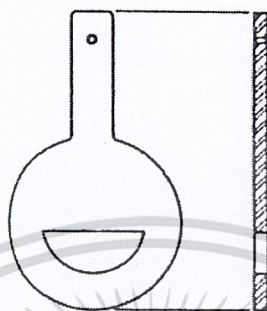
รูปที่ 2.27 ออร์ฟิตแบบเยื้องศูนย์กลาง (Eccentric Orifice)

ช่องออร์ฟิตเป็นรูปกลม แต่จุดศูนย์กลางของรูจะอยู่ก่อนมาทางด้านล่างของแผ่น \varnothing ของช่องออร์ฟิตประมาณ 98% ของขนาด \varnothing ในของท่อ ข้อมูลอย่างอื่นในการออกแบบ เช่น ความหนา ความคม ความเรียบเหมือนกับแบบแรก สาเหตุที่ต้องเจาะช่องออร์ฟิตเยื้องลงมาด้านล่างก็เพื่อแก้ปัญหาของ Fluid บางอย่าง เช่น Fluid ที่มีสารแขวนลอย น้ำมันที่มีน้ำผสมอยู่ หรือไอน้ำชื้น (Wet Steam) อย่างไรก็ตาม ผลการวัดของออร์ฟิตแบบนี้อาจให้ค่าผิดพลาดมากกว่าแบบแรกถึง 5 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ออริฟิตแบบเซ็กเมนต์ (Segmental Orifice)

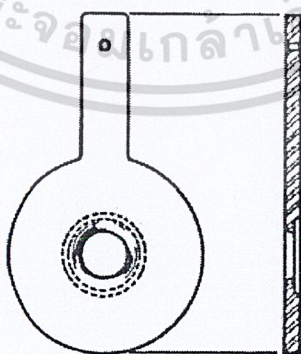
ออริฟิตแบบนี้ใช้งานกับ Fluid ที่มีปัญหาแบบเดียวกับแบบเอียงศูนย์ โดยช่องออริฟิตจะเจาะเป็นส่วนของวงกลม (Segment) ช่องออริฟิตอาจถูกติดตั้งอยู่ด้านบนหรือด้านล่างก็ได้ แต่โดยทั่วไปจะอยู่ทางด้านล่างดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.28 ออริฟิตแบบเซ็กเมนต์ (Segmental Orifice)

2.5.4 ออริฟิตแบบผายปากเป็นรูปโค้ง (Quadrant Edge Orifice)

ช่องออริฟิตเป็นแบบจุดศูนย์กลางร่วมกับท่อ แต่การผายช่องออริฟิตมิได้ตรงและทำมุม 45° กับระนาบของแผ่นแต่จะมนโค้งเป็น $1/4$ ของวงกลม (Quadrant) ลักษณะการเจาะช่องออริฟิตตามรูปที่ 6 ซึ่งผลการเจาะช่องออริฟิตแบบนี้จะทำให้ได้ค่า C_d (Coefficient of Discharge) คงที่ที่ค่า R_D (Reynolds Number) ต่ำๆ ประมาณจาก 3,000 ถึง 100,000 การเปลี่ยนแปลงค่า R_D ประมาณ 0.5% เท่านั้นเหมาะสำหรับใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูง เช่น น้ำมันเตา, น้ำมันดิบ, น้ำเชื่อม (Syrup) ที่มีค่า R_D ต่ำกว่า 100,000



รูปที่ 2.29 ออริฟิตแบบผายปากเป็นรูปโค้ง (Quadrant Edge Orifice)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 แผ่นออริฟิตตามมาตรฐาน ANSI

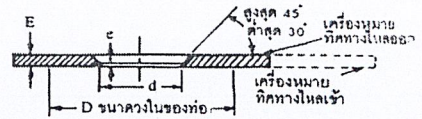
ขนาดต่างๆ ของออริฟิต ตามตารางที่ 1 และผิวหน้าของออริฟิตจะต้องมีค่า Roughness (ความขรุขระ) ไม่เกิน $50 - 10^{-6}$ นิ้ว

ผิวหน้าทางด้าน Fluid ไหลเข้าจะต้องเรียบและตั้งฉากกับแนวท่อ เมื่อติดตั้งอยู่กับหน้าแปลน (Flange) หรือ Fitting ค่าความเรียบ (Flatness) จะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 2 และในขนาดรูออริฟิตที่มากกว่า 9 นิ้ว ค่าความเรียบจะต้องมีค่าไม่ผิดไปมากกว่า $0.010 \cdot \left(\frac{D-d}{2} \right)$ เมื่อ D คือขนาด \varnothing วัตในออริฟิตแบบหน้าแปลน (Flange) และขนาด \varnothing วัตนอกในออริฟิตแบบ Fitting และ d คือขนาดรูของออริฟิต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ขนาดต่างๆ ของแผ่นออริฟิส (Orifice Plate Dimensions)

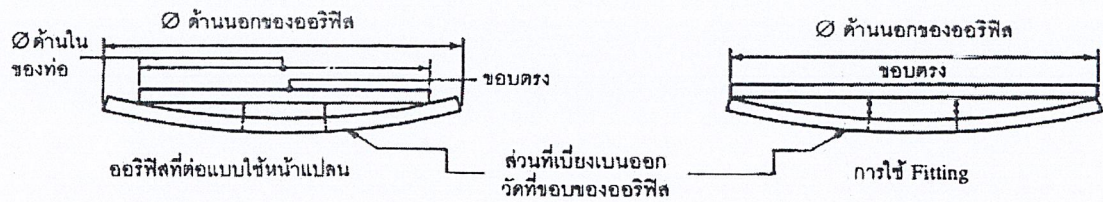


Nominal I.D	2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	16"	20"	24"	30"								
ie 0.02 D	1132	1/32	3/64	1/64	5/64	3/32	7/64	9/64	5/32	3/16	7/32	15/64	9/32	19/64	3/8	7/16	29/64	9/16	37/64
Comm. D	1.689	...	2.624	3.152	...	...	...	...	9.564	...	...	...	...	18.814	...	...	...	...	...
Comm. D	1.939	...	2.900	3.458	...	4.897	5.761	...	7.981	10.020	...	11.938	...	15.000	19.000	...	23.000	...	29.000
Comm. D	2.067	2.300	3.068	3.826	4.026	5.189	6.065	7.625	8.071	10.136	11.376	12.090	14.688	15.250	19.250	22.626	23.250	28.628	29.250
Orifice Plate Thickness "E"																			
ค่าต่ำสุด	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.115	0.175	0.175	0.175	0.175	0.240	0.240	0.240	0.370	0.370	0.370
ค่าต่ำสุด	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.163	0.129	0.254	0.289	0.319	0.0379	0.398	0.490	0.500	0.505	0.505	0.505	0.562	0.578
ค่าแนะนำ	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.250	0.250	0.250	0.375	0.375	0.375	0.375	0.375	0.500	0.500
ความหนาสูงสุดของขอบออริฟิส																			
Orific c Diam. d Inches																			
0.250	1/32	§1/3	§1/3	1/32	1/32	1/32	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
0.375	3/64	2	2	§3/6	3/64	3/64	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
0.500	1/16	...	...	4	§1/1	1/16	1/16	1/16	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
0.625	5/64	...	...	6	§5/6	5/64	5/64	5/64	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
0.750	3/32	...	...	...	4	§3/3	3/32	3/32	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
0.875	7/64	...	...	...	...	2	§7/64	7/64	7/64	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1.000	1/8	...	...	...	...	...	...	1/8	1/8	1/8	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1.125	9/64	...	...	...	...	...	...	§9/6	9/64	9/64	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1.250	5/32	...	...	...	...	...	...	4	§5/3	5/32	5/32	5/32	...	...	...	...	...	...	...
1.375	11/64	...	...	...	...	...	...	2	...	11/64	11/64	11/64	...	...	...	...	...	...	...
1.500	3/16	...	...	...	...	...	...	...	...	§3/16	3/16	3/16	3/16	...	...	...	...	...	...
1.625	13/64	...	...	...	...	...	...	...	...	13/64	13/64	13/64	13/64	...	...	...	...	...	...
1.750	7/32	...	...	...	...	...	...	...	...	§7/32	7/32	7/32	7/32	...	...	...	...	...	...
1.875	15/64	...	...	...	...	...	...	...	...	...	§15/64	15/64	15/64	...	...	...	...	...	...
2.000	1/4	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1/4	1/4	1/4	...	...	...	...	...	...
2.250	9/32	...	...	...	...	...	...	...	...	...	§9/32	9/32	9/32	...	...	...	...	...	...
2.375	19/64	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	§19/64	19/64	19/64	19/64	...	19/64	...	...
2.500	5/16	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	5/16	5/16	5/16	5/16	5/16	...	...
2.750	12/32	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	11/32	11/32	11/32	11/32	...	...
2.875	23/64	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	23/64	23/64	23/64	23/64	23/64	...
3.000	3/8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	§3/8	3/8	3/8	3/8	3/8	...
3.250	13/32	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	13/32	13/32	13/32	13/32	...
3.500	7/16	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	7/16	7/16	7/16	7/16	7/16
3.625	29/64	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	§29/64	29/64	29/64	29/64	29/64
3.750	15/32	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	4	15/32	15/32	15/32
4.000	1/2	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1/2	1/2	1/2
4.250	17/32	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	17/32	17/32	17/32
4.500	9/16	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	§9/16	9/16	9/16
4.625	37/64	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	§37/64
4.750	19/32	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5.000	5/8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

- บันทึก - ความหนาของขอบในออริฟิสไม่เกิน $e \leq 0.02 D$ หรือ $d/8$ แล้วแต่ค่าไหนจะน้อยกว่ากำหนดค่าสูงสุดด้วยตัวนั้น เครื่องหมาย § เป็นค่าสูงสุดของออริฟิสขนาดนั้น แต่ในขนาดที่ใหญ่กว่ากำหนดค่าสูงสุดที่ $e \leq 0.02 D$
- ค่าของ e กำหนดให้มีค่าน้อยกว่า $d/8$
- แผ่นออริฟิสที่มีค่าความหนาของขอบ $e \leq \frac{1}{30D}$ ไม่จำเป็นต้องนำปากช่องทางด้านออก ยกเว้นด้วยเหตุผล

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาที่ได้รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ค่าการเบี่ยงเบนของแผ่นออริฟิสในย่านที่ยังใช้งานได้



ขนาดรูออริฟิส (นิ้ว)	ขนาด Nominal ของท่อ										
	2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	16"	20"	24"	30"
	ค่าเบี่ยงเบนสูงสุด ที่ยอมรับได้										
.125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
.250	.009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
.375	.008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
.500	.008	.013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
.625	.007	.012	.017	-	-	-	-	-	-	-	-
.750	.007	.012	.016	.027	-	-	-	-	-	-	-
.875	.006	.011	.016	.026	.036	-	-	-	-	-	-
1.000	.005	.010	.015	.025	.035	.046	-	-	-	-	-
1.250	.004	.009	.014	.024	.034	.044	.054	-	-	-	-
1.500	.003	.008	.013	.023	.033	.043	.053	.067	-	-	-
1.750	-	.007	.011	.022	.032	.042	.052	.066	-	-	-
2.000	-	.005	.010	.020	.030	.041	.050	.065	0.85	-	-
2.250	-	.004	.009	.019	.029	.039	.049	.063	.083	-	-
2.500	-	-	.008	.018	.028	.038	.048	.062	.082	.102	-
2.750	-	-	.006	.017	.027	.037	.047	.061	.081	.101	-
3.000	-	-	.005	.015	.025	.036	.045	.060	.080	.100	.130
3.250	-	-	-	.014	.024	.034	.044	.058	.078	.098	.128
3.500	-	-	-	.013	.023	.033	.043	.057	.077	.097	.127
3.750	-	-	-	.012	.022	.032	.042	.056	.076	.096	.126
4.000	-	-	-	.010	.020	.031	.040	.055	.075	.096	.125
4.500	-	-	-	.008	.018	.028	.038	.052	.072	.092	.122
5.000	-	-	-	-	.015	.026	.035	.050	.070	.090	.120
5.500	-	-	-	-	.013	.023	.033	.047	.067	.087	.117
6.000	-	-	-	-	.010	.021	.030	.045	.065	.085	.115
6.500	-	-	-	-	-	.018	.028	.042	.062	.082	.112
7.000	-	-	-	-	-	.016	.025	.040	.060	.080	.110
7.500	-	-	-	-	-	.013	.023	.037	.057	.077	.107
8.000	-	-	-	-	-	-	.020	.035	.055	.075	.105
8.500	-	-	-	-	-	-	.018	.032	.052	.072	.102
9.000	-	-	-	-	-	-	.015	.030	.050	.070	.100
9+	-	-	-	-	-	-	-	*	*	*	*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ค่าการเบี่ยงเบนของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของออริฟิตในย่านที่ยังใช้งานได้

ขนาดรูออริฟิต	ขนาดเบี่ยงเบน ทั้งทางบวกและลบ	ขนาดรูออริฟิต	ขนาดเบี่ยงเบน ทั้งทางบวกและลบ
0.250	0.0003"	0.750	0.0005"
0.375	0.0004"	0.875	0.0005"
0.500	0.0005"	1.000	0.0005"
0.625	0.0005"	Over 1.000	0.0005" per inch of Diameter

ขอบรูออริฟิตทางด้าน Fluid ไหลเข้าจะต้องเป็นมุมฉาก คม ไม่มีลำแสงลอดผ่านออกมา เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจสอบ (Orifice Edge Gauge) หรือลำแสงสะท้อนปรากฏออกมาที่ขอบ เมื่อตรวจสอบด้วยการฉายแสงลงบนขอบ โดยไม่ต้องใช้แว่นขยายและบนแผ่นออริฟิตจะต้องไม่มีสิ่งสกปรกน้ำมันหรือสิ่งแปลกปลอมอย่างอื่นมาเกาะ ที่ผิวหน้าจะต้องสะอาด จะต้องรักษาภาพเช่นนี้ตลอดช่วงเวลาใช้งาน

จุดศูนย์กลางของช่องออริฟิตจะต้องเป็นจุดเดียวกับของท่อด้านในหรือ Fitting โดยพยายามรักษาให้มีค่าผิดพลาดไม่เกิน 3% โดยเฉพาะกับท่อขนาดเล็กที่มีช่องออริฟิตขนาดใหญ่จะมีความสำคัญมากขึ้น การติดตั้งจะต้องทำด้วยความระมัดระวังให้มากที่สุด

การวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องออริฟิตจะต้องทำที่อุณหภูมิ 68 °F (หรือคำนวณเทียบค่ามาที่อุณหภูมินี้) ค่าที่ได้จะต้องใกล้เคียงกับค่าที่ใช้คำนวณเป็น Basic Orifice Factor มากที่สุดทำการวัด 3 จุดในตำแหน่งต่างกัน ค่าทั้งสามที่ได้ต้องไม่แตกต่างกันกับค่าที่ใช้คำนวณ Basic Orifice Factor และค่าผิดพลาดจะต้องไม่เกินค่าพิสัยที่ระบุในตารางที่ 2.3

อัตราส่วน = $\frac{d}{D}$ หรือที่เรียกว่า ค่าเบต้าตามข้อแนะนำจะต้องมีขนาดไม่เกิน

เมื่อเป็นแบบ Flange Taps β ควรมีค่าระหว่าง 0.15 ถึง 0.7

เมื่อเป็นแบบ Pipe Taps β ควรมีค่าระหว่าง 0.20 ถึง 0.67

ทั้งแบบ Flange Taps และ Pipe Taps ค่า β อาจลดลงได้ถึง 0.1 แต่แบบ Flange Taps ค่า β จะต้องไม่สูงกว่า 0.75 และไม่เกิน 0.7 ในแบบ Pipe Taps เพราะค่าคงที่ต่างๆ (Flow constants) ที่ใช้ในการคำนวณจะเริ่มผิดไปจากความเป็นจริงเกินพิสัย จึงควรหลีกเลี่ยงค่า β เกินค่าที่กำหนดในข้อที่แล้ว

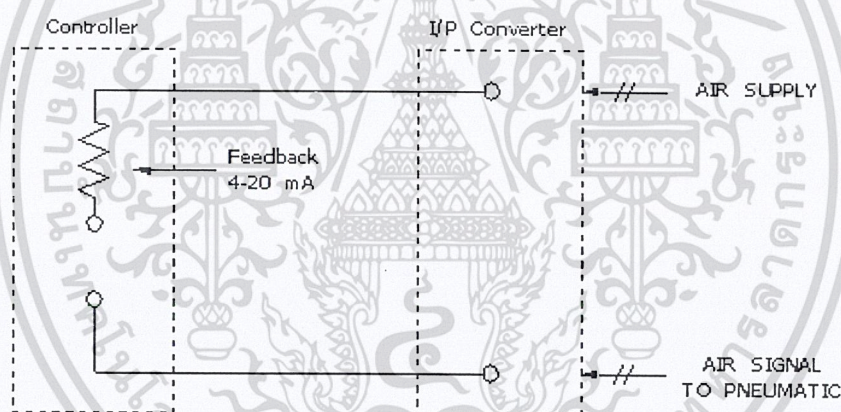
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 วาล์วควบคุม (Control Valve)

วาล์วควบคุมเป็นตัวทำงานตัวสุดท้ายหรือที่เรียกว่า Final control element ของระบบ เป็นตัวที่รับคำสั่งโดยตรงจากระบบควบคุมที่ทำการประมวลผลแล้ว ก็จะส่งค่าหรือสัญญาณควบคุม ในที่นี้คือสัญญาณกระแส 4-20 mA DC ให้วาล์วควบคุมปรับระบบกระบวนการเพื่อให้ตัวแปรควบคุมอยู่ในระดับที่ต้องการ การทำงานของวาล์วควบคุมจะทำงานคล้ายกับวาล์วโดยทั่วไป นั่นคือ เปิดมากปริมาณน้ำที่ไหลผ่านจะมากเปิดน้อยปริมาณน้ำที่ไหลผ่านจะน้อย แต่สามารถที่ควบคุมการปิดเปิดได้ตอบสนองต่อสัญญาณควบคุมได้รวดเร็ว โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

2.6.1 ชุดแปลงกระแสเป็นแรงดันลม (I/P Converter)

การทำงานโดยจะรับสัญญาณควบคุมที่เป็นกระแส 4-20 mA DC มาแปลงเป็นแรงดันลม $0.2 - 1 \text{ kg/cm}^2$ และส่งสัญญาณลมนี้ไปควบคุมชุดวาล์วอีกทีหนึ่ง โดยจะมีการทำงานดังรูป

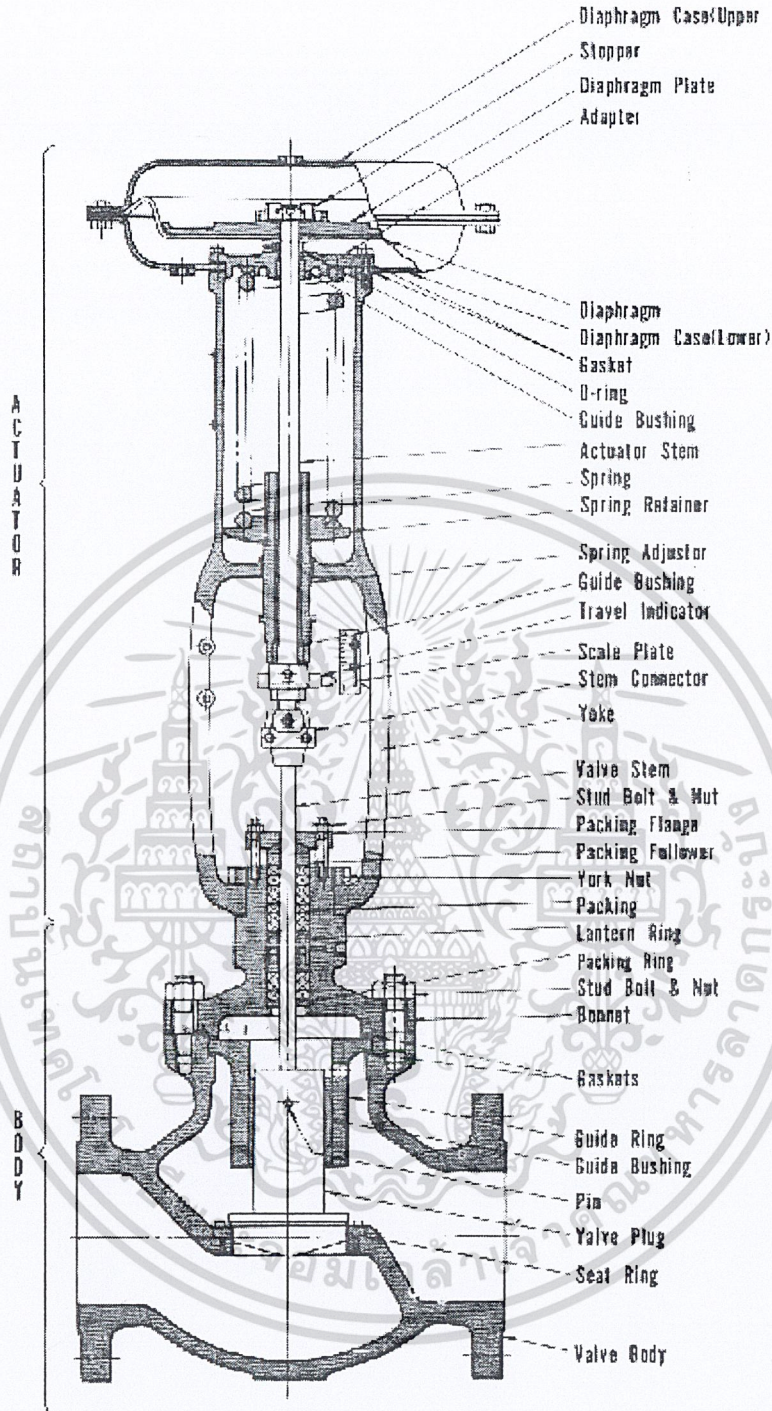


รูปที่ 2.30 การทำงานของชุดแปลงกระแสเป็นแรงดันลม (I/P Converter)

2.6.2 ชุดวาล์ว (Valve)

โดยจะรับแรงดันลมมาจากชุดแปลงกระแสเป็นแรงดันลม (I/P Converter) แล้วต่อเข้ากับห้องไดอะแฟรม ในห้องนี้จะประกอบด้วย แผ่นไดอะแฟรม สปริงกด ก้านวาล์ว โดยที่ก้านวาล์วจะต่ออยู่กับแผ่นไดอะแฟรมและสปริงกด เมื่อไม่มีแรงดันลมมากดแผ่นไดอะแฟรม วาล์วปลั๊ก (Valve plug) จะถูกสปริงกดดึงวาล์วเปิดสุดให้ และเมื่อแรงดันลมเข้ามามากพอชนะแรงสปริงกด วาล์วปลั๊กก็จะถูกปิดลง การปิดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงดันลมที่ป้อน นั่นคือการทำงานของวาล์วควบคุม โดยจะมีโครงสร้างและส่วนประกอบดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

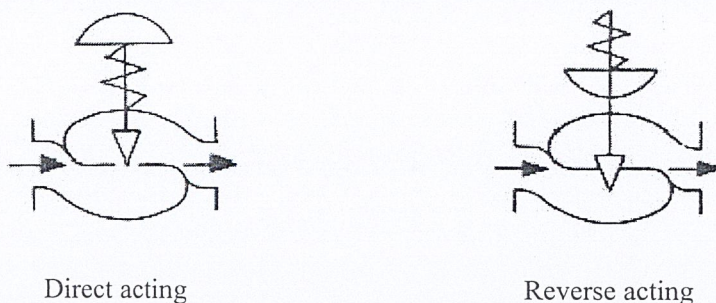


รูปที่ 2.31 ส่วนประกอบของวาล์วควบคุมแบบ Direct – acting (Open on air failure)

ในโครงการนี้จะเลือกใช้วาล์วควบคุมแบบ Direct – acting (Open on air failure) การทำงานคล้ายกับแบบ Reverse – acting (Close on air failure) แต่จะแตกต่างกันที่ทิศทางและตำแหน่งการเคลื่อนที่ของวาล์วจะมีทิศทางตรงกันข้ามกัน นั่นคือปกติเมื่อไม่มีแรงดันลมเข้ามาปลั๊กวาล์วจะอยู่ที่ตำแหน่งปิดคือสปริงจะกดให้ปลั๊กวาล์วมาปิดกับบาวาล์ว และเมื่อมีแรงดันลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

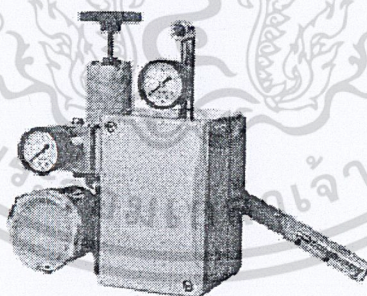
เข้ามาและขณะแรงสปริงกด ปลั๊กวาล์วก็จะถูกเปิดออก และเปิดมากหรือเปิดน้อยขึ้นอยู่กับแรงดันลมที่จ่ายเข้ามา ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.32 การทำงานของ Direct and Reverse Acting

2.5.3 ชุดเคลื่อนที่ก้านวาล์ว (Valve Positioner)

ชุดเคลื่อนที่ก้านวาล์ว (Valve Positioner) ถูกใช้งานร่วมกับไดอะแฟรมวาล์ว เพื่อขับเคลื่อนชุดก้านวาล์วทำให้วาล์วสามารถเปิด-ปิดได้ ชุดเคลื่อนที่ก้านวาล์ว (Valve Positioner) จะรับสัญญาณเข้าแบบนิวมติกจากอุปกรณ์ควบคุม (ชุดแปลงกระแสเป็นแรงดันลม (I/P Converter) และกำหนดการจ่ายแรงดันที่เหมาะสมไปควบคุมเพื่อให้ก้านวาล์วเคลื่อนที่ ระยะการเคลื่อนที่ของวาล์วสเต็ม (Valve Stem) จะสัมพันธ์กับสัญญาณเข้าแบบนิวมติก



รูปที่ 2.33 ชุดเคลื่อนที่ก้านวาล์ว (Valve Positioner)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ฟังก์ชันถ่ายโอนและการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

3.1 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุม

3.1.1 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

สมการที่ใช้ในการลดรูป

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\sum_{l=1}^L \prod_{j=1}^J G_j}{1 + \sum_{k=1}^L \prod_{i=1}^I G_i} \quad (3.1)$$

เมื่อ

L = จำนวนของทางเดินข้างหน้าระหว่าง $X(s)$ และ $Y(s)$

J = จำนวนของฟังก์ชันถ่ายโอนในแต่ละทางเดินข้างหน้าระหว่าง $X(s)$ และ $Y(s)$

G_j = ฟังก์ชันถ่ายโอนในแต่ละทางเดินข้างหน้า

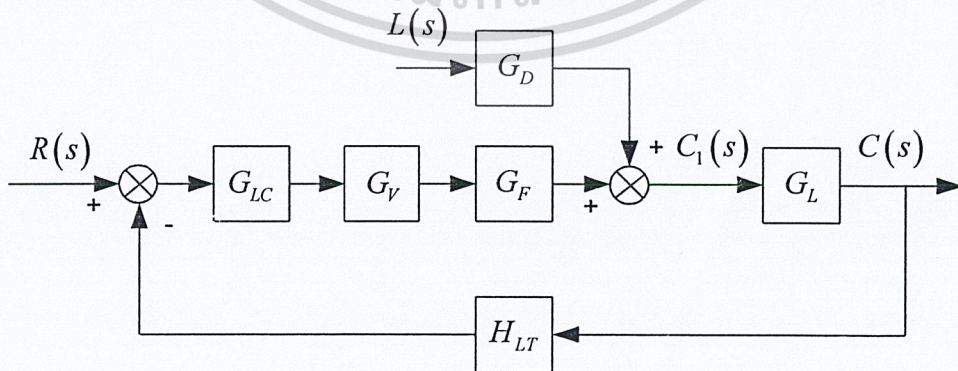
K = จำนวนของวงรอบที่เกี่ยวข้องในแต่ละบล็อกไดอะแกรม

I = จำนวนของฟังก์ชันถ่ายโอนในแต่ละวงรอบ

G_i = ฟังก์ชันถ่ายโอนในแต่ละวงรอบ

ระบบควบคุมแบบคาคเคจะพิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

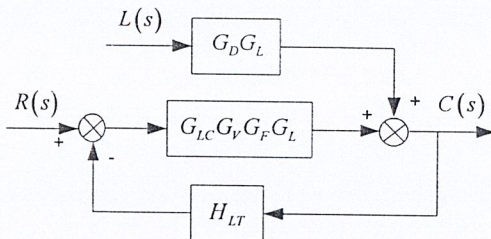
$$\frac{C(s)}{R(s)} \quad \text{และ} \quad \frac{C(s)}{L(s)}$$



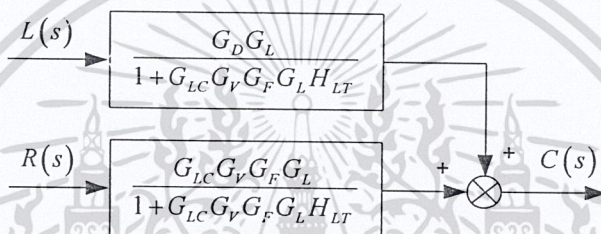
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับเมื่อลดรูปแล้วจะได้ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ถูกลดรูปจากเดิม

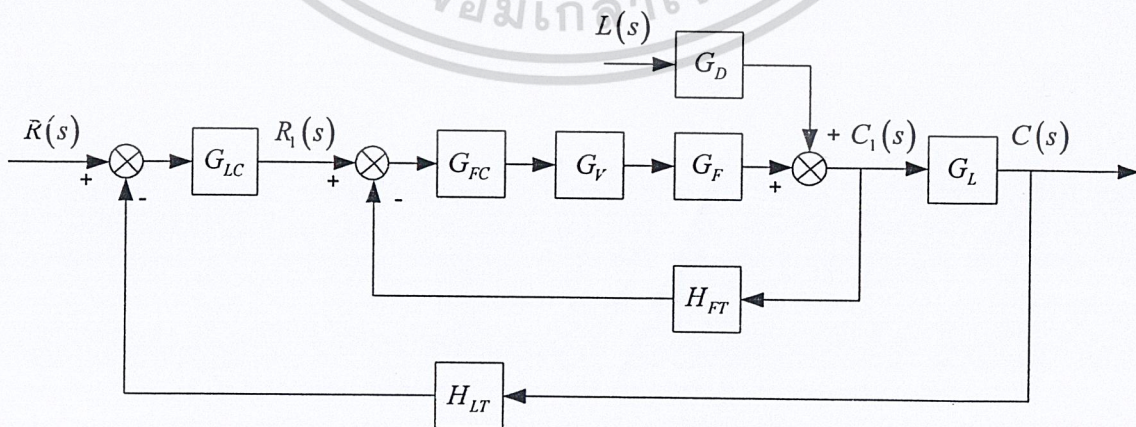


รูปที่ 3.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ถูกลดรูปสุดท้าย

3.2 การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบควบคุมแบบคาสเคด

ระบบควบคุมแบบคาสเคดจะพิจารณาฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$\frac{C(s)}{R(s)} \text{ และ } \frac{C(s)}{L(s)}$$



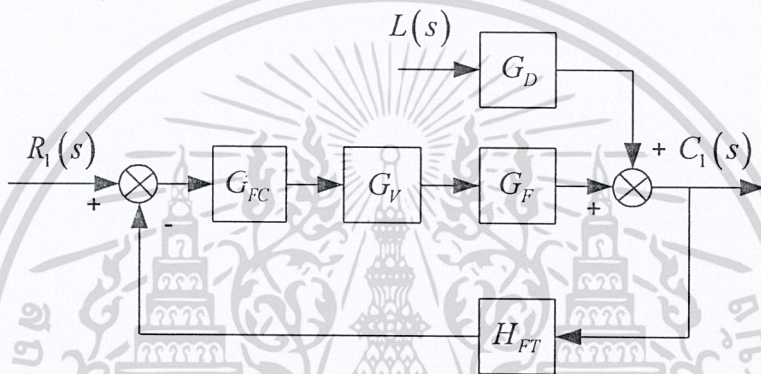
รูปที่ 3.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมแบบคาสเคด (Cascade)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมสามารถที่จะคิดได้เป็นระบบวงรอบปิดสองวงรอบรวมกัน โดย อันหนึ่งอยู่ข้างใน อันคืบแรกจะต้องลดรูปวงรอบข้างในก่อน รูปที่ 3.30 แสดงให้เห็นเฉพาะวงรอบข้างใน ใช้สมการที่ 3.5 ทั้งสองฟังก์ชันถ่ายโอนสำหรับวงรอบข้างในสามารถหาได้ดังนี้

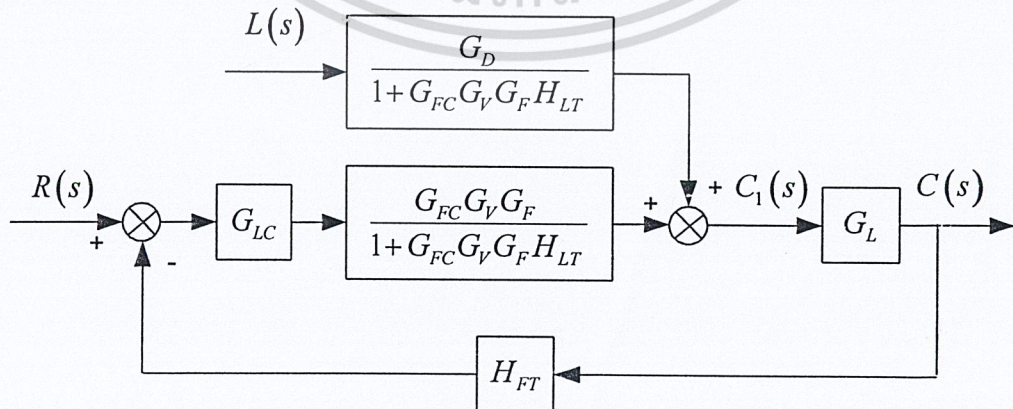
$$\frac{C_1(s)}{R_1(s)} = \frac{G_{FC}G_VG_F}{1+G_{FC}G_VG_FH_{LT}} \quad (3.2)$$

$$\frac{C_1(s)}{L(s)} = \frac{G_D}{1+G_{FC}G_VG_FH_{LT}} \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงรอบข้างใน

แทนฟังก์ชันถ่ายโอนทั้งสองคือสมการ (3.2) และ (3.3) ลงในบล็อกไดอะแกรมเดิมและผลที่ได้จะเป็นบล็อกไดอะแกรมใหม่ที่ถูกลดรูปแล้วแสดงในรูปที่ 3.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมที่ถูกลดรูปแล้ว
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

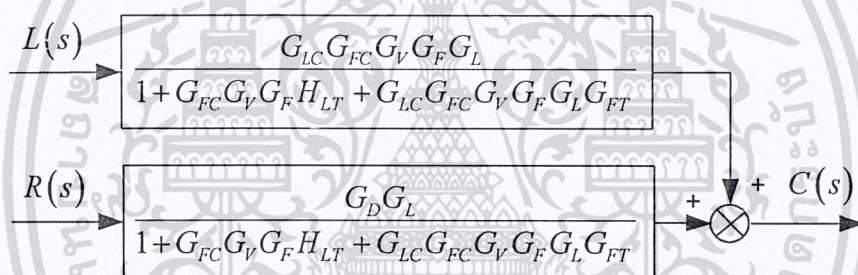
จากนั้นใช้บล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.6 นี้ร่วมกับสมการ (3.1) จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนที่ต้องการดังนี้

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\frac{G_{LC}G_{FC}G_VG_FG_L}{1+G_{FC}G_VG_FH_{LT}}}{1+\frac{G_{LC}G_{FC}G_VG_FG_LG_{FT}}{1+G_{FC}G_VG_FH_{LT}}} = \frac{G_{LC}G_{FC}G_VG_FG_L}{1+G_{FC}G_VG_FH_{LT}+G_{LC}G_{FC}G_VG_FG_LG_{FT}} \quad (3.4)$$

และ

$$\frac{C(s)}{L(s)} = \frac{\frac{G_DG_L}{1+G_{FC}G_VG_FH_{LT}}}{1+\frac{G_{LC}G_{FC}G_VG_FG_LG_{FT}}{1+G_{FC}G_VG_FH_{LT}}} = \frac{G_DG_L}{1+G_{FC}G_VG_FH_{LT}+G_{LC}G_{FC}G_VG_FG_LG_{FT}} \quad (3.5)$$

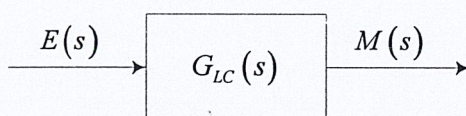
แทนฟังก์ชันถ่ายโอนทั้งสองคือสมการ (3.4) และ (3.5) ลงในบล็อกไดอะแกรมเดิมและผลที่ได้จะเป็นบล็อกไดอะแกรมใหม่ที่ถูกลดรูปแล้วแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมใหม่ที่ถูกลดรูปแล้ว

ซึ่งค่าอัตราขยายต่างๆ ที่อยู่ในระบบควบคุมทั้งสองชนิดหาได้ดังต่อไปนี้

1. ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมหลัก (Primary Controller Gain)



รูปที่ 3.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_{LC} = \frac{M(s)}{E(s)} = K_{pL} + \frac{K_{iL}}{s} + K_{dL}s \quad (3.6)$$

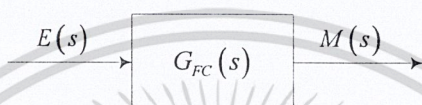
โดยที่

K_{pL} = ค่าอัตราขยายเชิงสัดส่วน (Proportional Gain) ของตัวควบคุมหลัก

K_{iL} = ค่าอัตราขยายเชิงรวม (Integral Gain) ของตัวควบคุมหลัก

K_{dL} = ค่าอัตราขยายเชิงผลต่าง (Derivative Gain) ของตัวควบคุมหลัก

2. ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมรอง (Secondary Controller Gain)



รูปที่ 3.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมรอง

$$G_{FC} = \frac{M(s)}{E(s)} = K_{pF} + \frac{K_{iF}}{s} + K_{dF}s \quad (3.7)$$

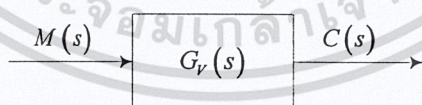
โดยที่

K_{pL} = ค่าอัตราขยายเชิงสัดส่วน (Proportional Gain) ของตัวควบคุมรอง

K_{iL} = ค่าอัตราขยายเชิงรวม (Integral Gain) ของตัวควบคุมรอง

K_{dL} = ค่าอัตราขยายเชิงผลต่าง (Derivative Gain) ของตัวควบคุมรอง

3. ค่าอัตราขยายของวาล์วควบคุม (Control Valve)



รูปที่ 3.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวาล์วควบคุม

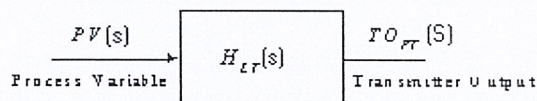
$$G_V(s) = \frac{C(s)}{M(s)} = \frac{K_V}{\tau_V s + 1} \quad (3.8)$$

โดยที่

K_V = ค่าอัตราขยายเชิงสถิตของวาล์วควบคุม, gpm/%CO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 τ_V = ค่าเวลาคงที่ของวาล์วควบคุม, วินาที
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ค่าอัตราขยายของเครื่องวัดความดันลมด้วยสัญญาณแรงดันแตกต่าง (Pressure Transmitter)



รูปที่ 3.11 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดความดันลมด้วยสัญญาณแรงดันแตกต่าง

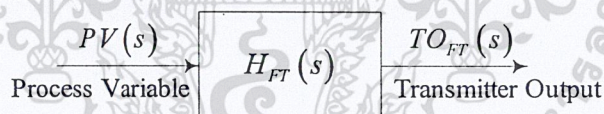
$$H_{LT}(s) = \frac{TO_{LT}(s)}{PV(s)} = \frac{K_{LT}}{\tau_{LT}s + 1} \quad (3.9)$$

โดยที่

K_{LT} = ค่าอัตราขยายเชิงสถิติของเครื่องวัดระดับน้ำด้วยสัญญาณแรงดันแตกต่าง

τ_{LT} = ค่าเวลาคงที่ของเครื่องวัดระดับน้ำด้วยสัญญาณแรงดันแตกต่าง, วินาที

5. ค่าอัตราขยายของเครื่องวัดอัตราการไหลด้วยสัญญาณแรงดันแตกต่าง (Flow Transmitter)



รูปที่ 3.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดอัตราการไหลด้วยสัญญาณแรงดันแตกต่าง

$$H_{FT}(s) = \frac{TO_{FT}(s)}{PV(s)} = \frac{K_{FT}}{\tau_{FT}s + 1} \quad (3.10)$$

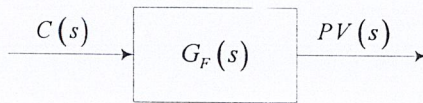
โดยที่

K_{FT} = ค่าอัตราขยายเชิงสถิติของเครื่องวัดอัตราการไหลด้วยสัญญาณแรงดันแตกต่าง

τ_{FT} = ค่าเวลาคงที่ของเครื่องวัดอัตราการไหลด้วยสัญญาณแรงดันแตกต่าง, วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ค่าอัตราขยายของกระบวนการควบคุมอัตราการไหลของลม (Flow Process)



รูปที่ 3.13 แสดงบล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุมอัตราการไหลของลม

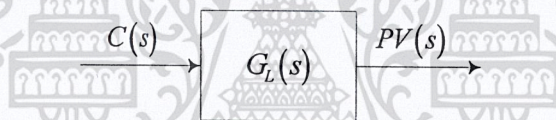
$$G_F = \frac{PV(s)}{C(s)} = \frac{K_F}{\tau_F s + 1} \quad (3.11)$$

โดยที่

K_F = ค่าอัตราขยายเชิงสถิติของกระบวนการควบคุมอัตราการไหลของลม

τ_F = ค่าเวลาคงที่ของกระบวนการควบคุมอัตราการไหลของลม, วินาที

7. ค่าอัตราขยายของกระบวนการควบคุมความดันลม (Pressure Process)



รูปที่ 3.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมของกระบวนการควบคุมความดันลม

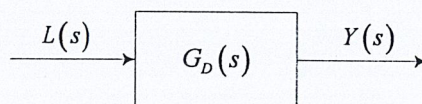
$$G_L = \frac{PV(s)}{C(s)} = \frac{K_L}{\tau_L s + 1} \quad (3.12)$$

โดยที่

K_L = ค่าอัตราขยายเชิงสถิติของกระบวนการควบคุมความดันลม

τ_L = ค่าเวลาคงที่ของกระบวนการควบคุมความดันลม, วินาที

8. ค่าอัตราขยายรวมของสิ่งรบกวนระบบ (Disturbances)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ หรือการเรียงพิมพ์โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_D = \frac{Y(s)}{L(s)} = \frac{K_D}{\tau_L s + 1} \quad (3.13)$$

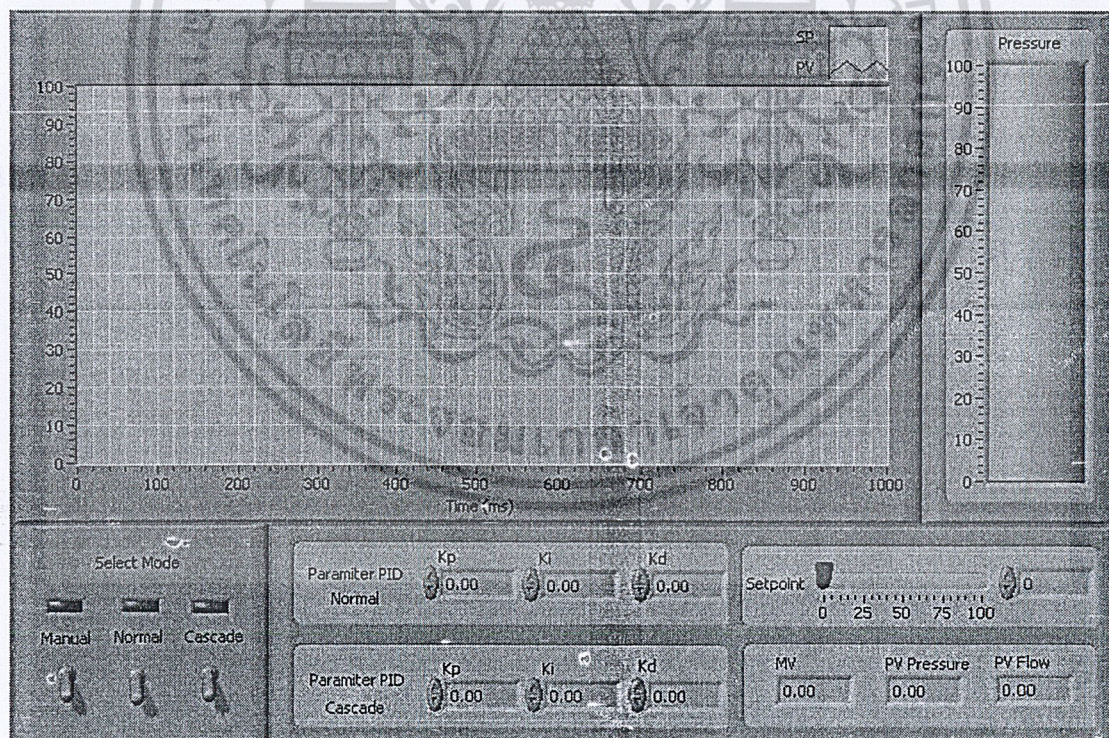
โดยที่

K_D = ค่าอัตราขยายเชิงสถิติของสิ่งรบกวนระบบ

3.3 เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานจากโปรแกรม LabVIEW

ทำการเขียนโปรแกรมควบคุมโดยอาศัยโปรแกรม VIEW โดยโปรแกรมจะมีด้วยกัน 2 ส่วนคือ Front Panel และ Block Diagram

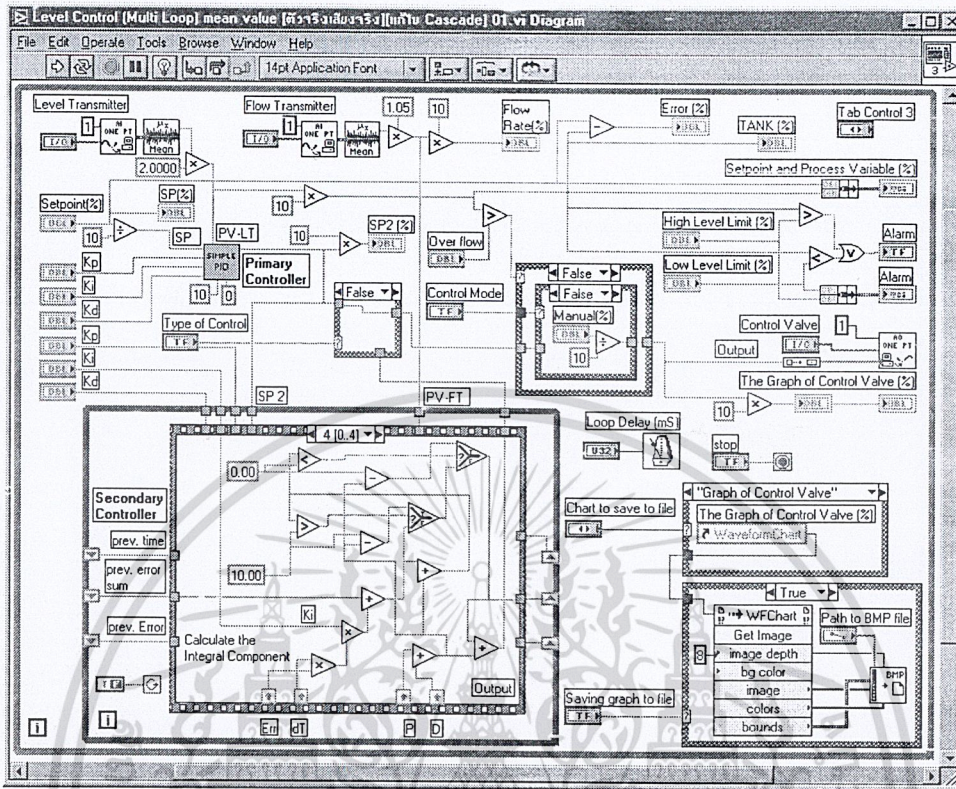
Front Panel ซึ่งส่วนนี้จะสร้างไว้เพื่อใช้ในการปรับแต่งค่า และแสดงผล เช่น การตั้งค่าอินพุต และเอาต์พุต ที่ใช้ในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก, การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของ ตัวควบคุม (Controller Configuration), การตั้งค่าสัญญาณเตือนภัย (Alarm Configuration), การแสดงผลเป็นทั้งตัวเลข และเส้นกราฟ และการแสดงสถานะของระบบ เป็นต้น



รูปที่ 3.16 Front Panel ที่ใช้ในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram เป็นส่วนที่ใช้ในการคำนวณค่าของโปรแกรม



รูปที่ 3.17 Block Diagram ที่ใช้ในการควบคุม

3.4 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

ถ้ากล่าวถึงการสื่อสารแบบอนุกรมแล้ว แสดงว่าต้องมีการสื่อสารข้อมูลแบบขนานด้วยการสื่อสารแบบขนานนั้นก็คือข้อมูลทุก ๆ บิตในเวิร์ดจะถูกส่งออกไปพร้อม ๆ กันขึ้นอยู่กับว่าเวิร์ดดังกล่าวมีขนาดเท่าไร โดยทั่วไปก็คือ 1 ไบท์ หรือ 8 บิตนั่นเอง การส่งข้อมูลแบบขนานนั้นจะมีข้อจำกัดทางด้านระยะทางโดยทั่วไปจะส่งได้ไม่เกิน 3-5 ฟุตเท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราความเร็วที่ใช้ในการส่งข้อมูลยิ่งอัตราการส่งสูงก็จะได้ระยะทางในการส่งที่สั้นลง การส่งข้อมูลแบบขนานนั้นนิยมในระบบที่ต้องการความเร็วในการส่งสูงมาก ๆ แต่อุปกรณ์อยู่ไม่ห่างกันมากนัก ส่วนการส่งข้อมูลแบบอนุกรมนั้นข้อมูลจะถูกทยอยส่งออกไปทีละบิตจนครบทั้งเวิร์ดในสายสัญญาณเพียงเส้นเดียว แต่ในการใช้งานจริงจะต้องมีสายสัญญาณอีกเส้นเป็นสายสัญญาณกราวด์ (Ground) ดังนั้นเมื่อเราส่งข้อมูลในแบบอนุกรมเราจะสามารถใช้สายสัญญาณอย่างน้อยที่สุดเพียง 2 เส้น ในขณะที่การส่งข้อมูลแบบขนานจะต้องใช้อย่างน้อยเท่ากับจำนวนบิตบวก กับสายสัญญาณระดับ

แรงดัน Ground อีก 1 เส้น ที่สำคัญการส่งข้อมูลแบบอนุกรมนี้จะสามารถส่งข้อมูลได้ไกลกว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์รับสัญญาณเพิ่มเติมแต่อย่างใด ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232C เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232C ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยัง โมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้สื่อสารผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดซึ่งอยู่ห่างไกลกัน โดยคณะกรรมการที่เรียกว่า สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า EIA RS-232C มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ -3 ถึง -12 V แสดงว่ามีข้อมูล (Mark) และ +3 ถึง +12 V แสดงว่าเป็นช่องว่าง (Space)

มาตรฐาน RS-232C ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating : DCE) ไว้ว่า อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐาน RS-232 C

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่ได้เห็นได้ชัดคือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่โมเด็มจะเป็นแบบ DCE

สำหรับการใช้งานบนคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232C มักถูกใช้เชื่อมต่อกับ โมเด็ม หรือเมาส์ โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความยาวของสายสัญญาณสูงสุดถึง 20 เมตร คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232C และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232C จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้น เช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่นๆ ที่เคยใช้งานในอดีต ปัจจุบันมีการใช้งานไม่มากนัก จึงถูกยกเลิกไป

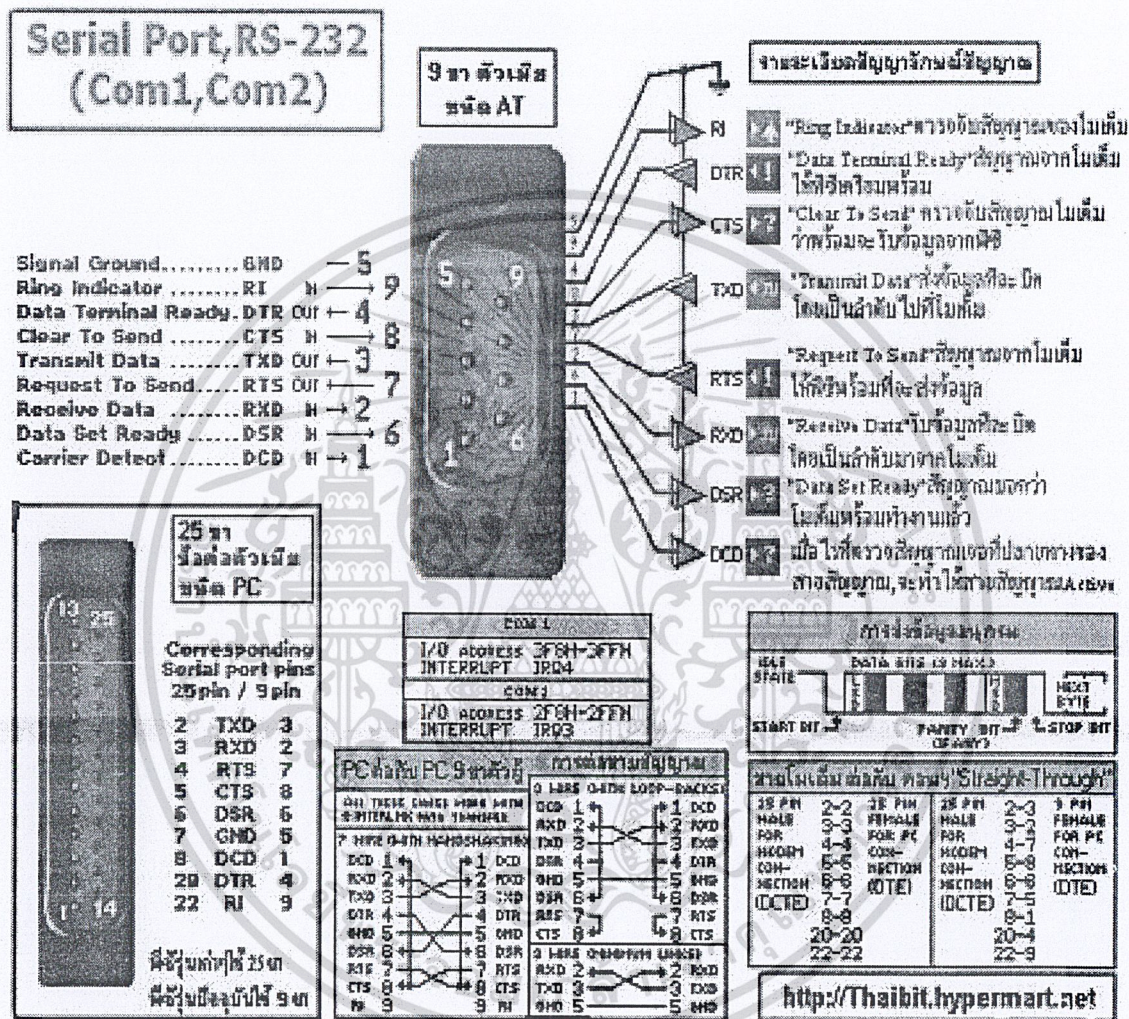
สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก ประกอบด้วยการเชื่อมต่อแบบ Null modem หรือการเชื่อมต่อโดยไม่ต้องผ่าน โมเด็ม โดยมีการตรวจสอบหรือแฮนด์เช็กเต็มรูปแบบ และการเชื่อมต่อแบบ Null modem ในลักษณะที่ใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์ สำหรับรายละเอียดหน้าที่การทำงานในแต่ละ ขาของพอร์ตอนุกรม RS-232C มีดังนี้

- Data Carrier Detect : DCD หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห์จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลเช่น โมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้

งานมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Receive Data : RD หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลทีอ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ บัฟเฟอร์
- Transmitted Data : TD หรือ TxD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลทีเก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลส่งออกไป



รูปที่ 3.18 แสดงโครงสร้างของ PORT RS-232C

- Data Terminal Ready : DTR เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ ว่า ต้องการติดต่อกับ โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทางและขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าารค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้การเชื่อมต่อเป็นแบบ Null Modem ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อกับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห้

- Signal Ground : GND ขากราวด์ของระบบ
- Data Set Ready : DSR ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR
- Request To Send : RTS เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ Null Modem 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน เพื่อให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา
- Clear To Send : CTS ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่
- Ring Indicator : RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มและโปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น

3.4.1 โพรโตคอลของการสื่อสารแบบอนุกรม

เมื่อพิจารณาการส่งข้อมูลในแบบอนุกรมให้ดีจะพบว่า ปัญหาหนึ่งที่จะเกิดขึ้นอยู่เสมอก็คือการตัดสินใจว่าข้อมูลที่ได้รับนั้นมีจุดเริ่มต้นที่ใด ดังนั้นจึงมีการกำหนดข้อตกลงในการสื่อสารขึ้นเพื่อแก้ปัญหานี้ ข้อตกลงดังกล่าวเรียกว่า โพรโตคอล(Protocol) ของการสื่อสารแบบอนุกรม สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือโพรโตคอลสำหรับการสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous) และโพรโตคอลสำหรับการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส(Asynchronous) การสื่อสารแบบซิงโครนัสนั้นข้อมูลจะถูกส่งออกไปอย่างสม่ำเสมอ ช่วงเวลาระหว่างบิตและระหว่างเวิร์ดจะมีค่าเท่ากันเสมอ ดังนั้นในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมในแบบซิงโครนัสจึงต้องมีสายสัญญาณเพิ่มเติมเพื่อกำกับการส่งว่าควรส่งเมื่อใดและควรหยุดเมื่อใด ระบบที่เป็นซิงโครนัสจะเป็นระบบที่มีความเร็วสูงแต่ก็ยังต่ำกว่าการสื่อสารแบบขนาน

แบบอะซิงโครนัสนี้เป็นหัวใจของการสื่อสารข้อมูลผ่านทางสายโทรศัพท์ในปัจจุบัน การสื่อสารแบบนี้ช่วงระยะเวลาระหว่างบิตจะมีค่าเท่ากันเช่นเดียวกับแบบซิงโครนัส และจะมีระยะห่างระหว่างเวิร์ดนั้นแตกต่างกันออกไปเป็นกี่วินาที นาที ชั่วโมงหรือเป็นวันเป็นต้น ได้ทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโครงการวิจัยนี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยวิธีอื่นใดเป็นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ้นขึ้นอยู่กับทางฝ่ายรับสามารถรอได้หรือไม่เท่านั้น เมื่อไม่มีข้อกำหนดทางด้านระยะเวลาระหว่างเวิร์คแล้ว ทางผู้ส่งและผู้รับจะเข้าใจตรงกันได้อย่างไรที่ใดคือจุดเริ่มต้นหรือจุดสิ้นสุดของแต่ละเวิร์ค เพื่อแก้ปัญหาเรื่องนี้จึงมีการกำหนดข้อตกลงเกี่ยวกับรูปแบบของข้อมูลที่จะส่งให้ทางผู้รับสามารถเข้าใจได้ว่าจุดใดเป็นจุดเริ่มต้นของเวิร์ค ข้อกำหนดดังกล่าวกำหนดให้แต่ละเวิร์คจะต้องขึ้นต้นด้วยบิตที่เรียกว่า บิตเริ่มต้น (Start bit) จากนั้นตามด้วยความยาวบิตข้อมูล (Data length) ที่ต้องการส่งซึ่งมีความยาว 5 ถึง 8 บิต ถัดมาจะเป็นพาริตีบิตซึ่งทำหน้าที่เป็นบิตที่ทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับว่ามีความถูกต้องหรือไม่ บิตพาริตี บิตนี้มี 2 ประเภท คือ อีเวนพาริตี (Even parity) ซึ่งจะกำหนดจำนวนบิตเป็นลอจิก 1 ในบิตที่เป็นข้อมูลมีจำนวนเป็นจำนวนคู่ และ ออดพาริตี (Odd parity) ซึ่งจะกำหนดจำนวนบิตที่เป็นลอจิก 1 ในบิตที่เป็นข้อมูลมีจำนวนเป็นจำนวนคี่ ในการส่งข้อมูลบางครั้งอาจจะไม่มีการใช้บิตพาริตีก็ได้ หากการสื่อสารในครั้งนั้นมีความน่าเชื่อถือสูงคือ มีสัญญาณรบกวนต่ำเป็นการเพิ่มความเร็วในการสื่อสารได้ด้วย บิตสุดท้ายในรูปแบบก็คือ บิตสุดท้าย (Stop bit) ทำหน้าที่บอกทางผู้รับว่าขณะนี้ข้อมูลที่ทางผู้รับได้รับนั้นครบเวิร์คแล้วขอให้เตรียมรับเวิร์คชุดต่อไปได้ บิตสุดท้ายนี้ถูกกำหนดให้เป็นลอจิก 1 เสมอทั้งนี้เพื่อให้ระบบสามารถตรวจสอบบิตเริ่มต้นได้ บิตสุดท้ายนี้อาจมีความยาวเป็น 1 หรือ 2 บิตก็ได้

สำหรับข้อกำหนดของโปรโตคอลก็จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับว่าอุปกรณ์ที่ทำการสื่อสารเป็นอะไรและก็ยังขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิตที่เป็นผู้กำหนด ในส่วนของ PLC รุ่น C200HS ที่ผลิตโดยบริษัท OMRON จะมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3.1 ข้อกำหนดของโปรโตคอล ส่วนของ PLC รุ่น C200HS ที่ผลิตโดยบริษัท OMRON

Item	Setting
Start bits	1
Data length	7
Stop bits	2
Parity	Even
Baud rate	9600 bps

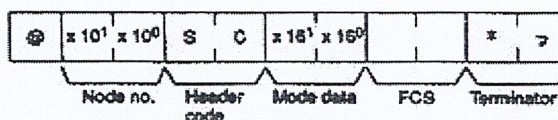
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการส่งเพื่อที่จะให้ PLC ทำงานตามต้องการ

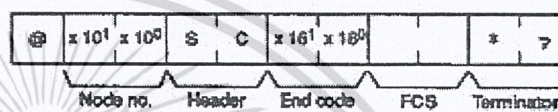
STATUS WRITE --- SC

Changes the PC operating mode.

Command Format



Response Format

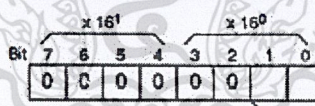


รูปที่ 3.19 แสดงการเลือกใช้ operating mode

Parameters

Mode Data (Command)

"Mode data" consists of two digits (one byte) hexadecimal. With the leftmost two bits, specify the PC operating mode. Set all of the remaining bits to "0."



Bit	Operation mode
1 0	
0 0	PROGRAM mode
1 0	MONITOR mode
1 1	RUN mode

This area is different from that of STATUS READ.

Node no. Header code End code FCS Terminator

รูปที่ 3.20 แบบของ PROTOCOL ที่ใช้ในการ READ / WRITE คือ INTERNAL RELAY (IR)

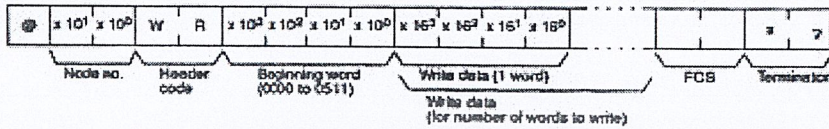
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของการเขียนโปรแกรมบนพื้นที่ของ PLC

IR/SR AREA WRITE --- WR

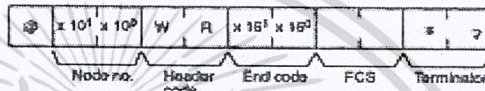
Writes data to the IR and SR areas, starting from the specified word. Writing is done word by word.

Command Format



Note Data cannot be written to words 253 to 255. If there is an attempt to write to these words, no error will result, but nothing will be written to these words.

Response Format



Parameters

Write Data (Command)
Specify in order the contents of the number of words to be written to the IR or SR area in hexadecimal, starting with the specified beginning word.

Note If data is specified for writing which exceeds the allowable range, an error will be generated and the writing operation will not be executed. If, for example, 511 is specified as the beginning word for writing, and two words of data are specified, then 0512 will become the last word for writing data, and the command will not be executed because SR 512 is beyond the writable range.

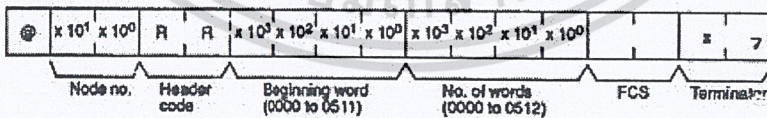
รูปที่ 3.21 แสดงการเขียนโปรแกรมบนพื้นที่ของ PLC

รูปแบบของการอ่านโปรแกรมบนพื้นที่ของ PLC

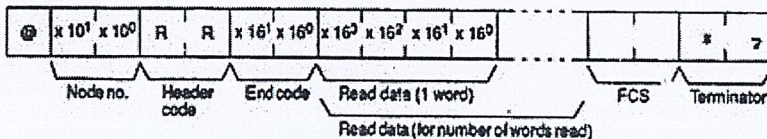
1. IR/SR AREA READ --- RR

Reads the contents of the specified number of IR and SR words, starting from the specified word.

Command Format



Response Format



Parameters

Read Data (Response)
The contents of the number of words specified by the command are returned in hexadecimal as a response. The words are returned in order, starting with the specified beginning word.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.22 แสดงการอ่าน โปรแกรมบนพื้นที่ของ PLC
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรายละเอียดของ PROTOCOL จะมี FCS (FRAME CHECK SEQUENCE) ประกอบอยู่ด้วยซึ่งนั่นก็คือ

หลักการคำนวณจะต้องทำการแปลงให้เป็น ASCII ก่อนซึ่งจะมีขนาด 8 บิต จากนั้นนำมาทำ EXCLUSIVE OR ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของเลขฐาน BCD

ตัวอย่างการคำนวณ

@00RR01110FA0

@ = 0 1 0 0 0 0 0 0

0 = 0 0 1 1 0 0 0 0

0 = 0 0 1 1 0 0 0 0

R = 0 1 0 1 0 0 1 0

R = 0 1 0 1 0 0 1 0

0 = 0 0 1 1 0 0 0 0

1 = 0 0 1 1 0 0 0 1

1 = 0 0 1 1 0 0 0 1

1 = 0 0 1 1 0 0 0 1

0 = 0 0 1 1 0 0 0 0

F = 0 1 0 0 0 1 1 0

A = 0 1 0 0 0 0 0 1

0 = 0 0 1 1 0 0 0 0

FCS = 0 1 0 0 0 1 1 0

= 4

6

ในการควบคุม PLC นั้นจะต้องควบคุมการทำงานของ A/D, D/A ซึ่งพื้นที่ที่ใช้ในการอ้างตำแหน่งเพื่อที่จะควบคุมทำงานของ D/A นั้น ใช้เป็นพื้นที่ของ IR ซึ่งในการควบคุมนั้น ต้องใช้ค่า 000 - FA0 เขียนลงไปในพื้นที่ IR เพื่อที่จะให้ได้ OUTPUT 1-5 V, 4-20 mA ซึ่งในการอ้างตำแหน่งของ IR

สามารถดูได้จากตารางนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR Area Allocation

If using more than one Analog I/O Unit, The PC IR area is allocated among the Units according to unit number, n, set on the front panel of each Unit. The following table shows the use, if any, of addresses 1n0 to 1n3.

Bit	IR 1n0 use	IR 1n1 use	IR 1n2 use	IR 1n3 use	Bit	
00	Output 1 data setting (3-digit hex.)	Output 2 data setting (3-digit hex.)	Pulse period setting	Setting Error Flag	00	
01				Output 1 Lower Limit Alarm Flag	01	
02				Output 1 Upper Limit Alarm Flag	02	
03				Not used.	Output 2 Lower Limit Alarm Flag	03
04				Output 1 Alarm ON Bit	Output 2 Upper Limit Alarm Flag	04
05				Output 2 Alarm ON Bit	Output 1 Lower Limit Flag	05
06				Output 1 Limit ON Bit	Output 1 Upper Limit Flag	06
07				Output 2 Limit ON Bit	Output 2 Lower Limit Flag	07
08				Output Inhibit Bit	Output 2 Upper Limit Flag	08
09						
10					10	
11					11	
12			Not used.	Not used.	12	
13	Not used.	Not used.			13	
14					14	
15					15	

The following table provides a more detailed description of the function of each bit.

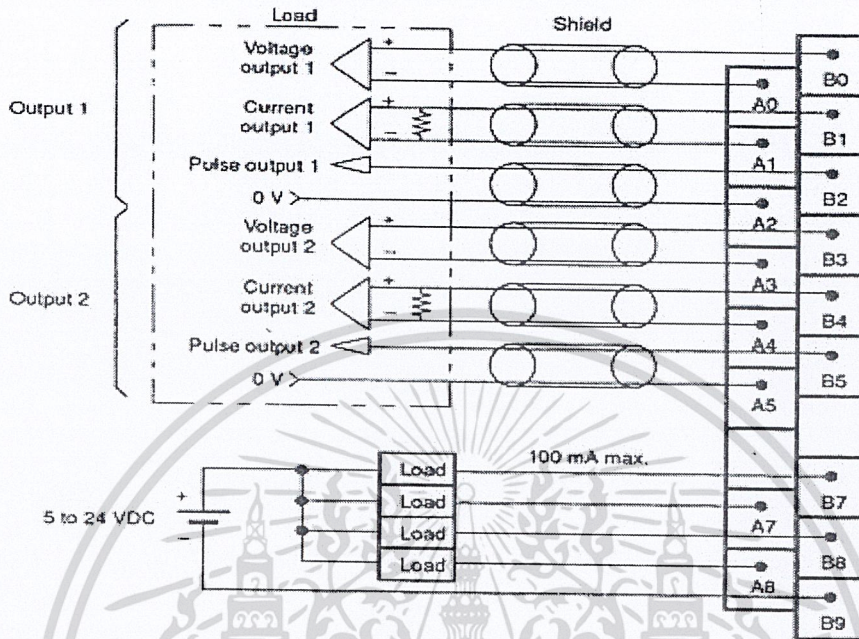
IR address	Bit	Function
.1n0, 1n1	00 to 11	Sets the 3-digit hexadecimal (12-bit) data of outputs 1 and 2.
1n2	00 to 02	Determine the period of the output pulse for the pulse function.
	03	Not used.
	04	Turns ON the alarm function for output 1.
	05	Turns ON the alarm function for output 2.
	06	Turns ON the limit function for output 1.
	07	Turns ON the limit function for output 2.
	08	Turns ON the output inhibit.
	1n3	00	Turns ON when an error occurs in DM data.
01		Turns ON when output 1 < value in DM 1n02.
02		Turns ON when output 1 > value in DM 1n03.
03		Turns ON when output 2 < value in DM 1n02.
04		Turns ON when output 2 > value in DM 1n03.
05		Turns ON when output 1 < value in DM 1n00.
06		Turns ON when output 1 > value in DM 1n01.
07		Turns ON when output 2 < value in DM 1n00.
08		Turns ON when output 2 > value in DM 1n01.

รูปที่ 3.23 แสดงการควบคุมทำงานของ D/A นั้น ใช้เป็นพื้นของ IR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในการที่จะต่อ OUTPUT ไปใช้งานนั้นจะมีการต่อได้ดังนี้

EXTERNAL CONNECTIONS



รูปที่ 3.24 แสดงการต่อ out put ไปใช้งาน

ส่วน A/D จะเป็นตัวรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัด ซึ่ง INPUT ที่ได้นั้นจะเป็น CURRENT INPUT หรือ VOLTAGE INPUT ก็ได้ ซึ่งจะสามารถให้ OUTPUT เป็นค่า 000 - FA0 โดยจะอ้างตำแหน่งในการเก็บค่าข้อมูลนี้ไว้ที่ IR ในการอ้างตำแหน่งสามารถดูได้จากตารางนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR Area Allocation

If using more than one Analog I/O Unit, The PC IR area is allocated among the Units according to unit number, n, set on the front panel of each Unit. The following table shows the use, if any, of bits in addresses 1n0 to 1n5.

Bit	IR 1n0 use	IR 1n1 use	IR 1n2 use	IR 1n3 use	IR 1n4 use	IR 1n5 use	Bit
00	Conversion Inhibit Bit					Setting error flag	00
01	Offset Control Bit					Input 1 disconnect flag	01
02	Input 1 Scaling ON Bit					Input 2 disconnect flag	02
03	Input 2 Scaling ON Bit					Input 3 disconnect flag	03
04	Input 3 Scaling ON Bit					Input 4 disconnect flag	04
05	Input 4 Scaling ON Bit					Input signal range flag	05
06	Mean Enable Bit	Input 1 A/D	Input 2 A/D	Input 3 A/D	Input 4 A/D	Number of inputs	06
07	Input 1 Mean ON Bit	conversion	conversion	conversion	conversion		07
08	Input 2 Mean ON Bit					Invalid output flag	08
09	Input 3 Mean ON Bit						09
10	Input 4 Mean ON Bit						10
11	Peak Value ON Bit						11
12	Square Root ON Bit					Not used	12
13							13
14	Not used.						14
15							15

The following table provides a more detailed description of the function of each bit.

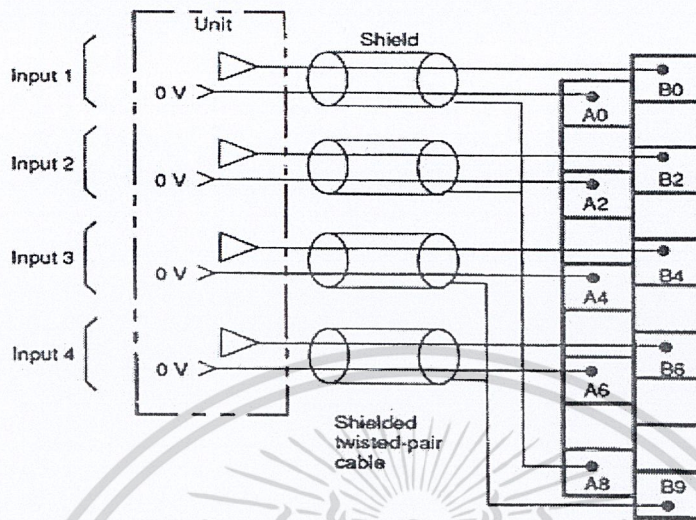
IR address	Bit	Function
1n0	00	Inhibits A/D conversion. Data is held during this time.
	01	Performs offset/gain control. (Set when the power is turned ON. It is not normally required to set this bit.)
	02 to 05	Activate the scaling function for inputs 1 to 4.
	08	Resets bits 07 to 10 when OFF.
	07 to 10	Activate the mean function for inputs 1 to 4.
	11	Activates the peak value function.
	12	Activates the square root function.
1n1 to 1n4	00 to 11	Normally contains 3-digit hexadecimal (12-bit) analog input values for each input. Contains 4-digit decimal (16-bit BCD) values when using the scaling function.
1n5	00	Turns ON if a DM data error occurs.
	01 to 04	Turn ON when an input is disconnected, when the input signal level is less than 0.5 V and the input signal range is set at 1 V to 5 V, or when the input signal falls below 2 mA and the input signal range is set at 4 mA to 20 mA. These bits will not turn ON when the input signal range is set at 0 V to 10 V.
	05	Is ON when pin 3 (of the back panel DIP switch) is ON, and OFF when pin 3 is OFF. When this bit is 0, the input signal range is 1 to 5 V or 4 to 20 mA. When this bit is 1, the input signal range is 0 to 10 V.
	06	Is ON when pin 1 (of the back panel DIP switch) is ON, and OFF when pin 1 is OFF. Bits 06 and 07 determine the number of inputs.
	07	Is ON when pin 2 (of the back panel DIP switch) is ON, and OFF when pin 2 is OFF. Bits 06 and 07 determine the number of inputs.
	08	Turns ON for about 100 ms after power is applied. Inhibits data conversion until the circuits are stabilized.

รูปที่ 3.25 แสดงการควบคุมทำงานของ A/D นั้น ใช้เป็นพื้นของ IR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

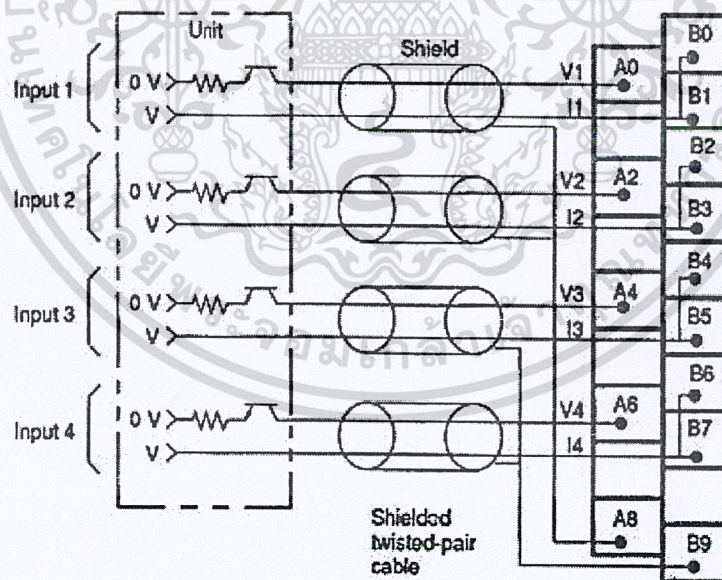
และรูปแบบในการต่อ CURRENT INPUT และ VOLTAGE INPUT มีดังนี้

VOLTAGE INPUT



รูปที่ 3.26 Input ที่เป็นแรงดัน

CURRENT INPUT



รูปที่ 3.27 Input ที่เป็นกระแส

ในการนี้ข้อมูลมาจาก A/D ต้องทำการเขียนโปรแกรมเพื่อที่จะไปอ่านค่าที่เก็บไว้ใน IR เพื่อที่จะนำไปใช้งานต่อไป เอกสารนี้เป็นเอกสารทสรวนเวลาหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

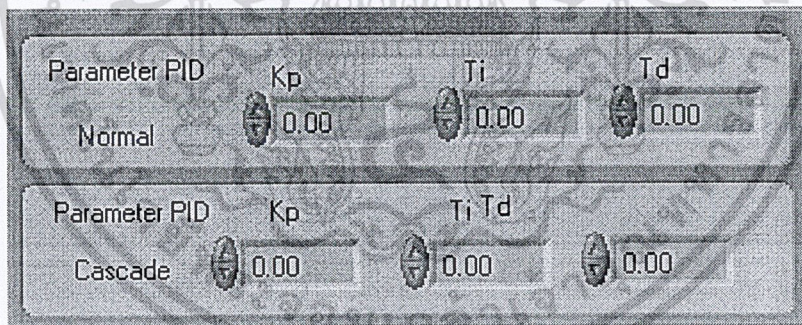
จากที่ได้กล่าวถึงระบบการควบคุมความดันของลมด้วยวิธีการควบคุมแบบคาคเคด และการสร้างแบบจำลองการควบคุมความดันของลมในบทที่ 3 ในบทนี้เราจะนำแบบจำลองการควบคุมความดันของลมมาทำการทดลอง โดยรายละเอียดของการทดลองจะได้กล่าวต่อไป

การทดลองการควบคุมความดันของลมด้วยวิธีการควบคุมแบบคาคเคด โดยการใช้โปรแกรม LabVIEW เป็นตัวควบคุมและแสดงผลผ่านทางจอคอมพิวเตอร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยการเชื่อมต่อกับแบบจำลองการควบคุมความดันของลมได้ทำการสร้างขึ้นผ่านทางการ์ดอินเตอร์เฟซ

4.1 การปรับค่าก่อนการทดลอง

4.1.1 การปรับค่าในส่วนของ Controller Configuration จะทำการปรับค่าดังนี้

1. ปรับค่า Gain ต่าง ๆ ของ Primary Controller (Level Controller) ที่ใช้ในการควบคุม ซึ่งค่า Gain ดังกล่าวได้แก่ ค่า Gain P, Gain I และ Gain D
2. ปรับค่า Gain ต่าง ๆ ของ Secondary Controller (Flow Controller) ที่ใช้ในการควบคุม ซึ่งค่า Gain ดังกล่าวได้แก่ ค่า Gain P, Gain I และ Gain D



รูปที่ 4.1 วิธีการปรับค่าในส่วนของ Controller Configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลอง

ในการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

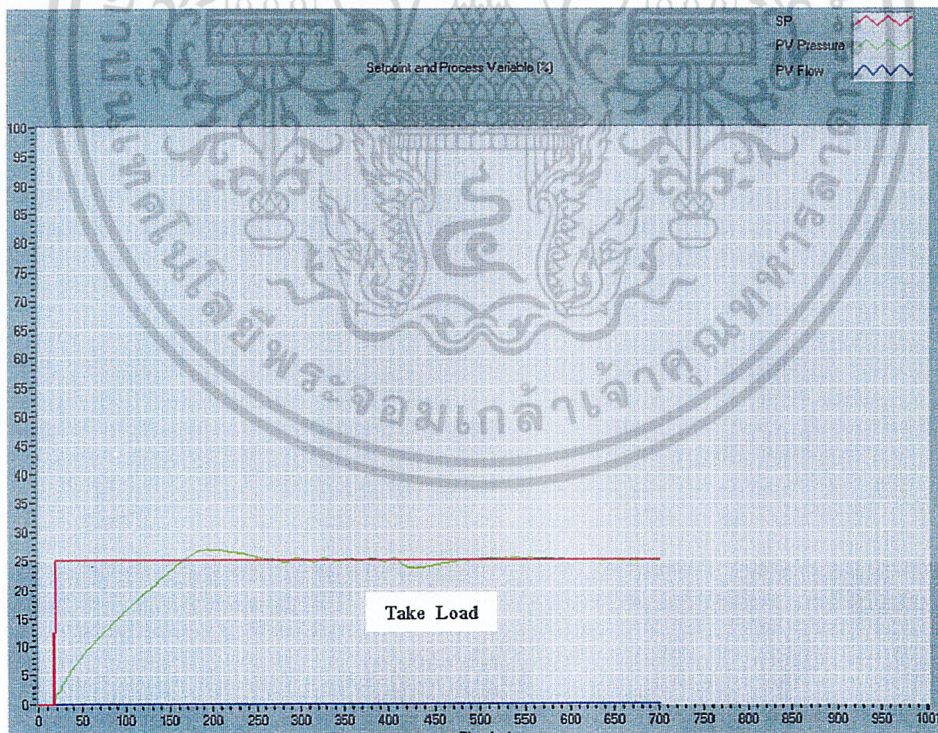
4.2.1 การทดลองโดยใช้การควบคุมแบบ 1 ลูป (Simple Loop) โดยที่ปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวควบคุมดังนี้คือ

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้กับตัวควบคุมในระบบควบคุมแบบ 1 ลูป (Simple Loop)

ค่าอัตราขยายต่าง ๆ ของตัวควบคุม		K_p	K_i	K_d
ค่าอัตราขยายที่ได้	ตัวควบคุมหลัก	20	5	0
จากการคำนวณ	ตัวควบคุมรอง	-	-	-

1) ผลการทดลอง ซึ่งใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ มีดังนี้

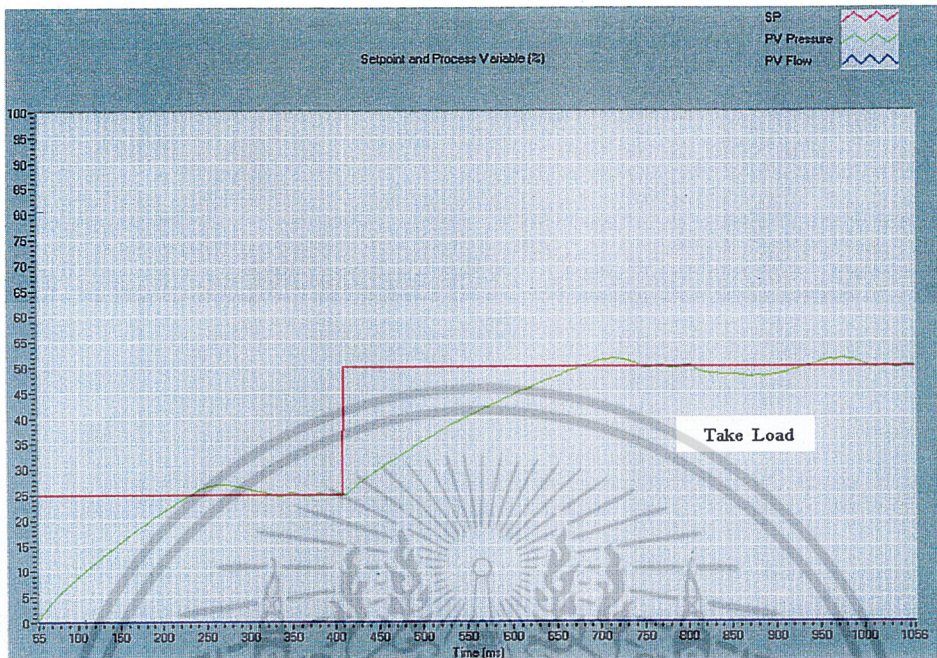
ก) ผลการทดลอง 0- 25 % (ค่าเวลาหน่วงที่ใช้ (Delay Time) = 1000 มิลลิวินาที)



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองที่ 25 % แบบ Simple Loop ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ

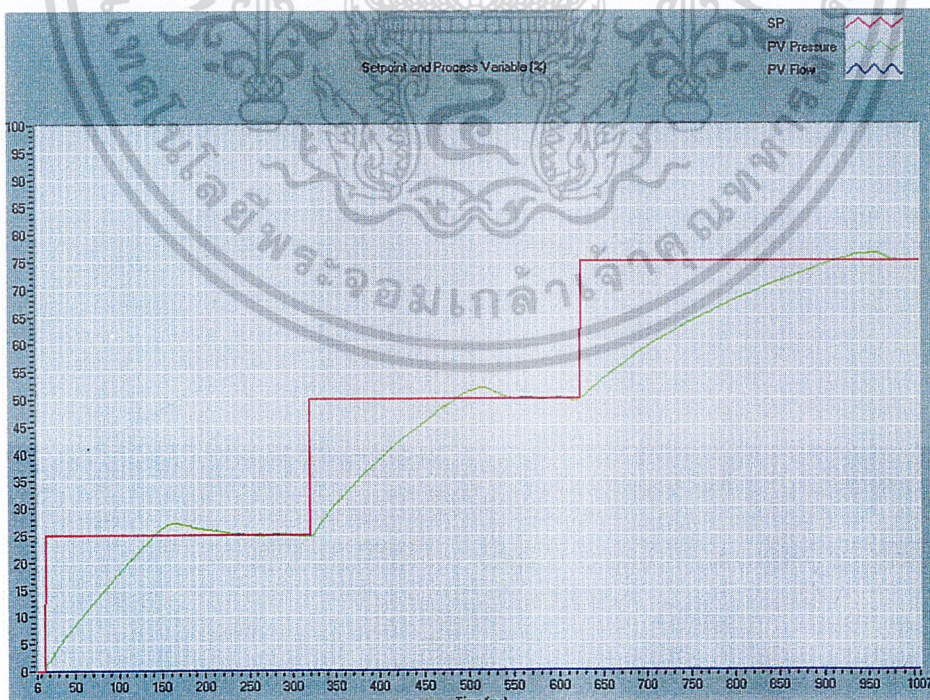
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) ผลการทดลอง 0- 50 % (ค่าเวลาหน่วงที่ใช้ (Delay Time) = 1000 มิลลิวินาที)

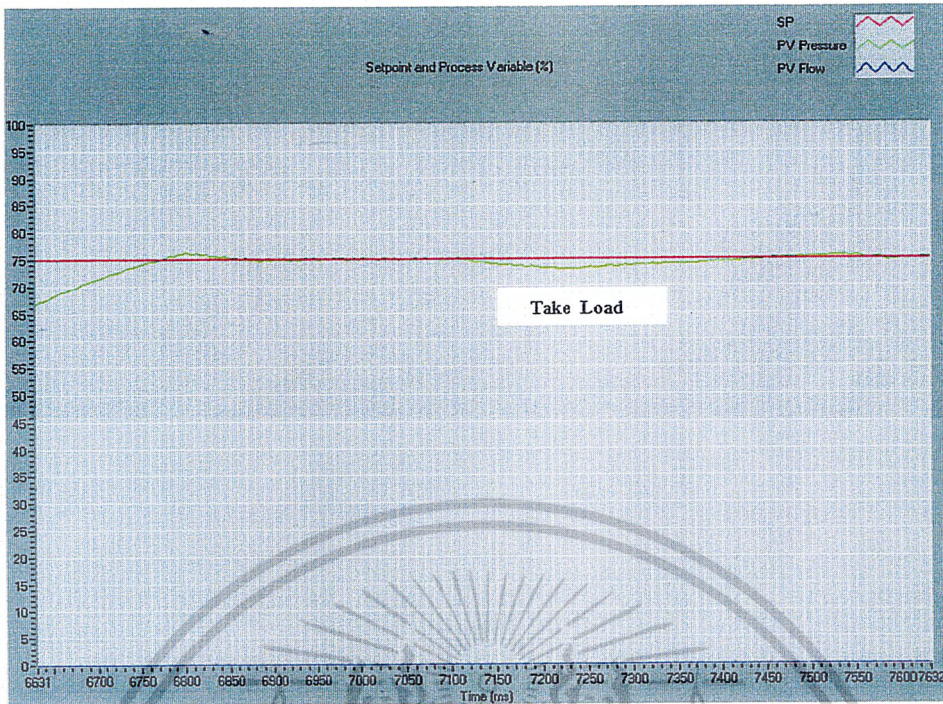


รูปที่ 4.3 ผลการทดลองที่ 50 % แบบ Simple Loop ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ

ค) ผลการทดลอง 0- 75 % (ค่าเวลาหน่วงที่ใช้ (Delay Time) = 1000 มิลลิวินาที)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษานำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.4 (a) ผลการทดลองที่ 75 % แบบ Simple Loop ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 (บ) ผลการทดลองที่ 75 % แบบ Simple Loop ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ

4.2.2 การทดลองโดยใช้การควบคุมแบบ 2 ลูป (Cascade Loop)

โดยที่ปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของตัวควบคุมดังนี้คือ

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้กับตัวควบคุมในระบบควบคุมแบบ 2 ลูป (Cascade Loop)

ค่าอัตราขยายต่าง ๆ ของตัวควบคุม		K_p	K_i	K_d
ค่าอัตราขยายที่ได้จากการคำนวณ	ตัวควบคุมหลัก	25	5	0
	ตัวควบคุมรอง	20	100	0

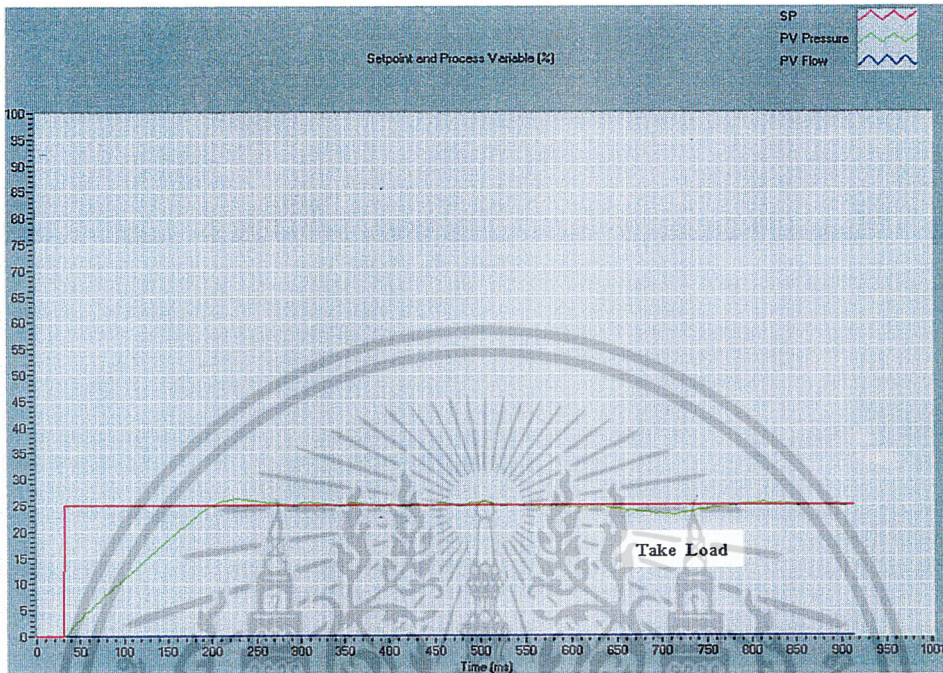
ค่าเวลาที่ใช้ในการสุมค่าเท่ากับ 1000 มิลลิวินาที (1 วินาที)

ผลที่ได้จากการทดลองที่ 0-25%, 0-50% และ 0-75% มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

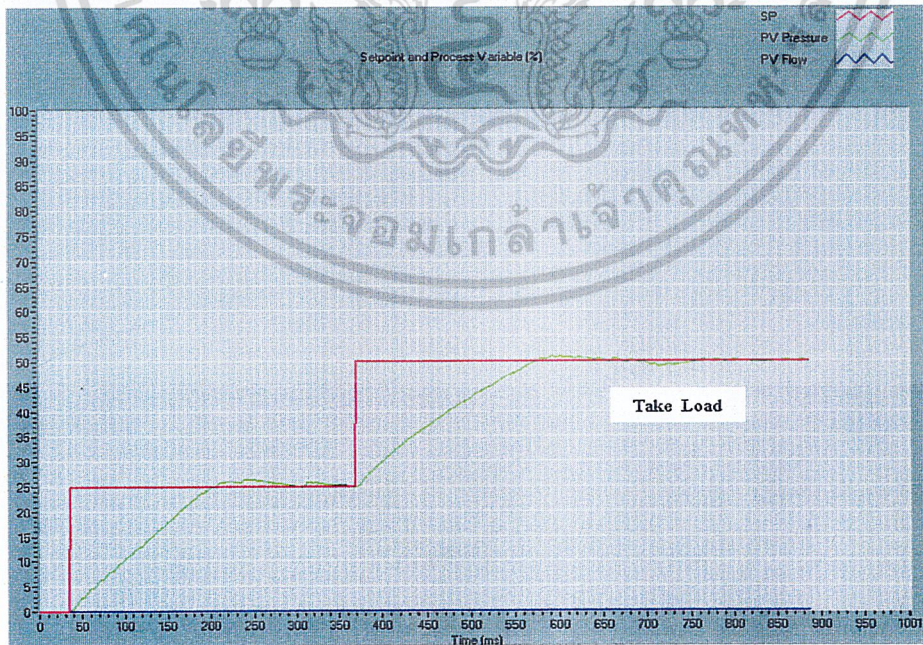
1) ผลการทดลอง ซึ่งใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ มีดังนี้

ก) ผลการทดลอง 0- 25 % (ค่าเวลาหน่วงที่ใช้ (Delay Time) = 1000 มิลลิวินาที)



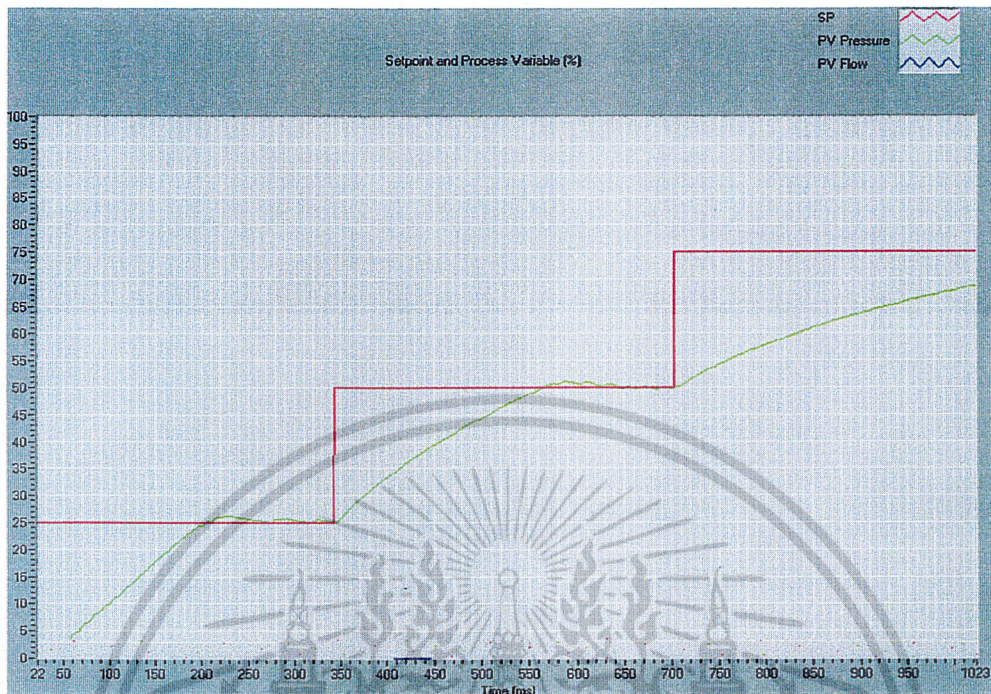
รูปที่ 4.5 ผลการทดลองที่ 25 % แบบ Cascade Loop ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ

ข) ผลการทดลอง 0- 50 % (ค่าเวลาหน่วงที่ใช้ (Delay Time) = 1000 มิลลิวินาที)

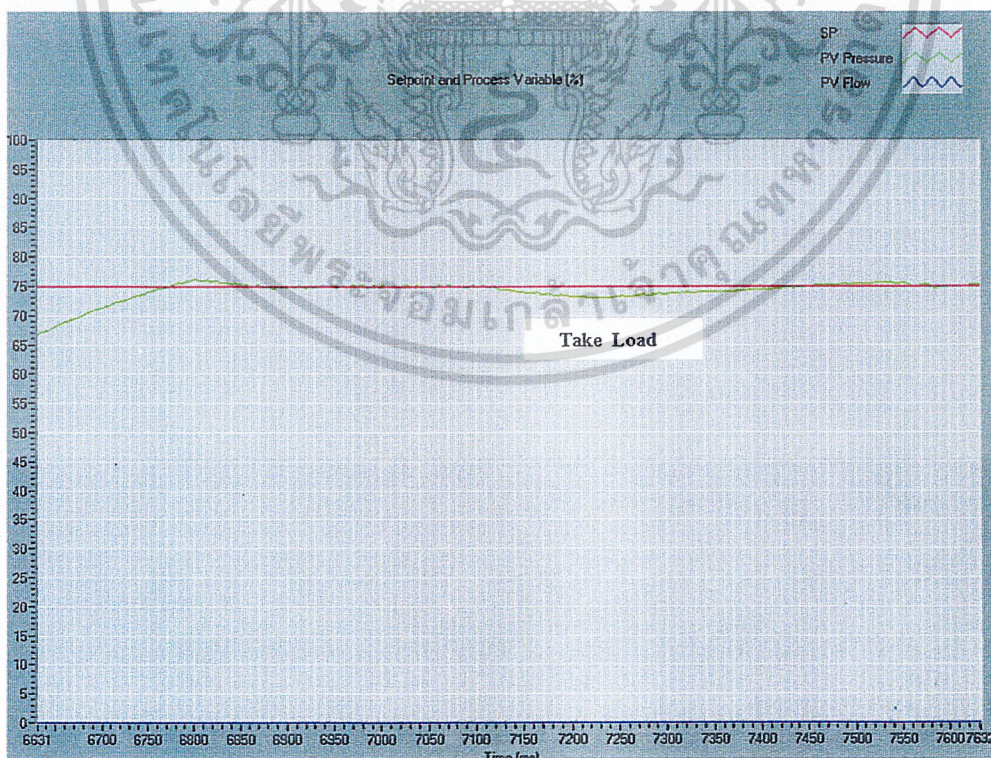


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ
รูปที่ 4.6 ผลการทดลองที่ 50 % แบบ Cascade Loop ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) ผลการทดลอง 0- 75 % (ค่าเวลาดำเนินการที่ใช้ (Delay Time) = 1000 มิลลิวินาที)



รูปที่ 4.7 (a) ผลการทดลองที่ 75 % แบบ Cascade Loop ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณ



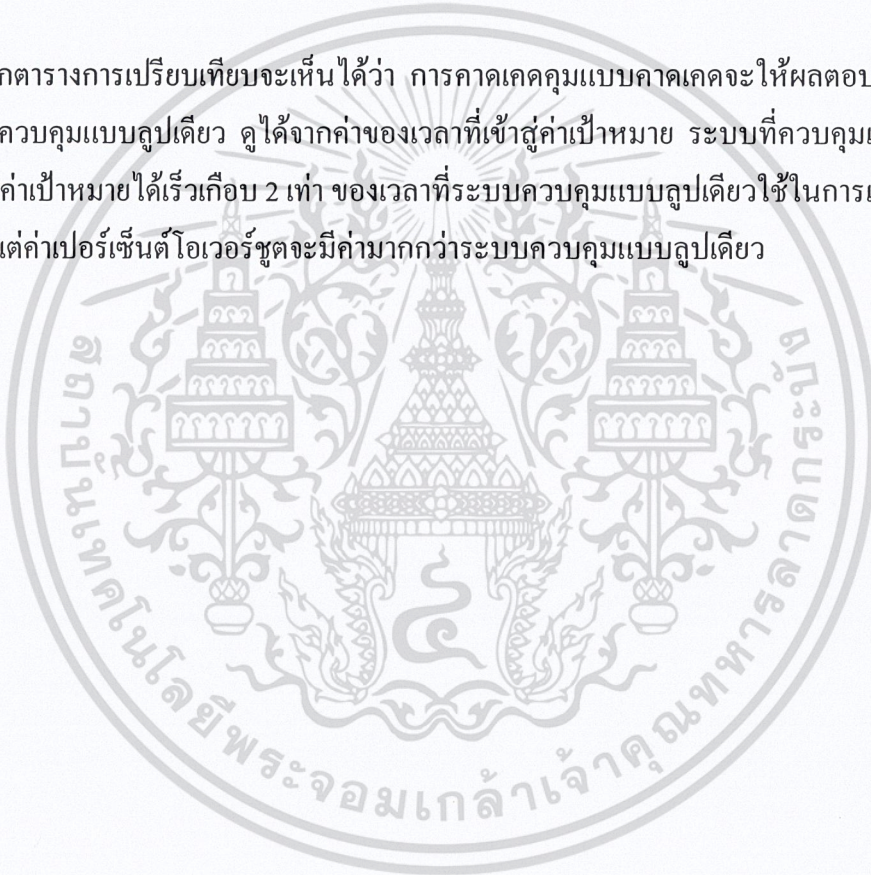
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม

รูปที่ 4.7(b) ผลการทดลองที่ 75 % แบบ Cascade Loop ใช้ค่าอัตราขยายจากการคำนวณนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมลูปเดี่ยว กับการควบคุมแบบ 2 ลูป

ช่วงค่าเป้าหมาย	การควบคุมแบบ 1 ลูป (Simple Loop)			การควบคุมแบบ 2 ลูป (Cascade Loop)		
	เวลาที่เข้าสู่ค่าเป้าหมาย วินาที	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)	เปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูต (%)	เวลาที่เข้าสู่ค่าเป้าหมาย วินาที	ค่าความคลาดเคลื่อน (%)	เปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูต (%)
0 – 25	270	± 0.5	25	250	± 0.5	25
0 – 50	750	± 0.5	15	600	± 0.5	15
0 – 75	6850	± 0.5	6.67	6700	± 0.5	10

จากตารางการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่า การคาดเคลื่อนแบบคาดเคลื่อนจะให้ผลตอบสนองที่เร็วกว่าการควบคุมแบบลูปเดี่ยว ดูได้จากค่าของเวลาที่เข้าสู่ค่าเป้าหมาย ระบบที่ควบคุมแบบคาดเคลื่อนจะเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้เร็วเกือบ 2 เท่า ของเวลาที่ระบบควบคุมแบบลูปเดี่ยวใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย แต่ค่าเปอร์เซ็นต์โอเวอร์ชูตจะมีค่ามากกว่าระบบควบคุมแบบลูปเดี่ยว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านระบบควบคุมได้ก้าวสู่ยุคดิจิทัล ตัวควบคุมที่ใช้จะเปลี่ยนจากตัวควบคุมแบบอนาล็อกเป็นตัวควบคุมแบบดิจิทัลซึ่งจะใช้คอมพิวเตอร์โดยจะใช้โปรแกรมต่าง ๆ เขียนหรือสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ขึ้นเพื่อคำนวณค่า แล้วนำค่าที่ได้ไปกำหนดสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ภายนอก คณะผู้จัดทำจึงเกิดแนวคิดในการสร้างชุดควบคุมโดยอาศัยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งข้อดีในการใช้โปรแกรม LabVIEW นี้คือมีความยืดหยุ่นและง่ายต่อการพัฒนาโปรแกรม สามารถนำใช้งานได้จริง และ มีความปลอดภัยสูงเหมาะกับการควบคุมทั้งในระยะใกล้และระยะไกล ตลอดจนให้ผลการของการทำงานที่เป็นเรียลไทม์

จากผลการทดลองในบทที่ 5 เราจะเห็นว่าผลที่ออกมาจะมีลักษณะเหมือนกับทฤษฎีที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ซึ่งจากการออกแบบระบบการควบคุมด้วยวิธีการควบคุมแบบคาสเคด (Cascade Loop Control) ระบบของลูปใน (Inner Loop) ต้องมีการตอบสนองที่เร็วกว่าลูปนอก (Outer loop) ถ้าลูปใน (Inner Loop) ตอบสนองได้เร็วมากเท่าไรระบบก็จะมีเสถียรภาพเร็วขึ้น

จากการเปรียบเทียบค่าอัตราขยายที่ใช้ซึ่งมีอยู่ 2 ประเภทคือค่าอัตราขยายที่ได้จากการคำนวณหาตามหลักทฤษฎี และค่าที่ได้จากการปรับค่าที่ได้จากการคำนวณ ผลที่ได้จากรูปผลการทดลองในบทที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นไม่สามารถควบคุมระบบได้ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการปรับแต่ง ซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจกว่า

จากการเปรียบเทียบการควบคุมแบบลูปเดี่ยว (Simple Loop) กับการควบคุมแบบ 2 ลูป (Cascade Loop) ผลที่ได้คือ การควบคุมแบบ 2 ลูปจะให้ผลตอบสนองเร็วกว่าการควบคุมแบบลูปเดี่ยว (Simple Loop) เกือบ 2 เท่า ซึ่งดูได้จากค่าเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่ค่าเป้าหมาย

สรุป ระบบการควบคุมแบบสองลูป (Cascade Loop) จะให้ผลตอบสนองที่เร็วกว่าระบบการควบคุมแบบลูปเดี่ยว แต่ระบบควบคุมแบบลูปเดี่ยวยังให้ผลเป็นที่น่าพอใจอยู่บ้าง ทำให้ระบบการควบคุมแบบคาสเคดอาจไม่จำเป็นหากระบบการควบคุมนั้นควบคุมด้วยลูปเดี่ยวแล้วให้ผลตอบสนองเป็นที่น่าพอใจ

ในการนำไปประยุกต์ใช้สามารถนำมาประกอบการเรียนการสอนของนักศึกษาได้โดยตรง สะดวก และรวดเร็วเพราะในการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น P, I และ D จะแสดงผลให้นักศึกษาเห็นได้ชัดเจนว่าคุณสมบัติของพารามิเตอร์แต่ละค่าจะทำให้ระบบควบคุมเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะใดบ้าง จะทำให้นักศึกษามองเห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น การนำโครงการนี้ไปประยุกต์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้งานจริงทางด้านอุตสาหกรรม เช่นระบบการควบคุมสารเคมีที่จำเป็นต้องอยู่ในถังแบบปิด เป็นต้น

5.2 ปัญหาและข้อแก้ไข

ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงการนี้ สามารถแยกออกได้เป็น สองส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนของ ฮาร์ดแวร์ และส่วนของซอฟต์แวร์ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ระบบที่ควบคุมเป็นระบบแบบถังปิดทำให้ ป้อนลมไม่สามารถสูบลมด้วยอัตราการไหลได้ตามที่ต้องการตามปกติ เนื่องจากความดันบนถังมีค่ามากขึ้นตามสภาวะของความดันลม กล่าวคือ เมื่อระดับเพิ่มสูงขึ้น เป็นผลทำให้ระดับของความดันบนถังมีค่ามากขึ้นตาม
2. อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับความดันลมในถังมีช่วงกว้างในการตรวจจับมากกว่าความสูงของถังที่ใช้บรรจุลม
3. การกระเพื่อมของลม เป็นการรบกวนที่ทำให้ค่าในแต่ละค่าเป้าหมายผิดพลาดได้
4. การปล่อยลมออกจากถังจะมีผลต่อการเข้าสู่ set point เป็นอย่างมาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การปรับระดับการปล่อยลมออกจากถังต้องไม่มากหรือน้อยเกินไป จึงจะเป็นการดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

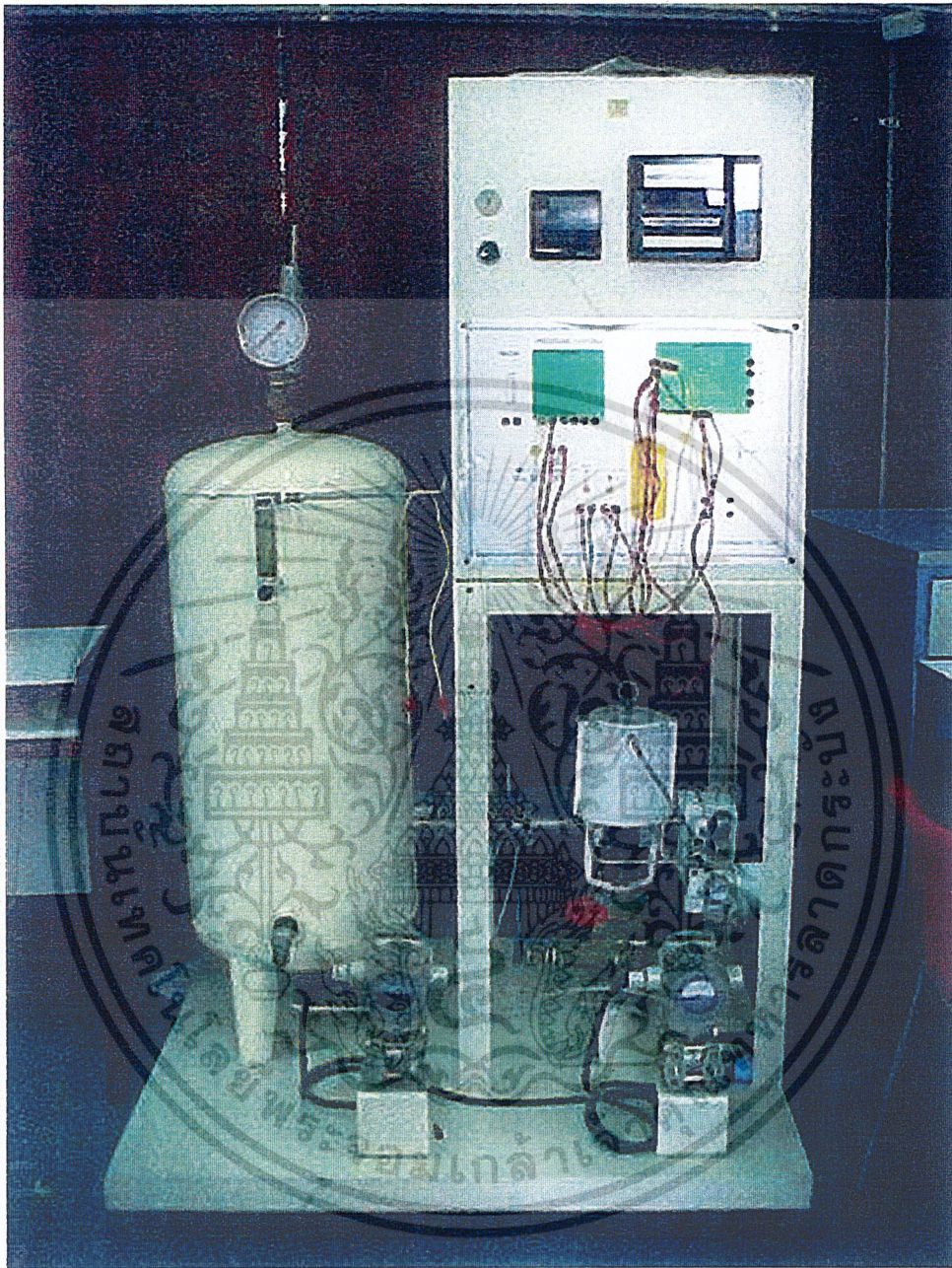
1. สุเชียร เกียรติสุนทร , พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุมในกระบวนการอุตสาหกรรม 1, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น) , 2542.
2. วิทยา ทิพย์สุวรรณพร , เอกสารประกอบการสอนวิชา 01063000 Process Dynamic and Control ,2545.
4. Lisa K. Wells and Jeffrey Travis , “**LabVIEW for everyone**” , Prentice Hall Inc ., New Jersey , 1997.
5. National Instruments , “**LabVIEW Community**” , Instrumentation Newsletter , Vol 15 , Number 4 , Austin : National Instruments , 2003.
7. National Instruments, “**User Manual of LabVIEW**” , National Instruments , 2000.
8. National Instruments, “**User Manual of Measurement Manual**” , National Instrument , 2000.
10. Katsuhiko Ogata , “**Modern Control Engineering**” , Prentice Hall Inc ., New Jersey , Second edition , 1990.
11. D. W. Spitzer., “**Flow Measurement: practical guides for measurement and control**” , Instrument Society of America., United States of America, 1991.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 Plant การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้